



ผลของเอนไซม์และน้ำหมักจาก *Bacillus subtilis* BTK07 และ  
*Paenibacillus polymyxa* BTK01 ต่อการเจริญของผักสลัดพันธุ์กรีนโอ๊ค

โดย

กัญญารัตน์ กลิ่นศักดิ์

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตร  
วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต (เทคโนโลยีชีวภาพ)  
สาขาเทคโนโลยีชีวภาพ  
คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์  
ปีการศึกษา 2566

EFFECT OF ENZYMES AND FERMENTED BROTH FROM *BACILLUS SUBTILIS*  
BTK07 AND *PAENIBACILLUS POLYMYXA* BTK01 ON LETTUCE (*LACTUCA*  
*SATIVA* VAR. *CRISPA* L.) GROWTH

BY

KANYARAT KASINSAK

A THESIS SUBMITTED IN PARTIAL FULFILLMENT OF THE REQUIREMENTS  
FOR THE DEGREE OF SCIENCE (BIOTECHNOLOGY)  
DEPARTMENT OF BIOTECHNOLOGY  
FACULTY OF SCIENCE AND TECHNOLOGY  
THAMMASAT UNIVERSITY  
ACADEMIC YEAR 2023

มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์  
คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี

วิทยานิพนธ์

ของ

กัญญารัตน์ กสินศักดิ์

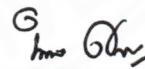
เรื่อง

ผลของเอนไซม์และน้ำหมักจาก *Bacillus subtilis* BTK07 และ  
*Paenibacillus polymyxa* BTK01 ต่อการเจริญของผักสลัดพันธุ์กรีนโอ๊ค

ได้รับการตรวจสอบและอนุมัติ ให้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตร  
วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต (เทคโนโลยีชีวภาพ)

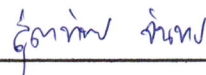
เมื่อ วันที่ 22 ธันวาคม พ.ศ. 2565

ประธานกรรมการสอบวิทยานิพนธ์



(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. นิรมล ศากยวงศ์)

กรรมการและอาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์



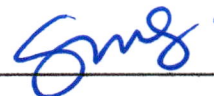
(รองศาสตราจารย์ ดร. สุดาทิพย์ จันทร์)

กรรมการสอบวิทยานิพนธ์



(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. ธรณ์ธันย์ สว่างวรรณ)

คณบดี



(รองศาสตราจารย์ ดร. สุเพชร จิระจกุล)

|                             |                                                                                                                                      |
|-----------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| ชื่อวิทยานิพนธ์             | ผลของเอนไซม์และน้ำหมักจาก <i>Bacillus subtilis</i> BTK07 และ <i>Paenibacillus polymyxa</i> BTK01 ต่อการเจริญของผักสลัดพันธุ์กรีนโอ๊ค |
| ชื่อผู้เขียน                | นางสาวกัญญารัตน์ กสิณศักดิ์                                                                                                          |
| ชื่อปริญญา                  | วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต (เทคโนโลยีชีวภาพ)                                                                                                |
| สาขาวิชา/คณะ/มหาวิทยาลัย    | สาขาวิชาเทคโนโลยีชีวภาพ<br>คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี<br>มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์                                                       |
| อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ | รองศาสตราจารย์ ดร.สุดาทิพย์ จันทร                                                                                                    |
| ปีการศึกษา                  | 2566                                                                                                                                 |

### บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาคุณสมบัติของเอนไซม์และน้ำหมักจาก *Bacillus subtilis* BTK07 และ *Paenibacillus polymyxa* BTK01 ต่อการงอกของเมล็ดและการเจริญเติบโตของผักสลัดกรีนโอ๊ค (*Lactuca sativa* Var. *Crispa* L.) การศึกษาการผลิเอนไซม์และฮอร์โมนพืชพบว่า BTK07 ผลิตแมนนาเนสและ indole-3-acetic acid (IAA)  $0.444 \pm 0.126$  หน่วยต่อมิลลิกรัม และ 0.37 มิลลิกรัมต่อลิตร และ BTK01 ผลิตไซลานเนสและ IAA  $0.193 \pm 0.015$  หน่วยต่อมิลลิกรัม และ 0.27 มิลลิกรัมต่อลิตร ตามลำดับ การศึกษาการงอกของเมล็ดผักสลัดกรีนโอ๊ค พบว่าการแช่เมล็ดในที่มืดและที่สว่างส่งผลให้ค่าเฉลี่ยเปอร์เซ็นต์การงอก ความเร็วในการงอก และความยาวรากสูงสุดคือ  $99.40 \pm 1.342$  เปอร์เซ็นต์  $3.88 \pm 0.072$  ต้นต่อวัน และ  $65.38 \pm 8.862$  มิลลิเมตร ตามลำดับ การศึกษาการเจริญเติบโตของผักสลัดกรีนโอ๊ควางแผนการทดลองแบบ completely randomized design (CRD) จำนวน 15 กระจ่าง 3 ซ้ำ แบ่งออกเป็น 5 ชุดทดลอง ตามชนิดของตัวอย่างที่ใช้รดผักสลัดกรีนโอ๊ค ดังนี้ 1) น้ำกลั่น 2) เอนไซม์ *P. polymyxa* BTK01 3) เอนไซม์ *B. subtilis* BTK07 4) น้ำหมัก *P. polymyxa* BTK01 และ 5) น้ำหมัก *B. subtilis* BTK07 ในสภาวะการเพาะเมล็ดในที่มืดที่สว่างและสลับสภาวะ พบว่าการรดด้วยน้ำหมัก *B. subtilis* BTK07 มีความสูง ความกว้างทรงพุ่ม ความยาวราก และจำนวนใบสูงสุดคือ  $9.22 \pm 0.58$ ,  $16.93 \pm 1.53$ ,  $11.00 \pm 0.68$  เซนติเมตร และ  $15.00 \pm 1.73$  ใบ ตามลำดับ และการศึกษาการเจริญเติบโตของผักสลัดกรีนโอ๊ควางแผนการทดลองแบบ completely randomized design (CRD) จำนวน 18 กระจ่าง 3 ซ้ำ แบ่งออกเป็น 6 ชุด



ทดลอง ตามชนิดของตัวอย่างที่ใช้แช่เมล็ด ดังนี้ 1) ไม่แช่เมล็ด 2) น้ำกลั่น 3) เอนไซม์ *P. polymyxa* BTK01 4) เอนไซม์ *B. subtilis* BTK07 5) น้ำหมัก *P. polymyxa* BTK01 และ 6) น้ำหมัก *B. subtilis* BTK07 เพาะเมล็ดในที่มืดและที่สว่าง ทุกกระถางรดด้วยน้ำหมัก *B. subtilis* BTK07 พบว่าเมล็ดที่แช่ในน้ำหมัก *P. polymyxa* BTK01 น้ำหมัก *B. subtilis* BTK07 และเอนไซม์ *P. polymyxa* BTK01 มีความสูง ความกว้างทรงพุ่ม และจำนวนใบสูงสุดคือ  $11.32 \pm 1.708$ ,  $15.57 \pm 3.498$  เซนติเมตร และ  $13.33 \pm 2.082$  ใบ ตามลำดับ

**คำสำคัญ:** *Bacillus subtilis* BTK07, *Paenibacillus polymyxa* BTK01, เอนไซม์, น้ำหมัก, ผักสลัดพันธุ์กรีนโอ๊ค



|                               |                                                                                                                                                                                    |
|-------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Thesis Title                  | EFFECT OF ENZYMES AND FERMENTED BROTH FROM <i>BACILLUS SUBTILIS</i> BTK07 AND <i>PAENIBACILLUS POLYMYXA</i> BTK01 ON LETTUCE ( <i>LACTUCA SATIVA</i> VAR. <i>CRISPA</i> L.) GROWTH |
| Author                        | Miss Kanyarat Kasinsak                                                                                                                                                             |
| Degree                        | Master of Science (Biotechnology)                                                                                                                                                  |
| Department/Faculty/University | Department of Biotechnology<br>Faculty of Science and Technology<br>Thammasat University                                                                                           |
| Thesis Advisor                | Associate Professor Sudathip Chantorn, Ph.D.                                                                                                                                       |
| Academic Years                | 2023                                                                                                                                                                               |

## ABSTRACT

This research studied properties of enzymes and fermented broth from *Bacillus subtilis* BTK07 and *Paenibacillus polymyxa* BTK01 on seed germination and growth of green oak lettuce (*Lactuca sativa* Var. *Crispa* L.). In terms of enzyme and plant hormone production, BTK07 produced mannanase and indole-3-acetic acid (IAA) at  $0.444 \pm 0.126$  units/milligram (mg) and 0.37 mg/liter and BTK01 produced xylanase and IAA at  $0.193 \pm 0.015$  units/mg and 0.27 mg/liter, respectively. In germinating green oak lettuce seeds, soaking them in darkness and light attained maximum germination percentage, speed, and root length at  $99.40 \pm 1.342$  percent,  $3.88 \pm 0.072$  plants/day, and  $65.38 \pm 8.862$  mm, respectively. Green oak growth was scrutinized by a completely randomized design (CRD) of 15 pots and three replicates divided into five experimental sets according to sample type: 1) distilled water; 2) *P. polymyxa* BTK01 enzyme; 3) *B. subtilis* BTK07 enzyme; 4) *P. polymyxa* BTK01 fermented broth; and 5) *B. subtilis* BTK07 fermented broth in dark and light seed cultivation. Results were that *B. subtilis* BTK07 attained the maximum plant height, canopy width, root length, and number of leaves, at  $9.22 \pm 0.58$ ,  $16.93 \pm 1.53$ ,  $11.00 \pm 0.68$  cm, and  $15.00 \pm 1.73$  leaves, respectively. To

measure green oak growth, a CRD of 18 pots and three replicates divided into six experimental sets according to soaked seed type: 1) unsoaked seeds; 2) distilled water ;3) *P. polymyxa* BTK01 enzyme; 4) *B. subtilis* BTK07 enzyme; 5) *P. polymyxa* BTK01 fermented broth; and 6) *B. subtilis* BTK07 fermented broth in dark and light seed cultivation. All pots contained *B. subtilis* BTK07 fermented broth. Results were that seeds soaked in *P. polymyxa* BTK01 fermented broth, *B. subtilis* BTK07 fermented broth, and *P. polymyxa* BTK01 enzyme attained maximum plant height, canopy width, and number of leaves at  $11.32 \pm 1.708$ ,  $15.57 \pm 3.498$  cm, and  $13.33 \pm 2.082$  leaves, respectively.

**Keywords:** *Bacillus subtilis* BTK07, *Paenibacillus polymyxa* BTK01, Enzyme, Fermented broth, Green oak lettuce

## กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์เล่มนี้ดำเนินการสำเร็จลุล่วงด้วยดี ข้าพเจ้าขอขอบพระคุณ รองศาสตราจารย์ ดร.สุดาทิพย์ จันทร ที่กรุณาให้ความรู้ คำปรึกษา และคำแนะนำที่ดีตลอดระยะเวลาการทำวิทยานิพนธ์สำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดี ขอขอบพระคุณผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.นิรมล ศากยวงศ์ ที่กรุณาเป็นประธานกรรมการสอบวิทยานิพนธ์ และผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ธรรณัฐ สว่างวรรณ อาจารย์ประจำสาขาเทคโนโลยีชีวภาพ คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยรามคำแหงที่กรุณามาเป็นกรรมการสอบวิทยานิพนธ์ รวมถึงให้คำปรึกษา และคำแนะนำในการทำวิทยานิพนธ์นี้

ขอขอบพระคุณคณาจารย์สาขาวิชาเทคโนโลยีชีวภาพ คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์ทุกท่าน ที่ให้ความรู้ คำแนะนำ ตลอดจนการช่วยเหลือเสมอมา รวมถึงพี่ ๆ นักวิทยาศาสตร์ และพนักงานประจำสาขาเทคโนโลยีชีวภาพทุกท่านที่คอยให้ความช่วยเหลือ อำนวยความสะดวก เอื้อเฟื้ออุปกรณ์ สารเคมี และสถานที่ในการทำการวิจัย นอกจากนี้ขอขอบพระคุณคณาจารย์สาขาวิชาเทคโนโลยีการเกษตร คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์ที่เอื้อเฟื้อโรงเรือนเพื่อใช้เป็นสถานที่ในการทำการวิจัย

ขอขอบคุณคณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์ ที่มอบทุนบัณฑิตเรียนดีเพื่อศึกษาต่อระดับบัณฑิตศึกษา คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี ประจำปีการศึกษา 2563 ตามสัญญาเลขที่ ทบ 10/2563

ท้ายที่สุดนี้ขอขอบพระคุณคุณพ่อ คุณแม่และครอบครัวที่คอยเป็นกำลังใจและอยู่เคียงข้างเสมอมา รวมถึงเป็นแรงผลักดันให้ประสบความสำเร็จการศึกษาได้ด้วยดี และขอบคุณเพื่อน ๆ พี่ ๆ และน้อง ๆ ในภาควิชาเทคโนโลยีชีวภาพ ที่ได้ให้ความช่วยเหลือ คำแนะนำ และเป็นกำลังใจในการทำวิทยานิพนธ์นี้

นางสาวกัญญารัตน์ กสิณศักดิ์

## สารบัญ

|                                                 |    |
|-------------------------------------------------|----|
| บทคัดย่อ                                        | 1  |
| ABSTRACT                                        | 3  |
| กิตติกรรมประกาศ                                 | 5  |
| สารบัญ                                          | 6  |
| สารบัญตาราง                                     | 13 |
| สารบัญภาพ                                       | 14 |
| บทที่ 1 บทนำ                                    | 1  |
| 1.1 ที่มาและความสำคัญ                           | 1  |
| 1.2 วัตถุประสงค์ของงานวิจัย                     | 3  |
| 1.3 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ                   | 3  |
| 1.4 ขอบเขตของงานวิจัย                           | 3  |
| 1.5 สถานที่ทำการทดลอง                           | 3  |
| บทที่ 2 วรรณกรรมและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง        | 4  |
| 2.1 จุลินทรีย์กับการเกษตร                       | 4  |
| 2.1.1 แบคทีเรีย                                 | 7  |
| 2.1.2 ฟังไจ                                     | 9  |
| 2.1.3 สาหร่าย                                   | 10 |
| 2.1.4 โปรโตซัว                                  | 11 |
| 2.1.5 ไวรัส                                     | 11 |
| 2.2 บทบาทของจุลินทรีย์ที่มีประโยชน์ทางการเกษตร  | 11 |
| 2.2.1 กลไกที่ส่งเสริมการเจริญเติบโตของพืชทางตรง | 12 |
| 2.2.1.1 การตรึงไนโตรเจน                         | 12 |

|                                                                     |    |
|---------------------------------------------------------------------|----|
| 2.2.1.2 การเพิ่มการละลายฟอสฟอรัส                                    | 13 |
| 2.2.1.3 การเพิ่มการละลายโพแทสเซียม                                  | 14 |
| 2.2.1.4 การเพิ่มธาตุเหล็ก                                           | 14 |
| 2.2.1.5 การผลิตฮอร์โมนพืช                                           | 15 |
| 2.2.2 กลไกที่ส่งเสริมการเจริญเติบโตของพืชทางอ้อม                    | 15 |
| 2.2.2.1 การผลิตเอนไซม์                                              | 16 |
| 2.2.2.2 การผลิตสารควบคุมทางชีวภาพ                                   | 16 |
| 2.2.2.3 การทนทานต่อสภาพแวดล้อม                                      | 17 |
| 2.2.2.4 การทนทานต่อโรคพืช                                           | 17 |
| 2.3 แนวคิดการใช้จุลินทรีย์ในทางการเกษตร                             | 18 |
| 2.3.1 การเลียนแบบระบบนิเวศธรรมชาติ                                  | 18 |
| 2.3.2 การปรับความสมดุลทางชีวภาพของดิน                               | 18 |
| 2.3.3 การใช้จุลินทรีย์ในกระบวนการย่อยสลาย                           | 18 |
| 2.3.4 การใช้จุลินทรีย์ในการส่งเสริมการงอกของเมล็ด                   | 19 |
| 2.3.5 การใช้จุลินทรีย์ในการส่งเสริมการเจริญเติบโตของพืช             | 19 |
| 2.4 ผักสลัด                                                         | 19 |
| 2.4.1 ลักษณะทางพฤกษศาสตร์                                           | 20 |
| 2.4.1.1 ใบ                                                          | 20 |
| 2.4.1.2 ลำต้น                                                       | 20 |
| 2.4.1.3 ราก                                                         | 21 |
| 2.4.1.4 ช่อดอก                                                      | 21 |
| 2.4.1.5 เมล็ด                                                       | 21 |
| 2.4.2 สายพันธุ์                                                     | 21 |
| 2.4.2.1 Leaf lettuce ( <i>Lactuca sativa</i> var. <i>crispa</i> L.) | 21 |

|                                                                  |    |
|------------------------------------------------------------------|----|
| 2.4.2.2 Crisp-head ( <i>L. sativa</i> var. <i>capitate</i> L.)   | 22 |
| 2.4.2.3 Butterhead ( <i>L. sativa</i> var. <i>capitate</i> Lam.) | 23 |
| 2.4.2.4 Cos ( <i>L. sativa</i> var. <i>longifolia</i> Bailey)    | 23 |
| 2.4.2.5 Stem ( <i>L. sativa</i> var. <i>asparagina</i> )         | 24 |
| 2.4.3 สภาพแวดล้อมที่เหมาะสมต่อการเจริญเติบโตของผักสลัด           | 25 |
| 2.4.3.1 อุณหภูมิ                                                 | 25 |
| 2.4.3.2 ช่วงแสง                                                  | 25 |
| 2.4.3.3 ดิน                                                      | 26 |
| 2.4.3.4 น้ำ                                                      | 26 |
| 2.4.3.5 ธาตุอาหาร                                                | 26 |
| 2.5 ธาตุอาหารพืช                                                 | 26 |
| 2.5.1 ไนโตรเจน (N)                                               | 27 |
| 2.5.2 ฟอสฟอรัส (P)                                               | 27 |
| 2.5.3 โพแทสเซียม (K)                                             | 28 |
| 2.5.4 แคลเซียม (Ca)                                              | 28 |
| 2.5.5 แมกนีเซียม (Mg)                                            | 29 |
| 2.5.6 กำมะถัน (S)                                                | 29 |
| 2.5.7 เหล็ก (Fe)                                                 | 29 |
| 2.5.8 แมงกานีส (Mn)                                              | 29 |
| 2.5.9 สังกะสี (Zn)                                               | 30 |
| 2.5.10 ทองแดง (Cu)                                               | 30 |
| 2.5.11 โบรอน (B)                                                 | 30 |
| 2.5.12 โมลิบดีนัม (Mo)                                           | 30 |
| 2.5.13 คลอรีน (Cl)                                               | 31 |

|                                                                    |    |
|--------------------------------------------------------------------|----|
| บทที่ 3 วิธีการวิจัย                                               | 32 |
| 3.1 วิธีดำเนินการทดลอง                                             | 32 |
| 3.1.1 แบคทีเรีย                                                    | 32 |
| 3.1.2 การเตรียมกล้าเชื้อ                                           | 32 |
| 3.1.3 การผลิตน้ำหมักและเอนไซม์จาก <i>Bacillus subtilis</i> BTK07   | 32 |
| 3.1.4 การผลิตน้ำหมักจาก <i>Paenibacillus polymyxa</i> BTK01        | 33 |
| 3.2 การวิเคราะห์                                                   | 33 |
| 3.2.1 การวิเคราะห์กิจกรรมของเอนไซม์                                | 33 |
| 3.2.1.1 แมนนาเนส                                                   | 33 |
| 3.2.1.2 ไซลเลส                                                     | 34 |
| 3.2.2 การวิเคราะห์ปริมาณโปรตีน                                     | 34 |
| 3.2.3 การวิเคราะห์สภาวะที่เหมาะสมต่อการทำงานและความคงตัวของเอนไซม์ | 34 |
| 3.2.3.1 การวิเคราะห์พีเอชที่เหมาะสมต่อการทำงานของเอนไซม์           | 34 |
| 3.2.3.2 การวิเคราะห์อุณหภูมิที่เหมาะสมต่อการทำงานของเอนไซม์        | 35 |
| 3.2.3.3 การวิเคราะห์อุณหภูมิที่มีผลต่อความคงตัวของเอนไซม์          | 35 |
| 3.2.3.4 การวิเคราะห์พีเอชที่มีผลต่อความคงตัวของเอนไซม์             | 35 |
| 3.2.4 การวิเคราะห์ปริมาณฮอร์โมนพืช                                 | 35 |
| 3.3 การศึกษาการงอกของเมล็ดด้วยวิธีการแช่เมล็ด (seed soaking)       | 35 |
| 3.3.1 เมล็ดพันธุ์                                                  | 35 |
| 3.3.2 การวางแผนการทดลอง                                            | 36 |
| 3.3.3 เปอร์เซ็นต์การงอก                                            | 36 |
| 3.3.4 ความเร็วในการงอกของเมล็ดพันธุ์                               | 37 |
| 3.3.5 ความยาวยอด                                                   | 37 |
| 3.3.6 ความยาวราก                                                   | 37 |



|                                                                       |    |
|-----------------------------------------------------------------------|----|
| 3.4 การศึกษาการเจริญเติบโตของผักสลัดพันธุ์กรีนโอ๊ค (pot experimental) | 37 |
| 3.4.1 การปลูกพืชทดลอง                                                 | 37 |
| 3.4.1.1 ขั้นตอนการเพาะต้นกล้า                                         | 37 |
| 3.4.1.2 ขั้นตอนการย้ายกล้าลงปลูก                                      | 37 |
| 3.4.2 การวางแผนการทดลอง                                               | 38 |
| ภาพที่ 3.1 การวางแผนการทดลองที่ 1                                     | 38 |
| ภาพที่ 3.2 การวางแผนการทดลองที่ 2                                     | 39 |
| ภาพที่ 3.3 การวางแผนการทดลองที่ 3                                     | 40 |
| 3.4.3 การบันทึกผล                                                     | 41 |
| 3.4.3.1 การบันทึกข้อมูลการเจริญเติบโต                                 | 41 |
| 3.4.4 การวิเคราะห์ปริมาณจุลินทรีย์ในดิน                               | 41 |
| 3.4.5 การวิเคราะห์ดิน                                                 | 42 |
| 3.5 การวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติ                                        | 42 |
| บทที่ 4 ผลการวิจัยและอภิปรายผล                                        | 43 |
| 4.1 ผลการศึกษาคุณสมบัติของเอนไซม์และน้ำหมัก                           | 43 |
| 4.1.1 ผลการศึกษากิจกรรมจำเพาะของเอนไซม์                               | 43 |
| 4.1.2 ผลการศึกษาพีเอชที่เหมาะสมต่อการทำงานของเอนไซม์                  | 45 |
| 4.1.3 ผลการศึกษาอุณหภูมิที่เหมาะสมต่อการทำงานของเอนไซม์               | 47 |
| 4.1.4 ผลการศึกษาผลของพีเอชต่อความคงตัวของเอนไซม์                      | 49 |
| 4.1.5 ผลการศึกษาผลของอุณหภูมิต่อความคงตัวของเอนไซม์                   | 51 |
| 4.1.6 ผลการศึกษาปริมาณออกซิเจนและไฮโดรเจนในน้ำหมัก                    | 53 |
| 4.2 ผลการศึกษารงอกของเมล็ดด้วยวิธีแช่เมล็ด                            | 55 |
| 4.2.1 เปอร์เซ็นต์การงอกของเมล็ด                                       | 55 |
| 4.2.2 ความเร็วในการงอกของเมล็ด                                        | 58 |

|                                                                                                          |     |
|----------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----|
| 4.2.3 ความยาวยอด                                                                                         | 61  |
| 4.2.4 ความยาวราก                                                                                         | 64  |
| 4.3 ผลการศึกษาการเจริญเติบโตของผักสลัดกรีนโอ๊ค (pot experimental)                                        | 66  |
| 4.3.1 การทดลองที่ 1 ผลทดสอบประสิทธิภาพของเอนไซม์และน้ำหมักต่อการส่งเสริมการเจริญเติบโตของผักสลัดกรีนโอ๊ค | 66  |
| 4.3.1.1 ความสูง                                                                                          | 66  |
| 4.3.1.2 ความกว้างทรงพุ่ม                                                                                 | 69  |
| 4.3.1.3 จำนวนใบ                                                                                          | 72  |
| 4.3.1.4 ความยาวราก                                                                                       | 75  |
| 4.3.1.5 น้ำหนักสด                                                                                        | 78  |
| 4.3.1.6 น้ำหนักแห้ง                                                                                      | 80  |
| 4.3.1.7 ปริมาณจุลินทรีย์ในดิน                                                                            | 82  |
| 4.3.2 การทดลองที่ 2 ทดสอบประสิทธิภาพของเมล็ดที่ผ่านการแช่เมล็ดโดยทุกการทดลองรดด้วยน้ำกลั่น               | 84  |
| 4.3.2.1 ความสูง                                                                                          | 84  |
| 4.3.2.2 ความกว้างทรงพุ่ม                                                                                 | 87  |
| 4.3.2.3 จำนวนใบ                                                                                          | 90  |
| 4.3.2.4 ความยาวราก                                                                                       | 93  |
| 4.3.2.5 น้ำหนักสด                                                                                        | 96  |
| 4.3.2.6 น้ำหนักแห้ง                                                                                      | 98  |
| 4.3.2.7 ปริมาณจุลินทรีย์ในดิน                                                                            | 100 |
| 4.3.3 การทดลองที่ 3 ทดสอบประสิทธิภาพของเมล็ดที่ผ่านการแช่เมล็ดโดยทุกการทดลองรดด้วยผลการทดลองตอนที่ 1     | 101 |
| 4.3.3.1 ความสูง                                                                                          | 102 |

|                                                                 |      |
|-----------------------------------------------------------------|------|
|                                                                 | (12) |
| 4.3.3.2 ความกว้างทรงพุ่ม                                        | 105  |
| 4.3.3.3 จำนวนใบ                                                 | 108  |
| 4.3.3.4 ความยาวราก                                              | 111  |
| 4.3.3.5 น้ำหนักสด                                               | 114  |
| 4.3.3.6 น้ำหนักแห้ง                                             | 116  |
| 4.3.3.7 ปริมาณจุลินทรีย์ในดิน                                   | 118  |
| 4.4 ผลการวิเคราะห์คุณสมบัติทางกายภาพและเคมีของดิน               | 120  |
| 4.4.1 ผลการวิเคราะห์คุณสมบัติทางกายภาพและเคมีของดินก่อนการทดลอง | 120  |
| 4.4.2 ผลการวิเคราะห์คุณสมบัติทางกายภาพและเคมีของดินหลังการทดลอง | 120  |
| บทที่ 5 สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ                             | 124  |
| รายการอ้างอิง                                                   | 127  |
| ภาคผนวก                                                         | 150  |
| ภาคผนวก ก อาหารเลี้ยงเชื้อ สารเคมี และวิธีการเตรียมสาร          | 151  |
| ภาคผนวก ข วิธีวิเคราะห์และกราฟมาตรฐาน                           | 157  |
| ภาคผนวก ค การคำนวณ                                              | 169  |
| ภาคผนวก ง ข้อมูลที่ได้จากการทดลอง                               | 170  |
| ประวัติผู้เขียน                                                 | 275  |

## สารบัญตาราง

| ตารางที่                                                                                                                                             | หน้า |
|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------|
| 2.1 จุลินทรีย์ที่มีประโยชน์ทางการเกษตร                                                                                                               | 5    |
| 3.1 ชุดทดลองการงอกของเมล็ดด้วยวิธีการแช่เมล็ด                                                                                                        | 36   |
| 3.2 การวางแผนการทดลองการงอกของเมล็ดด้วยวิธีการแช่เมล็ด                                                                                               | 36   |
| 3.3 การวางแผนการทดลองที่ 1                                                                                                                           | 38   |
| 3.4 การวางแผนการทดลองที่ 2                                                                                                                           | 39   |
| 3.5 การวางแผนการทดลองที่ 3                                                                                                                           | 40   |
| 4.1 ปริมาณ Indole-3-acetic acid (IAA) และ ไซโตไคนิน (cytokinins) ในน้ำหมักจาก <i>Paenibacillus polymyxa</i> BTK01 และ <i>Bacillus subtilis</i> BTK07 | 54   |
| 4.2 ค่าเฉลี่ยน้ำหนักสดลำต้นและรากของผักสลัดกรีนโอ๊ค (การทดลองที่ 1)                                                                                  | 79   |
| 4.3 ค่าเฉลี่ยน้ำหนักแห้งลำต้นและรากของผักสลัดกรีนโอ๊ค (การทดลองที่ 1)                                                                                | 81   |
| 4.4 ค่าเฉลี่ยน้ำหนักสดลำต้นและรากของผักสลัดกรีนโอ๊ค (การทดลองที่ 2)                                                                                  | 97   |
| 4.5 ค่าเฉลี่ยน้ำหนักแห้งลำต้นและรากของผักสลัดกรีนโอ๊ค (การทดลองที่ 2)                                                                                | 99   |
| 4.6 ค่าเฉลี่ยน้ำหนักสดลำต้นและรากของผักสลัดกรีนโอ๊ค (การทดลองที่ 3)                                                                                  | 115  |
| 4.7 ค่าเฉลี่ยน้ำหนักแห้งลำต้นและรากของผักสลัดกรีนโอ๊ค (การทดลองที่ 3)                                                                                | 117  |
| 4.8 คุณสมบัติทางกายภาพและเคมีของดินก่อนและหลังให้ชุดทดลองที่แตกต่างกัน                                                                               | 123  |

## สารบัญภาพ

| ภาพที่                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                      | หน้า |
|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------|
| 2.1 รูปร่างของแบคทีเรีย                                                                                                                                                                                                                                                                                                                     | 7    |
| 2.2 ลักษณะของ <i>Bacillus</i> sp. (ก) Gram strain (ข) Scanning electron microscope                                                                                                                                                                                                                                                          | 8    |
| 2.3 ลักษณะของ <i>Paenibacillus</i> sp. (ก) Gram strain (ข) Scanning electron microscope                                                                                                                                                                                                                                                     | 9    |
| 2.4 ลักษณะโครงสร้างของ (ก) เชื้อรา และ (ข) ยีสต์                                                                                                                                                                                                                                                                                            | 10   |
| 2.5 ลักษณะโครงสร้างของ (ก) <i>Anabaena</i> sp. และ (ข) <i>Nostoc</i> sp.                                                                                                                                                                                                                                                                    | 10   |
| 2.6 ผักสลัดใบสายพันธุ์ (ก) Green Oak และ (ข) Red Oak                                                                                                                                                                                                                                                                                        | 22   |
| 2.7 ผักสลัดปลีสายพันธุ์ New York Wonderful Great Lake                                                                                                                                                                                                                                                                                       | 22   |
| 2.8 ผักสลัดบัตเตอร์สายพันธุ์ Boston                                                                                                                                                                                                                                                                                                         | 23   |
| 2.9 ผักสลัดคอสสายพันธุ์ Paris White Cursor                                                                                                                                                                                                                                                                                                  | 24   |
| 2.10 ผักกาดหอมต้นสายพันธุ์ Celtuce                                                                                                                                                                                                                                                                                                          | 24   |
| 3.1 การวางแผนการทดลองที่ 1                                                                                                                                                                                                                                                                                                                  | 38   |
| 3.2 การวางแผนการทดลองที่ 2                                                                                                                                                                                                                                                                                                                  | 39   |
| 3.3 การวางแผนการทดลองที่ 3                                                                                                                                                                                                                                                                                                                  | 40   |
| 4.1 กิจกรรมจำเพาะของเอนไซม์แมนนาเนส (■) และไซลานเนส (■) จากส่วนของเอนไซม์สกัดหยาบ (CE) และส่วนของน้ำหมัก (FB) ที่ผลิตได้จาก <i>Bacillus subtilis</i> BTK07 และ <i>Paenibacillus polymyxa</i> BTK01                                                                                                                                          | 44   |
| 4.2 พีเอชที่เหมาะสมต่อการทำงานของเอนไซม์แมนนาเนส (—●—) และไซลานเนส (—●—) จาก <i>Paenibacillus polymyxa</i> BTK01(ก) <i>Bacillus subtilis</i> BTK07 (ข) ในบัฟเฟอร์ความเข้มข้น 0.2 โมลาร์ที่ค่าพีเอชแตกต่างกัน ได้แก่ โซเดียมซิเตรตบัฟเฟอร์ (pH 3.0-5.0) โซเดียมฟอสเฟตบัฟเฟอร์ (pH 6.0-8.0) และไกลซีน-โซเดียมไฮดรอกไซด์บัฟเฟอร์ (pH 9.0-10.0) | 46   |
| 4.3 อุณหภูมิที่เหมาะสมต่อการทำงานของเอนไซม์แมนนาเนส (—●—) และไซลานเนส (—●—) จาก <i>Bacillus subtilis</i> BTK07 (ก) และ <i>Paenibacillus polymyxa</i> BTK01 (ข) โดยบ่มที่อุณหภูมิที่ 30 40 50 60 70 และ 80 องศาเซลเซียส                                                                                                                      | 48   |

- 4.4 กิจกรรมคงเหลือของเอนไซม์แมนนาเนส (—●—) และไซลาเนส (—●—) จาก *Bacillus subtilis* BTK07 (ก) และ *Paenibacillus polymyxa* BTK01 (ข) เมื่อ บ่มเอนไซม์ที่พีเอชที่เหมาะสมต่อการทำงานของเอนไซม์ เป็นเวลา 10 30 60 120 และ 180 นาที 50
- 4.5 กิจกรรมคงเหลือของเอนไซม์แมนนาเนส (—●—) และไซลาเนส (—●—) จาก *Bacillus subtilis* BTK07 (ก) และ *Paenibacillus polymyxa* BTK01 (ข) เมื่อ บ่มเอนไซม์ที่อุณหภูมิที่เหมาะสมต่อการทำงานของเอนไซม์เป็นเวลา 10 30 60 120 และ 180 นาที 52
- 4.6 ค่าเฉลี่ยเปอร์เซ็นต์การงอกของเมล็ดผักสลัดกรีนโอ๊คเมื่อแช่เมล็ดในน้ำกลั่น (■) เอนไซม์ *Paenibacillus polymyxa* BTK01 (■) เอนไซม์ *Bacillus subtilis* BTK07 (■) น้ำหมัก *Paenibacillus polymyxa* BTK01 (■) และน้ำหมัก *Bacillus subtilis* BTK07 (■) โดยเก็บรักษาที่ 4 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 0 วัน (ก) 40 วัน (ข) และ 60 วัน (ค) โดยให้เจริญในสภาวะที่แตกต่างกัน 57
- 4.7 ค่าเฉลี่ยความเร็วในการงอกของเมล็ดผักสลัดกรีนโอ๊คเมื่อแช่เมล็ดในน้ำกลั่น (■) เอนไซม์ *Paenibacillus polymyxa* BTK01 (■) เอนไซม์ *Bacillus subtilis* BTK07 (■) น้ำหมัก *Paenibacillus polymyxa* BTK01 (■) และน้ำหมัก *Bacillus subtilis* BTK07 (■) โดยเก็บรักษาที่ 4 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 0 วัน (ก) 40 วัน (ข) และ 60 วัน (ค) โดยให้เจริญในสภาวะที่แตกต่างกัน 60
- 4.8 ค่าเฉลี่ยความยาวยอดของต้นอ่อนผักสลัดกรีนโอ๊คเมื่อแช่เมล็ดในน้ำกลั่น (■) เอนไซม์ *Paenibacillus polymyxa* BTK01 (■) เอนไซม์ *Bacillus subtilis* BTK07 (■) น้ำหมัก *Paenibacillus polymyxa* BTK01 (■) และน้ำหมัก *Bacillus subtilis* BTK07 (■) โดยเก็บรักษาที่ 4 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 0 วัน (ก) 40 วัน (ข) และ 60 วัน (ค) โดยให้เจริญในสภาวะที่แตกต่างกัน 63
- 4.9 ค่าเฉลี่ยความยาวรากของต้นอ่อนผักสลัดกรีนโอ๊คเมื่อแช่เมล็ดในน้ำกลั่น (■) เอนไซม์ *Paenibacillus polymyxa* BTK01 (■) เอนไซม์ *Bacillus subtilis* BTK07 (■) น้ำหมัก *Paenibacillus polymyxa* BTK01 (■) และน้ำหมัก *Bacillus subtilis* BTK07 (■) โดยเก็บรักษาที่ 4 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 0 วัน (ก) 40 วัน (ข) และ 60 วัน (ค) โดยให้เจริญในสภาวะที่แตกต่างกัน 65

- 4.10 ความสูงของผักสลัดกรีนโอ๊คเมื่อรดด้วยน้ำกลั่น (T1) เอนไซม์ *Paenibacillus polymyxa* BTK01 (T2) เอนไซม์ *Bacillus subtilis* BTK07 (T3) น้ำหมัก *Paenibacillus polymyxa* BTK01 (T4) และน้ำหมัก *Bacillus subtilis* BTK07 (T5) บันทึกผล (ก) 7 วัน (ข) 14 วัน และ (ค) 21 วัน 67
- 4.11 ค่าเฉลี่ยความสูงของผักสลัดกรีนโอ๊คเมื่อรดด้วยน้ำกลั่น (■) เอนไซม์ *Paenibacillus polymyxa* BTK01 (■) เอนไซม์ *Bacillus subtilis* BTK07 (■) น้ำหมัก *Paenibacillus polymyxa* BTK01 (■) และน้ำหมัก *Bacillus subtilis* BTK07 (■) บันทึกผล 0, 7, 14 และ 21 วัน 68
- 4.12 ความกว้างทรงพุ่มของผักสลัดกรีนโอ๊คเมื่อรดด้วยน้ำกลั่น (T1) เอนไซม์ *Paenibacillus polymyxa* BTK01 (T2) เอนไซม์ *Bacillus subtilis* BTK07 (T3) น้ำหมัก *Paenibacillus polymyxa* BTK01 (T4) และน้ำหมัก *Bacillus subtilis* BTK07 (T5) บันทึกผล (ก) 7 วัน (ข) 14 วัน และ (ค) 21 วัน 70
- 4.13 ค่าเฉลี่ยความกว้างทรงพุ่มของผักสลัดกรีนโอ๊คเมื่อรดด้วยน้ำกลั่น น้ำกลั่น (■) เอนไซม์ *Paenibacillus polymyxa* BTK01 (■) เอนไซม์ *Bacillus subtilis* BTK07 (■) น้ำหมัก *Paenibacillus polymyxa* BTK01 (■) และน้ำหมัก *Bacillus subtilis* BTK07 (■) บันทึกผล 0, 7, 14 และ 21 วัน 71
- 4.14 จำนวนใบของผักสลัดกรีนโอ๊คเมื่อรดด้วยน้ำกลั่น (T1) เอนไซม์ *Paenibacillus polymyxa* BTK01 (T2) เอนไซม์ *Bacillus subtilis* BTK07 (T3) น้ำหมัก *Paenibacillus polymyxa* BTK01 (T4) และน้ำหมัก *Bacillus subtilis* BTK07 (T5) บันทึกผล (ก) 7 วัน (ข) 14 วัน และ (ค) 21 วัน 73
- 4.15 ค่าเฉลี่ยจำนวนใบของผักสลัดกรีนโอ๊คเมื่อรดด้วยน้ำกลั่น น้ำกลั่น (■) เอนไซม์ *Paenibacillus polymyxa* BTK01 (■) เอนไซม์ *Bacillus subtilis* BTK07 (■) น้ำหมัก *Paenibacillus polymyxa* BTK01 (■) และน้ำหมัก *Bacillus subtilis* BTK07 (■) บันทึกผล 0, 7, 14 และ 21 วัน 74
- 4.16 ความยาวรากของผักสลัดกรีนโอ๊คเมื่อรดด้วยน้ำกลั่น (ก) เอนไซม์ *Paenibacillus polymyxa* BTK01 (ข) เอนไซม์ *Bacillus subtilis* BTK07 (ค) น้ำหมัก *Paenibacillus polymyxa* BTK01 (ง) และน้ำหมัก *Bacillus subtilis* BTK07 (จ) บันทึกผลที่ 21 วัน 76

- 4.17 ค่าเฉลี่ยความยาวรากของผักสลัดกรีนโอ๊คเมื่อรดด้วยน้ำกลั่น น้ำกลั่น (■) เอนไซม์ *Paenibacillus polymyxa* BTK01 (■) เอนไซม์ *Bacillus subtilis* BTK07 (■) น้ำหมัก *Paenibacillus polymyxa* BTK01 (■) และน้ำหมัก *Bacillus subtilis* BTK07 (■) บันทึกผล 21 วัน 77
- 4.18 ค่าเฉลี่ยปริมาณจุลินทรีย์ในดินปลูกผักสลัดกรีนโอ๊คโดยดินก่อนปลูก (■) รดด้วย น้ำกลั่น (■) เอนไซม์ *Paenibacillus polymyxa* BTK01 (■) เอนไซม์ *Bacillus subtilis* BTK07 (■) น้ำหมัก *Paenibacillus polymyxa* BTK01 (■) และน้ำหมัก *Bacillus subtilis* BTK07 (■) บันทึกผล 21 วัน 83
- 4.19 ความสูงของผักสลัดกรีนโอ๊คเมื่อไม่แช่เมล็ด (T1) แช่เมล็ดในน้ำกลั่น (T2) เอนไซม์ *Paenibacillus polymyxa* BTK01 (T3) เอนไซม์ *Bacillus subtilis* BTK07 (T4) น้ำหมัก *Paenibacillus polymyxa* BTK01 (T5) และน้ำหมัก *Bacillus subtilis* BTK07 (T6) รดด้วยน้ำกลั่น บันทึกผล (ก) 7 วัน (ข) 14 วัน และ (ค) 21 วัน 85
- 4.20 ค่าเฉลี่ยความสูงของผักสลัดกรีนโอ๊คเมื่อไม่แช่เมล็ด (■) แช่เมล็ดในน้ำกลั่น (■) เอนไซม์ *Paenibacillus polymyxa* BTK01 (■) เอนไซม์ *Bacillus subtilis* BTK07 (■) น้ำหมัก *Paenibacillus polymyxa* BTK01 (■) และน้ำหมัก *Bacillus subtilis* BTK07 (■) รดด้วยน้ำกลั่น บันทึกผล 0, 7, 14 และ 21 วัน 86
- 4.21 ความกว้างทรงพุ่มของผักสลัดกรีนโอ๊คเมื่อไม่แช่เมล็ด (T1) แช่เมล็ดในน้ำกลั่น (T2) เอนไซม์ *Paenibacillus polymyxa* BTK01 (T3) เอนไซม์ *Bacillus subtilis* BTK07 (T4) น้ำหมัก *Paenibacillus polymyxa* BTK01 (T5) และน้ำหมัก *Bacillus subtilis* BTK07 (T6) รดด้วยน้ำกลั่น บันทึกผล (ก) 7 วัน (ข) 14 วัน และ (ค) 21 วัน 88
- 4.22 ค่าเฉลี่ยความกว้างทรงพุ่มของผักสลัดกรีนโอ๊คเมื่อไม่แช่เมล็ด (■) แช่เมล็ดในน้ำ กลั่น (■) เอนไซม์ *Paenibacillus polymyxa* BTK01 (■) เอนไซม์ *Bacillus subtilis* BTK07 (■) น้ำหมัก *Paenibacillus polymyxa* BTK01 (■) และน้ำหมัก *Bacillus subtilis* BTK07 (■) รดด้วยน้ำกลั่น บันทึกผล 0, 7, 14 และ 21 วัน 89



- 4.23 จำนวนใบของผักสลัดกรีนโอ๊คเมื่อไม่แช่เมล็ด (T1) แช่เมล็ดในน้ำกลั่น (T2) 91  
 เอนไซม์ *Paenibacillus polymyxa* BTK01 (T3) เอนไซม์ *Bacillus subtilis* BTK07 (T4) น้ำหมัก *Paenibacillus polymyxa* BTK01 (T5) และน้ำหมัก *Bacillus subtilis* BTK07 (T6) รดด้วยน้ำกลั่น บันทึกรผล (ก) 7 วัน (ข) 14 วัน และ (ค) 21 วัน
- 4.24 ค่าเฉลี่ยจำนวนใบของผักสลัดกรีนโอ๊คเมื่อไม่แช่เมล็ด (■) แช่เมล็ดในน้ำกลั่น (■) 92  
 เอนไซม์ *Paenibacillus polymyxa* BTK01 (■) เอนไซม์ *Bacillus subtilis* BTK07 (■) น้ำหมัก *Paenibacillus polymyxa* BTK01 (■) และน้ำหมัก *Bacillus subtilis* BTK07 (■) รดด้วยน้ำกลั่น บันทึกรผล 0, 7, 14 และ 21 วัน
- 4.25 ความยาวรากของผักสลัดกรีนโอ๊คเมื่อไม่แช่เมล็ด (ก) แช่เมล็ดในน้ำกลั่น (ข) 94  
 เอนไซม์ *Paenibacillus polymyxa* BTK01 (ค) เอนไซม์ *Bacillus subtilis* BTK07 (ง) น้ำหมัก *Paenibacillus polymyxa* BTK01 (จ) และน้ำหมัก *Bacillus subtilis* BTK07 (ฉ) รดด้วยน้ำกลั่น บันทึกรผล 21 วัน
- 4.26 ค่าเฉลี่ยความยาวรากของผักสลัดกรีนโอ๊คเมื่อไม่แช่เมล็ด (■) แช่เมล็ดในน้ำกลั่น (■) 95  
 เอนไซม์ *Paenibacillus polymyxa* BTK01 (■) เอนไซม์ *Bacillus subtilis* BTK07 (■) น้ำหมัก *Paenibacillus polymyxa* BTK01 (■) และน้ำหมัก *Bacillus subtilis* BTK07 (■) รดด้วยน้ำกลั่น บันทึกรผล 21 วัน
- 4.27 ค่าเฉลี่ยปริมาณจุลินทรีย์ในดินปลูกผักสลัดกรีนโอ๊คในดินก่อนปลูก (■) แช่เมล็ด 101  
 ในน้ำกลั่น (■) เอนไซม์ *Paenibacillus polymyxa* BTK01 (■) เอนไซม์ *Bacillus subtilis* BTK07 (■) น้ำหมัก *Paenibacillus polymyxa* BTK01 (■) และน้ำหมัก *Bacillus subtilis* BTK07 (■) รดด้วยน้ำกลั่น บันทึกรผล 21 วัน
- 4.28 ความสูงของผักสลัดกรีนโอ๊คเมื่อไม่แช่เมล็ด (T1) แช่เมล็ดในน้ำกลั่น (T2) 103  
 เอนไซม์ *Paenibacillus polymyxa* BTK01 (T3) เอนไซม์ *Bacillus subtilis* BTK07 (T4) น้ำหมัก *Paenibacillus polymyxa* BTK01 (T5) และน้ำหมัก *Bacillus subtilis* BTK07 (T6) รดด้วยน้ำหมัก *Bacillus subtilis* BTK07 บันทึกรผล (ก) 7 วัน (ข) 14 วัน และ (ค) 21 วัน
- 4.29 ค่าเฉลี่ยความสูงของผักสลัดกรีนโอ๊คเมื่อไม่แช่เมล็ด (■) แช่เมล็ดในน้ำกลั่น (■) 104  
 เอนไซม์ *Paenibacillus polymyxa* BTK01 (■) เอนไซม์ *Bacillus subtilis* BTK07 (■) น้ำหมัก *Paenibacillus polymyxa* BTK01 (■) และน้ำหมัก

- Bacillus subtilis* BTK07 (■) รดด้วยน้ำหมัก *Bacillus subtilis* BTK07 บันทึกลงผล 0, 7, 14 และ 21 วัน
- 4.30 ความกว้างทรงพุ่มของผักสลัดกรีนโอ๊คเมื่อไม่แช่เมล็ด (T1) แช่เมล็ดในน้ำกลั่น (T2) เอนไซม์ *Paenibacillus polymyxa* BTK01 (T3) เอนไซม์ *Bacillus subtilis* BTK07 (T4) น้ำหมัก *Paenibacillus polymyxa* BTK01 (T5) และน้ำหมัก *Bacillus subtilis* BTK07 (T6) รดด้วยน้ำหมัก *Bacillus subtilis* BTK07 บันทึกลงผล (ก) 7 วัน (ข) 14 วัน และ (ค) 21 วัน 106
- 4.31 ค่าเฉลี่ยความกว้างทรงพุ่มของผักสลัดกรีนโอ๊คเมื่อไม่แช่เมล็ด (■) แช่เมล็ดในน้ำกลั่น (■) เอนไซม์ *Paenibacillus polymyxa* BTK01 (■) เอนไซม์ *Bacillus subtilis* BTK07 (■) น้ำหมัก *Paenibacillus polymyxa* BTK01 (■) และน้ำหมัก *Bacillus subtilis* BTK07 (■) รดด้วยน้ำหมัก *Bacillus subtilis* BTK07 บันทึกลงผล 0, 7, 14 และ 21 วัน 107
- 4.32 จำนวนใบของผักสลัดกรีนโอ๊คเมื่อไม่แช่เมล็ด (T1) แช่เมล็ดในน้ำกลั่น (T2) เอนไซม์ *Paenibacillus polymyxa* BTK01 (T3) เอนไซม์ *Bacillus subtilis* BTK07 (T4) น้ำหมัก *Paenibacillus polymyxa* BTK01 (T5) และน้ำหมัก *Bacillus subtilis* BTK07 (T6) รดด้วยน้ำหมัก *Bacillus subtilis* BTK07 บันทึกลงผล (ก) 7 วัน (ข) 14 วัน และ (ค) 21 วัน 109
- 4.33 ค่าเฉลี่ยจำนวนใบของผักสลัดกรีนโอ๊คเมื่อไม่แช่เมล็ด (■) แช่เมล็ดในน้ำกลั่น (■) เอนไซม์ *Paenibacillus polymyxa* BTK01 (■) เอนไซม์ *Bacillus subtilis* BTK07 (■) น้ำหมัก *Paenibacillus polymyxa* BTK01 (■) และน้ำหมัก *Bacillus subtilis* BTK07 (■) รดด้วยน้ำหมัก *Bacillus subtilis* BTK07 บันทึกลงผล 0, 7, 14 และ 21 วัน 110
- 4.34 ค่าเฉลี่ยความยาวรากของผักสลัดกรีนโอ๊คเมื่อไม่แช่เมล็ด (ก) แช่เมล็ดในน้ำกลั่น (ข) เอนไซม์ *Paenibacillus polymyxa* BTK01 (ค) เอนไซม์ *Bacillus subtilis* BTK07 (ง) น้ำหมัก *Paenibacillus polymyxa* BTK01 (จ) และน้ำหมัก *Bacillus subtilis* BTK07 (ฉ) รดด้วยน้ำหมัก *Bacillus subtilis* BTK07 บันทึกลงผล (ก) 7 วัน (ข) 14 วัน และ (ค) 21 วัน 112
- 4.35 ค่าเฉลี่ยความยาวรากของผักสลัดกรีนโอ๊คเมื่อไม่แช่เมล็ด (■) แช่เมล็ดในน้ำกลั่น (■) เอนไซม์ *Paenibacillus polymyxa* BTK01 (■) เอนไซม์ *Bacillus subtilis* BTK07 (■) น้ำหมัก *Paenibacillus polymyxa* BTK01 (■) และน้ำหมัก 113

*Bacillus subtilis* BTK07 (■) รดด้วยน้ำหมัก *Bacillus subtilis* BTK07 บันทึกผล 0, 7, 14 และ 21 วัน

- 4.36 ค่าเฉลี่ยปริมาณจุลินทรีย์ในดินปลูกผักสลัดกรีนโอ๊คในดินก่อนปลูก (■) แซ่เม๊กลัด 119  
 ในน้ำกลั่น (■) เอนไซม์ *Paenibacillus polymyxa* BTK01 (■) เอนไซม์  
*Bacillus subtilis* BTK07 (■) น้ำหมัก *Paenibacillus polymyxa* BTK01 (■)  
 และน้ำหมัก *Bacillus subtilis* BTK07 (■) รดด้วยน้ำหมัก *Bacillus subtilis*  
 BTK07 บันทึกผล 21 วัน



## บทที่ 1

### บทนำ

#### 1.1 ที่มาและความสำคัญ

ผักสลัดกรีนโอ๊ค (*Lactuca sativa* Var. *Crispa* L.) จัดอยู่ในวงศ์ *Asteraceae* มีถิ่นกำเนิดในทวีปเอเชียและยุโรป ในประเทศไทยนิยมปลูกและบริโภคกันมากกว่าสายพันธุ์อื่น ๆ ผักสลัดประกอบด้วยน้ำร้อยละ 95 คาร์โบไฮเดรตร้อยละ 1-2 โปรตีนร้อยละ 1-2 และไขมันร้อยละ 0.25 มีพื้นที่ปลูกทั่วโลกมากกว่า 1.8 แสนเฮกตาร์ ให้ผลผลิตมากกว่า 42 ล้านตัน โดยประเทศจีนสามารถผลิตได้มากที่สุด คิดเป็น 72 เปอร์เซ็นต์ สหรัฐอเมริกา 9.12 เปอร์เซ็นต์ ส่วนประเทศไทยผลิตได้ 3 หมื่นตัน คิดเป็น 0.07 เปอร์เซ็นต์ (FAO, 2019) ผักสลัดกรีนโอ๊คมีใบลักษณะอ่อนนุ่ม รูปทรงนารับประทาน สามารถรับประทานสดโดยไม่ต้องปรุงแต่งอาหาร จึงนิยมนำไปประกอบเป็นอาหารเพื่อสุขภาพ เนื่องจากประกอบด้วยสารอาหารที่มีคุณค่าแก่ร่างกายหลายชนิด ได้แก่ แคลเซียม วิตามินเอ วิตามินซี และวิตามินอี นอกจากนั้นในผักสลัดกรีนโอ๊คยังมีรงควัตถุต่าง ๆ เช่น คลอโรฟิลล์ และแคโรทีนอยด์ (Llorach *et al.*, 2008) ซึ่งมีคุณสมบัติช่วยป้องกันโรคหัวใจ โรคเบาหวาน และช่วยลดความเสี่ยงจากโรคมะเร็งได้ (Tae-Rang *et al.*, 2011) จึงทำให้เป็นชนิดของผักสลัดที่ได้รับความนิยมบริโภคในกลุ่มคนรักสุขภาพเป็นอย่างมาก เนื่องด้วยผักสลัดกรีนโอ๊คสามารถเจริญเติบโตได้ดีในเกือบทุกสภาพอากาศ ปลูกได้ตลอดทั้งปี และมีอายุการเก็บเกี่ยวสั้น จึงนับเป็นพืชที่มีมูลค่าทางเศรษฐกิจที่สามารถสร้างรายได้ให้แก่เกษตรกรไทย อย่างไรก็ตามในกระบวนการผลิตเกษตรกรมักประสบปัญหาด้านการเพาะกล้าเนื่องจากเมล็ดพันธุ์มีขนาดเล็ก รูปร่างแบน น้ำหนักเบา และอาหารสะสมในเมล็ดน้อย ซึ่งส่งผลกระทบต่อความสม่ำเสมอในการงอกของเมล็ดและการเจริญของต้นกล้าที่ไม่แข็งแรง (Kangsopa and Siri, 2015) จึงทำให้เกษตรกรต้องนำเข้าเมล็ดพันธุ์จากต่างประเทศส่งผลให้เมล็ดพันธุ์มีราคาสูง ต้นทุนการผลิตสูงขึ้นตาม ดังนั้นเพื่อให้ได้ต้นกล้าผักสลัดกรีนโอ๊คที่มีเปอร์เซ็นต์การงอกสูงและต้นกล้าแข็งแรงเหมาะสำหรับการเพาะปลูก จึงจำเป็นต้องอนุบาลต้นกล้าเพื่อให้มีความงอกสม่ำเสมอและไม่เกิดโรคในระยะต้นกล้า การแช่เมล็ดเป็นการกระตุ้นการงอกโดยเพิ่มความชื้นและการนำพาสารออกฤทธิ์ให้ติดไปกับเมล็ดพันธุ์ซึ่งส่งผลให้เมล็ดพันธุ์มีความงอกและความเร็วในการงอกที่สูงขึ้น ซึ่งการผลิตพืชผักในระบบเคมีมีต้นทุนการผลิตสูง ส่งผลต่อสภาพแวดล้อมทำให้โครงสร้างของดินเสื่อมคุณภาพ จำนวนจุลินทรีย์ที่เป็นประโยชน์ในดินลดน้อยลง และสารเคมีที่ใช้ในระบบการผลิตอาจตกค้างส่งผลกระทบต่อผู้บริโภค รัฐบาลจึงสนับสนุนให้เกษตรกรผลิตพืชผักในระบบอินทรีย์ตามระบบมาตรฐานสินค้าเกษตรอินทรีย์ (มกช. 9000-2552) เพื่อให้ผู้บริโภคได้รับประทานพืชผักที่มีคุณภาพและปลอดภัย ระบบเกษตรอินทรีย์เป็นกลยุทธ์ที่ใช้ในการพัฒนาระบบการผลิตพืชผักของ

ประเทศต่าง ๆ รวมถึงประเทศไทย เพื่อให้เกิดการพัฒนาที่ยั่งยืนทั้ง 3 ด้านได้แก่ สิ่งแวดล้อม สังคม และเศรษฐกิจ ซึ่งสอดคล้องกับ Bio-Circular-Green Economy (BCG model) หรือ เศรษฐกิจชีวภาพ เศรษฐกิจหมุนเวียน และเศรษฐกิจสีเขียว คือ โมเดลเศรษฐกิจสู่การพัฒนาที่ยั่งยืนที่มุ่งเน้นการนำความรู้ด้านเทคโนโลยีชีวภาพมาใช้เพื่อเพิ่มมูลค่าผลิตภัณฑ์ทางการเกษตรและผลผลิตที่ปลอดภัยต่อผู้บริโภคซึ่งจะช่วยลดต้นทุนจากการใช้เคมีภัณฑ์ที่เป็นต้นทุนหลักของเกษตรกรไทย และลดผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมโดยรวมและในเชิงเศรษฐกิจการผลิตพืชผักในระบบเกษตรอินทรีย์ให้ผลตอบแทนสูงกว่าระบบการผลิตทั่วไป เนื่องจากสามารถขายผลผลิตได้ในราคาสูงขณะที่ต้นทุนการผลิตต่ำ (Srisompun *et al.*, 2019)

ดังนั้นการศึกษานี้จึงมุ่งเน้นการใช้ประโยชน์จากจุลินทรีย์และผลิตภัณฑ์จากจุลินทรีย์เพื่อส่งเสริมการเจริญเติบโตของพืช ซึ่งนอกจากจะช่วยเพิ่มผลผลิตทางการเกษตรได้อย่างมีประสิทธิภาพยังส่งผลให้ผลผลิตที่ได้มีความปลอดภัยจากสารพิษตกค้าง (Bush *et al.*, 1996) และดินบริเวณที่เพาะปลูกที่มีความอุดมสมบูรณ์แม้เพาะปลูกต่อเนื่องเป็นเวลานานเนื่องจากมีจุลินทรีย์ที่ทำหน้าที่หมุนเวียนธาตุอาหารในดินโดยเป็นผู้ย่อยสลายอินทรีย์วัตถุต่าง ๆ ให้เป็นธาตุอาหารอยู่ในรูปที่เป็นประโยชน์แก่พืช (Sivasakthi *et al.*, 2013) บทบาทของจุลินทรีย์ที่ส่งเสริมการเจริญเติบโตของพืช เช่น การตรึงไนโตรเจน ส่งเสริมการละลายฟอสฟอรัสในดิน และธาตุอาหารชนิดอื่น ๆ (Lugtenberg and Kamilova, 2009) นอกจากนั้นจุลินทรีย์ในดินยังสามารถผลิตฮอร์โมนพืช (Vessey, 2003) ผลิตสารปฏิชีวนะยับยั้งเชื้อรารวมถึงป้องกันการเข้าทำลายของเชื้อก่อโรคในพืช และผลิตเอนไซม์หลายชนิด (Glick, 2014) ซึ่งจุลินทรีย์หนึ่งสายพันธุ์อาจมีหนึ่งกลไกหรือมากกว่าหนึ่งกลไกที่เป็นประโยชน์ต่อพืช จากงานวิจัยของ Ahmad *et al.* (2019) พบว่า *Bacillus subtilis* B4 ส่งเสริมการเจริญเติบโตของถั่วลิสง และผลิตสารควบคุมทางชีวภาพที่เป็นปฏิปักษ์ต่อเชื้อก่อโรค *Rhizoctonia solani* และ *Sclerotium rolfsii* ในถั่วลิสงได้ นอกจากนั้นจากงานวิจัยของ Eastman *et al.* (2014) พบว่า *Paenibacillus polymyxa* E681 แยกได้จากดินบริเวณรอบรากพืชสามารถเพิ่มการละลายฟอสฟอรัสในดิน ผลิต indole acetic acid (IAA) ผลิตเอนไซม์ และผลิตสารต้านจุลชีพได้ และจากงานวิจัยของ Chantorn *et al.* (2021) พบว่า *B. subtilis* BTK07 และ *P. polymyxa* BTK01 ซึ่งคัดแยกได้จากดินในนาข้าวอินทรีย์สามารถผลิตเอนไซม์แมนนาเนสและไซลาเนสคุณภาพสูงโดยใช้ต้นทุนวัตถุดิบในการเพาะเลี้ยงต่ำ จึงมีความน่าสนใจที่จะศึกษาประสิทธิภาพของน้ำหมักที่ประกอบไปด้วยเซลล์แบคทีเรียและเอนไซม์สกัดหยาบจากแบคทีเรียทั้ง 2 สายพันธุ์ในการส่งเสริมการออกของเมล็ดผักสลัดกรีนโอ๊ค ตลอดจนการเจริญเติบโตของผักสลัดสายพันธุ์กรีนโอ๊ค เพื่อเป็นแนวทางการใช้ประโยชน์จากแบคทีเรียที่คัดแยกได้จากธรรมชาติที่มีต้นทุนการผลิตต่ำ แต่ให้

ผลผลิตทางการเกษตรคุณภาพสูง เพื่อแนวทางสู่ระบบเกษตรที่ปลอดภัยต่อเกษตรกร ผู้บริโภค และสิ่งแวดล้อมอย่างยั่งยืน

## 1.2 วัตถุประสงค์ของงานวิจัย

1.2.1 เพื่อศึกษาคุณสมบัติของน้ำหมักและเอนไซม์ที่ผลิตจาก *Bacillus subtilis* BTK07 และ *Paenibacillus polymyxa* BTK01

1.2.2 เพื่อศึกษาผลของน้ำหมักและเอนไซม์ที่ผลิตจาก *Bacillus subtilis* BTK07 และ *Paenibacillus polymyxa* BTK01 ต่อการงอกของเมล็ดและการเจริญเติบโตของผักสลัดกรีนโอ๊ค

## 1.3 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

ทราบถึงสถานะที่เหมาะสมต่อการทำงานของเอนไซม์ที่ผลิตจาก *Bacillus subtilis* BTK07 และ *Paenibacillus polymyxa* BTK01 โดยน้ำหมักและเอนไซม์จากแบคทีเรียทั้ง 2 สายพันธุ์สามารถส่งเสริมการงอกของเมล็ดและการเจริญเติบโตของผักสลัดกรีนโอ๊คได้

## 1.4 ขอบเขตของงานวิจัย

ศึกษาพีเอชและอุณหภูมิที่มีผลต่อการทำงานของเอนไซม์ที่ผลิตจาก *Bacillus subtilis* BTK07 และ *Paenibacillus polymyxa* BTK01 จากนั้นศึกษาประสิทธิภาพของน้ำหมักและเอนไซม์ต่อการงอกของเมล็ดพันธุ์โดยใช้วิธีการแช่เมล็ด ตลอดจนการเจริญเติบโตของผักสลัดกรีนโอ๊คโดยการติดตามความสูง ความกว้างทรงพุ่ม จำนวนใบต่อต้น ความยาวราก ปริมาณจุลินทรีย์ในดิน และคุณสมบัติทางกายภาพและเคมีของดินที่เปลี่ยนแปลงไป ได้แก่ พีเอช อินทรีย์วัตถุ ไนโตรเจน ฟอสฟอรัส โพแทสเซียม แมกนีเซียม และเหล็ก

## 1.5 สถานที่ทำการทดลอง

ห้องปฏิบัติการ Pro-Prebiotic (B503-6) ห้องปฏิบัติการพันธุ์วิศวกรรม (B403) ห้องปฏิบัติการสรีรวิทยาพืช (B405-7) และโรงเรียนสาขาวิชาเทคโนโลยีการเกษตร อาคารบรรยายรวม 5 คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์ ศูนย์รังสิต

## บทที่ 2

### วรรณกรรมและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

#### 2.1 จุลินทรีย์กับการเกษตร

จุลินทรีย์เป็นสิ่งมีชีวิตขนาดเล็กต้องอาศัยกล้องจุลทรรศน์ส่องจึงจะมองเห็นเซลล์และรูปร่างได้ ซึ่งเซลล์ของแบคทีเรียมีขนาดประมาณ 1 ส่วนในล้านส่วนของเมตร เรียกว่า 1 ไมโครเมตร หรือไมครอน โดยมีขนาดเล็กกว่าเซลล์พืชและเซลล์สัตว์ แต่ถ้าจุลินทรีย์มีการเจริญเติบโตด้วยการแบ่งตัวเพิ่มจำนวน และรวมกันอยู่เป็นล้าน ๆ เซลล์ เรียกว่า โคโลนี (colony) จุลินทรีย์มีบทบาทสำคัญในธรรมชาติและมีความสัมพันธ์กับพืช สัตว์ และมนุษย์ ตามธรรมชาติที่มีความอุดมสมบูรณ์จะมีความหลากหลายของชนิดและจำนวนจุลินทรีย์มาก เช่น แบคทีเรีย ยีสต์ รา แอคติโนมัยซิส และสาหร่าย เป็นต้น ความสัมพันธ์ทางระบบนิเวศของจุลินทรีย์ในดินบางชนิดเอื้ออำนวยซึ่งกันและกัน บางชนิดเกิดการแข่งขันซึ่งกันและกัน บางชนิดปลดปล่อยสารปฏิชีวนะเพื่อจำกัดการเจริญเติบโตของอีกชนิดหนึ่ง ความสัมพันธ์ทางระบบนิเวศดังกล่าวก่อให้เกิดการปรับปรุงคุณสมบัติของดินและช่วยเพิ่มผลผลิตพืช จึงมีการนำจุลินทรีย์มาใช้ประโยชน์ทางการเกษตรโดยอาศัยความสามารถของจุลินทรีย์ในการย่อยสลายอินทรีย์สาร เช่น จุลินทรีย์ย่อยเซลลูโลส จุลินทรีย์ย่อยสลายโปรตีน และจุลินทรีย์ย่อยสลายฟอสฟอรัส ซึ่งมีบทบาทอย่างมากในการย่อยสลายอินทรีย์สารจากโครงสร้างใหญ่เป็นหน่วยย่อยและช่วยปลดปล่อยธาตุอาหารที่เป็นประโยชน์ต่อพืช ซึ่งผลพลอยได้จากการย่อยสลายอินทรีย์สารจะทำให้เกิดการหมุนเวียนสู่ดินทำให้เกิดการเพิ่มปริมาณธาตุอาหารในดินทั้งธาตุอาหารหลัก ธาตุอาหารรอง และจุลธาตุในรูปที่พืชสามารถนำไปใช้ประโยชน์ได้ (Kloepper, 1978) จะเห็นว่าจุลินทรีย์มีบทบาทสำคัญในการเกษตรที่เกี่ยวข้องกับการหมุนเวียนธาตุอาหารในดิน รวมถึงการเปลี่ยนรูปจากสารอินทรีย์ไปเป็นสารอนินทรีย์เพื่อเพิ่มความเป็นประโยชน์ของธาตุอาหารพืช การแปรสภาพอินทรีย์สาร หรือแร่ธาตุจากรูปที่ไม่เป็นประโยชน์ให้อยู่ในรูปที่เป็นประโยชน์กับพืช การผลิตสารที่ส่งเสริมการเจริญเติบโตของพืช และบทบาทในการควบคุมศัตรูพืช เป็นต้น ปัจจุบันหลายประเทศทั่วโลกสนใจการนำจุลินทรีย์มาใช้ประโยชน์ในกระบวนการบริหารจัดการเกษตรแบบยั่งยืนเพิ่มมากขึ้น ซึ่งเป็นระบบการเกษตรที่สอดคล้องกับกรอบหลักการพัฒนาในช่วงปี พ.ศ. 2559-2573 ของที่ประชุมสหประชาชาติ โดยกำหนดเป็นเป้าหมายการพัฒนาที่ยั่งยืน (sustainable development goals, SDGs) ของประเทศสมาชิก เพื่อแก้ไขปัญหาสถานะโลกร้อนและระบบนิเวศที่เสื่อมโทรมลงดังที่มนุษย์กำลังเผชิญอยู่ การทำเกษตรยั่งยืนให้ความสำคัญกับความสมบูรณ์ของดินที่ประกอบด้วยอินทรีย์สารอนินทรีย์สาร แร่ธาตุ และน้ำเป็นหลัก ประเทศไทย มีกรอบการพัฒนาประเทศภายใต้เป้าหมายการพัฒนาที่ยั่งยืน เพื่อบรรลุวิสัยทัศน์ “ประเทศไทยมีความมั่นคง มั่งคั่ง ยั่งยืน เป็นประเทศพัฒนาแล้ว



ด้วยการพัฒนาตามปรัชญาของเศรษฐกิจพอเพียง” นำไปสู่การพัฒนาให้คนไทยมีความสุขและตอบสนองการบรรลุผลประโยชน์แห่งชาติบนการเติบโตที่เป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อม เพื่อการพัฒนาอย่างยั่งยืน รวมถึงการจัดการเกษตรอินทรีย์อย่างเป็นระบบ (สำนักงานนโยบายและแผนทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม, 2560:57)

การประยุกต์ใช้เทคโนโลยีชีวภาพเพื่อนำจุลินทรีย์ที่เป็นประโยชน์ต่อการเกษตรมาส่งเสริมการเจริญเติบโตของพืชโดยผ่านการทำปุ๋ยหมักแห้ง ปุ๋ยหมักน้ำ ปุ๋ยชีวภาพ รวมถึงการควบคุมแมลงศัตรูพืชและโพรไบโอติกในอาหารสัตว์ ดังแสดงในตารางที่ 2.1 ซึ่งตอบสนองต่อประเด็นความเป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อมการสร้างความยั่งยืนโดยการลดต้นทุนเพิ่มผลผลิตซึ่งถือเป็นการจัดการอย่างชาญฉลาดด้วยความรู้ในคุณค่าของทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม อีกทั้งยังลดการพึ่งพาปัจจัยการผลิตภายนอกเช่นปุ๋ยเคมีและสารปราบศัตรูพืช ดังนั้นจึงส่งผลต่อเศรษฐกิจในด้านการลดปริมาณและทดแทนการใช้สารเคมีต่าง ๆ ซึ่งช่วยให้เกษตรกรและผู้สนใจสามารถลดต้นทุนการผลิตลงได้รวมถึงเสริมสร้างรากฐานความมั่นคงของผลผลิตทางการเกษตรและพัฒนาทรัพยากรที่มีอยู่ตามธรรมชาติมาใช้ให้เกิดประโยชน์สูงสุดต่อมนุษยชาติทั้งปัจจุบันและในอนาคตอย่างยั่งยืน

ตารางที่ 2.1 จุลินทรีย์ที่มีประโยชน์ทางการเกษตร

| จุลินทรีย์                       | ชนิดพืช                 | ประโยชน์ทางการเกษตร                            | เอกสารอ้างอิง                       |
|----------------------------------|-------------------------|------------------------------------------------|-------------------------------------|
| <b>1. แบคทีเรีย</b>              |                         |                                                |                                     |
| <i>Azoarcus</i> sp. BH72         | ข้าว                    | ตรึงไนโตรเจน                                   | Krause <i>et al.</i> (2006)         |
| <i>Azospirillum</i> sp. B510     | ข้าว                    | ตรึงไนโตรเจน, ผลิตฮอโมนพืช                     | Kaneko <i>et al.</i> (2010)         |
| <i>Azospirillum lipoferum</i> 4B | ข้าว, ข้าวโพด, ข้าวสาลี | ตรึงไนโตรเจน, ผลิตฮอโมนพืช                     | Wisniewski-Dyé <i>et al.</i> (2011) |
| <i>Bacillus subtilis</i> 7PJ-16  | มันเบอรี่               | ปุ๋ยชีวภาพ, สารกำจัดศัตรูพืชและเชื้อราโรคในพืช | Xu <i>et al.</i> (2019)             |

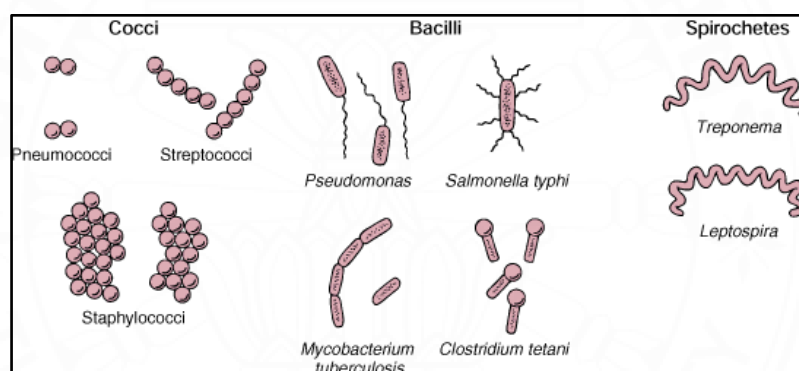


ตารางที่ 2.1 จุลินทรีย์ที่มีประโยชน์ทางการเกษตร (ต่อ)

| จุลินทรีย์                           | ชนิดพืช                                  | ประโยชน์ทางการเกษตร                                                  | เอกสารอ้างอิง                           |
|--------------------------------------|------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------|
| <b>1. แบคทีเรีย</b>                  |                                          |                                                                      |                                         |
| <i>Bacillus toyonensis</i><br>COPE52 | บุลเบอร์รี่                              | ยับยั้งเชื้อราก่อโรคในพืช                                            | Contreras-Pérez<br><i>et al.</i> (2019) |
| <i>Bacillus</i> sp. Strain WR11      | ข้าวสาลี                                 | ส่งเสริมการเจริญเติบโต<br>ของพืชโดยผลิตสารให้<br>พืชทนต่อสภาวะเครียด | Chen <i>et al.</i><br>(2020)            |
| <i>Enterobacter</i> sp. J49          | ถั่วลิสง,<br>ข้าวโพด                     | ปุ๋ยชีวภาพ                                                           | Ludueña <i>et al.</i><br>(2019)         |
| <i>Klebsiella variicola</i><br>GN02  | <i>Pennisetum</i><br><i>sinense</i>      | ตรึงไนโตรเจน                                                         | Lin <i>et al.</i> (2019)                |
| <i>Paenibacillus</i> sp. JZ16        | <i>Zygophyllum</i><br><i>Simplex</i>     | ส่งเสริมการเจริญเติบโต<br>ของพืชโดยผลิตสารให้<br>พืชทนต่อสภาวะเครียด | Eida <i>et al.</i> (2020)               |
| <i>Pantoea ananatis</i> Sd-1         | ข้าว                                     | ผลิตลิกลินเซลลูโลติกเอน<br>ไซม์                                      | Ma (2016)                               |
| <b>2. รา</b>                         |                                          |                                                                      |                                         |
| <i>Microdochium bolleyi</i>          | <i>Ammophila</i><br><i>breviligulata</i> | ต้านทานต่อสภาวะ<br>เครียด                                            | David <i>et al.</i><br>(2016)           |
| <i>Pestalotiopsis fici</i>           | <i>Camellia</i><br><i>sinensis</i>       | ผลิตสารออกฤทธิ์ทาง<br>ชีวภาพ                                         | Wang <i>et al.</i><br>(2015)            |
| <i>Piriformospora indica</i>         | ข้าวบาร์เลย์                             | ผลิตสารออกฤทธิ์ทาง<br>ชีวภาพ                                         | Schardl <i>et al.</i><br>(2010)         |
| <i>Xylona heveae</i>                 | ยาง                                      | ผลิตสารเมแทบอลิท์<br>ทุติยภูมิ                                       | Gazis <i>et al.</i><br>(2016)           |

### 2.1.1 แบคทีเรีย

แบคทีเรียเป็นจุลินทรีย์โปรคาริโอตมีลักษณะเป็นเซลล์เดี่ยวมีขนาด 0.3-2.0 ไมโครเมตร ไม่สามารถมองเห็นได้ด้วยตาเปล่าต้องใช้กล้องจุลทรรศน์กำลังขยาย 1,000 เท่า จึงจะเห็นชัด รูปร่างมีหลายลักษณะ ส่วนใหญ่มีรูปร่างกลม (coccus) รูปร่างท่อน (bacillus) และรูปร่างเกลียว (spiral) อาจมีหาง (flagella) สำหรับใช้ในการเคลื่อนที่เข้าหาอาหารหรือสิ่งเร้า ดังแสดงในภาพที่ 2.1 แบคทีเรียสามารถเพิ่มจำนวนได้อย่างรวดเร็วโดยการแบ่งเซลล์ (binary fission) และจะมองเห็นได้ด้วยตาเปล่าเมื่อรวมกันเป็นโคโลนี ซึ่งโคโลนีจะมีลักษณะแตกต่างกัน เช่น ขอบกลม นูน โค้งยกตัวสูงขึ้น หรือทึบแสง โปร่งแสง และมีสีที่แตกต่างกัน นอกจากนี้ยังมีแบคทีเรียอยู่รวมกันเป็นกลุ่มโดยเซลล์มาเรียงต่อกันเป็นสายใยคล้ายเชื้อรา คือ แอคติโนมัยซีส (actinomycetes) ซึ่งมีบทบาทสำคัญในกระบวนการหมักปุ๋ย และยังมีส่วนสร้างความสมดุลของจุลินทรีย์ในเชิงปริมาณ

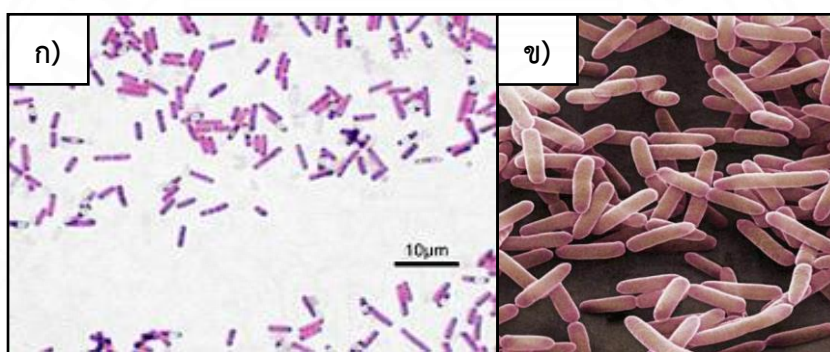


ภาพที่ 2.1 รูปร่างของแบคทีเรีย

ที่มา: <https://www.foodnetworksolution.com/wiki/word/bacteria>

ในงานวิจัยนี้ใช้แบคทีเรีย 2 สายพันธุ์ ได้แก่ *Bacillus subtilis* BTK07 และ *Paenibacillus polymyxa* BTK01 ซึ่ง *B. subtilis* เป็นแบคทีเรียแกรมบวก ลักษณะรูปร่างเป็นแท่งตรงมี flagella อยู่รอบเซลล์ (peritrichous) มีความยาวประมาณ  $1.07 \pm 0.09$  ไมโครเมตร และมีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางประมาณ  $0.48 \pm 0.03$  ไมโครเมตร (Carrera *et al.*, 2007) ดังแสดงในภาพที่ 2.2 เป็นแบคทีเรียไม่ก่อโรค ไม่มีความเป็นอันตรายต่อมนุษย์และสัตว์ ต้องการออกซิเจนในการเจริญเติบโต พบได้ทั่วไปในน้ำ ดิน หรืออากาศ สามารถสร้างเอนโดสปอร์ที่ช่วยให้ทนทานเมื่ออยู่ในสภาพแวดล้อมที่ไม่เหมาะสม เช่น สภาพแวดล้อมที่ร้อนจัด หรือแห้งจัด โดยจะอยู่ในรูปของสปอร์ และสามารถผลิตเอนไซม์แอมโมนาเนสและไฮโดรลัสได้ อีกทั้งยังจัดเป็นแบคทีเรียที่ส่งเสริมการเจริญเติบโตของพืช *Bacillus* sp. มักจะถูกใช้เป็นปุ๋ยชีวภาพเนื่องจากส่งเสริมการเจริญเติบโตของพืช

โดยการผลิตฮอร์โมนพืช (Amer and Utkhede, 2000) อีกทั้งยังกระตุ้นการเจริญเติบโตของพืชโดยการละลายธาตุอาหารในดิน เช่น ไนโตรเจน (N) ฟอสฟอรัส (P) โพแทสเซียม (K) และธาตุเหล็ก (Fe) เป็นต้น จากงานวิจัยของ Abbasdokht and Gholami (2010) พบว่า *Bacillus* sp. สามารถผลิตสารส่งเสริมการเจริญเติบโตของพืช ได้แก่ ออกซิน (auxin) จิบเบอเรลลิน (gibberellin) ไซโตไคนิน (cytokinin) ซิเดอโรฟอรัส (siderophore) และ ไฮโดรเจนไซยาไนด์ (hydrogen cyanide: HCN) นอกจากนี้ Orhan *et al.* (2006) รายงานว่า *Bacillus* sp. มีศักยภาพในการเพิ่มผลผลิต และธาตุอาหารในรากเบอร์รี่ เมื่อทำการเพาะปลูกในสภาวะที่ไม่มีการเติมสารเคมี สอดคล้องกับ Kaymak *et al.* (2008) รายงานว่า *B. megaterium* สามารถส่งเสริมการเจริญของรากทั้งความยาวและน้ำหนักแห้งเมื่อเติมลงในการเพาะปลูกสาระแทน และ Hafeez *et al.* (2006) รายงานว่า *B. pumilus* สามารถใช้ในการผลิตปุ๋ยชีวภาพเพื่อเพิ่มผลผลิตให้กับข้าวสาลีได้

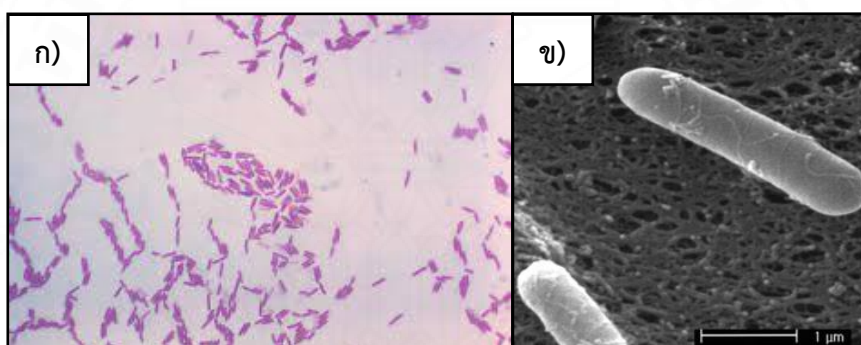


ภาพที่ 2.2 ลักษณะของ *Bacillus* sp. (ก) Gram strain (ข) Scanning electron

ที่มา: [https://en.wikipedia.org/wiki/Bacillus\\_subtilis](https://en.wikipedia.org/wiki/Bacillus_subtilis)

*Paenibacillus polymyxa* (ชื่อเดิม *Bacillus polymyxa*) จัดอยู่ในวงศ์ *Paenibacillaceae* สกุล *Paenibacillus* เป็นแบคทีเรียที่มีลักษณะเป็นแท่ง ย้อมติดสีแกรมบวก ดังแสดงในภาพที่ 2.3 ไม่ก่อโรคในคนและสัตว์ สามารถสร้างสปอร์โดยที่สปอร์สามารถทนต่อความร้อน ความแห้ง สารเคมี และสภาวะแวดล้อมที่ไม่เหมาะสมต่าง ๆ สามารถเจริญเติบโตได้ดีในสภาวะที่มีออกซิเจนและไม่มีออกซิเจน มักพบได้ในดิน พืช ตะกอนทะเล หรือแม้แต่ในตัวของแมลง (Raza *et al.*, 2015) เป็นที่รู้จักกันอย่างแพร่หลายว่าแบคทีเรียในจีนัส *Paenibacillus* มีคุณสมบัติในการตรึงไนโตรเจนให้แก่พืช ยกตัวอย่าง *P. polymyxa*, *P. odorifer*, *P. graminis*, *P. peoriae* และ *P. brasilensis* ส่งเสริมการละลายของฟอสฟอรัส (P) และเหล็ก (Fe) หมุนเวียนธาตุอาหาร ผลิตฮอร์โมนพืชบางชนิด ผลิตเอ็กโซพอลิแซ็กคาไรด์ (exopolysaccharides) รวมถึงผลิตสารปฏิชีวนะควบคุมโรคพืช นอกจากนี้ *P. polymyxa* แสดงให้เห็นถึงการเปลี่ยนวัสดุเหลือทิ้งทางการเกษตรไปสู่

ผลิตภัณฑ์ที่มีมูลค่าที่มีความต้องการสูงจึงได้รับการคัดเลือกให้เป็นจุลินทรีย์สำหรับการผลิตปุ๋ยชีวภาพ โดยอาศัยกระบวนการทางเทคโนโลยีชีวภาพ จากงานวิจัยของ Shi *et al.* (2017) พบว่า *P. polymyxa* NSY50 ยับยั้งโรคเหี่ยวในแตงกวาที่เกิดจากเชื้อรา *Fusarium* ได้ถึง 56.4 เปอร์เซ็นต์ นอกจากนี้สามารถเปลี่ยนแปลงคุณสมบัติทางกายภาพของดิน เช่น ค่าพีเอช, microbial biomass carbon ( $C_{mic}$ ), basal respiration ( $R_{mic}$ ), total organic carbon ( $C_{org}$ ) และไนโตรเจนทั้งหมด กิจกรรมของเอนไซม์ยูรีเอสและเบต้า-กลูโคซิเดสเพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญถึง 2.25 และ 2.64 เท่า ตามลำดับ จากงานวิจัยของ Dijksterhuis *et al.* (1999) พบว่า *P. polymyxa* T129 ที่แยกได้จากดิน สามารถผลิตสารควบคุมทางชีวภาพยับยั้ง *Fusarium oxysporum* ได้ นอกจากนี้ *P. polymyxa* มีความสามารถในการผลิตแมนนาเนสและไซลานเนส ซึ่งมีคุณสมบัติย่อยสลายประกอบแมนแนน (Chung *et al.*, 2017) และสารประกอบไซแลน (Walia *et al.*, 2013) ที่เป็นองค์ประกอบในผนังเซลล์พืชได้

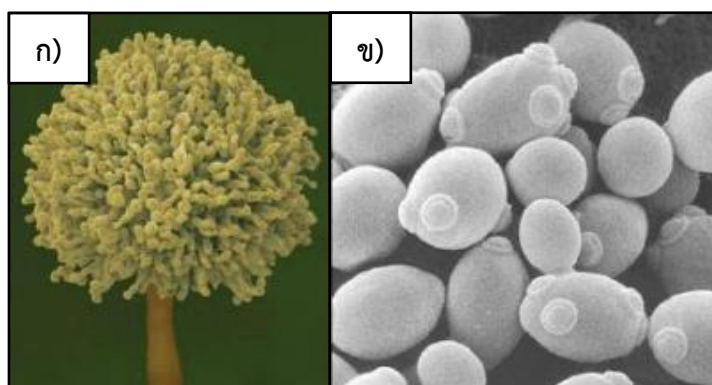


ภาพที่ 2.3 ลักษณะของ *Paenibacillus* sp. (ก) Gram strain (ข) Scanning electron microscope

ที่มา: [https://microbewiki.kenyon.edu/index.php/Paenibacillus\\_polymyxa](https://microbewiki.kenyon.edu/index.php/Paenibacillus_polymyxa)

### 2.1.2 ฟังไจ

จุลินทรีย์ประเภทฟังไจเป็นสิ่งมีชีวิตขนาดเล็ก ในกลุ่มยูคาริโอตที่ประกอบด้วย รา (mold) และยีสต์ (yeast) มีลักษณะเป็นเส้นใยคล้ายเส้นด้ายซึ่งสามารถแตกกิ่งก้านสาขาได้ เส้นใยมีสีต่างกันขึ้นอยู่กับชนิด และสามารถสร้างส่วนขยายพันธุ์ที่เรียกว่าสปอร์ได้ ดังแสดงในภาพที่ 2.4 นอกจากนี้เมื่อเส้นใยเกิดการหักหรือแยกออกจากกันจะสามารถงอกและเจริญยืดยาวต่อไปได้ โดยสามารถเจริญหรืองอกได้ทั้งบนพืชและบนสิ่งมีชีวิตชนิดอื่น ๆ ในสภาพความชื้นที่เหมาะสม ส่วนใหญ่ดำรงชีวิตแบบผู้ย่อยสลาย ดังนั้นฟังไจจึงเป็นจุลินทรีย์ที่มีความสำคัญต่อการเกษตร นั่นคือเป็นตัวเริ่มต้นที่ทำให้เกิดการหมุนเวียนแร่ธาตุต่าง ๆ จากวัสดุอินทรีย์กลับคืนสู่ดิน ซึ่งสามารถใช้กล้าเชื้อในการทำปุ๋ยหมัก น้ำหมักชีวภาพ อีกทั้งเชื้อราบางชนิดสามารถควบคุมโรคพืชได้

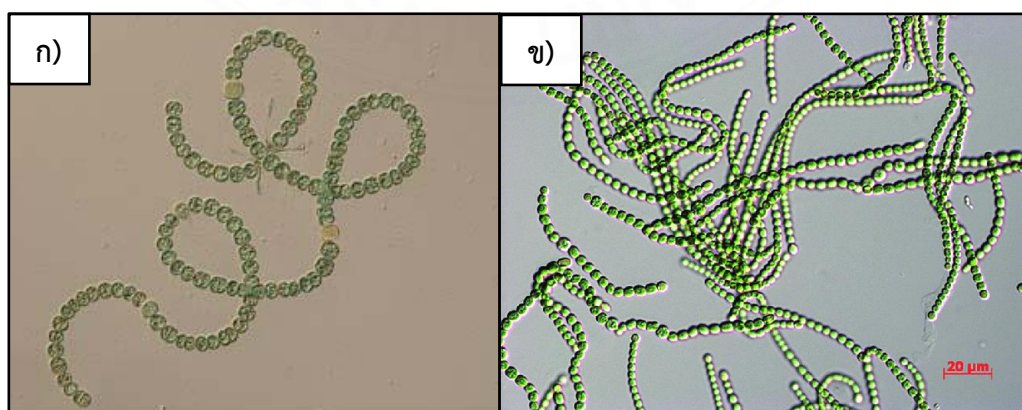


ภาพที่ 2.4 ลักษณะโครงสร้างของ (ก) เชื้อรา และ (ข) ยีสต์

ที่มา: [https://www.pw.ac.th/main/website/sci/1\\_data.htm](https://www.pw.ac.th/main/website/sci/1_data.htm)

### 2.1.3 สาหร่าย

สาหร่ายสีเขียวแกมน้ำเงินหรือไซยาโนแบคทีเรียเป็นสิ่งมีชีวิตขนาดเล็ก เป็นเซลล์โปรคาริโอต ซึ่งเป็นผู้ผลิตลำดับแรกในระบบนิเวศเนื่องจากสามารถสังเคราะห์แสงได้ พบได้ในสิ่งแวดล้อมที่มีความหลากหลาย ได้แก่ พื้นดินที่มีความชื้น บ่อน้ำ แม่น้ำ และทะเล (Rai, 1997) รูปร่างของสาหร่ายสีเขียวแกมน้ำเงิน มี 2 แบบ คือ เซลล์เดี่ยว (single cell cyanobacteria) หรือไม่เป็นเส้นสาย (non-filamentous cyanobacteria) และแบบเส้นสาย (filamentous cyanobacteria) ดังแสดงในภาพที่ 2.5 สาหร่ายมีความสำคัญต่อการทำเกษตรเนื่องจากสามารถตรึงไนโตรเจนได้ โดยใช้เป็นปุ๋ยชีวภาพ แต่ขึ้นอยู่กับวิธีการเก็บรักษาทำให้สาหร่ายมีชีวิตและเพิ่มจำนวนได้ในปริมาณมาก เช่น *Anabaena* sp. และ *Nostoc* sp. ช่วยลดการใส่ปุ๋ยไนโตรเจนในนาข้าวลงได้ (Sinha *et al.*, 2002)



ภาพที่ 2.5 ลักษณะโครงสร้างของ (ก) *Anabaena* sp. และ (ข) *Nostoc* sp.

ที่มา: <https://en.wikipedia.org/wiki/Cyanobacteria>



### 2.1.4 โปรโตซัว

ดินที่มีอินทรีย์วัตถุจำนวนมากมักพบโปรโตซัว ซึ่งเป็นสิ่งมีชีวิตขนาดเล็กที่มีความสำคัญต่อระบบนิเวศ โดยโปรโตซัวทำหน้าที่เป็นผู้ย่อยสลาย คือ กินจุลินทรีย์และปลดปล่อยธาตุอาหาร ซึ่งแบคทีเรียที่ถูกโปรโตซัวกินมักเป็นกลุ่มที่ไม่สร้างสารพิษ ดังนั้นโปรโตซัวจึงมีส่วนช่วยสร้างความอุดมสมบูรณ์ให้แก่ดิน ในสภาวะที่ดินมีความชื้นและอาหารอย่างเพียงพอจะพบโปรโตซัวอาศัยอยู่เป็นจำนวนมาก เนื่องจากโปรโตซัวมีความสัมพันธ์กับวัฏจักรของธาตุอาหารในดิน ดังนั้นโปรโตซัวจึงเป็นอีกหนึ่งตัวชี้วัดความอุดมสมบูรณ์ของดิน ซึ่งบริเวณที่พบโปรโตซัวก็มักจะพบแบคทีเรียที่มีความสามารถในการผลิตฮอร์โมนพืช เช่น ออกซิน จึงทำให้เกิดการแตกแขนงรากฝอยของพืชเป็นไปอย่างรวดเร็ว

### 2.1.5 ไวรัส

ไวรัสเป็นอนุภาคขนาดเล็กที่สามารถเพิ่มจำนวนภายในเซลล์สิ่งมีชีวิตอื่น ๆ ได้ทั้งในสัตว์ พืช จุลินทรีย์รวมทั้งแบคทีเรียและอาร์เคีย (Koonin *et al.*, 2006) ไวรัสมีรูปร่างหลากหลาย เช่น ท่อน กลม เส้นสาย และเกลียว เป็นต้น ไวรัสสามารถถ่ายทอดทางแมลง (insect transmission) ไร (mite transmission) ไส้เดือนฝอย (nematode transmission) เชื้อรา (fungus transmission) เมล็ด (seed transmission) และดิน (soil transmission) เป็นต้น (Roossinck *et al.*, 2015)

## 2.2 บทบาทของจุลินทรีย์ที่มีประโยชน์ทางการเกษตร

จุลินทรีย์จำพวกแบคทีเรียที่เป็นประโยชน์ต่อพืชและดินมีบทบาทสำคัญต่อการเกษตรในด้านต่าง ๆ ได้แก่ การย่อยสลายสารอินทรีย์ไปเป็นสารอนินทรีย์หรือแร่ธาตุจากรูปที่ไม่เป็นประโยชน์ให้อยู่ในรูปที่เป็นประโยชน์แก่พืช การหมุนเวียนธาตุอาหารในดิน การเพิ่มความเป็นประโยชน์ของธาตุอาหารพืช การผลิตสารที่ส่งเสริมการเจริญเติบโตของพืช และการปรับสมดุลให้ดินเหมาะแก่การเจริญเติบโตของพืช เป็นต้น ซึ่งเป็นคุณสมบัติที่สำคัญของแบคทีเรียส่งเสริมการเจริญเติบโตของพืช หรือ Plant Growth Promoting Rhizobacteria (PGPR) คือแบคทีเรียที่เป็นประโยชน์ต่อพืชอาศัยอยู่บริเวณเขตอติพิลลารากพืช (Reddy, 2014) ถูกค้นพบครั้งแรกในปี ค.ศ. 1888 โดย Martinus Willem Beijerinck ได้แยกแบคทีเรีย *Bacillus radicola* จากปมรากพืช (Laranjo *et al.*, 2014) ที่สามารถเปลี่ยนแก๊สไนโตรเจนจากบรรยากาศไปเป็นไนโตรเจนรูปที่เป็นประโยชน์ ซึ่งพืชสามารถนำไปใช้ได้ ปัจจุบันนิยมนำมาผสมเป็นส่วนประกอบของปุ๋ยชีวภาพ (Karlidag *et al.*, 2007) ซึ่งแบคทีเรียในกลุ่ม PGPR มีหลากหลายชนิด ได้แก่ *Azospirillum*,

*Alcaligenes, Arthrobacter, Acinetobacter, Bacillus, Burkholderia, Enterobacter, Flavobacterium, Paenibacillus, Pseudomonas, Rhizobium* และ *Serratia* เป็นต้น (Tilak *et al.*, 2005)

กลไกการทำงานของแบคทีเรียที่มีคุณสมบัติในการส่งเสริมการเจริญเติบโตของพืชมี 2 กลไกกล่าวคือ กลไกที่ส่งเสริมการเจริญเติบโตทางตรงและทางอ้อมแก่พืช ซึ่งกลไกที่ส่งเสริมการเจริญเติบโตทางตรง ได้แก่ การตรึงแก๊สไนโตรเจนจากบรรยากาศ (Vessey, 2003) มีความสามารถในการละลายธาตุฟอสฟอรัสในดิน ละลายโพแทสเซียมในเขตอิทธิพลรากพืช (Etesami *et al.*, 2017) การผลิตฮอร์โมนพืชและเอนไซม์หลายชนิด (Glick, 2014) และกระตุ้นการเจริญและแตกแขนงของราก (Erturk *et al.*, 2010) และกลไกที่ส่งเสริมการเจริญเติบโตทางอ้อม ได้แก่ การผลิตสารปฏิชีวนะ (Kloepper, 1978) ที่เป็นปฏิปักษ์กับจุลินทรีย์ก่อโรคพืช (Gouda *et al.*, 2018) การผลิตซิเดอรိုโพรสำหรับจับธาตุเหล็กในดิน (Vijayabharathi *et al.*, 2016) การทนทานต่อสภาพแวดล้อม (Govindasamy *et al.*, 2008) และการทนทานต่อโลหะหนัก (Tiwari and Lata, 2018)

## 2.2.1 กลไกที่ส่งเสริมการเจริญเติบโตของพืชทางตรง

กลไกที่ส่งเสริมการเจริญเติบโตของพืชทางตรงเป็นกลไกที่ทำให้พืชเจริญเติบโตได้ด้วยการอาศัยแบคทีเรียตรึงไนโตรเจน ละลายฟอสเฟต ละลายโพแทสเซียม การเพิ่มธาตุเหล็ก และผลิตฮอร์โมนพืช โดยมีรายละเอียดดังนี้

### 2.2.1.1 การตรึงไนโตรเจน

ไนโตรเจนเป็นธาตุอาหารสำหรับการเจริญเติบโตและสร้างผลผลิตของพืชแต่มีปริมาณค่อนข้างจำกัดในดิน อย่างไรก็ตามไนโตรเจนที่เป็นส่วนประกอบของอากาศมีปริมาณมากกว่าแก๊สอื่น ๆ ประมาณ 79 เปอร์เซ็นต์ และพืชนำมาใช้ประโยชน์ได้ยากเนื่องจากต้องอาศัยพลังงานสูงในการเปลี่ยนแปลงพันธะสาม (triple bond) ระหว่างไนโตรเจน 2 อะตอม แต่มีกลุ่มแบคทีเรียที่สามารถสร้างเอนไซม์ไนโตรจีเนสเร่งปฏิกิริยาการตรึงแก๊สไนโตรเจนจากในอากาศและเปลี่ยนโมเลกุลแก๊สไนโตรเจน ( $N_2$ ) เป็นแอมโมเนีย ( $NH_3$ ) ซึ่งจะเข้าสู่เซลล์จุลินทรีย์และรวมกับโมเลกุลอื่นภายในเซลล์ได้เป็นกรดอะมิโนและเกิดปฏิกิริยาเชื่อมต่อด้วยพันธะเพปไทด์ระหว่างโมเลกุลของกรดอะมิโนได้เป็นโมเลกุลของโปรตีนสะสมอยู่ในเซลล์แบคทีเรีย เมื่อแบคทีเรียตายและเกิดการย่อยสลายไนโตรเจนที่เป็นส่วนประกอบของเซลล์ ทำให้แบคทีเรียกลุ่มอื่นเปลี่ยนแปลงไนโตรเจนให้อยู่ในรูปที่พืชนำไปใช้ประโยชน์ได้ เช่น ไนเตรต ( $NO_3^-$ ) ไนไตรต์ ( $NO_2^-$ ) กลุ่มแบคทีเรียที่มีความสามารถเปลี่ยนไนโตรเจนในบรรยากาศให้อยู่ในรูปที่พืชสามารถนำไปใช้ประโยชน์ได้ ได้แก่ แบคทีเรียที่ในจีนัส *Azospirillum, Alcaligenes, Arthrobacter, Acinetobacter, Bacillus, Burkholderia, Enterobacter, Erwinia, Flavobacterium, Pseudomonas, Rhizobium* และ

*Serratia* เป็นต้น (Tilak et al., 2005) จากงานวิจัยของ Seldin et al. (1984) พบว่า *Bacillus* และ *Paenibacillus* มี ยีน *nif* ที่แสดงออกถึงการผลิตเอนไซม์ไนโตรจีเนส ทำให้สามารถตรึงไนโตรเจนได้ จากงานวิจัยของ Govindasamy et al. (2008) ศึกษากิจกรรมของเอนไซม์ไนโตรจีเนสใน *Paenibacillus* sp. 23 สายพันธุ์ ที่พบในดินประเทศแอลจีเรียพบว่ามี 14 จาก 23 สายพันธุ์ที่แสดง กิจกรรมของเอนไซม์ไนโตรจีเนส โดย *P. azotofixans* ATCC 35681T มีความสามารถในการตรึง ไนโตรเจนดีที่สุดในการศึกษา สอดคล้องกับงานวิจัยของ Liu et al. (2019) ที่เก็บตัวอย่างจากดิน พบว่ามี *Paenibacillus* 25 สายพันธุ์ที่มียีน *nif* ที่เกี่ยวข้องกับการตรึงไนโตรเจน อีก 22 สายพันธุ์ เกี่ยวข้องกับการผลิตฮอร์โมนออกซิน และอีก 21 สายพันธุ์ เกี่ยวข้องสร้างสารยับยั้งเชื้อก่อโรคในพืช จากนั้นทำการทดลองใช้ *Paenibacillus* sp. 3 สายพันธุ์ ได้แก่ *Paenibacillus* sp. JS-4, *Paenibacillus* sp. SZ-10 และ *Paenibacillus* sp. SZ-15 เพาะเลี้ยงร่วมกับต้นข้าวสาลี แดงกวา และมะเขือเทศ พบว่า *Paenibacillus* ส่งผลให้พืชทั้ง 3 ชนิดเจริญเติบโตมากกว่าชุดควบคุม ปัจจุบัน มีการวิจัยและพัฒนาการใช้ประโยชน์จากจุลินทรีย์กลุ่มนี้ในการผลิตปุ๋ยชีวภาพเพื่อเพิ่มการ เจริญเติบโตและผลผลิตพืชกันอย่างกว้างขวาง และจากงานวิจัยของ Karlidag et al. (2007) ศึกษา ผลของการใช้จุลินทรีย์ตรึงไนโตรเจน *Bacillus* sp. และ *Microbacterium* sp. ทั้งที่ใช้เพียงชนิด เดียวและใช้ร่วมกัน พบว่าการใช้ร่วมกันทำให้ผลผลิตแอปเปิ้ลเพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญ การใส่หัว เชื้อจุลินทรีย์กับรากทำให้น้ำหนักแอปเปิ้ลเพิ่มขึ้น 13.9-25.5 เปอร์เซ็นต์ ต้นแอปเปิ้ลสูงขึ้น 16.4-29.6 เปอร์เซ็นต์ และเส้นผ่าศูนย์กลางเพิ่มขึ้น 15.9-18.4 เปอร์เซ็นต์ เมื่อเปรียบเทียบกับแปลง ควบคุม นอกจากนั้นการดูใช้ธาตุอาหารไปสะสมที่ใบสูงขึ้นโดยใบแอปเปิ้ลมีปริมาณฟอสฟอรัส แคลเซียม โพแทสเซียม เหล็ก แมงกานีส ทองแดง สังกะสีเพิ่มขึ้น

#### 2.2.1.2 การเพิ่มการละลายฟอสฟอรัส

ธาตุฟอสฟอรัส (P) เป็นสารอาหารหลักซึ่งมีความสำคัญต่อการ เจริญเติบโตของพืชฟอสฟอรัสมีมากในดินแต่พืชนำมาใช้ได้น้อย โดยทั่วไปฟอสฟอรัสเป็น องค์ประกอบของฟอสเฟต เช่น ไตรแคลเซียมฟอสเฟต (tricalcium phosphate) หรือเรียกว่าหิน ฟอสเฟต (rock phosphate) อะลูมิเนียมฟอสเฟต ( $AlPO_4$ ) และเหล็กฟอสเฟต ( $FePO_4$ ) ซึ่งไม่ละลาย น้ำ (insoluble phosphate) พืชไม่สามารถนำไปใช้ได้ อย่างไรก็ตาม แบคทีเรียหลายชนิดในดินที่ สามารถละลายฟอสเฟตจากสารประกอบเหล่านี้และเคลื่อนย้ายให้กับพืชดูดซึมไปใช้ได้ง่ายขึ้น โดย แบคทีเรียสามารถเปลี่ยนฟอสเฟตอนินทรีย์ที่ไม่ละลายน้ำให้อยู่ในรูปของไอออนฟอสเฟต ( $PO_4^{2-}$ ) ที่ ไม่ซับซ้อนและละลายน้ำได้ ให้กับพืชเพื่อใช้ในการเจริญเติบโต เช่น กระตุ้นการเจริญเติบโตของราก ทั้งรากแก้ว รากฝอย และรากแขนง และช่วยให้รากดูดโพแทสเซียมจากดินมาใช้ประโยชน์ได้มากขึ้น และส่งเสริมการเจริญเติบโตของพืชในระยะแรก รวมถึงการออกดอก การติดผล (Tank and Saraf,



2009) แบคทีเรียช่วยเพิ่มการละลายธาตุฟอสฟอรัส เช่น *Arthrobacter*, *Pseudomonas*, *Bacillus*, *Microbacterium*, *Erwinia*, *Rhodococcus*, *Flavobacterium*, *Burkholderia*, *Enterobacter*, *Paenibacillus* และ *Serratia* (Mehnaz, 2011) สามารถผลิตเอนไซม์ฟอสฟาเตสที่ย่อยสลายฟอสฟอรัสได้ (Batista *et al.*, 2018) จากงานวิจัยของ Zhang *et al.* (2013) ศึกษาการผลิตเอนไซม์ฟอสฟาเตสจาก *Paenibacillus kribensis* CX7 ที่คัดแยกได้จากดินในนาข้าวสาเลี พบว่ามีประสิทธิภาพในการผลิตเอนไซม์ฟอสฟาเตสที่ปลดปล่อยออกนอกเซลล์สามารถย่อยโพแทสเซียมและฟอสฟอรัส ทั้งในรูปอินทรีย์และอนินทรีย์ได้

### 2.2.1.3 การเพิ่มการละลายโพแทสเซียม

ธาตุโพแทสเซียม (K) เป็นธาตุอาหารหลักสำหรับองค์ประกอบของเอนไซม์ที่ใช้ในปฏิกิริยาการรีดิวซ์ไนเตรต (nitrate reduction) กระบวนการสังเคราะห์ด้วยแสง (photosynthesis) และกระบวนการสร้างแป้ง (starch synthesis) (Gallegos-Cedillo *et al.*, 2016) ตามธรรมชาติโพแทสเซียมอยู่ในรูปที่ไม่สามารถแลกเปลี่ยนได้ เนื่องจากถูกตรึงที่ผิวของอนุภาคดินเหนียวและอินทรีย์วัตถุ (Meena *et al.*, 2016) โดยพืชจะดูดซึมโพแทสเซียมในรูปประจุบวก ( $K^+$ ) ซึ่งสามารถเคลื่อนย้ายได้ดีในพืช กลุ่มแบคทีเรียช่วยเพิ่มการละลายโพแทสเซียมในรูปที่ไม่ละลายน้ำให้อยู่ในรูปที่ละลายน้ำได้ เช่น *Bacillus*, *Acidithiobacillus*, *Pseudomonas*, *Burkholderia* และ *Paenibacillus* (Xiao *et al.*, 2017) จากงานวิจัยของ Maity *et al.* (2019) พบว่าผลผลิตและคุณภาพของทับทิมเพิ่มขึ้น 35 เปอร์เซ็นต์ พบธาตุฟอสฟอรัสและโพแทสเซียมในรูปพร้อมใช้ในดินเพิ่มขึ้น 27 เปอร์เซ็นต์ เมื่อมีการเติม *Penicillium pinophilum*

### 2.2.1.4 การเพิ่มธาตุเหล็ก

ธาตุเหล็ก (Fe) ส่วนใหญ่อยู่ในดินในรูปของสารประกอบเฟอร์ริก (ferric form) ซึ่งไม่ละลายน้ำ พืชจึงไม่สามารถนำไปใช้ประโยชน์ได้ พืชส่วนใหญ่จึงขาดธาตุเหล็ก แบคทีเรียส่งเสริมการเจริญเติบโตของพืชจึงมีกลไกบางอย่างขึ้นมาเพื่อจับกับเหล็กและขนส่งเข้าไปในเซลล์ที่เรียกว่าซีเดอร์โรฟอร์ (siderophores) ทำหน้าที่แลกเปลี่ยนลิแกนด์กับประจุบวกของเหล็กหรือการสร้างสารประกอบเชิงซ้อนกับเหล็ก (Zuo and Zhang, 2011) เมื่อพืชดูดซึมสารซีเดอร์โรฟอร์ที่จับกับธาตุเหล็ก ส่งผลให้พืชได้รับประโยชน์จากธาตุเหล็กเป็นองค์ประกอบของโปรตีนและมีบทบาทในการสังเคราะห์อาหารพืช และช่วยกระตุ้นกระบวนการหายใจของพืช นอกจากนั้นแบคทีเรียส่งเสริมการเจริญเติบโตของพืชยังช่วยป้องกันการเข้าทำลายของเชื้อโรคพืช โดยการแย่งจับธาตุเหล็กทำให้เชื้อก่อโรคขาดธาตุเหล็กและไม่สามารถเพิ่มจำนวนเชื้อก่อโรคในพืชได้ (Radzki *et al.*, 2013) กลุ่มแบคทีเรียที่การสร้างซีเดอร์โรฟอร์ เช่น *Aeromonas*, *Pseudomonas*, *Rhizobium*, *Azadirachta*,

*Streptomyces*, *Azotobacter*, *Bacillus*, *Burkholderia* และ *Serratia* เป็นต้น (Sabet and Mortazaeinezhad, 2018)

#### 2.2.1.5 การผลิตฮอร์โมนพืช

แบคทีเรียส่งเสริมการเจริญเติบโตของพืชสามารถผลิตฮอร์โมนพืช ได้แก่ ออกซิน (Yousef, 2018) จิบเบอเรลลิน (Jha and saraf., 2015) ไซโตไคนิน (Liu *et al.*, 2013) กรดแอบไซซิก (Kang *et al.*, 2019) เอทิลีน (Saleem *et al.*, 2007) กรดซาลิไซลิก (Zhang *et al.*, 2002) และกรดจัสโมนิก (Ryu *et al.*, 2004) ซึ่งเป็นสารกระตุ้นการเจริญเติบโตของพืชมีผลต่อการขยายขนาดของเซลล์ การเร่งให้เมล็ดงอก การก่อให้เกิดเนื้อเยื่อผลิตราก การแบ่งเซลล์ของพืช การออกดอกและพัฒนาดอก การเจริญของผลทั้งการแก่และสุก การชะลอความแก่ของใบ การเพิ่มความทนต่อสภาวะไม่เหมาะสมของพืช และการรักษาสมดุลการเจริญเติบโต แม้กระทั่งสารเมแทบอลิต์ที่แบคทีเรียขับออกมาจำเป็นว่าเป็นธาตุอาหารที่สำคัญ เช่น นิโคติโอไทด์ ซึ่งจำเป็นต่อเซลล์ของสิ่งมีชีวิตทั่วไป และกรดอะมิโน (amino acid) ได้แก่ ซิสเทอีน (cysteine) อาร์จินีน (arginine) ไลซีน (lysine) และ เมทไธโอนีน (methionine) เป็นต้น (Brock *et al.*, 2003) กลุ่มแบคทีเรียที่สามารถผลิตฮอร์โมนพืช ได้แก่ *Aeromonas*, *Agrobacterium*, *Alcaligenes*, *Azospirillum*, *Bacillus*, *Bradyrhizobium*, *Burkholderia*, *Comamonas*, *Enterobacter*, *Phyllobacterium*, *Pseudomonas*, *Rhizobium*, *Serratia* และ *Variovorax* เป็นต้น (Vessey, 2003) จากงานวิจัยของ Farzana and Radizah (2005) ที่ศึกษาแบคทีเรียที่มีความสามารถในการผลิต Indole-3-acetic acid (IAA) พบว่าช่วยส่งเสริมการเจริญเติบโตของพืช โดยเพิ่มการดูดซึมน้ำโตรเจน ฟอสฟอรัส โพแทสเซียม แคลเซียม และแมกนีเซียม ในการเพาะปลูกมันหวาน และจากงานวิจัยของ Kidoglu *et al.* (2007) ที่ศึกษาการใช้แบคทีเรียที่มีความสามารถในการผลิตฮอร์โมนออกซิน ในการเพาะปลูกแตงกวา มะเขือเทศ และพริกหยวก พบว่าส่งผลต่อการเจริญเติบโตของผักเมื่อเทียบกับชุดควบคุมอย่างมีนัยสำคัญ นอกจากนั้นแบคทีเรียบางชนิดยังช่วยลดความเข้มข้นของเอทิลีน ซึ่งเป็นฮอร์โมนพืชเพียงตัวเดียวที่อยู่ในรูปแก๊ส ถ้าระดับของเอทิลีนมีปริมาณที่สูงเกินไป อาจมีผลต่อการยับยั้งการงอก และการยืดยาวของต้นกล้าและรากได้ (Hardoim *et al.*, 2008)

#### 2.2.2 กลไกที่ส่งเสริมการเจริญเติบโตของพืชทางอ้อม

กลไกที่ส่งเสริมการเจริญเติบโตของพืชทางอ้อมเป็นกลไกที่ทำให้พืชเจริญเติบโตได้ด้วยการอาศัยแบคทีเรียผลิตเอนไซม์ ผลิตสารควบคุมทางชีวภาพ ส่งเสริมการทนทานต่อสภาพแวดล้อม และส่งเสริมความทนทานต่อโรคพืช โดยมีรายละเอียดดังนี้

### 2.2.2.1 การผลิตเอนไซม์

แบคทีเรียส่งเสริมการเจริญเติบโตของพืชสามารถผลิตเอนไซม์ เช่น เซลลูเลส (cellulases) ไคตินเนส (chitinases) โปรตีเอส (proteases) กลูคาเนส (glucanases) และไลเปส (lipases) (Hayat *et al.*, 2010) เพื่อย่อยสลายผนังเซลล์ของเชื้อรา เช่น *Botrytis*, *Rhizoctonia*, *Sclerotium*, *Phytophthora*, *Pythium* และ *Fusarium* มีหลายงานวิจัยที่ใช้ประโยชน์จาก *Trichoderma*, *Pseudomonas* และ *Bacillus* ที่สามารถผลิตเอนไซม์ไคตินเนสเพื่อย่อยสลายผนังเซลล์เชื้อราที่ก่อโรคในพืช (Maksimov *et al.*, 2011) รวมถึงเอนไซม์ที่ส่งเสริมการย่อยสลายอินทรีย์วัตถุในดินอย่างเศษซากพืช หรือส่วนของพืชที่ตายแล้ว โดยอาศัยกิจกรรมของเอนไซม์ที่แบคทีเรียสร้างขึ้น เช่น แอมโมนิเอส และไฮโดรลีสซึ่งมีบทบาทในการแปรรูปสารอินทรีย์จากโครงสร้างหน่วยใหญ่ไปเป็นหน่วยย่อยและปลดปล่อยธาตุอาหารต่าง ๆ ออกมาจากองค์ประกอบของเศษพืช เป็นการปลดปล่อยธาตุอาหารหมุนเวียนสู่ดินเพิ่มปริมาณธาตุอาหารในดิน ทั้งธาตุอาหารหลัก ธาตุอาหารรอง ที่เป็นประโยชน์แก่พืช ได้แก่ น้ำตาล กรดอะมิโน แอมโมเนียม ฟอสเฟต โพแทสเซียม แคลเซียม แมกนีเซียม กำมะถัน ทองแดง สังกะสี เหล็ก แมงกานีส โบรอน และโมลิบดีนัม (Chang *et al.*, 2007) ส่วนเอนไซม์โปรตีเอสมีบทบาททำให้เกิดกระบวนการไนโตรเจน มินอรัลไลเซชัน (nitrogen mineralization) และเป็นกระบวนการสำคัญในการควบคุมปริมาณไนโตรเจนให้อยู่ในรูปที่เป็นประโยชน์กับพืชและมีผลต่อการเจริญของพืช (Stevenson and Cole, 1999) และเอนไซม์ไฟเทสจะแปรสภาพอินทรีย์ฟอสฟอรัสในรูปฟิทินซึ่งพบปริมาณมาก 10-50 เปอร์เซ็นต์ของอินทรีย์ฟอสฟอรัสทั้งหมด ให้เป็นอนินทรีย์ฟอสฟอรัสที่พืชนำไปใช้ประโยชน์ได้ (Jorquera *et al.*, 2008) จะเห็นได้ว่ากระบวนการย่อยสลายสารอินทรีย์มีบทบาทสำคัญในการเปลี่ยนแปลงธาตุคาร์บอนกลับสู่วัฏจักรตามธรรมชาติ พบว่าพื้นที่ทำการเกษตรที่มีการเติมวัสดุอินทรีย์ในดินจะมีกิจกรรมของเอนไซม์เพิ่มขึ้น 2-4 เท่า สูงกว่าพื้นที่ที่ไม่มีการใส่วัสดุอินทรีย์ (Maksimov *et al.*, 2011)

### 2.2.2.2 การผลิตสารควบคุมทางชีวภาพ

แบคทีเรียส่งเสริมการเจริญเติบโตของพืชจะกระตุ้นกระบวนการรับรู้จดจำและตอบสนองให้พืชเกิดกระบวนการป้องกันตนเองและชักนำระบบภูมิคุ้มกันต่าง ๆ เพื่อใช้ต่อต้านเชื้อโรคและแมลงศัตรูพืช หรือกีดขวางกระบวนการเข้าทำลายของศัตรูพืช ซึ่งอาจอยู่ในรูปแบบของการกระตุ้นการผลิตสารปฏิชีวนะหรือสารเมตาบอไลต์เพื่อชักนำให้พืชรอดพ้นจากความเครียด สภาพแวดล้อมที่ไม่เหมาะสม และถูกรบกวนจากศัตรูพืช (โรค แมลง และวัชพืช) (Fujita *et al.*, 2006) โดยช่วยลดปริมาณเชื้อราและ แบคทีเรียปฏิชีวนะในเขตอหิพิลรากพืช และเพิ่มการเจริญเติบโตของพืช (Kloepper, 1978) สารปฏิชีวนะที่ใช้ในการควบคุมโรคพืชที่ผลิตโดยแบคทีเรียส่งเสริมการเจริญเติบโตของพืช เช่น agrocin 84, agrocin 434, 2, 4-diacetylphloroglucinol,

herbicolin, oomycin, phenazines, pyoluteorin, pyrrolnitrin, salicylic acid (SA), jasmonic acid (JA),  $\beta$ -1,3-glucanase, peroxidase, phenolic compound, guaiacol peroxidase และ glucosinolate เป็นต้น (Bashan and de-Bashan, 2005) รวมถึงแบคทีเรียที่สามารถผลิตเอนไซม์ย่อยผนังเซลล์ของเชื้อราสาเหตุโรคพืชได้ เช่น ไคติเนส ลามินาริเนส กลูคาเนส โปรตีเอส และไลเปส เป็นต้น (Compant *et al.*, 2005) ที่ช่วยยับยั้งการเข้าทำลายของเชื้อก่อโรคและแมลงศัตรูพืชตลอดจนเพิ่มความทนทานต่อสภาพแล้งหรือขาดน้ำของพืช ส่งผลต่อคุณภาพและปริมาณผลผลิตจากพืช กลุ่มของแบคทีเรียสร้างสารควบคุมทางชีวภาพ เช่น *Actinoplanes*, *Actinomadura*, *Bacillus*, *Microbispora*, *Micromonospora*, *Nocardia*, *Nocardiopsis*, *Pseudomonas* และ *Streptomyces* จากการศึกษาของ Seong and Shin (1996) พบว่า *Bacillus* และ *Pseudomonas* สามารถผลิตสารปฏิชีวนะ และเอนไซม์ไคติเนส ที่สามารถยับยั้งโรคพืชที่เกิดจากเชื้อราทั้งการทดลองในห้องปฏิบัติการและโรงเรือนได้อย่างมีประสิทธิภาพ นอกจากนั้นรายงานของ Nagórska *et al.* (2007) พบว่า *B. subtilis* ถูกนำมาใช้ในการผลิตสารควบคุมชีวภาพ ทั้งยังสามารถช่วยการละลายของฟอสเฟต ผลิตฮอร์โมนออกซิน จิเดอรโฟลอร์ และผลิตสารยับยั้งเชื้อรา เช่นเดียวกับรายงานของ Kaewkham *et al.* (2016) พบว่า *B. subtilis* สามารถผลิตสารควบคุมหรือยับยั้งการเจริญตลอดจนเข้าทำลายเส้นใยของเชื้อราที่เป็นสาเหตุของโรคพืชหลายชนิด ได้แก่ โรครากเน่า (root rot) โรคเหี่ยว (wilt) โรคโคนต้นเน่าระดับดิน (collar rot) โรคใบไหม้ (leaf blight) และโรคต้นเน่า (stalk rot) เป็นต้น จากงานวิจัยของ Sun *et al.* (2020) พบว่า *B. subtilis* ผลิตสารที่ช่วยยับยั้งเชื้อราจำพวก *Rhizoctonia solani* และ *Sclerotium rolfsii* ที่ก่อโรครากเน่าในถั่วลิสงได้

### 2.2.2.3 การทนทานต่อสภาพแวดล้อม

แบคทีเรียส่งเสริมการเจริญเติบโตของพืชช่วยให้พืชทนทานต่อสภาพแวดล้อมที่ไม่เหมาะสม ได้แก่ ความแห้งแล้ง (Kaushal and Wani, 2016) และความเค็ม (Ilangumaran and Smith, 2017) ทั้งนี้แบคทีเรียยังช่วยเพิ่มการเจริญเติบโตของพืช ผลผลิต การผลิตชีวมวล ภายใต้สภาพแวดล้อมที่ไม่เหมาะสม (Zahir *et al.*, 2009) กลุ่มของแบคทีเรียส่งเสริมการทนทานของพืชต่อสภาพแวดล้อม ได้แก่ *Arthrobacter*, *Azospirillum*, *Bacillus*, *Burkholderia*, *Glomus*, *Klebsiella oxytoca*, *Pseudomonas*, *Serratia* และ *Xanthobacter* เป็นต้น (Kumar *et al.*, 2017)

### 2.2.2.4 การทนทานต่อโลหะหนัก

แบคทีเรียส่งเสริมการเจริญเติบโตของพืชช่วยให้พืชทนทานต่อโลหะหนัก ได้แก่ แคดเมียม (Khanna *et al.*, 2019) โครเมียม (Wani *et al.*, 2009) ตะกั่ว (Ortiz-Ojeda *et al.*, 2017) นิกเกิล (Cardón *et al.*, 2010) สังกะสี (Wani *et al.*, 2009) และสารหนู (Asif *et al.*,

2020) อีกทั้งยังส่งเสริมการเจริญเติบโตของพืช (Khanna *et al.*, 2019) และลดความเป็นพิษของโลหะหนัก (Wani *et al.*, 2009) กลุ่มแบคทีเรียส่งเสริมการทนทานของพืชต่อโลหะหนัก เช่น *Bacillus*, *Burkholderia*, *Mesorhizobium*, *Pseudomonas* และ *Rhizobium* (Khanna *et al.*, 2019)

## 2.3 แนวคิดการใช้จุลินทรีย์ในทางการเกษตร

แนวคิดว่านำจุลินทรีย์มาใช้ในทางการเกษตรนั้นมุ่งเน้นที่จะรักษาสภาพแวดล้อม และผลผลิตที่ปลอดภัยจากสารเคมี เพื่อเกษตรกรสามารถยอมรับและนำไปปฏิบัติให้สอดคล้องกับหลักการของเกษตรอินทรีย์ โดยยึดแนวพระราชดำริด้านเศรษฐกิจพอเพียงและการทำเกษตรช่วยอนุรักษ์ดิน อนุรักษ์น้ำและสิ่งแวดล้อมของพระบาทสมเด็จพระเจ้าอยู่หัวรัชกาลที่ 9 มาปรับให้เหมาะสมกับท้องถิ่นในรูปแบบที่สามารถให้ผลผลิตที่เพียงพอต่อการเลี้ยงครอบครัวของเกษตรกร แนวคิดการนำจุลินทรีย์มาใช้ในทางการเกษตรเพื่อให้สอดคล้องกับหลักการของเกษตรอินทรีย์มีรายละเอียดดังนี้

### 2.3.1 การเลียนแบบระบบนิเวศธรรมชาติ

การเลียนแบบระบบนิเวศธรรมชาติเป็นการประยุกต์ใช้ความสัมพันธ์ของจุลินทรีย์ที่มีอยู่ในระบบนิเวศแปลงเกษตรให้เกิดประโยชน์สูงสุด เช่น จุลินทรีย์ที่ดำรงชีวิตเป็นผู้ย่อยสลายทำหน้าที่เป็นตัวเร่งการย่อยสลายวัสดุอินทรีย์ต่าง ๆ จุลินทรีย์ที่ดำรงชีวิตแบบพึ่งพาอาศัยช่วยตรึงไนโตรเจน จุลินทรีย์ที่เป็นปฏิปักษ์ต่อกันสามารถนำมาควบคุมเชื้อก่อโรคในพืช และจุลินทรีย์ที่ช่วยส่งเสริมการเจริญเติบโตแก่พืชด้วยการผลิตสารในกลุ่มฮอโมนพืช การใช้จุลินทรีย์ในการเกษตรจึงเป็นการเลียนแบบระบบนิเวศเกษตรให้มีความใกล้เคียงกับระบบนิเวศธรรมชาติมากที่สุด

### 2.3.2 การปรับความสมดุลทางชีวภาพของดิน

จุลินทรีย์สามารถปรับตัวเข้ากับสภาพแวดล้อมที่จะทำการเกษตรได้ดี และสามารถเจริญเติบโตได้อย่างรวดเร็ว ถ้าหากมีการผลิตเป็นกล้าเชื้อจุลินทรีย์ แล้วนำมาใส่ลงดินจะช่วยให้เกิดการสร้างสมดุลของจุลินทรีย์ในดิน การฟื้นฟูดินให้ดีขึ้นได้เป็นอย่างดี

### 2.3.3 การใช้จุลินทรีย์ในกระบวนการย่อยสลาย

จุลินทรีย์เป็นกลไกสำคัญในกระบวนการย่อยสลายและเปลี่ยนแปลงโครงสร้างของสารต่าง ๆ ในดิน เช่น การย่อยสลายคาร์โบไฮเดรต โปรตีน ที่เป็นส่วนประกอบของวัสดุอินทรีย์ต่าง ๆ จนเกิดเป็นฮิวมัส

### 2.3.4 การใช้จุลินทรีย์ในการส่งเสริมการงอกของเมล็ด

กระบวนการงอกของเมล็ดเป็นขั้นตอนสำคัญในวงจรชีวิตของพืช (Song *et al.*, 2005) แบคทีเรียส่งเสริมการเจริญเติบโตของพืชสามารถส่งเสริมกระบวนการงอกของเมล็ดในพืชโดยการเร่งอัตราการงอกของเมล็ดตลอดจนได้ต้นอ่อนที่แข็งแรง (Souza *et al.*, 2015) ผ่านการผลิตสารส่งเสริมการเจริญเติบโตของพืช หรือ Plant growth promoting (PGP) ได้แก่ การตรึงไนโตรเจน การละลายฟอสเฟต การผลิตเอนไซม์ การผลิตซิเตอร์โรฟอร์ และการผลิตฮอร์โมนพืช เป็นต้น โดยจะผลิต PGP ที่แตกต่างกันไปตามสายพันธุ์ของ PGPB การประยุกต์ใช้ PGPB ร่วมกับเมล็ดพืชเป็นกลไกที่มีประสิทธิภาพในการยับยั้งจุลินทรีย์ก่อโรคและแมลงศัตรูพืชในดิน (Callaghan, 2016) จากงานวิจัยของ Nain *et al.* (2012) พบว่า *Bacillus* sp. เพิ่มการงอก ความยาวยอดและราก น้ำหนักสดและแห้ง และพื้นที่ใบของถั่วลันเตาอย่างมีนัยสำคัญ ผ่านความสามารถในการละลายฟอสฟอรัส การผลิต ACC deaminase และการผลิต Indole acetic acid (IAA) รวมถึงการปรับปรุงคุณภาพเมล็ดพืชตระกูลถั่วร่วมกับ *Rhizobiaceae* นำไปสู่การเพิ่มขึ้นของผลผลิต (Thilakarathna and Raizada, 2017) และจากงานวิจัยของ Paul *et al.* (2011) พบว่า *Azotobacter chroomococcum* สามารถผลิต IAA และเมื่อเพาะเลี้ยงร่วมกับเชื้อราไมคอร์ไรซาส่งเสริมการงอกของเมล็ดได้เป็นอย่างดี

### 2.3.5 การใช้จุลินทรีย์ในการส่งเสริมการเจริญเติบโตของพืช

จุลินทรีย์บางชนิดเมื่ออาศัยอยู่บริเวณรากพืชจะเกิดความสัมพันธ์แบบได้ประโยชน์ซึ่งกันและกัน เช่น การเพิ่มการดูดซึมสารอาหาร การตรึงไนโตรเจน การเพิ่มความต้านทานโรคพืช และการเพิ่มความต้านทานต่อสภาวะเครียดจากสภาพแวดล้อมที่ไม่เอื้ออำนวย (Harman and Uphoff, 2019) จากคุณสมบัติที่กล่าวข้างต้น PGPR ถือเป็นปุ๋ยธรรมชาติที่สามารถทดแทนปุ๋ยและยาฆ่าแมลงในอุตสาหกรรมทั่วไป (Harris *et al.*, 2021) จากรายงานของ Calvo *et al.* (2014) พบว่าการใช้จุลินทรีย์ร่วมกับการเพาะปลูกแสดงผลเชิงบวกต่อพืชชนิดต่าง ๆ เมื่อทำการทดลองภายใต้สภาวะโรงเรือนและในไร่ และจากการศึกษาของ Taguele *et al.* (2019) พบว่า *Bacillus subtilis* สามารถป้องกันรากการเกิดโรคเน่าในผักกาดหอมได้

## 2.4 ผักสลัด

ผักสลัด (lettuce) มีชื่อทางวิทยาศาสตร์ว่า *Lactuca sativa* L. อยู่ในวงศ์ *Asteraceae* ซึ่งเป็นวงศ์ที่ค่อนข้างใหญ่ประกอบด้วยพืช 800 สกุล 20,000 กว่าชนิด ซึ่ง *Lactuca sativa* เป็นสายพันธุ์สลัดกลุ่มเดียวที่นำมาปลูกเพื่อการค้า มีถิ่นกำเนิดในทวีปยุโรปแถบที่ราบของด้านตะวันออกของเมดิเตอร์เรเนียน จากประวัติศาสตร์พบรูปวาดในหลุมฝังศพของชาวอียิปต์โบราณซึ่งมีการเพาะปลูก



พืชในกลุ่มผักสลัดมานานกว่า 4,500 ปีก่อนคริสตศักราช โดยใช้เป็นพืชสมุนไพร และสกัดน้ำมันจากเมล็ด ในสงครามโลกครั้งที่ 2 มีการใช้สารสกัดที่ได้จากผักสลัดอย่างแลคทูคาเรียม (*lactucarium*) เป็นของเหลวคล้ายน้ำมันที่หลั่งออกมาจากผักสลัดโดยเฉพาะสายพันธุ์ *L. virosa* บริเวณโคนลำต้น มีคุณสมบัติเป็นยาแก้ปวดและยาแก้ปวด (Edwards *et al.*, 2015) ปัจจุบันผักสลัดเป็นที่นิยมบริโภคกันอย่างแพร่หลายในกลุ่มคนที่รักสุขภาพ เนื่องจากมีประโยชน์ทางโภชนาการและใยอาหารสูง ผักสลัดสามารถรับประทานสดโดยไม่ต้องผ่านการปรุงแต่งอาหาร สามารถนำมาประกอบอาหารได้หลากหลาย อีกทั้งผักสลัดมีน้ำเป็นองค์ประกอบหลักประมาณ 95 เปอร์เซ็นต์ คาร์โบไฮเดรต 1-2 เปอร์เซ็นต์ โปรตีน 1-2 เปอร์เซ็นต์และไขมัน 0.25 เปอร์เซ็นต์ (USDA, 2015) อีกทั้งผักสลัดยังอุดมไปด้วยแร่ธาตุและวิตามินต่าง ๆ ได้แก่ วิตามินบี วิตามินซี วิตามินอี แคลเซียม แมกนีเซียม โพแทสเซียม เหล็ก แมงกานีส ทองแดง สังกะสีและ ซีลีเนียม (Kawashima and Soares, 2003) รวมทั้งรงควัตถุที่เกี่ยวข้องกับกระบวนการสังเคราะห์ด้วยแสง ได้แก่ คลอโรฟิลล์ และแคโรทีนอยด์ (Llorach *et al.*, 2008) อย่างไรก็ตามปริมาณสารอาหารที่มีคุณค่าทางโภชนาการต่อผู้บริโภคขึ้นอยู่กับชนิดของสายพันธุ์ และสภาพแวดล้อมที่ทำการเพาะปลูกด้วย ผักสลัดเป็นพืชที่ปลูกง่าย มีอายุการเก็บเกี่ยวสั้น สามารถปลูกได้ตลอดทั้งปี ส่งผลให้ความต้องการผักสลัดมีอยู่ตลอดทั้งปีโดยเฉพาะในช่วงเทศกาลต่าง ๆ จึงนับได้ว่าผักสลัดเป็นผักที่มีความสำคัญทางเศรษฐกิจชนิดหนึ่งที่นับวันจะทวีความต้องการเพิ่มขึ้นเรื่อย ๆ

#### 2.4.1 ลักษณะทางพฤกษศาสตร์

ลักษณะทางพฤกษศาสตร์ของผักสลัด ได้แก่ ใบ ลำต้น ราก ช่อดอก และเมล็ด (Křístková *et al.*, 2008) โดยมีรายละเอียดดังนี้

##### 2.4.1.1 ใบ

ใบแตกออกมาจากลำต้นโดยรอบ ใบมีลักษณะ รูปร่าง และสีแตกต่างกัน ขึ้นอยู่กับสายพันธุ์ เช่น ใบกลม ใบรี ใบเรียว หรือใบม้วนงอ สีใบมีตั้งแต่เขียวอ่อน เขียวปนเหลือง จนถึงสีเขียวแก่ บางสายพันธุ์มีสีแดงหรือน้ำตาล ทำให้มีใบเป็นสีแดงปนน้ำตาลหรือสีน้ำตาลปนเขียว ในบางสายพันธุ์ที่ห่อเป็นหัวใบจะหนา เนื้อใบบอบนุ่ม และใบที่อยู่ข้างในจะเป็นมัน บางชนิดมีใบม้วนงอเพราะมีเส้นใบเห็นได้ชัดเจน ขนาดและรูปร่างของใบจะแตกต่างกันตามชนิดของสายพันธุ์

##### 2.4.1.2 ลำต้น

ลำต้นเจริญตั้งตรง ในระยะแรกมักจะมองไม่ค่อยเห็น เนื่องจากใบมักจะปกคลุมไว้จะเห็นชัดก็ต่อเมื่อระยะทางช่อดอก ลักษณะลำต้นของผักสลัดจะตั้งตรงสูงชะลูดขึ้นจนสามารถมองเห็นได้อย่างชัดเจน ลำต้นมีลักษณะอวบอ้วน และมีข้อสั้นแต่ละข้อจะเป็นที่เกิดของใบ หากปลูกในพื้นที่ที่มีความอุดมสมบูรณ์มากจะมีเส้นผ่านศูนย์กลางถึง 2 นิ้ว หรือมากกว่านั้น

### 2.4.1.3 ราก

ผักสลัดมีระบบรากแก้วที่แข็งแรงและเจริญอย่างรวดเร็ว โดยเฉพาะเมื่อปลูกในดินร่วนปนทรายที่มีความชื้นเพียงพอ มีการแผ่กระจายของรากใกล้ผิวดิน โดยปริมาณรากจะอยู่รวมกันเป็นกลุ่มหนาแน่นไม่ค่อยแผ่กว้างออกไปมากนัก รากสามารถเจริญเติบโตได้ถึง 1 นิ้วต่อวัน และเจริญลึกลงไปในดินประมาณ 6 ฟุต แต่การย้ายปลูกมีผลดีในการที่จะช่วยให้ผักสลัดชนิดหัว ห่อหัวได้ดียิ่งขึ้น

### 2.4.1.4 ช่อดอก

ดอกผักสลัดมีลักษณะเป็นช่อดอกเป็นแบบที่เรียกว่า panicle ประกอบด้วยกลุ่มของดอกที่อยู่เป็นกระจุกตรงยอด แต่ละกระจุกประกอบด้วยดอกย่อย 15-25 ดอก หรือมากกว่า ก้านดอกยาวประมาณ 2-4 ฟุต เป็นดอกสมบูรณ์เพศ เกสรเพศเมีย 1 อัน รังไข่ 1 ห้อง เกสรเพศผู้ 5 อัน รวมกันเป็นยอดยาวห่อหุ้มเกสรเพศเมียไว้ กลีบดอกสีเหลืองหรือขาวปนเหลือง ดอกจะบานช่วงเช้า และปิดในระยะเวลาสั้น โดยเฉพาะในช่วงที่มีอุณหภูมิต่ำกว่ากระบวนการผสมเกสรจะเสร็จสิ้นภายในเวลา 3-6 ชั่วโมง ในสภาพอุณหภูมิสูง ชวงแสงยาวจะกระตุ้นให้มีการแทงช่อดอกเร็ว ซึ่งจะเป็นปัญหาของการผลิตในฤดูร้อน

### 2.4.1.5 เมล็ด

ผักสลัดเมล็ดเป็นชนิดเมล็ดเดี่ยว (achene) ซึ่งเจริญมาจากรังไข่อันเดียว มีเปลือกหุ้มเมล็ดบาง เปลือกหุ้มเมล็ดจะไม่แตกเมื่อเมล็ดแห้ง เมล็ดมีลักษณะเรียวยาว แบนยาว หัวท้ายแหลม ความยาวประมาณ 4 มิลลิเมตร และกว้างประมาณ 1 มิลลิเมตร มีเส้นเล็ก ๆ ลาดยาวไปตามด้านยาวของเมล็ดที่เปลือกหุ้มเมล็ด เมล็ดมีสีเทาปนครีม

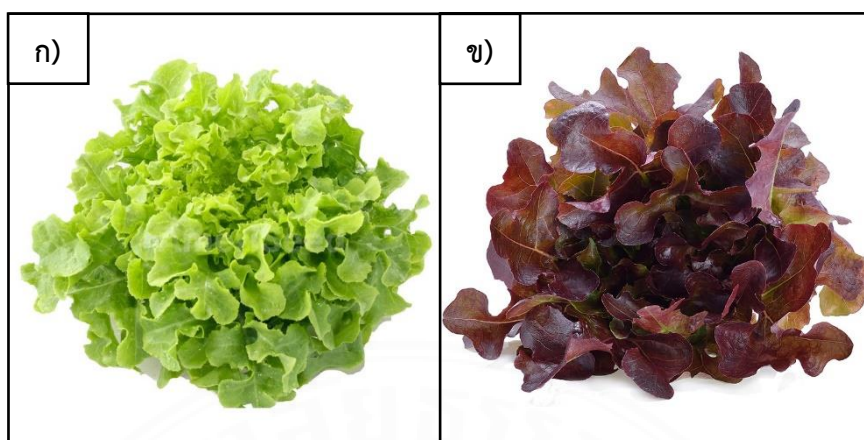
## 2.4.2 สายพันธุ์

สายพันธุ์ของผักสลัดแบ่งตามลักษณะของลำต้นและใบได้ 5 สายพันธุ์ โดยมีรายละเอียดดังนี้

### 2.4.2.1 Leaf lettuce (*Lactuca sativar* Var. *Crispa* L.)

สายพันธุ์ bunching lettuce หรือ loose-leaf ในภาษาไทย เรียกว่า สลัดใบ หรือ ผักกาดหอม สายพันธุ์นี้จะไม่มีการห่อตัว ลักษณะลำต้นสั้นและใบเจริญเป็นกระจุก มีใบจำนวนมาก ใบมีหลากหลายสีบางชนิดมีลักษณะหยิกเป็นลอน และขอบใบลึก สีของใบมีตั้งแต่สีเขียวอ่อนถึงแดง และสีบรอนซ์ อายุการเก็บเกี่ยวสั้น และมีการเจริญเติบโตง่าย ทนต่ออากาศร้อนได้ดี ในประเทศไทยมีพื้นที่ปลูกมากกว่าสายพันธุ์อื่น ๆ โดยมีอายุการเกี่ยวประมาณ 50-60 วัน หลังเพาะกล้าพันธุ์ที่นิยมปลูก ได้แก่ Green Oak และ Red Oak ดังแสดงในภาพที่ 2.6



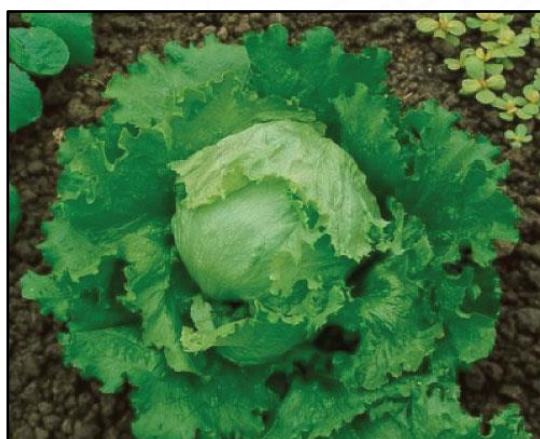


ภาพที่ 2.6 ผักสลัดใบสายพันธุ์ (ก) Green Oak และ (ข) Red Oak

ที่มา: <https://www.ameriseed.net/product/lettuce-oak/>

#### 2.4.2.2 Crisp-head (*L. sativa* var. *capitata* L.)

สายพันธุ์ head lettuce หรือ iceberg type ในภาษาไทย เรียกว่า สลัดปลี ผักกาดหอมห่อ ผักกาดแก้ว หรือ สลัดแก้ว ใบมีขนาดใหญ่ น้ำหนักมาก มีลักษณะห่อหัวแน่น ใบในจะม้วนและซ้อนกันคล้ายกะล่ำปลี เพราะง่าย เห็นเส้นกลางใบชัดเจน มีสีเขียวอ่อน ใบนอกจะมีสีเขียวเข้ม ไม่ทนต่อสภาพอากาศที่ร้อน หรือไม่มีการห่อปลีเมื่อมีอากาศร้อนแต่จะมีการแทงช่อดอกแทน อายุการเก็บเกี่ยวประมาณ 60-75 วัน สายพันธุ์ที่นิยมปลูก ได้แก่ New York Wonderful Great Lake และ Fame ดังแสดงในภาพที่ 2.7



ภาพที่ 2.7 ผักสลัดปลีสายพันธุ์ New York Wonderful Great Lake

ที่มา: <http://ramgoseeds.com/vegetable/lettuce/>

#### 2.4.2.3 Butterhead (*L. sativa* var. *capitata* Lam.)

สายพันธุ์ Bibb หรือ Boston lettuce ในภาษาไทย เรียกว่า สลัดกึ่งห่อ หรือ สลัดบัตเตอร์ ใบมีลักษณะอ่อนนิ่ม ห่อปลีหลวม ใบมีสีเขียวหรือน้ำตาลครีม ใบในจะมีลักษณะ คล้ายน้ำมันหรือเนยจับที่ผิวใบ รสชาติดีแต่ไม่ทนทานต่อการขนส่ง มีอายุการเก็บเกี่ยวหลังหยอดเมล็ด ประมาณ 60 วัน การปลูกในฤดูหนาวจะให้หัวขนาดใหญ่และหัวแน่นกว่าฤดูร้อน การปลูกในฤดูร้อน หรือฤดูฝนควรปลูกในโรงเรือนที่สามารถควบคุมอุณหภูมิ ความชื้นแสง และป้องกันฝน บางสายพันธุ์ ในกลุ่มนี้มีความต้านทานต่อโรคใบด่างของสลัด พันธุ์ที่นิยมปลูก ได้แก่ Boston และ White Boston ดังแสดงในภาพที่ 2.8



ภาพที่ 2.8 ผักสลัดบัตเตอร์สายพันธุ์ Boston

ที่มา: <https://monasterybakery.com/product/boston-lettuce/>

#### 2.4.2.4 Cos (*L. sativa* var. *longifolia* Bailey)

สายพันธุ์ Romaine ในภาษาไทย เรียกว่าสลัดคอส สลัดโรเมน หรือ ผักกาดหวาน ใบมีลักษณะตั้งตรงใบยาว แข็งและแคบ หัวเจริญในลักษณะตั้งตรง คล้ายทรงกระบอก มีการห่อปลีหลวม มีความสูงประมาณ 10 นิ้ว ใบมีสีเขียวปานกลาง มีรสชาดีหวาน อายุการเก็บเกี่ยว ประมาณ 65 วัน หลังหยอดเมล็ด สายพันธุ์ที่นิยมปลูก ได้แก่ Paris White Cursor และ Darkland ดังแสดงในภาพที่ 2.9



ภาพที่ 2.9 ผักสลัดคออสสายพันธุ์ Paris White Cursor

ที่มา: <https://www.edenbrothers.com/store/paris-white-cos-lettuce-seeds.html>

#### 2.4.2.5 Stem (*L. sativa* var. *asparagina*)

สายพันธุ์ Asparagus หรือ Cettuce ในภาษาไทย เรียกว่า ผักกาดหอมต้น นิยมปลูกเพื่อรับประทานลำต้น มีลักษณะลำต้นอวบและสูง ใบจะเกิดขึ้นต่อ ๆ กันไปจนถึงยอด หรือช่อดอก ใบมีลักษณะ คล้ายผักกาดหอมใบ แต่ใบจะเล็กหนาและมีสีเขียวเข้มกว่า สายพันธุ์ที่นิยมปลูก ได้แก่ Cettuce ดังแสดงในภาพที่ 2.10



ภาพที่ 2.10 ผักกาดหอมต้นสายพันธุ์ Cettuce

ที่มา: <https://www.theseedcollection.com.au/Cettuce>

### 2.4.3 สภาพแวดล้อมที่เหมาะสมต่อการเจริญเติบโตของผักสลัด

ผักสลัดเป็นพืชต้องการอากาศอบอุ่น อุณหภูมิและช่วงแสงมีอิทธิพลต่อการเจริญเติบโต ทั้งในด้านลำต้น ใบ และดอก อุณหภูมิที่เมล็ดสามารถงอกได้อยู่ระหว่าง 4.5-27.0 องศาเซลเซียส หากอุณหภูมิอยู่ระหว่าง 33.0-35.0 องศาเซลเซียส เมล็ดจะไม่สามารถงอกได้ ส่งผลให้อัตราการงอกของเมล็ดต่ำ (Rubatzky and Yamaguchi, 2012) อุณหภูมิที่เหมาะสมต่อการเจริญเติบโตอยู่ระหว่าง 20.0-27.0 องศาเซลเซียส การปลูกในสภาพอุณหภูมิสูง การเจริญเติบโตทางใบจะถูกจำกัด พืชจะมีการสร้างสารคลอโรฟิลล์น้อย มีเส้นใยมาก เนื้อเยื่อเหนียว ทำให้มีรสขมและแทงช่อดอกเร็ว สามารถเจริญเติบโตได้ดีในดินแทบทุกชนิด ไม่ว่าจะเป็นดินเหนียว ดินร่วนหรือดินร่วนปนทราย แต่สามารถปลูกผักสลัดได้ผลดีที่สุดที่ดินร่วน ที่มีการระบายน้ำและระบายอากาศดี ค่าค่าพีเอชของดินอยู่ระหว่าง 6.5-7.2 มีความชื้นในดินพอสมควร ผักสลัดเป็นพืชฤดูเดียว มีอายุการเก็บเกี่ยวสั้นประมาณ 50-60 วัน หลังเพาะเมล็ด พื้นที่ปลูกผักสลัดควรได้รับแสงเต็มที่ตลอดทั้งวัน ทั้งนี้การปลูกผักสลัดในโรงเรือนสามารถทำได้ตลอดทั้งปี

#### 2.4.3.1 อุณหภูมิ

ช่วงอุณหภูมิที่เหมาะสมต่อการเจริญเติบโตของผักสลัดอยู่ระหว่าง 20 ถึง 27 องศาเซลเซียส ในสภาพอุณหภูมิสูงการเจริญเติบโตทางใบจะถูกจำกัด พืชจะสร้างสารคลอโรฟิลล์น้อย มีเส้นใยมาก เนื้อเยื่อเหนียว และมีรสขม อุณหภูมิมีอิทธิพลต่อการเจริญเติบโตของผักสลัดปลีและผักสลัดบัตเตอร์มากกว่าสายพันธุ์อื่น นอกจากนี้หากแปลงปลูกมีอุณหภูมิสูง แห้งแล้ง พืชจะแสดงอาการขาดแคลเซียมได้ง่ายทำให้เกิดโรคปลายใบไหม้ (tip burn)

#### 2.4.3.2 ช่วงแสง

แสงเป็นปัจจัยสำคัญในกระบวนการสังเคราะห์ด้วยแสง พืชจะมีระดับความสามารถของการสังเคราะห์แสงเปลี่ยนไปขึ้นอยู่กับความเข้มแสงและคาร์บอนไดออกไซด์ในอากาศ การปลูกพืชเพื่อให้ได้ผลผลิตที่มีคุณภาพจำเป็นต้องควบคุมปริมาณแสงให้พอเหมาะ ถ้าพืชได้รับแสงน้อยเกินไปจะทำให้ไม่เจริญเติบโตเท่าที่ควร การเจริญเติบโตของผักสลัดปลีต้องการความเข้มแสงมากกว่า 150 ไมโครต่อวินาทีต่อตารางเมตร ผักสลัดใบต้องการความเข้มแสง 200-250 ไมโครต่อวินาทีต่อตารางเมตร (Yan *et al.*, 2019) ความยาวคลื่นแสงที่เหมาะสมต่อการงอกของเมล็ดระหว่างช่วง 650-690 นาโนเมตร เมื่อความเข้มแสงสูง คลื่นแสงยาว ส่งผลให้อัตราการเจริญเติบโตด้านลำต้นเพิ่มขึ้น ช่วงช่อดอก ใบจะชะงักการเจริญ ทำให้ใบสั้น การปลูกในช่วงฤดูร้อนที่มีความเข้มแสงสูงควรพรางแสง การปลูกในช่วงฤดูฝนที่มีความชื้นสูงควรมีการระบายน้ำที่ดีเนื่องจากผักสลัดมีระบบรากตื้นและอ่อนแอไม่สามารถเจริญได้ดีในสภาพที่มึนน้ำขัง การปลูกในพื้นที่ ๆ ที่มีปริมาณน้ำฝนมาก ผักสลัดจะมีหัวขนาดใหญ่แต่ไม่แน่น ใบบิดม้วน คุณภาพต่ำ ทั้งนี้ควรปลูกในโรงเรือน

#### 2.4.3.3 ดิน

ดินที่เหมาะสมต่อการปลูกผักสลัด คือ ดินที่มีความร่วนปนทราย ค่าพีเอชของดินอยู่ที่ 6.0-6.5 มีปริมาณอินทรีย์วัตถุสูงและอุ้มน้ำได้ดีปานกลาง (Zyskowsky *et al.*, 2010)

#### 2.4.3.4 น้ำ

น้ำเป็นปัจจัยที่สำคัญในการเจริญเติบโตของพืช ในการปลูกผักจำเป็นต้องมีความชื้นเพียงพอ โดยน้ำเป็นตัวทำละลายธาตุอาหารมีบทบาทสำคัญในการเกิดปฏิกิริยาทางชีววิทยา รักษาอุณหภูมิของพืชให้คงที่ ลำเลียงอาหารและธาตุอาหารต่าง ๆ ในขณะที่พืชหลายชนิดมีน้ำเป็นองค์ประกอบกว่า 80 เปอร์เซ็นต์ ในขณะที่ผักกาดหอมมีน้ำประกอบอยู่ประมาณ 95 เปอร์เซ็นต์ ถ้าขาดน้ำติดต่อกันเป็นเวลานานผักกาดหอมจะชะงักการเจริญเติบโตในที่สุด (Zyskowsky *et al.*, 2010)

#### 2.4.3.5 ธาตุอาหาร

ธาตุอาหารเป็นปัจจัยที่สำคัญในการปลูกพืช เนื่องจากธาตุอาหารจำเป็นต่อการเจริญเติบโตของพืช การปลูกพืชจำเป็นต้องมีธาตุอาหารในสัดส่วนที่พอเหมาะกับความต้องการของพืช ถ้าขาดธาตุอาหารพืชจะไม่สามารถเจริญเติบโตได้อย่างสมบูรณ์ ธาตุอาหารเกี่ยวข้องกับกระบวนการต่าง ๆ เช่น ใช้สร้างอาหาร เส้นใย ฮอโมน และวิตามินที่สำคัญ (Zyskowsky *et al.*, 2010)

ในงานวิจัยนี้สนใจผักสลัดพันธุ์กรีนโอ๊คซึ่งอยู่ในกลุ่มสลัดใบถือเป็นชนิดของผักสลัดที่ได้รับความนิยมเป็นอย่างมากจนได้รับสมญานามว่า The king of salad plant มีชื่อวิทยาศาสตร์ *Lactuca sativa* Var. *crispa* L. อยู่ในสกุล *Lactuca* ชื่อภาษาอังกฤษ green oak lettuce มีถิ่นกำเนิดในทวีปเอเชียและยุโรป ลักษณะโดยทั่วไปใบมีสีเขียวอ่อนหรือเขียวเข้ม (ตามลักษณะของสายพันธุ์) ขอบใบหยัก ลำต้นอวบสั้น ช่วงข้อถี่ใบจะเจริญจากข้อเป็นกลุ่ม มีระบบรากแก้วที่สามารถเจริญลงไปในดินได้อย่างรวดเร็ว เจริญเติบโตได้ดีในเกือบทุกสภาพอากาศ อายุการเก็บเกี่ยวสั้น เป็นผักที่มีความต้องการตลอดทั้งปีและมีความต้องการในประเทศไทยเพิ่มขึ้นเรื่อย ๆ ผักสลัดกรีนโอ๊คเป็นพืชที่นิยมบริโภคสด อีกทั้งยังอุดมไปด้วยคุณค่าทางโภชนาการสูง ไม่ว่าจะเป็นแคลเซียม วิตามินเอ วิตามินซีและวิตามินอี รวมไปถึงรงควัตถุต่าง ๆ โดยเฉพาะคลอโรฟิลล์ และแคโรทีนอยด์

### 2.5 ธาตุอาหารพืช

ผักสลัดต้องการธาตุอาหารสูงในระยะแรกของการเจริญเติบโต สำหรับสร้างต้นและใบขนาดใหญ่ เพื่อสร้างอาหารสำหรับการเจริญของหัว ดินที่มีความอุดมสมบูรณ์สูงจะให้ผลผลิตที่มีคุณภาพสูง



เนื่องจากผักสลัดเป็นพืชที่มีอายุเก็บเกี่ยวสั้น เจริญเติบโตอย่างรวดเร็ว ดังนั้นจำเป็นอย่างยิ่งที่จะต้องมีการจัดหาธาตุอาหารอย่างเพียงพอบริเวณราก ธาตุที่พืชต้องการในปริมาณมาก หรือมหธาตุ (macronutrient elements) คือ ธาตุอาหารที่จำเป็นต่อการเจริญเติบโตและพืชที่มีความต้องการในปริมาณมากเมื่อเทียบกับธาตุอื่น ๆ มี ทั้งหมด 6 ธาตุ (กรมส่งเสริมการเกษตร. 2547: ออนไลน์) โดยมีรายละเอียดดังนี้

### 2.5.1 ไนโตรเจน (N)

ไนโตรเจนเป็นธาตุอาหารที่มีความสำคัญต่อการเจริญเติบโตของพืชอย่างมาก ถ้าพืชมีการขาดไนโตรเจนจะสังเกตได้จากใบล่างของพืชจะเริ่มมีอาการเหลืองซีดลามขึ้นไปถึงปลายยอด เพราะไนโตรเจนเป็นองค์ประกอบของกรดอะมิโน โปรตีน นิวคลีโอไทด์ และคลอโรฟิลล์ ซึ่งสารเหล่านี้เป็นสารประกอบที่สำคัญมากต่อกระบวนการเมแทบอลิซึมของพืช พืชที่ได้รับไนโตรเจนเพียงพอจะมีการเจริญเติบโตดี ใบมีสีเขียวเข้ม ไนโตรเจนมีส่วนสำคัญในการเพิ่มคุณภาพ เพราะเป็นตัวทำให้ผักมีลักษณะอวบ น้ำ ส่วนในพืชที่มีไนโตรเจนมากเกินไป พืชจะมีสีเขียวเข้ม ลำต้นอวบสูง ศัตรูพืชทำลายได้ง่าย ไนโตรเจนมักพบในรูปของแอมโมเนียมเป็นส่วนใหญ่ ซึ่งมีอยู่ในบรรยากาศมากถึง 78 เปอร์เซ็นต์ แต่มักพบว่าไนโตรเจนในดินส่วนใหญ่อยู่ในรูปที่ขาดแคลน ในขณะที่พืชมีความต้องการธาตุดังกล่าวในปริมาณมาก จึงมีความจำเป็นต้องใส่ลงไปในดินในรูปปุ๋ยชนิดต่าง ๆ นอกจากนี้พืชยังได้รับไนโตรเจนจากแหล่งอื่น ๆ เช่น จากการสลายตัวของอินทรีย์วัตถุ หรือการตรึงไนโตรเจนจากอากาศของกลุ่มจุลินทรีย์บางชนิดด้วย ไนโตรเจนในดินส่วนใหญ่อยู่ในรูปของสารอินทรีย์แต่พืชดูดซึมเอาไปได้ในรูปของสารอนินทรีย์ คือ แอมโมเนียม ( $\text{NH}_4^+$ ) และไนเตรต ( $\text{NO}_3^-$ ) ซึ่งการเปลี่ยนรูปไนโตรเจนอินทรีย์เป็นกระบวนการที่ต้องอาศัยการทำงานของจุลินทรีย์ดิน และถ้าไนโตรเจนถูกปลดปล่อยออกมาในรูปแอมโมเนียมเป็นจำนวนมากก็就会被ตรึงและเปลี่ยนเป็นไนเตรต โดยสัดส่วนปริมาณของคาร์บอนต่อไนโตรเจนมีผลต่อกิจกรรมของจุลินทรีย์ เช่น ถ้า C:N มากกว่า 50:1 ทำให้มีการดึงเอาไนโตรเจนมาใช้พืชจะแสดงอาการขาดธาตุไนโตรเจน แต่ถ้าค่าน้อยกว่า 25:1 จะมีไนโตรเจนส่วนเกินที่ถูกปลดปล่อยสู่ดิน

### 2.5.2 ฟอสฟอรัส (P)

ฟอสฟอรัสที่พืชได้รับส่วนใหญ่จะอยู่ในรูปของไอออนของฟอสเฟต เช่น monobasic orthophosphate ( $\text{H}_2\text{PO}_4^{2-}$ ) และ dibasic orthophosphate ( $\text{HPO}_4^-$ ) ส่วน tribasic orthophosphate ( $\text{PO}_4^{3-}$ ) พืชอาจดูดไปใช้ได้แต่ไม่มีโอกาสเพราะมักมีปริมาณน้อย ในสารละลายรูปของฟอสเฟตไอออนจะเปลี่ยนรูปตามค่าพีเอชของดิน ฟอสฟอรัสมาจากแร่แอปาไทต์ (apatite) ซึ่งเป็นแร่ประกอบหินที่เป็นทรัพยากรที่ใช้หมดได้และไม่มีการหมุนเวียนในช่วงระยะเวลายาวนาน ฟอสฟอรัสส่วนใหญ่จะอยู่บริเวณที่ใส่ในดินเนื่องจากฟอสฟอรัสจะทำปฏิกิริยากับแคลเซียมหรือเหล็กและ

อะลูมิเนียมในสารละลายดินทำให้เกิดเป็นสารประกอบในรูปที่ไม่เป็นประโยชน์ต่อพืช โดยปกติธาตุฟอสฟอรัสไรโรธรรมชาติจะอยู่ในรูปที่เป็นส่วนหนึ่งของ phosphate ions โดยรูปที่มีมากที่สุดคือ orthophosphate โดยจะอยู่ในรูป  $\text{H}_2\text{PO}_4^-$  ในสภาพดินที่เป็นกรด และรูปของ  $\text{H}_2\text{PO}_4^{2-}$  ในสภาพดินที่เป็นด่าง ฟอสฟอรัสมีหน้าที่เกี่ยวข้องกับการเจริญเติบโตและการแบ่งเซลล์ของพืช นอกจากนั้นพืชจะเก็บรักษาฟอสฟอรัสไว้ในรูปของไฟติน (phytin) เพื่อใช้ในกระบวนการงอกของเมล็ด หากดินมีฟอสฟอรัสไม่เพียงพอกับความต้องการของพืชจะเกิดผลกระทบต่อการเจริญเติบโตของพืช ซึ่งต้องมีการเพิ่มประสิทธิภาพของฟอสฟอรัสในดินหรือใส่ปุ๋ยฟอสฟอรัสให้กับพืช ในปัจจุบันนี้ยังไม่ทราบแน่ชัดว่าพืชดูดฟอสฟอรัสในรูปแบบใด

### 2.5.3 โพแทสเซียม (K)

โพแทสเซียมเป็นธาตุอาหารหลักที่จำเป็นต่อการเจริญเติบโตของพืชชนิดหนึ่ง มีหน้าที่เกี่ยวกับการทำงานด้านสรีรวิทยาของพืช จึงจำเป็นต่อพืชผักประเภทหัว นอกจากนี้โพแทสเซียมยังควบคุมการปิดเปิดของปากใบและกระตุ้น การทำงานของเอนไซม์ ปริมาณโพแทสเซียมที่มีอยู่ในดินจะแตกต่างกันไปตามชนิดของดิน ระยะเวลาของการกักร่อน และการชะล้างดิน ในดินที่มีปริมาณดินเหนียวสูงมักจะมีปริมาณโพแทสเซียมเพียงพอ แต่ในดินที่เป็นดินทรายมักจะมีปริมาณโพแทสเซียมต่ำ ดังนั้นเนื้อดินจึงเป็นปัจจัยหนึ่งที่ควบคุมความเป็นประโยชน์ของโพแทสเซียม โพแทสเซียมเป็นธาตุอาหารที่ถูกชะล้างจากดินได้ง่าย อีกทั้งการปลูกพืชติดต่อกันเป็นเวลายาวนานส่งผลให้โพแทสเซียมที่เป็นประโยชน์ในดินลดลง เนื่องจากการดูดใช้ของพืช การวิเคราะห์ค่าโพแทสเซียมในดินจึงมีความจำเป็นอย่างยิ่ง เพื่อการแนะนำอัตราปุ๋ยแก่พืชในระบบการปลูกพืช

### 2.5.4 แคลเซียม (Ca)

แคลเซียมมีบทบาทสำคัญในการแบ่งเซลล์และขยายตัวยืดยาวของเซลล์ แคลเซียมเป็นองค์ประกอบของผนังเซลล์ และมีบทบาทในการสร้างโปรตีน หน้าที่หลักภายในพืชจึงเกี่ยวข้องกับความแข็งแรงของเนื้อเยื่อเซลล์พืช นอกจากนั้นยังมีบทบาทในการกระตุ้นการทำงานของเอนไซม์อีกด้วย การดูดแคลเซียมขึ้นไปสู่ส่วนบนของพืชอาศัยแรงดันจากน้ำในการคายน้ำ แต่ในเวลากลางคืนการคายน้ำเกิดขึ้นน้อย พบว่าแคลเซียมถูกทำลายลงโดยแรงดันรากแต่การลำเลียงในท่ออาหารเกิดขึ้นน้อย และมีการสะสมแคลเซียมในเซลล์บริเวณรอบ ๆ ท่ออาหาร แคลเซียมที่พืชนำไปใช้ได้อยู่ในรูปของแคลเซียมไอออน ( $\text{Ca}^{2+}$ ) แหล่งของแคลเซียมส่วนใหญ่คือ แคลเซียมไนเตรท ( $\text{Ca}(\text{NO}_3)_2$ ) เนื่องจากละลายน้ำได้ดีราคาไม่แพงอีกทั้งยังให้ธาตุไนโตรเจนด้วย ถ้าปริมาณของแคลเซียมมากเกินไปจะมีผลต่อธาตุตัวอื่น ๆ เช่น โพแทสเซียม เหล็ก และแมกนีเซียม

### 2.5.5 แมกนีเซียม (Mg)

แมกนีเซียมในพืชทำหน้าที่เป็นอะตอมแกนกลางของโมเลกุลของคลอโรฟิลล์ เป็นตัวเชื่อมระหว่างไรโบโซมในกระบวนการสังเคราะห์โปรตีน และเป็นตัวกระตุ้นการทำงานของเอนไซม์ที่เกี่ยวข้องกับการสร้างแป้ง นอกจากนี้ยังมีบทบาทในการดูดซึมธาตุอาหาร และการเคลื่อนย้ายธาตุอาหารของพืช แมกนีเซียมที่พืชนำไปใช้ได้อยู่ในรูปของแมกนีเซียมซัลเฟต ( $\text{MgSO}_4$ ) ถ้ามีแมกนีเซียมมากเกินไปจะยับยั้งการดูดแคลเซียมตัวอื่นทำให้เกิดอาการขาดธาตุนั้น

### 2.5.6 กำมะถัน (S)

กำมะถันอยู่ในรูปของแก๊สซัลเฟอร์ไดออกไซด์ ( $\text{SO}_2$ ) และเปลี่ยนเป็นซัลเฟตโดยพืช จะดูดซึมกำมะถันจากดินในรูปของซัลเฟต ปริมาณกำมะถันทั้งหมดในเนื้อเยื่อพืชมีประมาณร้อยละ 0.2-0.5 ของน้ำหนักแห้ง เมื่อพืชได้รับซัลเฟตแล้วจะเปลี่ยนเป็นซัลไฟด์ก่อนจะเปลี่ยนไปเป็นองค์ประกอบของโปรตีนและกรดอะมิโน เช่น ซิสเทอีน (cysteine) และเมไทโอนีน (methionine) นอกจากนั้นกำมะถันยังต่อการสังเคราะห์คลอโรฟิลล์ของพืชด้วย

ธาตุที่ต้องการในปริมาณน้อยหรือจุลธาตุ (micronutrient element) คือธาตุอาหารที่จำเป็นต่อการเจริญเติบโตของพืชแต่พืชต้องการในปริมาณน้อยเปรียบเทียบกับธาตุอื่น ๆ มีทั้งหมด 7 ธาตุ โดยมีรายละเอียดดังนี้

### 2.5.7 เหล็ก (Fe)

เหล็กเป็นองค์ประกอบของเอนไซม์หลายชนิด และเป็นตัวเร่งปฏิกิริยาต่าง ๆ ในเซลล์ เป็นส่วนประกอบของเฟอร์ริดอกซิน ซึ่งสำคัญในกระบวนการถ่ายทอดอิเล็กตรอนของพืช และมีบทบาทในการสร้างโปรตีนและคลอโรฟิลล์ นอกจากนั้นเหล็กเป็นธาตุที่ไม่ค่อยมีการเคลื่อนย้ายในพืช เหล็กที่พืชสามารถนำไปใช้ได้อยู่ในรูปของเฟอร์รัสไอออน ( $\text{Fe}^{2+}$ ) และเฟอร์ริกไอออน ( $\text{Fe}^{3+}$ ) แหล่งของเหล็กส่วนใหญ่คือเฟอร์รัสซัลเฟต ( $\text{FeSO}_4$ ) ซึ่งละลายน้ำได้ดี แต่ตกตะกอนเร็วต้องระวังเรื่องค่าพีเอชจึงนิยมใช้เหล็กในรูปของคีเลตที่เป็นส่วนของสารประกอบอินทรีย์สามารถคงตัวอยู่ในรูปสารละลายธาตุอาหารพืช และพืชสามารถนำไปใช้ได้

### 2.5.8 แมงกานีส (Mn)

แมงกานีสที่พืชนำไปใช้จะอยู่ในรูปของแมงกานีสไอออน ( $\text{Mn}^{2+}$ ) แมงกานีสถูกลำเลียงไปลำต้นในรูปของไอออนอิสระ จะเคลื่อนย้ายไปยังส่วนของเนื้อเยื่อเจริญ จึงมักพบแมงกานีสมากในบริเวณของส่วนเนื้อเยื่อที่ยังอ่อนอยู่ แมงกานีสเป็นตัวเร่งปฏิกิริยาของเอนไซม์หลายชนิด พืชที่ขาดแมงกานีสจะมีกิจกรรมของเอนไซม์อินโดเลอิกแอซิดออกซิเดส (indoleacetic acid oxidase: IAA oxidase) เพิ่มขึ้นทำให้เกิดการเสื่อมสลายของอินโดเลอิกแอซิด (indoleacetic acid: IAA) ในเนื้อเยื่อพืช



นอกจากนั้นยังมีบทบาทสำคัญในกระบวนการสังเคราะห์แสง และการทำงานร่วมกับธาตุอื่น เช่น เหล็ก แคลเซียม และแมกนีเซียม

#### 2.5.9 สังกะสี (Zn)

สังกะสีที่พืชนำไปใช้จะอยู่ในรูปของซิงค์ไอออน ( $Zn^{2+}$ ) ได้จากซิงค์ซัลเฟต ( $ZnSO_4$ ) หรือซิงค์คลอไรด์ ( $ZnCl_2$ ) สังกะสีเป็นองค์ประกอบสำคัญของเอนไซม์สำคัญหลายชนิด หากพืชขาดสังกะสีจะมีปริมาณของออกซิเจนต่ำ ทั้งนี้เนื่องจากสังกะสีมีบทบาทในกระบวนการสังเคราะห์ทริปโตเฟน (tryptophan) ซึ่งเป็นกรดอะมิโนที่สำคัญในกระบวนการสร้างโปรตีน และยังมีบทบาทในการสร้างแป้งของพืช นอกจากนี้สังกะสียังมีปริมาณสัมพันธ์กับปริมาณฟอสฟอรัสในพืชด้วย ถ้ามีฟอสฟอรัสมากเกินไปอาจส่งผลให้พืชขาดสังกะสี

#### 2.5.10 ทองแดง (Cu)

ทองแดงที่พืชนำไปใช้จะอยู่ในรูปของคอปเปอร์ไอออน ( $Cu^{2+}$ ) ได้จากคอปเปอร์ซัลเฟต ( $CuSO_4$ ) หรือคอปเปอร์คลอไรด์ ( $CuCl_2$ ) ทองแดงที่พบในสารละลายดินจะอยู่ในรูปของสารประกอบอินทรีย์และจะมีปริมาณลดลงเมื่อดินมีความเป็นกรดมากขึ้น ทองแดงเป็นธาตุที่มีความจำเป็นเนื่องจากเป็นองค์ประกอบของ โปรตีน ช่วยในกระบวนการหายใจ และการส่งเสริมให้พืชนำเหล็กมาใช้ประโยชน์ได้มากขึ้น หน้าที่ของทองแดงจะเกี่ยวข้องกับการทำงานของเอนไซม์ที่มีทองแดงเป็นองค์ประกอบมีผลต่อการสร้างผนังเซลล์และเป็นองค์ประกอบของโปรตีน ทองแดงมีผลต่อพืชในระยะการติดผลและเมล็ดมากกว่าระยะการเจริญเติบโตของใบและลำต้น

#### 2.5.11 โบรอน (B)

โบรอนที่พืชนำไปใช้อยู่ในรูปของโบเรตไอออน ( $BO_3^{3-}$ ) ซึ่งมีอยู่ในน้ำตามธรรมชาติ หรือได้จากกรดบอริก ( $H_3BO_3$ ) โบรอนมีบทบาทต่อการสังเคราะห์และการเคลื่อนย้ายคาร์โบไฮเดรต การสร้างกรดอะมิโนและโปรตีน รวมถึงการงอกและการเจริญเติบโตของละอองเกสรตัวผู้ และกิจกรรมต่าง ๆ ของเซลล์ ทำให้ได้ผลผลิตพืชเพิ่มมากขึ้น นอกจากนี้โบรอนยังมีอิทธิพลต่อสัดส่วนการดูดใช้ธาตุที่มีประจุบวก (anions) และธาตุที่มีประจุลบ (cations) ของพืช โดยจะส่งเสริมให้มีการดูดใช้ธาตุที่มีประจุบวกได้ดีขึ้นและธาตุที่มีประจุลบลดลง ที่เด่นชัดคือการดูดใช้แคลเซียมจะดีขึ้นถ้ามีโบรอนเพียงพอ

#### 2.5.12 โมลิบดีนัม (Mo)

พืชสามารถนำโมลิบดีนัมไปใช้อยู่ในรูปของโมลิบเดตไอออน ( $MoO_4^{2-}$ ) ซึ่งอาจได้จากสารแอมโมเนียมโมลิบเดต หรือโซเดียมโมลิบเดต โมลิบดีนัมเป็นองค์ประกอบของเอนไซม์บางชนิด เช่น ไนโตรจีเนส (nitrogenase) ซึ่งสำคัญต่อการตรึงไนโตรเจนในอากาศ และไนเตรตรีดักเตส (nitrate reductase) ซึ่งเกี่ยวข้องกับการรีดิวซ์ไนเตรทให้เป็นไนไตรท์

### 2.5.13 คลอรีน (Cl)

คลอรีนจะอยู่ในรูปของสารละลายคลอรีนไฮดรอกไซด์ (Cl<sup>-</sup>) ซึ่งพืชสามารถดูดไปใช้ได้ทันที คลอรีนเป็นธาตุที่พืชต้องการในปริมาณที่น้อยมาก แต่ก็มีความสำคัญต่อการเจริญเติบโตของพืช เนื่องจากธาตุคลอรีนช่วยกระตุ้นปฏิกิริยาของเอนไซม์บางชนิดในกระบวนการเมแทบอลิซึมของพืช และยังช่วยในกระบวนการสังเคราะห์แสงของพืช ถ้าขาดคลอรีนพืชจะเหี่ยวง่าย แต่หากพืชได้รับคลอรีนความเข้มข้นสูงเกินกว่าร้อยละ 1 ส่งผลให้เป็นพิษต่อพืช คลอรีนจะไปยับยั้งการนำธาตุที่อยู่ในรูปประจุลบตัวอื่น ๆ มาใช้ประโยชน์ทำให้พืชเจริญเติบโตช้าลงส่งผลให้ขนาดใบลดลง

ดังนั้นงานวิจัยนี้จึงศึกษาแบคทีเรีย 2 สายพันธุ์คือ *Bacillus subtilis* BTK07 และ *Paenibacillus polymyxa* BTK01 เพื่อนำมาผลิตเอนไซม์สัลดินและน้ำหมักที่ประกอบไปด้วยเซลล์แบคทีเรียและเอนไซม์สัลดินเพื่อศึกษาความสามารถในการส่งเสริมการงอกของเมล็ดและการเจริญเติบโตของผักสลัดพันธุ์กรีนโอ๊คตลอดจนปรับปรุงคุณภาพของดินทั้งจุลินทรีย์ในดินและธาตุอาหารในดิน โดยมุ่งเน้นการทำเกษตรปลอดภัยหรือเกษตรอินทรีย์เพื่อลดความเสี่ยงและอันตรายต่อสุขภาพของเกษตรกร ตลอดจนสุขภาพผู้บริโภคจากสารเคมีตกค้าง ลดการปนเปื้อนและสารพิษตกค้าง ลดปัญหาการเสื่อมสภาพของระบบนิเวศ ลดต้นทุนการผลิตเนื่องจากการใช้สารเคมี และทำให้การผลิตทางการเกษตรของประเทศไทยมีความยั่งยืน

## บทที่ 3

### วิธีการวิจัย

#### 3.1 วิธีดำเนินการทดลอง

##### 3.1.1 แบคทีเรีย

แบคทีเรีย *Bacillus subtilis* BTK07 และ *Paenibacillus polymyxa* BTK01 คัดแยกได้จากดินหลังการเก็บเกี่ยวผลผลิตจากนาข้าวอินทรีย์ ในจังหวัดกาญจนบุรี โดยแบคทีเรียทั้ง 2 สายพันธุ์ สามารถผลิตเอนไซม์แมนนาเนสและไซลาลเนส (Chantorn *et al.*, 2021) เก็บแบคทีเรียทั้ง 2 สายพันธุ์ในกลีเซอรอลความเข้มข้น 15 เปอร์เซ็นต์โดยปริมาตรที่อุณหภูมิ -20 องศาเซลเซียส

##### 3.1.2 การเตรียมกล้าเชื้อ

นำเชื้อแบคทีเรียบริสุทธิ์ที่เก็บในอาหารเหลวที่ผสมกลีเซอรอล 15 เปอร์เซ็นต์ โดยปริมาตรที่อุณหภูมิ -20 องศาเซลเซียส ถ่ายลงในอาหาร nutrient broth (NB) 100 มิลลิลิตร บ่มในเครื่องเขย่าควบคุมอุณหภูมิ 37 องศาเซลเซียส ความเร็วรอบ 200 รอบต่อนาที เป็นเวลา 24 ชั่วโมง จากนั้นนำเชื้อแบคทีเรียมาคัดแยกให้บริสุทธิ์ด้วยเทคนิค cross streak บนอาหาร nutrient agar (NA) บ่มที่อุณหภูมิ 37 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 16-18 ชั่วโมง คัดเลือกโคโลนีเดี่ยวมาเลี้ยงในอาหาร NB บ่มในเครื่องเขย่าควบคุมอุณหภูมิ 37 องศาเซลเซียส ความเร็วรอบ 200 รอบต่อนาที เป็นเวลา 24 ชั่วโมง จากนั้นนำกล้าเชื้อเริ่มต้นวัดค่าการดูดกลืนแสงที่ 600 นาโนเมตร ให้ได้เท่ากับ 0.5 ถ่ายกล้าเชื้อเริ่มต้นปริมาณ 1.5 เปอร์เซ็นต์โดยปริมาตรลงในอาหารสำหรับผลิตเอนไซม์ (Chantorn *et al.*, 2021) เพื่อใช้เป็นกล้าเชื้อเริ่มต้นสำหรับขั้นตอนต่อไป

##### 3.1.3 การผลิตน้ำหมักและเอนไซม์จาก *Bacillus subtilis* BTK07

นำกล้าเชื้อ *B. subtilis* BTK07 เริ่มต้นจากข้อ 3.1.2 ถ่ายลงในอาหารสำหรับผลิตเอนไซม์ที่ประกอบด้วยกากมะพร้าว 10.0 กรัม กากถั่วเหลือง 12.9 กรัม ไตโพแทสเซียม ไฮโดรเจนฟอสเฟต ( $K_2HPO_4$ ) 4.0 กรัม โพแทสเซียมคลอไรด์ (KCl) 0.2 กรัม แมกนีเซียมซัลเฟต ( $MgSO_4 \cdot 7H_2O$ ) 1.0 กรัม และเฟอร์รัสซัลเฟต ( $FeSO_4 \cdot 7H_2O$ ) 0.02 กรัม ละลายในน้ำกลั่น 1,000 มิลลิลิตร (Chantorn *et al.*, 2021) บ่มในเครื่องเขย่าควบคุมอุณหภูมิ 30 องศาเซลเซียส ความเร็วรอบ 200 รอบต่อนาที เป็นเวลา 20 ชั่วโมง จากนั้นแยกเป็น 2 ส่วน ดังนี้ ส่วนที่ 1 นำมาปั่นเหวี่ยงที่ความเร็วรอบ 3,000 รอบต่อนาที ที่อุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 30 นาที แยกเก็บส่วนใสหรือสารละลายเอนไซม์สกัดหยาบ (crude enzyme: CE) ส่วนที่ 2 สารละลายน้ำหมักที่ประกอบไปด้วย

เซลล์แบคทีเรียและเอนไซม์สกัดหยาบที่ไม่ผ่านการปั่นเหวี่ยง (fermented broth: FB) เพื่อนำไปวิเคราะห์ในขั้นตอนต่อไป

### 3.1.4 การผลิตน้ำหมักจาก *Paenibacillus polymyxa* BTK01

นำกล้าเชื้อ *P. polymyxa* BTK01 เริ่มต้นจากข้อ 3.1.2 ถ่ายลงในอาหารสำหรับผลิตเอนไซม์ที่ประกอบด้วยฟางข้าว 15.0 กรัม กากถั่วเหลือง 17.2 กรัม ไดโพแทสเซียมไฮโดรเจนฟอสเฟต ( $K_2HPO_4$ ) 4.0 กรัม โพแทสเซียมคลอไรด์ (KCl) 0.2 กรัม แมกนีเซียมซัลเฟต ( $MgSO_4 \cdot 7H_2O$ ) 1.0 กรัม และเฟอร์รัสซัลเฟต ( $FeSO_4 \cdot 7H_2O$ ) 0.02 กรัม ละลายในน้ำกลั่น 1,000 มิลลิลิตร (Chantorn *et al*, 2021) บ่มในเครื่องเขย่าควบคุมอุณหภูมิ 37 องศาเซลเซียส ความเร็วรอบ 200 รอบต่อนาที เป็นเวลา 20 ชั่วโมง จากนั้นแยกเป็น 2 ส่วน ดังนี้ ส่วนที่ 1 นำมาปั่นเหวี่ยงที่ความเร็วรอบ 3,000 รอบต่อนาที ที่อุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 30 นาที แยกเก็บส่วนใสหรือสารละลายเอนไซม์สกัดหยาบและส่วนที่ 2 สารละลายน้ำหมักที่ประกอบไปด้วยเซลล์แบคทีเรียและเอนไซม์สกัดหยาบที่ไม่ผ่านการปั่นเหวี่ยงเพื่อนำไปวิเคราะห์ในขั้นตอนต่อไป

## 3.2 การวิเคราะห์

### 3.2.1 การวิเคราะห์กิจกรรมของเอนไซม์

#### 3.2.1.1 แมนนาเนส

นำฟอตเฟสบัฟเฟอร์พีเอชเท่ากับ 7.0 ความเข้มข้น 0.2 โมลาร์ ที่มีโลคัสบินกัม (locust bean gum: LBG) 0.5 เปอร์เซ็นต์โดยปริมาตรเป็นสับสเตรท จากนั้นปิเปตสารผสมมาปริมาตร 0.5 มิลลิลิตร ใส่ในหลอดทดลอง และเติมสารละลายเอนไซม์สกัดหยาบ 0.5 มิลลิลิตร เขย่าให้เข้ากัน นำไปบ่มในอ่างน้ำควบคุมอุณหภูมิที่อุณหภูมิ 37 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 10 นาที จากนั้นเติมสารละลายกรดไธไนโตรซาลิไซลิก 1.0 มิลลิลิตร เขย่าให้เข้ากัน นำไปต้มในน้ำเดือดที่อุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 5 นาที แล้วทำให้เย็นลงทันที เติมน้ำกลั่นปริมาตร 10.0 มิลลิลิตร เขย่าให้เข้ากัน จากนั้นวัดค่าดูดกลืนแสงที่ 540 นาโนเมตร โดยชุดควบคุมจะใส่เอนไซม์สกัดหยาบหลังจากเติมสารละลายกรดไธไนโตรซาลิไซลิก คำนวณหากิจกรรมแมนนาเนสเทียบกับกราฟมาตรฐาน โดยมีน้ำตาลแมนโนสเป็นน้ำตาลมาตรฐาน กำหนดให้ 1 หน่วยของเอนไซม์คือปริมาณเอนไซม์ที่ใช้อยู่ยาสับสเตรทแล้วได้ผลิตภัณฑ์เป็นน้ำตาลแมนโนส 1 ไมโครโมลต่อนาที ภายใต้สภาวะที่ทดสอบ

### 3.2.1.2 ไชลานเนส

นำฟอสเฟตบัพเฟอร์พีเอชเท่ากับ 7.0 ความเข้มข้น 0.2 โมลาร์ที่มีบีซูวิต ไชแลน (beechwood xylan: BX) 0.5 เปอร์เซ็นต์โดยปริมาตรเป็นสับสเตรทจากนั้นปิเปตสารผสม มาปริมาตร 0.5 มิลลิลิตร ใส่ในหลอดทดลอง และเติมสารละลายเอนไซม์สกัดหยาบ 0.5 มิลลิลิตร เขย่าให้เข้ากัน นำไปบ่มในอ่างน้ำควบคุมอุณหภูมิ ที่อุณหภูมิ 37 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 10 นาที จากนั้นเติมสารละลายกรดไคนโตรซาลิไซลิก 1.0 มิลลิลิตร เขย่าให้เข้ากัน นำไปต้มในน้ำเดือดที่ อุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 5 นาที แล้วทำให้เย็นลงทันที เติมน้ำกลั่นปริมาตร 10.0 มิลลิลิตร เขย่าให้เข้ากัน จากนั้นวัดค่าดูดกลืนแสงที่ 540 นาโนเมตร โดยชุดควบคุมจะใส่เอนไซม์สกัด หยาบหลังจากเติมสารละลายกรดไคนโตรซาลิไซลิก คำนวณหากิจกรรมไชลานเนสเทียบกับกราฟ มาตรฐาน โดยมีน้ำตาลไซโลสเป็นน้ำตาลมาตรฐาน กำหนดให้ 1 หน่วยของเอนไซม์คือปริมาณ เอนไซม์ที่ใช้ย่อยสับสเตรทแล้วได้ผลิตภัณฑ์เป็นน้ำตาลไซโลส 1 ไมโครโมลต่อนาที ภายใต้สภาวะที่ ทดสอบ

### 3.2.2 การวิเคราะห์ปริมาณโปรตีน

วัดปริมาณโปรตีนด้วยวิธีฟอลิน-โลว์รี (Folin-Lowry method) (OH, 1951) มี ขั้นตอนการวิเคราะห์ดังนี้ เตรียมสารละลาย A ประกอบด้วยคอปเปอร์ซัลเฟต ( $\text{CuSO}_4$ ) จำนวน 0.5 กรัม ผสมกับโซเดียมซิเตรต ( $\text{Na}_3\text{C}_6\text{H}_5\text{O}_7$ ) จำนวน 1.0 กรัม ละลายในน้ำกลั่น 100 มิลลิลิตร สารละลาย B ประกอบด้วยโซเดียมคาร์บอเนต ( $\text{Na}_2\text{CO}_3$ ) จำนวน 20.0 กรัม ผสมกับโซเดียม ไฮดรอกไซด์ ( $\text{NaOH}$ ) จำนวน 4.0 กรัม ละลายในน้ำกลั่น 1000 มิลลิลิตร สารละลาย C ประกอบด้วย สารละลาย A ปริมาตร 1.0 มิลลิลิตร ผสมกับสารละลาย B ปริมาตร 50.0 มิลลิลิตร และสารละลาย D ประกอบด้วยสาร folin-ciocalteu phenol ปริมาตร 10.0 มิลลิลิตรผสมกับน้ำกลั่นปริมาตร 10.0 มิลลิลิตร จากนั้นปิเปตสารละลายเอนไซม์สกัดหยาบปริมาตร 0.5 มิลลิลิตรใส่ในหลอดทดลอง และ เติมสารละลาย C ปริมาตร 2.5 มิลลิลิตร ผสมให้เข้ากันตั้งทิ้งไว้ที่อุณหภูมิห้องเป็นเวลา 10 นาที เติม สารละลาย D ปริมาตร 0.25 มิลลิลิตร ผสมให้เข้ากันตั้งทิ้งไว้ที่อุณหภูมิห้องเป็นเวลา 30 นาที จากนั้น นำไปวัดการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 750 นาโนเมตร คำนวณหาปริมาณของโปรตีนโดยเทียบกับ กราฟมาตรฐาน โดยมี bovine serum albumin (BSA) เป็นโปรตีนมาตรฐาน

### 3.2.3 การวิเคราะห์สภาวะที่เหมาะสมต่อการทำงานและความคงตัวของเอนไซม์

#### 3.2.3.1 การวิเคราะห์พีเอชที่เหมาะสมต่อการทำงานของเอนไซม์

นำเอนไซม์ปริมาตร 500 ไมโครลิตรบ่มร่วมกับ 0.5 เปอร์เซ็นต์ LBG หรือ BX ปริมาตร 500 ไมโครลิตร ซึ่งใช้เป็นสับสเตรทสำหรับตรวจวัดกิจกรรมแมนนาเนสและไชลานเนส

ตามลำดับ บ่มที่ค่าพีเอชแตกต่างกัน ได้แก่ โซเดียมซัลเฟตบัพเฟอร์ (พีเอช 3.0-5.0) โซเดียมฟอสเฟตบัพเฟอร์ (พีเอช 6.0-8.0) และ ไกลซีน-โซเดียมไฮดรอกไซด์บัพเฟอร์ (พีเอช 9.0-10.0) ความเข้มข้น 0.2 โมลาร์ บ่มที่อุณหภูมิ 37 องศาเซลเซียสจากนั้นตรวจวัดกิจกรรมของเอนไซม์ (ข้อ 3.2.1.1-3.2.1.2)

### 3.2.3.2 การวิเคราะห์อุณหภูมิที่เหมาะสมต่อการทำงานของเอนไซม์

นำเอนไซม์ปริมาตร 500 ไมโครลิตร บ่มร่วมกับ 0.5 เปอร์เซ็นต์ LBG หรือ BX ปริมาตร 500 ไมโครลิตร ซึ่งใช้เป็นสับสเตรทสำหรับตรวจวัดกิจกรรมแมนแนนเนสและไซลาเนสตามลำดับ บ่มที่อุณหภูมิแตกต่างกัน ได้แก่ 30, 40, 50, 60, 70, และ 80 องศาเซลเซียสตามลำดับ เป็นเวลา 10 นาที จากนั้นตรวจวัดกิจกรรมของเอนไซม์ (ข้อ 3.2.1.1-3.2.1.2)

### 3.2.3.3 การวิเคราะห์อุณหภูมิที่มีผลต่อความคงตัวของเอนไซม์

นำเอนไซม์บ่มที่อุณหภูมิที่เหมาะสมต่อการทำงานของเอนไซม์ เป็นเวลา 10, 30, 60, 120 และ 180 นาทีตามลำดับ จากนั้นตรวจวัดกิจกรรมของเอนไซม์ที่เหลืออยู่

### 3.2.3.4 การวิเคราะห์พีเอชที่มีผลต่อความคงตัวของเอนไซม์

นำเอนไซม์บ่มร่วมกับสารละลายบัพเฟอร์ที่มีพีเอชที่เหมาะสมต่อการทำงานของเอนไซม์ ที่อุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 10, 30, 60, 120 และ 180 นาทีตามลำดับ จากนั้นตรวจวัดกิจกรรมของเอนไซม์ที่เหลืออยู่

## 3.2.4 การวิเคราะห์ปริมาณฮอร์โมนพืช

ทำการส่งวิเคราะห์หาปริมาณฮอร์โมนพืช ได้แก่ indole-3-acetic acid (IAA) และ ไซโตไคนิน (CKs) ในน้ำหมักจาก *B. subtilis* BTK07 และ *P. polymyxa* BTK01 ด้วยเทคนิค high performance liquid chromatography (HPLC) ที่ห้องปฏิบัติการกลาง คณะเกษตรศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่ รายละเอียดการวิเคราะห์แสดงดังภาคผนวก ข

## 3.3 การศึกษาการงอกของเมล็ดด้วยวิธีการแช่เมล็ด (seed soaking)

### 3.3.1 เมล็ดพันธุ์

เมล็ดผักสลัดกรีนโอ๊ค (Green Oak lettuce) สายพันธุ์ Vista นำเข้าโดยบริษัท HI-Q AGRICULTURAL ได้รับความอนุเคราะห์จากโครงการปลูกพืชโดยไม่ใช้ดิน มูลนิธิชัยพัฒนา จังหวัดปราจีนบุรี

### 3.3.2 การวางแผนการทดลอง

การทดสอบการงอกของเมล็ดภายใต้ห้องปฏิบัติการ นำเมล็ดผักสลัดกรีนโอ๊คแช่ข้ามคืนในน้ำหมักและเอนไซม์ที่เก็บรักษาไว้ที่ 4 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 0, 40 และ 60 วัน ปริมาตร 50 มิลลิลิตร วางแผนการทดลองแบบสุ่มสมบูรณ์ (complete randomize design: CRD) ประกอบด้วย 5 ชุดการทดลอง ชุดการทดลองละ 3 ซ้ำ ๆ ละ 10 เมล็ด รวมทั้งหมด 150 หน่วยการทดลอง ดังตารางที่ 3.1 จากนั้นทดสอบความงอกโดยวิธี top of paper (TP) ตามกฎของการทดสอบความงอกสากล (ISTA, 2016) ในภาชนะที่มีฝาปิดสนิท ไว้ในตู้เพาะเมล็ดควบคุมอุณหภูมิ  $23 \pm 2$  องศาเซลเซียส ความชื้นสัมพัทธ์ 80 เปอร์เซ็นต์ ความเข้มแสง  $90 \mu\text{mol. m}^{-2}. \text{s}^{-1}$  เป็นระยะเวลา 7 วัน ในสภาวะที่แตกต่างกัน แบ่งออกเป็น 4 การทดลอง ดังตารางที่ 3.2

ตารางที่ 3.1 ชุดทดลองการงอกของเมล็ดด้วยวิธีการแช่เมล็ด

| ชุดทดลอง      | การแช่เมล็ด                                          | จำนวนเมล็ด |
|---------------|------------------------------------------------------|------------|
| ชุดทดลองที่ 1 | แช่เมล็ดในน้ำกลั่น (DW)                              | 30         |
| ชุดทดลองที่ 2 | แช่เมล็ดในเอนไซม์จาก <i>P. polymyxa</i> BTK01 (CE01) | 30         |
| ชุดทดลองที่ 3 | แช่เมล็ดในเอนไซม์จาก <i>B. subtilis</i> BTK07 (CE07) | 30         |
| ชุดทดลองที่ 4 | แช่เมล็ดในน้ำหมักจาก <i>P. polymyxa</i> BTK01 (FB01) | 30         |
| ชุดทดลองที่ 5 | แช่เมล็ดในน้ำหมักจาก <i>B. subtilis</i> BTK07 (FB07) | 30         |

ตารางที่ 3.2 การวางแผนสภาวะการงอกของเมล็ดที่แตกต่างกัน

| การทดลอง      | สภาวะที่ใช้ทดสอบ                                  | คำย่อ       |
|---------------|---------------------------------------------------|-------------|
| การทดลองที่ 1 | นำไปไว้ในที่สว่าง 7 วัน                           | Light>Light |
| การทดลองที่ 2 | นำไปไว้ในที่สว่าง 4 วันและย้ายไปไว้ในที่มืด 3 วัน | Light>Dark  |
| การทดลองที่ 3 | นำไปไว้ในที่มืด 4 วันและย้ายไปไว้ในที่สว่าง 3 วัน | Dark>Light  |
| การทดลองที่ 4 | นำไปไว้ในที่มืด 7 วัน                             | Dark>Dark   |

บันทึกข้อมูลการงอกของเมล็ดผักสลัดพันธุ์กรีนโอ๊คในด้านต่าง ๆ ได้แก่ เปอร์เซ็นต์การงอก ความเร็วในการงอก ความยาวยอด และความยาวราก (ข้อ 3.3.3-3.3.6)

### 3.3.3 เปอร์เซนต์การงอก

ศึกษาเปอร์เซนต์การงอกของเมล็ดพันธุ์ในสภาพห้องปฏิบัติการ ทดสอบด้วยวิธี TP แล้วตรวจนับจำนวนเมล็ดที่งอกเป็นต้นกล้าปกติหลังการเพาะเป็นเวลา 7 วัน แล้วนำมาประเมินผลตามหลักการงอกสากล (ISTA, 2016)



$$\text{การงอกของเมล็ดพันธุ์ในห้องปฏิบัติการ (\%)} = \left( \frac{\text{จำนวนเมล็ดที่งอกเป็นต้นกล้าปกติ}}{\text{จำนวนเมล็ดที่เพาะ}} \right) \times 100$$

### 3.3.4 ความเร็วในการงอกของเมล็ดพันธุ์

ศึกษาความเร็วในการงอกของเมล็ดพันธุ์ในสภาพห้องปฏิบัติการ ทดสอบด้วยวิธี TP นำไปไว้ในตู้เพาะ แล้วตรวจนับจำนวนเมล็ดที่งอกหลังการเพาะวันที่ 4 วัน (first count) และ 7 วัน (final count) แล้วนำมาประเมินผลตามหลักการงอกสากล (ISTA, 2016)

$$\text{ความเร็วในการงอก} = \left( \frac{\text{จำนวนต้นกล้าปกติ 4 วันหลังเพาะ}}{\text{จำนวนวันที่ตรวจนับครั้งแรก (4 วัน)}} + \frac{\text{จำนวนต้นกล้าปกติ 7 วันหลังเพาะ}}{\text{จำนวนวันที่ตรวจนับครั้งสุดท้าย (7 วัน)}} \right)$$

### 3.3.5 ความยาวยอด

ตรวจวัดความยาวยอดเมื่อต้นกล้าอายุ 7 วัน ทำการสุมต้นกล้าหลังจากทำการเพาะทดสอบความงอกจำนวน 10 ต้นต่อซ้ำ จากนั้นใช้เวอร์เนียร์คาลิเปอร์วัดความยาวตั้งแต่โคนต้นจนถึงส่วนยอดและจดบันทึก

### 3.3.6 ความยาวราก

ตรวจวัดความยาวรากเมื่อต้นกล้าอายุ 7 วัน ทำการสุมต้นกล้าหลังจากทำการเพาะทดสอบความงอกจำนวน 10 ต้นต่อซ้ำ จากนั้นใช้เวอร์เนียร์คาลิเปอร์วัดความยาวตั้งแต่โคนต้นจนถึงปลายรากและจดบันทึก

## 3.4 การศึกษาการเจริญเติบโตของผักสลัดพันธุ์กรีนโอ๊ค (pot experimental)

### 3.4.1 การปลูกพืชทดลอง

#### 3.4.1.1 ขั้นตอนการเพาะต้นกล้า

นำเมล็ดผักสลัดกรีนโอ๊คเพาะลงในถาดเพาะขนาด 35.0 x 54.5 x 4.0 เซนติเมตร ที่บรรจุวัสดุเพาะปลูกซึ่งประกอบด้วยดินและพีทมอสอัตราส่วน 1:1 โดยปริมาตร วางถาดเพาะกล้าในโรงเรือนและรดน้ำทุกวันจนต้นกล้ามีอายุครบ 21 วัน หรือมีใบจริงจำนวน 2-4 ใบ

#### 3.4.1.2 ขั้นตอนการย้ายกล้าลงปลูก

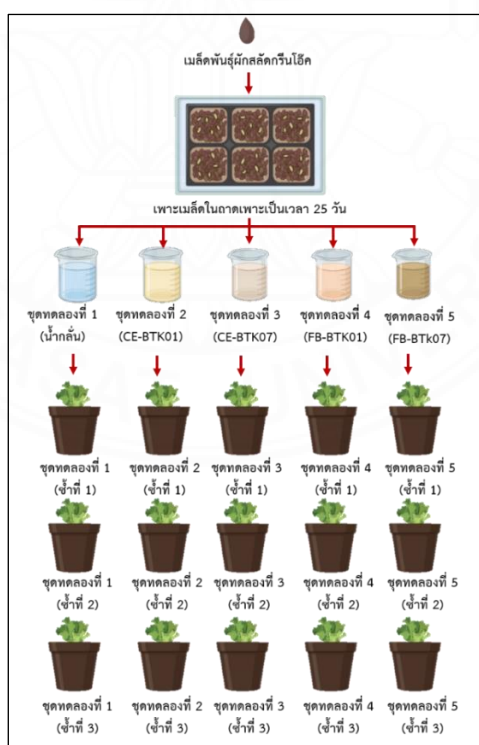
นำต้นกล้าที่ครบอายุ 21 วัน หรือมีใบจริงจำนวน 2-4 ใบ คัดให้มีขนาดต้นเท่า ๆ กัน ย้ายปลูกลงในกระถางขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 8 นิ้ว ที่บรรจุด้วยดิน และขุยมะพร้าวอัตราส่วน 10:1 โดยปริมาตร ทำการหมักดินทิ้งไว้ 7 วัน ใช้ดินประมาณ 2 กิโลกรัมต่อกระถางกระถางละ 1 ต้น

### 3.4.2 การวางแผนการทดลอง

การทดลองที่ 1 ทดสอบประสิทธิภาพของเอนไซม์และน้ำหมักต่อการส่งเสริมการเจริญเติบโตของผักสลัดกรีนโอ๊ค วางแผนการทดลองแบบสุ่มสมบูรณ์ 5 ชุดทดลอง จำนวน 3 ซ้ำ 15 หน่วยการทดลอง ดังตารางที่ 3.3 และภาพที่ 3.1 จากนั้นบันทึกข้อมูลการเจริญเติบโตของผักสลัดกรีนโอ๊คช่วงอายุ 7, 14 และ 21 วันหลังย้ายปลูกในด้านต่าง ๆ ได้แก่ ความสูงต้น ความกว้างทรงพุ่ม จำนวนใบ ความยาวราก น้ำหนักสดต้นและราก น้ำหนักแห้งต้นและราก และจำนวนจุลินทรีย์ในดิน

ตารางที่ 3.3 การวางแผนการทดลองที่ 1

| ชุดทดลอง      | การแช่เมล็ด | การรดน้ำ                            | คำย่อ    |
|---------------|-------------|-------------------------------------|----------|
| ชุดทดลองที่ 1 | ไม่แช่เมล็ด | น้ำกลั่น                            | (-)+DW   |
| ชุดทดลองที่ 2 | ไม่แช่เมล็ด | เอนไซม์จาก <i>P. polymyxa</i> BTK01 | (-)+CE01 |
| ชุดทดลองที่ 3 | ไม่แช่เมล็ด | เอนไซม์จาก <i>B. subtilis</i> BTK07 | (-)+CE07 |
| ชุดทดลองที่ 4 | ไม่แช่เมล็ด | เอนไซม์จาก <i>P. polymyxa</i> BTK01 | (-)+FB01 |
| ชุดทดลองที่ 5 | ไม่แช่เมล็ด | เอนไซม์จาก <i>B. subtilis</i> BTK07 | (-)+FB07 |

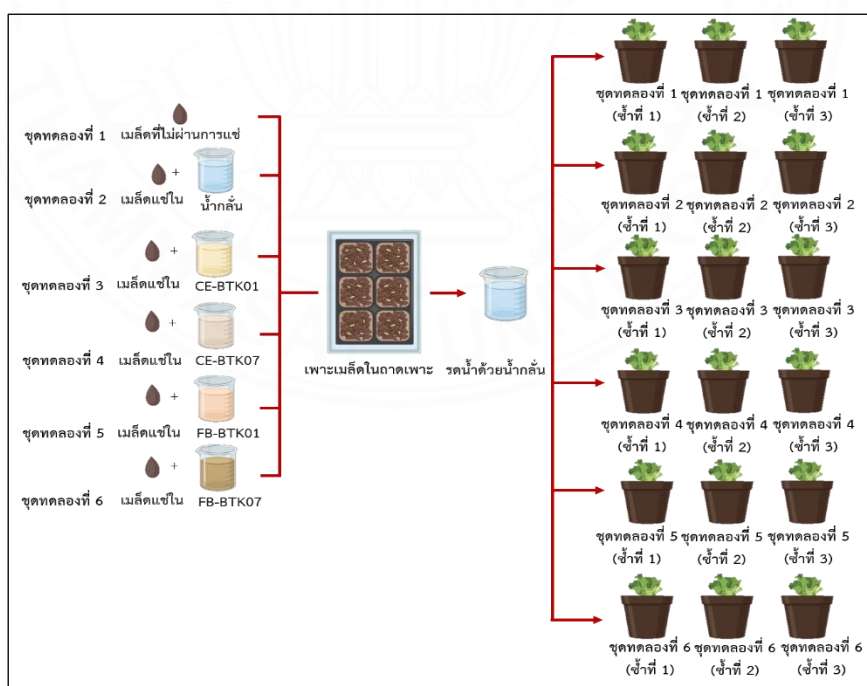


ภาพที่ 3.1 การวางแผนการทดลองที่ 1

การทดลองที่ 2 ทดสอบประสิทธิภาพของเมล็ดที่ผ่านการแช่เมล็ดโดยทุกการทดลองรดด้วยน้ำกลั่น ใช้เมล็ดที่ผ่านการทดสอบความงอก (seed germination: SG) จากข้อ 3.3 วางแผนการทดลองแบบสุ่มสมบูรณ์ ประกอบด้วย 6 ชุดทดลอง จำนวน 3 ซ้ำ 18 หน่วยการทดลอง ดังตารางที่ 3.4 และภาพที่ 3.2 จากนั้นบันทึกข้อมูลการเจริญเติบโตของผักสลัดกรีนโอ๊คช่วงอายุ 7, 14 และ 21 วันหลังย้ายปลูกในด้านต่าง ๆ ได้แก่ ความสูงต้น ความกว้างทรงพุ่ม จำนวนใบ ความยาวราก น้ำหนักสดต้นและราก น้ำหนักแห้งต้นและราก และจำนวนจุลินทรีย์ในดิน

ตารางที่ 3.4 การวางแผนการทดลองที่ 2

| ชุดทดลอง      | การแช่เมล็ด                         | การรดน้ำ | คำย่อ      |
|---------------|-------------------------------------|----------|------------|
| ชุดทดลองที่ 1 | ไม่แช่เมล็ด                         | น้ำกลั่น | (-)+DW     |
| ชุดทดลองที่ 2 | น้ำกลั่น                            | น้ำกลั่น | SG+DW+DW   |
| ชุดทดลองที่ 3 | เอนไซม์จาก <i>P. polymyxa</i> BTK01 | น้ำกลั่น | SG+CE01+DW |
| ชุดทดลองที่ 4 | เอนไซม์จาก <i>B. subtilis</i> BTK07 | น้ำกลั่น | SG+CE07+DW |
| ชุดทดลองที่ 5 | น้ำหมักจาก <i>P. polymyxa</i> BTK01 | น้ำกลั่น | SG+FB01+DW |
| ชุดทดลองที่ 6 | น้ำหมักจาก <i>B. subtilis</i> BTK07 | น้ำกลั่น | SG+FB07+DW |

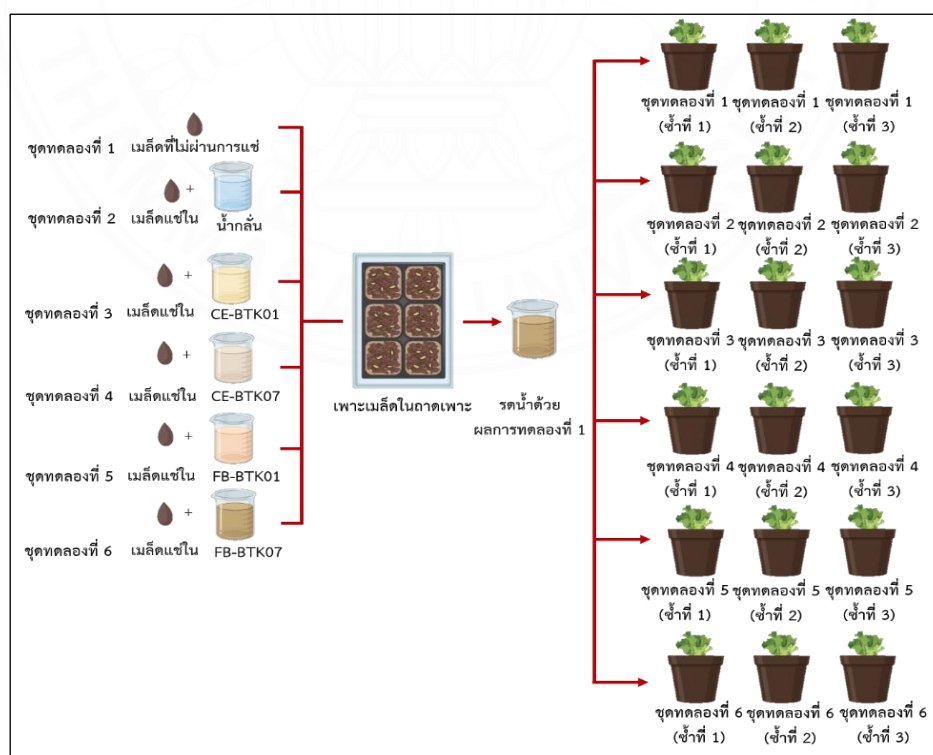


ภาพที่ 3.2 การวางแผนการทดลองที่ 2

การทดลองที่ 3 ทดสอบประสิทธิภาพของเมล็ดที่ผ่านการแช่เมล็ดโดยทุกการทดลองวัดด้วยผลการทดลองตอนที่ 1 ใช้เมล็ดที่ผ่านการทดสอบความงอก (seed germination: SG) จากข้อ 3.3 วางแผนการทดลองแบบสุ่มสมบูรณ์ ประกอบด้วย 6 ชุดทดลอง จำนวน 3 ซ้ำ 18 หน่วย การทดลอง ดังตารางที่ 3.5 และภาพที่ 3.3 จากนั้นบันทึกข้อมูลการเจริญเติบโตของผักสลัดกรีนโอ๊ค ช่วงอายุ 7, 14 และ 21 วันหลังย้ายปลูกในด้านต่าง ๆ ได้แก่ ความสูงต้น ความกว้างทรงพุ่ม จำนวนใบ ความยาวราก น้ำหนักสดต้นและราก น้ำหนักแห้งต้นและราก และจำนวนจุลินทรีย์ในดิน

ตารางที่ 3.5 แสดงการวางแผนการทดลองที่ 3

| ชุดทดลอง      | การแช่เมล็ด                         | การรดน้ำ      | คำย่อ       |
|---------------|-------------------------------------|---------------|-------------|
| ชุดทดลองที่ 1 | ไม่แช่เมล็ด                         | น้ำกลั่น      | (-)+DW      |
| ชุดทดลองที่ 2 | น้ำกลั่น                            | การทดลองที่ 1 | SG+DW+(1)   |
| ชุดทดลองที่ 3 | เอนไซม์จาก <i>P. polymyxa</i> BTK01 | การทดลองที่ 1 | SG+CE01+(1) |
| ชุดทดลองที่ 4 | เอนไซม์จาก <i>B. subtilis</i> BTK07 | การทดลองที่ 1 | SG+CE07+(1) |
| ชุดทดลองที่ 5 | น้ำหมักจาก <i>P. polymyxa</i> BTK01 | การทดลองที่ 1 | SG+FB01+(1) |
| ชุดทดลองที่ 6 | น้ำหมักจาก <i>B. subtilis</i> BTK07 | การทดลองที่ 1 | SG+FB07+(1) |



ภาพที่ 3.3 การวางแผนการทดลองที่ 3

รดน้ำวันละ 2 ครั้ง (เช้า-เย็น) แต่ละครั่งให้น้ำประมาณ 200 มิลลิลิตรต่อกระถาง ไว้ในโรงเรือนที่ป้องกันแมลง กำจัดวัชพืชอย่างสม่ำเสมอและเก็บเกี่ยวผลผลิตเมื่อผักสลัดกรีนโอ๊คมี อายุครบ 3 สัปดาห์ หรือ 21 วันหลังย้ายปลูก

### 3.4.3 การบันทึกผล

#### 3.4.3.1 การบันทึกข้อมูลการเจริญเติบโต

บันทึกการเจริญเติบโตของผักสลัดกรีนโอ๊ค ได้แก่ ความสูง จำนวนใบต่อต้น และความกว้างทรงพุ่ม ทุก 7, 14 และ 21 วันหลังย้ายปลูก บันทึกความยาวราก เปอร์เซ็นต์ น้ำหนักแห้งและปริมาณน้ำในพืชเมื่อสิ้นสุดระยะเก็บเกี่ยว

##### ก) ความสูง (เซนติเมตร)

วัดจากบริเวณโคนต้นถึงปลายใบที่สูงที่สุดเมื่อรวบใบขึ้นในทุกสัปดาห์ หลังย้ายกล้าจนถึงระยะเก็บเกี่ยว (7 ,14 และ 21 วันหลังย้ายปลูก)

##### ข) ความกว้างทรงพุ่ม (เซนติเมตร)

วัดจากบริเวณที่กว้างที่สุดจากด้านหนึ่งไปอีกด้านหนึ่ง

##### ค) จำนวนใบต่อต้น (ใบ)

นับจำนวนใบที่แผ่ใบเจริญเต็มที่และไม่มีการม้วนใบในทุกสัปดาห์หลังย้ายกล้าจนถึงระยะเก็บเกี่ยว (7 ,14 และ 21 วันหลังย้ายปลูก)

##### ง) ความยาวราก (เซนติเมตร)

เมื่อถึงระยะเก็บเกี่ยวทำการถอนลำต้นและรากล้างด้วยน้ำเปล่า จากนั้นนำรากมายืดให้ตรงเพื่อวัดความยาวจากบริเวณโคนรากจนถึงปลายราก

##### จ) น้ำหนักสดและน้ำหนักแห้ง (กรัม)

เมื่อถึงระยะเก็บเกี่ยวแยกส่วนของลำต้น และราก เพื่อหาน้ำหนักสดและน้ำหนักแห้ง อบตัวอย่างพืชที่ 70 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 48 ชั่วโมง หรือจนกว่าน้ำหนักจะคงที่

### 3.4.4 การวิเคราะห์ปริมาณจุลินทรีย์ในดิน

การนับจำนวนเซลล์แบคทีเรียที่มีชีวิตด้วยวิธี spread plate เจือจางลำดับส่วนด้วยสารละลายโซเดียมคลอไรด์ (NaCl) ความเข้มข้น 0.85 เปอร์เซ็นต์ จากนั้นปิเปต 0.1 มิลลิลิตร ลงบนผิวหน้าอาหารเลี้ยงเชื้อ Nutrient agar (NA) แล้วเกลี่ยให้กระจายสม่ำเสมอทั่วผิวหน้าอาหารในจานเพาะเชื้อด้วยแท่งแก้วสามเหลี่ยม ทำระดับความเจือจางละ 3 จานเพาะเชื้อบ่มที่อุณหภูมิ 37 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 16-18 ชั่วโมง นับจำนวนโคโลนีแบคทีเรียในจานเพาะเชื้อ ที่มีโคโลนี 30 ถึง 300 โคโลนี คำนวณจำนวนแบคทีเรียในแต่ละการเจือจางด้วยการคูณจำนวนโคโลนีที่นับได้ด้วย 10 และค่า dilution factor ค่าที่ได้มีหน่วยเป็น colony forming unit/ml (CFU/ml)

### 3.4.5 การวิเคราะห์ดิน

ส่งวิเคราะห์ตัวอย่างดินก่อนและหลังการทดลองโดยวิเคราะห์ ค่าพีเอช อินทรีย์วัตถุ ไนโตรเจนทั้งหมด อัตราส่วนระหว่างคาร์บอนและไนโตรเจน ฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์ ในดิน โพแทสเซียมที่แลกเปลี่ยนได้ แมกนีเซียมที่แลกเปลี่ยนได้ เหล็กที่เป็นประโยชน์ในดิน และ ปริมาณความชื้นในดิน ที่ห้องปฏิบัติการกลาง คณะเกษตรศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่ รายละเอียด การวิเคราะห์แสดงดังภาคผนวก ข

### 3.5 การวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติ

นำข้อมูลที่ได้จากการทดลองทั้งหมดประมวลผลและวิเคราะห์เปรียบเทียบค่าทาง สถิติด้วยการวิเคราะห์ความแปรปรวนทางเดียว (One-way ANOVA) เปรียบเทียบความแตกต่างของ ค่าเฉลี่ยด้วยวิธี Tukey's HSD Test และ Duncan ที่ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซ็นต์ ( $p < 0.05$ ) โดยโปรแกรม SPSS V.17.0 ทำการทดลองทั้งหมด 3 ซ้ำ

## บทที่ 4

### ผลการวิจัยและอภิปรายผล

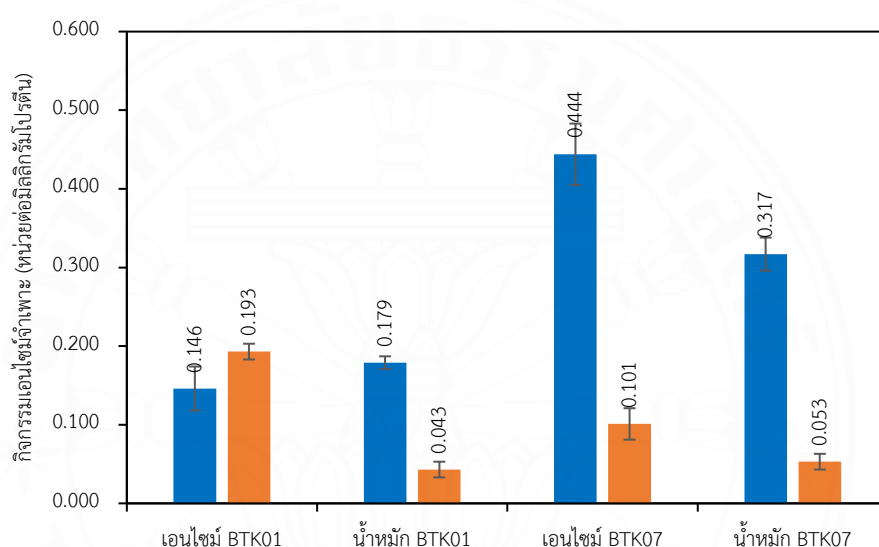
#### 4.1 ผลการศึกษาคุณสมบัติของเอนไซม์และน้ำหมัก

##### 4.1.1 ผลการศึกษากิจกรรมจำเพาะของเอนไซม์

จากการศึกษาก่อนหน้าของ Chantorn *et al.* (2021) พบว่า *Bacillus subtilis* BTK07 และ *Paenibacillus polymyxa* BTK01 แยกได้จากดินในนาข้าวอินทรีย์สามารถผลิตเอนไซม์ไซลานเนสและแมนนาเนสได้ดี ดังนั้นในงานวิจัยนี้จึงมีการตรวจสอบเบื้องต้นเพื่อยืนยันผลการทดลองดังกล่าว ภาพที่ 4.1 แสดงของกิจกรรมเอนไซม์จำเพาะที่ผลิตจาก BTK07 และ BTK01 จากส่วนของ CE และส่วนของ FB พบว่า ส่วนเอนไซม์สกัดหยาบ CE07 แสดงกิจกรรมแมนนาเนสจำเพาะเท่ากับ 0.444 หน่วยต่อมิลลิกรัมโปรตีน (1.553 หน่วยต่อมิลลิลิตร) และกิจกรรมไซลานเนสจำเพาะเท่ากับ 0.101 หน่วยต่อมิลลิกรัมโปรตีน (0.348 หน่วยต่อมิลลิลิตร) ในขณะที่ส่วนของน้ำหมัก FB07 แสดงกิจกรรมแมนนาเนสจำเพาะเท่ากับ 0.317 หน่วยต่อมิลลิกรัมโปรตีน (1.279 หน่วยต่อมิลลิลิตร) และกิจกรรมไซลานเนสจำเพาะเท่ากับ 0.053 หน่วยต่อมิลลิกรัมโปรตีน (0.215 หน่วยต่อมิลลิลิตร) ในขณะที่ส่วนของเอนไซม์สกัดหยาบ CE01 แสดงกิจกรรมแมนนาเนสจำเพาะเท่ากับ 0.146 หน่วยต่อมิลลิกรัมโปรตีน (0.581 หน่วยต่อมิลลิลิตร) และกิจกรรมไซลานเนสจำเพาะเท่ากับ 0.193 หน่วยต่อมิลลิกรัมโปรตีน (0.770 หน่วยต่อมิลลิลิตร) และส่วนของน้ำหมัก FB01 แสดงกิจกรรมแมนนาเนสจำเพาะเท่ากับ 0.179 หน่วยต่อมิลลิลิตร (0.962 หน่วยต่อมิลลิลิตร) และกิจกรรมไซลานเนสจำเพาะเท่ากับ 0.043 หน่วยต่อมิลลิกรัมโปรตีน (0.229 หน่วยต่อมิลลิลิตร) ผลการทดลองแสดงให้เห็นว่า เอนไซม์สกัดหยาบจาก *B. subtilis* BTK07 มีกิจกรรมแมนนาเนสจำเพาะสูงสุด ในขณะที่เอนไซม์สกัดหยาบจาก *P. polymyxa* BTK01 มีกิจกรรมไซลานเนสจำเพาะสูงสุด ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยของ Chantorn *et al.* (2021) ที่พบว่า BTK01 มีประสิทธิภาพในการผลิตไซลานเนสคือ  $0.905 \pm 0.016$  หน่วยต่อมิลลิลิตร และ BTK07 มีประสิทธิภาพในการผลิตแมนนาเนสคือ  $0.440 \pm 0.000$  หน่วยต่อมิลลิลิตร เอนไซม์ไซลานเนสและแมนนาเนสมีบทบาทในการย่อยสลายไซแลนและแมนแนนเป็นหลักซึ่งเป็นอินทรีย์สารในองค์ประกอบของพืช ซึ่งเกี่ยวข้องกับการปลดปล่อยธาตุอาหารต่าง ๆ ออกมาจากองค์ประกอบของพืชทั้งธาตุอาหารหลัก ธาตุอาหารรอง ที่เป็นประโยชน์แก่พืช เช่น น้ำตาล กรดอะมิโน แอมโมเนียม ฟอสเฟต โพแทสเซียม แคลเซียม แมกนีเซียม กำมะถัน ทองแดง สังกะสี เหล็ก แมงกานีส โบรอน และโมลิบดีนัม (Chang *et al.*, 2007) ส่งผลให้เกิดการหมุนเวียนธาตุอาหารสู่ดินและเป็นการเพิ่มปริมาณธาตุอาหารในดิน ดังนั้นการพบแบคทีเรียทั้ง 2 สายพันธุ์บริเวณดินที่ทำการเกษตร



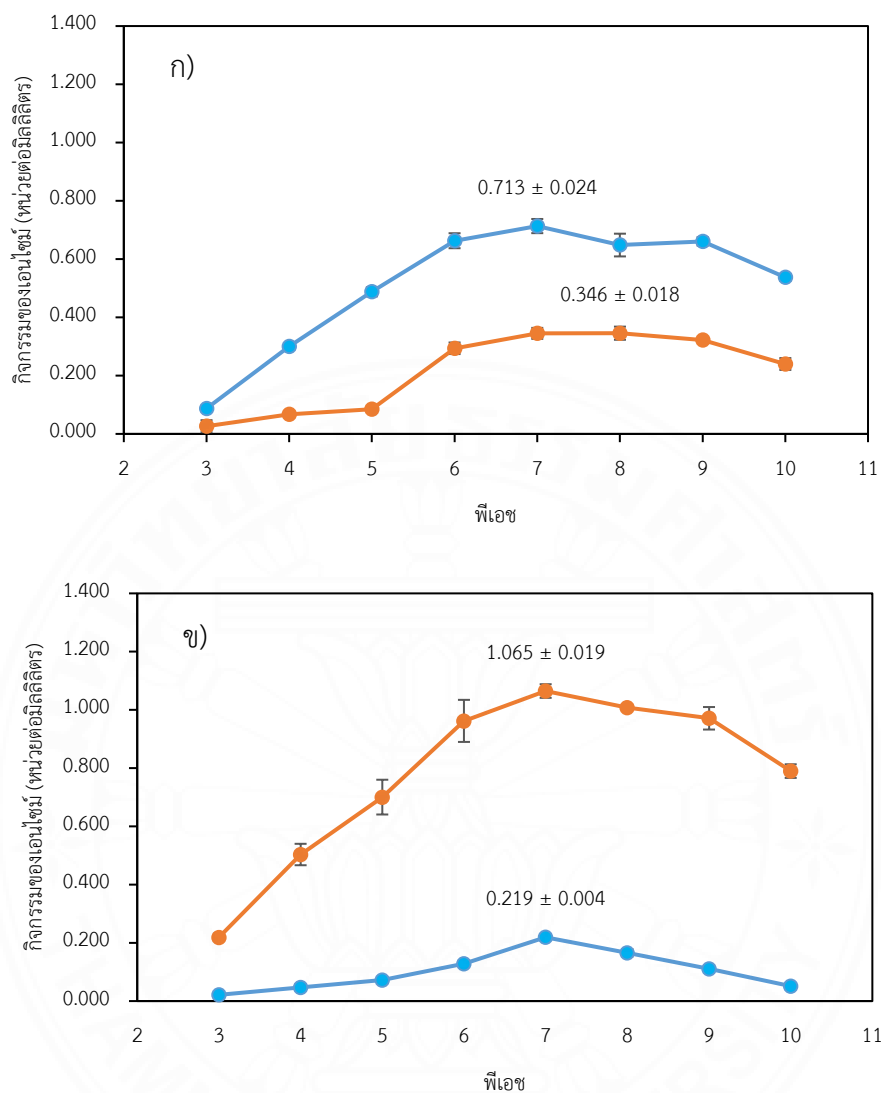
จึงมักถูกเป็นเครื่องมือบ่งชี้คุณภาพของดิน (Lessard *et al.*, 2013) นอกจากนั้นงานวิจัยของ Wang *et al.* (2004) พบว่า cellulase (EC 3.2.1.4) endo- $\beta$ -mannanase (EC 3.2.1.78),  $\alpha$ -galactosidase (EC 3.2.1.22),  $\beta$ -mannosidase (EC 3.2.1.25) และ endo- $\beta$ -xylanase (EC 3.2.1.8) ส่งเสริมการงอกของเมล็ดทั้งการยืดตัวของต้นอ่อนและเอนโดสเปิร์มโดยเอนไซม์ทำหน้าที่ในการคลายตัวของผนังเซลล์ ดังนั้นการประยุกต์ใช้แบคทีเรียทั้ง 2 สายพันธุ์เพื่อส่งเสริมการงอกของเมล็ดและเจริญเติบโตของผักสลัดจึงเป็นหนึ่งทางเลือกที่น่าสนใจ



ภาพที่ 4.1 กิจกรรมจำเพาะของเอนไซม์แมนนาเนส (■) และไซลลเนส (■) จากส่วนของเอนไซม์สกัดหยาบ (CE) และส่วนของน้ำหมัก (FB) ที่ผลิตได้จาก *Bacillus subtilis* BTK07 และ *Paenibacillus polymyxa* BTK01

#### 4.1.2 ผลการศึกษาพีเอชที่เหมาะสมต่อการทำงานของเอนไซม์

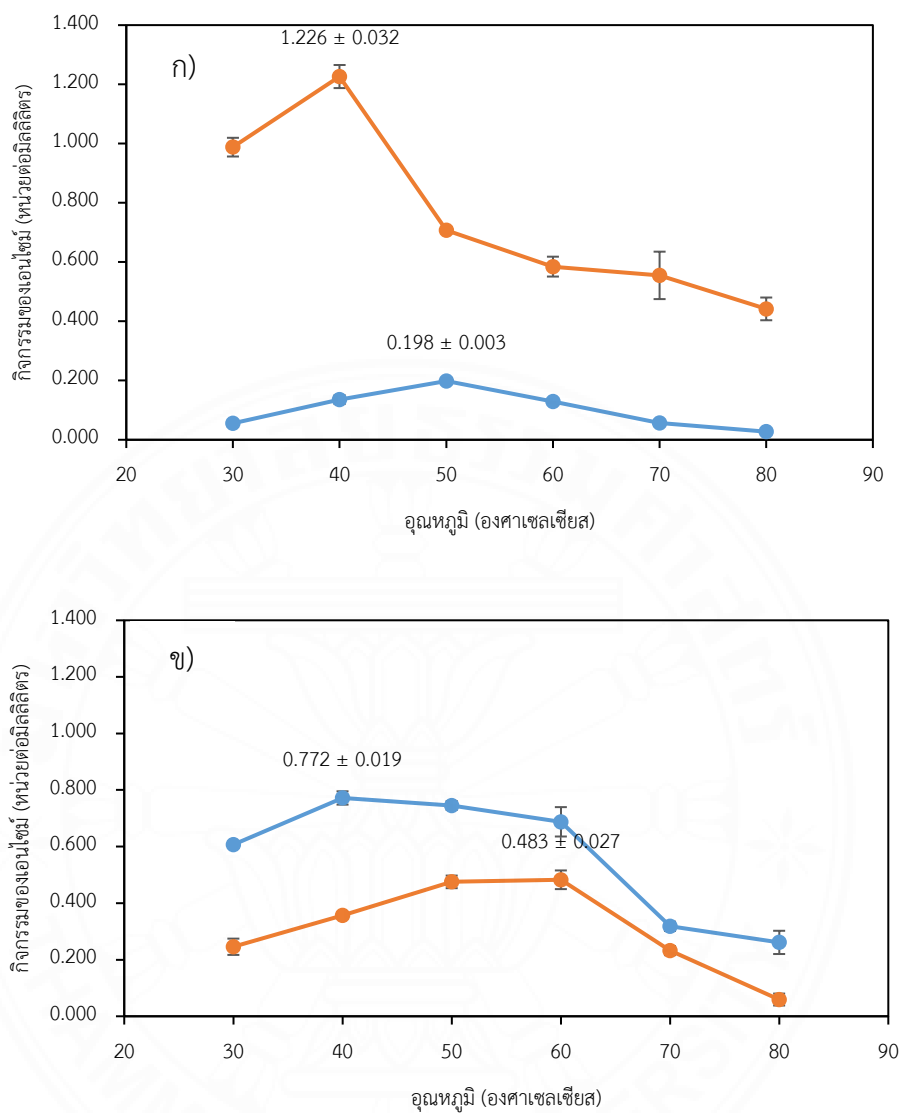
ผลของพีเอชที่แตกต่างกันต่อการทำงานของเอนไซม์ในบัพเฟอร์ความเข้มข้น 0.2 โมลาร์ แสดงดังภาพที่ 4.2 พบว่า CE07 แสดงกิจกรรมแมนนาเนสและไซลานเนสสูงสุดที่ค่าพีเอช 7.0 มีกิจกรรมของเอนไซม์เท่ากับ 1.065 และ 0.219 หน่วยต่อมิลลิลิตรตามลำดับ (ภาพที่ 4.2 ก) ในขณะที่ CE01 แสดงกิจกรรมแมนนาเนสสูงสุดที่ค่าพีเอช 8.0 มีกิจกรรมของเอนไซม์เท่ากับ 0.346 หน่วยต่อมิลลิลิตร และแสดงกิจกรรมไซลานเนสสูงสุดที่ค่าพีเอช 7.0 มีกิจกรรมเอนไซม์เท่ากับ 0.713 หน่วยต่อมิลลิลิตร (ภาพที่ 4.2 ข) ทั้งนี้กิจกรรมของเอนไซม์ทั้ง 2 ชนิดที่ผลิตได้จากทั้ง 2 สายพันธุ์ จะมีค่าลดลงเมื่อพีเอชสูงกว่า 7.0 แต่ค่ากิจกรรมของเอนไซม์สัมพัทธ์ (relative activity) ยังมีค่าสูงกว่า 80 เปอร์เซ็นต์ จากงานวิจัยของ Waeonukul *et al.* (2009) พบว่าไซลานเอสที่ผลิตได้จาก *Bacillus* sp. Strain K-1 และ *Bacillus* sp. strain AR-009 มีค่าพีเอชที่เหมาะสมต่อการทำงานคือ 5.5 และ 9.0 ตามลำดับ จากงานวิจัยของ Cho *et al.* (2008) พบว่าแมนนาเนสและไซลานเอสที่ผลิตได้จาก *P. polymyxa* GS01 มีค่าพีเอชที่เหมาะสมต่อการทำงานคือ 6.0 และ 7.0 ตามลำดับ และงานวิจัยของ Pangsri *et al.* (2015) พบว่าแมนนาเอสที่ผลิตได้จาก *B. circulans* NT 6.7 มีค่าพีเอชที่เหมาะสมต่อการทำงานคือ 6.0 ผลของพีเอชที่แตกต่างกันต่อการทำงานของเอนไซม์ในบัพเฟอร์ความเข้มข้น 0.2 โมลาร์



**ภาพที่ 4.2** พีเอชที่เหมาะสมต่อการทำงานของเอนไซม์แมนนาเนส (—●—) และไซลานเนส (—●—) จาก *Paenibacillus polymyxa* BTK01(ก) *Bacillus subtilis* BTK07 (ข) ในบัฟเฟอร์ความเข้มข้น 0.2 โมลาร์ที่ค่าพีเอชแตกต่างกัน ได้แก่ โซเดียมซิเตรทบัฟเฟอร์ (pH 3.0-5.0) โซเดียมฟอสเฟตบัฟเฟอร์ (pH 6.0-8.0) และไกลซีน-โซเดียมไฮดรอกไซด์บัฟเฟอร์ (pH 9.0-10.0)

#### 4.1.3 ผลการศึกษาอุณหภูมิที่เหมาะสมต่อการทำงานของเอนไซม์

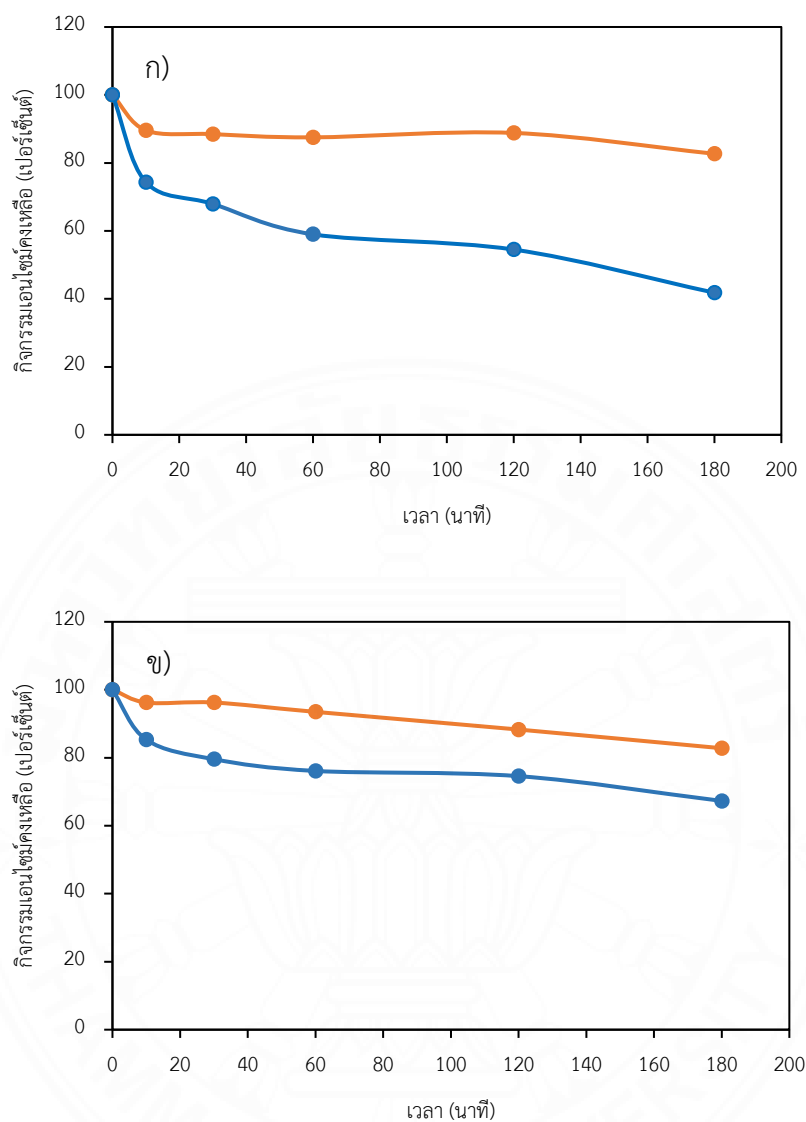
ผลของอุณหภูมิที่ต่างกันต่อการทำงานของเอนไซม์ในบัพเฟอร์ความเข้มข้น 0.2 โมลาร์ แสดงดังภาพที่ 4.3 พบว่า CE07 แสดงกิจกรรมแมนนาเนสสูงสุดที่ 40 องศาเซลเซียส มีกิจกรรมเอนไซม์เท่ากับ 1.226 หน่วยต่อมิลลิลิตร และแสดงกิจกรรมไซลानเนสสูงสุดที่ 50 องศาเซลเซียส มีกิจกรรมเอนไซม์เท่ากับ 0.198 หน่วยต่อมิลลิลิตร (ภาพที่ 4.3 ก) ในขณะที่ CE01 แสดงกิจกรรมแมนนาเนสสูงสุดที่ 60 องศาเซลเซียส มีกิจกรรมเอนไซม์เท่ากับ 0.483 หน่วยต่อมิลลิลิตร และแสดงกิจกรรมไซลानเนสสูงสุดที่ 40 องศาเซลเซียส มีกิจกรรมเอนไซม์เท่ากับ 0.772 หน่วยต่อมิลลิลิตร (ภาพที่ 4.3 ข) จากงานวิจัยของ Irfan *et al.* (2016) พบว่าอุณหภูมิที่เหมาะสมต่อการทำงานของไซลानเนสที่ผลิตจาก *B. subtilis* BS04 ทำงานได้ดีที่อุณหภูมิ 50 องศาเซลเซียส นอกจากนั้นงานวิจัยของ Dheeran *et al.* (2012) พบว่าอุณหภูมิที่เหมาะสมต่อการทำงานของไซลानเนสที่ผลิตจาก *P. macerans* IIPSP3 ทำงานได้ดีที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส และงานวิจัยของ Zhou *et al.* (2014) พบว่าไซลानเนสที่ผลิตจาก *Bacillus* sp. สามารถทำงานได้ดีในช่วงอุณหภูมิ 40-60 องศาเซลเซียส แสดงให้เห็นว่าแบคทีเรียทั้ง 2 สายพันธุ์สามารถผลิตได้ทั้งแมนนาเนสและไซลानเนสที่ทำงานได้ดีในช่วงอุณหภูมิ 40-60 องศาเซลเซียส ซึ่งสามารถนำมาประยุกต์ใช้ในกระบวนการที่มีการให้ความร้อน เช่น อุตสาหกรรมเยื่อกระดาษโดยการแปรรูปเยื่อไม้ด้วยแมนนาเนสและไซลानเนส และส่งเสริมการฟอกขาวเยื่อกระดาษโดยอาศัยการทำงานร่วมกันของเอนไซม์ (Kansoh and Nagieb, 2004)



ภาพที่ 4.3 อุณหภูมิที่เหมาะสมต่อการทำงานของเอนไซม์แมนนาเนส (—●—) และไซลาลเนส (—●—) จาก *Bacillus subtilis* BTK07 (ก) และ *Paenibacillus polymyxa* BTK01 (ข) โดยบ่มที่อุณหภูมิที่ 30 40 50 60 70 และ 80 องศาเซลเซียส

#### 4.1.4 ผลการศึกษาผลของพีเอชต่อความคงตัวของเอนไซม์

จากการศึกษาผลของพีเอชต่อความคงตัวของเอนไซม์เมื่อป้อนเอนไซม์ร่วมกับสารละลายบัฟเฟอร์ที่มีค่าพีเอชที่เหมาะสมต่อการทำงานของเอนไซม์ที่อุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียสเป็นเวลา 10 30 60 120 และ 180 นาที แสดงดังภาพที่ 4.4 พบว่าที่พีเอช 7.0 ซึ่งเป็นพีเอชที่เหมาะสมต่อการทำงานของแมนนาเนสและไซลานเนสจาก CE07 กิจกรรมเอนไซม์แมนนาเนสคงเหลือเมื่อเวลา 180 นาที มีค่ามากกว่า 80 เปอร์เซ็นต์ ในขณะที่กิจกรรมเอนไซม์ไซลานเนสคงเหลือเมื่อเวลา 180 นาที มีค่าน้อยกว่า 50 เปอร์เซ็นต์ (ภาพที่ 4.4 ก) และเมื่อศึกษาความคงตัวของเอนไซม์ที่พีเอช 8.0 และ 7.0 ซึ่งเป็นพีเอชที่เหมาะสมต่อการทำงานของแมนนาเนสและไซลานเนสจาก CE01 พบว่ากิจกรรมแมนนาเนสคงเหลือเมื่อเวลา 180 นาที มีค่ามากกว่า 80 เปอร์เซ็นต์ ในขณะที่กิจกรรมเอนไซม์ไซลานเนสคงเหลือเมื่อเวลา 180 นาที มีค่ามากกว่า 50 เปอร์เซ็นต์ (ภาพที่ 4.4 ข) ผลการทดลองที่ได้สอดคล้องกับงานวิจัยของ Kiddinamoorthy *et al.* (2008) ที่พบว่าเอนไซม์ไซลานเอสที่ผลิตจาก *Bacillus* sp. GRE7 มีความคงตัวต่อพีเอชในช่วงที่กว้างคือ 6.0-11.0 โดยมีกิจกรรมของเอนไซม์เหลืออยู่มากกว่าร้อยละ 80 และ 60 ในช่วงพีเอช 6.0-8.0 และ 9.0-11.0 ตามลำดับ นอกจากนี้ งานวิจัยของ Sanghi *et al.* (2010) พบว่าพีเอชที่เหมาะสมต่อการทำงานของเอนไซม์ไซลานเอสที่ผลิตจาก *B. subtilis* ASH คือ 7.0 มีความคงตัวในช่วงพีเอช 6.0-9.0 โดยค่ากิจกรรมเอนไซม์ลดลง 50-85 เปอร์เซ็นต์ และงานวิจัยของ Zheng *et al.* (2014) พบว่าพีเอชที่เหมาะสมต่อการทำงานของเอนไซม์ไซลานเนสจาก *Paenibacillus* sp. NF1 เท่ากับ 6.0 มีความคงตัวในช่วงพีเอช 4.0-7.0 เป็นเวลา 180 นาที โดยค่ากิจกรรมเอนไซม์ลดลงเหลือ 59.11 เปอร์เซ็นต์

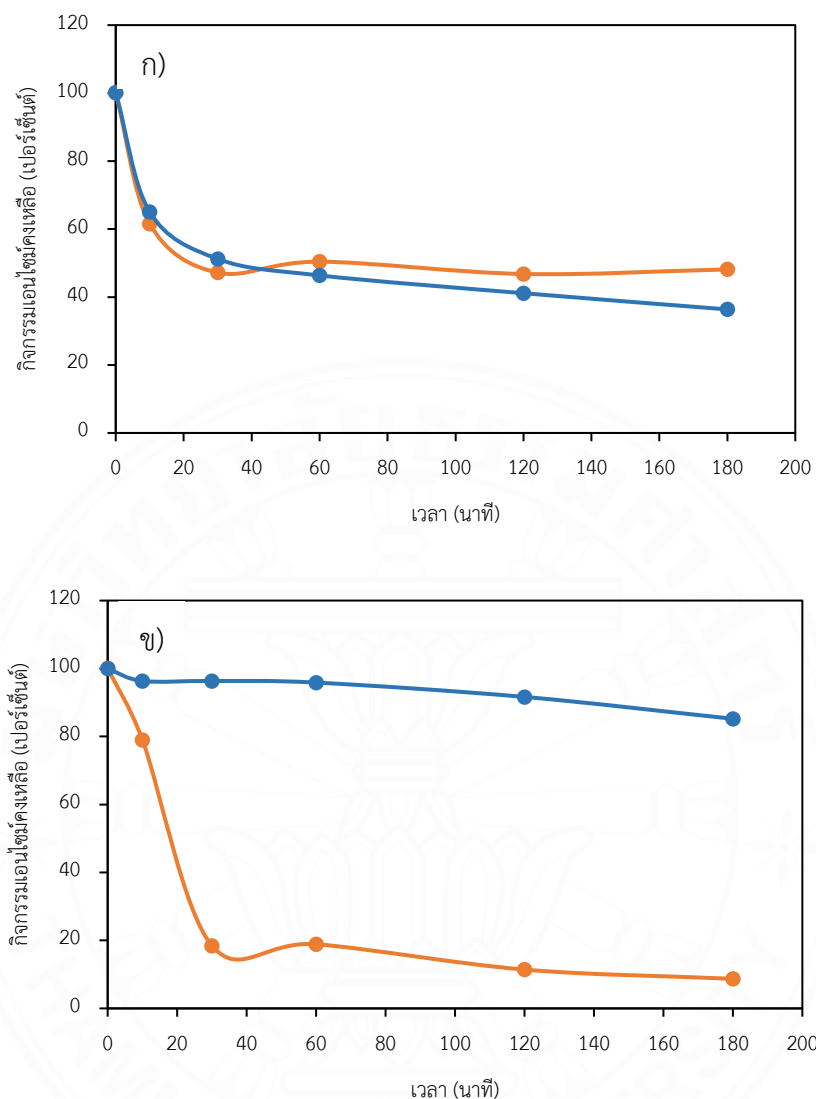


ภาพที่ 4.4 กิจกรรมคงเหลือของเอนไซม์แมนนาเนส (—●—) และไซลาลเนส (—●—) จาก *Bacillus subtilis* BTK07 (ก) และ *Paenibacillus polymyxa* BTK01 (ข) เมื่อป้อนเอนไซม์ที่พีเอชที่เหมาะสมต่อการทำงานของเอนไซม์ เป็นเวลา 10 30 60 120 และ 180 นาที



#### 4.1.5 ผลการศึกษาผลของอุณหภูมิต่อความคงตัวของเอนไซม์

จากการศึกษาผลของอุณหภูมิต่อความคงตัวของเอนไซม์เมื่อบ่มเอนไซม์ร่วมกับสารละลายบัฟเฟอร์ที่มีค่าพีเอชที่เหมาะสมต่อการทำงานของเอนไซม์ที่อุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียสเป็นเวลา 10 30 60 120 และ 180 นาที แสดงดังภาพที่ 4.5 พบว่าที่อุณหภูมิ 40 และ 50 องศาเซลเซียส ซึ่งเป็นอุณหภูมิที่เหมาะสมต่อการทำงานของแมนนาเนสและไซลานเนสจาก CE07 กิจกรรมเอนไซม์แมนนาเนสคงเหลือเมื่อเวลา 180 นาที มีค่าน้อยกว่า 50 เปอร์เซ็นต์ เช่นเดียวกับที่กิจกรรมไซลานเนสคงเหลือเมื่อเวลา 180 นาที มีค่าน้อยกว่า 30 เปอร์เซ็นต์ (ภาพที่ 4.5 ก) และเมื่อศึกษาความคงตัวของเอนไซม์ที่อุณหภูมิ 60 และ 40 องศาเซลเซียส ซึ่งเป็นอุณหภูมิที่เหมาะสมต่อการทำงานของแมนนาเนสและไซลานเนสจาก CE01 พบว่ากิจกรรมแมนนาเนสคงเหลือเมื่อเวลา 180 นาที มีค่ากิจกรรมเอนไซม์คงเหลือ 8.71 เปอร์เซ็นต์ ในขณะที่กิจกรรมเอนไซม์ไซลานเนสคงเหลือเมื่อเวลา 180 นาที มีค่ามากกว่า 80 เปอร์เซ็นต์ (ภาพที่ 4.5 ข) ผลการทดลองที่ได้สอดคล้องกับงานวิจัยของ Shi *et al.* (2010) พบว่าไซลานเอสที่ผลิตได้จาก *Paenibacillus* sp. E18 มีความคงตัวของเอนไซม์ต่ออุณหภูมิ 40 องศาเซลเซียส แต่สูญเสียกิจกรรมของเอนไซม์อย่างรวดเร็วเมื่ออุณหภูมิเพิ่มขึ้นเป็น 50 องศาเซลเซียส นอกจากนั้นงานวิจัยของ Cheng *et al.* (2016) พบว่าอุณหภูมิที่เหมาะสมต่อการทำงานของเบต้า-แมนนาเอสที่ผลิตได้จาก *B. subtilis* BE-91 เท่ากับ 65 องศาเซลเซียส โดยค่ากิจกรรมเอนไซม์คงเหลือมากกว่า 80 เปอร์เซ็นต์ ที่อุณหภูมิ 70 องศาเซลเซียส และงานวิจัยของ Piwpankaew *et al.* (2014) พบว่าเบต้า-แมนนาเอสสายพันธุ์รีคอมบิแนนท์จาก *B. circulans* NT 6.7 มีความคงตัวของเอนไซม์ที่อุณหภูมิ 50 องศาเซลเซียส นาน 60 นาที โดยมีค่ากิจกรรมเอนไซม์คงเหลือมากกว่า 80 เปอร์เซ็นต์



ภาพที่ 4.5 กิจกรรมคงเหลือของเอนไซม์แมนนาเนส (—●—) และไซลเนส (—●—) จาก *Bacillus subtilis* BTK07 (ก) และ *Paenibacillus polymyxa* BTK01 (ข) เมื่อบ่มเอนไซม์ที่อุณหภูมิที่เหมาะสมต่อการทำงานของเอนไซม์เป็นเวลา 10 30 60 120 และ 180 นาที

#### 4.1.6 ผลการศึกษาปริมาณออกซินและไซโตไคนินในน้ำหมัก

ผลการตรวจสอบปริมาณ indole-3-acetic acid (IAA) และ ไซโตไคนินในน้ำหมักจาก *B. subtilis* BTK07 (FB07) และน้ำหมักจาก *P. polymyxa* BTK01 (FB01) ด้วยวิธี high performance liquid chromatography (HPLC) พบว่า FB07 และ FB01 มีปริมาณ IAA คือ 0.27 และ 0.37 ไมโครกรัมต่อลิตรตามลำดับ (ตารางที่ 4.1) ซึ่งฮอร์โมนออกซินมีอยู่หลายชนิดแต่ชนิดแรกที่เกิดขึ้นและมีมากที่สุดในธรรมชาติคือ indole-3-acetic acid (IAA) เป็นสารควบคุมการเจริญเติบโตของพืช หรือ Plant Growth Regulating Chemicals (PGRC) (Delker *et al.*, 2008) มีบทบาทสำคัญต่อการขยายขนาดของเซลล์ การยืดยาวและการแบ่งเซลล์ กระตุ้นการเจริญที่ปลายรากทำให้มีพื้นที่ผิวสัมผัสเพิ่มขึ้น เหนี่ยวนำให้รากพืชยาวขึ้นและยังเพิ่มจำนวนรากทำให้พืชมีความสามารถในการลำเลียงธาตุอาหารและดูดซึมสารต่าง ๆ (Kumar *et al.*, 2017) IAA นอกจากจะมีผลโดยตรงต่อการเจริญเติบโตของพืชแล้วยังมีความสำคัญทางอ้อมในการฟื้นฟูสภาพแวดล้อม โดยกระตุ้นการหลั่งสารจากรากพืชเพื่อมาสนับสนุนการเจริญของจุลินทรีย์ที่มีความสามารถในการย่อยสลายอินทรีย์วัตถุและสารพิษ (Yang and Murphy, 2009) จากงานวิจัยของ Phi *et al.* (2010) พบว่า 59 เปอร์เซ็นต์ของสายพันธุ์ *P. polymyxa* ที่ทดสอบถือว่าเป็นสายพันธุ์ที่ผลิต IAA เพื่อส่งเสริมการเจริญเติบโตของพริกไทย โดยมีการผลิต IAA อยู่ระหว่าง 7.5-25.9 ไมโครกรัมต่อมิลลิลิตร ใน 29 ไอโซเลท และนอกจากนั้นงานวิจัยของ Lastochkina *et al.* (2019) พบว่า *Bacillus* spp. สามารถผลิต IAA เพื่อช่วยส่งเสริมการเจริญเติบโตของพืชภายใต้สภาวะปกติและสภาวะเครียดได้อย่างมีนัยสำคัญ และจากงานวิจัยของ Zhao *et al.* (2020) พบว่า *B. pumilus* FAB10 สามารถผลิต IAA และซีเตอร์โรฟอร์ ส่งเสริมการเจริญเติบโตของรากพืช และงานวิจัยของ Acuña *et al.* (2011) ทำการคัดเลือกแบคทีเรียรอบ ๆ รากพืช พบว่า *Bacillus* spp. และ *Paenibacillus* sp. พบว่าสามารถผลิต IAA อยู่ระหว่าง 32-37 ไมโครกรัมต่อมิลลิลิตร และยังพบว่าค่าพีเอชและอาหารเลี้ยงเชื้อมีผลต่อการผลิต IAA ของแบคทีเรียอีกด้วย

เมื่อศึกษาปริมาณไซโตไคนินในน้ำหมักจาก *B. subtilis* BTK07 (FB07) และน้ำหมักจาก *P. polymyxa* BTK01 (FB01) พบว่าไซโตไคนินที่ผลิตได้อยู่ในรูปของ zeatin riboside คือ 0.004 และ 0.007 ไมโครกรัมต่อลิตร ตามลำดับ นอกจากนั้นยังอยู่ในรูปของ  $N^6$  ( $\Delta^2$ -isopentenyl) adenine เท่ากับ 0.006 และ 0.0016 ไมโครกรัมต่อลิตร ตามลำดับ (ตารางที่ 4.1) ซึ่งไซโตไคนิน (CKs) เป็นโมเลกุลของ adenine ที่ถูกแทนที่ด้วย isoprenoid เกิด Isopentenyl transferases (IPTs) เร่งปฏิกิริยา isoprenoid และสังเคราะห์ CKs ในรูปแบบต่าง ๆ ได้แก่  $N^6$ -( $\Delta^2$ -isopentenyl)-adenine (iP), cis-zeatin (cZ), trans-zeatin (tZ), and dihydrozeatin (DZ) (Akhtar *et al.*,

2020) โดยทั่วไปไซโตไคนินที่พบในพืชอยู่ในรูปของคือ trans-zeatin และ  $N^6-(\Delta^2\text{-isopentenyl})\text{-adenine}$  (Sakakibara, 2006) ไซโตไคนินเป็นฮอร์โมนพืชที่มีผลต่อการเปลี่ยนแปลงทางด้านสรีรวิทยา การเจริญเติบโตและการพัฒนาของพืช ได้แก่ การเพิ่มจำนวนเซลล์ การงอกของเมล็ด การเจริญของดอกและผล การข่มตายอด (apical dominance) การชะลอความชราของพืช การทำงานร่วมกันระหว่างไซโตไคนินและออกซินส่งผลให้พืชมีการแบ่งเซลล์อย่างรวดเร็ว นำมาสู่การเปลี่ยนแปลงของเนื้อเยื่อไปเป็นต้นหรือราก (Schaller *et al.*, 2015) โดยแบคทีเรียในกลุ่ม *Bacillus* และ *Paenibacillus* สามารถผลิตไซโตไคนินเพื่อส่งเสริมการเจริญเติบโตของพืชและลดการตอบสนองต่อสภาวะเครียดในพืช จากงานวิจัยของ Liu *et al.* (2013) พบว่า *B. subtilis* ที่ผลิตไซโตไคนินเมื่อเพาะเลี้ยงร่วมกับเมล็ดต้นสนหางสิงห์ (*Platycladus orientalis*) ส่งผลให้ความยาวยอด ปริมาณน้ำในพืช และค่าศักย์ของน้ำในใบเพิ่มขึ้น รวมทั้งทนต่อสภาวะแล้งได้ดีเมื่อเทียบกับควบคุม

**ตารางที่ 4.1** ปริมาณ Indole-3-acetic acid (IAA) และ ไซโตไคนิน (cytokinins) ในน้ำหมักจาก *Paenibacillus polymyxa* BTK01 และ *Bacillus subtilis* BTK07

| น้ำหมัก                  | IAA<br>(มิลลิกรัมต่อลิตร) | ไซโตไคนิน (มิลลิกรัมต่อลิตร) |                 |                                                      |                                                        |
|--------------------------|---------------------------|------------------------------|-----------------|------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------|
|                          |                           | Zeatin                       | Zeatin Riboside | $N^6 (\Delta^2 - \text{isopentenyl})\text{-adenine}$ | $N^6 (\Delta^2 - \text{isopentenyl})\text{-adenosine}$ |
| <i>B. subtilis</i> BTK07 | 0.27                      | nd.                          | 0.004           | 0.006                                                | nd.                                                    |
| <i>P. polymyxa</i> BTK01 | 0.37                      | nd.                          | 0.007           | 0.0016                                               | nd.                                                    |

nd. = Not detected, LOD ของ Zeatin = 0.001 mg/l, LOD ของ  $N^6 (\Delta^2 - \text{isopentenyl})\text{-adenosine}$  = 0.001 mg/l

## 4.2 ผลการศึกษาการงอกของเมล็ดด้วยวิธีแช่เมล็ด

การเพาะเมล็ดผักสลัดเป็นขั้นตอนที่สำคัญมากในการผลิต เนื่องจากเมล็ดผักสลัดอยู่ในวงศ์ *Asteraceae* นั้นมีขนาดเล็ก รูปร่างแบน และอาหารสะสมในเมล็ดน้อยจึงมีความจำเป็นอย่างมากที่จะต้องอนุบาลต้นกล้าให้มีความงอกสม่ำเสมอ ไม่เกิดโรคภัยและติดต่อนในระยะต้นกล้า เพื่อให้ได้ต้นกล้าผักสลัดกรีนโอ๊คที่มีเปอร์เซ็นต์การงอกสูงและต้นกล้าแข็งแรงสำหรับใช้เพื่อการเพาะปลูก

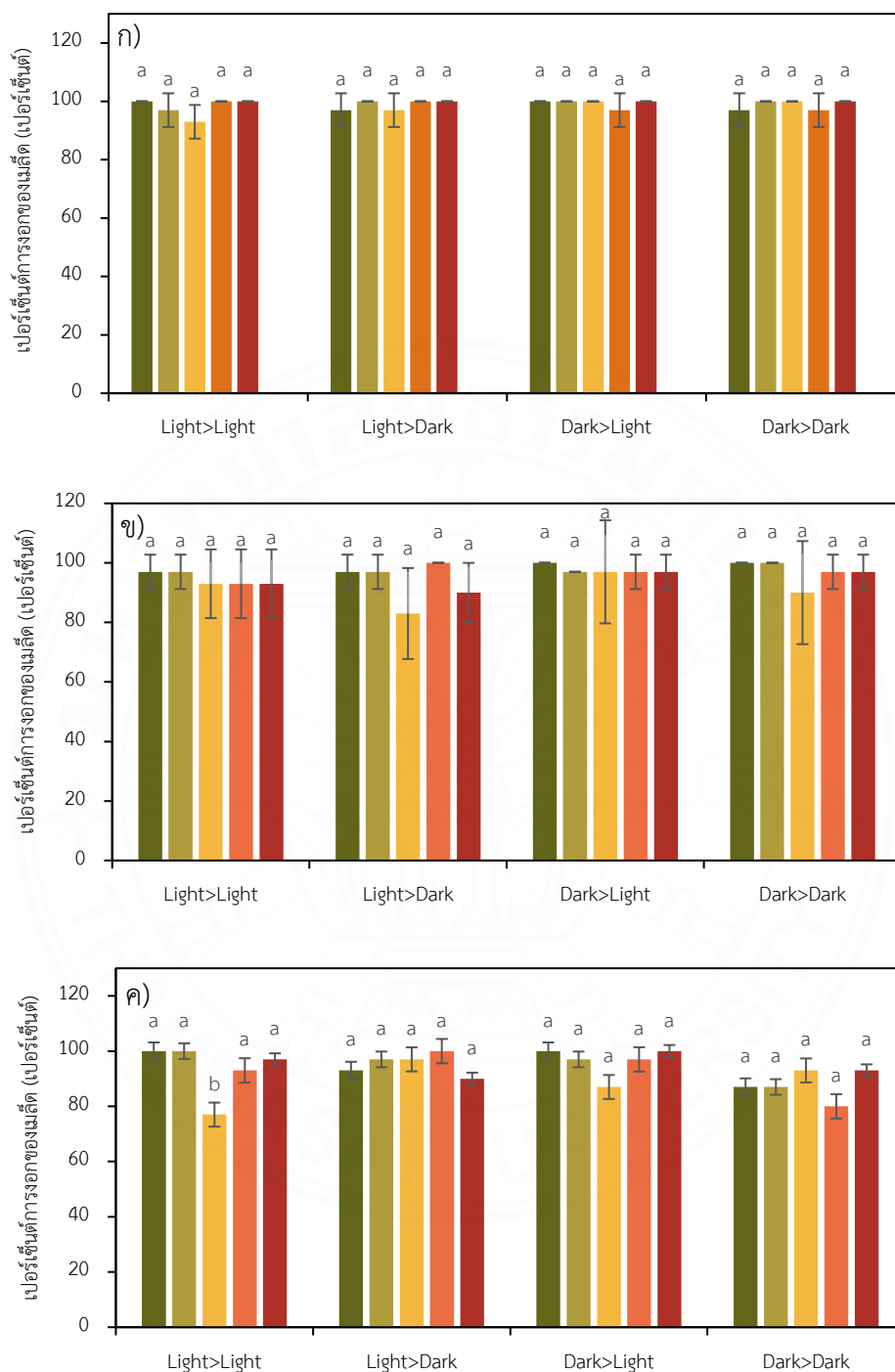
### 4.2.1 เปอร์เซนต์การงอกของเมล็ด

ผลการศึกษาสารละลายเอนไซม์และน้ำหมักจาก *Bacillus subtilis* BTK07 และ *Paenibacillus polymyxa* BTK01 ต่อเปอร์เซนต์การงอกของเมล็ดผักสลัดกรีนโอ๊ค โดยวิธีการแช่เมล็ดและเจริญในสภาวะที่แตกต่างกัน ตามระยะเวลาในการเก็บรักษาเอนไซม์และน้ำหมักที่ 4 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 0, 40 และ 60 วัน ดังแสดงในภาพที่ 4.6 เมื่อพิจารณาที่ 0 วัน พบว่าการเพาะเมล็ดในสภาวะต่าง ๆ ไม่แตกต่างกันทางสถิติ โดยการเพาะเมล็ดที่มืดและที่สว่าง (Dark>Light) มีค่าเฉลี่ยเปอร์เซนต์การงอกของเมล็ดผักสลัดกรีนโอ๊คสูงสุดคือ 99.40 เปอร์เซนต์ เมื่อแช่เมล็ดในน้ำกลั่น เอนไซม์จาก *P. polymyxa* BTK01 เอนไซม์จาก *B. subtilis* BTK07 และน้ำหมักจาก *B. subtilis* BTK07 ให้ค่าไม่แตกต่างกันคือ 100.00 เปอร์เซนต์ ดังแสดงในภาพที่ 4.6 ก เมื่อพิจารณาที่ 40 วัน พบว่าการเพาะเมล็ดในสภาวะต่าง ๆ ไม่แตกต่างกันทางสถิติ โดยการเพาะเมล็ดที่มืดและที่สว่าง (Dark>Light) มีค่าเฉลี่ยเปอร์เซนต์การงอกของเมล็ดผักสลัดกรีนโอ๊คสูงสุดคือ 97.60 เปอร์เซนต์ เมื่อแช่เมล็ดในเอนไซม์จาก *P. polymyxa* BTK01 เอนไซม์จาก *B. subtilis* BTK07 น้ำหมักจาก *P. polymyxa* BTK01 และน้ำหมักจาก *B. subtilis* BTK07 ให้ค่าไม่แตกต่างกันคือ 97.00 เปอร์เซนต์ ดังแสดงในภาพที่ 4.6 ข และเมื่อพิจารณาที่ 60 วัน พบว่าการเพาะเมล็ดในที่สว่าง (Light>Light) ค่าเฉลี่ยเปอร์เซนต์การงอกของเมล็ดผักสลัดกรีนโอ๊คแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $p<0.05$ ) ในขณะที่การเพาะเมล็ดที่มืดและที่สว่าง (Dark>Light) มีค่าเฉลี่ยเปอร์เซนต์การงอกสูงสุดคือ 96.20 เปอร์เซนต์ เมื่อแช่เมล็ดในน้ำกลั่นและน้ำหมักจาก *B. subtilis* BTK07 ให้ค่าไม่แตกต่างกันคือ 100.00 เปอร์เซนต์ ดังแสดงในภาพที่ 4.6 ค

ผลการทดลองแสดงให้เห็นว่าการเพาะเมล็ดในที่มืดและที่สว่าง (Dark>Light) ส่งผลให้ค่าเฉลี่ยเปอร์เซนต์การงอกของเมล็ดกรีนโอ๊คมีค่ามากที่สุด จากงานวิจัยของ Ahmed and Khan (2010) พบว่าการนำเมล็ดไว้ที่มีดินนั้นเป็นการจำลองสภาวะเมื่อเมล็ดอยู่ใต้ดินระยะนี้เมล็ดจะเกิดกระบวนการทางชีววิทยาที่จำเป็นสำหรับการงอก เมื่อสลับไปให้แสงส่งผลให้เมล็ดเจริญได้ดีเนื่องจากแสงมีผลอย่างมากต่อการงอกของเมล็ด โดยเฉพาะอย่างยิ่งต่อการยืดตัวของยอดอ่อน

(hypocotyl) ในช่วงแรกของการเจริญเติบโต การตอบสนองต่อแสงนี้เรียกว่า photomorphogenesis และงานวิจัยของ Bradbeer (2013) พบว่าเมล็ดผักสลัดเป็นเมล็ดที่ต้องการแสงในการงอก (positively photoblastic seed) และเมื่อพิจารณาการแช่เมล็ดในน้ำหมักจาก *B. subtilis* BTK07 พบว่าเปอร์เซ็นต์การงอกสูงเนื่องจากมีสารส่งเสริมการเจริญของพืชในน้ำหมักได้แก่ เซลล์แบคทีเรีย เอนไซม์ และฮอร์โมนพืชที่อาจติดไปกับเมล็ดพันธุ์ ส่งผลให้เมล็ดพันธุ์มีความพร้อมสำหรับกระบวนการงอกโดยเกิดกระบวนการหายใจการเผาผลาญอาหารได้พลังงานและคาร์บอนไดออกไซด์ที่รวดเร็วกว่าการแช่ในชุดทดลองอื่น ๆ จากงานวิจัยของ Zohora *et al.* (2016) พบว่า *B. subtilis* RB14 ผลิต lipopeptide ยับยั้งเชื้อรา *Rhizoctonia solani* K1 ที่ก่อโรคในมะเขือเทศ ส่งผลให้การงอกของเมล็ดมะเขือเทศมีค่า 99 เปอร์เซ็นต์





ภาพที่ 4.6 ค่าเฉลี่ยเปอร์เซ็นต์การงอกของเมล็ดผักสลัดกรีนโอ๊คเมื่อแช่เมล็ดในน้ำกลั่น (■) เอนไซม์ *Paenibacillus polymyxa* BTK01 (■) เอนไซม์ *Bacillus subtilis* BTK07 (■) น้ำหมัก *Paenibacillus polymyxa* BTK01 (■) และน้ำหมัก *Bacillus subtilis* BTK07 (■) โดยเก็บรักษาที่ 4 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 0 วัน (ก) 40 วัน (ข) และ 60 วัน (ค) โดยให้เจริญในสภาวะที่แตกต่างกัน

#### 4.2.2 ความเร็วในการงอกของเมล็ด

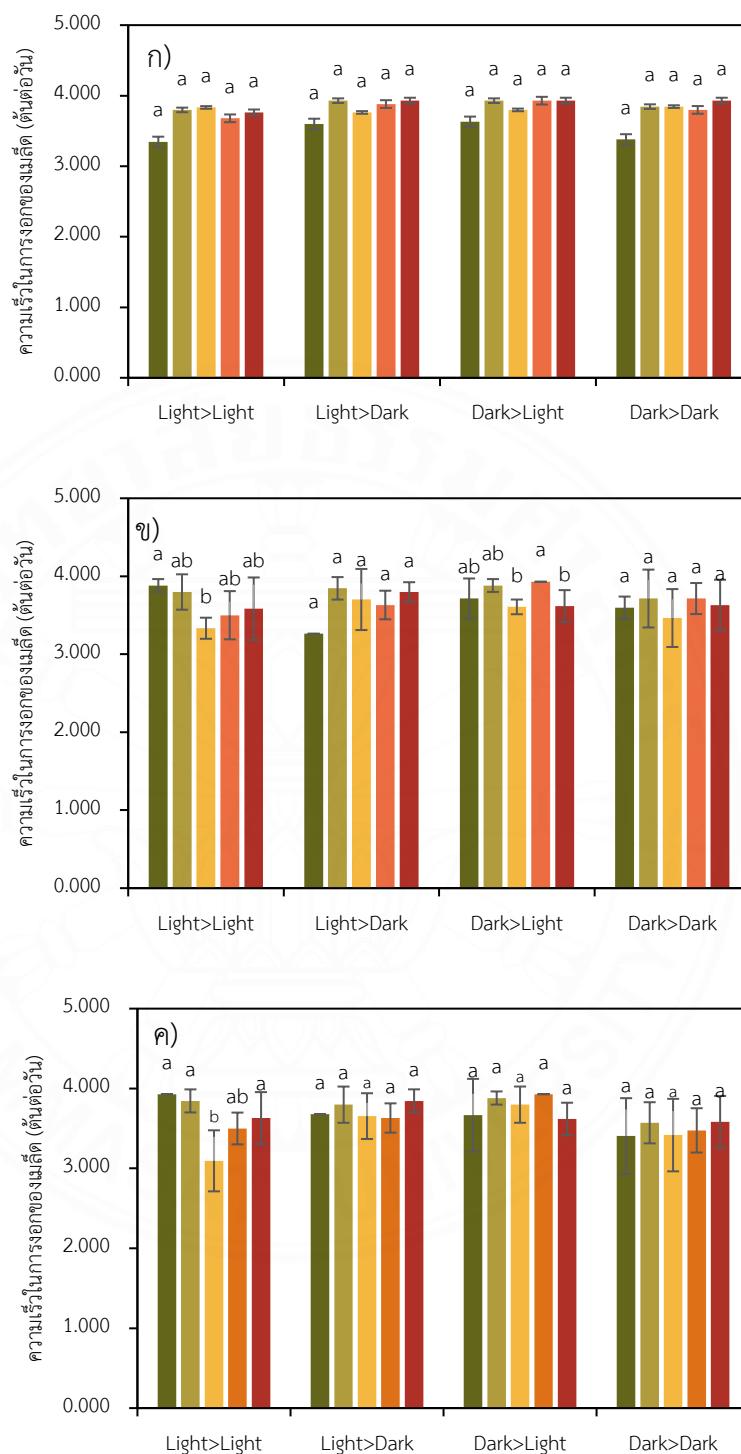
ผลการศึกษาสารละลายเอนไซม์และน้ำหมักจาก *Bacillus subtilis* BTK07 และ *Paenibacillus polymyxa* BTK01 ต่อความเร็วในการงอกของเมล็ดผักสลัดกรีนโอ๊ค โดยวิธีการแช่เมล็ดและเจริญในสภาวะที่ต่างกัน ตามระยะเวลาในการเก็บรักษาเอนไซม์และน้ำหมักที่ 4 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 0, 40 และ 60 วัน ดังแสดงในภาพที่ 4.7 เมื่อพิจารณาที่ 0 วัน พบว่าการเพาะเมล็ดในสภาวะต่าง ๆ ไม่แตกต่างกันทางสถิติ โดยการเพาะเมล็ดที่มืดและที่สว่าง (Dark>Light) มีค่าเฉลี่ยความเร็วในการงอกของเมล็ดผักสลัดกรีนโอ๊คสูงสุดคือ 3.88 ต้นต่อวัน เมื่อแช่เมล็ดในเอนไซม์จาก *P. polymyxa* BTK01 น้ำหมักจาก *P. polymyxa* BTK01 และน้ำหมักจาก *B. subtilis* BTK07 ให้ค่าไม่แตกต่างกันคือ 3.92 ต้นต่อวัน ดังแสดงในภาพที่ 4.7ก เมื่อพิจารณาที่ 40 วัน พบว่าการเพาะเมล็ดในที่สว่าง (Light>Light) ค่าเฉลี่ยความเร็วในการงอกของเมล็ดผักสลัดกรีนโอ๊คแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $p<0.05$ ) ในขณะที่การเพาะเมล็ดที่มืดและที่สว่าง (Dark>Light) มีค่าเฉลี่ยความเร็วในการงอกของเมล็ดผักสลัดกรีนโอ๊คสูงสุดคือ 3.75 ต้นต่อวัน เมื่อแช่เมล็ดในน้ำหมักจาก *P. polymyxa* BTK01 ให้ค่าสูงสุดคือ 3.92 ต้นต่อวัน แตกต่างกับชุดทดลองอื่น ๆ อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $p<0.05$ ) ดังแสดงในภาพที่ 4.7ข และเมื่อพิจารณาที่ 60 วัน พบว่าการเพาะเมล็ดในที่สว่าง (Light>Light) ค่าเฉลี่ยความเร็วในการงอกของเมล็ดผักสลัดกรีนโอ๊คแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $p<0.05$ ) ในขณะที่การเพาะเมล็ดที่มืดและที่สว่าง (Dark>Light) มีค่าเฉลี่ยความเร็วในการงอกสูงสุดคือ 3.78 ต้นต่อวัน เมื่อแช่เมล็ดในน้ำหมักจาก *P. polymyxa* BTK01 ให้ค่าสูงสุดคือ 3.92 ต้นต่อวัน แตกต่างกับชุดทดลองอื่น ๆ อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $p<0.05$ ) ดังแสดงในภาพที่ 4.7ค

ผลการทดลองแสดงให้เห็นว่าการเพาะเมล็ดในที่มืดและที่สว่าง (Dark>Light) ส่งผลให้ค่าเฉลี่ยความเร็วในการงอกมีค่ามากที่สุด งานวิจัยของ Seiwa (2000) ได้อธิบายว่าขนาดและรูปร่างของเมล็ดพันธุ์ที่แตกต่างกันจะมีผลต่อประสิทธิภาพการดูดน้ำของเมล็ดส่งผลให้ความเร็วในการงอกของเมล็ดพันธุ์แตกต่างกัน ทั้งนี้เมล็ดผักสลัดกรีนโอ๊คมีขนาดเล็ก เปลือกหุ้มเมล็ดบาง ทำให้เมล็ดดูดน้ำได้เร็ว นอกจากนั้นปัจจัยด้านสิ่งแวดล้อม เช่น อุณหภูมิ และแสงมีบทบาทสำคัญในการควบคุมการงอกของเมล็ด อุณหภูมิที่เหมาะสมสำหรับการงอกของเมล็ดขึ้นอยู่กับสายพันธุ์ ในเมล็ดผักสลัดถ้าอุณหภูมิสูงเกินไปส่งผลให้กระบวนการงอกถูกยับยั้ง (Finch and Leubner. 2006) การตอบสนองต่อแสงของเมล็ดขึ้นอยู่กับสายพันธุ์ของพืชเช่นเดียวกัน โดยพืชบางชนิดต้องการแสงหรือความมืดเท่านั้น ในขณะที่พืชบางชนิดงอกได้ดีทั้งในที่สว่างและมืด (Willis *et al.*, 2014) โดยเมล็ดผักสลัดกรีนโอ๊คจำเป็นต้องสังเคราะห์แสงหลังจากการงอกได้ไม่นาน (Kim *et al.*, 2016) ดังนั้นในสภาวะดังกล่าวจึงส่งเสริมความเร็วในการงอกของเมล็ดผักสลัดกรีนโอ๊คต่อวันที่สูงสุดการขยายพันธุ์ในเชิงพาณิชย์การเพาะเมล็ดในที่มืดก่อน 4 วันแล้วจึงย้ายไปไว้ที่สว่างจะช่วยลดต้นทุนในการผลิตลง



มากกว่าการเพาะเมล็ดภายใต้แสงสว่างจากหลอดไฟตลอด 7 วัน และเมื่อพิจารณาการแช่เมล็ดในน้ำหมักจาก *P. polymyxa* BTK01 พบว่าส่งผลให้ความเร็วในการงอกสูงเนื่องจากมีสารส่งเสริมการเจริญของพืชในน้ำหมักได้แก่ เซลล์แบคทีเรีย เอนไซม์ และฮอร์โมนพืชที่อาจติดไปกับเมล็ดพันธุ์ ซึ่งเอนไซม์แมนนาเนสและไซลาเนสทำหน้าที่ในการย่อยผนังเซลล์พืชในส่วนของแมนแนนและไซแลน ส่งผลให้รากและต้นอ่อนแทงทะลุเปลือกที่ห่อหุ้ม จึงเป็นอีกหนึ่งวิธีในการส่งเสริมความเร็วในการงอกของเมล็ด





ภาพที่ 4.7 ค่าเฉลี่ยความเร็วในการงอกของเมล็ดผักสลัดกรีนโอ๊คเมื่อแช่เมล็ดในน้ำกลั่น (■) *Paenibacillus polymyxa* BTK01 (■) *Paenibacillus polymyxa* BTK01 (■) *Bacillus subtilis* BTK07 (■) น้ำหมัก *Paenibacillus polymyxa* BTK01 (■) และน้ำหมัก *Bacillus subtilis* BTK07 (■) โดยเก็บรักษาที่ 4 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 0 วัน (ก) 40 วัน (ข) และ 60 วัน (ค) โดยให้เจริญในสภาวะที่แตกต่างกัน

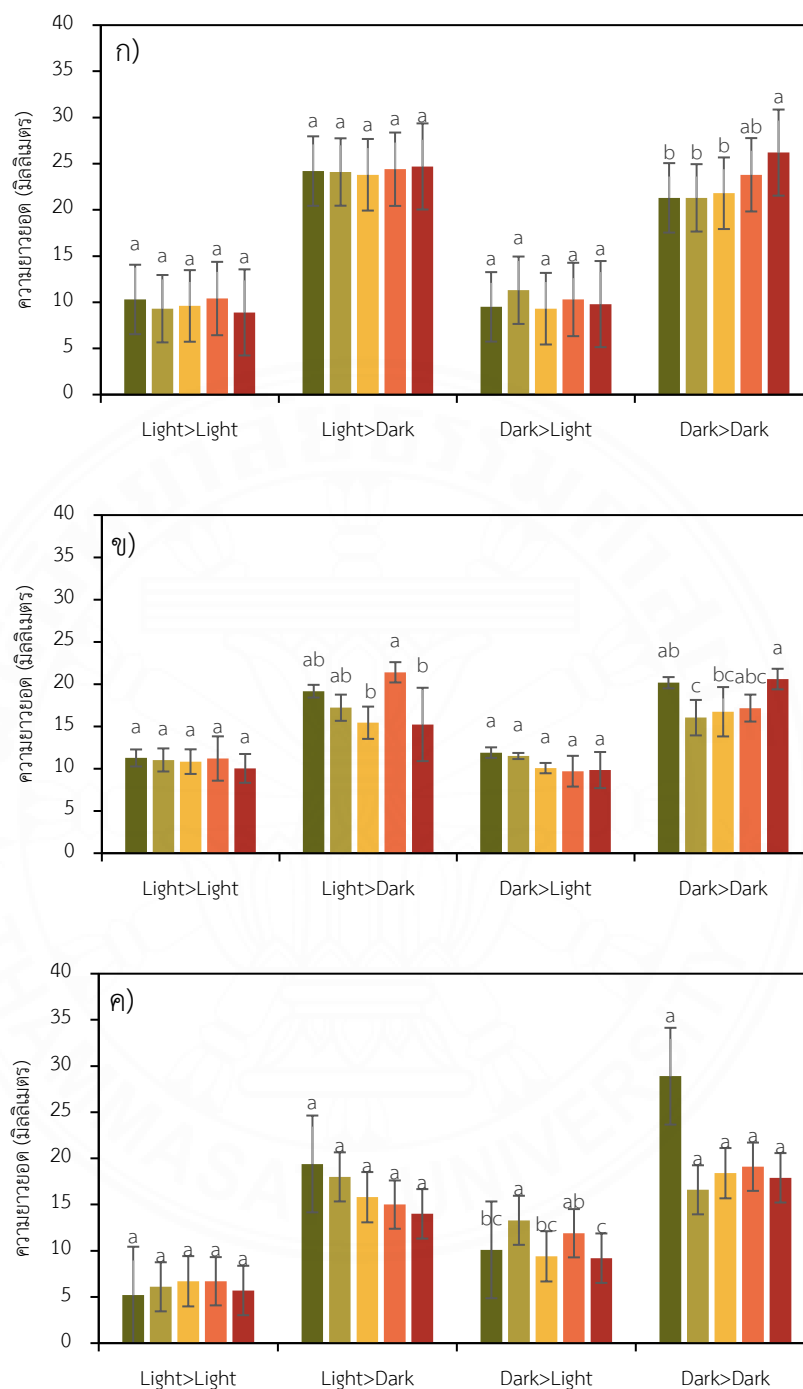
#### 4.2.3 ความยาวยอด

ผลการศึกษาสารละลายเอนไซม์และน้ำหมักจาก *Bacillus subtilis* BTK07 และ *Paenibacillus polymyxa* BTK01 ต่อความยาวยอดของต้นอ่อนผักสลัดกรีนโอ๊ค โดยวิธีการแช่เมล็ดและเจริญในสภาวะที่ต่างกัน ตามระยะเวลาในการเก็บรักษาเอนไซม์และน้ำหมักที่ 4 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 0, 40 และ 60 วัน ดังแสดงในภาพที่ 4.8 เมื่อพิจารณาที่ 0 วัน พบว่าการเพาะเมล็ดในที่มืด (Dark>Dark) ค่าเฉลี่ยความยาวยอดของต้นอ่อนผักสลัดกรีนโอ๊คแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $p<0.05$ ) โดยเมื่อแช่เมล็ดในน้ำหมักจาก *B. subtilis* BTK07 มีความยาวยอดของต้นอ่อนผักสลัดกรีนโอ๊คสูงสุดคือ 26.20 มิลลิเมตร ดังแสดงในภาพที่ 4.8 ก เมื่อพิจารณาที่ 40 วัน พบว่าการเพาะเมล็ดในที่สว่างและที่มืด (Light>Dark) ค่าเฉลี่ยความยาวยอดของต้นอ่อนผักสลัดกรีนโอ๊คแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $p<0.05$ ) ในขณะที่การเพาะเมล็ดในที่มืด (Dark>Dark) มีค่าเฉลี่ยความยาวยอดของต้นอ่อนผักสลัดกรีนโอ๊คสูงสุดคือ 18.14 มิลลิเมตร เมื่อแช่เมล็ดในน้ำกลั่นและน้ำหมักจาก *B. subtilis* BTK07 ให้ค่าสูงสุดไม่แตกต่างกันคือ 20.20 และ 20.60 มิลลิเมตร ตามลำดับ ดังแสดงในภาพที่ 4.8 ข และเมื่อพิจารณาที่ 60 วัน พบว่าการเพาะเมล็ดในที่มืดและสว่าง (Dark>Light) ค่าเฉลี่ยความยาวยอดของต้นอ่อนผักสลัดกรีนโอ๊คแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $p<0.05$ ) ในขณะที่การเพาะเมล็ดในที่มืด (Dark>Dark) มีค่าเฉลี่ยความยาวยอดของต้นอ่อนผักสลัดกรีนโอ๊คสูงสุดคือ 20.18 มิลลิเมตร เมื่อแช่เมล็ดในน้ำกลั่นให้ค่าสูงสุดคือ 28.90 มิลลิเมตร แตกต่างกับชุดทดลองอื่น ๆ อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $p<0.05$ ) ดังแสดงในภาพที่ 4.8 ค

ผลการทดลองแสดงให้เห็นว่าการเพาะเมล็ดในที่มืด (Dark>Dark) ส่งผลให้ค่าเฉลี่ยความยาวยอดของต้นอ่อนผักสลัดกรีนโอ๊คมีค่ามากที่สุด จากงานวิจัยของ Sun *et al.* (2009) พบว่าสภาวะมืดสามารถเพิ่มความยาวยอดของต้น *Garhadiolus papposus* ได้ เนื่องจากการเพาะเมล็ดในที่มืดจะเกิดกระบวนการงอกของเมล็ดเรียกว่า skotomorphogenesis ในช่วงนี้ต้นอ่อนจะยึดส่วนของลำต้นที่อยู่ใต้ใบเลี้ยง (hypocotyl) เข้าหาแสง การปรับตัวนี้ส่งผลให้เกิดการยืดยาวของลำต้น ในขณะที่การเพาะเมล็ดในที่มืดพบว่าความยาวยอดมีค่าไม่สูงมากเนื่องจากพืชที่ได้รับแสงในระหว่างการงอกอย่างเพียงพอทำให้เกิดอัตราการสังเคราะห์แสงเพื่อสร้างคลอโรฟิลล์ แคโรทีนอยด์ และยังมีผลต่อการเปิดปิดของปากใบ (Kim *et al.*, 2004) การขยายพันธุ์ในเชิงพาณิชย์ควรเพาะผักสลัดกรีนโอ๊คในที่มืดเนื่องจากแสงทำให้เกิดอัตราการสังเคราะห์แสงใบมีสีเขียวสดและลำต้นไม่ยืดยาวเมื่อเปรียบเทียบกับที่มืดพบว่าส่งผลให้ยอดยืดยาวเข้าหาแสงและใบมีสีเขียวซีด และเมื่อพิจารณาการแช่เมล็ดในน้ำหมักจาก *B. subtilis* BTK07 พบว่าส่งผลให้มีความยาวยอดของต้นอ่อนผักสลัดกรีนโอ๊คสูงเนื่องจากมีสารส่งเสริมการเจริญของพืชในน้ำหมักได้แก่ เซลล์แบคทีเรียเอนไซม์ และฮอร์โมนพืชที่อาจติดไปกับเมล็ดพันธุ์ จากงานวิจัยของ (Walia *et al.*, 2014) พบว่า *B.*

*subtilis* CKT1 สามารถผลิตซีเตอรโรฟอร Indole-3-acetic acid (IAA) และไฮโดรเจนไซยาไนด์ (ส่งผลให้เปอร์เซ็นต์การงอกของเมล็ดมะเขือเทศ ความยาวยอด ความยาวราก น้ำหนักแห้งยอดและ น้ำหนักแห้งรากเพิ่มขึ้น 36.08, 5.22, 21.12 63.50 และ 54.08 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ

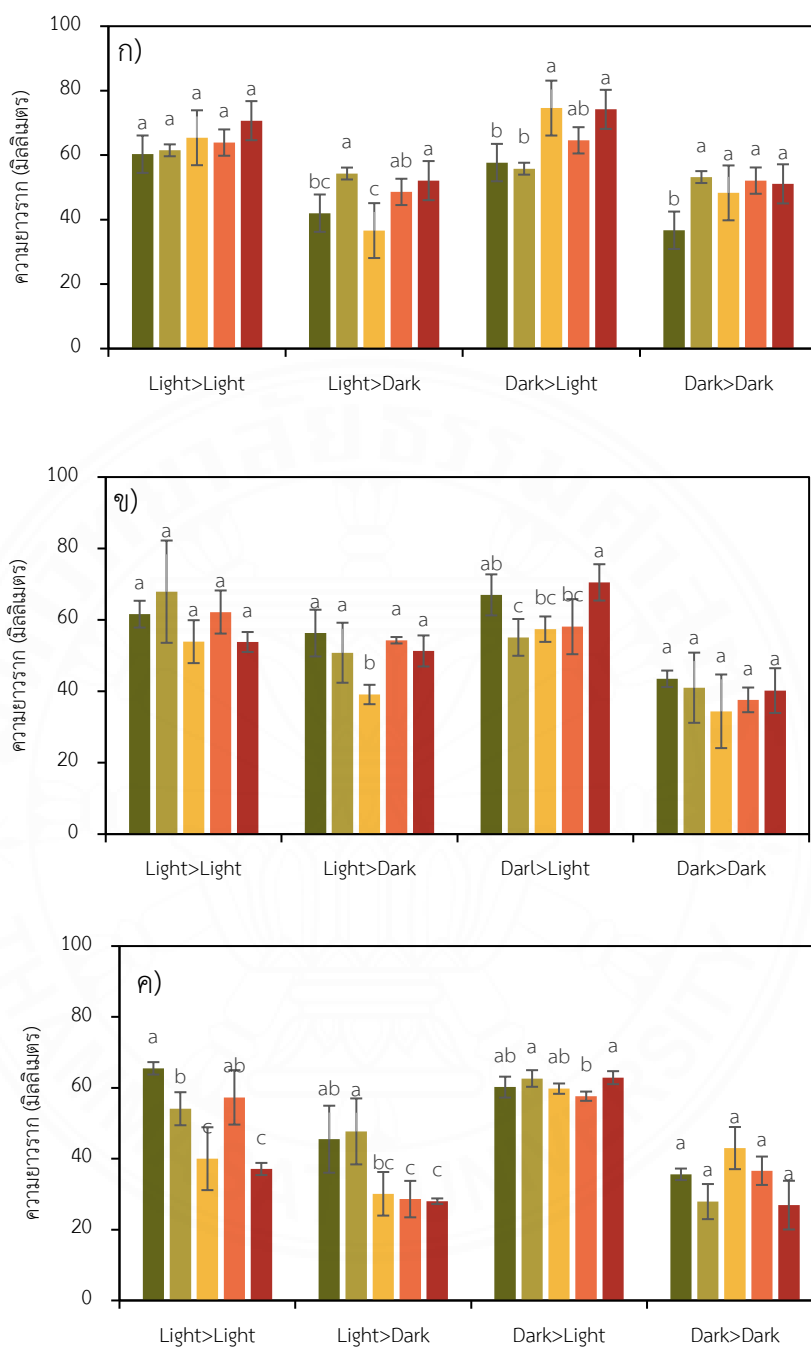




ภาพที่ 4.8 ค่าเฉลี่ยความยาวยอดของต้นอ่อนผักสลัดกรีนไวด์เมื่อแช่เมล็ดในน้ำกลั่น (■) เอนไซม์ *Paenibacillus polymyxa* BTK01 (■) เอนไซม์ *Bacillus subtilis* BTK07 (■) น้ำหมัก *Paenibacillus polymyxa* BTK01 (■) และน้ำหมัก *Bacillus subtilis* BTK07 (■) โดยเก็บรักษาที่ 4 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 0 วัน (ก) 40 วัน (ข) และ 60 วัน (ค) โดยให้เจริญในสภาวะที่ต่างกัน

#### 4.2.4 ความยาวราก

ผลการศึกษาสารละลายเอนไซม์และน้ำหมักจาก *Bacillus subtilis* BTK07 และ *Paenibacillus polymyxa* BTK01 ต่อความยาวรากของต้นอ่อนผักสลัดกรีนโอ๊ค โดยวิธีการแช่เมล็ดและเจริญในสภาวะที่แตกต่างกัน ตามระยะเวลาในการเก็บรักษาเอนไซม์และน้ำหมักที่ 4 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 0, 40 และ 60 วัน ดังแสดงในภาพที่ 4.9 เมื่อพิจารณาที่ 0 วัน พบว่าการเพาะเมล็ดในที่มืดและสว่าง (Dark>Light) ค่าเฉลี่ยความยาวรากของต้นอ่อนผักสลัดกรีนโอ๊คแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $p<0.05$ ) โดยเมื่อแช่เมล็ดในเอนไซม์และน้ำหมักจาก *B. subtilis* BTK07 มีความยาวยอดของต้นอ่อนผักสลัดกรีนโอ๊คสูงสุดไม่แตกต่างกันคือ 74.60 และ 74.20 มิลลิเมตร ตามลำดับ ดังแสดงในภาพที่ 4.9 ก เมื่อพิจารณาที่ 40 วัน พบว่าการเพาะเมล็ดในที่มืดและสว่าง (Dark>Light) ค่าเฉลี่ยความยาวรากของต้นอ่อนผักสลัดกรีนโอ๊คแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $p<0.05$ ) เมื่อแช่เมล็ดในน้ำหมักจาก *B. subtilis* BTK07 ให้ค่าสูงสุดคือ 70.50 มิลลิเมตร ตามลำดับ ดังแสดงในภาพที่ 4.9 ข และเมื่อพิจารณาที่ 60 วัน พบว่าการเพาะเมล็ดในที่มืดและสว่าง (Dark>Light) ค่าเฉลี่ยความยาวรากของต้นอ่อนผักสลัดกรีนโอ๊คแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $p<0.05$ ) มีค่าเฉลี่ยความยาวรากของต้นอ่อนผักสลัดกรีนโอ๊คสูงสุดคือ 60.62 มิลลิเมตร เมื่อแช่เมล็ดในเอนไซม์ *P. polymyxa* BTK01 และ *B. subtilis* BTK07 ให้ค่าสูงสุดไม่แตกต่างกันคือ 62.60 และ 62.90 มิลลิเมตร ตามลำดับ ดังแสดงในภาพที่ 4.9 ค ผลการทดลองแสดงให้เห็นว่าการเพาะเมล็ดในที่มืดและสว่าง (Dark>Light) ส่งผลให้ค่าเฉลี่ยความยาวรากของต้นอ่อนผักสลัดกรีนโอ๊คมีค่ามากที่สุด เนื่องจากการเพาะเมล็ดในที่มืดตัวรับแสงของพืชจะไม่ตรวจจับสัญญาณแสงใด ๆ เป็นผลให้พืชยับยั้งการยืดตัวของยอด (hypocotyl) และส่งเสริมการยืดตัวของราก (radicle) แทนและเมื่อได้รับแสงในเวลาต่อมารากตอบสนองต่อแสงทำให้เกิดกระบวนการเมแทบอลิซึมต่าง ๆ ภายในเมล็ด เช่น กระตุ้นการสร้างเอนไซม์ เกิดปฏิกิริยาทางชีวเคมีต่าง ๆ อาหารสะสมในเมล็ด เช่น โปรตีน คาร์โบไฮเดรต และไขมันถูกย่อยโมเลกุลให้เล็กลง และเคลื่อนย้ายไปยังจุดที่มีการเจริญเติบโตหรือบริเวณปลายราก ส่งผลให้เมล็ดแทงรากแรกเกิดหรือรากอ่อนออกมาได้รวดเร็ว (Copeland and McDonald, 2001) เมื่อเทียบกับสภาวะอื่น ๆ และเมื่อพิจารณาการแช่เมล็ดในน้ำหมักจาก *B. subtilis* BTK07 พบว่าส่งผลให้ความยาวยอดของต้นอ่อนผักสลัดกรีนโอ๊คสูงเนื่องจากมีสารส่งเสริมการเจริญของพืชในน้ำหมักได้แก่ เซลล์แบคทีเรีย เอนไซม์ และฮอร์โมนพืชที่อาจติดไปกับเมล็ดพันธุ์ สอดคล้องกับงานวิจัยของ Tahir *et al.* (2017) พบว่าการปรับปรุงคุณภาพเมล็ดโดย *B. subtilis* SYST2 ที่ผลิตจิบเบอเรลลิน ออกซิน และไซโตไคนินส่งเสริมการงอกในต้นมะเขือเทศ และจากการงานวิจัยของ Baset *et al.* (2010) พบว่า *B. subtilis* ส่งเสริมการแบ่งเซลล์เนื้อเยื่อชั้นในสุดของ cortex บริเวณรากพืช ส่งผลให้ความยาวรากเมล็ดข้าวโพดและข้าวสาลีเพิ่มขึ้น



ภาพที่ 4.9 ค่าเฉลี่ยความยาวรากของต้นอ่อนผักสลัดกรีนโอ๊คเมื่อแช่เมล็ดในน้ำกลั่น (■) เอนไซม์ *Paenibacillus polymyxa* BTK01 (■) เอนไซม์ *Bacillus subtilis* BTK07 (■) น้ำหมัก *Paenibacillus polymyxa* BTK01 (■) และน้ำหมัก *Bacillus subtilis* BTK07 (■) โดยเก็บรักษาที่ 4 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 0 วัน (ก) 40 วัน (ข) และ 60 วัน (ค) โดยให้เจริญในสภาวะที่แตกต่างกัน

### 4.3 ผลการศึกษาการเจริญเติบโตของผักสลัดกรีนโอ๊ค (pot experimental)

#### 4.3.1 การทดลองที่ 1 ผลทดสอบประสิทธิภาพของเอนไซม์และน้ำหมักต่อการส่งเสริมการเจริญเติบโตของผักสลัดกรีนโอ๊ค

การทดลองที่ 1 เป็นการศึกษาประสิทธิภาพของเอนไซม์และน้ำหมักต่อการส่งเสริมการเจริญเติบโตของผักสลัดกรีนโอ๊ค โดยใช้เมล็ดที่ไม่ผ่านการแช่เมล็ดในสารทดสอบ บันทึกผลการเจริญเติบโตของผักสลัดกรีนโอ๊ค ได้แก่ ความสูง ความกว้างทรงพุ่ม จำนวนใบ ความยาวราก น้ำหนักสด น้ำหนักแห้ง และปริมาณจุลินทรีย์ในดิน

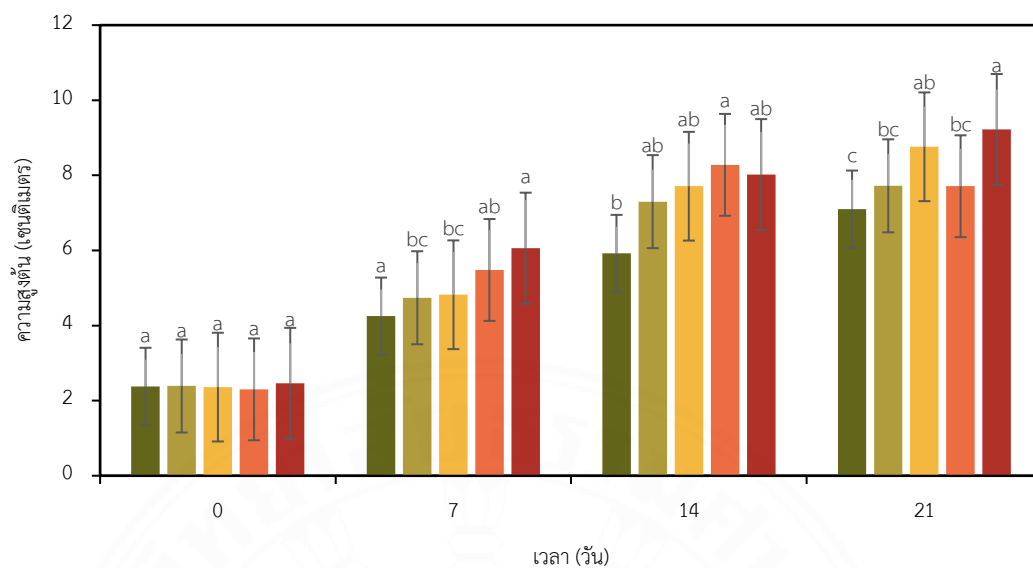
##### 4.3.1.1 ความสูง

ผลการศึกษาสารละลายเอนไซม์และน้ำหมักจาก *Bacillus subtilis* BTK07 และ *Paenibacillus polymyxa* BTK01 ต่อค่าเฉลี่ยความสูงของผักสลัดกรีนโอ๊ค เมื่ออายุ 7, 14 และ 21 วันหลังปลูก ที่ได้รับชุดทดลองที่แตกต่างกัน จากการวิเคราะห์ความแปรปรวนความสูงของผักสลัดกรีนโอ๊ค พบว่า หลังย้ายปลูก 7 วันและหลังย้ายปลูก 21 วัน มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $P \leq 0.05$ ) ดังแสดงในภาพที่ 4.10 และ 4.11 การบันทึกผลที่ 7 วัน พบว่าการรดด้วยน้ำหมัก *B. subtilis* BTK07 แสดงค่าเฉลี่ยความสูงมากที่สุดคือ 6.06 เซนติเมตร แตกต่างจากชุดทดลองอื่น ๆ อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $P \leq 0.05$ ) ดังแสดงในภาพที่ 4.10 ก การบันทึกผลที่ 14 วัน พบว่าการรดด้วยน้ำหมัก *P. polymyxa* BTK01 แสดงค่าเฉลี่ยความสูงมากที่สุดคือ 8.28 เซนติเมตร แตกต่างจากชุดทดลองอื่น ๆ อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $P \leq 0.05$ ) ดังแสดงในภาพที่ 4.10 ข และการบันทึกผลที่ 21 วัน พบว่าการรดด้วยน้ำหมัก *B. subtilis* BTK07 แสดงค่าเฉลี่ยความสูงมากที่สุดคือ 9.22 เซนติเมตร แตกต่างจากชุดทดลองอื่น ๆ อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $P \leq 0.05$ ) ดังแสดงในภาพที่ 4.10 ค ผลการทดลองแสดงให้เห็นว่าการรดด้วยน้ำหมัก *B. subtilis* BTK07 ส่งผลให้ผักสลัดกรีนโอ๊คมีความสูงต้นมากที่สุด เนื่องจากน้ำหมัก *B. subtilis* BTK07 มีส่วนประกอบของเอนไซม์และเซลล์แบคทีเรีย จากงานวิจัยของ Wang *et al.* (2022) พบว่า *Bacillus* sp. HW27 ส่งผลต่อการเจริญเติบโตของมะเขือเทศในด้านความยาวยอด ความยาวราก น้ำหนักสดและน้ำหนักแห้งเพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $p < 0.05$ ) คือ 24.8, 60.8, 75.0 และ 64.7 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ และงานวิจัยของ Lima *et al.* (2022) พบว่า *B. subtilis* ส่งผลให้ถั่วฝักยาวมีน้ำหนักสดต้น จำนวนใบ จำนวนฝัก และดอกเพิ่มขึ้น 40, 25, 45 และ 70 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ





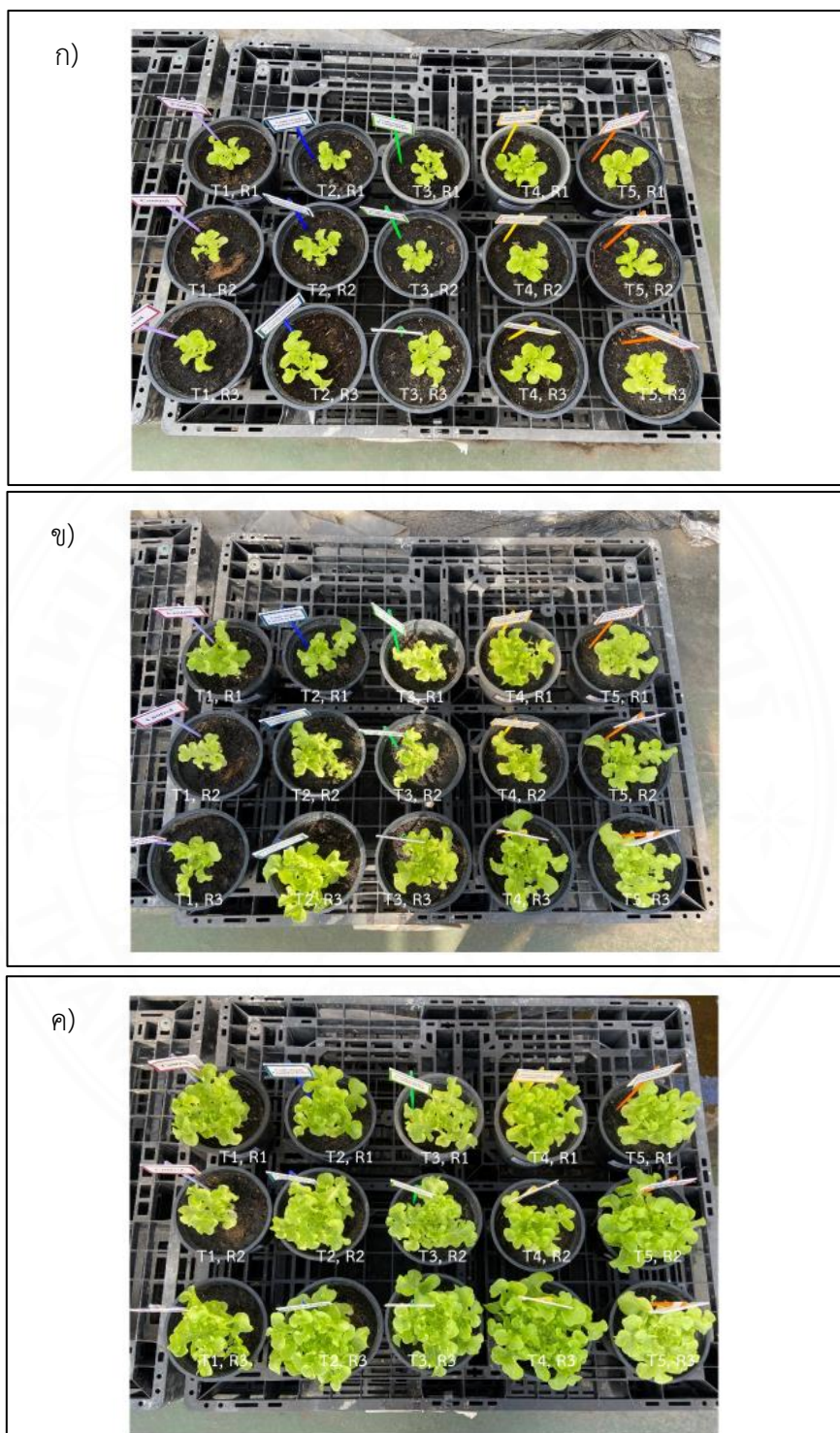
ภาพที่ 4.10 ความสูงของผักสลัดกรีนโอ๊คเมื่อรดด้วยน้ำกลั่น (T1) เอนไซม์ *Paenibacillus polymyxa* BTK01 (T2) เอนไซม์ *Bacillus subtilis* BTK07 (T3) น้ำหมัก *Paenibacillus polymyxa* BTK01 (T4) และน้ำหมัก *Bacillus subtilis* BTK07 (T5) บันทึกผล (ก) 7 วัน (ข) 14 วัน และ (ค) 21 วัน



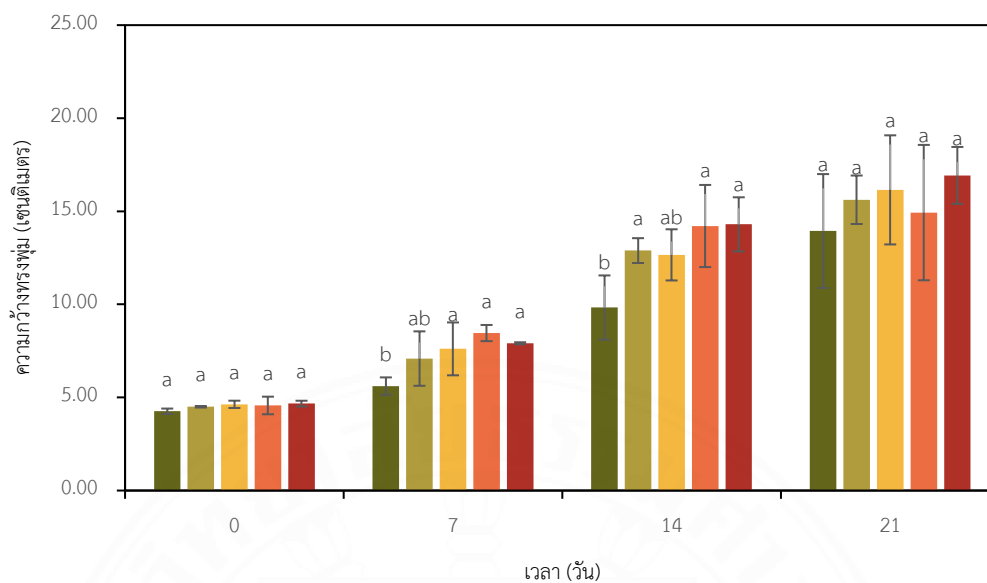
ภาพที่ 4.11 ค่าเฉลี่ยความสูงของผักสลัดกรีนโอ๊คเมื่อรดด้วยน้ำกลั่น (■) เอนไซม์ *Paenibacillus polymyxa* BTK01 (■) เอนไซม์ *Bacillus subtilis* BTK07 (■) น้ำหมัก *Paenibacillus polymyxa* BTK01 (■) และน้ำหมัก *Bacillus subtilis* BTK07 (■) บันทึกผล 0, 7, 14 และ 21 วัน

#### 4.3.1.2 ความกว้างทรงพุ่ม

ผลการศึกษาสารละลายเอนไซม์และน้ำหมักจาก *Bacillus subtilis* BTK07 และ *Paenibacillus polymyxa* BTK01 ต่อค่าเฉลี่ยความกว้างทรงพุ่มของผักสลัดกรีนโอ๊ค เมื่ออายุ 7, 14 และ 21 วันหลังปลูก ที่ได้รับชุดทดลองที่แตกต่างกัน จากการวิเคราะห์ความแปรปรวนความกว้างทรงพุ่มของผักสลัดกรีนโอ๊ค พบว่าหลังย้ายปลูก 7 วันและหลังย้ายปลูก 21 วัน มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $P \leq 0.05$ ) ดังแสดงในภาพที่ 4.12 และ 4.13 การบันทึกผลที่ 7 วัน พบว่าการรดด้วยน้ำหมัก *P. polymyxa* BTK01 แสดงค่าเฉลี่ยความกว้างทรงพุ่มมากที่สุด คือ 8.46 เซนติเมตร ซึ่งไม่แตกต่างกับการรดด้วยเอนไซม์ *P. polymyxa* BTK01 เอนไซม์และน้ำหมัก *B. subtilis* BTK07 ที่มีค่าเฉลี่ยความกว้างทรงพุ่มคือ 7.09, 7.61 และ 7.91 เซนติเมตรตามลำดับ ดังแสดงในภาพที่ 4.12 ก การบันทึกผลที่ 14 วัน พบว่าการรดด้วยน้ำหมัก *B. subtilis* BTK07 แสดงค่าเฉลี่ยความกว้างทรงพุ่มมากที่สุดคือ 14.30 เซนติเมตร ซึ่งไม่แตกต่างกับการรดด้วยเอนไซม์ *P. polymyxa* BTK01 เอนไซม์ *B. subtilis* BTK07 และน้ำหมัก *P. polymyxa* BTK01 ที่มีค่าเฉลี่ยความกว้างทรงพุ่มคือ 12.89, 12.66 และ 14.21 เซนติเมตร ตามลำดับ ดังแสดงในภาพที่ 4.12 ข และการบันทึกผลที่ 21 วัน พบว่าการรดด้วยน้ำหมัก *B. subtilis* BTK07 แสดงค่าเฉลี่ยความกว้างทรงพุ่มมากที่สุดคือ 16.93 เซนติเมตร ซึ่งไม่แตกต่างกับการรดด้วยน้ำกลั่น เอนไซม์ *P. polymyxa* BTK01 เอนไซม์ *B. subtilis* BTK07 และน้ำหมัก *P. polymyxa* BTK01 ที่มีค่าเฉลี่ยความกว้างทรงพุ่มคือ 13.94, 15.62, 16.15 และ 14.93 เซนติเมตร ตามลำดับ ดังแสดงในภาพที่ 4.12 ค ผลการทดลองแสดงให้เห็นว่าการรดด้วยน้ำหมัก *B. subtilis* BTK07 ส่งผลให้ผักสลัดกรีนโอ๊คมีความสูงต้นมากสุดในการบันทึกผลที่ 14 และ 21 วัน สอดคล้องกับผลของความสูงต้น เนื่องจากน้ำหมัก *B. subtilis* BTK07 สามารถเพิ่มกิจกรรมเอนไซม์แมนนาเนสและไซลานเนสในดิน ส่งผลให้เกิดการย่อยของอินทรีย์วัตถุในดิน (Okwuagwu *et al.*, 2003) จากงานวิจัยของ Biswas *et al.* (2000) พบว่าการใช้ *B. subtilis* ส่งผลให้พืชได้รับธาตุอาหารจากความสามารถในการละลายฟอสเฟตอินทรีย์และฟอสเฟตอินทรีย์ในดินจากการผลิตเอนไซม์ และจากงานวิจัยของ Karlidag *et al.* (2007) พบว่าการใช้ *Bacillus* M3 และ *Microbacterium* FS01 ส่งผลให้ต้นแอปเปิ้ลมีการเจริญในด้านน้ำหนักผล (13.9-25.5 เปอร์เซ็นต์) ความยาวยอด (16.4-29.6 เปอร์เซ็นต์) และเส้นผ่านศูนย์กลางลำต้น (15.9-18.4 เปอร์เซ็นต์) เพิ่มขึ้นเมื่อเทียบกับกลุ่มควบคุม และจากงานวิจัยของ Badar *et al.* (2022) พบว่า *B. subtilis* ส่งผลให้สตรอเบอร์รี่มีจำนวนใบ พื้นที่ของใบ และผลผลิตต้นต่อสูงสุด 38.33 ใบ 41.69 ตารางเซนติเมตร และ 226.97 กรัม ตามลำดับ



ภาพที่ 4.12 ความกว้างทรงพุ่มของผักสลัดกรีนโอ๊คเมื่อรดด้วยน้ำกลั่น (T1) เอนไซม์ *Paenibacillus polymyxa* BTK01 (T2) เอนไซม์ *Bacillus subtilis* BTK07 (T3) น้ำหมัก *Paenibacillus polymyxa* BTK01 (T4) และน้ำหมัก *Bacillus subtilis* BTK07 (T5) บันทึกผล (ก) 7 วัน (ข) 14 วัน และ (ค) 21 วัน

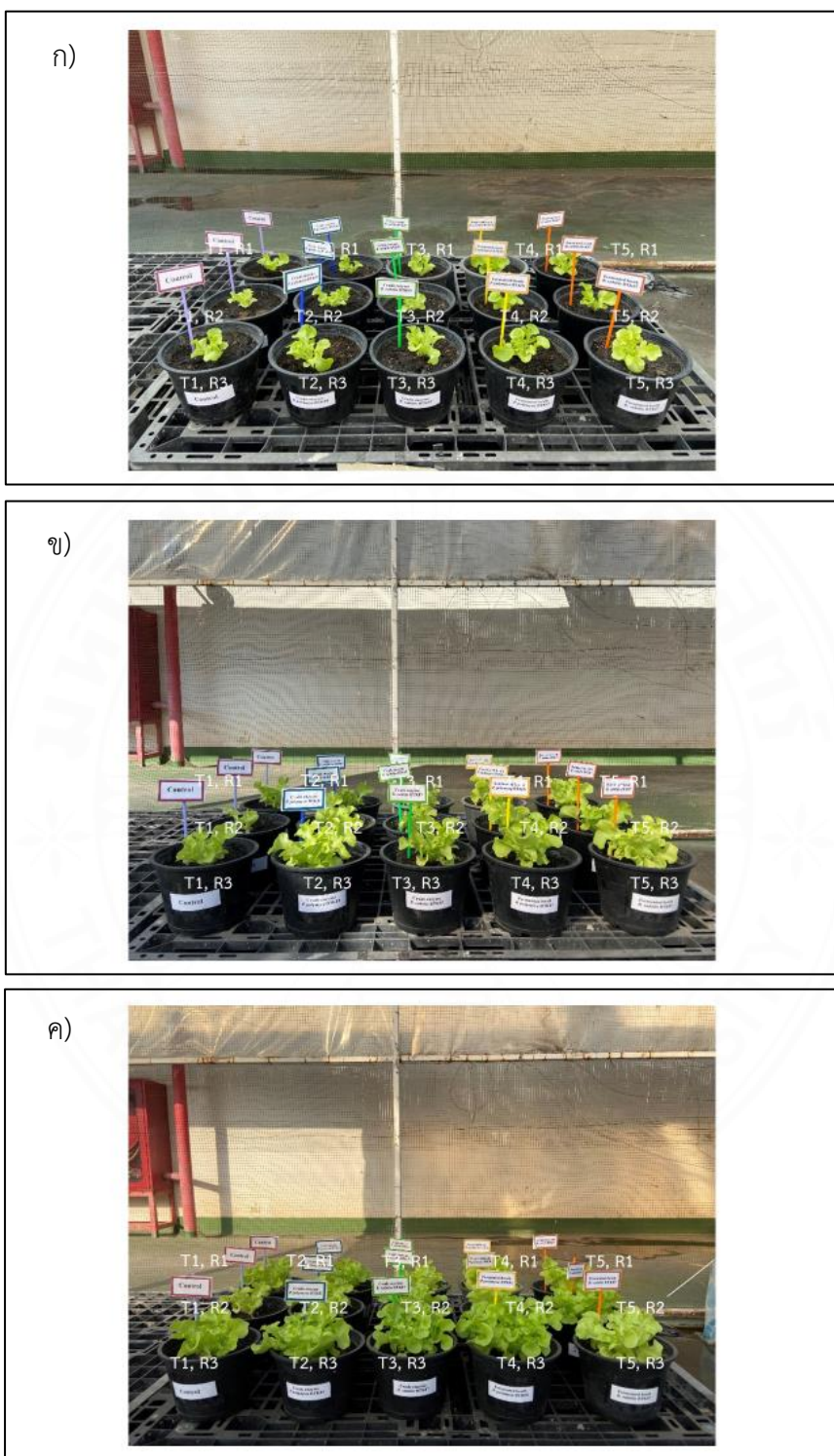


**ภาพที่ 4.13** ค่าเฉลี่ยความกว้างทรงพุ่มของผักสลัดกรีนโอ๊คเมื่อรดด้วยน้ำกลั่น (■) เอนไซม์ *Paenibacillus polymyxa* BTK01 (■) เอนไซม์ *Bacillus subtilis* BTK07 (■) น้ำหมัก *Paenibacillus polymyxa* BTK01 (■) และน้ำหมัก *Bacillus subtilis* BTK07 (■) บันทึกผล 0, 7, 14 และ 21 วัน

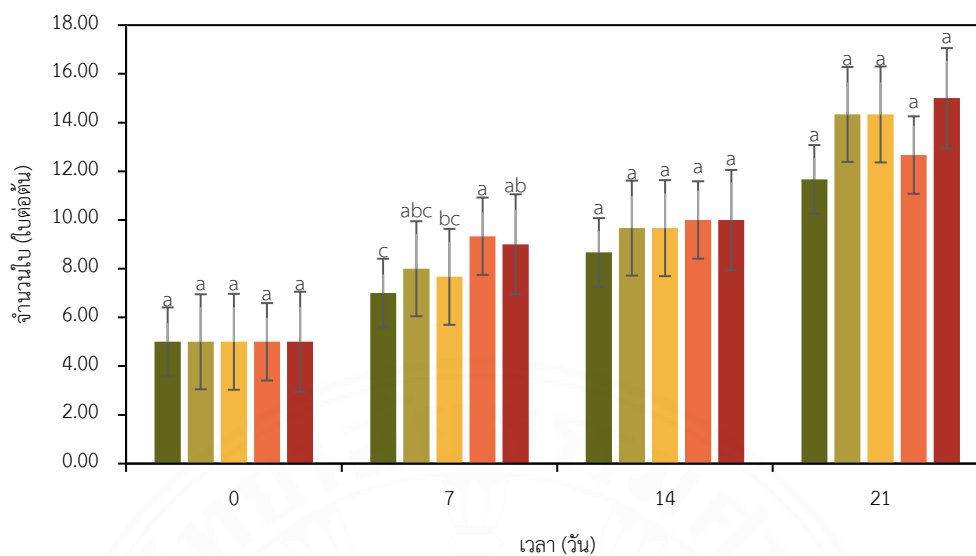


#### 4.3.1.3 จำนวนใบ

ผลการศึกษาระยะลายเอนไซม์และน้ำหมักจาก *Bacillus subtilis* BTK07 และ *Paenibacillus polymyxa* BTK01 ต่อค่าเฉลี่ยจำนวนใบของผักสลัดกรีนโอ๊ค เมื่ออายุ 7, 14 และ 21 วันหลังปลูก ที่ได้รับชุดทดลองที่แตกต่างกัน จากการวิเคราะห์ความแปรปรวนจำนวนใบของผักสลัดกรีนโอ๊ค พบว่าหลังย้ายปลูก 7 วันและหลังย้ายปลูก 21 วัน มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $P \leq 0.05$ ) ดังแสดงในภาพที่ 4.14 และ 4.15 การบันทึกผลที่ 7 วัน พบว่าการรดด้วยน้ำหมัก *P. polymyxa* BTK01 แสดงค่าเฉลี่ยจำนวนใบมากที่สุดคือ 9.33 ใบ แตกต่างจากชุดทดลองอื่น ๆ อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $P \leq 0.05$ ) ดังแสดงในภาพที่ 4.14 ก การบันทึกผลที่ 14 วัน พบว่าการรดด้วยน้ำหมัก *P. polymyxa* BTK01 และน้ำหมัก *B. subtilis* BTK07 แสดงค่าเฉลี่ยจำนวนใบเท่ากันคือ 10.00 ใบ ซึ่งไม่แตกต่างกับการรดด้วยน้ำกลั่น เอนไซม์ *P. polymyxa* BTK01 และ เอนไซม์ *B. subtilis* BTK07 ที่มีค่าเฉลี่ยจำนวนใบคือ 8.67, 9.67 และ 9.67 ใบ ตามลำดับ ดังแสดงในภาพที่ 4.14 ข และการบันทึกผลที่ 21 วัน พบว่าการรดด้วยน้ำหมัก *B. subtilis* BTK07 แสดงค่าเฉลี่ยจำนวนใบมากที่สุดคือ 15.00 ใบ ซึ่งไม่แตกต่างกับการรดด้วยน้ำกลั่น เอนไซม์ *P. polymyxa* BTK01 เอนไซม์ *B. subtilis* BTK07 และน้ำหมัก *P. polymyxa* BTK01 ที่มีค่าเฉลี่ยจำนวนใบคือ 11.67, 14.33, 14.33 และ 12.67 ใบ ตามลำดับ ดังแสดงในภาพที่ 4.14 ค ผลการทดลองแสดงให้เห็นว่าการรดด้วยน้ำหมัก *P. polymyxa* BTK01 ส่งผลให้ผักสลัดกรีนโอ๊คมีจำนวนใบมากสุดในการบันทึกผลที่ 7 และ 14 วัน ในขณะที่การรดด้วย น้ำหมัก *B. subtilis* BTK07 ส่งผลให้ผักสลัดกรีนโอ๊คมีจำนวนใบมากสุดในการบันทึกผลที่ 21 วัน สอดคล้องกับผลของความสูงต้นและความกว้างทรงพุ่ม เนื่องจากน้ำหมัก *P. polymyxa* BTK01 และ *B. subtilis* BTK07 มีแบคทีเรียที่ผลิตฮอร์โมนพืชโดยเฉพาะไซโตไคนินที่ช่วยเพิ่มการเจริญเติบโตทางใบ จากงานวิจัยของ Shabani (2023) พบว่า *B. subtilis* สามารถละลายฟอสฟอรัสในดินรวมถึงผลิตไซโตไคนินส่งผลให้ลดการใช้ธาตุอาหารลง 25% และน้ำหนักสดใบของต้นผักสลัดแดงโลโลรอสซ่าเพิ่มขึ้น 21 เปอร์เซ็นต์ เมื่อเทียบกับกลุ่มควบคุม



ภาพที่ 4.14 จำนวนใบของผักสลัดกรีนโอ๊คเมื่อรดด้วยน้ำกลั่น (T1) เอนไซม์ *Paenibacillus polymyxa* BTK01 (T2) เอนไซม์ *Bacillus subtilis* BTK07 (T3) น้ำหมัก *Paenibacillus polymyxa* BTK01 (T4) และน้ำหมัก *Bacillus subtilis* BTK07 (T5) บันทึกรูป (ก) 7 วัน (ข) 14 วัน และ (ค) 21 วัน



ภาพที่ 4.15 ค่าเฉลี่ยจำนวนใบของผักสลัดกรีนโอ๊คเมื่อรดด้วยน้ำกลั่น น้ำกลั่น (■) เอนไซม์ *Paenibacillus polymyxa* BTK01 (■) เอนไซม์ *Bacillus subtilis* BTK07 (■) น้ำหมัก *Paenibacillus polymyxa* BTK01 (■) และน้ำหมัก *Bacillus subtilis* BTK07 (■) บันทึกผล 0, 7, 14 และ 21 วัน

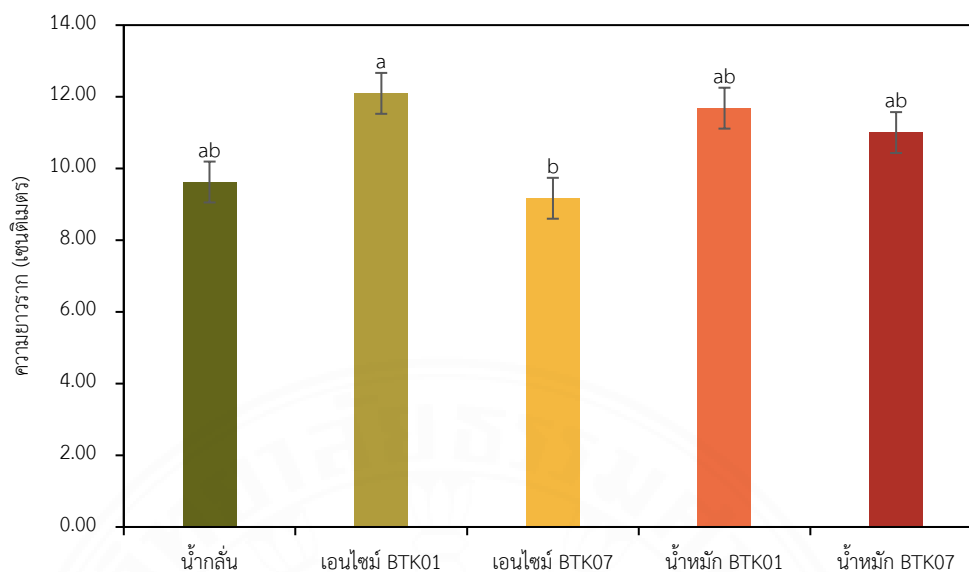


#### 4.3.1.4 ความยาวราก

ผลการศึกษาศาสตร์ละลายเอนไซม์และน้ำหมักจาก *Bacillus subtilis* BTK07 และ *Paenibacillus polymyxa* BTK01 ต่อค่าเฉลี่ยความยาวรากของผักสลัดกรีนโอ๊ค เมื่ออายุ 21 วันหลังปลูกที่ได้รับชุดทดลองที่แตกต่างกัน จากการวิเคราะห์ความแปรปรวนความยาวรากของผักสลัดกรีนโอ๊ค พบว่ามีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $P \leq 0.05$ ) ดังแสดงในภาพที่ 4.16 และ 4.17 การบันทึกผลที่ 21 วัน พบว่าการรดด้วยเอนไซม์ *P. polymyxa* BTK01 แสดงค่าเฉลี่ยความยาวรากมากที่สุดคือ 12.10 เซนติเมตร แตกต่างจากชุดทดลองอื่น ๆ อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $P \leq 0.05$ ) ดังแสดงในภาพที่ 4.16 ข ผลการทดลองแสดงให้เห็นว่าการรดด้วยเอนไซม์ *P. polymyxa* BTK01 ส่งผลให้ผักสลัดกรีนโอ๊คมีความยาวรากมากที่สุด สอดคล้องกับผลการวิจัยเนื่องจาก *P. polymyxa* สามารถสร้างสารควบคุมการเจริญเติบโตของพืช เช่น Indole-3-acetic acid (IAA) ซึ่งเป็นฮอร์โมนพืชที่สำคัญชนิดหนึ่งในกลุ่มออกซิน (Auxin) ที่มีบทบาทสำคัญต่อการงอกของเมล็ด และการยืดยาวของราก (Francisco *et al.*, 2005) จากงานวิจัยของ Haggag and Timmusk (2008) พบว่า *P. polymyxa* ที่แยกได้จากดินบริเวณ rhizosphere นั้นมีแนวโน้มในยับยั้งการเจริญเติบโตของเชื้อสาเหตุโรคที่เกิดโรคในระบบรากพืชได้ดี นอกจากนั้นงานวิจัยของ Yuan *et al.* (2017) พบว่ากรใช้ *P. polymyxa* SQR-21 บริเวณรากแตงโมสามารถส่งเสริมการเจริญเติบโตได้โดยกระตุ้นการแสดงออกของโปรตีนหลายชนิดที่เกี่ยวข้องกับการเจริญเติบโต การสังเคราะห์แสง และกิจกรรมภายในเซลล์ของพืช เช่น ผลิตโปรตีน aspartate amino-transferase (AAT) ซึ่งอยู่ในไซโตพลาสซึม ไมโทคอนเดรียและคลอโรพลาสต์ ซึ่ง AAT เป็นเอนไซม์หลักในกระบวนการเมแทบอลิซึมไนโตรเจน ซึ่งแสดงให้เห็นถึงกลไกปฏิสัมพันธ์ระหว่างพืชกับจุลินทรีย์ และจากงานวิจัยของ Liu *et al.* (2021) พบว่า *P. polymyxa* SC2 ส่งเสริมการเจริญเติบโตของพริกไทยโดยพบว่าเส้นผ่านศูนย์กลางลำต้นและความยาวรากเพิ่มขึ้น 6.52 และ 4.51 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ



ภาพที่ 4.16 ความยาวรากของผักสลัดกรีนโอ๊คเมื่อรดด้วยน้ำกลั่น (ก) เอนไซม์ *Paenibacillus polymyxa* BTK01 (ข) เอนไซม์ *Bacillus subtilis* BTK07 (ค) น้ำหมัก *Paenibacillus polymyxa* BTK01 (ง) และน้ำหมัก *Bacillus subtilis* BTK07 (จ) บันทึกผลที่ 21 วัน



ภาพที่ 4.17 ค่าเฉลี่ยความยวรากของผักสลัดกรีนโอ๊คเมื่อรดด้วยน้ำกลั่น น้ำกลั่น (■) เอนไซม์ *Paenibacillus polymyxa* BTK01 (■) เอนไซม์ *Bacillus subtilis* BTK07 (■) น้ำหมัก *Paenibacillus polymyxa* BTK01 (■) และน้ำหมัก *Bacillus subtilis* BTK07 (■) บันทึกผล 21 วัน

#### 4.3.1.5 น้ำหนักสด

ผลการศึกษาระยะลายเอนไซม์และน้ำหมักจาก *Bacillus subtilis* BTK07 และ *Paenibacillus polymyxa* BTK01 ต่อค่าเฉลี่ยน้ำหนักสดลำต้นและรากของผักสลัดกรีนโอ๊ค เมื่ออายุ 21 วันหลังปลูกที่ได้รับชุดทดลองที่แตกต่างกัน จากการวิเคราะห์ความแปรปรวนความน้ำหนักสดลำต้นและรากของผักสลัดกรีนโอ๊ค พบว่าไม่มีความแตกต่างกัน ดังแสดงในตารางที่ 4.2 การบันทึกผลที่ 21 วัน พบว่าการรดด้วยน้ำหมัก *P. polymyxa* BTK01 แสดงค่าเฉลี่ยน้ำหนักสดลำต้นมากที่สุดคือ 17.16 กรัม ซึ่งไม่แตกต่างกับการรดด้วยน้ำกลั่น เอนไซม์ *P. polymyxa* BTK01 เอนไซม์ *B. subtilis* BTK07 และน้ำหมัก *B. subtilis* BTK07 ที่มีค่าเฉลี่ยน้ำหนักสดลำต้นคือ 8.59, 14.73, 10.65 และ 14.72 กรัม ตามลำดับ และจากการวิเคราะห์ค่าเฉลี่ยน้ำหนักสดรากของผักสลัดกรีนโอ๊ค พบว่าเอนไซม์ *P. polymyxa* BTK01 แสดงค่าเฉลี่ยน้ำหนักสดรากมากที่สุดคือ 2.99 กรัม ซึ่งไม่มีความแตกต่างกับการรดด้วยน้ำกลั่น เอนไซม์ *B. subtilis* BTK07 น้ำหมัก *P. polymyxa* BTK01 และน้ำหมัก *B. subtilis* BTK07 ที่มีค่าเฉลี่ยน้ำหนักสดรากคือ 0.96, 1.05, 1.64 และ 1.66 กรัม ตามลำดับ ผลการทดลองแสดงให้เห็นว่าน้ำหมักและเอนไซม์ *P. polymyxa* BTK01 ส่งผลให้ค่าเฉลี่ยน้ำหนักสดลำต้นและรากมากที่สุด จากงานวิจัยของ Kumari and Thakur (2018) พบว่า *Paenibacillus* sp. ISTP10 ส่งผลให้ฝ้ายมีปริมาณคลอโรฟิลล์ ความสูงต้น ความยาวราก น้ำหนักสดต้น น้ำหนักสดราก น้ำหนักแห้งต้น และน้ำหนักแห้งราก เพิ่มขึ้น 77.85, 44.01, 38.75, 109, 131, 105.14 and 94.50 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับเมื่อเทียบกับชุดควบคุม

ตารางที่ 4.2 ค่าเฉลี่ยน้ำหนักสดลำต้นและรากของผักสลัดกรีนโอ๊ค (การทดลองที่ 1)

| ชุดทดลอง                              | น้ำหนักสด (กรัม)   |                   |
|---------------------------------------|--------------------|-------------------|
|                                       | ลำต้น              | ราก               |
| น้ำกลั่น (T1)                         | 8.59 <sup>a</sup>  | 0.96 <sup>a</sup> |
| เอนไซม์ <i>P. polymyxa</i> BTK01 (T2) | 14.73 <sup>a</sup> | 2.99 <sup>a</sup> |
| เอนไซม์ <i>B. subtilis</i> BTK07 (T3) | 10.65 <sup>a</sup> | 1.05 <sup>a</sup> |
| น้ำหมัก <i>P. polymyxa</i> BTK01 (T4) | 17.16 <sup>a</sup> | 1.64 <sup>a</sup> |
| น้ำหมัก <i>B. subtilis</i> BTK07 (T5) | 14.72 <sup>a</sup> | 1.66 <sup>a</sup> |
| F-test                                | ns                 | ns                |
| C.V.%                                 | 44.98              | 35.52             |

ns หมายถึง ไม่แตกต่างกันทางสถิติ, \* หมายถึง แตกต่างกันทางสถิติในระดับ 0.05

ตัวอักษรที่กำกับในแต่ละคอลัมน์ แสดงความแตกต่างระหว่างค่าเฉลี่ยโดยใช้ DMRT

#### 4.3.1.6 น้ำหนักแห้ง

ผลการศึกษาระละลายเอนไซม์และน้ำหมักจาก *Bacillus subtilis* BTK07 และ *Paenibacillus polymyxa* BTK01 ต่อค่าเฉลี่ยน้ำหนักแห้งลำต้นและรากของผักสลัดกรีนโอ๊ค เมื่ออายุ 21 วันหลังปลูกที่ได้รับชุดทดลองที่แตกต่างกัน จากการวิเคราะห์ความแปรปรวน น้ำหนักแห้งลำต้นพบว่าไม่มีความแตกต่างกัน ในขณะที่น้ำหนักแห้งรากพบว่ามีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $P \leq 0.05$ ) ดังแสดงในตารางที่ 4.3 การบันทึกผลที่ 21 วัน พบว่าการรดด้วยเอนไซม์ *P. polymyxa* BTK01 แสดงค่าเฉลี่ยน้ำหนักแห้งลำต้นมากที่สุดคือ 0.81 กรัม ซึ่งไม่แตกต่างกับการรดด้วยน้ำกลั่น เอนไซม์ *B. subtilis* BTK07 น้ำหมัก *P. polymyxa* BTK01 และน้ำหมัก *B. subtilis* BTK07 ที่มีค่าเฉลี่ยน้ำหนักแห้งลำต้นคือ .52, 0.66, 0.79 กรัม ตามลำดับ และจากการวิเคราะห์ค่าเฉลี่ยน้ำหนักแห้งรากของผักสลัดกรีนโอ๊ค พบว่าการรดด้วยเอนไซม์ *P. polymyxa* BTK01 แสดงค่าเฉลี่ยน้ำหนักแห้งรากมากที่สุดคือ 0.37 กรัม แตกต่างกับชุดทดลองอื่น ๆ อย่างมีนัยสำคัญสถิติ ( $P \geq 0.05$ ) ผลการทดลองแสดงให้เห็นว่าการรดด้วยเอนไซม์ *P. polymyxa* BTK01 ส่งผลให้ค่าเฉลี่ยน้ำหนักแห้งลำต้นและรากมากที่สุด โดย Lal *et al.* (2010) ได้อธิบายว่า *P. polymyxa* ช่วยเพิ่มการเจริญเติบโตของพืชโดยสามารถสังเคราะห์ฮอร์โมนพืชอย่างออกซินและและไซโตไคนินได้ จากงานวิจัยของ Algam *et al.* (2010) พบว่า *P. polymyxa* MB02-1007 ส่งผลให้มะเขือเทศมีความสูงต้น น้ำหนักสด และน้ำหนักแห้งเพิ่มขึ้น 56, 91 และ 86 เปอร์เซ็นต์เมื่อเทียบกับชุดควบคุม

ตารางที่ 4.3 ค่าเฉลี่ยน้ำหนักแห้งลำต้นและรากของผักสลัดกรีนโอ๊ค (การทดลองที่ 1)

| ชุดทดลอง                              | น้ำหนักแห้ง (กรัม) |                   |
|---------------------------------------|--------------------|-------------------|
|                                       | ลำต้น              | ราก               |
| น้ำกลั่น (T1)                         | 0.52 <sup>a</sup>  | 0.09 <sup>b</sup> |
| เอนไซม์ <i>P. polymyxa</i> BTK01 (T2) | 0.81 <sup>a</sup>  | 0.37 <sup>a</sup> |
| เอนไซม์ <i>B. subtilis</i> BTK07 (T3) | 0.66 <sup>a</sup>  | 0.08 <sup>b</sup> |
| น้ำหมัก <i>P. polymyxa</i> BTK01 (T4) | 0.79 <sup>a</sup>  | 0.14 <sup>b</sup> |
| น้ำหมัก <i>B. subtilis</i> BTK07 (T5) | 0.76 <sup>a</sup>  | 0.18 <sup>b</sup> |
| F-test                                | ns                 | *                 |
| C.V.%                                 | 44.65              | 35.09             |

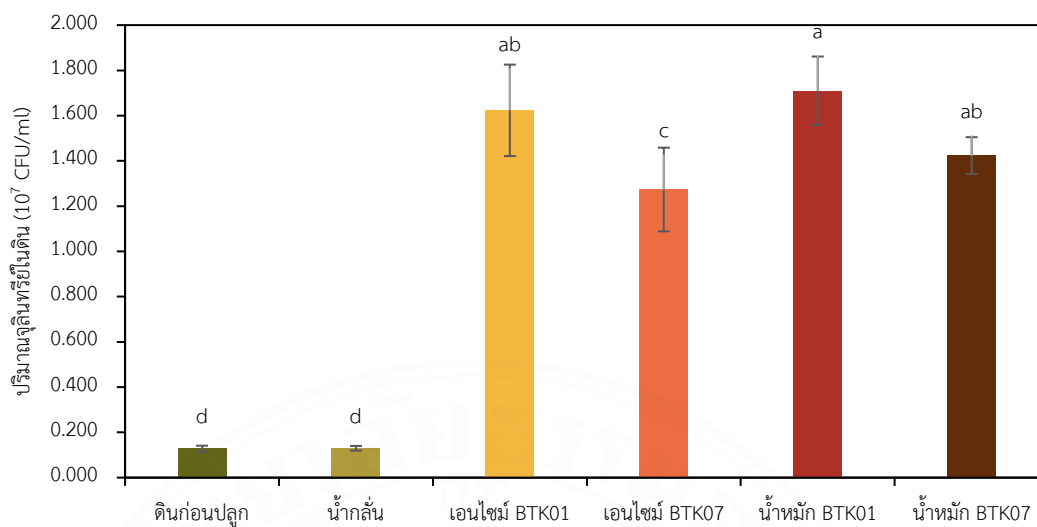
ns หมายถึง ไม่แตกต่างกันทางสถิติ, \* หมายถึง แตกต่างกันทางสถิติในระดับ 0.05

ตัวอักษรที่กำกับในแต่ละคอลัมน์ แสดงความแตกต่างระหว่างค่าเฉลี่ยโดยใช้ DMRT



#### 4.3.1.7 ปริมาณจุลินทรีย์ในดิน

ผลการศึกษาระยะปลายเอนไซม์และน้ำหมักจาก *Bacillus subtilis* BTK07 และ *Paenibacillus polymyxa* BTK01 ต่อค่าเฉลี่ยปริมาณจุลินทรีย์ในดินปลูกผักสลัดกรีนโอ๊ค เมื่ออายุ 21 วันหลังปลูกที่ได้รับชุดทดลองที่แตกต่างกัน จากการวิเคราะห์ความแปรปรวน ปริมาณจุลินทรีย์ในดินพบว่ามีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $P \leq 0.05$ ) ดังแสดงในภาพที่ 4.18 จากการวิเคราะห์ค่าเฉลี่ยปริมาณจุลินทรีย์ในดินปลูกผักสลัดกรีนโอ๊ค พบว่าการรดด้วยน้ำหมัก *P. polymyxa* BTK01 แสดงค่าเฉลี่ยปริมาณจุลินทรีย์ในดินมากที่สุด  $1.710 \times 10^7$  CFU/ml ซึ่งแตกต่างกับชุดทดลองอื่น ๆ อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $P \leq 0.05$ ) ในขณะที่การรดด้วยเอนไซม์ *P. polymyxa* BTK01 น้ำหมัก *B. subtilis* BTK07 มีค่าเฉลี่ยปริมาณจุลินทรีย์ในดินคือ  $1.623 \times 10^7$  และ  $1.423 \times 10^7$  CFU/ml ตามลำดับ ผลศึกษาแสดงให้เห็นว่าน้ำหมักที่ผลิตได้จาก *B. subtilis* BTK07 และ *P. polymyxa* BTK01 ส่งผลให้ปริมาณจุลินทรีย์ในดินเพิ่มขึ้นเมื่อเปรียบเทียบกับดินก่อนการทดลองที่พบว่ามีปริมาณจุลินทรีย์ในดินคือ  $0.128 \times 10^7$  CFU/ml เนื่องจากน้ำหมัก *P. polymyxa* BTK01 มีกิจกรรมเอนไซม์แมนนาเนสและไซลานเนสที่มีค่าสูงใกล้เคียงกันอาจส่งผลให้เกิดการย่อยสลายอินทรีย์วัตถุในดินรวมถึงธาตุอาหารเช่น คาร์บอน ไนโตรเจน และฟอสฟอรัสนำไปสู่การเป็นแหล่งอาหารของจุลินทรีย์ประจำถิ่นที่อยู่ในดิน ส่งผลให้เป็นการเพิ่มปริมาณจำนวนจุลินทรีย์ในดิน (Zhao et al., 2020) เอนไซม์ในดินจึงมักเป็นตัวบ่งชี้สำคัญในระบบนิเวศที่อุดมสมบูรณ์ (Lessard et al., 2013) จากงานวิจัยของ Hidri et al. (2019) พบว่า *Paenibacillus* sp. สามารถเพิ่มกิจกรรมของเอนไซม์ในดิน เช่น dehydrogenase,  $\beta$ -glucosidase, urease และ alkaline phosphatase นอกจากนั้นหลายงานวิจัยพบว่า *Paenibacillus* sp. สามารถส่งเสริมการเจริญเติบโตของพืชหลากหลายชนิด เช่น *Stevia rebaudiana* (Vafadar et al., 2014) *Fragaria vesca* (Roger et al., 2013) ข้าวสาลี (Pérez-de-Luque et al., 2017) *Solanum lycopersicum* var. *cerasiforme* (Candido et al., 2013) เป็นต้น



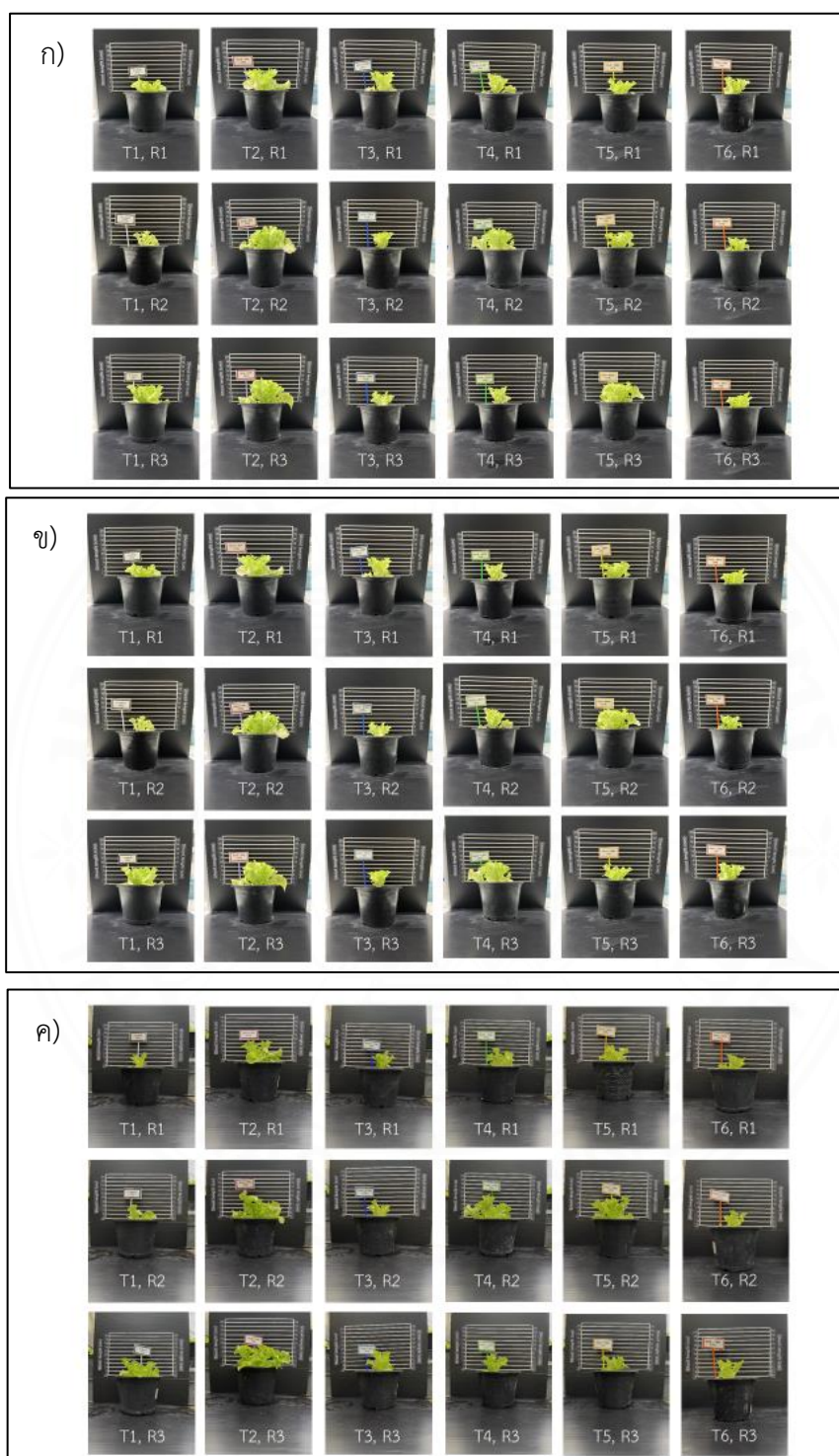
ภาพที่ 4.18 ค่าเฉลี่ยปริมาณจุลินทรีย์ในดินปลูกผักสลัดกรีนโอ๊คโดยดินก่อนปลูก (■) รดด้วยน้ำกลั่น (■) เอนไซม์ *Paenibacillus polymyxa* BTK01 (■) เอนไซม์ *Bacillus subtilis* BTK07 (■) น้ำหมัก *Paenibacillus polymyxa* BTK01 (■) และน้ำหมัก *Bacillus subtilis* BTK07 (■) บันทึกผล 21 วัน

#### 4.3.2 การทดลองที่ 2 ทดสอบประสิทธิภาพของเมล็ดที่ผ่านการแช่เมล็ดโดยทุกการทดลองรดด้วยน้ำกลั่น

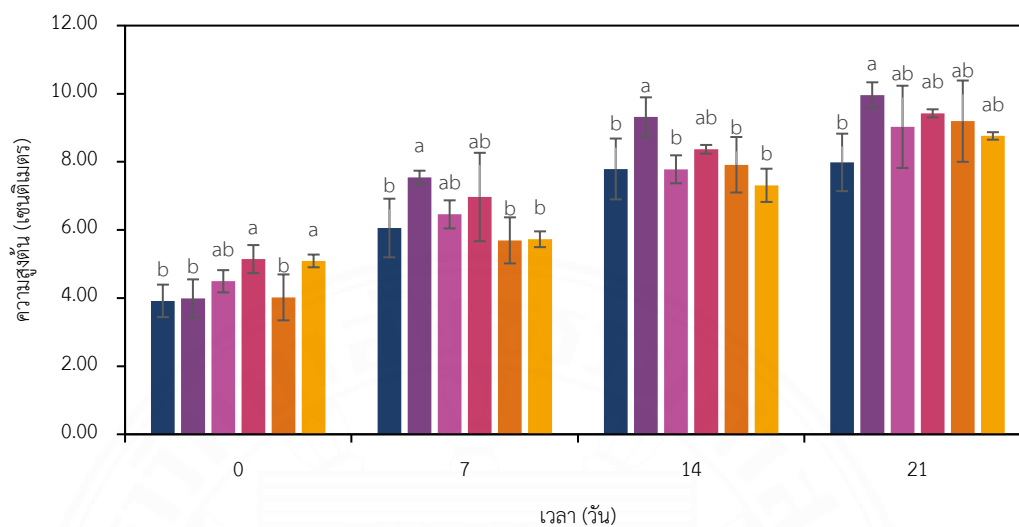
จากการศึกษาผลของการงอกของเมล็ดด้วยวิธีแช่เมล็ด (หัวข้อ 4.2) พบว่าในการเพาะเมล็ดในที่มืดสลักับที่สว่างส่งผลให้ เปอร์เซ็นต์การงอก ความเร็วในการงอก และความยาวราก มีค่ามากกว่าการเพาะเมล็ดในสภาวะอื่น ๆ จึงทำการศึกษาเพิ่มเติมในการปลูกต้นอ่อนผักสลัดกรีนโอ๊คโดยแช่ในชุดทดลองที่แตกต่างกันคือ 1) น้ำกลั่น 2) เอนไซม์ *P. polymyxa* BTK01 3) เอนไซม์ *B. subtilis* BTK07 4) น้ำหมัก *P. polymyxa* BTK01 และ 5) น้ำหมัก *B. subtilis* BTK07 แล้วเพาะเมล็ดในที่มืดสลักับที่สว่าง บันทึกการเจริญเติบโตในถาดเพาะเมล็ด 21 วัน พบว่าผักสลัดกรีนโอ๊คมีความสูงต้น ความกว้างทรงพุ่ม จำนวนใบและความยาวรากสูงสุดเมื่อเทียบกับชุดควบคุมซึ่งเป็นเมล็ดไม่ผ่านการแช่เมล็ด ดังนั้นในการทดลองที่ 2 จึงศึกษาเมล็ดที่ผ่านกระบวนการแช่เมล็ดในชุดทดลองที่แตกต่างกันคือ 1) น้ำกลั่น 2) เอนไซม์ *P. polymyxa* BTK01 3) เอนไซม์ *B. subtilis* BTK07 4) น้ำหมัก *P. polymyxa* BTK01 และ 5) น้ำหมัก *B. subtilis* BTK07 แล้วเพาะเมล็ดในที่มืดสลักับที่สว่างจากนั้นย้ายปลูกในกระถางแล้วรดด้วยน้ำกลั่น โดยมีชุดควบคุมคือเมล็ดที่ไม่ผ่านกระบวนการแช่เมล็ด บันทึกผลการเจริญเติบโตของผักสลัดกรีนโอ๊ค ได้แก่ ความสูง ความกว้างทรงพุ่ม จำนวนใบ ความยาวราก น้ำหนักสด น้ำหนักแห้ง และปริมาณจุลินทรีย์ในดิน

##### 4.3.2.1 ความสูง

ผลการศึกษาการใช้เมล็ดที่ผ่านกระบวนการแช่เมล็ดในสารละลายเอนไซม์และน้ำหมักจาก *Bacillus subtilis* BTK07 และ *Paenibacillus polymyxa* BTK01 แล้วเพาะเมล็ดในที่มืดสลักับที่สว่างจากนั้นรดด้วยน้ำกลั่น ต่อค่าเฉลี่ยความสูงของผักสลัดกรีนโอ๊ค เมื่ออายุ 7, 14 และ 21 วันหลังปลูก จากการวิเคราะห์ความแปรปรวนความสูงของผักสลัดกรีนโอ๊ค พบว่ามีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $P \leq 0.05$ ) ดังแสดงในภาพที่ 4.19 และ 4.20 การบันทึกผลที่ 7 วัน พบว่าการแช่เมล็ดในน้ำกลั่น แสดงค่าเฉลี่ยความสูงมากที่สุดคือ 7.55 เซนติเมตร แตกต่างจากชุดทดลองอื่น ๆ อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $P \leq 0.05$ ) ดังแสดงในภาพที่ 4.19 ก การบันทึกผลที่ 14 วัน พบว่าการแช่เมล็ดในน้ำกลั่น แสดงค่าเฉลี่ยความสูงมากที่สุดคือ 9.32 เซนติเมตร แตกต่างจากชุดทดลองอื่น ๆ อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $P \leq 0.05$ ) ดังแสดงในภาพที่ 4.19 ข และการบันทึกผลที่ 21 วัน พบว่าการแช่เมล็ดในน้ำกลั่น แสดงค่าเฉลี่ยความสูงมากที่สุดคือ 9.96 เซนติเมตร แตกต่างจากชุดทดลองอื่น ๆ อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $P \leq 0.05$ ) ดังแสดงในภาพที่ 4.19 ค ผลการทดลองแสดงการแช่เมล็ดในน้ำกลั่นส่งผลให้ผักสลัดกรีนโอ๊คมีความสูงต้นมากที่สุด เมื่อเปรียบเทียบกับเมล็ดที่ไม่ผ่านกระบวนการแช่เมล็ด



ภาพที่ 4.19 ความสูงของผักสลัดกรีนโอ๊คเมื่อไม่แช่เมล็ด (T1) แช่เมล็ดในน้ำกลั่น (T2) เอนไซม์ *Paenibacillus polymyxa* BTK01 (T3) เอนไซม์ *Bacillus subtilis* BTK07 (T4) น้ำหมัก *Paenibacillus polymyxa* BTK01 (T5) และน้ำหมัก *Bacillus subtilis* BTK07 (T6) รดด้วยน้ำกลั่น บันทึกผล (ก) 7 วัน (ข) 14 วัน และ (ค) 21 วัน

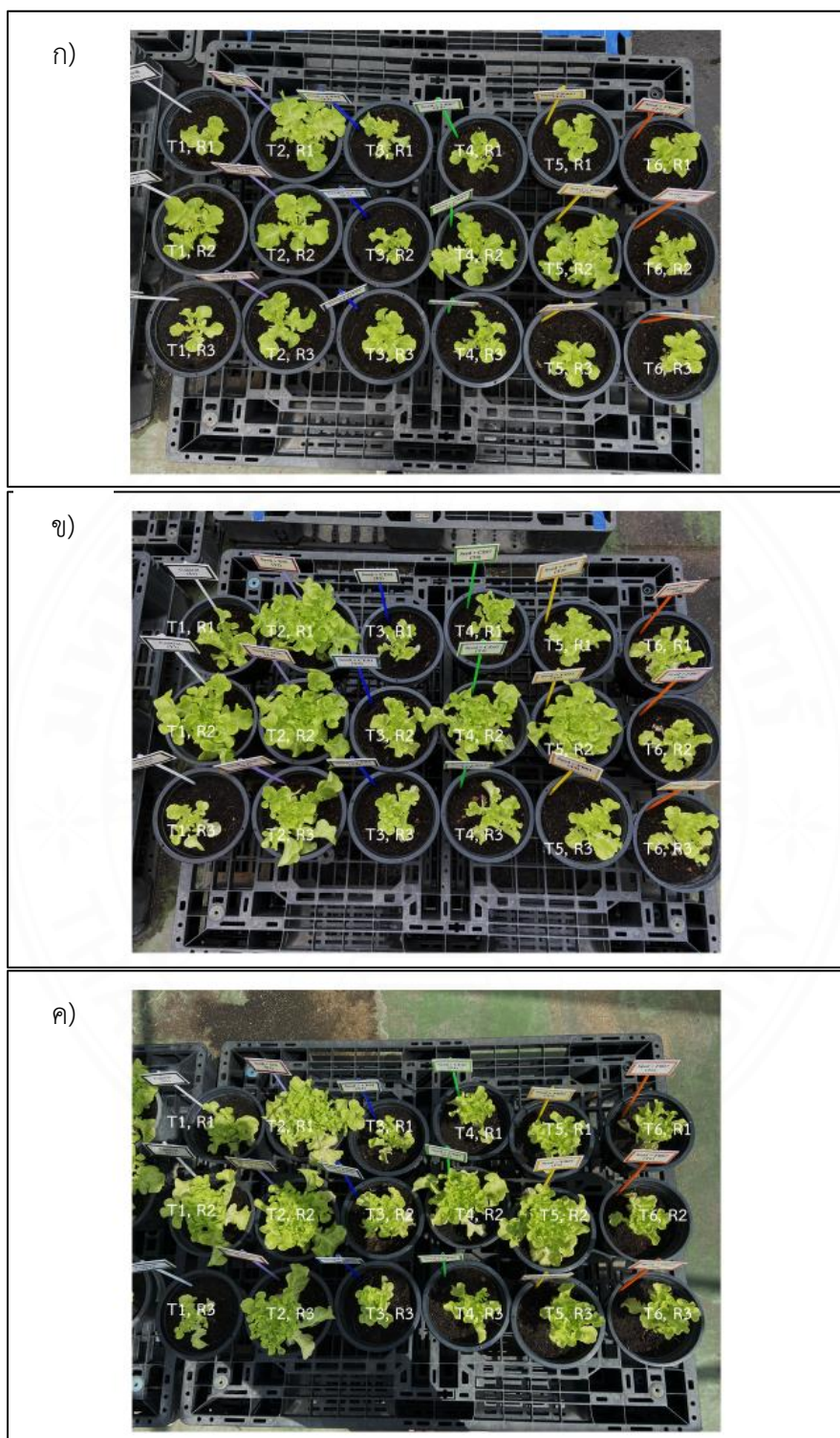


ภาพที่ 4.20 ค่าเฉลี่ยความสูงของผักสลัดกรีนโอ๊คเมื่อไม่แช่เมล็ด (■) แช่เมล็ดในน้ำกลั่น (■) เอนไซม์ *Paenibacillus polymyxa* BTK01 (■) เอนไซม์ *Bacillus subtilis* BTK07 (■) น้ำหมัก *Paenibacillus polymyxa* BTK01 (■) และน้ำหมัก *Bacillus subtilis* BTK07 (■) รดด้วยน้ำกลั่น บันทึกผล 0, 7, 14 และ 21 วัน

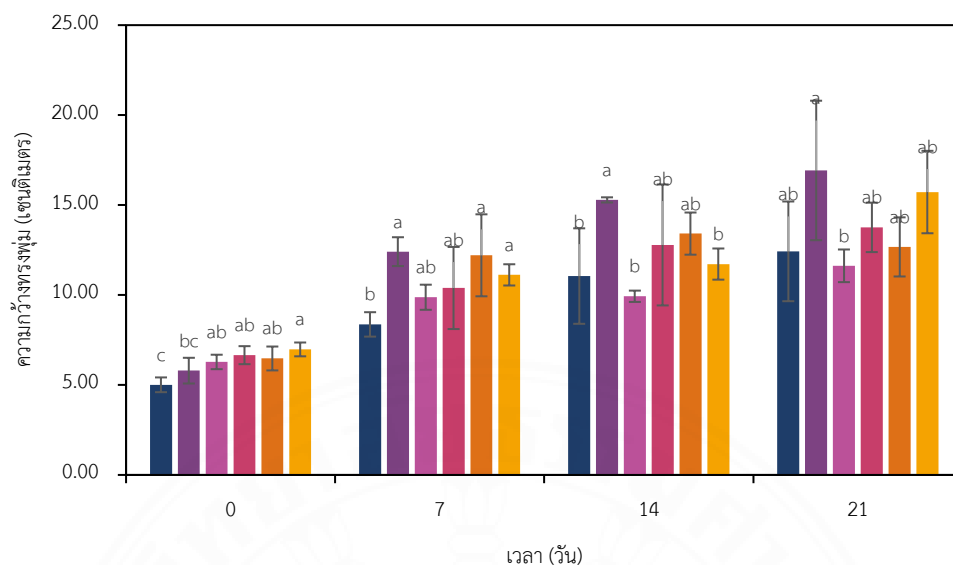
#### 4.3.2.2 ความกว้างทรงพุ่ม

ผลการศึกษาการใช้เมล็ดที่ผ่านกระบวนการแช่เมล็ดในสารละลายเอนไซม์และน้ำหมักจาก *Bacillus subtilis* BTK07 และ *Paenibacillus polymyxa* BTK01 แล้วเพาะเมล็ดในที่มีดสลับกับที่สว่างจากนั้นรดด้วยน้ำกลั่น ต่อค่าเฉลี่ยความกว้างทรงพุ่มของผักสลัดกรีนโอ๊ค เมื่ออายุ 7, 14 และ 21 วันหลังปลูก จากการวิเคราะห์ความแปรปรวนความกว้างทรงพุ่มของผักสลัดกรีนโอ๊ค พบว่ามีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $P \leq 0.05$ ) ดังแสดงในภาพที่ 4.21 และ 4.22 การบันทึกผลที่ 7 วัน พบว่าการแช่เมล็ดในน้ำกลั่น แสดงค่าเฉลี่ยความกว้างทรงพุ่มมากที่สุดคือ 12.41 เซนติเมตร ซึ่งไม่แตกต่างกับการแช่เมล็ดในน้ำหมัก *P. polymyxa* BTK01 และน้ำหมัก *B. subtilis* BTK07 ที่แสดงค่าเฉลี่ยความกว้างทรงพุ่มคือ 12.21 และ 11.12 เซนติเมตรตามลำดับ ดังแสดงในภาพที่ 4.21 ก การบันทึกผลที่ 14 วัน พบว่าการแช่เมล็ดในน้ำกลั่น แสดงค่าเฉลี่ยความกว้างทรงพุ่มมากที่สุดคือ 15.29 เซนติเมตร แตกต่างจากชุดทดลองอื่น ๆ อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $P \leq 0.05$ ) ดังแสดงในภาพที่ 4.21 ข และการบันทึกผลที่ 21 วัน พบว่าการแช่เมล็ดในน้ำกลั่น แสดงค่าเฉลี่ยความกว้างทรงพุ่มมากที่สุดคือ 16.92 เซนติเมตร ซึ่งไม่แตกต่างกับการแช่เมล็ดในเอนไซม์ *B. subtilis* BTK07 น้ำหมัก *P. polymyxa* BTK01 และน้ำหมัก *B. subtilis* BTK07 แสดงค่าเฉลี่ยความกว้างทรงพุ่มคือ 13.76, 12.67 และ 15.72 เซนติเมตร ตามลำดับ ดังแสดงในภาพที่ 4.21 ค ผลการทดลองแสดงการแช่เมล็ดในน้ำกลั่นส่งผลให้ผักสลัดกรีนโอ๊คมีความกว้างทรงพุ่มมากที่สุด เมื่อเปรียบเทียบกับเมล็ดที่ไม่ผ่านกระบวนการแช่เมล็ด





ภาพที่ 4.21 ความกว้างทรงพุ่มของผักสลัดกรีนโอ๊คเมื่อไม่แช่เมล็ด (T1) แช่เมล็ดในน้ำกลั่น (T2) เอนไซม์ *Paenibacillus polymyxa* BTK01 (T3) เอนไซม์ *Bacillus subtilis* BTK07 (T4) น้ำหมัก *Paenibacillus polymyxa* BTK01 (T5) และน้ำหมัก *Bacillus subtilis* BTK07 (T6) รดด้วยน้ำกลั่น บันทึกผล (ก) 7 วัน (ข) 14 วัน และ (ค) 21 วัน

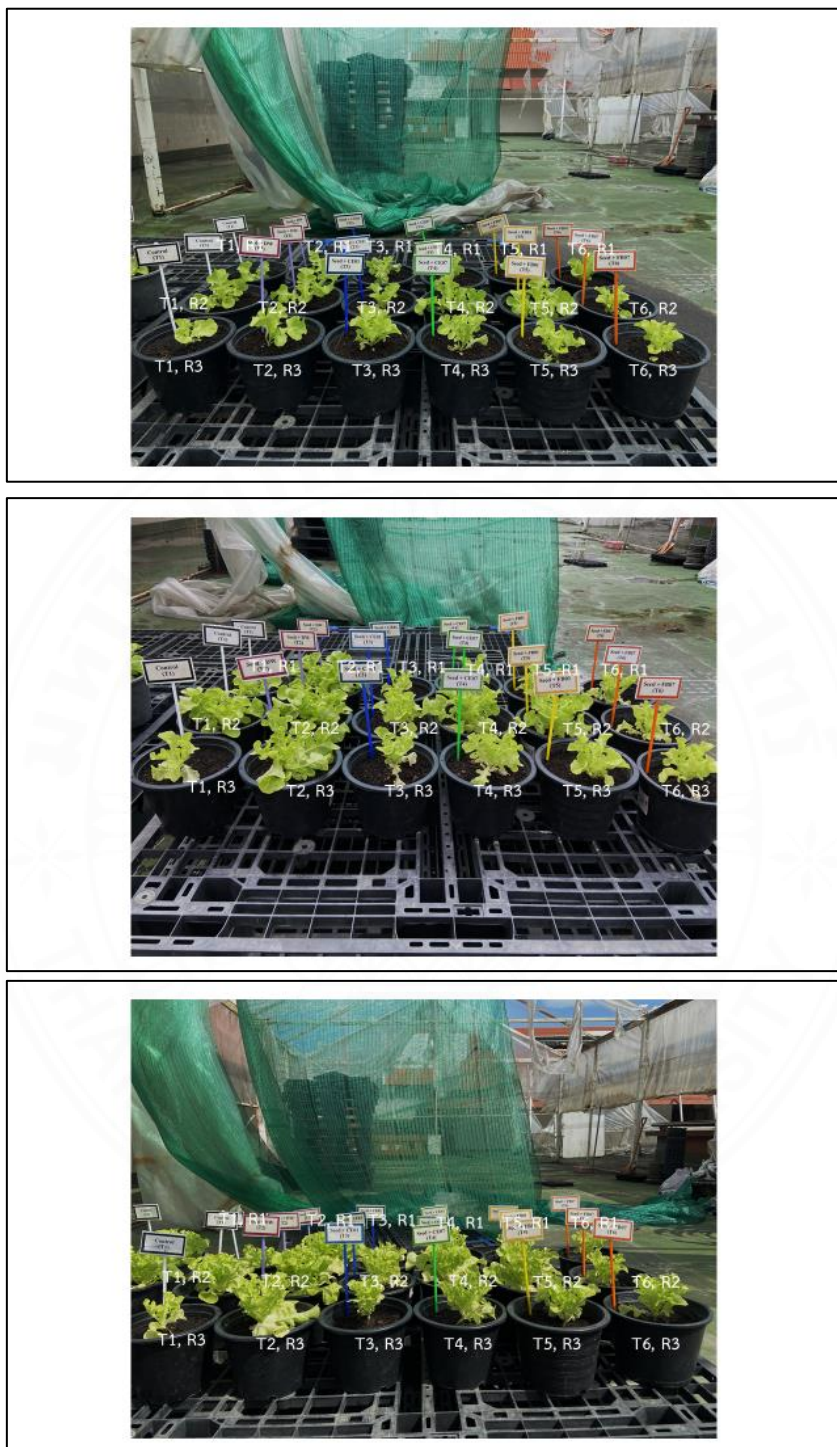


ภาพที่ 4.22 ค่าเฉลี่ยความกว้างทรงพุ่มของผักสลัดกรีนโอ๊คเมื่อไม่แช่เมล็ด (■) แช่เมล็ดในน้ำกลั่น (■) เอนไซม์ *Paenibacillus polymyxa* BTK01 (■) เอนไซม์ *Bacillus subtilis* BTK07 (■) น้ำหมัก *Paenibacillus polymyxa* BTK01 (■) และน้ำหมัก *Bacillus subtilis* BTK07 (■) รดด้วยน้ำกลั่น บันทึกผล 0, 7, 14 และ 21 วัน

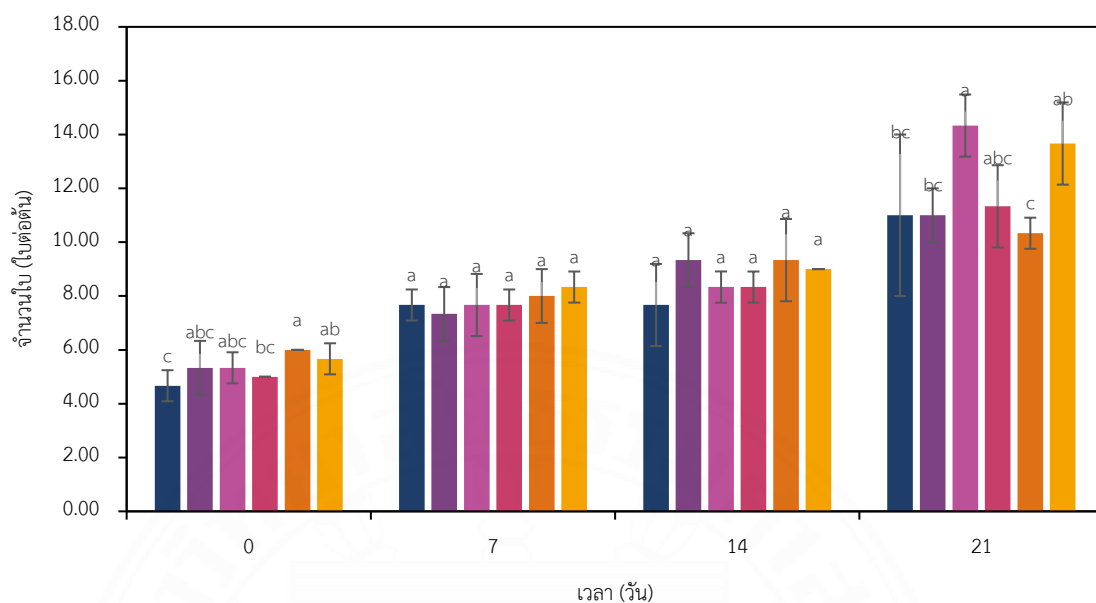


#### 4.3.2.3 จำนวนใบ

ผลการศึกษาการใช้เมล็ดที่ผ่านกระบวนการแช่เมล็ดในสารละลายเอนไซม์และน้ำหมักจาก *Bacillus subtilis* BTK07 และ *Paenibacillus polymyxa* BTK01 แล้วเพาะเมล็ดในที่มีดสลับกับที่สว่างจากนั้นรดด้วยน้ำกลั่น ต่อค่าเฉลี่ยจำนวนใบของผักสลัดกรีนโอ๊ค เมื่ออายุ 7, 14 และ 21 วันหลังปลูก จากการวิเคราะห์ความแปรปรวนจำนวนใบของผักสลัดกรีนโอ๊ค พบว่ามีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $P \leq 0.05$ ) ดังแสดงในภาพที่ 4.23 และ 4.24 การบันทึกผลที่ 7 วัน พบว่าการแช่เมล็ดในน้ำหมัก *B. subtilis* BTK07 แสดงค่าเฉลี่ยจำนวนใบมากที่สุดคือ 8.33 ใบ ซึ่งไม่แตกต่างกับการแช่เมล็ดในเอนไซม์ *P. polymyxa* BTK01 เอนไซม์ *B. subtilis* BTK07 และน้ำหมัก *P. polymyxa* BTK01 ที่แสดงค่าเฉลี่ยจำนวนใบคือ 7.67, 7.67 และ 8.00 ตามลำดับ ดังแสดงในภาพที่ 4.23 ก การบันทึกผลที่ 14 วัน พบว่าการแช่เมล็ดในน้ำกลั่นและน้ำหมัก *P. polymyxa* BTK01 แสดงค่าเฉลี่ยจำนวนใบมากที่สุดคือ 9.33 ใบ ซึ่งไม่แตกต่างกับการแช่เมล็ดในเอนไซม์ *P. polymyxa* BTK01 เอนไซม์ *B. subtilis* BTK07 และน้ำหมัก *B. subtilis* BTK07 ที่แสดงค่าเฉลี่ยจำนวนใบคือ 8.33, 8.33 และ 9.00 ใบ ตามลำดับ ดังแสดงในภาพที่ 4.23 ข และการบันทึกผลที่ 21 วัน พบว่าการแช่เมล็ดในเอนไซม์ *P. polymyxa* BTK01 แสดงค่าเฉลี่ยจำนวนใบสูงสุด 14.33 ใบ ซึ่งไม่แตกต่างกับการแช่เมล็ดในเอนไซม์ *B. subtilis* BTK07 และน้ำหมัก *B. subtilis* BTK07 ที่แสดงค่าเฉลี่ยจำนวนใบคือ 11.33 และ 13.67 ใบ ตามลำดับ ดังแสดงในภาพที่ 4.23 ค ผลการทดลองแสดงการแช่เมล็ดในเอนไซม์ *P. polymyxa* BTK01 ส่งผลให้ผักสลัดกรีนโอ๊คมีจำนวนใบมากที่สุด เมื่อเปรียบเทียบกับเมล็ดที่ไม่ผ่านกระบวนการแช่เมล็ด เนื่องจากการมีเอนไซม์ที่สามารถย่อยเยื่อหุ้มเมล็ดส่งผลให้เกิดการอ่อนตัวบริเวณย่อยหุ้มเมล็ดได้อย่างรวดเร็ว ซึ่งจะช่วยให้เมล็ดงอกได้ง่ายขึ้น นอกจากนี้ *P. polymyxa* สามารถผลิตสารควบคุมการเจริญเติบโตของพืชซึ่งเป็นโมเลกุลสัญญาณซึ่งมีบทบาททำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงทางสรีระในด้านต่าง ๆ เช่น การพัฒนาราก การพัฒนาใบ การพักตัวของเมล็ด และการออกดอก (Medici and Krouk, 2014)



ภาพที่ 4.23 จำนวนใบของผักสลัดกรีนโอ๊คเมื่อไม่แช่เมล็ด (T1) แช่เมล็ดในน้ำกลั่น (T2) เอนไซม์ *Paenibacillus polymyxa* BTK01 (T3) เอนไซม์ *Bacillus subtilis* BTK07 (T4) น้ำหมัก *Paenibacillus polymyxa* BTK01 (T5) และน้ำหมัก *Bacillus subtilis* BTK07 (T6) รดด้วยน้ำกลั่น บันทึกผล (ก) 7 วัน (ข) 14 วัน และ (ค) 21 วัน



ภาพที่ 4.24 ค่าเฉลี่ยจำนวนใบของผักสลัดกรีนโอ๊คเมื่อไม่แช่เมล็ด (■) แช่เมล็ดในน้ำกลั่น (■) เอนไซม์ *Paenibacillus polymyxa* BTK01 (■) เอนไซม์ *Bacillus subtilis* BTK07 (■) น้ำหมัก *Paenibacillus polymyxa* BTK01 (■) และน้ำหมัก *Bacillus subtilis* BTK07 (■) รดด้วยน้ำกลั่น บันทึกผล 0, 7, 14 และ 21 วัน

#### 4.3.2.4 ความยาวราก

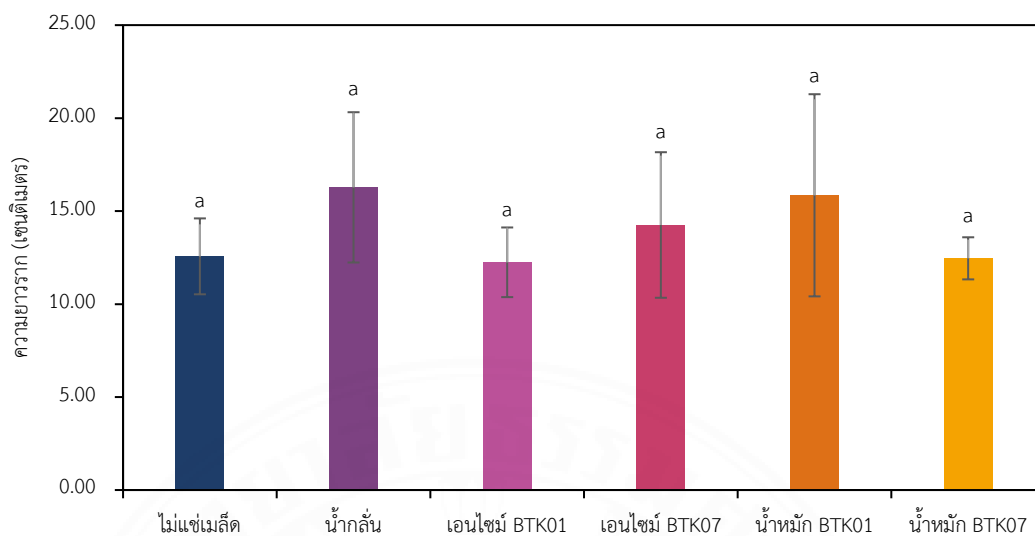
ผลการศึกษาการใช้เมล็ดที่ผ่านกระบวนการแช่เมล็ดในสารละลายเอนไซม์และน้ำหมักจาก *Bacillus subtilis* BTK07 และ *Paenibacillus polymyxa* BTK01 แล้วเพาะเมล็ดในที่มืดสลักับที่สว่างจากนั้นรดด้วยน้ำกลั่น ต่อค่าเฉลี่ยความยาวรากของผักสลัดกรีนโอ๊ค เมื่ออายุ 21 วันหลังปลูก จากการวิเคราะห์ความแปรปรวนความยาวรากของผักสลัดกรีนโอ๊ค พบว่าไม่มีความแตกต่างกัน ดังแสดงในภาพที่ 4.25 และ 4.26 การบันทึกผลที่ 21 วัน พบว่าการแช่เมล็ดในน้ำกลั่น แสดงค่าเฉลี่ยความยาวรากมากที่สุดคือ 16.28 เซนติเมตร ซึ่งไม่มีความแตกต่างกับการแช่เมล็ดในเอนไซม์ *P. polymyxa* BTK01 เอนไซม์ *B. subtilis* BTK07 น้ำหมัก *P. polymyxa* BTK01 และน้ำหมัก *B. subtilis* BTK07 ที่มีค่าเฉลี่ยความยาวรากคือ 12.25, 14.25, 15.85 และ 12.46 เซนติเมตร ตามลำดับ ดังแสดงในภาพที่ 4.25 ข ผลการทดลองแสดงให้เห็นว่าการแช่เมล็ดในน้ำกลั่นส่งผลให้ผักสลัดกรีนโอ๊คมีความยาวรากมากที่สุดเมื่อเปรียบเทียบกับเมล็ดที่ไม่ผ่านกระบวนการแช่เมล็ด





ภาพที่ 4.25 ความยาวรากของผักสลัดกรีนโอ๊คเมื่อไม่แช่เมล็ด (ก) แช่เมล็ดในน้ำกลั่น (ข) เอนไซม์ *Paenibacillus polymyxa* BTK01 (ค) เอนไซม์ *Bacillus subtilis* BTK07 (ง) น้ำหมัก *Paenibacillus polymyxa* BTK01 (จ) และน้ำหมัก *Bacillus subtilis* BTK07 (ฉ) รดด้วยน้ำกลั่น บันทึกผล 21 วัน





**ภาพที่ 4.26** ค่าเฉลี่ยความยวรากของผักสลัดกรีนโอ๊คเมื่อไม่แช่เมล็ด (■) แช่เมล็ดในน้ำกลั่น (■) เอนไซม์ *Paenibacillus polymyxa* BTK01 (■) เอนไซม์ *Bacillus subtilis* BTK07 (■) น้ำหมัก *Paenibacillus polymyxa* BTK01 (■) และน้ำหมัก *Bacillus subtilis* BTK07 (■) รดด้วยน้ำกลั่น บันทึกผล 21 วัน

#### 4.3.2.5 น้ำหนักสด

ผลการศึกษาการใช้เมล็ดที่ผ่านกระบวนการแช่เมล็ดในสารละลายเอนไซม์และน้ำหมักจาก *Bacillus subtilis* BTK07 และ *Paenibacillus polymyxa* BTK01 แล้วเพาะเมล็ดในที่มีดสลับกับที่สว่างจากนั้นรดด้วยน้ำกลั่น ต่อค่าเฉลี่ยน้ำหนักสดลำต้นและรากของผักสลัดกรีนโอ๊ค เมื่ออายุ 21 วันหลังปลูก จากการวิเคราะห์ความแปรปรวนน้ำหนักสดลำต้นของผักสลัดกรีนโอ๊ค พบว่าแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $p < 0.05$ ) ในขณะที่น้ำหนักสดรากของผักสลัดกรีนโอ๊ค พบว่าไม่แตกต่างกันดังแสดงในตารางที่ 4.4 การบันทึกผลที่ 21 วัน พบว่าการแช่เมล็ดในน้ำกลั่น แสดงค่าเฉลี่ยน้ำหนักสดลำต้นสูงสุด 18.28 กรัม แตกต่างจากชุดการทดลองอื่น ๆ อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $p < 0.05$ ) และจากการวิเคราะห์ค่าเฉลี่ยน้ำหนักสดรากของผักสลัดกรีนโอ๊ค พบว่าการแช่เมล็ดในน้ำกลั่นแสดงค่าเฉลี่ยน้ำหนักสดรากสูงสุด 3.26 กรัมซึ่งไม่มีความแตกต่างกับการแช่เมล็ดในเอนไซม์ *P. polymyxa* BTK01 เอนไซม์ *B. subtilis* BTK07 น้ำหมัก *P. polymyxa* BTK01 และน้ำหมัก *B. subtilis* BTK07 ที่มีค่าเฉลี่ยน้ำหนักสดรากคือ 1.54, 1.89, 2.63 และ 1.53 กรัมตามลำดับ ผลการทดลองแสดงให้เห็นว่าการแช่เมล็ดในน้ำกลั่นส่งผลให้ผักสลัดกรีนโอ๊คมีน้ำหนักสดต้นและรากมากที่สุดเมื่อเปรียบเทียบกับเมล็ดที่ไม่ผ่านกระบวนการแช่เมล็ด ผลการทดลองสอดคล้องกับความสูง ความกว้างทรงพุ่ม และความยาวราก



ตารางที่ 4.4 ค่าเฉลี่ยน้ำหนักสดลำต้นและรากของผักสลัดกรีนโอ๊ค (การทดลองที่ 2)

| ชุดทดลอง                              | น้ำหนักสด (กรัม)    |                   |
|---------------------------------------|---------------------|-------------------|
|                                       | ลำต้น               | ราก               |
| ไม่แช่เมล็ด (T1)                      | 9.52 <sup>ab</sup>  | 1.54 <sup>a</sup> |
| น้ำกลั่น (T2)                         | 18.28 <sup>a</sup>  | 3.26 <sup>a</sup> |
| เอนไซม์ <i>P. polymyxa</i> BTK01 (T3) | 5.96 <sup>b</sup>   | 1.54 <sup>a</sup> |
| เอนไซม์ <i>B. subtilis</i> BTK07 (T4) | 8.24 <sup>ab</sup>  | 1.89 <sup>a</sup> |
| น้ำหมัก <i>P. polymyxa</i> BTK01 (T5) | 11.49 <sup>ab</sup> | 2.63 <sup>a</sup> |
| น้ำหมัก <i>B. subtilis</i> BTK07 (T6) | 6.71 <sup>b</sup>   | 1.53 <sup>a</sup> |
| F-test                                | *                   | ns                |
| C.V.%                                 | 48.29               | 57.41             |

ns หมายถึง ไม่แตกต่างกันทางสถิติ, \* หมายถึง แตกต่างกันทางสถิติในระดับ 0.05

ตัวอักษรที่กำกับในแต่ละคอลัมน์ แสดงความแตกต่างระหว่างค่าเฉลี่ยโดยใช้ DMRT

#### 4.3.2.6 น้ำหนักแห้ง

ผลการศึกษาการใช้เมล็ดที่ผ่านกระบวนการแช่เมล็ดในสารละลาย เอนไซม์และน้ำหมักจาก *Bacillus subtilis* BTK07 และ *Paenibacillus polymyxa* BTK01 แล้ว เพาะเมล็ดในที่มืดสลักับที่สว่างจากนั้นรดด้วยน้ำกลั่น ต่อค่าเฉลี่ยน้ำหนักแห้งลำต้นและรากของผักสลัดกรีนโอ๊ค เมื่ออายุ 21 วันหลังปลูก จากการวิเคราะห์ความแปรปรวนน้ำหนักแห้งลำต้น พบว่าแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $p < 0.05$ ) และน้ำหนักแห้งรากของผักสลัดกรีนโอ๊ค พบว่าไม่แตกต่างกันดังแสดงในตารางที่ 4.5 การบันทึกผลที่ 21 วัน พบว่าการแช่เมล็ดในน้ำกลั่น แสดงค่าเฉลี่ยน้ำหนักแห้งลำต้นสูงสุด 1.49 กรัม แตกต่างจากชุดการทดลองอื่น ๆ อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $p < 0.05$ ) และจากการวิเคราะห์ค่าเฉลี่ยน้ำหนักแห้งรากของผักสลัดกรีนโอ๊ค พบว่าการแช่เมล็ดในน้ำกลั่นแสดงค่าเฉลี่ยน้ำหนักสดรากสูงสุด 0.38 กรัมซึ่งไม่มีความแตกต่างกับการแช่เมล็ดในเอนไซม์ *P. polymyxa* BTK01 เอนไซม์ *B. subtilis* BTK07 น้ำหมัก *P. polymyxa* BTK01 และน้ำหมัก *B. subtilis* BTK07 ที่มีค่าเฉลี่ยน้ำหนักสดรากคือ 0.15, 0.21, 0.28 และ 0.15 กรัม ตามลำดับ ผลการทดลองแสดงให้เห็นว่าการแช่เมล็ดในน้ำกลั่นส่งผลให้ผักสลัดกรีนโอ๊คมีน้ำหนักแห้งต้นและรากมากที่สุดเมื่อเปรียบเทียบกับเมล็ดที่ไม่ผ่านกระบวนการแช่เมล็ด ผลการทดลองสอดคล้องกับความสูง ความกว้างทรงพุ่ม และความยาวราก

ตารางที่ 4.5 ค่าเฉลี่ยน้ำหนักแห้งลำต้นและรากของผักสลัดกรีนโอ๊ค (การทดลองที่ 2)

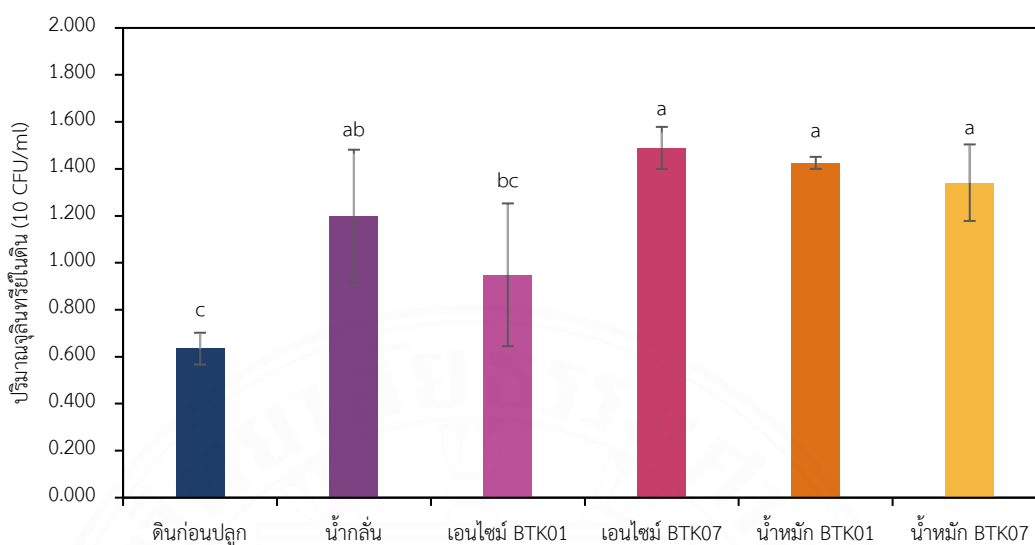
| ชุดทดลอง                              | น้ำหนักแห้ง (กรัม) |                   |
|---------------------------------------|--------------------|-------------------|
|                                       | ลำต้น              | ราก               |
| ไม่แช่เมล็ด (T1)                      | 0.71 <sup>ab</sup> | 0.16 <sup>a</sup> |
| น้ำกลั่น (T2)                         | 1.49 <sup>a</sup>  | 0.38 <sup>a</sup> |
| เอนไซม์ <i>P. polymyxa</i> BTK01 (T3) | 0.44 <sup>b</sup>  | 0.15 <sup>a</sup> |
| เอนไซม์ <i>B. subtilis</i> BTK07 (T4) | 0.76 <sup>ab</sup> | 0.21 <sup>a</sup> |
| น้ำหมัก <i>P. polymyxa</i> BTK01 (T5) | 0.83 <sup>ab</sup> | 0.28 <sup>a</sup> |
| น้ำหมัก <i>B. subtilis</i> BTK07 (T6) | 0.46 <sup>b</sup>  | 0.15 <sup>a</sup> |
| F-test                                | *                  | ns                |
| C.V.%                                 | 48.70              | 56.15             |

ns หมายถึง ไม่แตกต่างกันทางสถิติ, \* หมายถึง แตกต่างกันทางสถิติในระดับ 0.05

ตัวอักษรที่กำกับในแต่ละคอลัมน์ แสดงความแตกต่างระหว่างค่าเฉลี่ยโดยใช้ DMRT

#### 4.3.2.7 ปริมาณจุลินทรีย์ในดิน

ผลการศึกษาระยะปลายเอนไซม์และน้ำหมักจาก *Bacillus subtilis* BTK07 และ *Paenibacillus polymyxa* BTK01 แล้วเพาะเมล็ดในที่มีดสลับกับที่สว่างจากนั้นรดด้วยน้ำกลั่น ต่อค่าเฉลี่ยปริมาณจุลินทรีย์ในดินปลูกผักสลัดกรีนโอ๊ค เมื่ออายุ 21 วันหลังปลูก จากการวิเคราะห์ความแปรปรวนปริมาณจุลินทรีย์ในดินพบว่ามีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $P \leq 0.05$ ) ดังแสดงในภาพที่ 4.27 พบว่าการแช่เมล็ดในเอนไซม์ *B. subtilis* BTK07 แสดงค่าเฉลี่ยปริมาณจุลินทรีย์ในดินมากที่สุด  $1.489 \times 10^7$  CFU/ml ซึ่งไม่แตกต่างกับการแช่เมล็ดในน้ำหมัก *P. polymyxa* BTK01 น้ำหมัก *B. subtilis* BTK07 มีค่าเฉลี่ยปริมาณจุลินทรีย์ในดินคือ  $1.426 \times 10^7$  และ  $1.341 \times 10^7$  CFU/ml ตามลำดับผลศึกษาแสดงให้เห็นว่าการแช่เมล็ดในเอนไซม์ *B. subtilis* BTK07 ส่งผลให้ปริมาณจุลินทรีย์ในดินเพิ่มขึ้นเมื่อเปรียบเทียบกับดินก่อนการทดลองที่พบว่ามีปริมาณจุลินทรีย์ในดินคือ  $0.634 \times 10^7$  CFU/ml โดยเมล็ดที่ผ่านกระบวนการแช่เมล็ดจึงสามารถกระบวนการส่งเสริมการงอกที่ดีเมื่อเทียบกับเมล็ดที่ไม่ได้ผ่านกระบวนการดังกล่าว รวมถึงปริมาณจุลินทรีย์ในดินที่เพิ่มขึ้นด้วย นอกจากนั้นผลการทดลองยังแสดงให้เห็นว่าการไม่ใช้สารเคมีในการทำเกษตรส่งผลให้ดินมีจุลินทรีย์ที่ก่อให้เกิดความสมดุลในระบบนิเวศ ซึ่งนอกจากจะลดต้นทุนการผลิตลดความเสี่ยงต่าง ๆ แล้วผลผลิตที่ได้ยังมีความปลอดภัยต่อผู้บริโภค ตลอดจนเป็นแนวทางมุ่งสู่เกษตรอินทรีย์ที่เป็นทางเลือกสำคัญในการผลิตสินค้าเพื่อการเกษตรในอนาคต ดังนั้นการทดลองนี้จึงเป็นชุดควบคุมของการทดลองที่ 3 ที่ต้องการแสดงให้เห็นว่าเมล็ดที่ผ่านกระบวนการแช่ส่งผลต่อการเจริญเติบโตของผักสลัดกรีนโอ๊ค



ภาพที่ 4.27 ค่าเฉลี่ยปริมาณจุลินทรีย์ในดินปลูกผักสลัดกรีนโอ๊คในดินก่อนปลูก (■) แช่เมล็ดในน้ำกลั่น (■) เอนไซม์ *Paenibacillus polymyxa* BTK01 (■) เอนไซม์ *Bacillus subtilis* BTK07 (■) น้ำหมัก *Paenibacillus polymyxa* BTK01 (■) และน้ำหมัก *Bacillus subtilis* BTK07 (■) รดด้วยน้ำกลั่น บันทึกผล 21 วัน

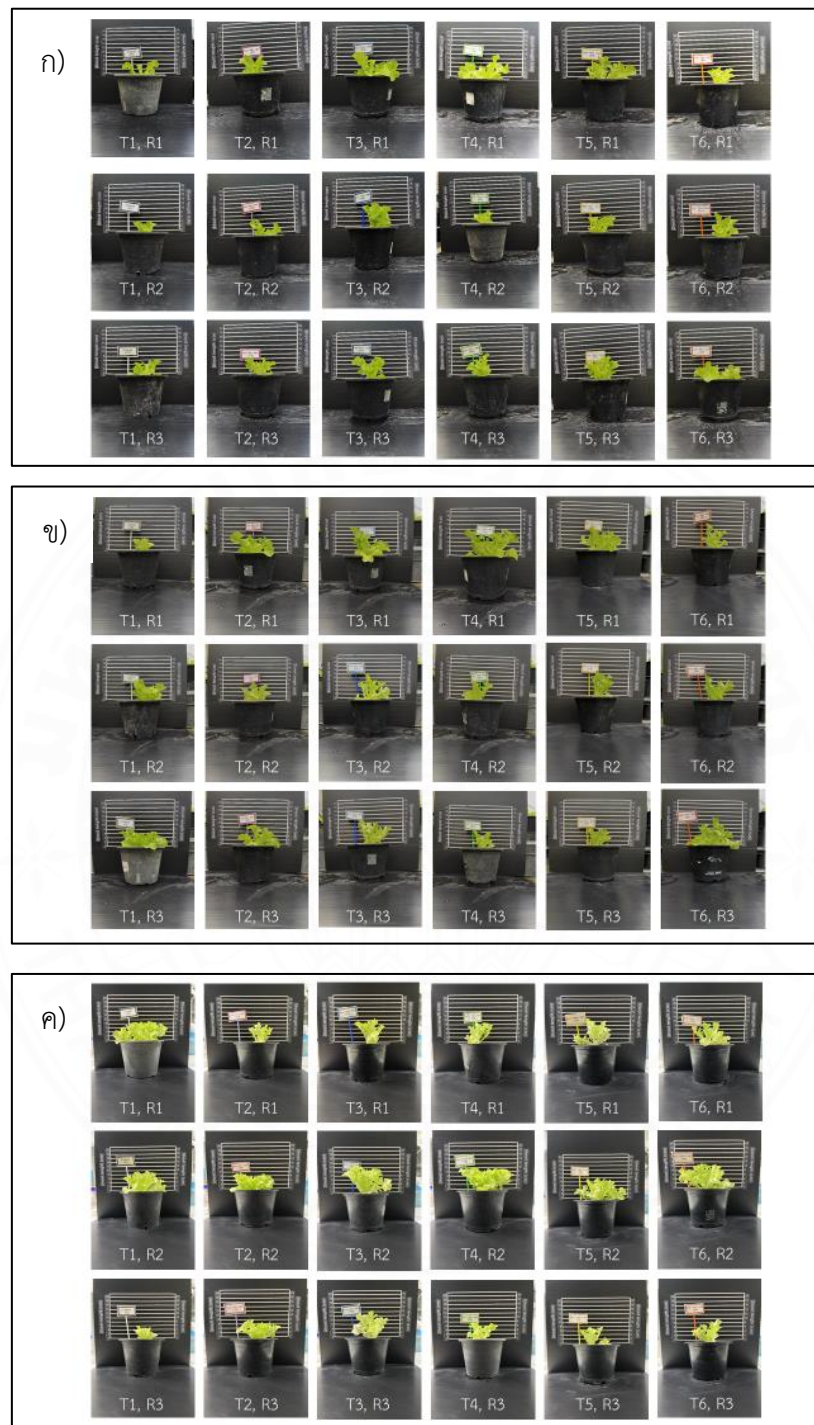
#### 4.3.3 การทดลองที่ 3 ทดสอบประสิทธิภาพของเมล็ดที่ผ่านการแช่เมล็ดโดยทุกการทดลองรดด้วยผลการทดลองตอนที่ 1

จากผลการทดลองที่ 1 ทดสอบประสิทธิภาพของเอนไซม์และน้ำหมักต่อการส่งเสริมการเจริญเติบโตของผักสลัดกรีนโอ๊ค พบว่าการรดด้วยน้ำหมัก *B. subtilis* BTK07 ส่งผลให้การเจริญเติบโตของผักสลัดกรีนโอ๊คดีกว่าชุดควบคุมทั้งในด้านความสูง จำนวนใบ และความกว้างทรงพุ่ม และจากผลการทดลองที่ 2 ทดสอบประสิทธิภาพของเมล็ดที่ผ่านการแช่เมล็ดโดยทุกการทดลองรดด้วยน้ำกลั่น พบว่าการแช่เมล็ดในน้ำกลั่นส่งผลให้ผักสลัดกรีนโอ๊คมีความสูงต้น ความกว้างทรงพุ่ม ความยาวราก น้ำหนักสดต้นและราก และน้ำหนักแห้งต้นและรากมากที่สุด ในขณะที่การแช่เมล็ดในเอนไซม์ *P. polymyxa* BTK01 ส่งผลให้ผักสลัดกรีนโอ๊คมีจำนวนใบมากที่สุด เนื่องจากผักสลัดกรีนโอ๊คนิยมรับประทานใบ ดังนั้นการแช่เมล็ดในเอนไซม์ *P. polymyxa* BTK01 จึงถือเป็นทางเลือกหนึ่งที่ควรพิจารณาเพื่อส่งเสริมจำนวนใบของผักสลัดกรีนโอ๊ค ดังนั้นในการทดลองที่ 3 จึงได้ศึกษาเมล็ดที่ผ่านกระบวนการแช่เมล็ดโดยทุกการทดลองรดด้วยน้ำหมัก *B. subtilis* BTK07 บันทึกผลการ

เจริญเติบโตของผักสลัดกรีนโอ๊ค ได้แก่ ความสูง ความกว้างทรงพุ่ม จำนวนใบ ความยาวราก น้ำหนักสด น้ำหนักแห้ง และปริมาณจุลินทรีย์ในดิน

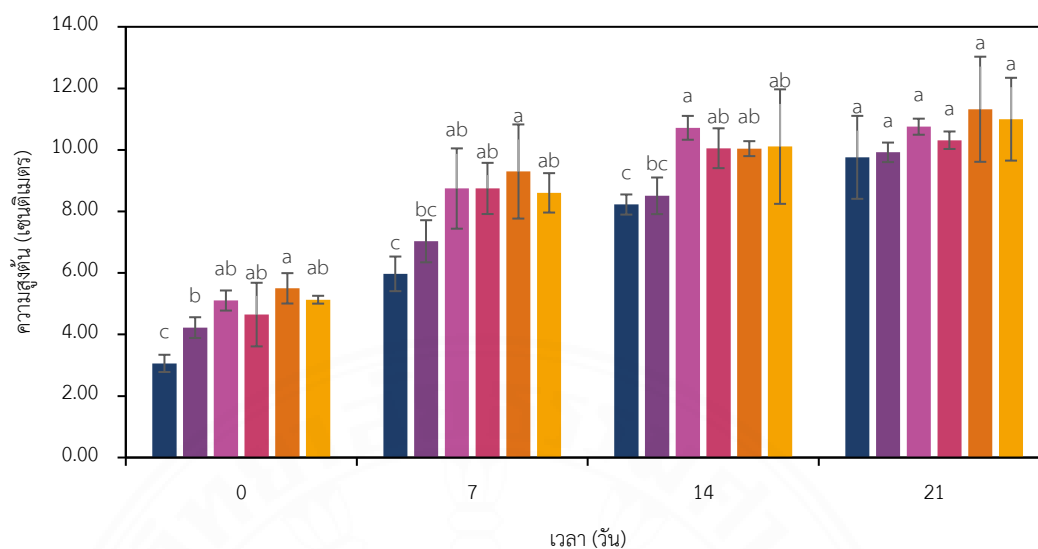
#### 4.3.3.1 ความสูง

ผลการศึกษาการใช้เมล็ดที่ผ่านกระบวนการแช่เมล็ดในสารละลายเอนไซม์และน้ำหมักจาก *Bacillus subtilis* BTK07 และ *Paenibacillus polymyxa* BTK01 แล้วเพาะเมล็ดในที่มืดสลัดกับที่สว่างจากนั้นรดด้วยน้ำหมัก *B. subtilis* BTK07 ต่อค่าเฉลี่ยความสูงของผักสลัดกรีนโอ๊ค เมื่ออายุ 7, 14 และ 21 วันหลังปลูก จากการวิเคราะห์ความแปรปรวนความสูงของผักสลัดกรีนโอ๊ค พบว่ามีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $P \leq 0.05$ ) ดังแสดงในภาพที่ 4.28 และ 4.29 การบันทึกผลที่ 7 วัน พบว่าการแช่เมล็ดในน้ำหมัก *B. subtilis* BTK07 แสดงค่าเฉลี่ยความสูงมากที่สุดคือ 9.30 เซนติเมตร แตกต่างจากชุดทดลองอื่น ๆ อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $P \leq 0.05$ ) ดังแสดงในภาพที่ 4.28 ก การบันทึกผลที่ 14 วัน พบว่าการแช่เมล็ดในเอนไซม์ *P. polymyxa* BTK01 แสดงค่าเฉลี่ยความสูงมากที่สุดคือ 10.72 เซนติเมตร แตกต่างจากชุดทดลองอื่น ๆ อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $P \leq 0.05$ ) ดังแสดงในภาพที่ 4.28 ข และการบันทึกผลที่ 21 วัน พบว่าการแช่เมล็ดในน้ำหมัก *P. polymyxa* BTK01 แสดงค่าเฉลี่ยความสูงมากที่สุดคือ 11.32 เซนติเมตร ซึ่งไม่แตกต่างกับการแช่เมล็ดในเอนไซม์ *P. polymyxa* BTK01 เอนไซม์ *B. subtilis* BTK07 และน้ำหมัก *B. subtilis* BTK07 ที่มีค่าเฉลี่ยความสูงต้นคือ 10.75, 10.31 และ 11.00 เซนติเมตร ตามลำดับ ดังแสดงในภาพที่ 4.28 ค ผลการทดลองแสดงให้เห็นว่าการแช่เมล็ดในน้ำหมัก *B. subtilis* BTK07 เอนไซม์ *P. polymyxa* BTK01 และน้ำหมัก *P. polymyxa* BTK01 ส่งผลให้ผักสลัดกรีนโอ๊คมีความสูงต้นมากที่สุด เมื่อเปรียบเทียบกับชุดทดลองที่ 2 พบว่าการรดด้วยน้ำหมัก *B. subtilis* BTK07 ส่งผลให้ความสูงต้นเพิ่มขึ้นจาก 9.96 เซนติเมตร เป็น 11.32 เซนติเมตร



ภาพที่ 4.28 ความสูงของผักสลัดกรีนโอ๊คเมื่อไม่แช่เมล็ด (T1) แช่เมล็ดในน้ำกลั่น (T2) เอนไซม์ *Paenibacillus polymyxa* BTK01 (T3) เอนไซม์ *Bacillus subtilis* BTK07 (T4) น้ำหมัก *Paenibacillus polymyxa* BTK01 (T5) และน้ำหมัก *Bacillus subtilis* BTK07 (T6) รดด้วยน้ำหมัก *Bacillus subtilis* BTK07 บันทึกผล (ก) 7 วัน (ข) 14 วัน และ (ค) 21 วัน

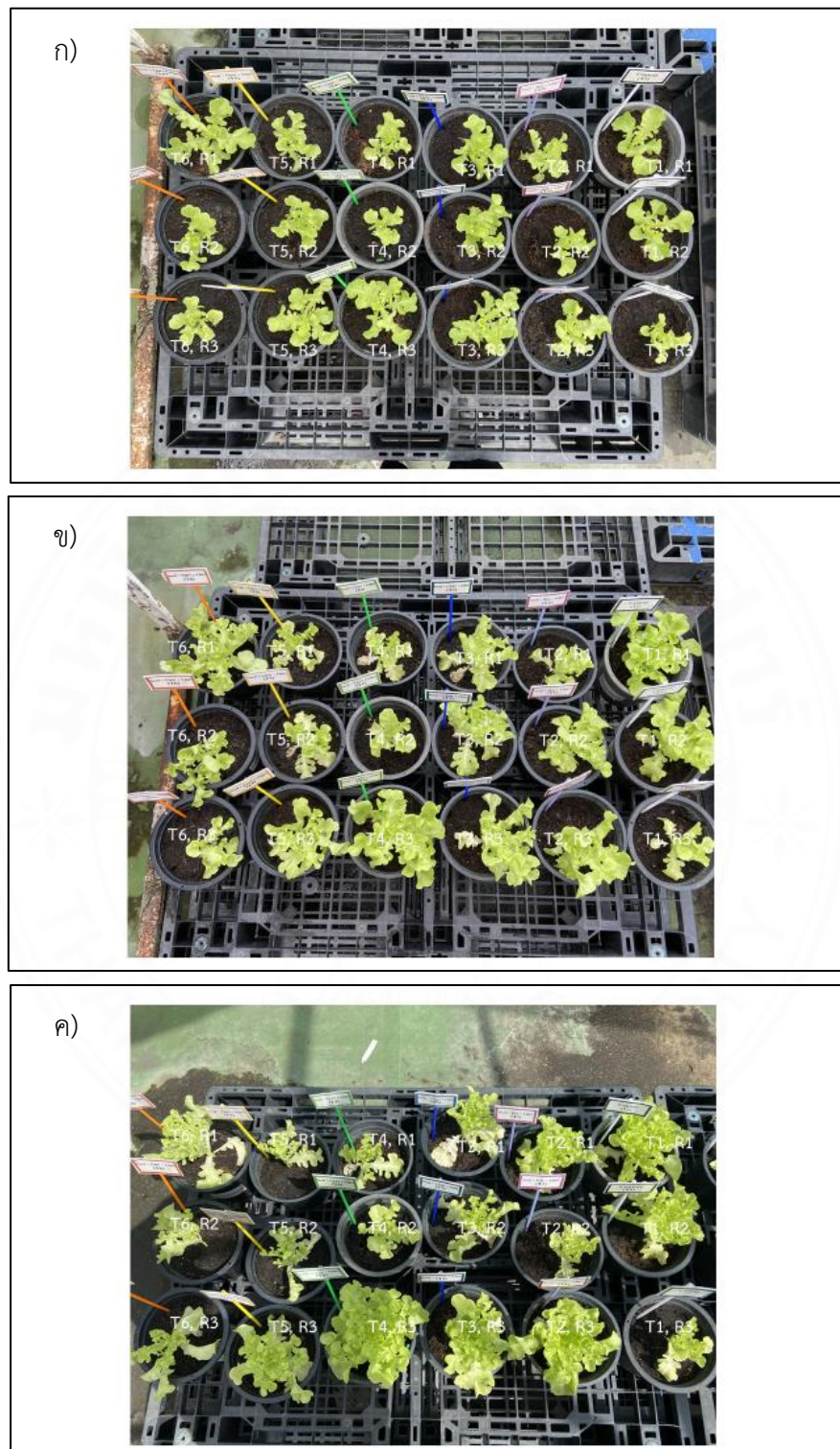




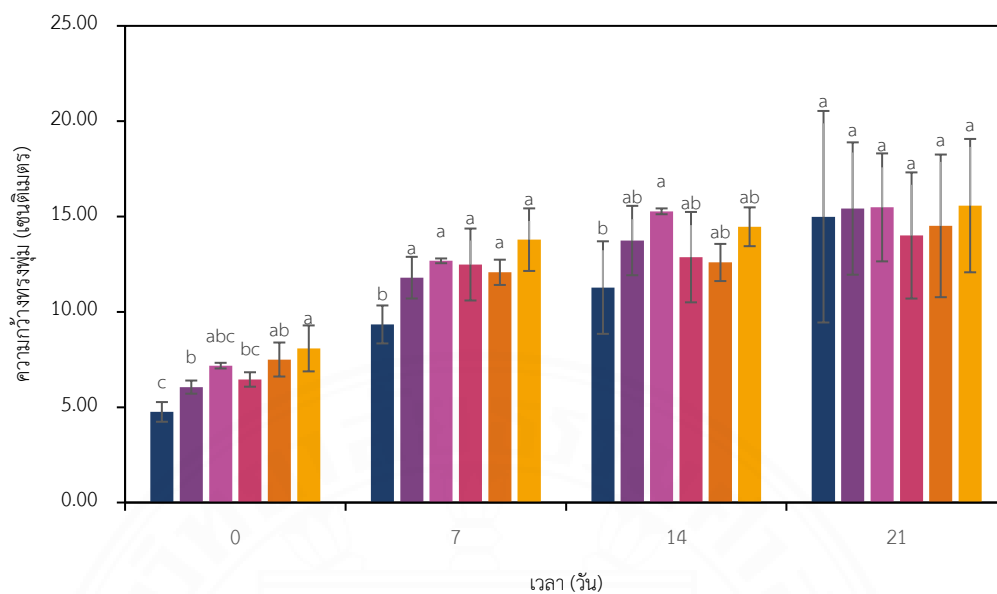
ภาพที่ 4.29 ค่าเฉลี่ยความสูงของผักสลัดกรีนโอ๊คเมื่อไม่แช่เมล็ด (■) แช่เมล็ดในน้ำกลั่น (■) เอนไซม์ *Paenibacillus polymyxa* BTK01 (■) เอนไซม์ *Bacillus subtilis* BTK07 (■) น้ำหมัก *Paenibacillus polymyxa* BTK01 (■) และน้ำหมัก *Bacillus subtilis* BTK07 (■) รดด้วยน้ำหมัก *Bacillus subtilis* BTK07 บันทึกผล 0, 7, 14 และ 21 วัน

#### 4.3.3.2 ความกว้างทรงพุ่ม

ผลการศึกษาการใช้เมล็ดที่ผ่านกระบวนการแช่เมล็ดในสารละลายเอนไซม์และน้ำหมักจาก *Bacillus subtilis* BTK07 และ *Paenibacillus polymyxa* BTK01 แล้วเพาะเมล็ดในที่มีดสลับกับที่สว่างจากนั้นรดด้วยน้ำหมัก *B. subtilis* BTK07 ต่อค่าเฉลี่ยความกว้างทรงพุ่มของผักสลัดกรีนโอ๊ค เมื่ออายุ 7, 14 และ 21 วันหลังปลูก จากการวิเคราะห์ความแปรปรวนความกว้างทรงพุ่มของผักสลัดกรีนโอ๊ค พบว่ามีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $P \leq 0.05$ ) ดังแสดงในภาพที่ 4.30 และ 4.31 การบันทึกผลที่ 7 วัน พบว่าการแช่เมล็ดในน้ำหมัก *B. subtilis* BTK07 แสดงค่าเฉลี่ยความกว้างทรงพุ่มมากที่สุดคือ 13.79 เซนติเมตร ซึ่งไม่แตกต่างกับการแช่เมล็ดในเอนไซม์ *P. polymyxa* BTK01 เอนไซม์ *B. subtilis* BTK07 และน้ำหมัก *P. polymyxa* BTK01 ที่มีค่าเฉลี่ยความกว้างทรงพุ่มคือ 4.28 คือ 12.68, 12.48 และ 12.07 เซนติเมตร ตามลำดับ ดังแสดงในภาพที่ 4.30 ก การบันทึกผลที่ 14 วัน พบว่าการแช่เมล็ดในเอนไซม์ *P. polymyxa* BTK01 แสดงค่าเฉลี่ยความกว้างทรงพุ่มมากที่สุดคือ 15.27 เซนติเมตร แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $P \leq 0.05$ ) ดังแสดงในภาพที่ 4.30 ข และการบันทึกผลที่ 21 วัน พบว่าการแช่เมล็ดในน้ำหมัก *B. subtilis* BTK07 แสดงค่าเฉลี่ยความกว้างทรงพุ่มมากที่สุดคือ 15.57 เซนติเมตร ซึ่งไม่แตกต่างกับการแช่เมล็ดในเอนไซม์ *P. polymyxa* BTK01 เอนไซม์ *B. subtilis* BTK07 และน้ำหมัก *P. polymyxa* BTK01 ที่มีค่าเฉลี่ยความกว้างทรงพุ่มคือ 15.48, 14.01 และ 14.51 เซนติเมตร ตามลำดับ ดังแสดงในภาพที่ 4.30 ค ผลการทดลองแสดงให้เห็นว่าการแช่เมล็ดในน้ำหมัก *B. subtilis* BTK07 ส่งผลให้ผักสลัดกรีนโอ๊คมีความกว้างทรงพุ่มสูงสุด เมื่อเปรียบเทียบกับเมล็ดที่ไม่ผ่านกระบวนการแช่เมล็ด นอกจากนั้นในการรดน้ำส่งผลให้ทุกการทดลองมีความกว้างทรงพุ่มที่ใกล้เคียงกัน จึงถือเป็นทางเลือกหนึ่ง值得พิจารณาเพื่อส่งเสริมการเจริญเติบโตของผักสลัดกรีนโอ๊คเมื่อเปรียบเทียบกับผลการทดลองที่ 2 พบว่าการรดด้วยน้ำหมัก *B. subtilis* BTK07 ส่งผลให้ความกว้างทรงพุ่มมีความสม่ำเสมอมากกว่าการรดด้วยน้ำกลั่น



ภาพที่ 4.30 ความกว้างทรงพุ่มของผักสลัดกรีนโอ๊คเมื่อไม่แช่เมล็ด (T1) แช่เมล็ดในน้ำกลั่น (T2) เอนไซม์ *Paenibacillus polymyxa* BTK01 (T3) เอนไซม์ *Bacillus subtilis* BTK07 (T4) น้ำหมัก *Paenibacillus polymyxa* BTK01 (T5) และน้ำหมัก *Bacillus subtilis* BTK07 (T6) รดด้วยน้ำหมัก *Bacillus subtilis* BTK07 บันทึกผล (ก) 7 วัน (ข) 14 วัน และ (ค) 21 วัน

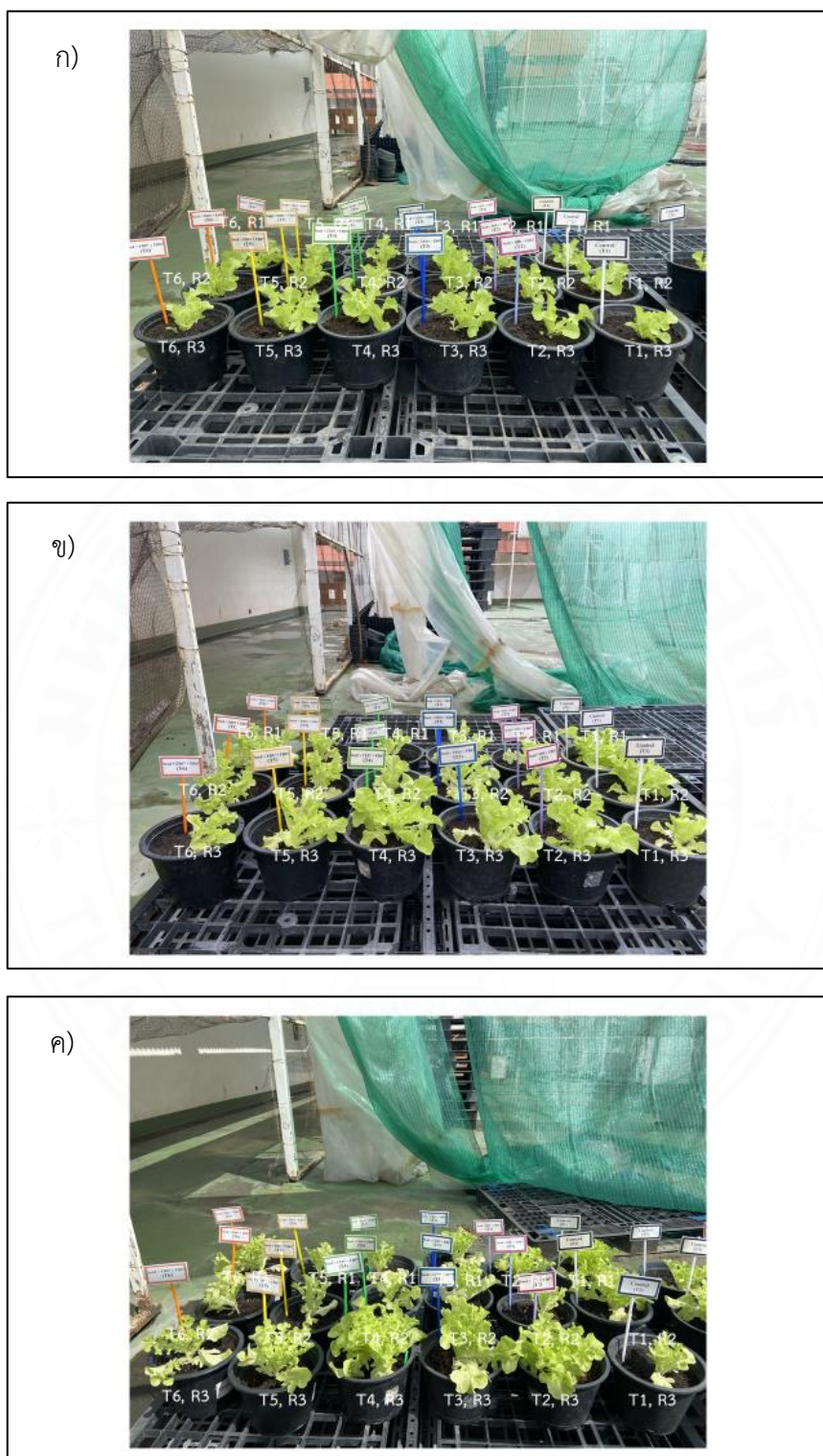


ภาพที่ 4.31 ค่าเฉลี่ยความกว้างทรงพุ่มของผักสลัดกรีนโอ๊คเมื่อไม่แช่เมล็ด (■) แช่เมล็ดในน้ำกลั่น (■) เอนไซม์ *Paenibacillus polymyxa* BTK01 (■) เอนไซม์ *Bacillus subtilis* BTK07 (■) น้ำหมัก *Paenibacillus polymyxa* BTK01 (■) และน้ำหมัก *Bacillus subtilis* BTK07 (■) รดด้วยน้ำหมัก *Bacillus subtilis* BTK07 บันทึกผล 0, 7, 14 และ 21 วัน

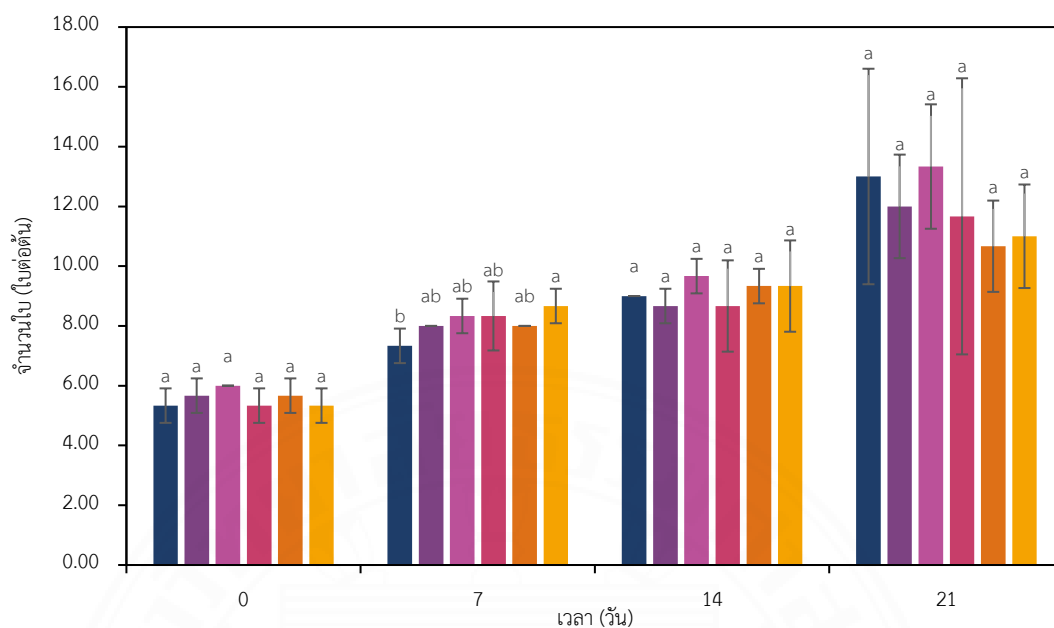
#### 4.3.3.3 จำนวนใบ

ผลการศึกษาการใช้เมล็ดที่ผ่านกระบวนการแช่เมล็ดในสารละลายเอนไซม์และน้ำหมักจาก *Bacillus subtilis* BTK07 และ *Paenibacillus polymyxa* BTK01 แล้วเพาะเมล็ดในที่มืดสลัดกับที่สว่างจากนั้นรดด้วยน้ำหมัก *B. subtilis* BTK07 ต่อค่าเฉลี่ยความจำนวนใบของผักสลัดกรีนโอ๊ค เมื่ออายุ 7, 14 และ 21 วันหลังปลูก จากการวิเคราะห์ความแปรปรวนจำนวนใบของผักสลัดกรีนโอ๊ค พบว่ามีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $P \leq 0.05$ ) ดังแสดงในภาพที่ 4.32 และ 4.33 การบันทึกผลที่ 7 วัน พบว่าการแช่เมล็ดในน้ำหมัก *B. subtilis* BTK07 แสดงค่าเฉลี่ยจำนวนใบมากที่สุดคือ 8.67 ใบ แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $P \leq 0.05$ ) ดังแสดงในภาพที่ 4.32 ก การบันทึกผลที่ 14 วัน พบว่าการแช่เมล็ดในเอนไซม์ *P. polymyxa* BTK01 แสดงค่าเฉลี่ยจำนวนใบสูงสุด 9.67 ใบ ซึ่งไม่แตกต่างกับการแช่เมล็ดในเอนไซม์ *B. subtilis* BTK07 น้ำหมัก *P. polymyxa* BTK01 และน้ำหมัก *B. subtilis* BTK07 ที่มีค่าเฉลี่ยจำนวนใบคือ 8.67, 9.33 และ 9.33 ใบ ตามลำดับ ดังแสดงในภาพที่ 4.32 ข และการบันทึกผลที่ 21 วัน พบว่าการแช่เมล็ดในเอนไซม์ *P. polymyxa* BTK01 แสดงค่าเฉลี่ยจำนวนใบมากที่สุดคือ 13.33 ใบ ซึ่งไม่แตกต่างกับการแช่เมล็ดในเอนไซม์ *B. subtilis* BTK07 น้ำหมัก *P. polymyxa* BTK01 และน้ำหมัก *B. subtilis* BTK07 ที่มีค่าเฉลี่ยจำนวนใบคือ 11.67, 10.67 และ 11.00 ใบ ตามลำดับ ดังแสดงในภาพที่ 4.32 ผลการทดลองแสดงให้เห็นว่าการแช่เมล็ดในเอนไซม์ *P. polymyxa* BTK01 ส่งผลให้ผักสลัดกรีนโอ๊คมีจำนวนใบสูงสุดเมื่อเปรียบเทียบกับเมล็ดที่ไม่ผ่านกระบวนการแช่เมล็ด สอดคล้องกับผลการทดลองตอนที่ 2 จากงานวิจัยของ Kanjanamaneesathian and Meetum (2018) พบว่า *Paenibacillus* sp. สามารถผลิต Indole-3-acetic acid (IAA) เพื่อส่งเสริมการเจริญเติบโตของผักกาดหอมในด้านจำนวนใบ และความกว้างทรงพุ่ม ส่งผลให้ผักสลัดกรีนโอ๊คมีจำนวนใบมากเนื่องจากผักสลัดกรีนโอ๊คเป็นผักที่นิยมบริโภคใบ ดังนั้นการแช่เมล็ดในเอนไซม์ *P. polymyxa* BTK01 แล้วรดด้วยน้ำหมัก *B. subtilis* BTK07





ภาพที่ 4.32 จำนวนใบของผักสลัดกรีนโอ๊คเมื่อไม่แช่เมล็ด (T1) แช่เมล็ดในน้ำกลั่น (T2) เอนไซม์ *Paenibacillus polymyxa* BTK01 (T3) เอนไซม์ *Bacillus subtilis* BTK07 (T4) น้ำหมัก *Paenibacillus polymyxa* BTK01 (T5) และน้ำหมัก *Bacillus subtilis* BTK07 (T6) รดด้วยน้ำหมัก *Bacillus subtilis* BTK07 บันทึกผล (ก) 7 วัน (ข) 14 วัน และ (ค) 21 วัน



ภาพที่ 4.33 ค่าเฉลี่ยจำนวนใบของผักสลัดกรีนโอ๊คเมื่อไม่แช่เมล็ด (■) แช่เมล็ดในน้ำกลั่น (■) เอนไซม์ *Paenibacillus polymyxa* BTK01 (■) เอนไซม์ *Bacillus subtilis* BTK07 (■) น้ำหมัก *Paenibacillus polymyxa* BTK01 (■) และน้ำหมัก *Bacillus subtilis* BTK07 (■) รดด้วยน้ำหมัก *Bacillus subtilis* BTK07 บันทึกผล 0, 7, 14 และ 21 วัน

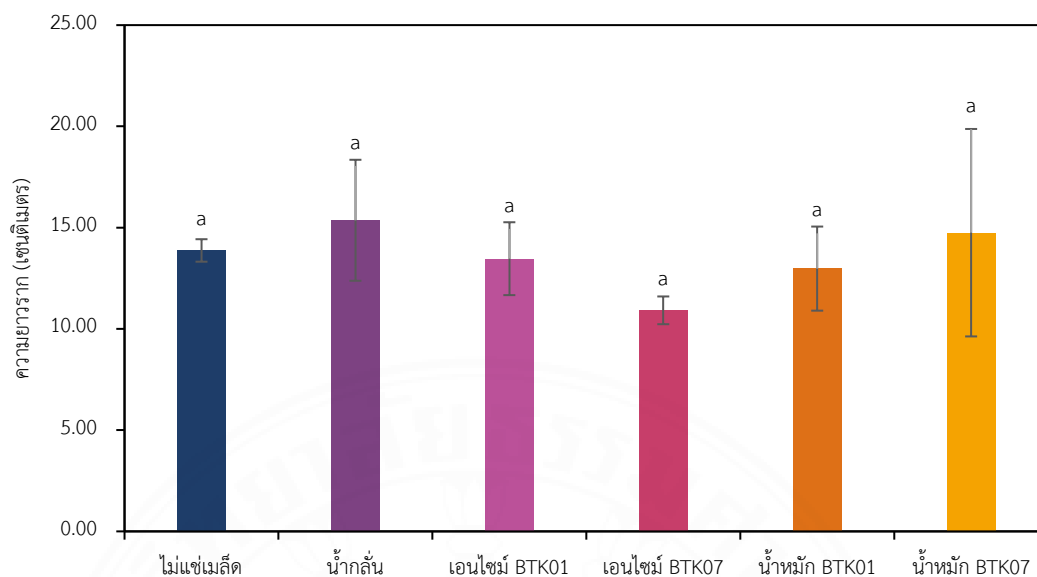


#### 4.3.3.4 ความยาวราก

ผลการศึกษาการใช้เมล็ดที่ผ่านกระบวนการแช่เมล็ดในสารละลายเอนไซม์และน้ำหมักจาก *Bacillus subtilis* BTK07 และ *Paenibacillus polymyxa* BTK01 แล้วเพาะเมล็ดในที่มืดสลัดกับที่สว่างจากนั้นรดด้วยน้ำหมัก *B. subtilis* BTK07 ต่อค่าเฉลี่ยความยาวรากของผักสลัดกรีนโอ๊ค เมื่ออายุ 21 วันหลังปลูก จากการวิเคราะห์ความแปรปรวนความยาวรากของผักสลัดกรีนโอ๊ค พบว่าไม่มีความแตกต่างกัน ดังแสดงในภาพที่ 4.35 และ 4.36 การบันทึกผลที่ 21 วัน พบว่าการแช่เมล็ดในน้ำกลั่น แสดงค่าเฉลี่ยความยาวรากมากที่สุดคือ 15.36 เซนติเมตร ซึ่งไม่มีความแตกต่างกับการแช่เมล็ดในเอนไซม์ *P. polymyxa* BTK01 เอนไซม์ *B. subtilis* BTK07 น้ำหมัก *P. polymyxa* BTK01 และน้ำหมัก *B. subtilis* BTK07 ที่มีค่าเฉลี่ยความยาวรากคือ 13.47, 10.92, 12.98 และ 14.75 เซนติเมตร ตามลำดับ ดังแสดงในภาพที่ 4.34 ข ผลการทดลองแสดงให้เห็นว่าการแช่เมล็ดในน้ำกลั่นส่งผลให้ผักสลัดกรีนโอ๊คมีความยาวรากสูงสุด สอดคล้องกับผลการทดลองตอนที่ 2 อีกทั้งยังสังเกตได้ว่าค่าเฉลี่ยความยาวรากใกล้เคียงกันทั้ง 2 การทดลอง



ภาพที่ 4.34 ค่าเฉลี่ยความยาวรากของผักสลัดกรีนโอ๊คเมื่อไม่แช่เมล็ด (ก) แช่เมล็ดในน้ำกลั่น (ข) เอนไซม์ *Paenibacillus polymyxa* BTK01 (ค) เอนไซม์ *Bacillus subtilis* BTK07 (ง) น้ำหมัก *Paenibacillus polymyxa* BTK01 (จ) และน้ำหมัก *Bacillus subtilis* BTK07 (ฉ) รดด้วยน้ำหมัก *Bacillus subtilis* BTK07 บันทึกผล (ก) 7 วัน (ข) 14 วัน และ (ค) 21 วัน



**ภาพที่ 4.35** ค่าเฉลี่ยความยวรากของผักสลัดกรีนโอ๊คเมื่อไม่แช่เมล็ด (■) แช่เมล็ดในน้ำกลั่น (■) เอนไซม์ *Paenibacillus polymyxa* BTK01 (■) เอนไซม์ *Bacillus subtilis* BTK07 (■) น้ำหมัก *Paenibacillus polymyxa* BTK01 (■) และน้ำหมัก *Bacillus subtilis* BTK07 (■) รดด้วยน้ำหมัก *Bacillus subtilis* BTK07 บันทึกผล 0, 7, 14 และ 21 วัน

#### 4.3.3.5 น้ำหนักสด

ผลการศึกษาการใช้เมล็ดที่ผ่านกระบวนการแช่เมล็ดในสารละลายเอนไซม์และน้ำหมักจาก *Bacillus subtilis* BTK07 และ *Paenibacillus polymyxa* BTK01 แล้วเพาะเมล็ดในที่มืดสลัดกับที่สว่างจากนั้นรดด้วยน้ำหมัก *B. subtilis* BTK07 ต่อค่าเฉลี่ยน้ำหนักสดลำต้นและน้ำหนักสดรากของผักสลัดกรีนโอ๊ค เมื่ออายุ 21 วันหลังปลูก จากการวิเคราะห์ความแปรปรวนค่าเฉลี่ยน้ำหนักสดลำต้นและน้ำหนักสดราก พบว่าไม่มีความแตกต่างกัน ดังแสดงในตารางที่ 4.6 การบันทึกผลที่ 21 วัน พบว่าการแช่เมล็ดในเอนไซม์ *P. polymyxa* BTK01 แสดงค่าเฉลี่ยน้ำหนักสดลำต้นสูงสุด 14.39 กรัม ซึ่งไม่มีความแตกต่างกับชุดทดลองอื่น ๆ และจากการวิเคราะห์ค่าเฉลี่ยน้ำหนักสดรากของผักสลัดกรีนโอ๊ค พบว่าการไม่แช่เมล็ด (ควบคุม) แสดงค่าเฉลี่ยน้ำหนักสดรากสูงสุด 2.71 กรัม ซึ่งไม่มีความแตกต่างกับชุดทดลองอื่น ๆ ผลการทดลองแสดงให้เห็นว่าการแช่เมล็ดในเอนไซม์ *P. polymyxa* BTK01 ส่งผลให้ผักสลัดกรีนโอ๊คมีน้ำหนักสดต้นสูงสุด เมื่อเปรียบเทียบกับเมล็ดที่ไม่ผ่านกระบวนการแช่เมล็ด นอกจากนั้นพบว่าน้ำหนักสดต้นและรากน้อยกว่าการทดลองที่ 2 ดังนั้นการรดด้วยน้ำหมัก *B. subtilis* BTK07 ไม่ได้มีผลต่อน้ำหนักสดลำต้นและราก

ตารางที่ 4.6 ค่าเฉลี่ยน้ำหนักสดลำต้นและรากของผักสลัดกรีนโอ๊ค (การทดลองที่ 3)

| ชุดทดลอง                              | น้ำหนักสด (กรัม)   |                   |
|---------------------------------------|--------------------|-------------------|
|                                       | ลำต้น              | ราก               |
| ไม่แช่เมล็ด (T1)                      | 10.94 <sup>a</sup> | 2.71 <sup>a</sup> |
| น้ำกลั่น (T2)                         | 9.97 <sup>a</sup>  | 2.40 <sup>a</sup> |
| เอนไซม์ <i>P. polymyxa</i> BTK01 (T3) | 14.39 <sup>a</sup> | 2.22 <sup>a</sup> |
| เอนไซม์ <i>B. subtilis</i> BTK07 (T4) | 12.79 <sup>a</sup> | 1.61 <sup>a</sup> |
| น้ำหมัก <i>P. polymyxa</i> BTK01 (T5) | 6.26 <sup>a</sup>  | 1.78 <sup>a</sup> |
| น้ำหมัก <i>B. subtilis</i> BTK07 (T6) | 8.41 <sup>a</sup>  | 2.11 <sup>a</sup> |
| F-test                                | ns                 | ns                |
| C.V.%                                 | 53.84              | 32.60             |

ns หมายถึง ไม่แตกต่างกันทางสถิติ, \* หมายถึง แตกต่างกันทางสถิติในระดับ 0.05

ตัวอักษรที่กำกับในแต่ละคอลัมน์ แสดงความแตกต่างระหว่างค่าเฉลี่ยโดยใช้ DMRT

#### 4.3.3.6 น้ำหนักแห้ง

ผลการศึกษาการใช้เมล็ดที่ผ่านกระบวนการแช่เมล็ดในสารละลายเอนไซม์และน้ำหมักจาก *Bacillus subtilis* BTK07 และ *Paenibacillus polymyxa* BTK01 แล้วเพาะเมล็ดในที่มืดสลักับที่สว่างจากนั้นรดด้วยน้ำหมัก *B. subtilis* BTK07 ต่อค่าเฉลี่ยน้ำหนักแห้งลำต้นและน้ำหนักแห้งรากของผักสลัดกรีนโอ๊ค เมื่ออายุ 21 วันหลังปลูก จากการวิเคราะห์ความแปรปรวนค่าเฉลี่ยน้ำหนักแห้งลำต้นและน้ำหนักสดราก พบว่าไม่มีความแตกต่างกัน ดังแสดงในตารางที่ 4.7 การบันทึกผลที่ 21 วัน พบว่าการแช่เมล็ดในเอนไซม์ *P. polymyxa* BTK01 แสดงค่าเฉลี่ยน้ำหนักแห้งลำต้นสูงสุด 0.29 กรัม ซึ่งไม่มีความแตกต่างกับชุดทดลองอื่น ๆ และจากการวิเคราะห์ค่าเฉลี่ยน้ำหนักแห้งรากของผักสลัดกรีนโอ๊ค พบว่าการแช่เมล็ดในเอนไซม์ *P. polymyxa* BTK01 แสดงค่าเฉลี่ยน้ำหนักแห้งรากสูงสุด 1.19 กรัม ซึ่งไม่มีความแตกต่างกับชุดทดลองอื่น ๆ ผลการทดลองแสดงให้เห็นว่าการแช่เมล็ดในเอนไซม์ *P. polymyxa* BTK01 ส่งผลให้ผักสลัดกรีนโอ๊คมีน้ำหนักแห้งต้นและรากมากที่สุด เมื่อเปรียบเทียบกับเมล็ดที่ไม่ผ่านกระบวนการแช่เมล็ด และเมื่อเปรียบเทียบพบว่าน้ำหนักแห้งต้นน้อยกว่าการทดลองที่ 2 ในขณะที่น้ำหนักแห้งรากมากกว่าการทดลองที่ 2 ดังนั้นการรดด้วยน้ำหมัก *B. subtilis* BTK07 ไม่ได้มีผลต่อน้ำหนักแห้งลำต้น

ตารางที่ 4.7 ค่าเฉลี่ยน้ำหนักแห้งลำต้นและรากของผักสลัดกรีนโอ๊ค (การทดลองที่ 3)

| ชุดทดลอง                              | น้ำหนักแห้ง (กรัม) |                   |
|---------------------------------------|--------------------|-------------------|
|                                       | ลำต้น              | ราก               |
| ไม่แช่เมล็ด (T1)                      | 0.25 <sup>a</sup>  | 0.96 <sup>a</sup> |
| น้ำกลั่น (T2)                         | 0.22 <sup>a</sup>  | 0.75 <sup>a</sup> |
| เอนไซม์ <i>P. polymyxa</i> BTK01 (T3) | 0.29 <sup>a</sup>  | 1.19 <sup>a</sup> |
| เอนไซม์ <i>B. subtilis</i> BTK07 (T4) | 0.14 <sup>a</sup>  | 0.75 <sup>a</sup> |
| น้ำหมัก <i>P. polymyxa</i> BTK01 (T5) | 0.15 <sup>a</sup>  | 0.58 <sup>a</sup> |
| น้ำหมัก <i>B. subtilis</i> BTK07 (T6) | 0.18 <sup>a</sup>  | 0.88 <sup>a</sup> |
| F-test                                | ns                 | ns                |
| C.V.%                                 | 32.07              | 44.06             |

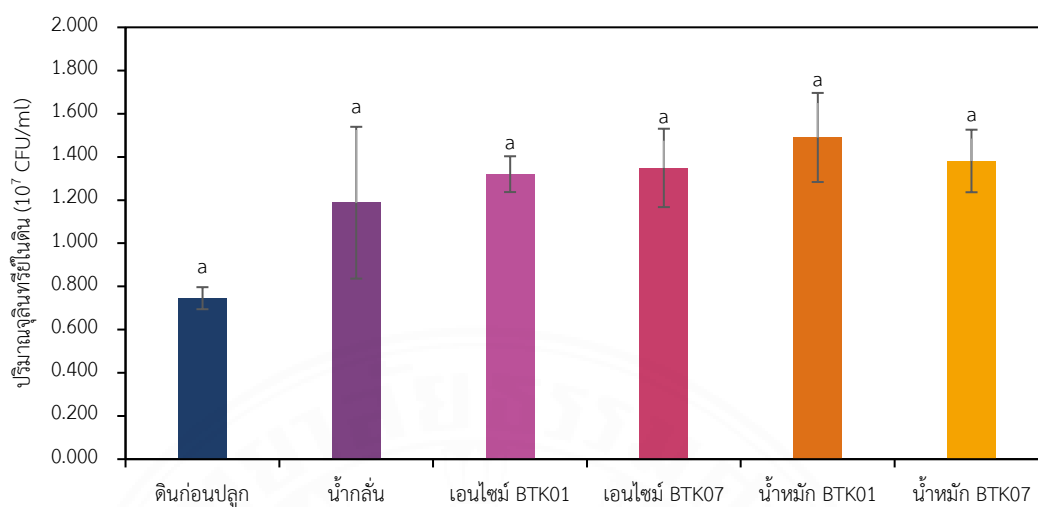
ns หมายถึง ไม่แตกต่างกันทางสถิติ, \* หมายถึง แตกต่างกันทางสถิติในระดับ 0.05

ตัวอักษรที่กำกับในแต่ละคอลัมน์ แสดงความแตกต่างระหว่างค่าเฉลี่ยโดยใช้ DMRT



#### 4.3.3.7 ปริมาณจุลินทรีย์ในดิน

ผลการศึกษาการใช้เมล็ดที่ผ่านกระบวนการแช่เมล็ดในสารละลายเอนไซม์และน้ำหมักจาก *Bacillus subtilis* BTK07 และ *Paenibacillus polymyxa* BTK01 แล้วเพาะเมล็ดในที่มืดสลัดกับที่สว่างจากนั้นรดด้วยน้ำหมัก *B. subtilis* BTK07 ต่อค่าเฉลี่ยปริมาณจุลินทรีย์ในดินปลูกผักสลัดกรีนโอ๊ค เมื่ออายุ 21 วันหลังปลูก จากการวิเคราะห์ความแปรปรวน ปริมาณจุลินทรีย์ในดินพบว่า ไม่มีความแตกต่างกัน ดังแสดงในตารางที่ 4.36 พบว่าการแช่เมล็ดในน้ำหมัก *B. subtilis* BTK07 แสดงค่าเฉลี่ยปริมาณจุลินทรีย์ในดินมากที่สุด  $1.490 \times 10^7$  CFU/ml ซึ่งไม่แตกต่างกับการแช่เมล็ดในเอนไซม์ *P. polymyxa* BTK01 เอนไซม์ *B. subtilis* BTK07 น้ำหมัก *P. polymyxa* BTK01 และน้ำหมัก *B. subtilis* BTK07 ที่มีค่าเฉลี่ยปริมาณจุลินทรีย์ในดินคือ  $1.188 \times 10^7$ ,  $1.320 \times 10^7$ ,  $1.349 \times 10^7$  และ  $1.381 \times 10^7$  CFU/ml ตามลำดับ ผลการทดลองแสดงให้เห็นว่าการรดด้วยน้ำหมัก *B. subtilis* BTK07 ส่งผลให้ปริมาณจุลินทรีย์ในดินแต่ละการทดลองมีค่าใกล้เคียงกันโดยแตกต่างกับชุดควบคุม เนื่องจากน้ำหมัก *B. subtilis* BTK07 มีแบคทีเรียส่งเสริมการเจริญเติบโตของพืชซึ่งสามารถผลิตสารส่งเสริมเจริญเติบโตของพืช เช่น ไนโตรเจน ฟอสฟอรัส โพแทสเซียม แคลเซียม แมกนีเซียม ซัลเฟอร์ เหล็ก คลอไรด์ สังกะสี โบรอน เป็นต้น ทั้งยังมีการผลิตฮอร์โมนในกลุ่มออกซิน และไซโตไคนินอีกด้วย จึงส่งผลให้ดินมีธาตุอาหารที่จำเป็นต่อการเจริญเติบโตของพืช นอกจากนั้นยังมีการผลิตเอนไซม์แมนนาเนสและไซลานเนสที่มีคุณสมบัติทำงานได้ดีที่อุณหภูมิได้สูงถึง 40 และ 50 องศาเซลเซียสตามลำดับ โดยเอนไซม์มีหน้าที่ในการย่อยสลายอินทรีย์วัตถุที่อยู่ในดินแล้วปลดปล่อยธาตุอาหารหมุนเวียนสู่ดินเพิ่มปริมาณธาตุอาหารในดิน ทั้งธาตุอาหารหลัก ธาตุอาหารรอง ที่เป็นประโยชน์แก่พืช จากงานวิจัยของ Zheng *et al.* (2008) พบว่า *B. subtilis* ช่วยปรับสภาพดินให้ดีขึ้นดินมีความร่วนซุย เพิ่มช่องว่างในดิน ช่วยกักเก็บน้ำในดิน ทำให้จุลินทรีย์ดินบริเวณรากพืชทำงานได้ดี ดังนั้นการใช้ประโยชน์จากจุลินทรีย์ตามธรรมชาติที่สามารถส่งเสริมการเจริญเติบโตของพืช เป็นกระบวนการปลูกพืชที่ปลอดภัยโดยการลดการใช้สารเคมีให้ได้มากที่สุด



**ภาพที่ 4.36** ค่าเฉลี่ยปริมาณจุลินทรีย์ในดินปลูกผักสลัดกรีนโอ๊คในดินก่อนปลูก (■) แช่เมล็ดในน้ำกลั่น (■) เอนไซม์ *Paenibacillus polymyxa* BTK01 (■) เอนไซม์ *Bacillus subtilis* BTK07 (■) น้ำหมัก *Paenibacillus polymyxa* BTK01 (■) และน้ำหมัก *Bacillus subtilis* BTK07 (■) รดด้วยน้ำหมัก *Bacillus subtilis* BTK07 บันทึกผล 21 วัน

#### 4.4 ผลการวิเคราะห์คุณสมบัติทางกายภาพและเคมีของดิน

##### 4.4.1 ผลการวิเคราะห์คุณสมบัติทางกายภาพและเคมีของดินก่อนการทดลอง

ผลการวิเคราะห์ดินทางกายภาพและทางเคมีดังตารางที่ 4.8 พบว่าค่าพีเอชของดินคือ 7.65 ซึ่งเป็นด่างอ่อน ปริมาณอินทรีย์วัตถุในดินคือ 5.32 เปอร์เซ็นต์ ปริมาณไนโตรเจนทั้งหมดคือ 0.30 เปอร์เซ็นต์ ปริมาณฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์ในดินคือ 1,156.3 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม ปริมาณโพแทสเซียมที่แลกเปลี่ยนได้ในดินคือ 2,560.00 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม ปริมาณเหล็กที่เป็นประโยชน์ในดินคือ 529.75 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม ปริมาณแมกนีเซียมที่แลกเปลี่ยนได้ในดินคือ 19.78 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม และปริมาณความชื้นในดินคือ 32.95 เปอร์เซ็นต์ โดยปริมาณอินทรีย์วัตถุในดิน ปริมาณไนโตรเจนทั้งหมด ปริมาณฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์ในดิน ปริมาณโพแทสเซียมที่แลกเปลี่ยนได้ในดิน อยู่ในระดับเพียงพอที่พืชต้องการ แต่ปริมาณแมกนีเซียมอยู่ในระดับต่ำ (น้อยกว่า 50 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม ซึ่งจะใช้เป็นข้อมูลเบื้องต้นเพื่อเปรียบเทียบกับดินหลังการทดลอง

##### 4.4.2 ผลการวิเคราะห์คุณสมบัติทางกายภาพและเคมีของดินหลังการทดลอง

การวิเคราะห์ดินทางกายภาพและทางเคมีดังตารางที่ 4.8 พบว่าค่าพีเอชของดินมีค่าระหว่าง 7.54-7.72 ซึ่งเป็นด่างอ่อน จุลินทรีย์มักจะผลิตสารประกอบพวกกรดอินทรีย์ทำให้มีสภาพเป็นกรด หลังจากนั้นจุลินทรีย์กลุ่มย่อยสลายโปรตีนจะเปลี่ยนโปรตีนเป็นอนินทรีย์ในโตรเจนคือแอมโมเนียม ( $\text{NH}_4^+$ ) และไนเตรท ( $\text{NO}_3^-$ ) ทำให้พีเอชเพิ่มขึ้น ดินที่มีพีเอชต่ำกว่า 5.5 จุลินทรีย์ที่เป็นประโยชน์ในดินจะหยุดกิจกรรม แต่จุลินทรีย์ที่เป็นสาเหตุของโรคจะทำงานได้ดีขึ้น หากดินมีพีเอชมากกว่า 8.5 ไนโตรเจนในดินจะกลายเป็นก๊าซทำให้ดินสูญเสียธาตุอาหาร

ปริมาณอินทรีย์วัตถุในดินเพิ่มขึ้นเฉลี่ย 1.79 เท่า โดยเมื่อรดด้วยน้ำกลั่นเพิ่มขึ้น 2.00 เท่า (10.67 เปอร์เซ็นต์) รดด้วยเอนไซม์ *P. polymyxa* BTK01 เพิ่มขึ้น 1.90 เท่า (10.14 เปอร์เซ็นต์) รดด้วยเอนไซม์ *B. subtilis* BTK07 เพิ่มขึ้น 1.45 เท่า (7.76 เปอร์เซ็นต์) รดด้วยน้ำหมัก *P. polymyxa* BTK01 เพิ่มขึ้น 1.63 เท่า (8.76 เปอร์เซ็นต์) และรดด้วยน้ำหมัก *B. subtilis* BTK07 เพิ่มขึ้น 1.97 เท่า (10.50 เปอร์เซ็นต์) ตามลำดับ ปริมาณอินทรีย์วัตถุที่เพิ่มขึ้นเนื่องจากการใช้ดินปลูกผสมทางการค้าที่มีองค์ประกอบของวัสดุปลูก เช่น แกลบ ถ่านแกลบ ขุยมะพร้าว เป็นองค์ประกอบของดินส่งผลให้คุณสมบัติผสมทางการค้าอยู่ในสภาพที่เหมาะสมต่อการเจริญเติบโตของผักสลัดกรีนไต้หวันมากกว่าดินโดยทั่วไป ที่ปริมาณอินทรีย์วัตถุจะได้รับอิทธิพลจากสมบัติด้านต่าง ๆ ของดิน เช่น สมบัติทางกายภาพ สมบัติทางเคมี สมบัติทางชีวภาพ เป็นต้น

ปริมาณไนโตรเจนทั้งหมดเพิ่มขึ้นเฉลี่ย 1.64 เท่า โดยเมื่อรดด้วยน้ำกลั่นเพิ่มขึ้น 1.80 เท่า (0.54 เปอร์เซ็นต์) รดด้วยเอนไซม์ *P. polymyxa* BTK01 เพิ่มขึ้น 1.76 เท่า (0.53

เปอร์เซ็นต์) รดด้วยเอนไซม์ *B. subtilis* BTK07 เพิ่มขึ้น 1.36 เท่า (0.41 เปอร์เซ็นต์) รดด้วยน้ำหมัก *P. polymyxa* BTK01 เพิ่มขึ้น 1.46 เท่า (0.44 เปอร์เซ็นต์) และรดด้วยน้ำหมัก *B. subtilis* BTK07 เพิ่มขึ้น 1.83 เท่า (0.55 เปอร์เซ็นต์) ตามลำดับ ปริมาณไนโตรเจนเกิดจากกระบวนการย่อยสลายของจุลินทรีย์ ในระยะเริ่มต้นจุลินทรีย์จะใช้ไนโตรเจนเพื่อการเจริญเติบโตและการทำงานของเซลล์จะพบว่าเมื่อเริ่มจะมีปริมาณแอมโมเนียม ( $\text{NH}_4^+$ ) สูงและลดลงอย่างรวดเร็ว เมื่อกระบวนการย่อยสลายของจุลินทรีย์ดำเนินไปเนื่องจากเกิดกระบวนการ Volatilization และ Immobilization ขณะเดียวกันปริมาณไนเตรต ( $\text{NO}_3^-$ ) จะเพิ่มขึ้นเมื่อเกิดกระบวนการ Nitrification ปริมาณไนโตรเจนทั้งหมดจะค่อนข้างคงที่เมื่อการย่อยสลายสมบูรณ์ ทั้งนี้ปริมาณไนโตรเจนทั้งหมดที่เพิ่มขึ้นยังเกี่ยวข้องกับจุลินทรีย์ที่สามารถช่วยตรึงไนโตรเจนจากอากาศเปลี่ยนมาเป็นรูปเกลือไนเตรตที่พืชสามารถนำไปใช้ประโยชน์ได้ เช่น ในรากพืชตระกูลถั่วมีไรโซเบียมช่วยตรึงไนโตรเจนในอากาศให้พืชนำไปใช้ได้ นอกจากนี้ พืชอาจได้รับไนโตรเจนในรูปสารอินทรีย์ เช่น ยูเรีย เป็นต้น (สมบุญ, 2538) เมื่อนำปริมาณไนโตรเจนทั้งหมดเทียบอัตราส่วนกับปริมาณอินทรีย์วัตถุ (5.32-10.67 เปอร์เซ็นต์) พบว่ามีอัตราส่วนต่ำกว่าปกติเล็กน้อย เนื่องจากดินทั่วไปมีไนโตรเจนประมาณ 0.225 เปอร์เซ็นต์ และอินทรีย์วัตถุประมาณ 4.5 เปอร์เซ็นต์

ปริมาณฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์ในดิน โดยเมื่อรดด้วยน้ำกลั่นลดลง 1.10 เท่า (1,045.26 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม) รดด้วยเอนไซม์ *P. polymyxa* BTK01 ลดลง 1.07 เท่า (1,077.49 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม) รดด้วยเอนไซม์ *B. subtilis* BTK07 ลดลง 1.11 เท่า (1,039.61 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม) รดด้วยน้ำหมัก *P. polymyxa* BTK01 ลดลง 1.05 เท่า (1,092.97 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม) และรดด้วยน้ำหมัก *B. subtilis* BTK07 เพิ่มขึ้น 1.05 เท่า (1,218.51 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม) ตามลำดับ เนื่องจากเมื่อดินมีค่าพีเอชระหว่าง 6.0-7.0 จะมีฟอสฟอรัสที่อยู่ในรูปที่เป็นประโยชน์ที่พืชนำไปใช้ได้มากที่สุด คือ  $\text{H}_2\text{PO}_4^-$  ซึ่งพืชดูดไปใช้ได้ง่ายที่สุด แต่เมื่อความเป็นกรดของดินเพิ่มขึ้นจะอยู่ในรูป  $\text{HPO}_4^{2-}$  ซึ่งพืชนำไปใช้ประโยชน์ได้ยากกว่า หรือเกิดกระบวนการตรึงฟอสเฟตให้อยู่ในรูปของเหล็กและอะลูมิเนียมฟอสเฟต ซึ่งพืชนำไปใช้ประโยชน์ได้ยาก (ยงยุทธ, 2558)

ปริมาณโพแทสเซียมที่แลกเปลี่ยนได้ในดินลดลงเฉลี่ย 1.83 เท่า โดยเมื่อรดด้วยน้ำกลั่นลดลง 2.09 เท่า (1,224.75 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม) รดด้วยเอนไซม์ *P. polymyxa* BTK01 ลดลง 1.07 เท่า (1,077.49 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม) รดด้วยเอนไซม์ *B. subtilis* BTK07 ลดลง 1.83 เท่า (1,392.75 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม) รดด้วยน้ำหมัก *P. polymyxa* BTK01 ลดลง 2.21 เท่า (1,154.25 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม) และรดด้วยน้ำหมัก *B. subtilis* BTK07 เพิ่มขึ้น 1.52 เท่า (1,680.75 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม) ตามลำดับ จะเห็นว่าปริมาณโพแทสเซียมค่อนข้างสูง ทั้งนี้ดินเพื่อการค้าจะมีวัสดุอินทรีย์ที่มีคุณภาพดี มีกระบวนการผลิตที่ถูกต้องจะมีปริมาณอินทรีย์วัตถุสูง ซึ่งอาจทำให้มีธาตุอาหารหลัก

เป็นไปตามกำหนด ส่งผลให้พืชสะสมโพแทสเซียมในปริมาณที่เกินความต้องการ แต่ทั้งนี้ปริมาณการสะสมโพแทสเซียมระดับสูงยังขึ้นกับธรรมชาติของผักสลัดที่มีความต้องการโพแทสเซียมสูง โดยมีปัจจัยที่ทำให้เกิดความต้องการสูง คือมีวงจรการเจริญเติบโตสั้นและระยะเวลาการดูดซึมน้ำอาจเป็นสาเหตุให้ดินหลังปลูกผักสลัดกรีนโอ๊คที่ให้ชุดทดลองต่าง ๆ มีปริมาณโพแทสเซียมใกล้เคียงกันมาก

ปริมาณแมกนีเซียมที่แลกเปลี่ยนได้ในดินอยู่ในระดับต่ำ (น้อยกว่า 50 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม) โดยเมื่อรดด้วยน้ำกลั่นเพิ่มขึ้น 1.08 เท่า (21.39 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม) รดด้วยเอนไซม์ *P. polymyxa* BTK01 ลดลง 1.03 เท่า (19.10 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม) รดด้วยเอนไซม์ *B. subtilis* BTK07 ลดลง 1.15 เท่า (17.09 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม) รดด้วยน้ำหมัก *P. polymyxa* BTK01 ลดลง 2.09 เท่า (9.45 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม) และรดด้วยน้ำหมัก *B. subtilis* BTK07 เพิ่มขึ้น 1.42 เท่า (13.89 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม) ตามลำดับ เนื่องจากธาตุอาหารที่มีประจุบวกมีโอกาสสูญเสียไปได้ง่าย อาจเกิดจากสารละลายดินมีความเข้มข้นสูงในช่วงวันที่มีสภาพอากาศที่มีอุณหภูมิสูงและความชื้นสัมพัทธ์ต่ำ ธรรมชาติของดินมีความจุการอุ้มน้ำต่ำ จึงส่งผลต่อความเข้มข้นของสารละลายดินในช่วงของวันได้

ปริมาณเหล็กที่เป็นประโยชน์ในดินโดยเมื่อรดด้วยน้ำกลั่นเพิ่มขึ้น 1.28 เท่า (678.50 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม) รดด้วยเอนไซม์ *P. polymyxa* BTK01 ลดลง 1.02 เท่า (515.70 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม) รดด้วยเอนไซม์ *B. subtilis* BTK07 เพิ่มขึ้น 1.04 เท่า (555.00 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม) รดด้วยน้ำหมัก *P. polymyxa* BTK01 เพิ่มขึ้น 1.00 เท่า (531.26 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม) และรดด้วยน้ำหมัก *B. subtilis* BTK07 เพิ่มขึ้น 1.19 เท่า (630.75 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม) ตามลำดับ โดยโพแทสเซียมสามารถจับกับเหล็กในดินเมื่อดินมีโพแทสเซียมเพิ่มขึ้นทำให้พืชดูดเหล็กได้น้อยลง (Fageria, 2001) และธาตุเหล็กถูกออกซิไดซ์ได้ง่ายในสภาพที่มีอากาศบริเวณรอบรากพืช จึงเป็นบริเวณหนึ่งที่พบธาตุเหล็กน้อยมาก

ปริมาณความชื้นในดินโดยเมื่อรดด้วยน้ำกลั่นเพิ่มขึ้น 1.54 เท่า (50.84 เปอร์เซ็นต์) รดด้วยเอนไซม์ *P. polymyxa* BTK01 เพิ่มขึ้น 1.58 เท่า (52.32 เปอร์เซ็นต์) รดด้วยเอนไซม์ *B. subtilis* BTK07 เพิ่มขึ้น 1.63 เท่า (54.00 เปอร์เซ็นต์) รดด้วยน้ำหมัก *P. polymyxa* BTK01 เพิ่มขึ้น 1.65 เท่า (54.68 เปอร์เซ็นต์) และรดด้วยน้ำหมัก *B. subtilis* BTK07 เพิ่มขึ้น 1.68 เท่า (55.47 เปอร์เซ็นต์) ตามลำดับ แสดงให้เห็นว่าเอนไซม์และน้ำหมักที่ผลิตได้จาก *B. subtilis* BTK07 และ *P. polymyxa* BTK01 สามารถปรับปรุงคุณภาพของดิน และเพิ่มปริมาณจุลินทรีย์ในดินเมื่อเปรียบเทียบกับการรดด้วยน้ำกลั่น

ตารางที่ 4.8 คุณสมบัติทางกายภาพและเคมีของดินก่อนและหลังให้ชุดทดลองที่แตกต่างกัน

| คุณสมบัติ                             | ชุดทดลอง |          |          |          |          |          |
|---------------------------------------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|
|                                       | ก่อนปลูก | T1       | T2       | T3       | T4       | T5       |
| พีเอช                                 | 7.65     | 7.54     | 7.56     | 7.59     | 7.60     | 7.72     |
| อินทรีย์วัตถุ (%)                     | 5.32     | 10.67    | 10.14    | 7.76     | 8.72     | 10.50    |
| ไนโตรเจนทั้งหมด (%)                   | 0.30     | 0.54     | 0.53     | 0.41     | 0.44     | 0.55     |
| ฟอสฟอรัสที่เป็น<br>ประโยชน์ (มก./กก.) | 1,156.73 | 1,045.26 | 1,077.49 | 1,039.61 | 1,092.97 | 1,218.51 |
| โพแทสเซียมที่<br>แลกเปลี่ยน (มก./กก.) | 2,560.00 | 1,224.75 | 1,392.75 | 1,534.75 | 1,154.25 | 1,680.75 |
| แมกนีเซียมที่<br>แลกเปลี่ยน (มก./กก.) | 19.78    | 21.39    | 19.10    | 17.09    | 9.45     | 13.89    |
| เหล็กที่เป็นประโยชน์<br>(มก./กก.)     | 529.75   | 678.50   | 515.70   | 555.00   | 531.26   | 630.75   |
| C/N ratio                             | 10.28    | 11.46    | 11.09    | 10.98    | 11.49    | 11.07    |
| ปริมาณความชื้น (%)                    | 32.95    | 50.84    | 52.32    | 54.00    | 54.68    | 55.47    |

T1 = รดด้วยน้ำกลั่น (ควบคุม); T2 = รดด้วยเอนไซม์จาก *Paenibacillus polymyxa* BTK01; T3 = รดด้วยเอนไซม์จาก *Bacillus subtilis* BTK07; T4 = รดด้วยน้ำหมักจาก *Paenibacillus polymyxa* BTK01; T5 = รดด้วยน้ำหมักจาก *Bacillus subtilis* BTK07

## บทที่ 5

### สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ

การศึกษานี้มีวัตถุประสงค์เพื่อหาสภาวะที่เหมาะสมต่อการทำงานของเอนไซม์ที่ผลิตได้จาก *Paenibacillus polymyxa* BTK01 (BTK01) และ *Bacillus subtilis* BTK07 (BTK07) พบว่าพีเอชที่เหมาะสมต่อการทำงานของเอนไซม์จาก BTK07 มีกิจกรรมแมนนาเนสสูงสุดที่ค่าพีเอช 7.0 เท่ากับ 1.065 หน่วยต่อมิลลิลิตร กิจกรรมไซลानเนสสูงสุดที่ค่าพีเอช 7.0 เท่ากับ 0.219 หน่วยต่อมิลลิลิตร และพีเอชที่เหมาะสมต่อการทำงานของเอนไซม์จาก BTK01 มีกิจกรรมแมนนาเนสสูงสุดที่ค่าพีเอช 8.0 เท่ากับ 0.346 หน่วยต่อมิลลิลิตร กิจกรรมไซลानเนสสูงสุดที่ค่าพีเอช 7.0 เท่ากับ 0.713 หน่วยต่อมิลลิลิตร อุณหภูมิที่เหมาะสมต่อการทำงานของเอนไซม์จาก BTK07 มีกิจกรรมแมนนาเนสสูงสุดที่อุณหภูมิ 40 องศาเซลเซียส เท่ากับ 1.226 หน่วยต่อมิลลิลิตร กิจกรรมไซลानเนสสูงสุดที่อุณหภูมิ 50 องศาเซลเซียส เท่ากับ 0.198 หน่วยต่อมิลลิลิตร และอุณหภูมิที่เหมาะสมต่อการทำงานของเอนไซม์จาก BTK01 มีกิจกรรมแมนนาเนสสูงสุดที่อุณหภูมิ 60 เท่ากับ 0.483 หน่วยต่อมิลลิลิตร กิจกรรมไซลानเนสสูงสุดที่อุณหภูมิ 40 เท่ากับ 0.772 หน่วยต่อมิลลิลิตร ผลของพีเอชต่อความคงตัวของเอนไซม์จาก BTK07 ที่ค่าพีเอช 7.0 กิจกรรมแมนนาเนสคงเหลือสูงสุด 89.60 เปอร์เซ็นต์ ที่ค่าพีเอช 7.0 กิจกรรมไซลानเนสคงเหลือสูงสุด 41.81 เปอร์เซ็นต์ และผลของพีเอชต่อความคงตัวของเอนไซม์จาก BTK01 ที่ค่าพีเอช 8.0 กิจกรรมแมนนาเนสคงเหลือสูงสุด 96.25 เปอร์เซ็นต์ ที่ค่าพีเอช 7.0 กิจกรรมไซลानเนสคงเหลือสูงสุด 85.33 เปอร์เซ็นต์ ผลของอุณหภูมิต่อความคงตัวของเอนไซม์จาก BTK07 ที่อุณหภูมิ 40 องศาเซลเซียส กิจกรรมแมนนาเนสคงเหลือสูงสุด 61.57 เปอร์เซ็นต์ ที่อุณหภูมิ 50 องศาเซลเซียส กิจกรรมไซลानเนสคงเหลือสูงสุด 65.04 เปอร์เซ็นต์ และผลของพีเอชต่อความคงตัวของเอนไซม์จาก BTK01 ที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส กิจกรรมแมนนาเนสคงเหลือสูงสุด 78.99 เปอร์เซ็นต์ ที่อุณหภูมิ 40 องศาเซลเซียส กิจกรรมไซลानเนสคงเหลือสูงสุด 96.35 เปอร์เซ็นต์

จากการศึกษาการผลิตฮอร์โมนพืชในน้ำหมักจาก *P. polymyxa* BTK01 และ *B. subtilis* BTK07 พบว่าน้ำหมัก *B. subtilis* BTK07 มีปริมาณ indole-3-acetic acid (IAA) คือ 0.27 ไมโครกรัมต่อลิตร และไซโตไคนินในรูปของ Zeatin Roboside และ N<sup>6</sup> ( $\Delta^2$ -isopentenyl) adenine คือ 0.004 ไมโครกรัมต่อลิตร และ 0.006 ไมโครกรัมต่อลิตร ตามลำดับ ในขณะที่น้ำหมัก *P. polymyxa* BTK01 มีปริมาณ IAA คือ 0.37 ไมโครกรัมต่อลิตร และไซโตไคนินในรูปของ Zeatin



Roboside และ  $N^6$  ( $\Delta^2$ -isopentenyl) adenine เท่ากับ 0.007 ไมโครกรัมต่อลิตร และ 0.0016 ไมโครกรัมต่อลิตร ตามลำดับ

การศึกษาการงอกของเมล็ดด้วยวิธีการแช่เมล็ด พบว่าการเพาะเมล็ดในที่มืดและสลับไปทีสว่าง (Dark>Light) ค่าเฉลี่ยเปอร์เซ็นต์การงอกสูงสุด 99.40, 97.60 และ 96.20 เปอร์เซ็นต์ ที่ 0, 40 และ 60 วันตามลำดับ การเพาะเมล็ดในที่มืดและสลับไปทีสว่าง (Dark>Light) ค่าเฉลี่ยความเร็วในการงอกของเมล็ดสูงสุด 3.88, 3.75 และ 3.78 ต้นต่อวัน ที่ 0, 40 และ 60 วันตามลำดับ การเพาะเมล็ดในที่มืด (Dark>Dark) ค่าเฉลี่ยความยาวยอดของต้นอ่อนผักสลัดกรีนโอ๊คสูงสุด 22.88, 18.14 และ 20.18 มิลลิเมตร ที่ 0, 40 และ 60 วันตามลำดับ และการเพาะเมล็ดที่มืดและสลับไปทีสว่าง (Dark>Light) ค่าเฉลี่ยความยาวรากของต้นอ่อนผักสลัดกรีนโอ๊คสูงสุด 65.38, 61.62 และ 60.62 มิลลิเมตร ที่ 0, 40 และ 60 วันตามลำดับ

การศึกษาประสิทธิภาพของเอนไซม์และน้ำหมักต่อการส่งเสริมการเจริญเติบโตของผักสลัดกรีนโอ๊ค พบว่าค่าเฉลี่ยความสูงต้น ความกว้างทรงพุ่ม และจำนวนใบสูงสุด คือ 9.22, 16.93 เซนติเมตร และ 15.00 ใบ ตามลำดับ เมื่อรดด้วยน้ำหมัก *B. subtilis* BTK07 โดยค่าเฉลี่ยความยาวของรากสูงสุด คือ 12.10 เซนติเมตร เมื่อรดด้วยเอนไซม์ *P. polymyxa* BTK01 ในขณะที่ค่าเฉลี่ยน้ำหนักสดลำต้นและรากสูงสุด คือ 17.16 และ 2.99 กรัม ตามลำดับ เมื่อรดด้วยน้ำหมัก *P. polymyxa* BTK01 และค่าเฉลี่ยน้ำหนักแห้งลำต้นและรากสูงสุดคือ 0.81 และ 0.37 กรัม ตามลำดับ เมื่อรดด้วยเอนไซม์ *P. polymyxa* BTK01 ปริมาณจุลินทรีย์ในดินหลังการปลูกผักสลัดพันธุ์กรีนโอ๊ค พบว่าปริมาณแบคทีเรียในดินเพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $P \leq 0.05$ ) โดยการรดด้วยน้ำหมัก *P. polymyxa* BTK01 มีปริมาณจุลินทรีย์สูงสุด  $1.710 \times 10^7$  CFU/ml

การศึกษาประสิทธิภาพของเมล็ดที่ผ่านการแช่เมล็ดโดยทุกการทดลองรดด้วยน้ำหมัก *B. subtilis* BTK07 พบว่าค่าเฉลี่ยความสูงต้น ความกว้างทรงพุ่ม จำนวนใบ ความยาวรากสูงสุด คือ 11.32, 15.57, 13.33 ใบ และ 15.36 เซนติเมตร ตามลำดับ เมื่อแช่เมล็ดในน้ำหมัก *P. polymyxa* BTK01 น้ำหมัก *B. subtilis* BTK07 เอนไซม์ *P. polymyxa* BTK01 และน้ำกลั่นตามลำดับ ในขณะที่ค่าเฉลี่ยน้ำหนักสดลำต้นสูงสุดและรากสูงสุด คือ 14.39 และ 2.71 กรัม ตามลำดับ เมื่อแช่เมล็ดในเอนไซม์ *P. polymyxa* BTK01 และไม่แช่เมล็ด (ชุดควบคุม) ตามลำดับ และค่าเฉลี่ยน้ำหนักแห้งลำต้นและรากสูงสุด คือ 0.29 และ 1.19 กรัม ตามลำดับ เมื่อแช่เมล็ดในเอนไซม์ *P. polymyxa* BTK01 ปริมาณจุลินทรีย์ในดินหลังการปลูกผักสลัดกรีนโอ๊ค พบว่าการแช่เมล็ดในน้ำหมัก *B. subtilis* BTK07 แสดงปริมาณจุลินทรีย์สูงสุด  $1.490 \times 10^7$  CFU/ml และการวิเคราะห์คุณสมบัติทางกายภาพและเคมีของดิน พบว่าค่าพีเอชของดินมีค่าระหว่าง 7.54-7.72 โดยปริมาณอินทรีย์วัตถุ ไนโตรเจนทั้งหมด ฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์ในดินแมกนีเซียมที่แลกเปลี่ยนได้ใน

ดินและเหล็กที่เป็นประโยชน์ในดินเพิ่มขึ้นเฉลี่ย 1.79, 1.64, 1.05, 1.08 และ 1.28 เท่า ในขณะที่ปริมาณโพแทสเซียมที่แลกเปลี่ยนได้ในดินลดลงเฉลี่ย 1.83 เท่า

ข้อเสนอแนะจากการทดลองควรเพาะเมล็ดในที่มืด 4 และสลับไปในที่สว่างอีก 3 วัน เนื่องจากส่งผลให้เปอร์เซ็นต์การงอก ความเร็วในการงอก และความยาวรากของผักสลัดกรีนโอ๊คมีค่าสูงสุด การรดน้ำด้วยน้ำหมัก *B. subtilis* BTK07 ส่งผลให้ผักสลัดกรีนโอ๊คมีการเจริญในด้านความสูง ความกว้างทรงพุ่ม และความยาวรากมากกว่าการรดด้วยน้ำกลั่น (ชุดควบคุม) เนื่องจากผักสลัดกรีนโอ๊คเป็นผักที่คนนิยมบริโภคโดยการแช่เมล็ดในเอนไซม์ *P. polymyxa* BTK01 ส่งผลให้ผักสลัดกรีนโอ๊คมีจำนวนใบมากที่สุดทั้งการรดด้วยน้ำกลั่น (การทดลองที่ 2) และการรดด้วยน้ำหมัก *B. subtilis* BTK07 (การทดลองที่ 3) นอกจากนั้นการใช้น้ำหมักและเอนไซม์ *B. subtilis* BTK07 และ *P. polymyxa* BTK01 ส่งผลให้ปริมาณจุลินทรีย์ในดินและธาตุอาหารในดินเพิ่มขึ้นเมื่อเทียบกับดินก่อนการทดลอง ดังนั้นน้ำหมักและเอนไซม์จาก *B. subtilis* BTK07 และ *P. polymyxa* BTK01 มีประสิทธิภาพในการส่งเสริมการงอกและการเจริญของผักสลัดกรีนโอ๊ค อีกทั้งปริมาณจุลินทรีย์ในดินยังมีแนวโน้มที่เพิ่มขึ้นเมื่อเทียบกับการรดด้วยน้ำกลั่น ผลผลิตที่ได้ยังมีความปลอดภัยต่อผู้บริโภคตลอดจนเป็นแนวทางมุ่งสู่เกษตรอินทรีย์ การปลูกผักสลัดกรีนโอ๊คพบปัญหาฝนตกบ่อยครั้งจึงทำให้ธาตุอาหารในดินของพืชคลาดเคลื่อน ดังนั้นหากทำการทดลองครั้งต่อไปควรเลือกปลูกในฤดูหนาว

## รายการอ้างอิง

### หนังสือและบทความในหนังสือ

- คู่มือการจัดการอินทรีย์วัตถุเพื่อปรับปรุงบำรุงดินและเพิ่มความอุดมสมบูรณ์ของดิน. 2558. กรมพัฒนาที่ดิน. กรุงเทพมหานคร
- คู่มือการพัฒนาที่ดิน สำหรับหมอดินอาสาและเกษตรกร. 2558. กรมพัฒนาที่ดินกองวิจัยและพัฒนาการจัดการที่ดิน กลุ่มวิจัยและพัฒนาหมอดินอาสาและบริหารจัดการเครือข่าย. กรุงเทพมหานคร
- บุญมี ศิริ. 2558. การปรับปรุงสภาพและยกระดับคุณภาพเมล็ดพันธุ์. โรงพิมพ์คลังนานาวิทยา, ขอนแก่น. 239
- ปราณี พัฒนพิพิธไพศาล. 2556. เอนไซม์เทคโนโลยี. สำนักพิมพ์แห่งจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย. พิมพ์ครั้งที่ 1. กรุงเทพมหานคร
- ยงยุทธ โอสดสภา อรรถศิษฐ์ วงศ์มณีโรจน์ และชวลิต ฮงประยูร. 2551. ปุ๋ยเพื่อการเกษตรยั่งยืน. สำนักพิมพ์มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ กรุงเทพมหานคร. 519
- Bradbeer, J. (2013). *Seed dormancy and germination*: Springer Science & Business Media.
- Brock, T. D., Madigan, M. T., Martinko, J. M., and Parker, J. (2003). *Brock biology of microorganisms*: Upper Saddle River (NJ): Prentice-Hall, 2003.
- Mehnaz, S. (2011). Plant growth-promoting bacteria associated with sugarcane. In *Bacteria in Agrobiolgy: Crop Ecosystems* (pp. 165-187): Springer.
- Organization, W. H. (2019). *The state of food security and nutrition in the world 2019: safeguarding against economic slowdowns and downturns* (Vol. 2019): Food & Agriculture Org.
- Reddy, P. P. (2014). *Plant growth promoting rhizobacteria for horticultural crop protection* (Vol. 10): Springer.
- Rubatzky, V. E., and Yamaguchi, M. (2012). *World vegetables: principles, production, and nutritive values*: Springer Science & Business Media.
- Stevenson, F. J., and Cole, M. A. (1999). *Cycles of soils: carbon, nitrogen, phosphorus, sulfur, micronutrients*: John Wiley & Sons.

Zyskowsky, J., Navazio, J., Morton, F., and Colley, M. (2010). Principles and practices of organic lettuce seed production in the Pacific Northwest. *Organic Seed Alliance, Port Townsend, WA.*

## บทความวารสาร

พักตร์เพ็ญ ภูมิพันธ์. 2556. บทบาทของราอาร์บัสคูลาร์ ไมคอร์ไรซาต่อพืช ดิน และสิ่งแวดล้อม. *Thai Journal of Science and Technology* 2 (2): 91-101.

บุญมี ศิริ และสรียา ตราชู. 2557. ผลของการพอกเมล็ดพันธุ์ ร่วมกับฮอร์โมน Gibberellin และ Indole-3-butyric acid ต่อคุณภาพเมล็ดพันธุ์ยาสูบพันธุ์เวอร์จิเนีย. *วารสารวิทยาศาสตร์เกษตร*. 42 (ฉบับพิเศษ 1): 104-109.

Abbasdokht, H., and Gholami, A. (2010). The effect of seed inoculation (*Pseudomonas putida*+ *Bacillus lentus*) and different levels of fertilizers on yield and yield components of wheat (*Triticum aestivum* L.) cultivars. *World Acad. Sci. Eng. Technol*, 68, 979-983.

Acuña, J. J., Jorquera, M. A., Martínez, O. A., Menezes-Blackburn, D., Fernández, M. T., Marschner, P., Greiner, R., and Mora, M. (2011). Indole acetic acid and phytase activity produced by rhizosphere bacilli as affected by pH and metals. *Journal of soil science and plant nutrition*, 11(3), 1-12.

Ahmad, A.-G. M., Attia, A.-Z. G., Mohamed, M. S., and Elsayed, H. E. (2019). Fermentation, formulation and evaluation of PGPR *Bacillus subtilis* isolate as a bioagent for reducing occurrence of peanut soil-borne diseases. *Journal of Integrative Agriculture*, 18(9), 2080-2092.

Ahmed, M. Z., and Khan, M. A. (2010). Tolerance and recovery responses of playa halophytes to light, salinity and temperature stresses during seed germination. *Flora- Morphology, Distribution, Functional Ecology of Plants*, 205(11), 764-771.

- Akhtar, S. S., Mekureyaw, M. F., Pandey, C., and Roitsch, T. (2020). Role of cytokinins for interactions of plants with microbial pathogens and pest insects. *Frontiers in plant science*, 10, 1777.
- Algam, S. A. E., Xie, G., Li, B., Yu, S., Su, T., and Larsen, J. (2010). Effects of *Paenibacillus* strains and chitosan on plant growth promotion and control of *Ralstonia* wilt in tomato. *Journal of plant Pathology*, 593-600.
- Amer, G., and Utkhede, R. (2000). Development of formulations of biological agents for management of root rot of lettuce and cucumber. *Canadian journal of microbiology*, 46(9), 809-816.
- Asif, M., Pervez, A., Irshad, U., Mehmood, Q., and Ahmad, R. (2020). Melatonin and plant growth- promoting rhizobacteria alleviate the cadmium and arsenic stresses and increase the growth of *Spinacia oleracea* L. *Plant, Soil and Environment*, 66(5), 234-241.
- Badar, M., Mhmood, K., Hassan, I., Ahmed, M., Ahmad, I., Ahmad, N., and Hasan, M. (2022). Plant growth promoting bacteria (PGPB) enhance growth and yield of strawberry cultivars. *Appl. Ecol. Environ. Res*, 20, 2187-2203.
- Baset, M. M., Shamsuddin, Z., Wahab, Z., and Marziah, M. (2010). Effect of plant growth promoting rhizobacterial ( PGPR) inoculation on growth and nitrogen incorporation of tissue- cultured'musa'plantlets under nitrogen- free hydroponics condition. *Australian Journal of Crop Science*, 4(2), 85-90.
- Bashan, Y., and de-Bashan, L. (2005). Bacteria/plant growth-promotion (ed Hillel, D.) 103–115. In: Elsevier Oxford.
- Batista, B. D., Lacava, P. T., Ferrari, A., Teixeira-Silva, N. S., Bonatelli, M. L., Tsui, S., Mondin, M., Kitajima, E. W., Pereira, J. O., and Azevedo, J. L. (2018). Screening of tropically derived, multi- trait plant growth- promoting rhizobacteria and evaluation of corn and soybean colonization ability. *Microbiological research*, 206, 33-42.

- Biswas, J., Ladha, J., and Dazzo, F. (2000). Rhizobia inoculation improves nutrient uptake and growth of lowland rice. *Soil science society of America journal*, 64(5), 1644-1650.
- Bush, G., Fink, M., Petrides, G., Dowling, F., and Francis, A. (1996). Catatonia. I. Rating scale and standardized examination. *Acta Psychiatrica Scandinavica*, 93(2), 129-136.
- Calvo, P., Nelson, L., and Kloepper, J. W. (2014). Agricultural uses of plant biostimulants. *Plant and soil*, 383(1), 3-41.
- Candido, V., Campanelli, G., D'Addabbo, T., Castronuovo, D., Renco, M., and Camele, I. (2013). Growth and yield promoting effect of artificial mycorrhization combined with different fertiliser rates on field- grown tomato. *Italian Journal of Agronomy*, 8(3), e22-e22.
- Cardón, D. L., Villafán, S. M., Tovar, A. R., Jiménez, S. P., Zuniga, L. G., Allieri, M. A., Pérez, N. O., and Dorantes, A. R. (2010). Growth response and heavy metals tolerance of *Axonopus affinis*, inoculated with plant growthpromoting rhizobacteria. *African Journal of Biotechnology*, 9(51), 8772-8782.
- Carrera, M., Zandomeni, R., Fitzgibbon, J., and Sagripanti, J. L. (2007). Difference between the spore sizes of *Bacillus anthracis* and other *Bacillus* species. *Journal of applied microbiology*, 102(2), 303-312.
- Chang, E.-H., Chung, R.-S., and Tsai, Y.-H. (2007). Effect of different application rates of organic fertilizer on soil enzyme activity and microbial population. *Soil Science and Plant Nutrition*, 53(2), 132-140.
- Chantorn, S., Aekkawatchai, N., Chunya, P., Oontawee, S., Khumphai, P., and Charoenrat, T. (2021). Lignocellulolytic bacteria isolated from organic rice field soils for enzyme production using agricultural wastes: Screening, medium optimization, and co-culture. *Biocatalysis and Agricultural Biotechnology*, 33, 101988.
- Chen, C., Yue, Z., Chu, C., Ma, K., Li, L., and Sun, Z. (2020). Complete genome sequence of *Bacillus* sp. strain WR11, an endophyte isolated from wheat root providing

- genomic insights into its plant growth-promoting effects. *Molecular Plant-Microbe Interactions*, 33(7), 876-879.
- Cheng, L., Duan, S., Feng, X., Zheng, K., Yang, Q., and Liu, Z. (2016). Purification and characterization of a thermostable  $\beta$ -mannanase from *Bacillus subtilis* BE-91: potential application in inflammatory diseases. *BioMed Research International*, 2016.
- Cho, K.-M., Math, R. K., Hong, S.-Y., Islam, S. M. A., Kim, J.-O., Hong, S.-J., Kim, H., and Yun, H.-D. (2008). Changes in the activity of the multifunctional  $\beta$ -glycosyl hydrolase (Cel44C-Man26A) from *Paenibacillus polymyxa* by removal of the C-terminal region to minimum size. *Biotechnology letters*, 30(6), 1061-1068.
- Choudhary, D. K., Prakash, A., and Johri, B. (2007). Induced systemic resistance (ISR) in plants: mechanism of action. *Indian Journal of Microbiology*, 47(4), 289-297.
- Chung, C. W., Cho, H.-Y., Rhee, Y. H., Shin, D.-H., Son, K.-H., and Park, H.-Y. (2017). Biocatalytic characterization of an endo- $\beta$ -1, 4-mannanase produced by *Paenibacillus* sp. strain HY-8. *Biotechnology letters*, 39(1), 149-155.
- Compant, S., Duffy, B., Nowak, J., Clément, C., and Barka, E. A. (2005). Use of plant growth-promoting bacteria for biocontrol of plant diseases: principles, mechanisms of action, and future prospects. *Applied and environmental microbiology*, 71(9), 4951-4959.
- Contreras-Pérez, M., Hernández-Salmerón, J., Rojas-Solís, D., Rocha-Granados, C., Orozco-Mosqueda, M., Parra-Cota, F. I., de Los Santos-Villalobos, S., and Santoyo, G. (2019). Draft genome analysis of the endophyte, *Bacillus toyonensis* COPE52, a blueberry (*Vaccinium* spp. var. Biloxi) growth-promoting bacterium. *3 Biotech*, 9(10), 1-6.
- Copeland, L. O., and McDonald, M. B. (2001). Seed germination. In *Principles of Seed Science and Technology* (pp. 72-123): Springer.
- David, A. S., Haridas, S., LaButti, K., Lim, J., Lipzen, A., Wang, M., Barry, K., Grigoriev, I. V., Spatafora, J. W., and May, G. (2016). Draft genome sequence of *Microdochium*



- bolleyi, a dark septate fungal endophyte of beach grass. *Genome announcements*, 4(2), e00270-00216.
- de Lima, B. C., Bonifacio, A., de Alcantara Neto, F., Araujo, F. F., and Araujo, A. S. F. (2022). *Bacillus subtilis* rhizobacteria ameliorate heat stress in the common bean. *Rhizosphere*, 21, 100472.
- Dheeran, P., Nandhagopal, N., Kumar, S., Jaiswal, Y. K., and Adhikari, D. K. (2012). A novel thermostable xylanase of *Paenibacillus macerans* IIPSP3 isolated from the termite gut. *Journal of Industrial Microbiology and Biotechnology*, 39(6), 851-860.
- Delker, C., Raschke, A., and Quint, M. (2008). Auxin dynamics: the dazzling complexity of a small molecule's message. *Planta*, 227(5), 929-941.
- Dijksterhuis, J., Sanders, M., Gorris, L., and Smid, E. (1999). Antibiosis plays a role in the context of direct interaction during antagonism of *Paenibacillus polymyxa* towards *Fusarium oxysporum*. *Journal of applied microbiology*, 86(1), 13-21.
- Eastman, A. W., Heinrichs, D. E., and Yuan, Z.-C. (2014). Comparative and genetic analysis of the four sequenced *Paenibacillus polymyxa* genomes reveals a diverse metabolism and conservation of genes relevant to plant- growth promotion and competitiveness. *BMC genomics*, 15(1), 1-22.
- Edwards, S. E., da Costa Rocha, I., Williamson, E. M., and Heinrich, M. (2015). Wild Lettuce *Lactuca virosa* L. *Phytopharmacy: An Evidence-Based Guide to Herbal Medicinal Products*, 391.
- Eida, A. A., Bougouffa, S., Alam, I., Hirt, H., and Saad, M. M. (2020). Complete genome sequence of *Paenibacillus* sp. JZ16, a plant growth promoting root endophytic bacterium of the desert halophyte *Zygophyllum simplex*. *Current microbiology*, 77(6), 1097-1103.
- Erturk, Y., Ercisli, S., Haznedar, A., and Cakmakci, R. (2010). Effects of plant growth promoting rhizobacteria (PGPR) on rooting and root growth of kiwifruit (*Actinidia deliciosa*) stem cuttings. *Biological Research*, 43(1), 91-98.

- Etesami, H., Emami, S., and Alikhani, H. A. (2017). Potassium solubilizing bacteria (KSB):: Mechanisms, promotion of plant growth, and future prospects A review. *Journal of soil science and plant nutrition*, 17(4), 897-911.
- Fageria, V. (2001). Nutrient interactions in crop plants. *Journal of plant nutrition*, 24(8), 1269-1290.
- Farzana, Y., and Radizah, O. (2005). Influence of rhizobacterial inoculation on growth of the sweetpotato cultivar.
- Finch-Savage, W. E., and Leubner-Metzger, G. (2006). Seed dormancy and the control of germination. *New Phytologist*, 171(3), 501-523.
- Fujita, M., Fujita, Y., Noutoshi, Y., Takahashi, F., Narusaka, Y., Yamaguchi-Shinozaki, K., and Shinozaki, K. (2006). Crosstalk between abiotic and biotic stress responses: a current view from the points of convergence in the stress signaling networks. *Current opinion in plant biology*, 9(4), 436-442.
- Gallegos-Cedillo, V. M., Urrestarazu, M., and Álvaro, J. E. (2016). Influence of salinity on transport of Nitrates and Potassium by means of the xylem sap content between roots and shoots in young tomato plants. *Journal of soil science and plant nutrition*, 16(4), 991-998.
- Gazis, R., Kuo, A., Riley, R., LaButti, K., Lipzen, A., Lin, J., Amirebrahimi, M., Hesse, C. N., Spatafora, J. W., and Henrissat, B. (2016). The genome of *Xylona heveae* provides a window into fungal endophytism. *Fungal biology*, 120(1), 26-42.
- Glick, B. R. (2014). Bacteria with ACC deaminase can promote plant growth and help to feed the world. *Microbiological research*, 169(1), 30-39.
- Gouda, S., Kerry, R. G., Das, G., Paramithiotis, S., Shin, H.-S., and Patra, J. K. (2018). Revitalization of plant growth promoting rhizobacteria for sustainable development in agriculture. *Microbiological research*, 206, 131-140.

- Govindasamy, V. , Senthilkumar, M. , and Upendra- Kumar, A. K. ( 2008) . PGPR- biotechnology for management of abiotic and biotic stresses in crop plants. *Potential microorganisms for sustainable agriculture*, 26-48.
- Hafeez, F. Y. , Yasmin, S. , Ariani, D. , Zafar, Y. , and Malik, K. A. ( 2006) . Plant growth- promoting bacteria as biofertilizer. *Agronomy for sustainable development*, 26(2), 143-150.
- Haggag, W., and Timmusk, S. (2008). Colonization of peanut roots by biofilm-forming *Paenibacillus polymyxa* initiates biocontrol against crown rot disease. *Journal of applied microbiology*, 104(4), 961-969.
- Hardoim, P. R., van Overbeek, L. S., and van Elsas, J. D. (2008). Properties of bacterial endophytes and their proposed role in plant growth. *Trends in microbiology*, 16(10), 463-471.
- Harris, B. A., Bauske, E. M., and Pennisi, S. V. (2021). Cultural practices and microbial inoculants have variable impact on a bedding plant (*Lantana camara* L.) performance in the landscape. *Scientia Horticulturae*, 282, 110059.
- Harman, G. E., and Uphoff, N. (2019). Symbiotic root-endophytic soil microbes improve crop productivity and provide environmental benefits. *Scientifica*, 2019.
- Hayat, R., Ali, S., Amara, U., Khalid, R., and Ahmed, I. (2010). Soil beneficial bacteria and their role in plant growth promotion: a review. *Annals of microbiology*, 60(4), 579-598.
- Hidri, R., Mahmoud, O. M.-B., Debez, A., Abdelly, C., Barea, J.-M., and Azcon, R. (2019). Modulation of C: N: P stoichiometry is involved in the effectiveness of a PGPR and AM fungus in increasing salt stress tolerance of *Sulla carnosa* Tunisian provenances. *Applied soil ecology*, 143, 161-172.
- Ilangumaran, G. , and Smith, D. L. ( 2017) . Plant growth promoting rhizobacteria in amelioration of salinity stress: a systems biology perspective. *Frontiers in plant science*, 8, 1768.

- Irfan, M., Asghar, U., Nadeem, M., Nelofer, R., and Syed, Q. (2016). Optimization of process parameters for xylanase production by *Bacillus* sp. in submerged fermentation. *Journal of Radiation Research and Applied Sciences*, 9(2), 139-147.
- ISTA (2016). International Rules for Seed Testing, International Seed Testing Association, Bassersdorf, Switzerland.
- Jha, C. K., and Saraf, M. (2015). Plant growth promoting rhizobacteria (PGPR): a review. *Journal of Agricultural Research and Development*, 5(2), 108-119.
- Jorquera, M., Martinez, O., Maruyama, F., Marschner, P., and de la Luz Mora, M. (2008). Current and future biotechnological applications of bacterial phytases and phytase-producing bacteria. *Microbes and environments*, 23(3), 182-191.
- Kaewkham, T., Hynes, R. K., and Siri, B. (2016). The effect of accelerated seed ageing on cucumber germination following seed treatment with fungicides and microbial biocontrol agents for managing gummy stem blight by *Didymella bryoniae*. *Biocontrol Science and Technology*, 26(8), 1048-1061.
- Kaneko, T., Minamisawa, K., Isawa, T., Nakatsukasa, H., Mitsui, H., Kawaharada, Y., Nakamura, Y., Watanabe, A., Kawashima, K., and Ono, A. (2010). Complete genomic structure of the cultivated rice endophyte *Azospirillum* sp. B510. *DNA research*, 17(1), 37-50.
- Kang, S.-M., Khan, A. L., Waqas, M., Asaf, S., Lee, K.-E., Park, Y.-G., Kim, A.-Y., Khan, M. A., You, Y.-H., and Lee, I.-J. (2019). Integrated phytohormone production by the plant growth-promoting rhizobacterium *Bacillus tequilensis* SSB07 induced thermotolerance in soybean. *Journal of Plant Interactions*, 14(1), 416-423.
- Kangsopa, J., and Siri, B. (2015). Using potential carboxymethyl cellulose and hydroxypropyl methylcellulose as binder for seed pelleting of lettuce (*Lactuca sativa* L.) seeds. *Khon Kaen Agriculture Journal*, 43, 268-273.

- Kanjanamaneesathian, M., and Meetum, P. (2018). *Paenibacillus polymyxa* as potential biological control agent isolated from vegetables grown hydroponically in Thailand. *Kasem Bundit Engineering Journal*, 8, 14-24.
- Kansoh, A. L., and Nagieb, Z. A. (2004). Xylanase and mannanase enzymes from *Streptomyces galbus* NR and their use in biobleaching of softwood kraft pulp. *Antonie Van Leeuwenhoek*, 85(2), 103-114.
- Karlidag, H., Esitken, A., Turan, M., and Sahin, F. (2007). Effects of root inoculation of plant growth promoting rhizobacteria (PGPR) on yield, growth and nutrient element contents of leaves of apple. *Scientia Horticulturae*, 114(1), 16-20.
- Kaushal, M., and Wani, S. P. (2016). Plant-growth-promoting rhizobacteria: drought stress alleviators to ameliorate crop production in drylands. *Annals of Microbiology*, 66(1), 35-42.
- Kawashima, L. M., and Soares, L. M. V. (2003). Mineral profile of raw and cooked leafy vegetables consumed in Southern Brazil. *Journal of Food Composition and Analysis*, 16(5), 605-611.
- Kaymak, H., Yarali, F., Guvenc, I., and Donmez, M. F. (2008). The effect of inoculation with plant growth rhizobacteria (PGPR) on root formation of mint (*Mentha piperita* L.) cuttings. *African journal of Biotechnology*, 7(24).
- Khanna, K., Jamwal, V. L., Gandhi, S. G., Ohri, P., and Bhardwaj, R. (2019). Metal resistant PGPR lowered Cd uptake and expression of metal transporter genes with improved growth and photosynthetic pigments in *Lycopersicon esculentum* under metal toxicity. *Scientific reports*, 9(1), 1-14.
- Kiddinamoorthy, J., Anceno, A. J., Haki, G. D., and Rakshit, S. K. (2008). Production, purification and characterization of *Bacillus* sp. GRE7 xylanase and its application in eucalyptus Kraft pulp biobleaching. *World Journal of Microbiology and Biotechnology*, 24(5), 605-612.
- Kidoglu, F., Gül, A., Ozaktan, H., and Tüzel, Y. (2007). *Effect of rhizobacteria on plant growth of different vegetables*. Paper presented at the International

Symposium on High Technology for Greenhouse System Management: Greensys2007 801.

Kim, M. J., Moon, Y., Tou, J. C., Mou, B., and Waterland, N. L. (2016). Nutritional value, bioactive compounds and health benefits of lettuce (*Lactuca sativa* L.). *Journal of Food Composition and Analysis*, 49, 19-34.

Kim, S.-J., Hahn, E.-J., Heo, J.-W., and Paek, K.-Y. (2004). Effects of LEDs on net photosynthetic rate, growth and leaf stomata of chrysanthemum plantlets in vitro. *Scientia horticulturae*, 101(1-2), 143-151.

Kloepper, J. W. (1978). *Plant growth-promoting rhizobacteria on radishes*. Paper presented at the Proc. of the 4th Internat. Conf. on Plant Pathogenic Bacter, Station de Pathologie Vegetale et Phytobacteriologie, INRA, Angers, France, 1978.

Koonin, E. V., Senkevich, T. G., and Dolja, V. V. (2006). The ancient Virus World and evolution of cells. *Biology direct*, 1(1), 1-27.

Krause, A., Ramakumar, A., Bartels, D., Battistoni, F., Bekel, T., Boch, J., Böhm, M., Friedrich, F., Hurek, T., and Krause, L. (2006). Complete genome of the mutualistic, N<sub>2</sub>-fixing grass endophyte *Azoarcus* sp. strain BH72. *Nature biotechnology*, 24(11), 1384-1390.

Křístková, E., Doležalová, I., Lebeda, A., Vinter, V., and Novotná, A. (2008). Description of morphological characters of lettuce (*Lactuca sativa* L.) genetic resources. *Horticultural Science*, 35(3), 113-129.

Kumar, N. V., Rajam, K. S., and Rani, M. E. (2017). Plant growth promotion efficacy of indole acetic acid (IAA) produced by a mangrove associated fungi-Trichoderma viride VKF3. *International Journal of Current Microbiology and Applied Sciences*, 6(11), 2692-2701.

Kumari, M., and Thakur, I. S. (2018). Biochemical and proteomic characterization of *Paenibacillus* sp. ISTP10 for its role in plant growth promotion and in rhizostabilization of cadmium. *Bioresource Technology Reports*, 3, 59-66.

- Lal, S. , and Tabacchioni, S. ( 2009). Ecology and biotechnological potential of *Paenibacillus polymyxa*: a minireview. *Indian Journal of Microbiology*, 49(1), 2-10.
- Laranjo, M., Alexandre, A., and Oliveira, S. (2014). Legume growth-promoting rhizobia: an overview on the *Mesorhizobium* genus. *Microbiological research*, 169(1), 2-17.
- Lastochkina, O. , Aliniaiefard, S. , Seifikalhor, M. , Yuldashev, R. , Pusenkova, L. , and Garipova, S. (2019). Plant growth-promoting bacteria: biotic strategy to cope with abiotic stresses in wheat. *Wheat production in changing environments*, 579-614.
- Lessard, I., Renella, G., Sauvé, S., and Deschênes, L. (2013). Metal toxicity assessment in soils using enzymatic activity: Can water be used as a surrogate buffer? *Soil Biology and Biochemistry*, 57, 256-263.
- Liu, F. , Xing, S. , Ma, H. , Du, Z. , and Ma, B. (2013). Cytokinin-producing, plant growth-promoting rhizobacteria that confer resistance to drought stress in *Platycladus orientalis* container seedlings. *Applied microbiology and biotechnology*, 97(20), 9155-9164.
- Liu, H. , Li, Y. , Ge, K. , Du, B. , Liu, K. , Wang, C. , and Ding, Y. (2021). Interactional mechanisms of *Paenibacillus polymyxa* SC2 and pepper (*Capsicum annuum* L.) suggested by transcriptomics. *BMC microbiology*, 21(1), 1-16.
- Liu, X. , Li, Q. , Li, Y. , Guan, G. , and Chen, S. (2019). *Paenibacillus* strains with nitrogen fixation and multiple beneficial properties for promoting plant growth. *PeerJ*, 7, e7445.
- Llorach, R. , Martínez-Sánchez, A. , Tomás-Barberán, F. A. , Gil, M. I. , and Ferreres, F. (2008). Characterisation of polyphenols and antioxidant properties of five lettuce varieties and escarole. *Food chemistry*, 108(3), 1028-1038.
- Ludueña, L. M. , Anzuay, M. S. , Angelini, J. G. , McIntosh, M. , Becker, A. , Rupp, O. , Goesmann, A. , Blom, J. , Fabra, A. , and Taurian, T. (2019). Genome sequence of



- the endophytic strain *Enterobacter* sp. J49, a potential biofertilizer for peanut and maize. *Genomics*, 111(4), 913-920.
- Lugtenberg, B., and Kamilova, F. (2009). Plant-growth-promoting rhizobacteria. *Annual review of microbiology*, 63, 541-556.
- Ma, J. Z. (2016). Atmospheric layers in response to the propagation of gravity waves under nonisothermal, wind-shear, and dissipative conditions. *Journal of Marine Science and Engineering*, 4(1), 25.
- Maity, A., Sharma, J., and Pal, R. (2019). Novel potassium solubilizing bio-formulation improves nutrient availability, fruit yield and quality of pomegranate (*Punica granatum* L.) in semi-arid ecosystem. *Scientia Horticulturae*, 255, 14-20.
- Maksimov, I., Abizgil' Dina, R., and Pusenkova, L. (2011). Plant growth promoting rhizobacteria as alternative to chemical crop protectors from pathogens. *Applied Biochemistry and Microbiology*, 47(4), 333-345.
- Medici, A., and Krouk, G. (2014). The primary nitrate response: a multifaceted signalling pathway. *Journal of experimental botany*, 65(19), 5567-5576.
- Meena, V. S., Bahadur, I., Maurya, B. R., Kumar, A., Meena, R. K., Meena, S. K., and Verma, J. P. (2016). Potassium- solubilizing microorganism in evergreen agriculture: an overview. *Potassium solubilizing microorganisms for sustainable agriculture*, 1-20.
- Nagórska, K., Bikowski, M., and Obuchowski, M. (2007). Multicellular behaviour and production of a wide variety of toxic substances support usage of *Bacillus subtilis* as a powerful biocontrol agent. *Acta Biochimica Polonica*, 54(3), 495-508.
- Nain, L., Yadav, R., and Saxena, J. (2012). Characterization of multifaceted *Bacillus* sp. RM-2 for its use as plant growth promoting bioinoculant for crops grown in semi arid deserts. *Applied soil ecology*, 59, 124-135.

- O'Callaghan, M. (2016). Microbial inoculation of seed for improved crop performance: issues and opportunities. *Applied microbiology and biotechnology*, 100(13), 5729-5746.
- OH, L. (1951). Lowry method, a modification of the Folin method based on the presence of tyrosine and tryptophan in proteins. *J Biol Chem*, 193, 265-266.
- Orhan, E., Esitken, A., Ercisli, S., Turan, M., and Sahin, F. (2006). Effects of plant growth promoting rhizobacteria (PGPR) on yield, growth and nutrient contents in organically growing raspberry. *Scientia Horticulturae*, 111(1), 38-43.
- Ortiz-Ojeda, P., Ogata-Gutiérrez, K., and Zúñiga-Dávila, D. (2017). Evaluation of plant growth promoting activity and heavy metal tolerance of psychrotrophic bacteria associated with maca (*Lepidium meyenii* Walp.) rhizosphere. *AIMS microbiology*, 3(2), 279.
- Pangsri, P., Piwpankaew, Y., Ingkakul, A., Nitisinprasert, S., and Keawsompong, S. (2015). Characterization of mannanase from *Bacillus circulans* NT 6.7 and its application in mannooligosaccharides preparation as prebiotic. *Springerplus*, 4(1), 1-11.
- Paul, S., Singh Rathi, M., and Prakash Tyagi, S. (2011). Interactive effect with AM fungi and *Azotobacter* inoculated seed on germination, plant growth and yield in cotton (*Gossypium hirsutum*). *Indian Journal of Agricultural Sciences*, 81(11), 1041.
- Pérez-de-Luque, A., Tille, S., Johnson, I., Pascual-Pardo, D., Ton, J., and Cameron, D. D. (2017). The interactive effects of arbuscular mycorrhiza and plant growth-promoting rhizobacteria synergistically enhance host plant defences against pathogens. *Scientific reports*, 7(1), 1-10.
- Phi, Q.-T., Park, Y.-M., Seul, K.-J., Ryu, C.-M., Park, S.-H., Kim, J.-G., and Ghim, S.-Y. (2010). Assessment of root-associated *Paenibacillus polymyxa* groups on growth promotion and induced systemic resistance in pepper. *Journal of Microbiology and Biotechnology*, 20(12), 1605-1613.

- Piwpankaew, Y., Sakulsirirat, S., Nitisinprasert, S., Nguyen, T.-H., Haltrich, D., and Keawsompong, S. (2014). Cloning, secretory expression and characterization of recombinant  $\beta$ -mannanase from *Bacillus circulans* NT 6.7. *SpringerPlus*, 3(1), 1-8.
- Radzki, W., Gutierrez Mañero, F., Algar, E., Lucas García, J., García-Villaraco, A., and Ramos Solano, B. (2013). Bacterial siderophores efficiently provide iron to iron-starved tomato plants in hydroponics culture. *Antonie Van Leeuwenhoek*, 104(3), 321-330.
- Rai, A. K. (1997). Cyanobacterial nitrogen metabolism and environmental biotechnology.
- Raza, W., Yuan, J., Ling, N., Huang, Q., and Shen, Q. (2015). Production of volatile organic compounds by an antagonistic strain *Paenibacillus polymyxa* WR-2 in the presence of root exudates and organic fertilizer and their antifungal activity against *Fusarium oxysporum* f. sp. *niveum*. *Biological Control*, 80, 89-95.
- Roger, A., Getaz, M., Rasmann, S., and Sanders, I. R. (2013). Identity and combinations of arbuscular mycorrhizal fungal isolates influence plant resistance and insect preference. *Ecological Entomology*, 38(4), 330-338.
- Roossinck, M. J., Martin, D. P., and Roumagnac, P. (2015). Plant virus metagenomics: advances in virus discovery. *Phytopathology*, 105(6), 716-727.
- Ryu, C. M., Murphy, J. F., Mysore, K. S., and Kloepper, J. W. (2004). Plant growth-promoting rhizobacteria systemically protect *Arabidopsis thaliana* against Cucumber mosaic virus by a salicylic acid and NPR1-independent and jasmonic acid-dependent signaling pathway. *The Plant Journal*, 39(3), 381-392.
- Sabet, H., and Mortazaeinezhad, F. (2018). Yield, growth and Fe uptake of cumin (*Cuminum cyminum* L.) affected by Fe-nano, Fe-chelated and Fe-siderophore fertilization in the calcareous soils. *Journal of Trace Elements in Medicine and Biology*, 50, 154-160.

- Sakakibara, H. (2006). Cytokinins: activity, biosynthesis, and translocation. *Annu. Rev. Plant Biol.*, 57, 431-449.
- Saleem, M., Arshad, M., Hussain, S., and Bhatti, A. S. (2007). Perspective of plant growth promoting rhizobacteria (PGPR) containing ACC deaminase in stress agriculture. *Journal of industrial Microbiology and Biotechnology*, 34(10), 635-648.
- San-Francisco, S., Houdusse, F., Zamarreño, A. M., Garnica, M., Casanova, E., and García-Mina, J. M. (2005). Effects of IAA and IAA precursors on the development, mineral nutrition, IAA content and free polyamine content of pepper plants cultivated in hydroponic conditions. *Scientia horticultruae*, 106(1), 38-52.
- Sanghi, A., Garg, N., Gupta, V., Mittal, A., and Kuhad, R. (2010). One-step purification and characterization of cellulase- free xylanase produced by alkalophilic *Bacillus subtilis* ash. *Brazilian Journal of Microbiology*, 41, 467-476.
- Schaller, G. E., Bishopp, A., and Kieber, J. J. (2015). The yin-yang of hormones: cytokinin and auxin interactions in plant development. *The Plant Cell*, 27(1), 44-63.
- Schardl, C., Hesse, U., Arnaoudova, E., Jaromczyk, J., Mark, F., and Schmid, J. (2010). *Overview of Epichloe festucae genomics*. Paper presented at the Proceedings of the Presentation at the International Symposium on Fungal Endophytes in Grasses, Lexington, KY.
- Seiwa, K. (2000). Effects of seed size and emergence time on tree seedling establishment: importance of developmental constraints. *Oecologia*, 123(2), 208-215.
- Seldin, L., Van Elsas, J., and Penido, E. (1984). *Bacillus azotofixans* sp. nov., a nitrogen-fixing species from Brazilian soils and grass roots. *International Journal of Systematic and Evolutionary Microbiology*, 34(4), 451-456.
- Seong, K.-Y., and Shin, P.-G. (1996). Effect of siderophore on biological control of plant pathogens and promotion of plant growth by *Pseudomonas fluorescens* ps88. *Applied Biological Chemistry*, 39(1), 20-24.

- Shabani, E. (2023). Improving the growth, P uptake and quality characteristics of 'Lollo Rosso' lettuce in the nutrient solution by *Bacillus subtilis* in different phosphorus concentrations. *Journal of Plant Nutrition*, 46(6), 971-983.
- Shi, L., Du, N., Shu, S., Sun, J., Li, S., and Guo, S. (2017). *Paenibacillus polymyxa* NSY50 suppresses *Fusarium* wilt in cucumbers by regulating the rhizospheric microbial community. *Scientific reports*, 7(1), 1-13.
- Shi, P., Tian, J., Yuan, T., Liu, X., Huang, H., Bai, Y., Yang, P., Chen, X., Wu, N., and Yao, B. (2010). *Paenibacillus* sp. strain E18 bifunctional xylanase-glucanase with a single catalytic domain. *Applied and environmental microbiology*, 76(11), 3620-3624.
- Sinha, R., Sinha, J., Gröniger, A., and Häder, D.-P. (2002). Polychromatic action spectrum for the induction of a mycosporine- like amino acid in a rice- field cyanobacterium, *Anabaena* sp. *Journal of Photochemistry and Photobiology B: Biology*, 66(1), 47-53.
- Sivasakthi, S., Kanchana, D., Usharani, G., and Saranraj, P. (2013). Production of plant growth promoting substance by *Pseudomonas fluorescens* and *Bacillus subtilis* isolates from paddy rhizosphere soil of Cuddalore District, Tamil Nadu, India. *Int. J. Microbiol. Res*, 4(3), 227-233.
- Song, J., Feng, G., Tian, C., and Zhang, F. (2005). Strategies for adaptation of *Suaeda physophora*, *Haloxylon ammodendron* and *Haloxylon persicum* to a saline environment during seed-germination stage. *Annals of Botany*, 96(3), 399-405.
- Souza, R. d., Ambrosini, A., and Passaglia, L. M. (2015). Plant growth-promoting bacteria as inoculants in agricultural soils. *Genetics and molecular biology*, 38, 401-419.
- Srisompun, O., Athipanyakul, T., and Isvilanonda, S. (2019). *The adoption of mechanization, labour productivity and household income: Evidence from rice production in Thailand*. Retrieved from

- Sun, B., Gu, L., Bao, L., Zhang, S., Wei, Y., Bai, Z., Zhuang, G., and Zhuang, X. (2020). Application of biofertilizer containing *Bacillus subtilis* reduced the nitrogen loss in agricultural soil. *Soil Biology and Biochemistry*, 148, 107911.
- Tae-Rang, K., Bu-Chul, C., Sung-Ae, J., and Eun-Hee, K. (2011). *Evaluation of nitrate contents of organic and conventional farming vegetables in Korea*. Paper presented at the International Conference on Chemical, Biological and Environment Sciences (ICCEBS'2011).
- Tagele, S. B., Kim, S. W., Lee, H. G., and Lee, Y. S. (2019). Potential of novel sequence type of *Burkholderia cenocepacia* for biological control of root rot of maize (*Zea mays* L.) caused by *Fusarium temperatum*. *International Journal of Molecular Sciences*, 20(5), 1005.
- Tank, N., and Saraf, M. (2009). Enhancement of plant growth and decontamination of nickel-spiked soil using PGPR. *Journal of Basic Microbiology*, 49(2), 195-204.
- Thilakarathna, M. S., and Raizada, M. N. (2017). A meta-analysis of the effectiveness of diverse rhizobia inoculants on soybean traits under field conditions. *Soil Biology and Biochemistry*, 105, 177-196.
- Tahir, H. A., Gu, Q., Wu, H., Raza, W., Hanif, A., Wu, L., Colman, M., and Gao, X. (2017). Plant growth promotion by volatile organic compounds produced by *Bacillus subtilis* SYST2. *Frontiers in Microbiology*, 8, 171.
- Tilak, K., Ranganayaki, N., Pal, K., De, R., Saxena, A., Nautiyal, C. S., Mittal, S., Tripathi, A., and Johri, B. (2005). Diversity of plant growth and soil health supporting bacteria. *Current science*, 136-150.
- Tiwari, S., and Lata, C. (2018). Heavy metal stress, signaling, and tolerance due to plant-associated microbes: an overview. *Frontiers in plant science*, 9, 452.
- USDA, U. (2015). National nutrient database for standard reference, release 28. *Nutrients: Vitamin C, total ascorbic acid*.

- Vafadar, F., Amooaghaie, R., and Otrushy, M. (2014). Effects of plant-growth-promoting rhizobacteria and arbuscular mycorrhizal fungus on plant growth, stevioside, NPK, and chlorophyll content of *Stevia rebaudiana*. *Journal of Plant Interactions*, 9(1), 128-136.
- Vessey, J. K. (2003). Plant growth promoting rhizobacteria as biofertilizers. *Plant and soil*, 255(2), 571-586.
- Vijayabharathi, R., Sathya, A., and Gopalakrishnan, S. (2016). A renaissance in plant growth- promoting and biocontrol agents by endophytes. In *Microbial inoculants in sustainable agricultural productivity* (pp. 37-60): Springer.
- Waeonukul, R., Kyu, K. L., Sakka, K., and Ratanakhanokchai, K. (2009). Isolation and characterization of a multienzyme complex (cellulosome) of the *Paenibacillus curdlanolyticus* B-6 grown on Avicel under aerobic conditions. *Journal of bioscience and bioengineering*, 107(6), 610-614.
- Walia, A., Mehta, P., Chauhan, A., and Shirkot, C. (2013). Production of alkalophilic xylanases by *Paenibacillus polymyxa* CKWX1 isolated from decomposing wood. *Proceedings of the National Academy of Sciences, India Section B: Biological Sciences*, 83(2), 215-223.
- Wang, A., Li, J., and Bewley, J. D. (2004). Molecular cloning and characterization of an endo- $\beta$ -mannanase gene expressed in the lettuce endosperm following radicle emergence. *Seed Science Research*, 14(3), 267-276.
- Wang, H.-W., Zhu, Y.-X., Xu, M., Cai, X.-Y., and Tian, F. (2022). Co-application of spent mushroom substrate and PGPR alleviates tomato continuous cropping obstacle by regulating soil microbial properties. *Rhizosphere*, 23, 100563.
- Wang, X., Tang, J., Xu, Q., Shen, W., Wang, Y., Liu, J., Wang, Y., Huang, L., Jiao, J., and Wang, D. (2015). Fluorescent polymeric aggregates induced by  $\text{Eu}^{3+}$  ions and their surface morphologies. *Optical Materials*, 46, 28-33.
- Walia, A., Mehta, P., Chauhan, A., and Shirkot, C. K. (2014). Effect of *Bacillus subtilis* strain CKT1 as inoculum on growth of tomato seedlings under net house



- conditions. *Proceedings of the National Academy of Sciences, India Section B: Biological Sciences*, 84, 145-155.
- Wani, P. A., Zaidi, A., and Khan, M. S. (2009). Chromium reducing and plant growth promoting potential of Mesorhizobium species under chromium stress. *Bioremediation journal*, 13(3), 121-129.
- Willis, C. G., Baskin, C. C., Baskin, J. M., Auld, J. R., Venable, D. L., Cavender-Bares, J., Donohue, K., Rubio de Casas, R., and Group, N. G. W. (2014). The evolution of seed dormancy: environmental cues, evolutionary hubs, and diversification of the seed plants. *New Phytologist*, 203(1), 300-309.
- Wisniewski-Dyé, F., Borziak, K., Khalsa-Moyers, G., Alexandre, G., Sukharnikov, L. O., Wuichet, K., Hurst, G. B., McDonald, W. H., Robertson, J. S., and Barbe, V. (2011). Azospirillum genomes reveal transition of bacteria from aquatic to terrestrial environments. *PLoS genetics*, 7(12), e1002430.
- Xiao, Y., Wang, X., Chen, W., and Huang, Q. (2017). Isolation and identification of three potassium-solubilizing bacteria from rape rhizospheric soil and their effects on ryegrass. *Geomicrobiology Journal*, 34(10), 873-880.
- Xu, W.-f., Ren, H.-s., Ou, T., Lei, T., Wei, J.-h., Huang, C.-s., Li, T., Strobel, G., Zhou, Z.-y., and Xie, J. (2019). Genomic and functional characterization of the endophytic Bacillus subtilis 7PJ-16 strain, a potential biocontrol agent of mulberry fruit sclerotiniose. *Microbial Ecology*, 77(3), 651-663.
- Yan, Z., He, D., Niu, G., and Zhai, H. (2019). Evaluation of growth and quality of hydroponic lettuce at harvest as affected by the light intensity, photoperiod and light quality at seedling stage. *Scientia Horticulturae*, 248, 138-144.
- Yang, H., and Murphy, A. S. (2009). Functional expression and characterization of Arabidopsis ABCB, AUX 1 and PIN auxin transporters in Schizosaccharomyces pombe. *The Plant Journal*, 59(1), 179-191.

- Yousef, N. M. (2018). Capability of plant growth-promoting rhizobacteria (PGPR) for producing indole acetic acid (IAA) under extreme conditions. *European Journal of Biological Research*, 8(4), 174-182.
- Yuan, J., Yang, F., Wang, L., Ma, J., Li, J., Pu, X., Raza, W., Huang, Q., and Shen, Q. (2017). PGPR strain *Paenibacillus polymyxa* SQR-21 potentially benefits watermelon growth by re-shaping root protein expression. *AMB Express*, 7(1), 1-12.
- Zahir, Z. A., Ghani, U., Naveed, M., Nadeem, S. M., and Asghar, H. N. (2009). Comparative effectiveness of *Pseudomonas* and *Serratia* sp. containing ACC-deaminase for improving growth and yield of wheat (*Triticum aestivum* L.) under salt-stressed conditions. *Archives of microbiology*, 191(5), 415-424.
- Zhang, A.-m., Zhao, G.-y., Gao, T.-g., Wang, W., Li, J., Zhang, S.-f., and Zhu, B.-c. (2013). Solubilization of insoluble potassium and phosphate by *Paenibacillus kribensis* CX-7: a soil microorganism with biological control potential. *African Journal of Microbiology Research*, 7(1), 41-47.
- Zhang, S., Moyne, A.-L., Reddy, M., and Kloepper, J. W. (2002). The role of salicylic acid in induced systemic resistance elicited by plant growth-promoting rhizobacteria against blue mold of tobacco. *Biological control*, 25(3), 288-296.
- Zhao, F., Zhang, Y., Li, Z., Shi, J., Zhang, G., Zhang, H., and Yang, L. (2020). Vermicompost improves microbial functions of soil with continuous tomato cropping in a greenhouse. *Journal of Soils and Sediments*, 20(1), 380-391.
- Zheng, H.-c., Sun, M.-z., Meng, L.-c., Pei, H.-s., Zhang, X.-q., Yan, Z., Zeng, W.-h., Zhang, J.-s., Hu, J.-r., and Lu, F.-p. (2014). Purification and characterization of a thermostable xylanase from *Paenibacillus* sp. NF1 and its application in xylooligosaccharides production. *Journal of Microbiology and Biotechnology*, 24(4), 489-496.
- Zheng, W., Zeng, S., Bais, H., LaManna, J. M., Hussey, D. S., Jacobson, D. L., and Jin, Y. (2018). Plant growth-promoting rhizobacteria (PGPR) reduce evaporation and increase soil water retention. *Water Resources Research*, 54(5), 3673-3687.

- Zhou, J., Wu, Q., Zhang, R., Mo, M., Tang, X., Li, J., Xu, B., Ding, J., Lu, Q., and Huang, Z. (2014). A thermo-halo-tolerant and proteinase-resistant endoxylanase from *Bacillus* sp. HJ14. *Folia microbiologica*, 59(5), 423-431.
- Zohora, U. S., Ano, T., and Rahman, M. S. (2016). Biocontrol of *Rhizoctonia solani* K1 by iturin A producer *Bacillus subtilis* RB14 seed treatment in tomato plants. *Advances in Microbiology*, 6(06), 424.
- Zuo, Y., and Zhang, F. (2011). Soil and crop management strategies to prevent iron deficiency in crops. *Plant and soil*, 339(1), 83-95.
- Zyskowky, J., Navazio, J., Morton, F., and Colley, M. (2010). Principles and practices of organic lettuce seed production in the Pacific Northwest. *Organic Seed Alliance, Port Townsend, WA*.

### บทความหนังสือพิมพ์

- นโยบายและแผนการส่งเสริมและรักษาคุณภาพสิ่งแวดล้อมแห่งชาติ พ.ศ. 2560-2579. สำนักงานนโยบายและแผนทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม กระทรวงทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม. กรุงเทพมหานคร
- มาตรฐานสินค้าเกษตร มชก.9000 เล่ม 1-2552. 2561. สำนักงานมาตรฐานสินค้าเกษตรและอาหารแห่งชาติ กระทรวงเกษตรและสหกรณ์. กรุงเทพมหานคร

### วิทยานิพนธ์

- นฤมล เอกวัฒน์ชัย. 2562. การผลิตแมนนาเนสและไฮลาเนสจาก *Bacillus subtilis* BTK07 และ *Paenibacillus polymyxa* BTK01. วิทยานิพนธ์ปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์, ปทุมธานี.
- สุทธวรรณ วชิรณัฐ, อรประภา เทพศิลป์วิสุทธิ์, พัทธ์เพ็ญ ภูมิพันธ์, สมชาย ชดตระกูล. 2563. ผลของปุ๋ยมูลไก่ และถ่านชีวภาพต่อ สมบัติทางเคมีของดินและการเจริญเติบโตของ ผักกาดหอมพันธุ์กรีนโอ๊คที่ปลูกในสภาพดินกรด. วิทยานิพนธ์ปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์, ปทุมธานี.

## สื่ออิเล็กทรอนิกส์

รูปร่างของแบคทีเรีย. 30 มิถุนายน 2564. สืบค้นจาก

<https://www.foodnetworksolution.com/wiki/word/bacteria>

ลักษณะของ *Bacillus* sp., Gram strain และ Scanning electron microscope. 30 มิถุนายน

2564. สืบค้นจาก [https://en.wikipedia.org/wiki/Bacillus\\_subtilis](https://en.wikipedia.org/wiki/Bacillus_subtilis)

ลักษณะของ *Paenibacillus* sp., Gram strain และ Scanning electron microscope. 30

มิถุนายน 2564. สืบค้นจาก [https://en.wikipedia.org/wiki/Paenibacillus\\_polymyxa](https://en.wikipedia.org/wiki/Paenibacillus_polymyxa)

ลักษณะโครงสร้างของเชื้อราและยีสต์. 30 มิถุนายน 2564. สืบค้นจาก

[https://www.pw.ac.th/main/website/sci/1\\_data.htm](https://www.pw.ac.th/main/website/sci/1_data.htm)

ลักษณะโครงสร้างของ *Anabaena* sp. และ *Nostoc* sp. 30 มิถุนายน 2564. สืบค้นจาก

<https://en.wikipedia.org/wiki/Cyanobacteria>

ผักสลัดใบสายพันธุ์ Green Oak และ Red Oak. 30 มิถุนายน 2564. สืบค้นจาก

<https://www.ameriseed.net/product/lettuce-oak/>

ผักสลัดปลีสายพันธุ์ New York Wonderful Great Lake. 30 มิถุนายน 2564. สืบค้นจาก

<http://ramgoseeds.com/vegetable/lettuce/>

ผักสลัดบัตเตอร์สายพันธุ์ Boston. 30 มิถุนายน 2564. สืบค้นจาก

<https://monasterybakery.com/product/boston-lettuce/>

ผักสลัดคอสสายพันธุ์ Paris White Cursor. 30 มิถุนายน 2564. สืบค้นจาก

<https://www.edenbrothers.com/store/paris-white-cos-lettuce-seeds.html>

ผักกาดหอมต้นสายพันธุ์ Celtuce. 30 มิถุนายน 2564. สืบค้นจาก

<https://www.theseedcollection.com.au/Celtuce>

ภาคผนวก



## ภาคผนวก ก

### อาหารเลี้ยงเชื้อ สารเคมี และวิธีการเตรียมสาร

#### 1 การเตรียมอาหารเลี้ยงเชื้อจุลินทรีย์

##### 1.1 การเตรียมอาหาร Nutrient broth (NB)

ชั่งอาหารสำเร็จรูป nutrient broth 13.0 กรัม และเติมน้ำกลั่นปริมาตร 1000 มิลลิลิตร และทำให้ปลอดเชื้อที่อุณหภูมิ 121 องศาเซลเซียส ภายใต้ความดัน 15 ปอนด์ต่อตารางนิ้ว เป็นเวลา 15 นาที

##### 1.2 การเตรียมอาหาร Nutrient agar (NA)

ชั่งอาหารสำเร็จรูป nutrient agar 28.0 กรัม และเติมน้ำกลั่นปริมาตร 1000 มิลลิลิตร และทำให้ปลอดเชื้อที่อุณหภูมิ 121 องศาเซลเซียส ภายใต้ความดัน 15 ปอนด์ต่อตารางนิ้ว เป็นเวลา 15 นาที จากนั้นจึงเทลงในจานเพาะเลี้ยงเชื้อในปริมาตร 20 มิลลิลิตร ต่อจานเพาะเลี้ยงแล้วทิ้งไว้ให้แข็งตัวก่อนนำไปใช้ต่อไป

#### 2.การเตรียมอาหารเลี้ยงเชื้อสำหรับผลิตเอนไซม์และน้ำหมัก (Mineral salt broth)

##### 2.1 สารเคมีที่ใช้

สำหรับ *Paenibacillus polymyxa* BTK01 ประกอบด้วย (น้ำหนักโดยปริมาตร)

|                                           |      |           |
|-------------------------------------------|------|-----------|
| ฟางข้าว (Rice straw)                      | 15.0 | กรัม      |
| กากถั่วเหลือง (Soybean meal)              | 17.2 | กรัม      |
| ไดโพแทสเซียมไฮโดรเจนฟอสเฟต ( $K_2HPO_4$ ) | 4.0  | กรัม      |
| โพแทสเซียมคลอไรด์ (KCl)                   | 0.2  | กรัม      |
| แมกนีเซียมซัลเฟต ( $MgSO_4 \cdot 7H_2O$ ) | 1.0  | กรัม      |
| เฟอร์รัสซัลเฟต ( $FeSO_4 \cdot 7H_2O$ )   | 0.02 | กรัม      |
| น้ำกลั่น (Distilled water)                | 1000 | มิลลิลิตร |

สำหรับ *Bacillus subtilis* BTK07 ประกอบด้วย (น้ำหนักโดยปริมาตร)

|                                           |      |      |
|-------------------------------------------|------|------|
| กากมะพร้าว (Copra meal)                   | 10.0 | กรัม |
| กากถั่วเหลือง (Soybean meal)              | 12.9 | กรัม |
| ไดโพแทสเซียมไฮโดรเจนฟอสเฟต ( $K_2HPO_4$ ) | 4.0  | กรัม |

|                                                                |      |           |
|----------------------------------------------------------------|------|-----------|
| โพแทสเซียมคลอไรด์ (KCl)                                        | 0.2  | กรัม      |
| แมกนีเซียมซัลเฟต ( $\text{MgSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$ ) | 1.0  | กรัม      |
| เฟอร์รัสซัลเฟต ( $\text{FeSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$ )   | 0.02 | กรัม      |
| น้ำกลั่น (Distilled water)                                     | 1000 | มิลลิลิตร |

## 2.2 วิธีการเตรียมอาหารสำหรับผลิตเอนไซม์และน้ำหมัก (1000 มิลลิลิตร)

ชั่งสารเคมีตามอัตราส่วนข้างต้น จากนั้นปรับปริมาตรให้ครบ 1000 มิลลิลิตร แล้วนำไปทำให้ปลอดเชื้อที่อุณหภูมิ 121 องศาเซลเซียส ภายใต้ความดัน 15 ปอนด์ต่อตารางนิ้ว เป็นเวลา 15 นาที

## 3 การเตรียมสารละลาย DNS สำหรับการวิเคราะห์ปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์

### 3.1 สารเคมีที่ใช้

- 3.1.1 กรดไดไนโตรซาลิไซลิก (3,5-dinitrosalicylic acid; DNS)
- 3.1.2 โซเดียมไฮดรอกไซด์ (NaOH)
- 3.1.3 โซเดียมโพแทสเซียมทาร์เทรต ( $\text{KNaH}_4\text{H}_4\text{O}_6 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$ )

### 3.2 วิธีการเตรียมสารละลาย DNS (1000 มิลลิลิตร)

- 3.2.1 การเตรียมสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ 8 เปอร์เซ็นต์

ชั่งโซเดียมไฮดรอกไซด์ 16.0 กรัม ละลายในน้ำกลั่น 200 มิลลิลิตร

- 3.2.1 การเตรียมสารละลาย DNS

ชั่ง DNS 10.0 กรัม ละลายในน้ำกลั่น 250 มิลลิลิตร จากนั้นเติมสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ 8 เปอร์เซ็นต์ ที่เตรียมไว้ลงไปทีละน้อย คนให้ละลายทั้งหมด แล้วนำไปอุ่นในอ่างน้ำร้อนจนกระทั่งสารละลายใส จากนั้นเติมโซเดียมทาร์เทรตลงไปทีละน้อยจนครบ 300.0 กรัม แล้วปรับปริมาตรสุดท้ายเป็น 1000 มิลลิลิตร

## 4. การเตรียมสารละลายบัฟเฟอร์

### 4.1 สารละลายโซเดียมซิเตรทบัฟเฟอร์ (Sodium citrate Buffer) 0.2 โมลาร์

- 4.1.1 สารละลาย A: Citric acid ( $\text{HOC}(\text{COOH})(\text{CH}_2\text{COOH})_2 \cdot \text{H}_2\text{O}$ )
- 4.1.2 สารละลาย B: Tri-sodium citrate ( $\text{Na}_3\text{C}_6\text{H}_5\text{O}_7 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ )

ผสมสารละลาย A จำนวน x มิลลิลิตร กับสารละลาย B จำนวน y มิลลิลิตร โดยปรับค่าพีเอชของสารละลายดังกล่าวให้มีค่าพีเอชตามต้องการ จากนั้นปรับปริมาตรเป็น 1000 มิลลิลิตร



ตารางที่ ก-1 ปริมาตรที่ใช้ในการเตรียมสารละลายซีเตรท-ฟอสเฟตบัฟเฟอร์

| pH  | x    | y    |
|-----|------|------|
| 3.0 | 93.0 | 7.0  |
| 3.2 | 87.4 | 12.6 |
| 3.4 | 80.0 | 20.0 |
| 3.6 | 74.0 | 26.0 |
| 3.8 | 70.0 | 30.0 |
| 4.0 | 66.0 | 34.0 |
| 4.2 | 63.0 | 37.0 |
| 4.4 | 56.0 | 44.0 |
| 4.6 | 51.0 | 49.0 |
| 4.8 | 46.0 | 54.0 |
| 5.0 | 41.0 | 59.0 |
| 5.2 | 36.0 | 64.0 |
| 5.4 | 32.0 | 68.0 |
| 5.6 | 27.4 | 72.6 |
| 5.8 | 23.6 | 76.4 |
| 6.0 | 19.0 | 81.0 |
| 6.2 | 14.4 | 85.6 |

#### 4.2 สารละลายโซเดียมฟอสเฟตบัฟเฟอร์ (Sodium phosphate buffer) 0.2 โมลาร์

4.2.1 สารละลาย A: dibasic sodium phosphate ( $\text{Na}_2\text{HPO}_4$ )

4.2.2 สารละลาย B: monobasic sodium phosphate ( $\text{NaH}_2\text{PO}_4$ )

ผสมสารละลาย A จำนวน  $x$  มิลลิลิตร กับสารละลาย B จำนวน  $y$  มิลลิลิตร โดยปรับค่า

พีเอชของสารละลายดังกล่าวให้มีค่าพีเอชตามต้องการ จากนั้นปรับปริมาตรเป็น 1000 มิลลิลิตร

ตารางที่ ก-2 ปริมาตรที่ใช้ในการเตรียมสารละลายโซเดียมฟอสเฟตบัฟเฟอร์

| pH  | x     | y    |
|-----|-------|------|
| 5.8 | 8.0   | 92.0 |
| 6.0 | 12.2  | 87.7 |
| 6.2 | 18.5  | 81.5 |
| 6.4 | 26.5  | 73.5 |
| 6.6 | 37.5  | 62.5 |
| 6.8 | 49.0  | 51.0 |
| 7.0 | 61.0  | 39.0 |
| 7.2 | 72.0  | 28.0 |
| 7.4 | 81.0  | 19.0 |
| 7.6 | 87.0  | 13.0 |
| 7.8 | 91.75 | 8.5  |
| 8.0 | 94.7  | 5.3  |

### 4.3 สารละลายไกลซีน-โซเดียมไฮดรอกไซด์บัฟเฟอร์ (glycine-NaOH buffer) 0.2 โมลาร์

4.3.1 สารละลาย A: glycine

4.3.2 สารละลาย B: sodium hydroxide (NaOH)

ผสมสารละลาย A จำนวน 100 มิลลิลิตร กับสารละลาย B จำนวน x มิลลิลิตร โดยปรับค่าพีเอชของสารละลายดังกล่าวให้มีค่าพีเอชตามต้องการ จากนั้นปรับปริมาตรเป็น 1000 มิลลิลิตร

**ตารางที่ ก-3** ปริมาตรที่ใช้ในการเตรียมสารละลายไกลซีน-โซเดียมไฮดรอกไซด์บัฟเฟอร์

| pH   | x    | y    |
|------|------|------|
| 8.6  | 8.0  | 92.0 |
| 8.10 | 12.2 | 87.7 |
| 9.0  | 18.5 | 81.5 |
| 9.2  | 26.5 | 73.5 |
| 9.4  | 37.5 | 62.5 |
| 9.6  | 49.0 | 51.0 |
| 9.8  | 61.0 | 39.0 |
| 10.0 | 72.0 | 28.0 |
| 10.4 | 81.0 | 19.0 |
| 10.6 | 87.0 | 13.0 |

## 5. การเตรียมสารละลายสำหรับวิเคราะห์ปริมาณโปรตีนโดยวิธีลาวรี (lowry method) (OH, 1951)

### 5.1 สารละลาย A (100 มิลลิลิตร)

- 5.1.1 คอปเปอร์ซัลเฟต ( $\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$ ) ยี่ห้อ Univar 0.5 กรัม
- 5.1.2 โซเดียมซิเตรต ( $\text{Na}_3\text{C}_6\text{H}_5\text{O}_7 \cdot 7.2 \text{H}_2\text{O}$ ) ยี่ห้อ Univar 1.0 กรัม
- 5.1.3 น้ำกลั่น 100 มิลลิลิตร

### 5.2 สารละลาย B (1000 มิลลิลิตร)

- 5.2.1 โซเดียมคาร์บอเนต ( $\text{Na}_2\text{CO}_3$ ) ยี่ห้อ Univar 20.0 กรัม
- 5.2.2 โซเดียมไฮดรอกไซด์ ( $\text{NaOH}$ ) ยี่ห้อ Univar 4.0 กรัม
- 5.2.3 น้ำกลั่น 1000 มิลลิลิตร

### 5.3 สารละลาย C

- 5.3.1 สารละลาย A 1.0 มิลลิลิตร
- 5.3.2 สารละลาย B 50.0 มิลลิลิตร

### 5.4 สารละลาย D (เตรียมเมื่อใช้งาน)

- 5.4.1 Folin-ciocalteu phenol reagent 10 มิลลิลิตร
- 5.4.2 2 น้ำกลั่น 10 มิลลิลิตร

### 5.5 การเตรียมสารละลาย BSA มาตรฐาน

ละลาย bovine serum albumin (BSA) จำนวน 0.1 กรัม ในน้ำกลั่น เขย่าเบา ๆ (ระวังอย่าให้เกิดฟอง) จากนั้นปรับปริมาตรให้ได้ 100 มิลลิลิตร ใช้เป็นสารละลายมาตรฐานโปรตีน โดยมีปริมาณโปรตีน 1000 ไมโครกรัมต่อมิลลิลิตร

### 5.6 การวิเคราะห์ปริมาณของโปรตีน

ปิเปตสารตัวอย่างปริมาตร 0.5 มิลลิลิตร ลงในหลอดทดลอง จากนั้นเติมสารละลาย C ปริมาณ 0.5 มิลลิลิตร แล้วผสมสารละลายให้เข้ากัน จากนั้นตั้งทิ้งไว้ที่อุณหภูมิห้องนาน 10 นาที เมื่อครบเวลาเติมสารละลาย D ปริมาตร 0.25 มิลลิลิตร ผสมให้เข้ากัน แล้วตั้งทิ้งไว้ที่อุณหภูมิห้องนาน 30 นาที จากนั้นวัดค่าการดูดกลืนแสงที่ 750 นาโนเมตร แล้วนำหาปริมาณของโปรตีนโดยเปรียบเทียบกับกราฟมาตรฐาน

## ภาคผนวก ข

### วิธีวิเคราะห์และกราฟมาตรฐาน

#### 1 การเตรียมกราฟมาตรฐานของน้ำตาลรีดิวซ์ด้วยการใช้สารละลายไดไนโตรซาลิไซลิก (DNS)

##### 1.1 สารเคมีที่ใช้

- 1.1.1 น้ำตาลแมนโนส (mannose)
- 1.1.2 น้ำตาลไซโลส (xylose)
- 1.1.3 กรดไดไนโตรซาลิไซลิก (3,5-dinitrosalicylic acid; DNS)

##### 1.2 วิธีสร้างกราฟมาตรฐาน

1.2.1 เตรียมสารละลายที่เป็น stock ของน้ำตาลแมนโนสและน้ำตาลไซโลสความเข้มข้น 1000 ไมโครกรัมต่อมิลลิลิตร ในขวดปรับปริมาตร โดยละลายน้ำตาลแมนโนสหรือน้ำตาลไซโลสจำนวน 0.1 กรัม ในน้ำกลั่นเล็กน้อยเขย่าเบา ๆ ให้ละลายหมด จากนั้นนำไปปรับปริมาตรในขวดปรับปริมาตรให้เป็น 100 มิลลิลิตร

1.2.2 เตรียมสารละลายน้ำตาลแมนโนสหรือน้ำตาลไซโลสให้มีความเข้มข้น 0-1000 ไมโครกรัมต่อมิลลิลิตร ดังตาราง ข-1

1.2.3 ปิเปตสารตัวอย่างใส่ในหลอดทดลองหลอดละ 1 มิลลิลิตร และปิเปตสารละลาย DNS หลอดละ 1 มิลลิลิตร ผสมให้เข้ากัน จากนั้นนำไปต้มในน้ำเดือด 100 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 5 นาที แล้วทำให้เย็นลงทันที

1.2.4 เติมน้ำกลั่นปริมาตร 10 มิลลิลิตร ในแต่ละหลอดทดลองแล้วนำไปวัดค่าการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 540 นาโนเมตร ( $OD_{540}$ )

1.2.5 นำค่าที่ได้ไปเขียนกราฟระหว่างค่า  $OD_{540}$  กับความเข้มข้นของน้ำตาลแมนโนสและน้ำตาลไซโลส

**ตารางที่ ข-1** การเตรียมสารละลายน้ำตาลแมนโนสหรือน้ำตาลไซโลสให้มีความเข้มข้น 0-1000 ไมโครกรัมต่อมิลลิลิตร

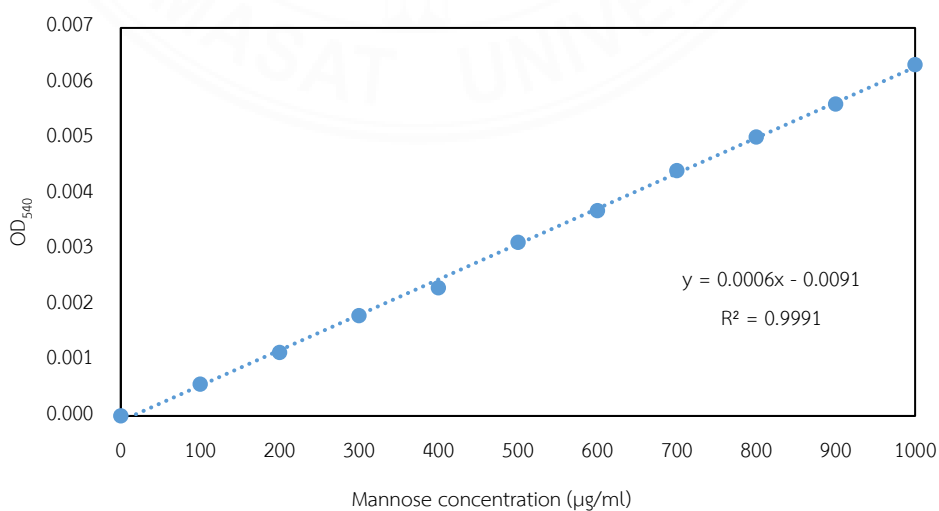
| หลอดที่ | Stock solution ของ<br>น้ำตาลแมนโนสหรือไซโลส<br>(มิลลิลิตร) | น้ำกลั่น<br>(มิลลิลิตร) | ความเข้มข้นของน้ำตาล<br>แมนโนสหรือไซโลส<br>(ไมโครกรัมต่อมิลลิลิตร) |
|---------|------------------------------------------------------------|-------------------------|--------------------------------------------------------------------|
| 1       | 0                                                          | 1.0                     | 0                                                                  |
| 2       | 0.1                                                        | 0.9                     | 100                                                                |
| 3       | 0.2                                                        | 0.8                     | 200                                                                |
| 4       | 0.3                                                        | 0.7                     | 300                                                                |
| 5       | 0.4                                                        | 0.6                     | 400                                                                |
| 6       | 0.5                                                        | 0.5                     | 500                                                                |
| 7       | 0.6                                                        | 0.4                     | 600                                                                |
| 8       | 0.7                                                        | 0.3                     | 700                                                                |
| 9       | 0.8                                                        | 0.2                     | 800                                                                |
| 10      | 0.9                                                        | 0.1                     | 900                                                                |
| 11      | 1.0                                                        | 0                       | 1000                                                               |

### 1.3 กราฟมาตรฐานน้ำตาลแมนโนสและไซโลส

#### 1.3.1 น้ำตาลแมนโนส

ตารางที่ ข-2 ค่าการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 540 นาโนเมตร ของน้ำตาลแมนโนสที่ความเข้มข้น 0-1000 ไมโครกรัมต่อมิลลิลิตร

| ความเข้มข้นของ<br>น้ำตาลแมนโนส<br>(ไมโครกรัมต่อมิลลิลิตร) | ค่าการดูดกลืนแสงที่ 540 นาโนเมตร |          |          | ค่าเฉลี่ย | ค่าเบี่ยงเบน<br>มาตรฐาน |
|-----------------------------------------------------------|----------------------------------|----------|----------|-----------|-------------------------|
|                                                           | ซ้ำที่ 1                         | ซ้ำที่ 2 | ซ้ำที่ 3 |           |                         |
| 0                                                         | 0.000                            | 0.000    | 0.000    | 0.000     | 0.000                   |
| 100                                                       | 0.055                            | 0.061    | 0.056    | 0.057     | 0.003                   |
| 200                                                       | 0.111                            | 0.114    | 0.119    | 0.115     | 0.004                   |
| 300                                                       | 0.179                            | 0.184    | 0.180    | 0.181     | 0.003                   |
| 400                                                       | 0.184                            | 0.254    | 0.256    | 0.231     | 0.041                   |
| 500                                                       | 0.321                            | 0.306    | 0.311    | 0.313     | 0.008                   |
| 600                                                       | 0.368                            | 0.374    | 0.370    | 0.371     | 0.003                   |
| 700                                                       | 0.446                            | 0.443    | 0.439    | 0.443     | 0.004                   |
| 800                                                       | 0.502                            | 0.509    | 0.499    | 0.503     | 0.005                   |
| 900                                                       | 0.549                            | 0.562    | 0.578    | 0.563     | 0.015                   |
| 1000                                                      | 0.619                            | 0.672    | 0.611    | 0.634     | 0.033                   |



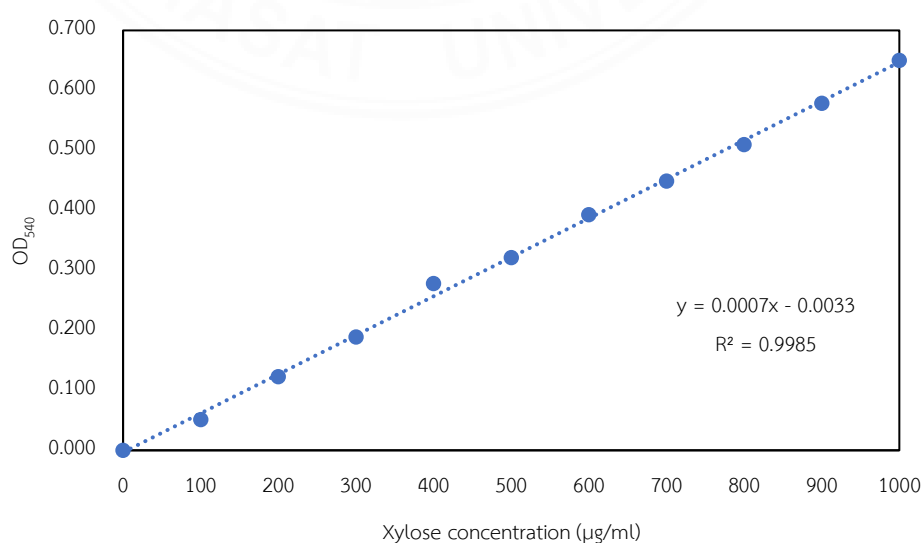


ภาพที่ ข-2 กราฟมาตรฐานน้ำตาลแมนโนสที่ความเข้มข้น 0-1000 ไมโครกรัมต่อมิลลิลิตร

### 1.3.2 น้ำตาลไซโลส

ตารางที่ ข-3 ค่าการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 540 นาโนเมตร ของน้ำตาลไซโลสที่ความเข้มข้น 0-1000 ไมโครกรัมต่อมิลลิลิตร

| ความเข้มข้นของ<br>น้ำตาลแมนโนส<br>(ไมโครกรัมต่อมิลลิลิตร) | ค่าการดูดกลืนแสงที่ 540 นาโนเมตร |          |          | ค่าเฉลี่ย | ค่าเบี่ยงเบน<br>มาตรฐาน |
|-----------------------------------------------------------|----------------------------------|----------|----------|-----------|-------------------------|
|                                                           | ซ้ำที่ 1                         | ซ้ำที่ 2 | ซ้ำที่ 3 |           |                         |
| 0                                                         | 0.000                            | 0.000    | 0.000    | 0.000     | 0.000                   |
| 100                                                       | 0.050                            | 0.052    | 0.051    | 0.051     | 0.001                   |
| 200                                                       | 0.119                            | 0.122    | 0.127    | 0.123     | 0.004                   |
| 300                                                       | 0.187                            | 0.190    | 0.189    | 0.189     | 0.002                   |
| 400                                                       | 0.275                            | 0.275    | 0.284    | 0.278     | 0.005                   |
| 500                                                       | 0.313                            | 0.322    | 0.328    | 0.321     | 0.008                   |
| 600                                                       | 0.392                            | 0.390    | 0.396    | 0.393     | 0.003                   |
| 700                                                       | 0.445                            | 0.449    | 0.452    | 0.449     | 0.004                   |
| 800                                                       | 0.505                            | 0.510    | 0.514    | 0.510     | 0.005                   |
| 900                                                       | 0.560                            | 0.587    | 0.588    | 0.578     | 0.016                   |
| 1000                                                      | 0.636                            | 0.650    | 0.662    | 0.650     | 0.013                   |



ภาพที่ ข-3 กราฟมาตรฐานน้ำตาลไซโลสที่ความเข้มข้น 0-1000 ไมโครกรัมต่อมิลลิลิตร

## 2. การเตรียมกราฟมาตรฐาน BSA สำหรับการวิเคราะห์ปริมาณโปรตีนโดยวิธีลาวรี (lowry method)

### 2.1 การเตรียมสารละลาย bovine serum albumin (BSA) ความเข้มข้น 500 ไมโครกรัมต่อมิลลิลิตร

ละลาย BSA 0.1 กรัม ในน้ำกลั่นจากนั้นเขย่าเบา ๆ เมื่อสารละลายเข้ากันให้ปรับปริมาตรโดยใช้น้ำกลั่นจนครบ 100 มิลลิลิตร

### 2.2 วิธีการสร้างกราฟมาตรฐาน BSA

2.2.1 เตรียมสารละลาย BSA ให้มีความเข้มข้น 0-500 ไมโครกรัมต่อมิลลิลิตร ดังตารางที่ ข-4

2.2.2 ปิเปตสารละลายมาตรฐาน BSA ปริมาตร 0.5 มิลลิลิตร ลงในหลอดทดลอง

2.2.3 เติมสารละลาย C ปริมาตร 2.5 มิลลิลิตร ผสมให้เข้ากัน ตั้งทิ้งไว้ที่อุณหภูมิห้องเป็นเวลา 10 นาที

2.2.4 เติมสารละลาย D ปริมาตร 0.25 มิลลิลิตร ผสมให้เข้ากัน ตั้งทิ้งไว้ที่อุณหภูมิห้องเป็นเวลา 30 นาที

2.2.5 วัดค่าการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 750 นาโนเมตร ( $OD_{750}$ ) แล้วนำค่าที่ได้ไปสร้างกราฟมาตรฐาน

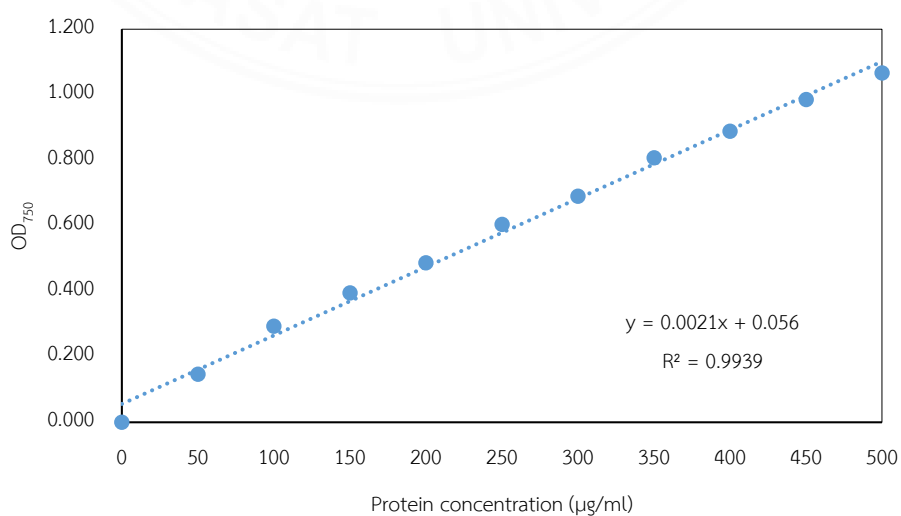
ตารางที่ ข-4 การเตรียมสารละลาย BSA ให้มีความเข้มข้น 0-500 ไมโครกรัมต่อมิลลิลิตร

| หลอดที่ | Stock solution BSA<br>(มิลลิลิตร) | น้ำกลั่น<br>(มิลลิลิตร) | ความเข้มข้นของ BSA<br>(ไมโครกรัมต่อมิลลิลิตร) |
|---------|-----------------------------------|-------------------------|-----------------------------------------------|
| 1       | 0                                 | 1.0                     | 0                                             |
| 2       | 0.05                              | 0.95                    | 50                                            |
| 3       | 0.1                               | 0.9                     | 100                                           |
| 4       | 0.15                              | 0.85                    | 150                                           |
| 5       | 0.2                               | 0.8                     | 200                                           |
| 6       | 0.25                              | 0.75                    | 250                                           |
| 7       | 0.3                               | 0.7                     | 300                                           |
| 8       | 0.35                              | 0.65                    | 350                                           |
| 9       | 0.4                               | 0.6                     | 400                                           |
| 10      | 0.45                              | 0.55                    | 450                                           |
| 11      | 0.5                               | 0.5                     | 500                                           |

### 2.3 กราฟมาตรฐาน BSA

ตารางที่ ข-5 ค่าการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 750 นาโนเมตร ของสารละลาย BSA ที่ความเข้มข้น 0-500 ไมโครกรัมต่อมิลลิลิตร

| ความเข้มข้นของ BSA<br>(ไมโครกรัมต่อมิลลิลิตร) | ค่าการดูดกลืนแสงที่ 750 นาโนเมตร |          |          | ค่าเฉลี่ย | ค่าเบี่ยงเบน<br>มาตรฐาน |
|-----------------------------------------------|----------------------------------|----------|----------|-----------|-------------------------|
|                                               | ซ้ำที่ 1                         | ซ้ำที่ 2 | ซ้ำที่ 3 |           |                         |
| 0                                             | 0.000                            | 0.000    | 0.000    | 0.000     | 0.000                   |
| 50                                            | 0.146                            | 0.145    | 0.151    | 0.147     | 0.003                   |
| 100                                           | 0.292                            | 0.294    | 0.293    | 0.293     | 0.001                   |
| 150                                           | 0.398                            | 0.399    | 0.389    | 0.395     | 0.006                   |
| 200                                           | 0.485                            | 0.476    | 0.501    | 0.487     | 0.013                   |
| 250                                           | 0.600                            | 0.602    | 0.611    | 0.604     | 0.006                   |
| 300                                           | 0.691                            | 0.693    | 0.687    | 0.690     | 0.003                   |
| 350                                           | 0.811                            | 0.808    | 0.803    | 0.807     | 0.004                   |
| 400                                           | 0.870                            | 0.900    | 0.896    | 0.889     | 0.016                   |
| 450                                           | 0.976                            | 0.993    | 0.988    | 0.986     | 0.009                   |
| 500                                           | 1.034                            | 1.081    | 1.084    | 1.066     | 0.028                   |



## ภาพที่ ข-4 กราฟมาตรฐาน BSA

### 3. การวิเคราะห์ปริมาณจุลินทรีย์ในดินโดยวิธีนับจุลินทรีย์ที่มีชีวิต

#### 3.1 การเตรียมสารละลายโซเดียมคลอไรด์ความเข้มข้น 0.85 เปอร์เซ็นต์ (w/v)

ละลาย NaCl 8.5 กรัม ในน้ำกลั่น 1000 มิลลิลิตร

#### 3.2 วิธีการ

3.2.1 เตรียมอาหาร Nutrient agar ใส่จานเพาะเชื้อ

3.2.2 ดูดสารละลายตัวอย่างดินในโซเดียมคลอไรด์ที่ระดับความเจือจางต่าง ๆ ตั้งแต่  $10^{-1}$  จนถึงระดับความเจือจางที่ต้องการ ระดับความเจือจางละ 0.1 มิลลิลิตร หยดบนผิวหน้าอาหารในจานเพาะเชื้อ แล้วเกลี่ยให้กระจายสม่ำเสมอทั่วผิวหน้าอาหารด้วยแท่งแก้วสามเหลี่ยม ทำระดับความเจือจางละ 3 จานเพาะเชื้อ รอจนผิวหน้าจานเพาะเชื้อแห้ง

3.2.3 ป่มจานเพาะเชื้อในตู้บ่มควบคุมอุณหภูมิ 37 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 16-18 ชั่วโมง

### 4. การวิเคราะห์ฮอร์โมนพืช

วิเคราะห์ฮอร์โมนพืชได้แก่ indole-3-acetic acid (IAA) และ cytokinin (CKs) ในน้ำเลี้ยงจุลินทรีย์ได้แก่ *Bacillus subtilis* BTK07 และ *Paenibacillus polymyxa* BTK01 ปั่นเหวี่ยงที่ความเร็ว 10,000 รอบต่อนาที เป็นเวลา 15 นาที นำมาสกัดด้วยวิธีการของ Rachev (Rachev et al., 1993) โดยนำส่วนสารละลายสีที่ได้จากการปั่นเหวี่ยงไปปรับพีเอชให้อยู่ระหว่าง 2.5-3.0 จากนั้นใส่ลงในกรวยแยก เติม ethyl acetate เขย่าให้เข้ากันและทิ้งไว้ให้แยกชั้น จากนั้นนำส่วน ethyl acetate (organic phase) แยกออกโดยการกรองผ่านโซเดียมซัลเฟต ( $\text{Na}_2\text{SO}_4$ ) ส่วนชั้นน้ำ (aqueous phase) สกัดซ้ำด้วย ethyl acetate อีก 2 ครั้ง นำส่วนชั้น ethyl acetate (organic phase) รวมกันแล้วระเหยแห้งด้วยเครื่องสุญญากาศแบบหมุน (rotary vacuum evaporator) จนสารสกัดแห้งแล้วละลายกลับใน 60% acetonitrile (HPLC grade) นำสารละลายที่ได้กรองด้วย nylon membrane 0.45 ไมโครเมตร มาวิเคราะห์ในขั้นตอนต่อไป

#### 4.1 indole-3-acetic acid (IAA)

นำสารละลายที่สกัดได้วิเคราะห์ปริมาณ IAA ด้วยเครื่อง High Performance Liquid Chromatography (HPLC) คอลัมน์ Restek Ultra C18, 5  $\mu\text{m}$ , (4.6 mm x 150 mm) ที่ 30 °C

สารละลายเฟสเคลื่อนที่ (mobile phase) ที่ตัวทำละลายเคลื่อนที่ระหว่าง acetic acid / acetic acid in methanol อัตราการไหล  $1 \text{ ml}^{-1}$  ใช้เครื่องตรวจวัดสารชนิด Fluorescence Detector (Ex. = 285 nm, Em. = 355 nm)

## 4.2 ไซโตโคติน

นำสารละลายที่สกัดได้วิเคราะห์ปริมาณไซโตโคตินด้วยเครื่อง High Performance Liquid Chromatography (HPLC) คอลัมน์ Poroshell 120, EC-C18, (4.6 mm x 100 mm) ที่  $30^{\circ}\text{C}$  สารละลายเฟสเคลื่อนที่ (mobile phase) ที่ตัวทำละลายเคลื่อนที่ระหว่าง acetic acid in 5% acetonitrile/acetone อัตราการไหล  $1 \text{ ml}^{-1}$  ใช้เครื่องตรวจวัดสารชนิด PDA (Photo Diode Array) ตรวจสอบค่าการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 265 นาโนเมตร

## 5. การวิเคราะห์ดิน

ส่งวิเคราะห์ตัวอย่างดินก่อนและหลังการทดลองที่ห้องปฏิบัติการกลาง คณะเกษตรศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่ มีรายละเอียดดังนี้

### 5.1 ค่าพีเอช

วิเคราะห์โดยวิธี Electrometric method ในอัตราส่วน ดิน:น้ำ เท่ากับ 1:10 จากนั้นตรวจวัดด้วยเครื่อง pH/EC meters

### 5.2 อินทรีย์วัตถุ (Organic matter, OM)

วิเคราะห์ด้วยวิธีของ Walkley และ Black โดยชั่งตัวอย่างวัสดุเพาะปลูก 1 กรัม ใส่ขวดลูกขมพู่ ขนาด 250 มิลลิลิตร เติมสารละลายมาตรฐาน  $1\text{N}$  Dichromate ( $\text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7$ ) ปริมาตร 10 มิลลิลิตรและเติมกรดซัลฟูริกเข้มข้น ปริมาตร 25 มิลลิลิตร พยายามให้กรดไหลลงข้าง ๆ ขวดให้ชะล้างตัวอย่างลงไปให้หมด เพื่อป้องกันไม่ให้ตัวอย่างเกาะอยู่ตามข้างขวด เขย่าให้เข้ากันดีเป็นเวลาประมาณ 1-2 นาที แล้วตั้งทิ้งไว้ให้ทำปฏิกิริยากันเป็นเวลา 30 นาที เมื่อครบเวลาเติมน้ำกลั่น 50 มิลลิลิตร ตั้งทิ้งไว้ให้เย็น แล้วหยดสารละลายออร์โทไฟฟอสเฟต 5 หยด ไตรเตตระด้วยสารละลาย  $0.5\text{N}$  Ferrous sulfate จนกระทั่งถึงจุดยุติ สังเกตจากสีของสารละลายที่จะเปลี่ยนจากสีเขียวเป็นสีน้ำตาลแดง บันทึกปริมาตรสารละลาย Ferrous sulfate เพื่อนำมาคำนวณปริมาณอินทรีย์คาร์บอนและอินทรีย์วัตถุในดิน คำนวณปริมาณอินทรีย์วัตถุในดินได้จากสมการ

$$\begin{aligned}\% \text{ organic carbon (\%OC)} &= \frac{10 \times (B-S) \times 100 \times 3 \times 100 \times N}{B \times 77 \times 1000 \times W} \\ \% \text{ organic matter (\%OM)} &= \frac{10 \times (B-S) \times 100 \times 100 \times 3 \times 100 \times N}{B \times 77 \times 58 \times 1000 \times W}\end{aligned}$$

$$\text{หรือ} \quad \% \text{ OM} = \% \text{ OC} \times 1.724$$

เมื่อ B = ปริมาตร Ferrous sulfate ที่ใช้ในการไทเทรต Blank (ml)

S = ปริมาตร Ferrous sulfate ที่ใช้ในการไทเทรตตัวอย่าง (ml)

W = น้ำหนักตัวอย่างดิน (g)

N = ความเข้มข้นของ  $\text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7$

### 5.3 ไนโตรเจนทั้งหมด (Total nitrogen, N)

การวิเคราะห์ปริมาณไนโตรเจนทั้งหมดใช้หลักการของ Kjeldahl โดยใช้เครื่องวิเคราะห์โปรตีนด้วยวิธี Combustion ยี่ห้อ LECO รุ่น FP-828 ซึ่งตัวอย่างจะถูกเผาไหม้ด้วยอุณหภูมิสูงภายใต้บรรยากาศออกซิเจน จากนั้นตัวอย่างจะถูกออกซิไดซ์และรีดักชันเป็นแก๊สผสมของ  $\text{N}_2$  และ  $\text{CO}_2$  และถูกทำปฏิกิริยาเคมีเปลี่ยนให้เป็นแก๊สบริสุทธิ์ และตรวจวัดปริมาณด้วยตัวตรวจวัดชนิด Thermal conductivity detector ซึ่งประมวลผลและควบคุมการทำงานด้วยคอมพิวเตอร์ ค่าที่ได้จะถูกแปลผลเป็นเปอร์เซ็นต์ไนโตรเจน

### 5.4 อัตราส่วนระหว่างคาร์บอนและไนโตรเจน (C/N ratio)

การวิเคราะห์ค่า C/N ratio เป็นค่าที่ได้จากการคำนวณ โดยนำค่าวิเคราะห์อินทรีย์คาร์บอนและไนโตรเจนแทนค่าในสมการ

$$\text{C/N ratio} = \frac{\% \text{ OC}}{\% \text{ N}}$$

### 5.5 ฟอสฟอรัส (Available Phosphorus, P)

การวิเคราะห์ซังตัวอย่างดิน 1.0 กรัม ใส่ในขวดรูปชมพู่ ขนาด 250 มิลลิลิตร เติมกรดไนตริกเข้มข้นปริมาตร 10 มิลลิลิตร และกรดเปอร์คลอริกเข้มข้นปริมาตร 5 มิลลิลิตร จากนั้นนำไปย่อยตัวอย่างในตู้ดูดควันที่อุณหภูมิ 150 องศาเซลเซียส โดยปิดขวดแก้วรูปชมพู่ด้วยด้วยกระดาษฟิวส์ เมื่อควันสีน้ำตาลเริ่มหมดไป ปรับอุณหภูมิเป็น 220 องศาเซลเซียส ย่อยตัวอย่างประมาณ 3-4 ชั่วโมง หรือจนกว่าตัวอย่างเป็นสารละลายใส ตั้งทิ้งไว้ที่อุณหภูมิห้องและปรับปริมาตรเป็น 100 มิลลิลิตร และบรรจุใส่ขวดพลาสติกเพื่อรอการวิเคราะห์ต่อไป การทำกราฟมาตรฐาน เริ่มจากการเตรียม Standard phosphate solution ให้มีความเข้มข้น 50 ppm จากนั้นดูด standard phosphate solution 50 ppm ปริมาตร 0, 1, 2, 3 และ 4 มิลลิลิตร ลงใน Volumetric flask ขนาด 25 มิลลิลิตร เพื่อเตรียม Standard phosphate 6 ระดับ คือ 0, 2, 4, 6 และ 8 ppm หลังจากนั้นเติมน้ำยาที่ทำให้เกิดสี Ammonium vanadomolybdate 5 มิลลิลิตร และปรับปริมาตรด้วยน้ำกลั่นให้มี ปริมาตรเท่ากับ 25 มิลลิลิตร ปิดฝาขวดให้เข้ากัน ตั้งทิ้งไว้ประมาณ 10 นาที เพื่อให้

ปฏิกิริยาเกิดโดยสมบูรณ์ แล้วจึงนำไปวัดค่าการดูดกลืนแสงด้วย Spectrophotometer ที่ 420 nm ทำการบันทึกค่า Absorbance ของแต่ละความเข้มข้น นำไปข้อมูลนี้สร้างกราฟมาตรฐานเพื่อใช้ในการ เปรียบเทียบกับตัวอย่างต่อไป การวิเคราะห์ (analysis) ทำได้โดยดูดสารละลายตัวอย่าง 5 มิลลิลิตร ใส่ลงใน Volumetric flask ขนาด 25 มิลลิลิตร เติมน้ำยาที่ทำให้เกิดสี Ammonium vanadomolybdate 5 มิลลิลิตร ปรับปริมาตรด้วยน้ำกลั่นให้ได้เท่ากับ 25 มิลลิลิตร ปิดฝาเขย่าให้เข้ากัน ทิ้งไว้ประมาณ 10 นาที เพื่อให้ปฏิกิริยาเกิดโดยสมบูรณ์ แล้วจึงนำไปวัดค่าการดูดกลืนแสงด้วย Spectrophotometer ที่ 420 นาโนเมตร ทำการบันทึกค่า Absorbance คำนวณหาปริมาณ ฟอสฟอรัสทั้งหมดเทียบกับ Standard curve คำนวณปริมาณฟอสฟอรัสได้จากสมการ

$$\text{Total P (\%)} = \frac{\text{ppm จาก standard curve} \times \text{ปริมาตรสารละลายตัวอย่างเริ่มต้น (ml)} \times \text{d.f.} \times 100}{\text{น้ำหนักตัวอย่างที่ชั่ง (g)} \times 10^6}$$

เมื่อ d.f. = dilution factor

### 5.6 โพแทสเซียม (Exchangeable Potassium, K)

การวิเคราะห์ซึ่งตัวอย่างดิน 2.0 กรัม ใส่ในขวดรูปชมพู่ ขนาด 250 มิลลิลิตรเติมกรดในตริกเข้มข้นปริมาตร 10 มิลลิลิตร และกรดเปอร์คลอริกเข้มข้นปริมาตร 5 มิลลิลิตร จากนั้นนำไปย่อยตัวอย่างในตู้ดูดควันที่อุณหภูมิ 150 องศาเซลเซียส โดยปิดขวดแก้วรูปชมพู่ด้วยกระจกนาฬิกา เมื่อควันสีน้ำตาลเริ่มหมดไป ปรับอุณหภูมิเป็น 220 องศาเซลเซียส ย่อยตัวอย่างประมาณ 3-4 ชั่วโมง หรือจนกว่าตัวอย่างเป็นสารละลายใส ตั้งทิ้งไว้ที่อุณหภูมิห้องและปรับปริมาตรเป็น 100 มิลลิลิตร และบรรจุใส่ขวดพลาสติกเพื่อรอการวิเคราะห์ต่อไป การทำกราฟมาตรฐาน (standard curve) เริ่มจากการเตรียมสารละลายมาตรฐานโพแทสเซียมที่ความเข้มข้น 0, 2, 4, 6 และ 8 มิลลิกรัมต่อมิลลิลิตร จากนั้นนำไปวัดปริมาณโพแทสเซียมด้วยเครื่อง Flame spectrophotometer ทำการบันทึกค่า Absorbance ของแต่ละความเข้มข้น นำไปข้อมูลนี้สร้างกราฟมาตรฐานเพื่อใช้ในการ เปรียบเทียบกับตัวอย่างต่อไป การวิเคราะห์ (analysis) การวัดโพแทสเซียมทั้งหมดจากสารละลายตัวอย่าง ทำโดยเจือจาง สารละลายตัวอย่างด้วยน้ำกลั่นอัตราส่วน 1:10 วัดความเข้มข้นของสารละลายมาตรฐานเพื่อ เปรียบเทียบกับปริมาณโพแทสเซียมในสารละลายตัวอย่าง

คำนวณปริมาณโพแทสเซียมได้จากสมการ

$$\text{Total K (\%)} = \frac{\text{ppm ที่อ่านได้จากเครื่อง} \times \text{ปริมาตรสารละลายตัวอย่างเริ่มต้น (ml)} \times \text{d.f.} \times 100}{\text{น้ำหนักตัวอย่างที่ชั่ง (g)} \times 10^6}$$

เมื่อ d.f. = dilution factor

### 5.7 โพแทสเซียม (Exchangeable Potassium, K)



การวิเคราะห์ซึ่งตัวอย่างดิน 5.0 กรัม ใส่ในขวดรูปชมพู่ ขนาด 125 มิลลิลิตร เติมสารละลายแอมโมเนียมอะซิเตท ( $\text{NH}_4\text{OAc}$ ) ความเข้มข้น 1 N pH 7.0 ปริมาตร 50 มิลลิลิตร เขย่าให้เข้ากันตั้งทิ้งไว้ข้ามคืน เมื่อครบเวลานำสารละลายตัวอย่างมากรองโดยใช้กรวยบุชเนอร์ (Buchner funnel) ต่อกับขวดกรอง ใช้กระดาษกรอง whatman No.5 ล้างตัวอย่างด้วย 1N  $\text{NH}_4\text{OAc}$  pH 7.0 ทีละน้อยหลาย ๆ ครั้ง จนได้สารละลายตัวอย่างปริมาตรประมาณ 100 มิลลิลิตร ปรับปริมาตรด้วย volumetric flask นำสารละลายตัวอย่างที่สกัดได้เจือจางด้วยสารละลายสตรอนเชียมคลอไรด์ ( $\text{SrCl}_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ ) ความเข้มข้น 1500 มิลลิกรัมต่อลิตร วัดปริมาณแมกนีเซียมโดยเครื่อง Atomic Absorption Spectrophotometer (AAS) ที่ความยาวคลื่น 285 นาโนเมตร เปรียบเทียบค่าที่วัดได้กับสารละลายมาตรฐานแมกนีเซียม คำนวณปริมาณแมกนีเซียมแลกเปลี่ยนได้จากสมการ

$$\text{Exchangeable Mg}^{++} (\text{cmol/kg}) = \frac{C \times V \times 2 \times \text{d.f.}}{w \times 10 \times \text{MW}}$$

เมื่อ  $C$  = ความเข้มข้นแมกนีเซียมที่อ่านได้จากเครื่อง AAS (mg/L)

$V$  = ปริมาตรสุดท้ายของสารละลายตัวอย่าง (ml)

$W$  = น้ำหนักตัวอย่างดิน (g)

$\text{MW}$  = น้ำหนักโมเลกุลของแมกนีเซียม

d.f. = dilution factor

### 5.8 เหล็ก (Available Iron, Fe)

การวิเคราะห์ซึ่งตัวอย่างดิน 4.0 กรัม ใส่ในขวดรูปชมพู่ ขนาด 125 มิลลิลิตร เติมน้ำยาสกัด diethylene triamine penta-acetic acid (DTPA) ปริมาตร 40 มิลลิลิตร เขย่าด้วยเครื่องเขย่าเป็นเวลา 2 ชั่วโมง จากนั้นกรองผ่านกระดาษกรองไนลอนขนาด 0.45 ไมโครเมตร แล้วดูดสารละลายตัวอย่างที่สกัดได้ปริมาตร 5 มิลลิลิตร ปรับปริมาตรด้วย volumetric flask ให้ได้ 25 มิลลิลิตร เขย่าให้เข้ากัน วัดปริมาณเหล็กโดยเครื่อง Atomic Absorption Spectrophotometer (AAS) ที่ความยาวคลื่น 248.3 นาโนเมตร ตามวิธีการ DTPA-extractable method (Lindsay and Norvell, 1978)

### 5.9 ความชื้นในดิน (Soil moisture content)

การวิเคราะห์เตรียมกระป๋องสำหรับใส่ดินแล้วชั่งน้ำหนักหนักบันทึกเป็นน้ำหนักกระป๋อง และตัวอย่างดินใส่กระป๋องแล้วนำไปชั่งน้ำหนักบันทึกเป็น น้ำหนักกระป๋อง+ดินเปียก นำกระป๋องที่บรรจุดินอบที่อุณหภูมิ  $110.00 \pm 5.00$  องศาเซลเซียส เป็นเวลา 15-24 ชั่วโมง หรือจนกว่าน้ำหนักจะคงที่ แล้วคำนวณปริมาณความชื้นในดินดังสมการ

$$\text{น้ำหนักน้ำ } (M_w) = (\text{น้ำหนักกระป๋อง} + \text{ดินเปียก}) - (\text{น้ำหนักกระป๋อง} + \text{ดินแห้ง})$$

$$\text{น้ำหนักแห้ง } (M_s) = (\text{น้ำหนักกระป๋อง} + \text{ดินแห้ง}) - (\text{น้ำหนักกระป๋อง})$$

$$\text{ปริมาณความชื้น (\%)} = \frac{\text{น้ำหนักน้ำ } (M_w)}{\text{น้ำหนักแห้ง } (M_s)} \times 100$$

### ภาคผนวก ค

#### การคำนวณ

#### 1. การคำนวณกิจกรรมของเอนไซม์

สูตรการคำนวณหากิจกรรมของเอนไซม์

$$\text{กิจกรรมของเอนไซม์} = \frac{\text{ค่าการดูดกลืนแสงตัวอย่าง} - \text{ค่าการดูดกลืนแสงควบคุม/ความชื้น}}{\text{น้ำหนักโมเลกุล} \times \text{เวลาที่บ่ม} \times \text{ปริมาณเอนไซม์}}$$

กำหนดให้ 1 หน่วยเอนไซม์ = ปริมาณเอนไซม์ที่สามารถเปลี่ยนสับสเตรท 1 ไมโครโมลาร์ไปเป็นผลิตภัณฑ์ภายใน 1 นาที ภายใต้สภาวะที่ทดสอบ

#### 2. การคำนวณปริมาณของโปรตีนด้วยวิธีลาวรี

สูตรการคำนวณหาปริมาณของโปรตีน

$$\text{ปริมาณโปรตีน} = \frac{\text{ค่าการดูดกลืนแสงที่ 750 นาโนเมตร}}{\text{ความชันกราฟมาตรฐาน}}$$

#### 3. การคำนวณหากิจกรรมเอนไซม์จำเพาะ

สูตรการคำนวณหากิจกรรมเอนไซม์จำเพาะ

$$\text{กิจกรรมเอนไซม์จำเพาะ} = \frac{\text{กิจกรรมของเอนไซม์}}{\text{ปริมาณโปรตีน}}$$

## ภาคผนวก ง

### ข้อมูลที่ได้จากการทดลอง

- 1 ผลการศึกษากิจกรรมและกิจกรรมจำเพาะของเอนไซม์
- 2 ผลการศึกษาสภาวะที่เหมาะสมต่อการทำงานของเอนไซม์
  - 2.1 ค่ากิจกรรมของเอนไซม์ต่อค่าพีเอช
  - 2.2 ค่ากิจกรรมของเอนไซม์ต่ออุณหภูมิ
  - 2.3 ค่ากิจกรรมของเอนไซม์ต่อความคงตัวของค่าพีเอช
  - 2.4 ค่ากิจกรรมของเอนไซม์ต่อความคงตัวของอุณหภูมิ
3. ผลการศึกษารงอกของเมล็ดด้วยวิธีการแช่เมล็ด
  - 3.1 ค่าเปอร์เซ็นต์การงอก (เปอร์เซ็นต์) ของเมล็ดผักสลัดกรีนโอ๊ค
  - 3.2 ค่าความเร็วในการงอก (ต้น/วัน) ของเมล็ดผักสลัดกรีนโอ๊ค
  - 3.3 ค่าความยาวยอด (เซนติเมตร) ของต้นอ่อนผักสลัดกรีนโอ๊ค
  - 3.4 ค่าความยาวราก (เซนติเมตร) ของต้นอ่อนผักสลัดกรีนโอ๊ค
4. ผลการศึกษากาเรจริญเติบโตของผักสลัดกรีนโอ๊ค
  - 4.1 การทดลองที่ 1 ผลทดสอบประสิทธิภาพของเอนไซม์และน้ำหมักต่อการส่งเสริมการเจริญเติบโตของผักสลัดกรีนโอ๊ค
    - 4.1.1 ความสูงของผักสลัดกรีนโอ๊คเมื่อย้ายปลูก 0, 7, 14 และ 21 วัน
    - 4.1.2 ความกว้างทรงพุ่มของผักสลัดกรีนโอ๊คเมื่อย้ายปลูก 0, 7, 14 และ 21 วัน
    - 4.1.3 จำนวนใบของผักสลัดกรีนโอ๊คเมื่อย้ายปลูก 0, 7, 14 และ 21 วัน
    - 4.1.4 ความยาวราก (เซนติเมตร) ของผักสลัดกรีนโอ๊ค
    - 4.1.5 น้ำหนักสดของลำต้นและรากของผักสลัดกรีนโอ๊ค
    - 4.1.6 น้ำหนักแห้งลำต้นและรากของผักสลัดกรีนโอ๊ค
    - 4.1.7 ปริมาณจุลินทรีย์ในดิน
  - 4.2 การทดลองที่ 2 ผลทดสอบประสิทธิภาพของเมล็ดที่ผ่านการแช่เมล็ดโดยทุกการทดลองรดด้วยน้ำกลั่น

- 4.2.1 ความสูงของผักสลัดกรีนโอ๊คเมื่อย้ายปลูก 0, 7, 14 และ 21 วัน
- 4.2.2 ความกว้างทรงพุ่มของผักสลัดกรีนโอ๊คเมื่อย้ายปลูก 0, 7, 14 และ 21 วัน
- 4.2.3 จำนวนใบของผักสลัดกรีนโอ๊คเมื่อย้ายปลูก 0, 7, 14 และ 21 วัน
- 4.2.4 ความยาวราก (เซนติเมตร) ของผักสลัดกรีนโอ๊ค
- 4.2.5 น้ำหนักสดของลำต้นและรากของผักสลัดกรีนโอ๊ค
- 4.2.6 น้ำหนักแห้งลำต้นและรากของผักสลัดกรีนโอ๊ค
- 4.2.7 ปริมาณจุลินทรีย์ในดิน

4.3 การทดลองที่ 3 ผลทดสอบประสิทธิภาพของเมล็ดที่ผ่านการแช่เมล็ดโดยทุกการทดลอง  
รดด้วยผลการทดลองตอนที่ 1

- 4.3.1 ความสูงของผักสลัดกรีนโอ๊คเมื่อย้ายปลูก 0, 7, 14 และ 21 วัน
- 4.3.2 ความกว้างทรงพุ่มของผักสลัดกรีนโอ๊คเมื่อย้ายปลูก 0, 7, 14 และ 21 วัน
- 4.3.3 จำนวนใบของผักสลัดกรีนโอ๊คเมื่อย้ายปลูก 0, 7, 14 และ 21 วัน
- 4.3.4 ความยาวราก (เซนติเมตร) ของผักสลัดกรีนโอ๊ค
- 4.3.5 น้ำหนักสดของลำต้นและรากของผักสลัดกรีนโอ๊ค
- 4.3.6 น้ำหนักแห้งลำต้นและรากของผักสลัดกรีนโอ๊ค
- 4.3.7 ปริมาณจุลินทรีย์ในดิน

5. ผลการวิเคราะห์ทางสถิติ

## 1 ผลการศึกษากิจกรรมและกัมมันตภาพจำเพาะของเอนไซม์

ตารางที่ ง-1 ค่ากิจกรรมและกัมมันตภาพจำเพาะของแมนนาเนส และไซลาลเนส จาก *B. subtilis* BTK07 และ *P. polymyxa* BTK01

| Time (day) | Isolate | Sample          | Protein content (mg/ml) |       |       |       |       | Mannanase activity (U/ml) |       |       |       |       | Specific mannanase (U/mg) | Xylanase activity (U/ml) |       |       |       |       | Specific xylanase (U/mg) |
|------------|---------|-----------------|-------------------------|-------|-------|-------|-------|---------------------------|-------|-------|-------|-------|---------------------------|--------------------------|-------|-------|-------|-------|--------------------------|
|            |         |                 | #1                      | #2    | #3    | Avg   | SD    | #1                        | #2    | #3    | Avg   | SD    |                           | #1                       | #2    | #3    | Avg   | SD    |                          |
| 0          | BTK07   | Crude enzyme    | 3.421                   | 3.240 | 3.621 | 3.427 | 0.191 | 1.487                     | 1.393 | 1.686 | 1.522 | 0.150 | 0.444                     | 0.266                    | 0.377 | 0.400 | 0.348 | 0.071 | 0.101                    |
|            |         | Fermented broth | 4.011                   | 4.097 | 3.983 | 4.030 | 0.059 | 1.184                     | 1.311 | 1.343 | 1.279 | 0.084 | 0.317                     | 0.163                    | 0.207 | 0.274 | 0.215 | 0.056 | 0.053                    |
|            | BTK01   | Crude enzyme    | 3.930                   | 4.011 | 3.997 | 3.980 | 0.273 | 0.502                     | 0.708 | 0.534 | 0.581 | 0.111 | 0.146                     | 0.836                    | 0.748 | 0.725 | 0.770 | 0.059 | 0.193                    |
|            |         | Fermented broth | 5.454                   | 5.088 | 5.621 | 5.388 | 0.043 | 0.909                     | 0.989 | 0.989 | 0.962 | 0.046 | 0.179                     | 0.200                    | 0.289 | 0.200 | 0.229 | 0.051 | 0.043                    |
| 60         | BTK07   | Crude enzyme    | 2.373                   | 2.307 | 2.326 | 2.335 | 0.034 | 0.225                     | 0.251 | 0.257 | 0.244 | 0.017 | 0.105                     | 0.215                    | 0.215 | 0.170 | 0.200 | 0.026 | 0.086                    |
|            |         | Fermented broth | 2.335                   | 2.326 | 2.473 | 2.378 | 0.083 | 0.119                     | 0.148 | 0.047 | 0.105 | 0.052 | 0.044                     | 0.026                    | 0.037 | 0.004 | 0.022 | 0.017 | 0.009                    |
|            | BTK01   | Crude enzyme    | 2.926                   | 2.892 | 2.864 | 2.894 | 0.031 | 0.179                     | 0.176 | 0.144 | 0.166 | 0.019 | 0.057                     | 0.366                    | 0.500 | 0.333 | 0.400 | 0.088 | 0.138                    |
|            |         | Fermented broth | 3.054                   | 3.040 | 3.145 | 3.080 | 0.057 | 0.183                     | 0.192 | 0.161 | 0.179 | 0.016 | 0.058                     | 0.211                    | 0.100 | 0.200 | 0.170 | 0.061 | 0.086                    |

## 2 ผลการศึกษาสภาวะที่เหมาะสมต่อการทำงานของเอนไซม์

### 2.1 ค่ากิจกรรมของเอนไซม์ต่อค่าพีเอช

ตารางที่ ง-2 ค่าการดูดกลืนแสงที่ 540 นาโนเมตร และค่าการผลิตแมนนาเนสของ *P. polymyxa* BTK01 ที่ค่าพีเอชต่าง ๆ

| pH | OD <sub>540</sub> Control |       |       |        |       | OD <sub>540</sub> Sample |       |       |       |       | Mannanase activity (U/ml) |       |       |       |       |
|----|---------------------------|-------|-------|--------|-------|--------------------------|-------|-------|-------|-------|---------------------------|-------|-------|-------|-------|
|    | #1                        | #2    | #3    | Avg    | SD    | #1                       | #2    | #3    | Avg   | SD    | #1                        | #2    | #3    | Avg   | SD    |
| 3  | 0.161                     | 0.166 | 0.154 | 0.160  | 0.006 | 0.185                    | 0.184 | 0.162 | 0.177 | 0.013 | 0.039                     | 0.038 | 0.003 | 0.026 | 0.021 |
| 4  | 0.191                     | 0.186 | 0.195 | 0.191  | 0.005 | 0.233                    | 0.234 | 0.231 | 0.233 | 0.002 | 0.067                     | 0.069 | 0.064 | 0.067 | 0.002 |
| 5  | 0.197                     | 0.193 | 0.199 | 0.196  | 0.003 | 0.245                    | 0.254 | 0.250 | 0.250 | 0.005 | 0.077                     | 0.091 | 0.085 | 0.085 | 0.007 |
| 6  | 0.226                     | 0.221 | 0.225 | 0.224  | 0.003 | 0.422                    | 0.409 | 0.397 | 0.409 | 0.013 | 0.314                     | 0.293 | 0.274 | 0.294 | 0.020 |
| 7  | 0.224                     | 0.229 | 0.225 | 0.226  | 0.003 | 0.430                    | 0.451 | 0.450 | 0.444 | 0.012 | 0.324                     | 0.357 | 0.355 | 0.345 | 0.019 |
| 8  | 0.229                     | 0.238 | 0.238 | 0.235  | 0.005 | 0.464                    | 0.458 | 0.437 | 0.453 | 0.014 | 0.363                     | 0.354 | 0.320 | 0.346 | 0.022 |
| 9  | 0.226                     | 0.237 | 0.252 | 0.2338 | 0.013 | 0.443                    | 0.441 | 0.441 | 0.442 | 0.001 | 0.325                     | 0.321 | 0.321 | 0.322 | 0.002 |
| 10 | 0.225                     | 0.244 | 0.241 | 0.237  | 0.010 | 0.399                    | 0.391 | 0.374 | 0.388 | 0.013 | 0.257                     | 0.245 | 0.218 | 0.240 | 0.020 |

ตารางที่ ง-3 ค่าการดูดกลืนแสงที่ 540 นาโนเมตร และค่าการผลิตไซลานเนสของ *P. polymyxa* BTK01 ที่ค่าพีเอชต่าง ๆ

| pH | OD <sub>540</sub> Control |       |       |       |       | OD <sub>540</sub> Sample |       |       |       |       | Xylanase activity (U/ml) |       |       |       |       |
|----|---------------------------|-------|-------|-------|-------|--------------------------|-------|-------|-------|-------|--------------------------|-------|-------|-------|-------|
|    | #1                        | #2    | #3    | Avg   | SD    | #1                       | #2    | #3    | Avg   | SD    | #1                       | #2    | #3    | Avg   | SD    |
| 3  | 0.117                     | 0.156 | 0.115 | 0.129 | 0.023 | 0.170                    | 0.170 | 0.166 | 0.169 | 0.002 | 0.090                    | 0.090 | 0.081 | 0.087 | 0.005 |
| 4  | 0.120                     | 0.122 | 0.122 | 0.121 | 0.001 | 0.257                    | 0.261 | 0.251 | 0.256 | 0.005 | 0.301                    | 0.310 | 0.288 | 0.300 | 0.011 |
| 5  | 0.163                     | 0.147 | 0.147 | 0.152 | 0.009 | 0.365                    | 0.379 | 0.372 | 0.372 | 0.007 | 0.472                    | 0.503 | 0.488 | 0.488 | 0.016 |
| 6  | 0.145                     | 0.128 | 0.140 | 0.138 | 0.009 | 0.424                    | 0.438 | 0.447 | 0.436 | 0.012 | 0.636                    | 0.667 | 0.687 | 0.663 | 0.026 |
| 7  | 0.135                     | 0.14  | 0.139 | 0.138 | 0.003 | 0.453                    | 0.472 | 0.453 | 0.459 | 0.011 | 0.699                    | 0.742 | 0.699 | 0.713 | 0.024 |
| 8  | 0.132                     | 0.143 | 0.139 | 0.138 | 0.006 | 0.450                    | 0.417 | 0.423 | 0.430 | 0.018 | 0.693                    | 0.619 | 0.633 | 0.648 | 0.039 |
| 9  | 0.110                     | 0.112 | 0.105 | 0.109 | 0.004 | 0.407                    | 0.413 | 0.400 | 0.407 | 0.007 | 0.662                    | 0.675 | 0.646 | 0.661 | 0.014 |
| 10 | 0.103                     | 0.103 | 0.106 | 0.104 | 0.002 | 0.350                    | 0.348 | 0.340 | 0.346 | 0.005 | 0.546                    | 0.542 | 0.524 | 0.537 | 0.012 |

ตารางที่ ง-4 ค่าการดูดกลืนแสงที่ 540 นาโนเมตร และค่าการผลิตแมนนาเนสของ *B. subtilis* BTK07 ที่ค่าพีเอชต่าง ๆ

| pH | OD <sub>540</sub> Control |       |       |       |       | OD <sub>540</sub> Sample |       |       |       |       | Mannanase activity (U/ml) |       |       |       |       |
|----|---------------------------|-------|-------|-------|-------|--------------------------|-------|-------|-------|-------|---------------------------|-------|-------|-------|-------|
|    | #1                        | #2    | #3    | Avg   | SD    | #1                       | #2    | #3    | Avg   | SD    | #1                        | #2    | #3    | Avg   | SD    |
| 3  | 0.218                     | 0.152 | 0.168 | 0.179 | 0.034 | 0.322                    | 0.322 | 0.308 | 0.317 | 0.008 | 0.226                     | 0.226 | 0.204 | 0.219 | 0.013 |
| 4  | 0.321                     | 0.294 | 0.345 | 0.320 | 0.026 | 0.622                    | 0.626 | 0.664 | 0.637 | 0.023 | 0.479                     | 0.485 | 0.546 | 0.503 | 0.037 |
| 5  | 0.231                     | 0.208 | 0.314 | 0.251 | 0.056 | 0.674                    | 0.736 | 0.668 | 0.693 | 0.038 | 0.671                     | 0.769 | 0.661 | 0.700 | 0.060 |
| 6  | 0.216                     | 0.236 | 0.220 | 0.224 | 0.011 | 0.800                    | 0.883 | 0.809 | 0.831 | 0.046 | 0.913                     | 1.045 | 0.928 | 0.962 | 0.072 |
| 7  | 0.388                     | 0.380 | 0.398 | 0.389 | 0.009 | 1.051                    | 1.052 | 1.077 | 1.060 | 0.015 | 1.050                     | 1.052 | 1.092 | 1.065 | 0.023 |
| 8  | 0.303                     | 0.248 | 0.284 | 0.278 | 0.028 | 0.919                    | 0.910 | 0.912 | 0.914 | 0.005 | 1.016                     | 1.002 | 1.005 | 1.008 | 0.007 |
| 9  | 0.289                     | 0.307 | 0.302 | 0.299 | 0.009 | 0.930                    | 0.884 | 0.921 | 0.912 | 0.024 | 1.000                     | 0.927 | 0.986 | 0.971 | 0.039 |
| 10 | 0.311                     | 0.295 | 0.303 | 0.303 | 0.008 | 0.809                    | 0.810 | 0.784 | 0.801 | 0.015 | 0.802                     | 0.804 | 0.763 | 0.790 | 0.023 |



ตารางที่ ง-5 ค่าการดูดกลืนแสงที่ 540 นาโนเมตร และค่าการผลิตไซลานเนสของ *B. subtilis* BTK07 ที่ค่าพีเอชต่าง ๆ

| pH | OD <sub>540</sub> Control |       |       |       |       | OD <sub>540</sub> Sample |       |       |       |       | Xylanase (U/ml) |       |       |       |       |
|----|---------------------------|-------|-------|-------|-------|--------------------------|-------|-------|-------|-------|-----------------|-------|-------|-------|-------|
|    | #1                        | #2    | #3    | Avg   | SD    | #1                       | #2    | #3    | Avg   | SD    | #1              | #2    | #3    | Avg   | SD    |
| 3  | 0.092                     | 0.094 | 0.090 | 0.092 | 0.002 | 0.106                    | 0.099 | 0.100 | 0.102 | 0.004 | 0.031           | 0.016 | 0.018 | 0.021 | 0.008 |
| 4  | 0.124                     | 0.126 | 0.119 | 0.123 | 0.004 | 0.142                    | 0.142 | 0.149 | 0.144 | 0.004 | 0.042           | 0.042 | 0.058 | 0.047 | 0.009 |
| 5  | 0.125                     | 0.114 | 0.132 | 0.124 | 0.009 | 0.159                    | 0.158 | 0.151 | 0.156 | 0.004 | 0.078           | 0.076 | 0.061 | 0.072 | 0.010 |
| 6  | 0.149                     | 0.144 | 0.151 | 0.148 | 0.004 | 0.205                    | 0.205 | 0.208 | 0.206 | 0.002 | 0.127           | 0.127 | 0.133 | 0.129 | 0.004 |
| 7  | 0.132                     | 0.138 | 0.127 | 0.132 | 0.006 | 0.231                    | 0.229 | 0.233 | 0.231 | 0.002 | 0.219           | 0.215 | 0.224 | 0.219 | 0.004 |
| 8  | 0.234                     | 0.206 | 0.210 | 0.217 | 0.015 | 0.298                    | 0.287 | 0.289 | 0.291 | 0.006 | 0.181           | 0.156 | 0.161 | 0.166 | 0.013 |
| 9  | 0.194                     | 0.195 | 0.190 | 0.193 | 0.003 | 0.244                    | 0.237 | 0.247 | 0.243 | 0.005 | 0.113           | 0.098 | 0.120 | 0.110 | 0.011 |
| 10 | 0.139                     | 0.141 | 0.140 | 0.140 | 0.001 | 0.160                    | 0.167 | 0.162 | 0.163 | 0.004 | 0.044           | 0.060 | 0.049 | 0.051 | 0.008 |

## 2.2 ค่ากิจกรรมของเอนไซม์ต่ออุณหภูมิ

ตารางที่ ง-6 ค่าการดูดกลืนแสงที่ 540 นาโนเมตร และค่าการผลิตแมนนาเนสของ *P. polymyxa* BTK01 ที่อุณหภูมิต่าง ๆ

| Temperature<br>(°C) | OD <sub>540</sub> Control |       |       |       |       | OD <sub>540</sub> Sample |       |       |       |       | Mannanase activity (U/ml) |       |       |       |       |
|---------------------|---------------------------|-------|-------|-------|-------|--------------------------|-------|-------|-------|-------|---------------------------|-------|-------|-------|-------|
|                     | #1                        | #2    | #3    | Avg   | SD    | #1                       | #2    | #3    | Avg   | SD    | #1                        | #2    | #3    | Avg   | SD    |
| 30                  | 0.147                     | 0.133 | 0.136 | 0.139 | 0.007 | 0.307                    | 0.301 | 0.273 | 0.294 | 0.018 | 0.267                     | 0.257 | 0.213 | 0.246 | 0.029 |
| 40                  | 0.149                     | 0.160 | 0.208 | 0.172 | 0.031 | 0.398                    | 0.402 | 0.393 | 0.398 | 0.005 | 0.358                     | 0.364 | 0.350 | 0.357 | 0.007 |
| 50                  | 0.161                     | 0.157 | 0.162 | 0.160 | 0.003 | 0.461                    | 0.473 | 0.445 | 0.460 | 0.014 | 0.477                     | 0.496 | 0.452 | 0.475 | 0.022 |
| 60                  | 0.136                     | 0.148 | 0.146 | 0.143 | 0.006 | 0.441                    | 0.471 | 0.431 | 0.448 | 0.021 | 0.472                     | 0.520 | 0.456 | 0.483 | 0.033 |
| 70                  | 0.168                     | 0.156 | 0.160 | 0.161 | 0.006 | 0.307                    | 0.318 | 0.298 | 0.308 | 0.010 | 0.231                     | 0.248 | 0.217 | 0.232 | 0.016 |
| 80                  | 0.161                     | 0.162 | 0.169 | 0.164 | 0.004 | 0.186                    | 0.210 | 0.208 | 0.201 | 0.013 | 0.035                     | 0.073 | 0.070 | 0.059 | 0.021 |

ตารางที่ ง-7 ค่าการดูดกลืนแสงที่ 540 นาโนเมตร และค่าการผลิตไซลาเนสของ *P. polymyxa* BTK01 ที่อุณหภูมิต่าง ๆ

| Temperature<br>(°C) | OD <sub>540</sub> Control |       |       |       |       | OD <sub>540</sub> Sample |       |       |       |       | Xylanase activity (U/ml) |       |       |       |       |
|---------------------|---------------------------|-------|-------|-------|-------|--------------------------|-------|-------|-------|-------|--------------------------|-------|-------|-------|-------|
|                     | #1                        | #2    | #3    | Avg   | SD    | #1                       | #2    | #3    | Avg   | SD    | #1                       | #2    | #3    | Avg   | SD    |
| 30                  | 0.145                     | 0.149 | 0.146 | 0.147 | 0.002 | 0.419                    | 0.425 | 0.416 | 0.420 | 0.005 | 0.605                    | 0.618 | 0.598 | 0.607 | 0.010 |
| 40                  | 0.150                     | 0.159 | 0.151 | 0.153 | 0.005 | 0.509                    | 0.489 | 0.505 | 0.501 | 0.011 | 0.790                    | 0.745 | 0.781 | 0.772 | 0.023 |
| 50                  | 0.137                     | 0.138 | 0.134 | 0.136 | 0.002 | 0.480                    | 0.467 | 0.469 | 0.472 | 0.007 | 0.763                    | 0.734 | 0.739 | 0.745 | 0.016 |
| 60                  | 0.143                     | 0.154 | 0.148 | 0.148 | 0.006 | 0.471                    | 0.472 | 0.431 | 0.458 | 0.023 | 0.716                    | 0.719 | 0.628 | 0.688 | 0.052 |
| 70                  | 0.142                     | 0.140 | 0.138 | 0.140 | 0.002 | 0.275                    | 0.286 | 0.289 | 0.283 | 0.007 | 0.300                    | 0.324 | 0.331 | 0.318 | 0.016 |
| 80                  | 0.140                     | 0.152 | 0.154 | 0.149 | 0.008 | 0.266                    | 0.285 | 0.248 | 0.266 | 0.019 | 0.261                    | 0.303 | 0.221 | 0.261 | 0.041 |

ตารางที่ ง-8 ค่าการดูดกลืนแสงที่ 540 นาโนเมตร และค่าการผลิตแมนนาเนสของ *B. subtilis* BTK07 ที่อุณหภูมิต่าง ๆ

| Temperature<br>(°C) | OD <sub>540</sub> Control |       |       |       |       | OD <sub>540</sub> Sample |       |       |       |       | Mannanase activity (U/ml) |       |       |       |       |
|---------------------|---------------------------|-------|-------|-------|-------|--------------------------|-------|-------|-------|-------|---------------------------|-------|-------|-------|-------|
|                     | #1                        | #2    | #3    | Avg   | SD    | #1                       | #2    | #3    | Avg   | SD    | #1                        | #2    | #3    | Avg   | SD    |
| 30                  | 0.389                     | 0.390 | 0.436 | 0.405 | 0.027 | 1.016                    | 1.017 | 1.051 | 1.028 | 0.020 | 0.969                     | 0.971 | 1.024 | 0.988 | 0.032 |
| 40                  | 0.294                     | 0.353 | 0.324 | 0.324 | 0.030 | 1.069                    | 1.115 | 1.107 | 1.097 | 0.025 | 1.182                     | 1.255 | 1.242 | 1.226 | 0.039 |
| 50                  | 0.280                     | 0.325 | 0.253 | 0.286 | 0.036 | 0.727                    | 0.732 | 0.738 | 0.732 | 0.006 | 0.699                     | 0.707 | 0.717 | 0.708 | 0.009 |
| 60                  | 0.477                     | 0.375 | 0.370 | 0.407 | 0.060 | 0.760                    | 0.768 | 0.800 | 0.776 | 0.021 | 0.559                     | 0.572 | 0.623 | 0.585 | 0.034 |
| 70                  | 0.231                     | 0.268 | 0.254 | 0.251 | 0.019 | 0.543                    | 0.625 | 0.635 | 0.601 | 0.050 | 0.463                     | 0.593 | 0.609 | 0.555 | 0.080 |
| 80                  | 0.377                     | 0.453 | 0.562 | 0.464 | 0.093 | 0.717                    | 0.765 | 0.746 | 0.743 | 0.024 | 0.401                     | 0.477 | 0.447 | 0.442 | 0.038 |

ตารางที่ ง-9 ค่าการดูดกลืนแสงที่ 540 นาโนเมตร และค่าการผลิตไซลานเนสของ *B. subtilis* BTK07 ที่อุณหภูมิต่าง ๆ

| Temperature<br>(°C) | OD <sub>540</sub> Control |       |       |       |       | OD <sub>540</sub> Sample |       |       |       |       | Mannanase activity (U/ml) |       |       |       |       |
|---------------------|---------------------------|-------|-------|-------|-------|--------------------------|-------|-------|-------|-------|---------------------------|-------|-------|-------|-------|
|                     | #1                        | #2    | #3    | Avg   | SD    | #1                       | #2    | #3    | Avg   | SD    | #1                        | #2    | #3    | Avg   | SD    |
| 30                  | 0.076                     | 0.074 | 0.054 | 0.068 | 0.012 | 0.090                    | 0.099 | 0.090 | 0.093 | 0.005 | 0.049                     | 0.069 | 0.049 | 0.056 | 0.012 |
| 40                  | 0.101                     | 0.091 | 0.097 | 0.096 | 0.005 | 0.154                    | 0.165 | 0.153 | 0.157 | 0.007 | 0.128                     | 0.152 | 0.126 | 0.135 | 0.015 |
| 50                  | 0.179                     | 0.195 | 0.182 | 0.185 | 0.009 | 0.276                    | 0.273 | 0.275 | 0.275 | 0.002 | 0.201                     | 0.195 | 0.199 | 0.198 | 0.003 |
| 60                  | 0.130                     | 0.134 | 0.130 | 0.131 | 0.002 | 0.188                    | 0.189 | 0.191 | 0.189 | 0.002 | 0.126                     | 0.128 | 0.132 | 0.129 | 0.003 |
| 70                  | 0.082                     | 0.087 | 0.085 | 0.085 | 0.003 | 0.110                    | 0.110 | 0.111 | 0.110 | 0.001 | 0.056                     | 0.056 | 0.058 | 0.057 | 0.001 |
| 80                  | 0.095                     | 0.096 | 0.096 | 0.096 | 0.001 | 0.108                    | 0.111 | 0.105 | 0.108 | 0.003 | 0.027                     | 0.034 | 0.021 | 0.027 | 0.007 |

## 2.3 ค่ากิจกรรมของเอนไซม์ต่อความคงตัวของค่าพีเอช

ตารางที่ ง-10 ค่าการดูดกลืนแสงที่ 540 นาโนเมตร และค่าการผลิตแมนนาเนสของ *P. polymyxa* BTK01 ต่อค่าพีเอชที่เหมาะสมที่เวลาต่าง ๆ

| Time<br>(min) | OD <sub>540</sub> Control |       |       |       |       | OD <sub>540</sub> Sample |       |       |       |       | Mannanase activity (U/ml) |       |       |       |       |
|---------------|---------------------------|-------|-------|-------|-------|--------------------------|-------|-------|-------|-------|---------------------------|-------|-------|-------|-------|
|               | #1                        | #2    | #3    | Avg   | SD    | #1                       | #2    | #3    | Avg   | SD    | #1                        | #2    | #3    | Avg   | SD    |
| 0             | 0.091                     | 0.087 | 0.091 | 0.090 | 0.002 | 0.296                    | 0.321 | 0.307 | 0.308 | 0.013 | 0.327                     | 0.367 | 0.345 | 0.346 | 0.020 |
| 10            | 0.050                     | 0.050 | 0.049 | 0.050 | 0.001 | 0.159                    | 0.155 | 0.150 | 0.155 | 0.005 | 0.173                     | 0.167 | 0.159 | 0.333 | 0.014 |
| 30            | 0.053                     | 0.057 | 0.059 | 0.056 | 0.003 | 0.162                    | 0.181 | 0.141 | 0.161 | 0.020 | 0.168                     | 0.198 | 0.134 | 0.333 | 0.063 |
| 60            | 0.053                     | 0.049 | 0.054 | 0.052 | 0.003 | 0.156                    | 0.142 | 0.164 | 0.154 | 0.011 | 0.165                     | 0.143 | 0.178 | 0.324 | 0.035 |
| 120           | 0.056                     | 0.060 | 0.056 | 0.057 | 0.002 | 0.164                    | 0.155 | 0.142 | 0.154 | 0.011 | 0.169                     | 0.155 | 0.134 | 0.306 | 0.035 |
| 180           | 0.060                     | 0.061 | 0.059 | 0.060 | 0.001 | 0.155                    | 0.156 | 0.140 | 0.150 | 0.009 | 0.151                     | 0.152 | 0.127 | 0.287 | 0.028 |

ตารางที่ ง-11 ค่าการดูดกลืนแสงที่ 540 นาโนเมตร และค่าการผลิตไซลานเนสของ *P. polymyxa* BTK01 ต่อค่าพีเอชที่เหมาะสมที่เวลาต่าง ๆ

| Time<br>(min) | OD <sub>540</sub> Control |       |       |       |       | OD <sub>540</sub> Sample |       |       |       |       | Xylanase activity (U/ml) |       |       |       |       |
|---------------|---------------------------|-------|-------|-------|-------|--------------------------|-------|-------|-------|-------|--------------------------|-------|-------|-------|-------|
|               | #1                        | #2    | #3    | Avg   | SD    | #1                       | #2    | #3    | Avg   | SD    | #1                       | #2    | #3    | Avg   | SD    |
| 0             | 0.150                     | 0.159 | 0.151 | 0.153 | 0.005 | 0.509                    | 0.489 | 0.505 | 0.501 | 0.011 | 0.789                    | 0.744 | 0.780 | 0.771 | 0.023 |
| 10            | 0.038                     | 0.044 | 0.044 | 0.042 | 0.003 | 0.185                    | 0.201 | 0.185 | 0.190 | 0.009 | 0.317                    | 0.353 | 0.317 | 0.658 | 0.041 |
| 30            | 0.045                     | 0.040 | 0.041 | 0.042 | 0.003 | 0.180                    | 0.180 | 0.181 | 0.180 | 0.001 | 0.306                    | 0.306 | 0.308 | 0.614 | 0.003 |
| 60            | 0.046                     | 0.052 | 0.056 | 0.051 | 0.005 | 0.180                    | 0.187 | 0.184 | 0.184 | 0.004 | 0.285                    | 0.301 | 0.294 | 0.587 | 0.016 |
| 120           | 0.045                     | 0.043 | 0.044 | 0.044 | 0.001 | 0.166                    | 0.175 | 0.180 | 0.174 | 0.007 | 0.271                    | 0.291 | 0.302 | 0.575 | 0.031 |
| 180           | 0.056                     | 0.057 | 0.063 | 0.059 | 0.004 | 0.171                    | 0.175 | 0.181 | 0.176 | 0.005 | 0.249                    | 0.258 | 0.271 | 0.519 | 0.022 |

ตารางที่ ง-12 ค่าการดูดกลืนแสงที่ 540 นาโนเมตร และค่าการผลิตแมนนาเนสของ *B. subtilis* BTK07 ต่อค่าพีเอชที่เหมาะสมที่เวลาต่าง ๆ

| Time<br>(min) | OD <sub>540</sub> Control |       |       |       |       | OD <sub>540</sub> Sample |       |       |       |       | Mannanase activity (U/ml) |       |       |       |       |
|---------------|---------------------------|-------|-------|-------|-------|--------------------------|-------|-------|-------|-------|---------------------------|-------|-------|-------|-------|
|               | #1                        | #2    | #3    | Avg   | SD    | #1                       | #2    | #3    | Avg   | SD    | #1                        | #2    | #3    | Avg   | SD    |
| 0             | 0.294                     | 0.353 | 0.324 | 0.324 | 0.030 | 1.069                    | 1.115 | 1.107 | 1.097 | 0.025 | 1.182                     | 1.255 | 1.242 | 1.226 | 0.039 |
| 10            | 0.151                     | 0.164 | 0.140 | 0.152 | 0.012 | 0.514                    | 0.519 | 0.461 | 0.498 | 0.032 | 0.575                     | 0.583 | 0.491 | 1.098 | 0.102 |
| 30            | 0.091                     | 0.074 | 0.077 | 0.081 | 0.009 | 0.422                    | 0.420 | 0.426 | 0.423 | 0.003 | 0.541                     | 0.538 | 0.548 | 1.085 | 0.010 |
| 60            | 0.156                     | 0.148 | 0.125 | 0.143 | 0.016 | 0.444                    | 0.503 | 0.497 | 0.481 | 0.032 | 0.477                     | 0.571 | 0.561 | 1.073 | 0.103 |
| 120           | 0.125                     | 0.176 | 0.177 | 0.159 | 0.030 | 0.519                    | 0.501 | 0.488 | 0.503 | 0.016 | 0.570                     | 0.542 | 0.521 | 1.089 | 0.049 |
| 180           | 0.125                     | 0.141 | 0.129 | 0.132 | 0.008 | 0.453                    | 0.465 | 0.436 | 0.451 | 0.015 | 0.510                     | 0.529 | 0.483 | 1.014 | 0.046 |



ตารางที่ ง-13 ค่าการดูดกลืนแสงที่ 540 นาโนเมตร และค่าการผลิตไซลานเนสของ *B. subtilis* BTK07 ต่อค่าพีเอชที่เหมาะสมที่เวลาต่าง ๆ

| Time<br>(min) | OD <sub>540</sub> Control |       |       |       |       | OD <sub>540</sub> Sample |       |       |       |       | Xylanase activity (U/ml) |       |       |       |       |
|---------------|---------------------------|-------|-------|-------|-------|--------------------------|-------|-------|-------|-------|--------------------------|-------|-------|-------|-------|
|               | #1                        | #2    | #3    | Avg   | SD    | #1                       | #2    | #3    | Avg   | SD    | #1                       | #2    | #3    | Avg   | SD    |
| 0             | 0.179                     | 0.195 | 0.182 | 0.185 | 0.009 | 0.276                    | 0.273 | 0.275 | 0.275 | 0.002 | 0.201                    | 0.194 | 0.199 | 0.198 | 0.003 |
| 10            | 0.146                     | 0.150 | 0.149 | 0.148 | 0.002 | 0.167                    | 0.181 | 0.184 | 0.177 | 0.009 | 0.041                    | 0.072 | 0.079 | 0.129 | 0.040 |
| 30            | 0.147                     | 0.146 | 0.158 | 0.150 | 0.007 | 0.181                    | 0.185 | 0.176 | 0.181 | 0.005 | 0.068                    | 0.077 | 0.057 | 0.135 | 0.020 |
| 60            | 0.147                     | 0.158 | 0.154 | 0.153 | 0.006 | 0.188                    | 0.175 | 0.175 | 0.179 | 0.008 | 0.078                    | 0.049 | 0.049 | 0.117 | 0.033 |
| 120           | 0.142                     | 0.148 | 0.142 | 0.144 | 0.003 | 0.173                    | 0.176 | 0.156 | 0.168 | 0.011 | 0.064                    | 0.071 | 0.027 | 0.108 | 0.048 |
| 180           | 0.156                     | 0.150 | 0.145 | 0.150 | 0.006 | 0.168                    | 0.175 | 0.164 | 0.169 | 0.006 | 0.039                    | 0.055 | 0.030 | 0.083 | 0.025 |

## 2.4 ค่ากิจกรรมของเอนไซม์ต่อความคงตัวของอุณหภูมิตัวต่ออุณหภูมิตัว

ตารางที่ ง-14 ค่าการดูดกลืนแสงที่ 540 นาโนเมตร และค่าการผลิตแมนนาเนสของ *P. polymyxa* BTK01 ต่ออุณหภูมิตัวที่เหมาะสมที่เวลาต่าง ๆ

| Time<br>(min) | OD <sub>540</sub> Control |       |       |       |       | OD <sub>540</sub> Sample |       |       |       |       | Mannanase activity (U/ml) |       |       |       |       |
|---------------|---------------------------|-------|-------|-------|-------|--------------------------|-------|-------|-------|-------|---------------------------|-------|-------|-------|-------|
|               | #1                        | #2    | #3    | Avg   | SD    | #1                       | #2    | #3    | Avg   | SD    | #1                        | #2    | #3    | Avg   | SD    |
| 0             | 0.091                     | 0.087 | 0.091 | 0.090 | 0.002 | 0.296                    | 0.321 | 0.307 | 0.308 | 0.013 | 0.327                     | 0.367 | 0.345 | 0.346 | 0.020 |
| 10            | 0.068                     | 0.066 | 0.077 | 0.070 | 0.006 | 0.251                    | 0.231 | 0.246 | 0.243 | 0.010 | 0.287                     | 0.255 | 0.279 | 0.273 | 0.017 |
| 30            | 0.081                     | 0.086 | 0.088 | 0.085 | 0.004 | 0.228                    | 0.230 | 0.225 | 0.228 | 0.003 | 0.227                     | 0.230 | 0.222 | 0.226 | 0.004 |
| 60            | 0.085                     | 0.081 | 0.074 | 0.080 | 0.006 | 0.213                    | 0.236 | 0.229 | 0.226 | 0.012 | 0.211                     | 0.247 | 0.236 | 0.232 | 0.019 |
| 120           | 0.090                     | 0.083 | 0.087 | 0.087 | 0.004 | 0.170                    | 0.183 | 0.172 | 0.175 | 0.007 | 0.132                     | 0.153 | 0.135 | 0.140 | 0.011 |
| 180           | 0.077                     | 0.074 | 0.082 | 0.078 | 0.004 | 0.138                    | 0.150 | 0.147 | 0.145 | 0.006 | 0.096                     | 0.115 | 0.110 | 0.107 | 0.010 |

ตารางที่ ง-15 ค่าการดูดกลืนแสงที่ 540 นาโนเมตร และค่าการผลิตไซลานเนสของ *P. polymyxa* BTK01 ต่ออุณหภูมิที่เหมาะสมที่เวลาต่าง ๆ

| Time<br>(min) | OD <sub>540</sub> Control |       |       |       |       | OD <sub>540</sub> Sample |       |       |       |       | Xylanase activity (U/ml) |       |       |       |      |
|---------------|---------------------------|-------|-------|-------|-------|--------------------------|-------|-------|-------|-------|--------------------------|-------|-------|-------|------|
|               | #1                        | #2    | #3    | Avg   | SD    | #1                       | #2    | #3    | Avg   | SD    | #1                       | #2    | #3    | Avg   | SD   |
| 0             | 0.150                     | 0.159 | 0.151 | 0.153 | 0.005 | 0.509                    | 0.489 | 0.505 | 0.501 | 0.011 | 0.790                    | 0.745 | 0.781 | 0.772 | 0.02 |
| 10            | 0.119                     | 0.138 | 0.115 | 0.124 | 0.012 | 0.485                    | 0.450 | 0.442 | 0.459 | 0.023 | 0.802                    | 0.724 | 0.706 | 0.744 | 0.05 |
| 30            | 0.118                     | 0.123 | 0.115 | 0.119 | 0.004 | 0.443                    | 0.459 | 0.459 | 0.454 | 0.009 | 0.720                    | 0.756 | 0.756 | 0.744 | 0.02 |
| 60            | 0.105                     | 0.119 | 0.121 | 0.115 | 0.009 | 0.455                    | 0.450 | 0.440 | 0.448 | 0.008 | 0.755                    | 0.744 | 0.722 | 0.740 | 0.02 |
| 120           | 0.107                     | 0.119 | 0.120 | 0.115 | 0.007 | 0.444                    | 0.451 | 0.407 | 0.434 | 0.024 | 0.730                    | 0.745 | 0.648 | 0.708 | 0.05 |
| 180           | 0.129                     | 0.128 | 0.129 | 0.129 | 0.001 | 0.423                    | 0.436 | 0.416 | 0.425 | 0.010 | 0.654                    | 0.682 | 0.638 | 0.658 | 0.02 |

ตารางที่ ง-16 ค่าการดูดกลืนแสงที่ 540 นาโนเมตร และค่าการผลิตแมนนาเนสของ *B. subtilis* BTK07 ต่ออุณหภูมิที่เหมาะสมที่เวลาต่าง ๆ

| Time<br>(min) | OD <sub>540</sub> Control |       |       |       |       | OD <sub>540</sub> Sample |       |       |       |       | Mannanase activity (U/ml) |       |       |       |      |
|---------------|---------------------------|-------|-------|-------|-------|--------------------------|-------|-------|-------|-------|---------------------------|-------|-------|-------|------|
|               | #1                        | #2    | #3    | Avg   | SD    | #1                       | #2    | #3    | Avg   | SD    | #1                        | #2    | #3    | Avg   | SD   |
| 0             | 0.294                     | 0.353 | 0.324 | 0.324 | 0.030 | 1.069                    | 1.115 | 1.107 | 1.097 | 0.025 | 1.182                     | 1.255 | 1.242 | 1.226 | 0.04 |
| 10            | 0.204                     | 0.202 | 0.231 | 0.212 | 0.016 | 0.939                    | 0.566 | 0.560 | 0.688 | 0.217 | 1.152                     | 0.561 | 0.551 | 0.755 | 0.34 |
| 30            | 0.276                     | 0.277 | 0.273 | 0.275 | 0.002 | 0.683                    | 0.643 | 0.594 | 0.640 | 0.045 | 0.647                     | 0.583 | 0.505 | 0.578 | 0.07 |
| 60            | 0.301                     | 0.266 | 0.275 | 0.281 | 0.018 | 0.620                    | 0.744 | 0.647 | 0.670 | 0.065 | 0.538                     | 0.735 | 0.581 | 0.618 | 0.10 |
| 120           | 0.279                     | 0.276 | 0.302 | 0.286 | 0.014 | 0.688                    | 0.641 | 0.613 | 0.647 | 0.038 | 0.638                     | 0.564 | 0.519 | 0.574 | 0.06 |
| 180           | 0.236                     | 0.254 | 0.257 | 0.249 | 0.011 | 0.612                    | 0.674 | 0.577 | 0.621 | 0.049 | 0.576                     | 0.674 | 0.520 | 0.590 | 0.08 |

ตารางที่ ง-17 ค่าการดูดกลืนแสงที่ 540 นาโนเมตร และค่าการผลิตไซลานเนสของ *B. subtilis* BTK07 ต่ออุณหภูมิที่เหมาะสมที่เวลาต่าง ๆ

| Time<br>(min) | OD <sub>540</sub> Control |       |       |       |       | OD <sub>540</sub> Sample |       |       |       |       | Xylanase activity (U/ml) |       |       |       |      |
|---------------|---------------------------|-------|-------|-------|-------|--------------------------|-------|-------|-------|-------|--------------------------|-------|-------|-------|------|
|               | #1                        | #2    | #3    | Avg   | SD    | #1                       | #2    | #3    | Avg   | SD    | #1                       | #2    | #3    | Avg   | SD   |
| 0             | 0.179                     | 0.195 | 0.182 | 0.185 | 0.009 | 0.276                    | 0.273 | 0.275 | 0.275 | 0.002 | 0.201                    | 0.195 | 0.199 | 0.198 | 0.00 |
| 10            | 0.294                     | 0.258 | 0.275 | 0.276 | 0.018 | 0.333                    | 0.334 | 0.334 | 0.334 | 0.001 | 0.127                    | 0.130 | 0.130 | 0.129 | 0.00 |
| 30            | 0.271                     | 0.275 | 0.285 | 0.277 | 0.007 | 0.332                    | 0.318 | 0.318 | 0.323 | 0.008 | 0.122                    | 0.091 | 0.091 | 0.101 | 0.02 |
| 60            | 0.285                     | 0.270 | 0.255 | 0.270 | 0.015 | 0.302                    | 0.315 | 0.317 | 0.311 | 0.008 | 0.071                    | 0.100 | 0.104 | 0.092 | 0.02 |
| 120           | 0.290                     | 0.251 | 0.248 | 0.263 | 0.023 | 0.288                    | 0.291 | 0.320 | 0.300 | 0.018 | 0.056                    | 0.062 | 0.127 | 0.081 | 0.04 |
| 180           | 0.285                     | 0.283 | 0.264 | 0.277 | 0.012 | 0.302                    | 0.298 | 0.317 | 0.306 | 0.010 | 0.055                    | 0.046 | 0.088 | 0.063 | 0.02 |

### 3. ผลการศึกษาการงอกของเมล็ดด้วยวิธีการแช่เมล็ด

#### 3.1 ค่าเปอร์เซ็นต์การงอก (เปอร์เซ็นต์) ของเมล็ดผักสลัดกรีนโอ๊ค

ตารางที่ ง-18 ค่าเปอร์เซ็นต์การงอก (เปอร์เซ็นต์) ของเมล็ดผักสลัดกรีนโอ๊คที่ 0 วัน

| Treatments | Percentage of seed germination (%) |     |     |     |      |            |     |     |     |      |            |     |     |     |      |           |     |     |     |      |
|------------|------------------------------------|-----|-----|-----|------|------------|-----|-----|-----|------|------------|-----|-----|-----|------|-----------|-----|-----|-----|------|
|            | Light>Light                        |     |     |     |      | Light>Dark |     |     |     |      | Dark>Light |     |     |     |      | Dark>Dark |     |     |     |      |
|            | #1                                 | #2  | #3  | Avg | SD   | #1         | #2  | #3  | Avg | SD   | #1         | #2  | #3  | Avg | SD   | #1        | #2  | #3  | Avg | SD   |
| T1         | 100                                | 100 | 100 | 100 | 0.00 | 100        | 100 | 90  | 97  | 5.77 | 100        | 100 | 100 | 100 | 0.00 | 100       | 90  | 100 | 97  | 5.77 |
| T2         | 90                                 | 100 | 100 | 97  | 5.77 | 100        | 100 | 100 | 100 | 0.00 | 100        | 100 | 100 | 100 | 0.00 | 100       | 100 | 100 | 100 | 0.00 |
| T3         | 90                                 | 100 | 90  | 93  | 5.77 | 100        | 90  | 100 | 97  | 5.77 | 100        | 100 | 100 | 100 | 0.00 | 100       | 100 | 100 | 100 | 0.00 |
| T4         | 100                                | 100 | 100 | 100 | 0.00 | 100        | 100 | 100 | 100 | 0.00 | 100        | 100 | 90  | 97  | 5.77 | 90        | 100 | 100 | 97  | 5.77 |
| T5         | 100                                | 100 | 100 | 100 | 0.00 | 100        | 100 | 100 | 100 | 0.00 | 100        | 100 | 100 | 100 | 0.00 | 100       | 100 | 100 | 100 | 0.00 |

ตารางที่ ง-19 ค่าเปอร์เซ็นต์การงอก (เปอร์เซ็นต์) ของเมล็ดผักสลัดกรีนโอ๊คที่ 40 วัน

| Treatments | Percentage of seed germination (%) |     |     |     |       |            |     |     |     |       |            |     |     |     |      |           |     |     |     |       |
|------------|------------------------------------|-----|-----|-----|-------|------------|-----|-----|-----|-------|------------|-----|-----|-----|------|-----------|-----|-----|-----|-------|
|            | Light>Light                        |     |     |     |       | Light>Dark |     |     |     |       | Dark>Light |     |     |     |      | Dark>Dark |     |     |     |       |
|            | #1                                 | #2  | #3  | Avg | SD    | #1         | #2  | #3  | Avg | SD    | #1         | #2  | #3  | Avg | SD   | #1        | #2  | #3  | Avg | SD    |
| T1         | 100                                | 90  | 100 | 97  | 5.77  | 100        | 100 | 90  | 97  | 5.77  | 100        | 100 | 100 | 100 | 0.00 | 100       | 100 | 100 | 100 | 0.00  |
| T2         | 100                                | 100 | 90  | 97  | 5.77  | 90         | 100 | 100 | 97  | 5.77  | 100        | 90  | 100 | 97  | 5.77 | 100       | 100 | 100 | 100 | 0.00  |
| T3         | 100                                | 100 | 80  | 93  | 11.55 | 80         | 70  | 100 | 83  | 15.28 | 90         | 100 | 100 | 97  | 5.77 | 100       | 70  | 100 | 90  | 17.32 |
| T4         | 100                                | 100 | 80  | 93  | 11.55 | 100        | 100 | 100 | 100 | 0.00  | 100        | 90  | 100 | 97  | 5.77 | 100       | 100 | 90  | 97  | 5.77  |
| T5         | 100                                | 100 | 80  | 93  | 11.55 | 80         | 90  | 100 | 90  | 10.00 | 100        | 90  | 100 | 97  | 5.77 | 90        | 100 | 100 | 97  | 5.77  |

### 3.1 ค่าเปอร์เซ็นต์การงอก (เปอร์เซ็นต์) ของเมล็ดผักสลัดกรีนโอ๊ค

ตารางที่ ง-20 ค่าเปอร์เซ็นต์การงอก (เปอร์เซ็นต์) ของเมล็ดผักสลัดกรีนโอ๊คที่ 60 วัน

| Treatments | Percentage of seed germination (%) |     |     |     |       |            |     |     |     |       |            |     |     |     |       |           |     |     |     |       |
|------------|------------------------------------|-----|-----|-----|-------|------------|-----|-----|-----|-------|------------|-----|-----|-----|-------|-----------|-----|-----|-----|-------|
|            | Light>Light                        |     |     |     |       | Light>Dark |     |     |     |       | Dark>Light |     |     |     |       | Dark>Dark |     |     |     |       |
|            | #1                                 | #2  | #3  | Avg | SD    | #1         | #2  | #3  | Avg | SD    | #1         | #2  | #3  | Avg | SD    | #1        | #2  | #3  | Avg | SD    |
| T1         | 100                                | 100 | 100 | 100 | 0.00  | 80         | 100 | 100 | 93  | 11.55 | 100        | 100 | 100 | 100 | 0.00  | 100       | 100 | 60  | 87  | 23.09 |
| T2         | 100                                | 100 | 100 | 100 | 0.00  | 90         | 100 | 100 | 97  | 5.77  | 100        | 100 | 90  | 97  | 5.77  | 80        | 90  | 90  | 87  | 5.77  |
| T3         | 60                                 | 80  | 90  | 77  | 15.28 | 100        | 100 | 90  | 97  | 5.77  | 100        | 100 | 60  | 87  | 23.09 | 80        | 100 | 100 | 93  | 11.55 |
| T4         | 90                                 | 100 | 90  | 93  | 5.77  | 100        | 100 | 100 | 100 | 0.00  | 100        | 100 | 90  | 97  | 5.77  | 90        | 70  | 80  | 80  | 10.00 |
| T5         | 100                                | 100 | 90  | 97  | 5.77  | 80         | 90  | 100 | 90  | 10.00 | 100        | 100 | 100 | 100 | 0.00  | 100       | 90  | 90  | 93  | 5.77  |



### 3.2 ค่าความเร็วในการงอก (ต้น/วัน) ของเมล็ดผักสลัดกรีนโอ๊ค

ตารางที่ ง-21 ค่าความเร็วในการงอก (ต้น/วัน) ของเมล็ดผักสลัดกรีนโอ๊คที่ 0 วัน

| Treatments | Speed of germination (plant/day) |      |      |      |      |            |      |      |      |      |            |      |      |      |      |           |      |      |      |      |
|------------|----------------------------------|------|------|------|------|------------|------|------|------|------|------------|------|------|------|------|-----------|------|------|------|------|
|            | Light>Light                      |      |      |      |      | Light>Dark |      |      |      |      | Dark>Light |      |      |      |      | Dark>Dark |      |      |      |      |
|            | #1                               | #2   | #3   | Avg  | SD   | #1         | #2   | #3   | Avg  | SD   | #1         | #2   | #3   | Avg  | SD   | #1        | #2   | #3   | Avg  | SD   |
| T1         | 3.93                             | 3.93 | 3.93 | 3.93 | 0.00 | 3.93       | 3.93 | 3.68 | 3.85 | 0.14 | 3.93       | 3.93 | 3.54 | 3.80 | 0.23 | 3.93      | 3.79 | 3.43 | 3.71 | 0.26 |
| T2         | 3.79                             | 3.68 | 3.93 | 3.80 | 0.13 | 3.93       | 3.93 | 3.93 | 3.93 | 0.00 | 3.93       | 3.93 | 3.93 | 3.93 | 0.00 | 3.93      | 3.93 | 3.68 | 3.85 | 0.14 |
| T3         | 3.79                             | 3.93 | 3.79 | 3.83 | 0.08 | 3.68       | 3.93 | 3.68 | 3.76 | 0.14 | 3.93       | 3.79 | 3.68 | 3.80 | 0.13 | 3.93      | 3.93 | 3.68 | 3.85 | 0.14 |
| T4         | 3.93                             | 3.93 | 3.18 | 3.68 | 0.43 | 3.93       | 3.93 | 3.79 | 3.88 | 0.08 | 3.93       | 3.93 | 3.93 | 3.93 | 0.00 | 3.79      | 3.93 | 3.68 | 3.80 | 0.13 |
| T5         | 3.93                             | 3.68 | 3.68 | 3.76 | 0.14 | 3.93       | 3.93 | 3.93 | 3.93 | 0.00 | 3.93       | 3.93 | 3.93 | 3.93 | 0.00 | 3.93      | 3.93 | 3.93 | 3.93 | 0.00 |

ตารางที่ ง-22 ค่าความเร็วในการงอก (ต้น/วัน) ของเมล็ดผักสลัดกรีนโอ๊คที่ 40 วัน

| Treatments | Speed of germination (plant/day) |      |      |      |      |            |      |      |      |      |            |      |      |      |      |           |      |      |      |      |
|------------|----------------------------------|------|------|------|------|------------|------|------|------|------|------------|------|------|------|------|-----------|------|------|------|------|
|            | Light>Light                      |      |      |      |      | Light>Dark |      |      |      |      | Dark>Light |      |      |      |      | Dark>Dark |      |      |      |      |
|            | #1                               | #2   | #3   | Avg  | SD   | #1         | #2   | #3   | Avg  | SD   | #1         | #2   | #3   | Avg  | SD   | #1        | #2   | #3   | Avg  | SD   |
| T1         | 3.93                             | 3.79 | 3.93 | 3.88 | 0.08 | 3.43       | 3.18 | 3.18 | 3.26 | 0.14 | 3.43       | 3.93 | 3.79 | 3.71 | 0.26 | 3.68      | 3.68 | 3.43 | 3.60 | 0.14 |
| T2         | 3.93                             | 3.93 | 3.54 | 3.80 | 0.23 | 3.93       | 3.93 | 3.68 | 3.85 | 0.14 | 3.79       | 3.93 | 3.93 | 3.88 | 0.08 | 3.93      | 3.29 | 3.93 | 3.71 | 0.37 |
| T3         | 3.43                             | 3.18 | 3.39 | 3.33 | 0.14 | 3.93       | 3.25 | 3.93 | 3.70 | 0.39 | 3.64       | 3.50 | 3.68 | 3.61 | 0.09 | 3.04      | 3.68 | 3.68 | 3.46 | 0.37 |
| T4         | 3.68                             | 3.68 | 3.14 | 3.50 | 0.31 | 3.43       | 3.68 | 3.79 | 3.63 | 0.18 | 3.93       | 3.93 | 3.93 | 3.93 | 0.00 | 3.93      | 3.54 | 3.68 | 3.71 | 0.20 |
| T5         | 3.93                             | 3.68 | 3.14 | 3.58 | 0.40 | 3.79       | 3.93 | 3.68 | 3.80 | 0.13 | 3.39       | 3.79 | 3.68 | 3.62 | 0.20 | 3.93      | 3.29 | 3.68 | 3.63 | 0.32 |

ตารางที่ ง-23 ค่าความเร็วในการงอก (ต้น/วัน) ของเมล็ดผักสลัดกรีนโอ๊คที่ 60 วัน

| Treatments | Speed of germination (plant/day) |      |      |      |      |            |      |      |      |      |            |      |      |      |      |           |      |      |      |      |
|------------|----------------------------------|------|------|------|------|------------|------|------|------|------|------------|------|------|------|------|-----------|------|------|------|------|
|            | Light>Light                      |      |      |      |      | Light>Dark |      |      |      |      | Dark>Light |      |      |      |      | Dark>Dark |      |      |      |      |
|            | #1                               | #2   | #3   | Avg  | SD   | #1         | #2   | #3   | Avg  | SD   | #1         | #2   | #3   | Avg  | SD   | #1        | #2   | #3   | Avg  | SD   |
| T1         | 3.93                             | 3.93 | 3.93 | 3.93 | 0.00 | 3.68       | 3.68 | 3.68 | 3.68 | 0.00 | 3.14       | 3.93 | 3.93 | 3.67 | 0.45 | 3.68      | 3.68 | 2.86 | 3.40 | 0.47 |
| T2         | 3.93                             | 3.93 | 3.68 | 3.85 | 0.14 | 3.93       | 3.93 | 3.54 | 3.80 | 0.23 | 3.79       | 3.93 | 3.93 | 3.88 | 0.08 | 3.64      | 3.29 | 3.79 | 3.57 | 0.26 |
| T3         | 2.86                             | 2.89 | 3.54 | 3.10 | 0.38 | 3.93       | 3.68 | 3.36 | 3.65 | 0.29 | 3.93       | 3.93 | 3.54 | 3.80 | 0.23 | 2.89      | 3.68 | 3.68 | 3.42 | 0.45 |
| T4         | 3.54                             | 3.68 | 3.29 | 3.50 | 0.20 | 3.43       | 3.68 | 3.79 | 3.63 | 0.18 | 3.93       | 3.93 | 3.93 | 3.93 | 0.00 | 3.79      | 3.25 | 3.39 | 3.48 | 0.28 |
| T5         | 3.93                             | 3.68 | 3.29 | 3.63 | 0.32 | 3.93       | 3.93 | 3.68 | 3.85 | 0.14 | 3.39       | 3.79 | 3.68 | 3.62 | 0.20 | 3.93      | 3.29 | 3.54 | 3.58 | 0.32 |

### 3.3 ค่าความยาวยอด (เซนติเมตร) ของต้นอ่อนผักสลัดกรีนโอ๊ค

ตารางที่ ง-24 ค่าความยาวยอด (เซนติเมตร) ของต้นอ่อนผักสลัดกรีนโอ๊คที่ 0 วัน

| Treatments | Shoot length (cm) |      |      |      |     |            |      |      |      |      |            |      |     |      |      |           |      |      |      |      |
|------------|-------------------|------|------|------|-----|------------|------|------|------|------|------------|------|-----|------|------|-----------|------|------|------|------|
|            | Light>Light       |      |      |      |     | Light>Dark |      |      |      |      | Dark>Light |      |     |      |      | Dark>Dark |      |      |      |      |
|            | #1                | #2   | #3   | Avg  | SD  | #1         | #2   | #3   | Avg  | SD   | #1         | #2   | #3  | Avg  | SD   | #1        | #2   | #3   | Avg  | SD   |
| T1         | 9.0               | 11.1 | 10.8 | 10.3 | 1.1 | 24.9       | 22.4 | 25.2 | 24.2 | 1.54 | 9.7        | 8.9  | 9.8 | 9.5  | 0.49 | 23.2      | 22.7 | 18.0 | 21.3 | 2.87 |
| T2         | 12.2              | 10.1 | 5.6  | 9.3  | 3.4 | 23.5       | 25.2 | 23.6 | 24.1 | 0.95 | 12.4       | 11.6 | 9.8 | 11.3 | 1.33 | 21.8      | 19.2 | 22.9 | 21.3 | 1.90 |
| T3         | 11.3              | 8.9  | 8.7  | 9.6  | 1.4 | 26.3       | 22.7 | 22.4 | 23.8 | 2.17 | 10.3       | 9.1  | 8.6 | 9.3  | 0.87 | 20.5      | 21.3 | 23.6 | 21.8 | 1.61 |
| T4         | 10.4              | 10.8 | 10.1 | 10.4 | 0.4 | 24.0       | 25.7 | 23.5 | 24.4 | 1.15 | 11         | 11   | 8.8 | 10.3 | 1.27 | 24.1      | 23.8 | 23.6 | 23.8 | 0.25 |
| T5         | 9.3               | 8.0  | 9.4  | 8.9  | 0.8 | 25.0       | 26.0 | 23.0 | 24.7 | 1.53 | 9.6        | 10.5 | 9.3 | 9.8  | 0.62 | 27.1      | 25.4 | 26.0 | 26.2 | 0.86 |

ตารางที่ ง-25 ค่าความยาวยอด (เซนติเมตร) ของต้นอ่อนผักสลัดกรีนโอ๊คที่ 40 วัน

| Treatments | Shoot length (cm) |      |      |      |     |            |      |      |      |     |            |      |      |      |     |           |      |      |      |     |
|------------|-------------------|------|------|------|-----|------------|------|------|------|-----|------------|------|------|------|-----|-----------|------|------|------|-----|
|            | Light>Light       |      |      |      |     | Light>Dark |      |      |      |     | Dark>Light |      |      |      |     | Dark>Dark |      |      |      |     |
|            | #1                | #2   | #3   | Avg  | SD  | #1         | #2   | #3   | Avg  | SD  | #1         | #2   | #3   | Avg  | SD  | #1        | #2   | #3   | Avg  | SD  |
| T1         | 12.2              | 11.4 | 10.2 | 11.3 | 1.0 | 19.9       | 18.4 | 19.2 | 19.2 | 0.8 | 11.4       | 11.7 | 12.6 | 11.9 | 0.6 | 20.5      | 19.4 | 20.6 | 20.2 | 0.7 |
| T2         | 12.6              | 10.1 | 10.4 | 11.0 | 1.4 | 16.3       | 19.0 | 16.3 | 17.2 | 1.6 | 11.4       | 11.2 | 11.9 | 11.5 | 0.4 | 18.4      | 14.4 | 15.3 | 16.0 | 2.1 |
| T3         | 9.3               | 11.0 | 12.2 | 10.8 | 1.5 | 14.7       | 17.6 | 14.0 | 15.4 | 1.9 | 9.4        | 10.2 | 10.6 | 10.1 | 0.6 | 15.2      | 14.9 | 20.1 | 16.7 | 2.9 |
| T4         | 14.0              | 10.8 | 8.8  | 11.2 | 2.6 | 20.2       | 22.6 | 21.4 | 21.4 | 1.2 | 11.8       | 8.7  | 8.6  | 9.7  | 1.8 | 19.0      | 16.1 | 16.4 | 17.2 | 1.6 |
| T5         | 12.0              | 9.0  | 9.1  | 10.0 | 1.7 | 19.2       | 10.6 | 15.9 | 15.2 | 4.3 | 7.4        | 10.7 | 11.4 | 9.8  | 2.1 | 20.0      | 19.8 | 22.0 | 20.6 | 1.2 |

ตารางที่ ง-26 ค่าความยาวยอด (เซนติเมตร) ของต้นอ่อนผักสลัดกรีนโอ๊คที่ 60 วัน

| Treatments | Shoot length (cm) |     |     |     |     |            |      |      |      |     |            |      |      |      |     |           |      |      |      |      |
|------------|-------------------|-----|-----|-----|-----|------------|------|------|------|-----|------------|------|------|------|-----|-----------|------|------|------|------|
|            | Light>Light       |     |     |     |     | Light>Dark |      |      |      |     | Dark>Light |      |      |      |     | Dark>Dark |      |      |      |      |
|            | #1                | #2  | #3  | Avg | SD  | #1         | #2   | #3   | Avg  | SD  | #1         | #2   | #3   | Avg  | SD  | #1        | #2   | #3   | Avg  | SD   |
| T1         | 5.7               | 5.7 | 4.1 | 5.2 | 0.9 | 17.7       | 18.6 | 21.9 | 19.4 | 2.2 | 9.3        | 12.8 | 8.3  | 10.1 | 2.4 | 51.1      | 18.1 | 17.6 | 28.9 | 19.2 |
| T2         | 5.1               | 5.6 | 7.6 | 6.1 | 1.3 | 17.7       | 16.8 | 19.6 | 18.0 | 1.4 | 11.9       | 13.1 | 14.9 | 13.3 | 1.5 | 20.8      | 14.4 | 14.7 | 16.6 | 3.6  |
| T3         | 5.5               | 7.5 | 7.2 | 6.7 | 1.1 | 16.8       | 13.7 | 17.0 | 15.8 | 1.9 | 9.4        | 8.7  | 10.2 | 9.4  | 0.8 | 18.0      | 20.0 | 17.1 | 18.4 | 1.5  |
| T4         | 5.9               | 5.7 | 8.6 | 6.7 | 1.6 | 11.4       | 17.1 | 16.6 | 15.0 | 3.2 | 11.7       | 11.2 | 12.9 | 11.9 | 0.9 | 18.7      | 16.3 | 22.3 | 19.1 | 3.0  |
| T5         | 4.2               | 7.1 | 5.7 | 5.7 | 1.5 | 15.7       | 13.5 | 12.7 | 14.0 | 1.6 | 9.2        | 9.6  | 8.8  | 9.2  | 0.4 | 19.2      | 19.1 | 15.3 | 17.9 | 2.2  |

### 3.4 ค่าความยาวราก (เซนติเมตร) ของต้นอ่อนผักสลัดกรีนโอ๊ค

ตารางที่ ง-27 ค่าความยาวราก (เซนติเมตร) ของต้นอ่อนผักสลัดกรีนโอ๊คที่ 0 วัน

| Treatments | Root length (cm) |      |      |      |     |            |      |      |      |     |            |      |      |      |      |           |      |      |      |     |
|------------|------------------|------|------|------|-----|------------|------|------|------|-----|------------|------|------|------|------|-----------|------|------|------|-----|
|            | Light>Light      |      |      |      |     | Light>Dark |      |      |      |     | Dark>Light |      |      |      |      | Dark>Dark |      |      |      |     |
|            | #1               | #2   | #3   | Avg  | SD  | #1         | #2   | #3   | Avg  | SD  | #1         | #2   | #3   | Avg  | SD   | #1        | #2   | #3   | Avg  | SD  |
| T1         | 61.3             | 63.8 | 55.7 | 60.3 | 4.1 | 46.5       | 33.6 | 46.0 | 42.0 | 7.3 | 52.8       | 57.4 | 62.8 | 57.7 | 5.0  | 41.7      | 35.4 | 33.1 | 36.7 | 4.5 |
| T2         | 50.9             | 64.4 | 69.1 | 61.5 | 9.4 | 59.9       | 49.4 | 53.7 | 54.3 | 5.3 | 58.8       | 49.0 | 59.7 | 55.8 | 5.9  | 56.0      | 53.5 | 50.0 | 53.2 | 3.0 |
| T3         | 71.5             | 62.7 | 62.1 | 65.4 | 5.3 | 37.4       | 35.0 | 37.5 | 36.6 | 1.4 | 73.6       | 76.4 | 73.8 | 74.6 | 1.6  | 50.6      | 42.1 | 52.1 | 48.3 | 5.4 |
| T4         | 66.5             | 62.0 | 63.3 | 63.9 | 2.3 | 50.9       | 48.5 | 46.3 | 48.6 | 2.3 | 78.5       | 59.6 | 55.7 | 64.6 | 12.2 | 51.3      | 53.3 | 51.6 | 52.1 | 1.1 |
| T5         | 75.3             | 65.1 | 71.8 | 70.7 | 5.2 | 47.5       | 59.2 | 49.7 | 52.1 | 6.2 | 71.9       | 86.7 | 64.1 | 74.2 | 11.5 | 56.6      | 44.6 | 52.0 | 51.1 | 6.1 |

ตารางที่ ง-28 ค่าความยาวราก (เซนติเมตร) ของต้นอ่อนผักสลัดกรีนโอ๊คที่ 40 วัน

| Treatments | Root length (cm) |      |      |      |      |            |      |      |      |     |            |      |      |      |     |           |      |      |      |      |
|------------|------------------|------|------|------|------|------------|------|------|------|-----|------------|------|------|------|-----|-----------|------|------|------|------|
|            | Light>Light      |      |      |      |      | Light>Dark |      |      |      |     | Dark>Light |      |      |      |     | Dark>Dark |      |      |      |      |
|            | #1               | #2   | #3   | Avg  | SD   | #1         | #2   | #3   | Avg  | SD  | #1         | #2   | #3   | Avg  | SD  | #1        | #2   | #3   | Avg  | SD   |
| T1         | 57.9             | 65.4 | 61.6 | 61.6 | 3.8  | 55.4       | 63.2 | 50.2 | 56.3 | 6.5 | 73.5       | 62.5 | 65.1 | 67.0 | 5.7 | 45.3      | 40.9 | 44.3 | 43.5 | 2.3  |
| T2         | 59.3             | 84.4 | 59.9 | 67.9 | 14.3 | 43.0       | 59.7 | 49.7 | 50.8 | 8.4 | 57.4       | 58.7 | 49.2 | 55.1 | 5.2 | 52.1      | 33.5 | 37.3 | 41.0 | 9.8  |
| T3         | 47.1             | 58.4 | 56.3 | 53.9 | 6.0  | 39.4       | 41.6 | 36.2 | 39.1 | 2.7 | 61.1       | 57.1 | 54.0 | 57.4 | 3.6 | 25.3      | 32.3 | 45.6 | 34.4 | 10.3 |
| T4         | 58.6             | 58.9 | 69.2 | 62.2 | 6.0  | 53.4       | 55.2 | 54.3 | 54.3 | 0.9 | 66.9       | 54.9 | 52.5 | 58.1 | 7.7 | 36.6      | 41.4 | 34.7 | 37.6 | 3.5  |
| T5         | 50.9             | 53.9 | 56.5 | 53.8 | 2.8  | 52.8       | 54.7 | 46.4 | 51.3 | 4.3 | 67.9       | 76.4 | 67.3 | 70.5 | 5.1 | 46.2      | 33.7 | 40.8 | 40.2 | 6.3  |



ตารางที่ ง-29 ค่าความยาวราก (เซนติเมตร) ของต้นอ่อนผักสลัดกรีนโอ๊คที่ 60 วัน

| Treatments | Root length (cm) |      |      |      |     |            |      |      |      |     |            |      |      |      |     |           |      |      |     |      |
|------------|------------------|------|------|------|-----|------------|------|------|------|-----|------------|------|------|------|-----|-----------|------|------|-----|------|
|            | Light>Light      |      |      |      |     | Light>Dark |      |      |      |     | Dark>Light |      |      |      |     | Dark>Dark |      |      |     |      |
|            | #1               | #2   | #3   | Avg  | SD  | #1         | #2   | #3   | Avg  | SD  | #1         | #2   | #3   | Avg  | SD  | #1        | #2   | #3   | Avg | SD   |
| T1         | 65.4             | 63.8 | 67.3 | 65.5 | 1.8 | 45.9       | 35.9 | 54.8 | 45.5 | 9.5 | 58.3       | 58.7 | 63.6 | 60.2 | 3.0 | 33.7      | 36.5 | 36.5 | 1.6 | 35.6 |
| T2         | 53.7             | 49.7 | 59.0 | 54.1 | 4.7 | 38.6       | 47.4 | 57.2 | 47.7 | 9.3 | 60.9       | 61.7 | 65.3 | 62.6 | 2.3 | 22.3      | 29.9 | 31.6 | 5.0 | 27.9 |
| T3         | 48.2             | 41.3 | 30.6 | 40.0 | 8.9 | 34.5       | 23.1 | 32.8 | 30.1 | 6.2 | 60.8       | 58.1 | 60.4 | 59.8 | 1.5 | 36.7      | 43.9 | 48.5 | 5.9 | 43.0 |
| T4         | 48.4             | 61.8 | 61.6 | 57.3 | 7.7 | 25.5       | 25.7 | 34.5 | 28.6 | 5.1 | 59.0       | 57.5 | 56.4 | 57.6 | 1.3 | 35.0      | 33.7 | 41.2 | 4.0 | 36.6 |
| T5         | 35.3             | 37.4 | 38.7 | 37.1 | 1.7 | 28.3       | 28.6 | 27.1 | 28.0 | 0.8 | 63.5       | 64.3 | 60.8 | 62.9 | 1.8 | 34.8      | 23.6 | 22.3 | 6.9 | 26.9 |

#### 4. ผลการศึกษาการเจริญเติบโตของผักสลัดกรีนโอ๊ค

##### 4.1 การทดลองที่ 1 ผลทดสอบประสิทธิภาพของเอนไซม์และน้ำหมักต่อการส่งเสริมการเจริญเติบโตของผักสลัดกรีนโอ๊ค

##### 4.1.1 ความสูงของผักสลัดกรีนโอ๊คเมื่อย้ายปลูก 0, 7, 14 และ 21 วัน

ตารางที่ ง-30 ค่าความสูง (เซนติเมตร) ของผักสลัดกรีนโอ๊คเมื่อย้ายปลูก 0, 7, 14 และ 21 วัน

| Treatments | Plant height (cm) |      |      |      |      |       |      |      |      |      |        |      |      |      |      |        |      |      |      |      |
|------------|-------------------|------|------|------|------|-------|------|------|------|------|--------|------|------|------|------|--------|------|------|------|------|
|            | 0 day             |      |      |      |      | 7 day |      |      |      |      | 14 day |      |      |      |      | 21 day |      |      |      |      |
|            | #1                | #2   | #3   | Avg  | SD   | #1    | #2   | #3   | Avg  | SD   | #1     | #2   | #3   | Avg  | SD   | #1     | #2   | #3   | Avg  | SD   |
| T1         | 2.29              | 2.21 | 2.65 | 2.38 | 0.23 | 4.05  | 4.25 | 4.46 | 4.25 | 0.21 | 6.57   | 4.14 | 7.06 | 5.92 | 1.56 | 6.86   | 6.23 | 8.20 | 7.10 | 1.01 |
| T2         | 2.35              | 2.33 | 2.49 | 2.39 | 0.09 | 4.89  | 4.78 | 4.54 | 4.74 | 0.18 | 8.06   | 6.97 | 6.87 | 7.30 | 0.66 | 7.07   | 8.01 | 8.09 | 7.72 | 0.57 |
| T3         | 2.04              | 2.64 | 2.39 | 2.36 | 0.30 | 4.99  | 4.25 | 5.21 | 4.82 | 0.50 | 8.87   | 6.33 | 7.92 | 7.71 | 1.28 | 8.96   | 8.89 | 8.43 | 8.76 | 0.29 |
| T4         | 2.54              | 2.29 | 2.08 | 2.30 | 0.23 | 5.19  | 5.12 | 6.13 | 5.48 | 0.56 | 9.24   | 7.08 | 8.52 | 8.28 | 1.10 | 8.46   | 6.52 | 8.15 | 7.71 | 1.04 |
| T5         | 2.38              | 2.36 | 2.63 | 2.46 | 0.15 | 6.45  | 5.83 | 5.90 | 6.06 | 0.34 | 8.63   | 8.14 | 7.29 | 8.02 | 0.68 | 8.91   | 8.86 | 9.89 | 9.22 | 0.58 |

4.1.2 ความกว้างทรงพุ่มของผักสลัดกรีนโอ๊คเมื่อย้ายปลูก 0, 7, 14 และ 21 วัน

ตารางที่ ง-31 ค่าความกว้างทรงพุ่ม (เซนติเมตร) ของผักสลัดกรีนโอ๊คเมื่อย้ายปลูก 0, 7, 14 และ 21 วัน

| Treatment<br>s | Canopy width (cm) |          |          |          |          |          |          |          |          |          |           |           |           |           |          |           |           |           |           |          |
|----------------|-------------------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|-----------|-----------|-----------|-----------|----------|-----------|-----------|-----------|-----------|----------|
|                | 0 day             |          |          |          |          | 7 day    |          |          |          |          | 14 day    |           |           |           |          | 21 day    |           |           |           |          |
|                | #1                | #2       | #3       | Avg      | SD       | #1       | #2       | #3       | Avg      | SD       | #1        | #2        | #3        | Avg       | SD       | #1        | #2        | #3        | Avg       | SD       |
| T1             | 4.0<br>9          | 4.3<br>4 | 4.3<br>4 | 4.2<br>6 | 0.1<br>4 | 5.5<br>2 | 5.2<br>0 | 6.1<br>2 | 5.6<br>1 | 0.4<br>7 | 10.4<br>8 | 7.87      | 11.1<br>3 | 9.83      | 1.7<br>3 | 15.8<br>2 | 10.4<br>1 | 15.5<br>9 | 13.9<br>4 | 3.0<br>6 |
| T2             | 4.4<br>6          | 4.5<br>4 | 4.5<br>1 | 4.5<br>0 | 0.0<br>4 | 8.5<br>9 | 7.0<br>1 | 5.6<br>7 | 7.0<br>9 | 1.4<br>6 | 12.7<br>2 | 12.3<br>3 | 13.6<br>3 | 12.8<br>9 | 0.6<br>7 | 14.2<br>3 | 16.8<br>1 | 15.8<br>2 | 15.6<br>2 | 1.3<br>0 |
| T3             | 4.8<br>4          | 4.4<br>5 | 4.6<br>1 | 4.6<br>3 | 0.2<br>0 | 8.7<br>3 | 6.0<br>1 | 8.0<br>8 | 7.6<br>1 | 1.4<br>2 | 14.2<br>2 | 12.1<br>3 | 11.6<br>3 | 12.6<br>6 | 1.3<br>7 | 19.1<br>1 | 16.0<br>9 | 13.2<br>5 | 16.1<br>5 | 2.9<br>3 |
| T4             | 4.6<br>4          | 4.0<br>7 | 5.0<br>1 | 4.5<br>7 | 0.4<br>7 | 8.3<br>6 | 8.0<br>9 | 8.9<br>4 | 8.4<br>6 | 0.4<br>3 | 16.5<br>7 | 12.2<br>0 | 13.8<br>6 | 14.2<br>1 | 2.2<br>1 | 19.0<br>6 | 12.2<br>2 | 13.5<br>0 | 14.9<br>3 | 3.6<br>4 |
| T5             | 4.6<br>3          | 4.5<br>4 | 4.8<br>4 | 4.6<br>7 | 0.1<br>5 | 7.9<br>7 | 7.9<br>1 | 7.8<br>6 | 7.9<br>1 | 0.0<br>6 | 14.5<br>9 | 15.5<br>8 | 12.7<br>2 | 14.3<br>0 | 1.4<br>5 | 18.3<br>4 | 15.3<br>1 | 17.1<br>4 | 16.9<br>3 | 1.5<br>3 |

4.1.3 จำนวนใบของผักสลัดกรีนโอ๊คเมื่อย้ายปลูก 0, 7, 14 และ 21 วัน

ตารางที่ ง-32 ค่าจำนวนใบของผักสลัดกรีนโอ๊คเมื่อย้ายปลูก 0, 7, 14 และ 21 วัน

| Treatments | Number of leaves |     |     |     |     |       |      |      |     |     |        |      |      |      |     |        |      |      |      |     |
|------------|------------------|-----|-----|-----|-----|-------|------|------|-----|-----|--------|------|------|------|-----|--------|------|------|------|-----|
|            | 0 day            |     |     |     |     | 7 day |      |      |     |     | 14 day |      |      |      |     | 21 day |      |      |      |     |
|            | #1               | #2  | #3  | Avg | SD  | #1    | #2   | #3   | Avg | SD  | #1     | #2   | #3   | Avg  | SD  | #1     | #2   | #3   | Avg  | SD  |
| T1         | 5.0              | 5.0 | 5.0 | 5.0 | 0.0 | 7.0   | 7.0  | 7.0  | 7.0 | 0.0 | 9.0    | 7.0  | 10.0 | 8.7  | 1.5 | 12.0   | 10.0 | 13.0 | 11.7 | 1.5 |
| T2         | 5.0              | 5.0 | 5.0 | 5.0 | 0.0 | 9.0   | 8.0  | 7.0  | 8.0 | 1.0 | 12.0   | 8.0  | 9.0  | 9.7  | 2.1 | 13.0   | 17.0 | 13.0 | 14.3 | 2.3 |
| T3         | 5.0              | 5.0 | 5.0 | 5.0 | 0.0 | 8.0   | 8.0  | 7.0  | 7.7 | 0.6 | 12.0   | 9.0  | 8.0  | 9.7  | 2.1 | 13.0   | 14.0 | 16.0 | 14.3 | 1.5 |
| T4         | 5.0              | 5.0 | 5.0 | 5.0 | 0.0 | 8.0   | 10.0 | 10.0 | 9.3 | 1.2 | 10.0   | 10.0 | 10.0 | 10.0 | 0.0 | 14.0   | 13.0 | 11.0 | 12.7 | 1.5 |
| T5         | 5.0              | 5.0 | 5.0 | 5.0 | 0.0 | 9.0   | 9.0  | 9.0  | 9.0 | 0.0 | 10.0   | 10.0 | 10.0 | 10.0 | 0.0 | 16.0   | 13.0 | 16.0 | 15.0 | 1.7 |

4.1.4. ความยาวราก (เซนติเมตร) ของผักสลัดกรีนโอ๊ค

ตารางที่ ง-33 ค่าความยาวราก (เซนติเมตร) ของผักสลัดกรีนโอ๊ค

|            | Root length (cm) |       |       |       |      |
|------------|------------------|-------|-------|-------|------|
| Treatments | #1               | #2    | #3    | Avg   | SD   |
| T1         | 11.04            | 8.90  | 8.93  | 9.62  | 1.23 |
| T2         | 13.35            | 11.34 | 11.60 | 12.10 | 1.09 |
| T3         | 9.90             | 8.41  | 9.20  | 9.17  | 0.75 |
| T4         | 14.38            | 10.55 | 10.12 | 11.68 | 2.35 |
| T5         | 11.34            | 11.45 | 10.22 | 11.00 | 0.68 |

#### 4.1.5 น้ำหนักสดของลำต้นและรากของผักสลัดกรีนโอ๊ค

ตารางที่ ง-34 ค่าน้ำหนักสดลำต้นและราก (กรัม) ของผักสลัดกรีนโอ๊ค

| Treatments | Fresh weight (g) |       |       |       |      |      |      |      |      |      |
|------------|------------------|-------|-------|-------|------|------|------|------|------|------|
|            | Stem             |       |       |       |      | Root |      |      |      |      |
|            | #1               | #2    | #3    | Avg   | SD   | #1   | #2   | #3   | Avg  | SD   |
| T1         | 8.03             | 13.43 | 4.30  | 8.59  | 4.59 | 0.81 | 0.40 | 1.66 | 0.96 | 0.64 |
| T2         | 11.16            | 11.51 | 21.54 | 14.73 | 5.90 | 6.51 | 1.07 | 1.38 | 2.99 | 3.06 |
| T3         | 18.03            | 7.55  | 6.35  | 10.65 | 6.43 | 1.38 | 0.83 | 0.96 | 1.05 | 0.29 |
| T4         | 16.84            | 9.13  | 25.51 | 17.16 | 8.19 | 1.88 | 1.25 | 1.77 | 1.64 | 0.34 |
| T5         | 18.67            | 12.91 | 12.57 | 14.72 | 3.43 | 1.55 | 1.70 | 1.74 | 1.66 | 0.10 |

4.1.6. น้ำหนักแห้งลำต้นและรากของผักสลัดกรีนโอ๊ค

ตารางที่ ง-35 ค่าน้ำหนักแห้งลำต้นและราก (กรัม) ของผักสลัดกรีนโอ๊ค

| Treatments | Dry weight (g) |      |      |      |      |      |      |      |      |      |
|------------|----------------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|
|            | Stem           |      |      |      |      | Root |      |      |      |      |
|            | #1             | #2   | #3   | Avg  | SD   | #1   | #2   | #3   | Avg  | SD   |
| T1         | 0.53           | 0.25 | 0.77 | 0.52 | 0.26 | 0.06 | 0.04 | 0.16 | 0.09 | 0.07 |
| T2         | 0.64           | 1.18 | 0.60 | 0.81 | 0.32 | 0.40 | 0.25 | 0.45 | 0.37 | 0.10 |
| T3         | 1.02           | 0.51 | 0.45 | 0.66 | 0.31 | 0.08 | 0.08 | 0.08 | 0.08 | 0.00 |
| T4         | 0.49           | 0.93 | 0.96 | 0.79 | 0.27 | 0.16 | 0.08 | 0.18 | 0.14 | 0.05 |
| T5         | 0.82           | 0.75 | 0.71 | 0.76 | 0.05 | 0.13 | 0.18 | 0.22 | 0.18 | 0.05 |

4.1.7. ปริมาณจุลินทรีย์ในดิน

ตารางที่ ง-36 ค่าปริมาณจุลินทรีย์ในดินก่อนและหลังการทดลอง (CFU//ml)

| Treatments | CFU/ml x 10 <sup>7</sup> |       |       |       |       |
|------------|--------------------------|-------|-------|-------|-------|
|            | #1                       | #2    | #3    | Avg   | SD    |
| T0         | 0.140                    | 0.113 | 0.130 | 0.128 | 0.014 |
| T1         | 0.133                    | 0.138 | 0.118 | 0.130 | 0.010 |
| T2         | 1.840                    | 1.440 | 1.590 | 1.623 | 0.202 |
| T3         | 1.090                    | 1.270 | 1.460 | 1.273 | 0.185 |
| T4         | 1.590                    | 1.880 | 1.660 | 1.710 | 0.151 |
| T5         | 1.460                    | 1.480 | 1.330 | 1.423 | 0.081 |



## 4.2 การทดลองที่ 2 ผลทดสอบประสิทธิภาพของเมล็ดที่ผ่านการแช่เมล็ดโดยทุกการทดลองรดด้วยน้ำกลั่น

### 4.2.1 ความสูงของผักสลัดกรีนโอ๊คเมื่อย้ายปลูก 0, 7, 14 และ 21 วัน

ตารางที่ ง-37 ค่าความสูง (เซนติเมตร) ของผักสลัดกรีนโอ๊คเมื่อย้ายปลูก 0, 7, 14 และ 21 วัน

| Treatments | Plant height (cm) |      |      |      |      |       |      |      |      |      |        |      |      |      |      |        |       |       |      |      |
|------------|-------------------|------|------|------|------|-------|------|------|------|------|--------|------|------|------|------|--------|-------|-------|------|------|
|            | 0 day             |      |      |      |      | 7 day |      |      |      |      | 14 day |      |      |      |      | 21 day |       |       |      |      |
|            | #1                | #2   | #3   | Avg  | SD   | #1    | #2   | #3   | Avg  | SD   | #1     | #2   | #3   | Avg  | SD   | #1     | #2    | #3    | Avg  | SD   |
| T1         | 4.42              | 3.86 | 3.47 | 3.92 | 0.48 | 5.54  | 5.58 | 7.05 | 6.06 | 0.86 | 7.07   | 8.79 | 7.51 | 7.79 | 0.89 | 7.78   | 7.26  | 8.91  | 7.98 | 0.84 |
| T2         | 3.52              | 3.83 | 4.61 | 3.99 | 0.56 | 7.70  | 7.61 | 7.33 | 7.55 | 0.19 | 9.18   | 9.95 | 8.82 | 9.32 | 0.58 | 9.90   | 9.61  | 10.36 | 9.96 | 0.38 |
| T3         | 4.87              | 4.29 | 4.32 | 4.49 | 0.33 | 6.13  | 6.92 | 6.32 | 6.46 | 0.41 | 7.96   | 8.07 | 7.31 | 7.78 | 0.41 | 8.64   | 8.06  | 10.38 | 9.03 | 1.21 |
| T4         | 4.90              | 5.62 | 4.91 | 5.14 | 0.41 | 5.83  | 6.69 | 8.38 | 6.97 | 1.30 | 8.26   | 8.33 | 8.51 | 8.37 | 0.13 | 9.56   | 9.36  | 9.35  | 9.42 | 0.12 |
| T5         | 3.86              | 4.76 | 3.44 | 4.02 | 0.67 | 5.18  | 5.44 | 6.46 | 5.69 | 0.68 | 7.36   | 8.85 | 7.53 | 7.91 | 0.82 | 8.16   | 10.50 | 8.92  | 9.19 | 1.19 |
| T6         | 4.89              | 5.26 | 5.12 | 5.09 | 0.19 | 5.46  | 5.88 | 5.84 | 5.73 | 0.23 | 6.75   | 7.64 | 7.54 | 7.31 | 0.49 | 8.76   | 8.65  | 8.87  | 8.76 | 0.11 |

4.2.2 ความกว้างทรงพุ่มของผักสลัดกรีนโอ๊คเมื่อย้ายปลูก 0, 7, 14 และ 21 วัน

ตารางที่ ง-38 ค่าความกว้างทรงพุ่ม (เซนติเมตร) ของผักสลัดกรีนโอ๊คเมื่อย้ายปลูก 0, 7, 14 และ 21 วัน

| Treatments | Canopy width (cm) |      |      |      |      |       |       |       |       |      |        |       |       |       |      |        |       |       |       |      |
|------------|-------------------|------|------|------|------|-------|-------|-------|-------|------|--------|-------|-------|-------|------|--------|-------|-------|-------|------|
|            | 0 day             |      |      |      |      | 7 day |       |       |       |      | 14 day |       |       |       |      | 21 day |       |       |       |      |
|            | #1                | #2   | #3   | Avg  | SD   | #1    | #2    | #3    | Avg   | SD   | #1     | #2    | #3    | Avg   | SD   | #1     | #2    | #3    | Avg   | SD   |
| T1         | 4.94              | 5.45 | 4.64 | 5.01 | 0.41 | 7.95  | 8.00  | 9.15  | 8.37  | 0.68 | 8.22   | 13.48 | 11.46 | 11.05 | 2.65 | 9.81   | 12.14 | 15.33 | 12.43 | 2.77 |
| T2         | 5.66              | 5.16 | 6.57 | 5.80 | 0.71 | 13.32 | 11.81 | 12.10 | 12.41 | 0.80 | 15.32  | 15.41 | 15.13 | 15.29 | 0.14 | 15.34  | 14.09 | 21.34 | 16.92 | 3.88 |
| T3         | 6.00              | 6.10 | 6.74 | 6.28 | 0.40 | 9.60  | 10.67 | 9.36  | 9.88  | 0.70 | 10.27  | 9.65  | 9.87  | 9.93  | 0.31 | 12.67  | 11.14 | 11.06 | 11.62 | 0.91 |
| T4         | 6.08              | 6.98 | 6.91 | 6.66 | 0.50 | 8.84  | 9.32  | 13.01 | 10.39 | 2.28 | 11.02  | 16.66 | 10.67 | 12.78 | 3.36 | 12.73  | 13.23 | 15.32 | 13.76 | 1.37 |
| T5         | 5.88              | 7.19 | 6.35 | 6.47 | 0.66 | 11.16 | 10.64 | 14.82 | 12.21 | 2.28 | 12.28  | 13.34 | 14.62 | 13.41 | 1.17 | 12.36  | 11.21 | 14.45 | 12.67 | 1.64 |
| T6         | 7.26              | 6.54 | 7.13 | 6.98 | 0.38 | 11.50 | 10.44 | 11.42 | 11.12 | 0.59 | 12.72  | 11.23 | 11.21 | 11.72 | 0.87 | 14.75  | 18.34 | 14.08 | 15.72 | 2.29 |

4.2.3 จำนวนใบของผักสลัดกรีนโอ๊คเมื่อย้ายปลูก 0, 7, 14 และ 21 วัน

ตารางที่ ง-39 ค่าจำนวนใบของผักสลัดกรีนโอ๊คเมื่อย้ายปลูก 0, 7, 14 และ 21 วัน

| Treatments | Canopy width (cm) |      |      |      |      |       |       |       |       |      |        |       |       |       |      |        |       |       |       |      |
|------------|-------------------|------|------|------|------|-------|-------|-------|-------|------|--------|-------|-------|-------|------|--------|-------|-------|-------|------|
|            | 0 day             |      |      |      |      | 7 day |       |       |       |      | 14 day |       |       |       |      | 21 day |       |       |       |      |
|            | #1                | #2   | #3   | Avg  | SD   | #1    | #2    | #3    | Avg   | SD   | #1     | #2    | #3    | Avg   | SD   | #1     | #2    | #3    | Avg   | SD   |
| T1         | 4.94              | 5.45 | 4.64 | 5.01 | 0.41 | 7.95  | 8.00  | 9.15  | 8.37  | 0.68 | 8.22   | 13.48 | 11.46 | 11.05 | 2.65 | 9.81   | 12.14 | 15.33 | 12.43 | 2.77 |
| T2         | 5.66              | 5.16 | 6.57 | 5.80 | 0.71 | 13.32 | 11.81 | 12.10 | 12.41 | 0.80 | 15.32  | 15.41 | 15.13 | 15.29 | 0.14 | 15.34  | 14.09 | 21.34 | 16.92 | 3.88 |
| T3         | 6.00              | 6.10 | 6.74 | 6.28 | 0.40 | 9.60  | 10.67 | 9.36  | 9.88  | 0.70 | 10.27  | 9.65  | 9.87  | 9.93  | 0.31 | 12.67  | 11.14 | 11.06 | 11.62 | 0.91 |
| T4         | 6.08              | 6.98 | 6.91 | 6.66 | 0.50 | 8.84  | 9.32  | 13.01 | 10.39 | 2.28 | 11.02  | 16.66 | 10.67 | 12.78 | 3.36 | 12.73  | 13.23 | 15.32 | 13.76 | 1.37 |
| T5         | 5.88              | 7.19 | 6.35 | 6.47 | 0.66 | 11.16 | 10.64 | 14.82 | 12.21 | 2.28 | 12.28  | 13.34 | 14.62 | 13.41 | 1.17 | 12.36  | 11.21 | 14.45 | 12.67 | 1.64 |
| T6         | 7.26              | 6.54 | 7.13 | 6.98 | 0.38 | 11.50 | 10.44 | 11.42 | 11.12 | 0.59 | 12.72  | 11.23 | 11.21 | 11.72 | 0.87 | 14.75  | 18.34 | 14.08 | 15.72 | 2.29 |

4.2.4. ความยาวราก (เซนติเมตร) ของผักสลัดกรีนโอ๊ค

ตารางที่ ง-40 ค่าความยาวราก (เซนติเมตร) ของผักสลัดกรีนโอ๊ค

|            | Root length (cm) |       |       |       |      |
|------------|------------------|-------|-------|-------|------|
| Treatments | #1               | #2    | #3    | Avg   | SD   |
| T1         | 14.59            | 10.51 | 12.60 | 12.57 | 2.04 |
| T2         | 15.32            | 20.71 | 12.80 | 16.28 | 4.04 |
| T3         | 10.48            | 14.21 | 12.05 | 12.25 | 1.87 |
| T4         | 12.78            | 11.29 | 18.69 | 14.25 | 3.91 |
| T5         | 22.12            | 12.46 | 12.97 | 15.85 | 5.44 |
| T6         | 13.74            | 12.05 | 11.59 | 12.46 | 1.13 |

#### 4.2.5 น้ำหนักสดของลำต้นและรากของผักสลัดกรีนโอ๊ค

ตารางที่ ง-41 คำนํ้าหนักสดลำต้นและราก (กรัม) ของผักสลัดกรีนโอ๊ค

| Treatments | Fresh weight (g) |       |       |       |      |      |      |      |      |      |
|------------|------------------|-------|-------|-------|------|------|------|------|------|------|
|            | Stem             |       |       |       |      | Root |      |      |      |      |
|            | #1               | #2    | #3    | Avg   | SD   | #1   | #2   | #3   | Avg  | SD   |
| T1         | 2.38             | 6.46  | 19.74 | 9.52  | 9.08 | 0.63 | 2.90 | 1.09 | 1.54 | 1.20 |
| T2         | 11.68            | 18.03 | 25.12 | 18.28 | 6.72 | 1.77 | 5.34 | 2.68 | 3.26 | 1.86 |
| T3         | 5.53             | 7.80  | 4.57  | 5.96  | 1.66 | 2.30 | 1.40 | 0.94 | 1.54 | 0.69 |
| T4         | 4.19             | 12.50 | 8.01  | 8.24  | 4.16 | 2.75 | 1.98 | 0.94 | 1.89 | 0.91 |
| T5         | 8.14             | 6.33  | 20.00 | 11.49 | 7.43 | 5.12 | 1.21 | 1.55 | 2.63 | 2.17 |
| T6         | 6.46             | 7.80  | 5.88  | 6.71  | 0.99 | 1.34 | 2.12 | 1.12 | 1.53 | 0.52 |

4.2.6. น้ำหนักแห้งลำต้นและรากของผักสลัดกรีนโอ๊ค

ตารางที่ ง-42 คำน้หนักแห้งลำต้นและราก (กรัม) ของผักสลัดกรีนโอ๊ค

| Treatments | Dry weight (g) |      |      |      |      |      |      |      |      |      |
|------------|----------------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|
|            | Stem           |      |      |      |      | Root |      |      |      |      |
|            | #1             | #2   | #3   | Avg  | SD   | #1   | #2   | #3   | Avg  | SD   |
| T1         | 0.26           | 0.47 | 1.41 | 0.71 | 0.62 | 0.10 | 0.31 | 0.07 | 0.16 | 0.13 |
| T2         | 1.01           | 1.46 | 1.99 | 1.49 | 0.49 | 0.24 | 0.60 | 0.31 | 0.38 | 0.19 |
| T3         | 0.43           | 0.60 | 0.31 | 0.44 | 0.14 | 0.23 | 0.12 | 0.09 | 0.15 | 0.08 |
| T4         | 0.43           | 1.33 | 0.51 | 0.76 | 0.50 | 0.34 | 0.19 | 0.10 | 0.21 | 0.12 |
| T5         | 0.56           | 0.50 | 1.41 | 0.83 | 0.51 | 0.56 | 0.12 | 0.17 | 0.28 | 0.24 |
| T6         | 0.44           | 0.53 | 0.41 | 0.46 | 0.06 | 0.14 | 0.17 | 0.13 | 0.15 | 0.02 |

#### 4.2.7. ปริมาณจุลินทรีย์ในดิน

ตารางที่ ง-43 ค่าปริมาณจุลินทรีย์ในดินก่อนและหลังการทดลอง (CFU//ml)

| Treatments | CFU/ml x 10 <sup>7</sup> |       |       |       |       |
|------------|--------------------------|-------|-------|-------|-------|
|            | #1                       | #2    | #3    | Avg   | SD    |
| T1         | 0.667                    | 0.557 | 0.680 | 0.634 | 0.068 |
| T2         | 1.523                    | 1.067 | 1.007 | 1.199 | 0.283 |
| T3         | 0.773                    | 1.300 | 0.773 | 0.949 | 0.304 |
| T4         | 1.470                    | 1.587 | 1.410 | 1.489 | 0.090 |
| T5         | 1.420                    | 1.453 | 1.403 | 1.426 | 0.025 |
| T6         | 1.523                    | 1.210 | 1.290 | 1.341 | 0.163 |

#### 4.3 การทดลองที่ 3 ผลทดสอบประสิทธิภาพของเมล็ดที่ผ่านการแช่เมล็ดโดยทุกการทดลองรดด้วยผลการทดลองตอนที่ 1

##### 4.3.1 ความสูงของผักสลัดกรีนโอ๊คเมื่อย้ายปลูก 0, 7, 14 และ 21 วัน

ตารางที่ ง-44 ค่าความสูง (เซนติเมตร) ของผักสลัดกรีนโอ๊คเมื่อย้ายปลูก 0, 7, 14 และ 21 วัน

| Treatments | Plant height (cm) |      |      |      |      |       |      |       |      |       |        |       |       |       |      |        |       |       |       |      |
|------------|-------------------|------|------|------|------|-------|------|-------|------|-------|--------|-------|-------|-------|------|--------|-------|-------|-------|------|
|            | 0 day             |      |      |      |      | 7 day |      |       |      |       | 14 day |       |       |       |      | 21 day |       |       |       |      |
|            | #1                | #2   | #3   | Avg  | SD   | #1    | #2   | #3    | Avg  | SD    | #1     | #2    | #3    | Avg   | SD   | #1     | #2    | #3    | Avg   | SD   |
| T1         | 3.18              | 3.26 | 2.74 | 3.06 | 0.28 | 5.32  | 6.29 | 6.30  | 5.97 | 0.563 | 8.01   | 8.06  | 8.60  | 8.22  | 0.33 | 10.56  | 10.51 | 8.20  | 9.76  | 1.35 |
| T2         | 4.07              | 3.99 | 4.61 | 4.22 | 0.34 | 6.24  | 7.44 | 7.41  | 7.03 | 0.684 | 8.05   | 9.18  | 8.29  | 8.51  | 0.60 | 9.68   | 10.28 | 9.80  | 9.92  | 0.32 |
| T3         | 5.14              | 4.76 | 5.41 | 5.10 | 0.33 | 7.59  | 8.48 | 10.16 | 8.74 | 1.305 | 10.28  | 10.85 | 11.02 | 10.72 | 0.39 | 11.00  | 10.48 | 10.78 | 10.75 | 0.26 |
| T4         | 3.67              | 4.54 | 5.73 | 4.65 | 1.03 | 7.86  | 8.87 | 9.51  | 8.75 | 0.832 | 10.75  | 9.94  | 9.47  | 10.05 | 0.65 | 10.18  | 10.64 | 10.12 | 10.31 | 0.28 |
| T5         | 5.21              | 6.07 | 5.22 | 5.50 | 0.49 | 10.98 | 8.92 | 7.99  | 9.30 | 1.530 | 10.16  | 10.20 | 9.76  | 10.04 | 0.24 | 9.35   | 12.22 | 12.39 | 11.32 | 1.71 |
| T6         | 5.16              | 5.24 | 4.99 | 5.13 | 0.13 | 7.98  | 8.57 | 9.26  | 8.60 | 0.641 | 8.53   | 9.63  | 12.16 | 10.11 | 1.86 | 9.68   | 10.94 | 12.37 | 11.00 | 1.35 |



4.3.2 ความกว้างทรงพุ่มของผักสลัดกรีนโอ๊คเมื่อย้ายปลูก 0, 7, 14 และ 21 วัน

ตารางที่ ง-45 ค่าความกว้างทรงพุ่ม (เซนติเมตร) ของผักสลัดกรีนโอ๊คเมื่อย้ายปลูก 0, 7, 14 และ 21 วัน

| Treatments | Canopy width (cm) |      |      |      |      |       |       |       |       |      |        |       |       |       |      |        |       |       |       |      |
|------------|-------------------|------|------|------|------|-------|-------|-------|-------|------|--------|-------|-------|-------|------|--------|-------|-------|-------|------|
|            | 0 day             |      |      |      |      | 7 day |       |       |       |      | 14 day |       |       |       |      | 21 day |       |       |       |      |
|            | #1                | #2   | #3   | Avg  | SD   | #1    | #2    | #3    | Avg   | SD   | #1     | #2    | #3    | Avg   | SD   | #1     | #2    | #3    | Avg   | SD   |
| T1         | 5.31              | 4.66 | 4.29 | 4.75 | 0.52 | 8.50  | 9.08  | 10.44 | 9.34  | 1.00 | 8.96   | 11.06 | 13.80 | 11.27 | 2.43 | 14.35  | 20.83 | 9.79  | 14.99 | 5.55 |
| T2         | 6.30              | 6.20 | 5.66 | 6.05 | 0.34 | 12.70 | 12.10 | 10.58 | 11.79 | 1.09 | 15.09  | 14.46 | 11.67 | 13.74 | 1.82 | 15.34  | 18.93 | 11.99 | 15.42 | 3.47 |
| T3         | 7.01              | 7.25 | 7.28 | 7.18 | 0.15 | 12.59 | 12.62 | 12.82 | 12.68 | 0.13 | 15.33  | 15.10 | 15.39 | 15.27 | 0.15 | 18.68  | 14.46 | 13.30 | 15.48 | 2.83 |
| T4         | 6.89              | 6.24 | 6.23 | 6.45 | 0.38 | 14.59 | 10.95 | 11.91 | 12.48 | 1.89 | 15.40  | 12.51 | 10.70 | 12.87 | 2.37 | 17.78  | 11.60 | 12.64 | 14.01 | 3.31 |
| T5         | 8.53              | 6.96 | 7.01 | 7.50 | 0.89 | 12.28 | 11.33 | 12.61 | 12.07 | 0.66 | 13.51  | 12.69 | 11.57 | 12.59 | 0.97 | 11.45  | 18.68 | 13.40 | 14.51 | 3.74 |
| T6         | 9.30              | 8.06 | 6.89 | 8.08 | 1.21 | 12.29 | 13.53 | 15.54 | 13.79 | 1.64 | 13.33  | 14.76 | 15.30 | 14.46 | 1.02 | 13.48  | 19.61 | 13.63 | 15.57 | 3.50 |

4.3.3 จำนวนใบของผักสลัดกรีนโอ๊คเมื่อย้ายปลูก 0, 7, 14 และ 21 วัน

ตารางที่ ง-46 ค่าจำนวนใบของผักสลัดกรีนโอ๊คเมื่อย้ายปลูก 0, 7, 14 และ 21 วัน

| Treatments | Number of leaves |      |      |      |      |       |      |      |      |      |        |       |       |      |      |        |       |       |       |      |
|------------|------------------|------|------|------|------|-------|------|------|------|------|--------|-------|-------|------|------|--------|-------|-------|-------|------|
|            | 0 day            |      |      |      |      | 7 day |      |      |      |      | 14 day |       |       |      |      | 21 day |       |       |       |      |
|            | #1               | #2   | #3   | Avg  | SD   | #1    | #2   | #3   | Avg  | SD   | #1     | #2    | #3    | Avg  | SD   | #1     | #2    | #3    | Avg   | SD   |
| T1         | 5.00             | 6.00 | 5.00 | 5.33 | 0.58 | 7.00  | 8.00 | 7.00 | 7.33 | 0.58 | 9.00   | 9.00  | 9.00  | 9.00 | 0.00 | 16.00  | 14.00 | 9.00  | 13.00 | 3.61 |
| T2         | 6.00             | 6.00 | 5.00 | 5.67 | 0.58 | 8.00  | 8.00 | 8.00 | 8.00 | 0.00 | 9.00   | 9.00  | 8.00  | 8.67 | 0.58 | 13.00  | 13.00 | 10.00 | 12.00 | 1.73 |
| T3         | 6.00             | 6.00 | 6.00 | 6.00 | 0.00 | 8.00  | 8.00 | 9.00 | 8.33 | 0.58 | 10.00  | 10.00 | 9.00  | 9.67 | 0.58 | 15.00  | 14.00 | 11.00 | 13.33 | 2.08 |
| T4         | 5.00             | 5.00 | 6.00 | 5.33 | 0.58 | 9.00  | 7.00 | 9.00 | 8.33 | 1.15 | 10.00  | 7.00  | 9.00  | 8.67 | 1.53 | 9.00   | 9.00  | 17.00 | 11.67 | 4.62 |
| T5         | 6.00             | 5.00 | 6.00 | 5.67 | 0.58 | 8.00  | 8.00 | 8.00 | 8.00 | 0.00 | 10.00  | 9.00  | 9.00  | 9.33 | 0.58 | 9.00   | 12.00 | 11.00 | 10.67 | 1.53 |
| T6         | 5.00             | 5.00 | 6.00 | 5.33 | 0.58 | 8.00  | 9.00 | 9.00 | 8.67 | 0.58 | 8.00   | 9.00  | 11.00 | 9.33 | 1.53 | 13.00  | 10.00 | 10.00 | 11.00 | 1.73 |

4.3.4. ความยาวราก (เซนติเมตร) ของผักสลัดกรีนโอ๊ค

ตารางที่ ง-47 ค่าความยาวราก (เซนติเมตร) ของผักสลัดกรีนโอ๊ค

|            | Root length (cm) |       |       |       |      |
|------------|------------------|-------|-------|-------|------|
| Treatments | #1               | #2    | #3    | Avg   | SD   |
| T1         | 13.37            | 14.47 | 13.78 | 13.87 | 0.56 |
| T2         | 14.72            | 12.75 | 18.62 | 15.36 | 2.99 |
| T3         | 11.49            | 15.01 | 13.90 | 13.47 | 1.80 |
| T4         | 10.33            | 11.67 | 10.75 | 10.92 | 0.69 |
| T5         | 14.12            | 14.23 | 10.58 | 12.98 | 2.08 |
| T6         | 20.59            | 12.64 | 11.02 | 14.75 | 5.12 |

#### 4.3.5 น้ำหนักสดของลำต้นและรากของผักสลัดกรีนโอ๊ค

ตารางที่ ง-48 คำนํ้าหนักสดลำต้นและราก (กรัม) ของผักสลัดกรีนโอ๊ค

| Treatments | Fresh weight (g) |       |       |       |       |      |      |      |      |      |
|------------|------------------|-------|-------|-------|-------|------|------|------|------|------|
|            | Stem             |       |       |       |       | Root |      |      |      |      |
|            | #1               | #2    | #3    | Avg   | SD    | #1   | #2   | #3   | Avg  | SD   |
| T1         | 5.70             | 9.69  | 17.43 | 10.94 | 5.96  | 3.78 | 1.38 | 2.99 | 2.71 | 1.22 |
| T2         | 5.90             | 10.29 | 13.71 | 9.97  | 3.91  | 3.16 | 1.86 | 2.19 | 2.40 | 0.68 |
| T3         | 22.13            | 16.53 | 4.52  | 14.39 | 9.00  | 2.53 | 2.27 | 1.87 | 2.22 | 0.34 |
| T4         | 26.58            | 5.94  | 5.84  | 12.79 | 11.95 | 1.23 | 2.48 | 1.12 | 1.61 | 0.76 |
| T5         | 4.66             | 7.80  | 6.32  | 6.26  | 1.57  | 2.12 | 1.54 | 1.68 | 1.78 | 0.30 |
| T6         | 7.25             | 5.05  | 12.92 | 8.41  | 4.06  | 2.00 | 1.26 | 3.09 | 2.11 | 0.92 |

4.3.6. น้ำหนักแห้งลำต้นและรากของผักสลัดกรีนโอ๊ค

ตารางที่ ง-49 คำน้หนักแห้งลำต้นและราก (กรัม) ของผักสลัดกรีนโอ๊ค

| Treatments | Dry weight (g) |      |      |      |      |      |      |      |      |      |
|------------|----------------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|
|            | Stem           |      |      |      |      | Root |      |      |      |      |
|            | #1             | #2   | #3   | Avg  | SD   | #1   | #2   | #3   | Avg  | SD   |
| T1         | 0.29           | 0.26 | 0.22 | 0.25 | 0.12 | 0.93 | 1.02 | 0.93 | 0.96 | 0.46 |
| T2         | 0.17           | 0.19 | 0.28 | 0.22 | 0.06 | 0.98 | 0.44 | 0.84 | 0.75 | 0.28 |
| T3         | 0.15           | 0.33 | 0.38 | 0.29 | 0.03 | 1.70 | 0.80 | 1.08 | 1.19 | 0.05 |
| T4         | 0.21           | 0.12 | 0.11 | 0.14 | 0.06 | 0.47 | 1.42 | 0.35 | 0.75 | 0.59 |
| T5         | 0.13           | 0.18 | 0.15 | 0.15 | 0.03 | 0.81 | 0.39 | 0.55 | 0.58 | 0.21 |
| T6         | 0.17           | 0.08 | 0.28 | 0.18 | 0.10 | 0.72 | 0.37 | 1.54 | 0.88 | 0.60 |

#### 4.3.7 ปริมาณจุลินทรีย์ในดิน

ตารางที่ ง-50 ค่าปริมาณจุลินทรีย์ในดินก่อนและหลังการทดลอง (CFU/ml)

| Treatments | CFU/ml x 10 <sup>7</sup> |       |       |       |       |
|------------|--------------------------|-------|-------|-------|-------|
|            | #1                       | #2    | #3    | Avg   | SD    |
| T1         | 0.803                    | 0.707 | 0.727 | 0.746 | 0.051 |
| T2         | 1.150                    | 1.557 | 0.857 | 1.188 | 0.352 |
| T3         | 1.410                    | 1.247 | 1.303 | 1.320 | 0.083 |
| T4         | 1.553                    | 1.287 | 1.207 | 1.349 | 0.182 |
| T5         | 1.263                    | 1.540 | 1.667 | 1.490 | 0.206 |
| T6         | 1.437                    | 1.217 | 1.490 | 1.381 | 0.145 |

## 5. ผลการวิเคราะห์ทางสถิติ

### 5.1 เปรียบเทียบค่าเปอร์เซ็นต์การงอกของเมล็ดผักสลัดกรีนโอ๊ค

ตารางที่ ง-51 เปรียบเทียบความแตกต่างทางสถิติค่าเปอร์เซ็นต์การงอกของเมล็ดผักสลัดกรีนโอ๊คที่ 0 วัน ด้วยวิธี Tukey HSD และ Duncan

| Light>Light            |     |                         |   |   |  |
|------------------------|-----|-------------------------|---|---|--|
| trt                    | N   | Subset for alpha = 0.05 |   |   |  |
|                        |     | 1                       | 2 | 3 |  |
| Tukey HSD <sup>a</sup> | 3   | 93.3333                 |   |   |  |
|                        | 2   | 96.6667                 |   |   |  |
|                        | 1   | 100.0000                |   |   |  |
|                        | 4   | 100.0000                |   |   |  |
|                        | 5   | 100.0000                |   |   |  |
|                        | sig | .242                    |   |   |  |
| Duncan <sup>a</sup>    | 3   | 93.3333                 |   |   |  |
|                        | 2   | 96.6667                 |   |   |  |
|                        | 1   | 100.0000                |   |   |  |
|                        | 4   | 100.0000                |   |   |  |
|                        | 5   | 100.0000                |   |   |  |
|                        | sig | .067                    |   |   |  |
| Light>Dark             |     |                         |   |   |  |
| trt                    | N   | Subset for alpha = 0.05 |   |   |  |
|                        |     | 1                       | 2 | 3 |  |
| Tukey HSD <sup>a</sup> | 1   | 96.6667                 |   |   |  |
|                        | 3   | 96.6667                 |   |   |  |
|                        | 2   | 100.0000                |   |   |  |
|                        | 4   | 100.0000                |   |   |  |
|                        | 5   | 100.0000                |   |   |  |
|                        | sig | .794                    |   |   |  |
| Duncan <sup>a</sup>    | 1   | 96.6667                 |   |   |  |
|                        | 3   | 96.6667                 |   |   |  |
|                        | 2   | 100.0000                |   |   |  |
|                        | 4   | 100.0000                |   |   |  |
|                        | 5   | 100.0000                |   |   |  |
|                        | sig | .326                    |   |   |  |

| Dark>Light             |     |                         |          |   |  |
|------------------------|-----|-------------------------|----------|---|--|
| trt                    | N   | Subset for alpha = 0.05 |          |   |  |
|                        |     | 1                       | 2        | 3 |  |
| Tukey HSD <sup>a</sup> | 4   | 3                       | 96.6667  |   |  |
|                        | 1   | 3                       | 100.0000 |   |  |
|                        | 2   | 3                       | 100.0000 |   |  |
|                        | 3   | 3                       | 100.0000 |   |  |
|                        | 5   | 3                       | 100.0000 |   |  |
|                        | sig |                         | .539     |   |  |
| Duncan <sup>a</sup>    | 4   | 3                       | 96.6667  |   |  |
|                        | 1   | 3                       | 100.0000 |   |  |
|                        | 2   | 3                       | 100.0000 |   |  |
|                        | 3   | 3                       | 100.0000 |   |  |
|                        | 5   | 3                       | 100.0000 |   |  |
|                        | sig |                         | .176     |   |  |
| Dark>Dark              |     |                         |          |   |  |
| trt                    | N   | Subset for alpha = 0.05 |          |   |  |
|                        |     | 1                       | 2        | 3 |  |
| Tukey HSD <sup>a</sup> | 1   | 3                       | 96.6667  |   |  |
|                        | 4   | 3                       | 96.6667  |   |  |
|                        | 2   | 3                       | 100.0000 |   |  |
|                        | 3   | 3                       | 100.0000 |   |  |
|                        | 5   | 3                       | 100.0000 |   |  |
|                        | sig |                         | .794     |   |  |
| Duncan <sup>a</sup>    | 1   | 3                       | 96.6667  |   |  |
|                        | 4   | 3                       | 96.6667  |   |  |
|                        | 2   | 3                       | 100.0000 |   |  |
|                        | 3   | 3                       | 100.0000 |   |  |
|                        | 5   | 3                       | 100.0000 |   |  |
|                        | sig |                         | .326     |   |  |



ตารางที่ ง-52 เปรียบเทียบความแตกต่างทางสถิติค่าเปอร์เซ็นต์การงอกของเมล็ดผักสลัดกรีนโอ๊คที่ 40 วัน ด้วยวิธี Tukey HSD และ Duncan

| Light>Light            |     |                         |   |   |  |
|------------------------|-----|-------------------------|---|---|--|
| trt                    | N   | Subset for alpha = 0.05 |   |   |  |
|                        |     | 1                       | 2 | 3 |  |
| Tukey HSD <sup>a</sup> | 3   | 93.3333                 |   |   |  |
|                        | 4   | 93.3333                 |   |   |  |
|                        | 5   | 93.3333                 |   |   |  |
|                        | 1   | 96.6667                 |   |   |  |
|                        | 2   | 96.6667                 |   |   |  |
|                        | sig | .992                    |   |   |  |
| Duncan <sup>a</sup>    | 3   | 93.3333                 |   |   |  |
|                        | 4   | 93.3333                 |   |   |  |
|                        | 5   | 93.3333                 |   |   |  |
|                        | 1   | 96.6667                 |   |   |  |
|                        | 2   | 96.6667                 |   |   |  |
|                        | sig | .703                    |   |   |  |
| Light>Dark             |     |                         |   |   |  |
| trt                    | N   | Subset for alpha = 0.05 |   |   |  |
|                        |     | 1                       | 2 | 3 |  |
| Tukey HSD <sup>a</sup> | 3   | 83.3333                 |   |   |  |
|                        | 5   | 90.0000                 |   |   |  |
|                        | 1   | 96.6667                 |   |   |  |
|                        | 2   | 96.6667                 |   |   |  |
|                        | 4   | 100.0000                |   |   |  |
|                        | sig | .227                    |   |   |  |
| Duncan <sup>a</sup>    | 3   | 83.3333                 |   |   |  |
|                        | 5   | 90.0000                 |   |   |  |
|                        | 1   | 96.6667                 |   |   |  |
|                        | 2   | 96.6667                 |   |   |  |
|                        | 4   | 100.0000                |   |   |  |
|                        | sig | .062                    |   |   |  |

| Dark>Light             |     |                         |          |   |  |
|------------------------|-----|-------------------------|----------|---|--|
| trt                    | N   | Subset for alpha = 0.05 |          |   |  |
|                        |     | 1                       | 2        | 3 |  |
| Tukey HSD <sup>a</sup> | 3   | 3                       | 90.0000  |   |  |
|                        | 4   | 3                       | 96.6667  |   |  |
|                        | 5   | 3                       | 96.6667  |   |  |
|                        | 1   | 3                       | 100.0000 |   |  |
|                        | 2   | 3                       | 100.0000 |   |  |
|                        | sig |                         | .624     |   |  |
| Duncan <sup>a</sup>    | 3   | 3                       | 90.0000  |   |  |
|                        | 4   | 3                       | 96.6667  |   |  |
|                        | 5   | 3                       | 96.6667  |   |  |
|                        | 1   | 3                       | 100.0000 |   |  |
|                        | 2   | 3                       | 100.0000 |   |  |
|                        | sig |                         | .217     |   |  |
| Dark>Dark              |     |                         |          |   |  |
| trt                    | N   | Subset for alpha = 0.05 |          |   |  |
|                        |     | 1                       | 2        | 3 |  |
| Tukey HSD <sup>a</sup> | 2   | 3                       | 96.6667  |   |  |
|                        | 3   | 3                       | 96.6667  |   |  |
|                        | 4   | 3                       | 96.6667  |   |  |
|                        | 5   | 3                       | 96.6667  |   |  |
|                        | 1   | 3                       | 100.0000 |   |  |
|                        | sig |                         | .928     |   |  |
| Duncan <sup>a</sup>    | 2   | 3                       | 96.6667  |   |  |
|                        | 3   | 3                       | 96.6667  |   |  |
|                        | 4   | 3                       | 96.6667  |   |  |
|                        | 5   | 3                       | 96.6667  |   |  |
|                        | 1   | 3                       | 100.0000 |   |  |
|                        | sig |                         | .481     |   |  |

**ตารางที่ ง-53** เปรียบเทียบความแตกต่างทางสถิติค่าเปอร์เซ็นต์การงอกของเมล็ดผักสลัดกรีนโอ๊คที่ 60 วัน ด้วยวิธี Tukey HSD และ Duncan

| Light>Light            |     |                         |          |   |  |
|------------------------|-----|-------------------------|----------|---|--|
| trt                    | N   | Subset for alpha = 0.05 |          |   |  |
|                        |     | 1                       | 2        | 3 |  |
| Tukey HSD <sup>a</sup> | 3   | 76.6667                 |          |   |  |
|                        | 4   | 93.3333                 | 93.3333  |   |  |
|                        | 5   | 96.6667                 | 96.6667  |   |  |
|                        | 1   |                         | 100.0000 |   |  |
|                        | 2   |                         | 100.0000 |   |  |
|                        | sig | .061                    | .825     |   |  |
| Duncan <sup>a</sup>    | 3   | 76.6667                 |          |   |  |
|                        | 4   |                         | 93.3333  |   |  |
|                        | 5   |                         | 96.6667  |   |  |
|                        | 1   |                         | 100.0000 |   |  |
|                        | 2   |                         | 100.0000 |   |  |
|                        | sig | 1.000                   | .348     |   |  |
| Light>Dark             |     |                         |          |   |  |
| trt                    | N   | Subset for alpha = 0.05 |          |   |  |
|                        |     | 1                       | 2        | 3 |  |
| Tukey HSD <sup>a</sup> | 5   | 90.0000                 |          |   |  |
|                        | 1   | 93.3333                 |          |   |  |
|                        | 2   | 96.6667                 |          |   |  |
|                        | 3   | 96.6667                 |          |   |  |
|                        | 4   | 100.0000                |          |   |  |
|                        | sig | .539                    |          |   |  |
| Duncan <sup>a</sup>    | 5   |                         | 90.0000  |   |  |
|                        | 1   |                         | 93.3333  |   |  |
|                        | 2   |                         | 96.6667  |   |  |
|                        | 3   |                         | 96.6667  |   |  |
|                        | 4   |                         | 100.0000 |   |  |
|                        | sig |                         | .176     |   |  |

| Dark>Light             |     |                         |          |   |  |
|------------------------|-----|-------------------------|----------|---|--|
| trt                    | N   | Subset for alpha = 0.05 |          |   |  |
|                        |     | 1                       | 2        | 3 |  |
| Tukey HSD <sup>a</sup> | 5   | 3                       | 86.6667  |   |  |
|                        | 1   | 3                       | 96.6667  |   |  |
|                        | 4   | 3                       | 96.6667  |   |  |
|                        | 2   | 3                       | 100.0000 |   |  |
|                        | 3   | 3                       | 100.0000 |   |  |
|                        | sig |                         | .590     |   |  |
| Duncan <sup>a</sup>    | 5   | 3                       | 86.6667  |   |  |
|                        | 1   | 3                       | 96.6667  |   |  |
|                        | 4   | 3                       | 96.6667  |   |  |
|                        | 2   | 3                       | 100.0000 |   |  |
|                        | 3   | 3                       | 100.0000 |   |  |
|                        | sig |                         | .200     |   |  |
| Dark>Dark              |     |                         |          |   |  |
| trt                    | N   | Subset for alpha = 0.05 |          |   |  |
|                        |     | 1                       | 2        | 3 |  |
| Tukey HSD <sup>a</sup> | 1   | 3                       | 80.0000  |   |  |
|                        | 4   | 3                       | 86.6667  |   |  |
|                        | 2   | 3                       | 86.6667  |   |  |
|                        | 3   | 3                       | 93.3333  |   |  |
|                        | 5   | 3                       | 93.3333  |   |  |
|                        | sig |                         | .717     |   |  |
| Duncan <sup>a</sup>    | 1   | 3                       | 80.0000  |   |  |
|                        | 4   | 3                       | 86.6667  |   |  |
|                        | 2   | 3                       | 86.6667  |   |  |
|                        | 3   | 3                       | 93.3333  |   |  |
|                        | 5   | 3                       | 93.3333  |   |  |
|                        | sig |                         | .270     |   |  |

## 5.2 เปรียบเทียบค่าความเร็วในการงอกของเมล็ดผักสลัดกรีนโอ๊ค

ตารางที่ ง-54 เปรียบเทียบความแตกต่างทางสถิติค่าความเร็วในการงอกของเมล็ดผักสลัดกรีนโอ๊คที่ 0 วัน ด้วยวิธี Tukey HSD และ Duncan

| Light>Light            |     |                         |        |   |  |
|------------------------|-----|-------------------------|--------|---|--|
| trt                    | N   | Subset for alpha = 0.05 |        |   |  |
|                        |     | 1                       | 2      | 3 |  |
| Tukey HSD <sup>a</sup> | 4   | 3                       | 3.6797 |   |  |
|                        | 5   | 3                       | 3.7627 |   |  |
|                        | 2   | 3                       | 3.7987 |   |  |
|                        | 3   | 3                       | 3.8340 |   |  |
|                        | 1   | 3                       | 3.9297 |   |  |
|                        | sig |                         | .628   |   |  |
| Duncan <sup>a</sup>    | 4   | 3                       | 3.6797 |   |  |
|                        | 5   | 3                       | 3.7627 |   |  |
|                        | 2   | 3                       | 3.7987 |   |  |
|                        | 3   | 3                       | 3.8340 |   |  |
|                        | 1   | 3                       | 3.9297 |   |  |
|                        | sig |                         | .219   |   |  |
| Light>Dark             |     |                         |        |   |  |
| trt                    | N   | Subset for alpha = 0.05 |        |   |  |
|                        |     | 1                       | 2      | 3 |  |
| Tukey HSD <sup>a</sup> | 3   | 3                       | 3.7633 |   |  |
|                        | 1   | 3                       | 3.8463 |   |  |
|                        | 4   | 3                       | 3.8820 |   |  |
|                        | 2   | 3                       | 3.9300 |   |  |
|                        | 5   | 3                       | 3.9300 |   |  |
|                        | sig |                         | .304   |   |  |
| Duncan <sup>a</sup>    | 3   | 3                       | 3.7633 |   |  |
|                        | 1   | 3                       | 3.8463 |   |  |
|                        | 4   | 3                       | 3.8820 |   |  |
|                        | 2   | 3                       | 3.9300 |   |  |
|                        | 5   | 3                       | 3.9300 |   |  |
|                        | sig |                         | .087   |   |  |

| Dark>Light             |     |   |                         |   |   |
|------------------------|-----|---|-------------------------|---|---|
|                        | trt | N | Subset for alpha = 0.05 |   |   |
|                        |     |   | 1                       | 2 | 3 |
| Tukey HSD <sup>a</sup> | 1   | 3 | 3.7987                  |   |   |
|                        | 3   | 3 | 3.7987                  |   |   |
|                        | 2   | 3 | 3.9300                  |   |   |
|                        | 4   | 3 | 3.9300                  |   |   |
|                        | 5   | 3 | 3.9300                  |   |   |
|                        | sig |   | .650                    |   |   |
| Duncan <sup>a</sup>    | 1   | 3 | 3.7987                  |   |   |
|                        | 3   | 3 | 3.7987                  |   |   |
|                        | 2   | 3 | 3.9300                  |   |   |
|                        | 4   | 3 | 3.9300                  |   |   |
|                        | 5   | 3 | 3.9300                  |   |   |
|                        | sig |   | .231                    |   |   |
| Dark>Dark              |     |   |                         |   |   |
|                        | trt | N | Subset for alpha = 0.05 |   |   |
|                        |     |   | 1                       | 2 | 3 |
| Tukey HSD <sup>a</sup> | 1   | 3 | 3.7150                  |   |   |
|                        | 4   | 3 | 3.7997                  |   |   |
|                        | 2   | 3 | 3.8463                  |   |   |
|                        | 3   | 3 | 3.8467                  |   |   |
|                        | 5   | 3 | 3.9300                  |   |   |
|                        | sig |   | .490                    |   |   |
| Duncan <sup>a</sup>    | 1   | 3 | 3.7150                  |   |   |
|                        | 4   | 3 | 3.7997                  |   |   |
|                        | 2   | 3 | 3.8463                  |   |   |
|                        | 3   | 3 | 3.8467                  |   |   |
|                        | 5   | 3 | 3.9300                  |   |   |
|                        | sig |   | .155                    |   |   |

ตารางที่ ง-55 เปรียบเทียบความแตกต่างทางสถิติค่าความเร็วในการงอกของเมล็ดผักสลัดกรีนโอ๊คที่ 40 วัน ด้วยวิธี Tukey HSD และ Duncan

| Light>Light            |     |                         |        |        |  |
|------------------------|-----|-------------------------|--------|--------|--|
| trt                    | N   | Subset for alpha = 0.05 |        |        |  |
|                        |     | 1                       | 2      | 3      |  |
| Tukey HSD <sup>a</sup> | 3   | 3                       | 3.3337 |        |  |
|                        | 4   | 3                       | 3.5003 |        |  |
|                        | 5   | 3                       | 3.5837 |        |  |
|                        | 2   | 3                       | 3.7983 |        |  |
|                        | 1   | 3                       | 3.8813 |        |  |
|                        | sig |                         | .144   |        |  |
| Duncan <sup>a</sup>    | 3   | 3                       | 3.3337 |        |  |
|                        | 4   | 3                       | 3.5003 | 3.5003 |  |
|                        | 5   | 3                       | 3.5837 | 3.5837 |  |
|                        | 2   | 3                       | 3.7983 | 3.7983 |  |
|                        | 1   | 3                       |        | 3.8813 |  |
|                        | sig |                         | .067   | .123   |  |
| Light>Dark             |     |                         |        |        |  |
| trt                    | N   | Subset for alpha = 0.05 |        |        |  |
|                        |     | 1                       | 2      | 3      |  |
| Tukey HSD <sup>a</sup> | 4   | 3                       | 3.6073 |        |  |
|                        | 2   | 3                       | 3.6193 |        |  |
|                        | 1   | 3                       | 3.7147 |        |  |
|                        | 5   | 3                       | 3.8813 |        |  |
|                        | 3   | 3                       | 3.9290 |        |  |
|                        | sig |                         | .165   |        |  |
| Duncan <sup>a</sup>    | 4   | 3                       | 3.6073 |        |  |
|                        | 2   | 3                       | 3.6193 |        |  |
|                        | 1   | 3                       | 3.7147 | 3.7147 |  |
|                        | 5   | 3                       | 3.8813 | 3.8813 |  |
|                        | 3   | 3                       |        | 3.9290 |  |
|                        | sig |                         | .074   | .141   |  |

| Dark>Light             |     |                         |        |        |  |
|------------------------|-----|-------------------------|--------|--------|--|
| trt                    | N   | Subset for alpha = 0.05 |        |        |  |
|                        |     | 1                       | 2      | 3      |  |
| Tukey HSD <sup>a</sup> | 1   | 3                       | 3.2623 |        |  |
|                        | 4   | 3                       | 3.6313 |        |  |
|                        | 3   | 3                       | 3.7027 |        |  |
|                        | 5   | 3                       | 3.7980 |        |  |
|                        | 2   | 3                       | 3.8457 |        |  |
|                        | sig |                         | .055   |        |  |
| Duncan <sup>a</sup>    | 1   | 3                       | 3.2623 |        |  |
|                        | 4   | 3                       | 3.6313 | 3.6313 |  |
|                        | 3   | 3                       |        | 3.7027 |  |
|                        | 5   | 3                       |        | 3.7980 |  |
|                        | 2   | 3                       |        | 3.8457 |  |
|                        | sig |                         | .068   | .294   |  |
| Dark>Dark              |     |                         |        |        |  |
| trt                    | N   | Subset for alpha = 0.05 |        |        |  |
|                        |     | 1                       | 2      | 3      |  |
| Tukey HSD <sup>a</sup> | 3   | 3                       | 3.4647 |        |  |
|                        | 1   | 3                       | 3.5957 |        |  |
|                        | 5   | 3                       | 3.6313 |        |  |
|                        | 2   | 3                       | 3.7147 |        |  |
|                        | 4   | 3                       | 3.7147 |        |  |
|                        | sig |                         | .836   |        |  |
| Duncan <sup>a</sup>    | 3   | 3                       | 3.4647 |        |  |
|                        | 1   | 3                       | 3.5957 |        |  |
|                        | 5   | 3                       | 3.6313 |        |  |
|                        | 2   | 3                       | 3.7147 |        |  |
|                        | 4   | 3                       | 3.7147 |        |  |
|                        | sig |                         | .363   |        |  |



**ตารางที่ ง-56** เปรียบเทียบความแตกต่างทางสถิติค่าความเร็วในการงอกการงอกของเมล็ดผักสลัดกรีน  
นโื้อคที่ 60 วัน ด้วยวิธี Tukey HSD และ Duncan

| Light>Light            |     |                         |        |        |  |
|------------------------|-----|-------------------------|--------|--------|--|
| trt                    | N   | Subset for alpha = 0.05 |        |        |  |
|                        |     | 1                       | 2      | 3      |  |
| Tukey HSD <sup>a</sup> | 3   | 3                       | 3.0953 |        |  |
|                        | 4   | 3                       | 3.5003 | 3.5003 |  |
|                        | 5   | 3                       | 3.6313 | 3.6313 |  |
|                        | 2   | 3                       |        | 3.8463 |  |
|                        | 1   | 3                       |        | 3.9290 |  |
|                        | sig |                         | .137   | .290   |  |
| Duncan <sup>a</sup>    | 3   | 3                       | 3.0953 |        |  |
|                        | 4   | 3                       | 3.5003 | 3.5003 |  |
|                        | 5   | 3                       |        | 3.6313 |  |
|                        | 2   | 3                       |        | 3.8463 |  |
|                        | 1   | 3                       |        | 3.9290 |  |
|                        | sig |                         | .075   | .078   |  |
| Light>Dark             |     |                         |        |        |  |
| trt                    | N   | Subset for alpha = 0.05 |        |        |  |
|                        |     | 1                       | 2      | 3      |  |
| Tukey HSD <sup>a</sup> | 5   | 3                       | 3.6200 |        |  |
|                        | 1   | 3                       | 3.6667 |        |  |
|                        | 3   | 3                       | 3.8000 |        |  |
|                        | 2   | 3                       | 3.8833 |        |  |
|                        | 4   | 3                       | 3.9300 |        |  |
|                        | sig |                         | .568   |        |  |
| Duncan <sup>a</sup>    | 5   | 3                       | 3.6200 |        |  |
|                        | 1   | 3                       | 3.6667 |        |  |
|                        | 3   | 3                       | 3.8000 |        |  |
|                        | 2   | 3                       | 3.8833 |        |  |
|                        | 4   | 3                       | 3.9300 |        |  |
|                        | sig |                         | .189   |        |  |

| Dark>Light             |     |                         |        |        |  |
|------------------------|-----|-------------------------|--------|--------|--|
| trt                    | N   | Subset for alpha = 0.05 |        |        |  |
|                        |     | 1                       | 2      | 3      |  |
| Tukey HSD <sup>a</sup> | 1   | 3                       | 3.2633 |        |  |
|                        | 4   | 3                       | 3.6313 | 3.6313 |  |
|                        | 3   | 3                       | 3.6553 | 3.6553 |  |
|                        | 2   | 3                       | 3.7983 | 3.7983 |  |
|                        | 5   | 3                       |        | 3.8457 |  |
|                        | sig |                         | .057   | .707   |  |
| Duncan <sup>a</sup>    | 1   | 3                       | 3.2633 |        |  |
|                        | 4   | 3                       | 3.6313 | 3.6313 |  |
|                        | 3   | 3                       |        | 3.6553 |  |
|                        | 2   | 3                       |        | 3.7983 |  |
|                        | 5   | 3                       |        | 3.8457 |  |
|                        | sig |                         | .052   | .259   |  |
| Dark>Dark              |     |                         |        |        |  |
| trt                    | N   | Subset for alpha = 0.05 |        |        |  |
|                        |     | 1                       | 2      | 3      |  |
| Tukey HSD <sup>a</sup> | 1   | 3                       | 3.4050 |        |  |
|                        | 3   | 3                       | 3.4170 |        |  |
|                        | 4   | 3                       | 3.4763 |        |  |
|                        | 2   | 3                       | 3.5717 |        |  |
|                        | 5   | 3                       | 3.5837 |        |  |
|                        | sig |                         | .973   |        |  |
| Duncan <sup>a</sup>    | 1   | 3                       | 3.4050 |        |  |
|                        | 3   | 3                       | 3.4170 |        |  |
|                        | 4   | 3                       | 3.4763 |        |  |
|                        | 2   | 3                       | 3.5717 |        |  |
|                        | 5   | 3                       | 3.5837 |        |  |
|                        | sig |                         | .595   |        |  |

### 5.3 เปรียบเทียบค่าความยาวยอดของต้นอ่อนผักสลัดกรีนโอ๊ค

ตารางที่ ง-57 เปรียบเทียบความแตกต่างทางสถิติค่าความยาวยอดของเมล็ดผักสลัดกรีนโอ๊คที่ 0 วัน  
ด้วยวิธี Tukey HSD และ Duncan

| Light>Light            |     |                         |         |   |  |
|------------------------|-----|-------------------------|---------|---|--|
| trt                    | N   | Subset for alpha = 0.05 |         |   |  |
|                        |     | 1                       | 2       | 3 |  |
| Tukey HSD <sup>a</sup> | 5   | 3                       | 9.2333  |   |  |
|                        | 2   | 3                       | 9.3000  |   |  |
|                        | 3   | 3                       | 9.6333  |   |  |
|                        | 1   | 3                       | 10.3000 |   |  |
|                        | 4   | 3                       | 10.4333 |   |  |
|                        | sig |                         | .908    |   |  |
| Duncan <sup>a</sup>    | 5   | 3                       | 9.2333  |   |  |
|                        | 2   | 3                       | 9.3000  |   |  |
|                        | 3   | 3                       | 9.6333  |   |  |
|                        | 1   | 3                       | 10.3000 |   |  |
|                        | 4   | 3                       | 10.4333 |   |  |
|                        | sig |                         | .450    |   |  |
| Light>Dark             |     |                         |         |   |  |
| trt                    | N   | Subset for alpha = 0.05 |         |   |  |
|                        |     | 1                       | 2       | 3 |  |
| Tukey HSD <sup>a</sup> | 3   | 3                       | 23.8000 |   |  |
|                        | 2   | 3                       | 24.1000 |   |  |
|                        | 1   | 3                       | 24.1667 |   |  |
|                        | 4   | 3                       | 24.4000 |   |  |
|                        | 5   | 3                       | 24.6667 |   |  |
|                        | sig |                         | .953    |   |  |
| Duncan <sup>a</sup>    | 3   | 3                       | 23.8000 |   |  |
|                        | 2   | 3                       | 24.1000 |   |  |
|                        | 1   | 3                       | 24.1667 |   |  |
|                        | 4   | 3                       | 24.4000 |   |  |
|                        | 5   | 3                       | 24.6667 |   |  |
|                        | sig |                         | .534    |   |  |

| Dark>Light             |     |                         |         |   |  |
|------------------------|-----|-------------------------|---------|---|--|
| trt                    | N   | Subset for alpha = 0.05 |         |   |  |
|                        |     | 1                       | 2       | 3 |  |
| Tukey HSD <sup>a</sup> | 3   | 9.3333                  |         |   |  |
|                        | 1   | 9.4667                  |         |   |  |
|                        | 5   | 9.8000                  |         |   |  |
|                        | 4   | 10.2667                 |         |   |  |
|                        | 2   | 11.2667                 |         |   |  |
|                        | sig | .187                    |         |   |  |
| Duncan <sup>a</sup>    | 3   | 9.3333                  |         |   |  |
|                        | 1   | 9.4667                  |         |   |  |
|                        | 5   | 9.8000                  |         |   |  |
|                        | 4   | 10.2667                 |         |   |  |
|                        | 2   | 11.2667                 |         |   |  |
|                        | sig | .050                    |         |   |  |
| Dark>Dark              |     |                         |         |   |  |
| trt                    | N   | Subset for alpha = 0.05 |         |   |  |
|                        |     | 1                       | 2       | 3 |  |
| Tukey HSD <sup>a</sup> | 1   | 21.3000                 |         |   |  |
|                        | 2   | 21.3000                 |         |   |  |
|                        | 3   | 21.8000                 | 21.8000 |   |  |
|                        | 4   | 23.8333                 | 23.8333 |   |  |
|                        | 5   |                         | 26.1667 |   |  |
|                        | sig | .435                    | .071    |   |  |
| Duncan <sup>a</sup>    | 1   | 21.3000                 |         |   |  |
|                        | 2   | 21.3000                 |         |   |  |
|                        | 3   | 21.8000                 |         |   |  |
|                        | 4   | 23.8333                 | 23.8333 |   |  |
|                        | 5   |                         | 26.1667 |   |  |
|                        | sig | .128                    | .133    |   |  |

**ตารางที่ ง-58** เปรียบเทียบความแตกต่างทางสถิติค่าความยาวยอดของเมล็ดผักสลัดกรีนโอ๊คที่ 40 วัน ด้วยวิธี Tukey HSD และ Duncan

| Light>Light            |     |                         |         |         |  |
|------------------------|-----|-------------------------|---------|---------|--|
| trt                    | N   | Subset for alpha = 0.05 |         |         |  |
|                        |     | 1                       | 2       | 3       |  |
| Tukey HSD <sup>a</sup> | 5   | 3                       | 10.0333 |         |  |
|                        | 3   | 3                       | 10.8333 |         |  |
|                        | 2   | 3                       | 11.0333 |         |  |
|                        | 4   | 3                       | 11.2000 |         |  |
|                        | 1   | 3                       | 11.2667 |         |  |
|                        | sig |                         | .898    |         |  |
| Duncan <sup>a</sup>    | 5   | 3                       | 10.0333 |         |  |
|                        | 3   | 3                       | 10.8333 |         |  |
|                        | 2   | 3                       | 11.0333 |         |  |
|                        | 4   | 3                       | 11.2000 |         |  |
|                        | 1   | 3                       | 11.2667 |         |  |
|                        | sig |                         | .436    |         |  |
| Light>Dark             |     |                         |         |         |  |
| trt                    | N   | Subset for alpha = 0.05 |         |         |  |
|                        |     | 1                       | 2       | 3       |  |
| Tukey HSD <sup>a</sup> | 5   | 3                       | 15.2333 |         |  |
|                        | 3   | 3                       | 15.4333 |         |  |
|                        | 2   | 3                       | 17.2000 |         |  |
|                        | 1   | 3                       | 19.1667 |         |  |
|                        | 4   | 3                       | 21.4000 |         |  |
|                        | sig |                         | .053    |         |  |
| Duncan <sup>a</sup>    | 5   | 3                       | 15.2333 |         |  |
|                        | 3   | 3                       | 15.4333 |         |  |
|                        | 2   | 3                       | 17.2000 | 17.2000 |  |
|                        | 1   | 3                       | 19.1667 | 19.1667 |  |
|                        | 4   | 3                       |         | 21.4000 |  |
|                        | sig |                         | .081    | .060    |  |

| Dark>Light             |     |                         |         |         |         |
|------------------------|-----|-------------------------|---------|---------|---------|
| trt                    | N   | Subset for alpha = 0.05 |         |         |         |
|                        |     | 1                       | 2       | 3       |         |
| Tukey HSD <sup>a</sup> | 1   | 3                       | 9.7000  |         |         |
|                        | 2   | 3                       | 9.8333  |         |         |
|                        | 3   | 3                       | 10.0667 |         |         |
|                        | 5   | 3                       | 11.5000 |         |         |
|                        | 4   | 3                       | 11.9000 |         |         |
|                        | sig |                         | .317    |         |         |
| Duncan <sup>a</sup>    | 1   | 3                       | 9.7000  |         |         |
|                        | 2   | 3                       | 9.8333  |         |         |
|                        | 3   | 3                       | 10.0667 |         |         |
|                        | 5   | 3                       | 11.5000 |         |         |
|                        | 4   | 3                       | 11.9000 |         |         |
|                        | sig |                         | .091    |         |         |
| Dark>Dark              |     |                         |         |         |         |
| trt                    | N   | Subset for alpha = 0.05 |         |         |         |
|                        |     | 1                       | 2       | 3       |         |
| Tukey HSD <sup>a</sup> | 2   | 3                       | 16.0333 |         |         |
|                        | 3   | 3                       | 16.7333 |         |         |
|                        | 4   | 3                       | 17.1667 |         |         |
|                        | 1   | 3                       | 20.1333 |         |         |
|                        | 5   | 3                       | 20.6000 |         |         |
|                        | sig |                         | .078    |         |         |
| Duncan <sup>a</sup>    | 2   | 3                       | 16.0333 |         |         |
|                        | 3   | 3                       | 16.7333 | 16.7333 |         |
|                        | 4   | 3                       | 17.1667 | 17.1667 | 17.1667 |
|                        | 1   | 3                       |         | 20.1333 | 20.1333 |
|                        | 5   | 3                       |         |         | 20.6000 |
|                        | sig |                         | .493    | .058    | .056    |

ตารางที่ ง-59 เปรียบเทียบความแตกต่างทางสถิติค่าความยาวยอดของเมล็ดฝักสลัดกรีนโอ๊คที่ 60 วัน ด้วยวิธี Tukey HSD และ Duncan

| Light>Light            |     |                         |         |         |  |
|------------------------|-----|-------------------------|---------|---------|--|
| trt                    | N   | Subset for alpha = 0.05 |         |         |  |
|                        |     | 1                       | 2       | 3       |  |
| Tukey HSD <sup>a</sup> | 1   | 3                       | 5.1667  |         |  |
|                        | 5   | 3                       | 5.6667  |         |  |
|                        | 2   | 3                       | 6.1000  |         |  |
|                        | 3   | 3                       | 6.7333  |         |  |
|                        | 4   | 3                       | 6.7333  |         |  |
|                        | sig |                         | .600    |         |  |
| Duncan <sup>a</sup>    | 1   | 3                       | 5.1667  |         |  |
|                        | 5   | 3                       | 5.6667  |         |  |
|                        | 2   | 3                       | 6.1000  |         |  |
|                        | 3   | 3                       | 6.7333  |         |  |
|                        | 4   | 3                       | 6.7333  |         |  |
|                        | sig |                         | .205    |         |  |
| Light>Dark             |     |                         |         |         |  |
| trt                    | N   | Subset for alpha = 0.05 |         |         |  |
|                        |     | 1                       | 2       | 3       |  |
| Tukey HSD <sup>a</sup> | 5   | 3                       | 15.2333 |         |  |
|                        | 3   | 3                       | 15.4333 |         |  |
|                        | 2   | 3                       | 17.2000 |         |  |
|                        | 1   | 3                       | 19.1667 |         |  |
|                        | 4   | 3                       | 21.4000 |         |  |
|                        | sig |                         | .053    |         |  |
| Duncan <sup>a</sup>    | 5   | 3                       | 15.2333 |         |  |
|                        | 3   | 3                       | 15.4333 |         |  |
|                        | 2   | 3                       | 17.2000 | 17.2000 |  |
|                        | 1   | 3                       | 19.1667 | 19.1667 |  |
|                        | 4   | 3                       |         | 21.4000 |  |
|                        | sig |                         | .081    | .060    |  |

| Dark>Light             |     |                         |         |         |         |
|------------------------|-----|-------------------------|---------|---------|---------|
| trt                    | N   | Subset for alpha = 0.05 |         |         |         |
|                        |     | 1                       | 2       | 3       |         |
| Tukey HSD <sup>a</sup> | 5   | 3                       | 15.2333 |         |         |
|                        | 3   | 3                       | 15.4333 |         |         |
|                        | 2   | 3                       | 17.2000 |         |         |
|                        | 1   | 3                       | 19.1667 |         |         |
|                        | 4   | 3                       | 21.4000 |         |         |
|                        | sig |                         | .053    |         |         |
| Duncan <sup>a</sup>    | 5   | 3                       | 15.2333 |         |         |
|                        | 3   | 3                       | 15.4333 |         |         |
|                        | 2   | 3                       | 17.2000 | 17.2000 |         |
|                        | 1   | 3                       | 19.1667 | 19.1667 |         |
|                        | 4   | 3                       |         | 21.4000 |         |
|                        | sig |                         | .081    | .060    |         |
| Dark>Dark              |     |                         |         |         |         |
| trt                    | N   | Subset for alpha = 0.05 |         |         |         |
|                        |     | 1                       | 2       | 3       |         |
| Tukey HSD <sup>a</sup> | 2   | 3                       | 16.0333 |         |         |
|                        | 3   | 3                       | 16.7333 |         |         |
|                        | 4   | 3                       | 17.1667 |         |         |
|                        | 1   | 3                       | 20.1667 |         |         |
|                        | 5   | 3                       | 20.6000 |         |         |
|                        | sig |                         | .079    |         |         |
| Duncan <sup>a</sup>    | 2   | 3                       | 16.0333 |         |         |
|                        | 3   | 3                       | 16.7333 | 16.7333 |         |
|                        | 4   | 3                       | 17.1667 | 17.1667 | 17.1667 |
|                        | 1   | 3                       |         | 20.1667 | 20.1667 |
|                        | 5   | 3                       |         |         | 20.6000 |
|                        | sig |                         | .494    | .056    | .056    |



#### 5.4 เปรียบเทียบค่าความยาวรากของต้นอ่อนผักสลัดกรีนโอ๊ค

ตารางที่ ง-60 เปรียบเทียบความแตกต่างทางสถิติค่าความยาวรากของเมล็ดผักสลัดกรีนโอ๊คที่ 0 วัน

ด้วยวิธี Tukey HSD และ Duncan

| Light>Light            |     |                         |         |         |         |
|------------------------|-----|-------------------------|---------|---------|---------|
| trt                    | N   | Subset for alpha = 0.05 |         |         |         |
|                        |     | 1                       | 2       | 3       |         |
| Tukey HSD <sup>a</sup> | 1   | 3                       | 60.2667 |         |         |
|                        | 2   | 3                       | 61.4667 |         |         |
|                        | 4   | 3                       | 63.9333 |         |         |
|                        | 3   | 3                       | 65.4333 |         |         |
|                        | 5   | 3                       | 70.0667 |         |         |
|                        | sig |                         | .279    |         |         |
| Duncan <sup>a</sup>    | 1   | 3                       | 60.2667 |         |         |
|                        | 2   | 3                       | 61.4667 |         |         |
|                        | 4   | 3                       | 63.9333 |         |         |
|                        | 3   | 3                       | 65.4333 |         |         |
|                        | 5   | 3                       | 70.0667 |         |         |
|                        | sig |                         | .079    |         |         |
| Light>Dark             |     |                         |         |         |         |
| trt                    | N   | Subset for alpha = 0.05 |         |         |         |
|                        |     | 1                       | 2       | 3       |         |
| Tukey HSD <sup>a</sup> | 3   | 3                       | 36.6333 |         |         |
|                        | 1   | 3                       | 42.0333 | 42.0333 |         |
|                        | 4   | 3                       | 48.5667 | 48.5667 |         |
|                        | 5   | 3                       |         | 52.1333 |         |
|                        | 2   | 3                       |         | 54.5000 |         |
|                        | sig |                         | .088    | .072    |         |
| Duncan <sup>a</sup>    | 3   | 3                       | 36.6333 |         |         |
|                        | 1   | 3                       | 42.0333 | 42.0333 |         |
|                        | 4   | 3                       |         | 48.5667 | 48.5667 |
|                        | 5   | 3                       |         |         | 52.1333 |
|                        | 2   | 3                       |         |         | 54.5000 |
|                        | sig |                         | .215    | .140    | .195    |

| Dark>Light             |     |                         |         |         |  |
|------------------------|-----|-------------------------|---------|---------|--|
| trt                    | N   | Subset for alpha = 0.05 |         |         |  |
|                        |     | 1                       | 2       | 3       |  |
| Tukey HSD <sup>a</sup> | 2   | 3                       | 55.8333 |         |  |
|                        | 1   | 3                       | 57.6667 |         |  |
|                        | 4   | 3                       | 64.6000 |         |  |
|                        | 5   | 3                       | 74.2333 |         |  |
|                        | 3   | 3                       | 74.6000 |         |  |
|                        | sig |                         | .111    |         |  |
| Duncan <sup>a</sup>    | 2   | 3                       | 55.8333 |         |  |
|                        | 1   | 3                       | 57.6667 |         |  |
|                        | 4   | 3                       | 64.6000 | 64.6000 |  |
|                        | 5   | 3                       |         | 74.2333 |  |
|                        | 3   | 3                       |         | 74.6000 |  |
|                        |     |                         | .244    | .188    |  |
| Dark>Dark              |     |                         |         |         |  |
| trt                    | N   | Subset for alpha = 0.05 |         |         |  |
|                        |     | 1                       | 2       | 3       |  |
| Tukey HSD <sup>a</sup> | 1   | 3                       | 36.7333 |         |  |
|                        | 3   | 3                       | 48.2667 | 48.2667 |  |
|                        | 5   | 3                       |         | 51.0667 |  |
|                        | 4   | 3                       |         | 52.0667 |  |
|                        | 2   | 3                       |         | 53.1667 |  |
|                        | sig |                         | .055    | .658    |  |
| Duncan <sup>a</sup>    | 1   | 3                       | 36.7333 |         |  |
|                        | 3   | 3                       |         | 48.2667 |  |
|                        | 5   | 3                       |         | 51.0667 |  |
|                        | 4   | 3                       |         | 52.0667 |  |
|                        | 2   | 3                       |         | 53.1667 |  |
|                        |     |                         | 1.000   | .230    |  |

**ตารางที่ ง-61** เปรียบเทียบความแตกต่างทางสถิติค่าความยาวรากของเมล็ดผักสลัดกรีนโอ๊คที่ 40 วัน  
ด้วยวิธี Tukey HSD และ Duncan

| Light>Light            |     |                         |         |         |         |
|------------------------|-----|-------------------------|---------|---------|---------|
| trt                    | N   | Subset for alpha = 0.05 |         |         |         |
|                        |     | 1                       | 2       | 3       |         |
| Tukey HSD <sup>a</sup> | 2   | 3                       | 55.1000 |         |         |
|                        | 3   | 3                       | 57.4000 | 57.4000 |         |
|                        | 4   | 3                       | 58.1000 | 58.1000 |         |
|                        | 1   | 3                       | 67.0333 | 67.0333 |         |
|                        | 5   | 3                       |         | 70.5333 |         |
|                        | sig |                         | .143    | .097    |         |
| Duncan <sup>a</sup>    | 2   | 3                       | 55.1000 |         |         |
|                        | 3   | 3                       | 57.4000 | 57.4000 |         |
|                        | 4   | 3                       | 58.1000 | 58.1000 |         |
|                        | 1   | 3                       |         | 67.0333 | 67.0333 |
|                        | 5   | 3                       |         |         | 70.5333 |
|                        | sig |                         | .546    | .072    | .463    |
| Light>Dark             |     |                         |         |         |         |
| trt                    | N   | Subset for alpha = 0.05 |         |         |         |
|                        |     | 1                       | 2       | 3       |         |
| Tukey HSD <sup>a</sup> | 3   | 3                       | 39.0667 |         |         |
|                        | 2   | 3                       | 50.8000 | 50.8000 |         |
|                        | 5   | 3                       | 51.3000 | 51.3000 |         |
|                        | 4   | 3                       |         | 54.3000 |         |
|                        | 1   | 3                       |         | 56.2667 |         |
|                        | sig |                         | .102    | .718    |         |
| Duncan <sup>a</sup>    | 3   | 3                       | 39.0667 |         |         |
|                        | 2   | 3                       |         | 50.8000 |         |
|                        | 5   | 3                       |         | 51.3000 |         |
|                        | 4   | 3                       |         | 54.3000 |         |
|                        | 1   | 3                       |         | 56.2667 |         |
|                        | sig |                         | 1.000   | .266    |         |
| Dark>Light             |     |                         |         |         |         |

| trt                    |     | N | Subset for alpha = 0.05 |   |   |
|------------------------|-----|---|-------------------------|---|---|
|                        |     |   | 1                       | 2 | 3 |
| Tukey HSD <sup>a</sup> | 5   | 3 | 53.7667                 |   |   |
|                        | 3   | 3 | 53.9333                 |   |   |
|                        | 1   | 3 | 61.6333                 |   |   |
|                        | 4   | 3 | 62.2333                 |   |   |
|                        | 2   | 3 | 67.8667                 |   |   |
|                        | sig |   | .244                    |   |   |
| Duncan <sup>a</sup>    | 5   | 3 | 53.7667                 |   |   |
|                        | 3   | 3 | 53.9333                 |   |   |
|                        | 1   | 3 | 61.6333                 |   |   |
|                        | 4   | 3 | 62.2333                 |   |   |
|                        | 2   | 3 | 67.8667                 |   |   |
|                        |     |   | .067                    |   |   |
| Dark>Dark              |     |   |                         |   |   |
| trt                    |     | N | Subset for alpha = 0.05 |   |   |
|                        |     |   | 1                       | 2 | 3 |
| Tukey HSD <sup>a</sup> | 3   | 3 | 34.4000                 |   |   |
|                        | 4   | 3 | 37.5667                 |   |   |
|                        | 5   | 3 | 40.2333                 |   |   |
|                        | 2   | 3 | 40.9667                 |   |   |
|                        | 1   | 3 | 43.5000                 |   |   |
|                        | sig |   | .558                    |   |   |
| Duncan <sup>a</sup>    | 3   | 3 | 34.4000                 |   |   |
|                        | 4   | 3 | 37.5667                 |   |   |
|                        | 5   | 3 | 40.2333                 |   |   |
|                        | 2   | 3 | 40.9667                 |   |   |
|                        | 1   | 3 | 43.5000                 |   |   |
|                        | sig |   | .185                    |   |   |

**ตารางที่ ง-62** เปรียบเทียบความแตกต่างทางสถิติค่าความยาวรากของเมล็ดผักสลัดกรีนโอ๊คที่ 60 วัน  
ด้วยวิธี Tukey HSD และ Duncan

| Light>Light            |     |                         |         |         |  |
|------------------------|-----|-------------------------|---------|---------|--|
| trt                    | N   | Subset for alpha = 0.05 |         |         |  |
|                        |     | 1                       | 2       | 3       |  |
| Tukey HSD <sup>a</sup> | 5   | 37.1333                 |         |         |  |
|                        | 3   | 40.0333                 | 40.0333 |         |  |
|                        | 2   |                         | 54.1333 | 54.1333 |  |
|                        | 4   |                         |         | 57.2667 |  |
|                        | 1   |                         |         | 65.5000 |  |
|                        | sig | .969                    | .078    | .187    |  |
| Duncan <sup>a</sup>    | 5   | 37.1333                 |         |         |  |
|                        | 3   | 40.0333                 |         |         |  |
|                        | 2   |                         | 54.1333 |         |  |
|                        | 4   |                         | 57.2667 | 57.2667 |  |
|                        | 1   |                         |         | 65.5000 |  |
|                        | sig | .551                    | .520    | .110    |  |
| Light>Dark             |     |                         |         |         |  |
| trt                    | N   | Subset for alpha = 0.05 |         |         |  |
|                        |     | 1                       | 2       | 3       |  |
| Tukey HSD <sup>a</sup> | 5   | 28.0000                 |         |         |  |
|                        | 4   | 28.5667                 |         |         |  |
|                        | 3   | 30.1333                 | 30.1333 |         |  |
|                        | 1   | 45.5333                 | 45.5333 |         |  |
|                        | 2   |                         | 47.8333 |         |  |
|                        | sig | .068                    | .065    |         |  |
| Duncan <sup>a</sup>    | 5   | 28.0000                 |         |         |  |
|                        | 4   | 28.5667                 |         |         |  |
|                        | 3   | 30.1333                 |         |         |  |
|                        | 1   |                         | 45.5333 |         |  |
|                        | 2   |                         | 47.8333 |         |  |
|                        | sig | .727                    | .693    |         |  |

| Dark>Light             |     |                         |         |         |  |
|------------------------|-----|-------------------------|---------|---------|--|
| trt                    | N   | Subset for alpha = 0.05 |         |         |  |
|                        |     | 1                       | 2       | 3       |  |
| Tukey HSD <sup>a</sup> | 4   | 3                       | 57.6333 |         |  |
|                        | 3   | 3                       | 59.7667 |         |  |
|                        | 1   | 3                       | 60.2000 |         |  |
|                        | 2   | 3                       | 62.6333 |         |  |
|                        | 5   | 3                       | 62.8667 |         |  |
|                        | sig |                         | .067    |         |  |
| Duncan <sup>a</sup>    | 4   | 3                       | 57.6333 |         |  |
|                        | 3   | 3                       | 59.7667 | 59.7667 |  |
|                        | 1   | 3                       | 60.2000 | 60.2000 |  |
|                        | 2   | 3                       |         | 62.6333 |  |
|                        | 5   | 3                       |         | 62.8667 |  |
|                        | sig |                         | .177    | .118    |  |
| Dark>Dark              |     |                         |         |         |  |
| trt                    | N   | Subset for alpha = 0.05 |         |         |  |
|                        |     | 1                       | 2       | 3       |  |
| Tukey HSD <sup>a</sup> | 5   | 3                       | 26.9000 |         |  |
|                        | 2   | 3                       | 27.9333 |         |  |
|                        | 1   | 3                       | 35.5667 | 35.5667 |  |
|                        | 4   | 3                       | 36.6333 | 36.6333 |  |
|                        | 3   | 3                       |         | 43.0333 |  |
|                        | sig |                         | .199    | .412    |  |
| Duncan <sup>a</sup>    | 5   | 3                       | 26.9000 |         |  |
|                        | 2   | 3                       | 27.9333 |         |  |
|                        | 1   | 3                       | 35.5667 | 35.5667 |  |
|                        | 4   | 3                       | 36.6333 | 36.6333 |  |
|                        | 3   | 3                       |         | 43.0333 |  |
|                        | sig |                         | .051    | .112    |  |

5.5 การทดลองที่ 1 ผลทดสอบประสิทธิภาพของเอนไซม์และน้ำหมักต่อการส่งเสริมการเจริญเติบโตของผักสลัดกรีนโอ๊ค

ตารางที่ ง-63 เปรียบเทียบความแตกต่างทางสถิติค่าความสูงของผักสลัดกรีนโอ๊คที่ 7, 14 และ 21 วัน ด้วยวิธี Tukey HSD และ Duncan

| 7 days                 |     |                         |        |        |        |
|------------------------|-----|-------------------------|--------|--------|--------|
| trt                    | N   | Subset for alpha = 0.05 |        |        |        |
|                        |     | 1                       | 2      | 3      |        |
| Tukey HSD <sup>a</sup> | 1   | 3                       | 4.2533 |        |        |
|                        | 2   | 3                       | 4.7367 | 4.7367 |        |
|                        | 3   | 3                       | 4.8167 | 4.8167 |        |
|                        | 4   | 3                       |        | 5.4800 | 5.4800 |
|                        | 5   | 3                       |        |        | 6.0900 |
|                        | sig |                         | .461   | .228   | .390   |
| Duncan <sup>a</sup>    | 1   | 3                       | 4.2533 |        |        |
|                        | 2   | 3                       | 4.7367 | 4.7367 |        |
|                        | 3   | 3                       | 4.8167 | 4.8167 |        |
|                        | 4   | 3                       |        | 5.4800 | 5.4800 |
|                        | 5   | 3                       |        |        | 6.0900 |
|                        | sig |                         | .130   | .054   | .091   |
| 14 days                |     |                         |        |        |        |
| trt                    | N   | Subset for alpha = 0.05 |        |        |        |
|                        |     | 1                       | 2      | 3      |        |
| Tukey HSD <sup>a</sup> | 1   | 3                       | 5.9233 |        |        |
|                        | 2   | 3                       | 7.3000 |        |        |
|                        | 3   | 3                       | 7.7067 |        |        |
|                        | 5   | 3                       | 8.0200 |        |        |
|                        | 4   | 3                       | 8.2800 |        |        |
|                        | sig |                         | .145   |        |        |
| Duncan <sup>a</sup>    | 1   | 3                       | 5.9233 |        |        |
|                        | 2   | 3                       | 7.3000 | 7.3000 |        |
|                        | 3   | 3                       | 7.7067 | 7.7067 |        |
|                        | 5   | 3                       | 8.0200 | 8.0200 |        |
|                        | 4   | 3                       |        | 8.2800 |        |
|                        |     |                         |        |        |        |

|                        |     |   |                         |        |        |
|------------------------|-----|---|-------------------------|--------|--------|
|                        | sig |   | .057                    | .338   |        |
| 21 days                |     |   |                         |        |        |
|                        | trt | N | Subset for alpha = 0.05 |        |        |
|                        |     |   | 1                       | 2      | 3      |
| Tukey HSD <sup>a</sup> | 1   | 3 | 7.0967                  |        |        |
|                        | 4   | 3 | 7.7100                  | 7.7100 |        |
|                        | 2   | 3 | 7.7233                  | 7.7233 |        |
|                        | 3   | 3 | 8.7600                  | 8.7600 |        |
|                        | 5   | 3 |                         | 9.2200 |        |
|                        | sig |   | .123                    | .178   |        |
| Duncan <sup>a</sup>    | 1   | 3 | 7.0967                  |        |        |
|                        | 4   | 3 | 7.7100                  | 7.7100 |        |
|                        | 2   | 3 | 7.7233                  | 7.7233 |        |
|                        | 3   | 3 |                         | 8.7600 | 8.7600 |
|                        | 5   | 3 |                         |        | 9.2200 |
|                        | sig |   | .354                    | .134   | .472   |



**ตารางที่ ง-64** เปรียบเทียบความแตกต่างทางสถิติค่าความกว้างทรงพุ่มของผักสลัดกรีนโอ๊คที่ 7, 14 และ 21 วัน ด้วยวิธี Tukey HSD และ Duncan

| 7 days                 |     |                         |         |         |        |
|------------------------|-----|-------------------------|---------|---------|--------|
| trt                    | N   | Subset for alpha = 0.05 |         |         |        |
|                        |     | 1                       | 2       | 3       |        |
| Tukey HSD <sup>a</sup> | 1   | 3                       | 7.0967  |         |        |
|                        | 4   | 3                       | 7.7100  | 7.7100  |        |
|                        | 2   | 3                       | 7.7233  | 7.7233  |        |
|                        | 3   | 3                       | 8.7600  | 8.7600  |        |
|                        | 5   | 3                       |         | 9.2200  |        |
|                        | sig |                         | .123    | .178    |        |
| Duncan <sup>a</sup>    | 1   | 3                       | 7.0967  |         |        |
|                        | 4   | 3                       | 7.7100  | 7.7100  |        |
|                        | 2   | 3                       | 7.7233  | 7.7233  |        |
|                        | 3   | 3                       |         | 8.7600  | 8.7600 |
|                        | 5   | 3                       |         |         | 9.2200 |
|                        | sig |                         | .354    | .134    | .472   |
| 14 days                |     |                         |         |         |        |
| trt                    | N   | Subset for alpha = 0.05 |         |         |        |
|                        |     | 1                       | 2       | 3       |        |
| Tukey HSD <sup>a</sup> | 1   | 3                       | 9.8267  |         |        |
|                        | 3   | 3                       | 12.6600 | 12.6600 |        |
|                        | 2   | 3                       | 12.8933 | 12.8933 |        |
|                        | 4   | 3                       |         | 14.2100 |        |
|                        | 5   | 3                       |         | 14.2967 |        |
|                        | sig |                         | .193    | .709    |        |
| Duncan <sup>a</sup>    | 1   | 3                       | 9.8267  |         |        |
|                        | 3   | 3                       | 12.6600 | 12.6600 |        |
|                        | 2   | 3                       |         | 12.8933 |        |
|                        | 4   | 3                       |         | 14.2100 |        |
|                        | 5   | 3                       |         | 14.2967 |        |
|                        | sig |                         | .051    | .260    |        |

| 21 days                |     |   |                         |   |   |
|------------------------|-----|---|-------------------------|---|---|
|                        | trt | N | Subset for alpha = 0.05 |   |   |
|                        |     |   | 1                       | 2 | 3 |
| Tukey HSD <sup>a</sup> | 1   | 3 | 13.9400                 |   |   |
|                        | 4   | 3 | 14.9267                 |   |   |
|                        | 5   | 3 | 15.6200                 |   |   |
|                        | 3   | 3 | 16.1500                 |   |   |
|                        | 2   | 3 | 16.9300                 |   |   |
|                        | sig |   | .652                    |   |   |
| Duncan <sup>a</sup>    | 1   | 3 | 13.9400                 |   |   |
|                        | 4   | 3 | 14.9267                 |   |   |
|                        | 5   | 3 | 15.6200                 |   |   |
|                        | 3   | 3 | 16.1500                 |   |   |
|                        | 2   | 3 | 16.9300                 |   |   |
|                        | sig |   | .232                    |   |   |

ตารางที่ ง-65 เปรียบเทียบความแตกต่างทางสถิติค่าจำนวนใบของผักสลัดกรีนโอ๊คที่ 7, 14 และ 21 วัน ด้วยวิธี Tukey HSD และ Duncan

| 7 days                 |     |                         |         |        |        |
|------------------------|-----|-------------------------|---------|--------|--------|
| trt                    | N   | Subset for alpha = 0.05 |         |        |        |
|                        |     | 1                       | 2       | 3      |        |
| Tukey HSD <sup>a</sup> | 1   | 3                       | 7.0000  |        |        |
|                        | 3   | 3                       | 7.6667  | 7.6667 |        |
|                        | 2   | 3                       | 8.0000  | 8.0000 |        |
|                        | 5   | 3                       |         | 9.0000 |        |
|                        | 4   | 3                       |         | 9.3333 |        |
|                        | sig |                         | .487    | .107   |        |
| Duncan <sup>a</sup>    | 1   | 3                       | 7.0000  |        |        |
|                        | 3   | 3                       | 7.6667  | 7.6667 |        |
|                        | 2   | 3                       | 8.0000  | 8.0000 | 8.0000 |
|                        | 5   | 3                       |         | 9.0000 | 9.0000 |
|                        | 4   | 3                       |         |        | 9.3333 |
|                        | sig |                         | .140    | .058   | .058   |
| 14 days                |     |                         |         |        |        |
| trt                    | N   | Subset for alpha = 0.05 |         |        |        |
|                        |     | 1                       | 2       | 3      |        |
| Tukey HSD <sup>a</sup> | 1   | 3                       | 8.6667  |        |        |
|                        | 2   | 3                       | 9.6667  |        |        |
|                        | 3   | 3                       | 9.6667  |        |        |
|                        | 4   | 3                       | 10.0000 |        |        |
|                        | 5   | 3                       | 10.0000 |        |        |
|                        | sig |                         | .802    |        |        |
| Duncan <sup>a</sup>    | 1   | 3                       | 8.6667  |        |        |
|                        | 2   | 3                       | 9.6667  |        |        |
|                        | 3   | 3                       | 9.6667  |        |        |
|                        | 4   | 3                       | 10.0000 |        |        |
|                        | 5   | 3                       | 10.0000 |        |        |
|                        | sig |                         | .333    |        |        |

| 21 days                |     |   |                         |   |   |
|------------------------|-----|---|-------------------------|---|---|
|                        | trt | N | Subset for alpha = 0.05 |   |   |
|                        |     |   | 1                       | 2 | 3 |
| Tukey HSD <sup>a</sup> | 1   | 3 | 11.6667                 |   |   |
|                        | 4   | 3 | 12.6667                 |   |   |
|                        | 2   | 3 | 14.3333                 |   |   |
|                        | 3   | 3 | 14.3333                 |   |   |
|                        | 5   | 3 | 15.0000                 |   |   |
|                        | sig |   | .212                    |   |   |
| Duncan <sup>a</sup>    | 1   | 3 | 11.6667                 |   |   |
|                        | 4   | 3 | 12.6667                 |   |   |
|                        | 2   | 3 | 14.3333                 |   |   |
|                        | 3   | 3 | 14.3333                 |   |   |
|                        | 5   | 3 | 15.0000                 |   |   |
|                        | sig |   | .058                    |   |   |

ตารางที่ ง-66 เปรียบเทียบความแตกต่างทางสถิติค่าความยาวรากของผักสลัดกรีนโอ๊คด้วยวิธี

Tukey HSD และ Duncan

|                        | trt | N | Subset for alpha = 0.05 |         |   |
|------------------------|-----|---|-------------------------|---------|---|
|                        |     |   | 1                       | 2       | 3 |
| Tukey HSD <sup>a</sup> | 3   | 3 | 9.1700                  |         |   |
|                        | 1   | 3 | 9.6233                  |         |   |
|                        | 5   | 3 | 11.0033                 |         |   |
|                        | 4   | 3 | 11.6833                 |         |   |
|                        | 2   | 3 | 12.0967                 |         |   |
|                        | sig |   | .135                    |         |   |
| Duncan <sup>a</sup>    | 3   | 3 | 9.1700                  |         |   |
|                        | 1   | 3 | 9.6233                  | 9.6233  |   |
|                        | 5   | 3 | 11.0033                 | 11.0033 |   |
|                        | 4   | 3 | 11.6833                 | 11.6833 |   |
|                        | 2   | 3 |                         | 12.0967 |   |
|                        | sig |   | .061                    | .064    |   |

ตารางที่ ง-67 เปรียบเทียบความแตกต่างทางสถิติค่าน้ำหนักสดลำต้นและรากผักสลัดกรีนโอ๊คด้วยวิธี

Tukey HSD และ Duncan

| Stem                   |     |                         |         |   |  |
|------------------------|-----|-------------------------|---------|---|--|
| trt                    | N   | Subset for alpha = 0.05 |         |   |  |
|                        |     | 1                       | 2       | 3 |  |
| Tukey HSD <sup>a</sup> | 1   | 3                       | 8.5874  |   |  |
|                        | 3   | 3                       | 10.9463 |   |  |
|                        | 5   | 3                       | 14.7169 |   |  |
|                        | 2   | 3                       | 14.7337 |   |  |
|                        | 4   | 3                       | 17.1616 |   |  |
|                        | sig |                         | .456    |   |  |
| Duncan <sup>a</sup>    | 1   | 3                       | 8.5874  |   |  |
|                        | 3   | 3                       | 10.9463 |   |  |
|                        | 5   | 3                       | 14.7169 |   |  |
|                        | 2   | 3                       | 14.7337 |   |  |
|                        | 4   | 3                       | 17.1616 |   |  |
|                        | sig |                         | .141    |   |  |
| Root                   |     |                         |         |   |  |
| trt                    | N   | Subset for alpha = 0.05 |         |   |  |
|                        |     | 1                       | 2       | 3 |  |
| Tukey HSD <sup>a</sup> | 1   | 3                       | .9558   |   |  |
|                        | 3   | 3                       | 1.0532  |   |  |
|                        | 4   | 3                       | 1.6353  |   |  |
|                        | 5   | 3                       | 1.6650  |   |  |
|                        | 2   | 3                       | 2.9852  |   |  |
|                        | sig |                         | .444    |   |  |
| Duncan <sup>a</sup>    | 1   | 3                       | .9558   |   |  |
|                        | 3   | 3                       | 1.0532  |   |  |
|                        | 4   | 3                       | 1.6353  |   |  |
|                        | 5   | 3                       | 1.6650  |   |  |
|                        | 2   | 3                       | 2.9852  |   |  |
|                        | sig |                         | .136    |   |  |

ตารางที่ ง-68 เปรียบเทียบความแตกต่างทางสถิติค่าน้ำหนักแห้งลำต้นและรากผักสลัดกรีนโอ๊คด้วยวิธี Tukey HSD และ Duncan

| Stem                   |     |                         |       |       |  |
|------------------------|-----|-------------------------|-------|-------|--|
| trt                    | N   | Subset for alpha = 0.05 |       |       |  |
|                        |     | 1                       | 2     | 3     |  |
| Tukey HSD <sup>a</sup> | 1   | 3                       | .5174 |       |  |
|                        | 3   | 3                       | .6598 |       |  |
|                        | 5   | 3                       | .7606 |       |  |
|                        | 4   | 3                       | .7932 |       |  |
|                        | 2   | 3                       | .8079 |       |  |
|                        | sig |                         | .663  |       |  |
| Duncan <sup>a</sup>    | 1   | 3                       | .5174 |       |  |
|                        | 3   | 3                       | .6598 |       |  |
|                        | 5   | 3                       | .7606 |       |  |
|                        | 4   | 3                       | .7932 |       |  |
|                        | 2   | 3                       | .8079 |       |  |
|                        | sig |                         | .238  |       |  |
| Root                   |     |                         |       |       |  |
| trt                    | N   | Subset for alpha = 0.05 |       |       |  |
|                        |     | 1                       | 2     | 3     |  |
| Tukey HSD <sup>a</sup> | 3   | 3                       | .0796 |       |  |
|                        | 1   | 3                       | .0852 |       |  |
|                        | 4   | 3                       | .1401 |       |  |
|                        | 5   | 3                       | .1757 |       |  |
|                        | 2   | 3                       |       | .3675 |  |
|                        | sig |                         | .407  | 1.000 |  |
| Duncan <sup>a</sup>    | 3   | 3                       | .0796 |       |  |
|                        | 1   | 3                       | .0852 |       |  |
|                        | 4   | 3                       | .1401 |       |  |
|                        | 5   | 3                       | .1757 |       |  |
|                        | 2   | 3                       |       | .3675 |  |
|                        | sig |                         | .118  | 1.000 |  |

**ตารางที่ ง-69** เปรียบเทียบความแตกต่างทางสถิติค่าปริมาณจุลินทรีย์ในดินก่อนและหลังการทดลอง  
วิธี Tukey HSD และ Duncan

| trt                    | N   | Subset for alpha = 0.05 |       |        |        |
|------------------------|-----|-------------------------|-------|--------|--------|
|                        |     | 1                       | 2     | 3      | 4      |
| Tukey HSD <sup>a</sup> | 1   | 3                       | .1277 |        |        |
|                        | 2   | 3                       | .1297 |        |        |
|                        | 4   | 3                       |       | 1.2733 |        |
|                        | 6   | 3                       |       | 1.4233 | 1.4233 |
|                        | 3   | 3                       |       | 1.6233 | 1.6233 |
|                        | 5   | 3                       |       | 1.7100 |        |
|                        | sig |                         | 1.000 | .061   | .157   |
| Duncan <sup>a</sup>    | 1   | 3                       | .1277 |        |        |
|                        | 2   | 3                       | .1297 |        |        |
|                        | 4   | 3                       |       | 1.2733 |        |
|                        | 6   | 3                       |       | 1.4233 | 1.4233 |
|                        | 3   | 3                       |       | 1.6233 | 1.6233 |
|                        | 5   | 3                       |       |        | 1.7100 |
|                        | sig |                         | .986  | .190   | .089   |

### 5.6 การทดลองที่ 2 ทดสอบประสิทธิภาพของเมล็ดที่ผ่านการแช่เมล็ดโดยทุกการทดลองรดด้วยน้ำกลั่น

ตารางที่ ง-70 เปรียบเทียบความแตกต่างทางสถิติค่าความสูงของผักสลัดกรีนโอ๊คที่ 7, 14 และ 21 วัน ด้วยวิธี Tukey HSD และ Duncan

| 7 days                 |     |   |                         |        |   |
|------------------------|-----|---|-------------------------|--------|---|
|                        | trt | N | Subset for alpha = 0.05 |        |   |
|                        |     |   | 1                       | 2      | 3 |
| Tukey HSD <sup>a</sup> | 5   | 3 | 5.6933                  |        |   |
|                        | 6   | 3 | 5.7267                  |        |   |
|                        | 1   | 3 | 6.0567                  |        |   |
|                        | 3   | 3 | 6.4567                  |        |   |
|                        | 4   | 3 | 6.9667                  |        |   |
|                        | 2   | 3 | 7.5467                  |        |   |
|                        | sig |   | .072                    |        |   |
| Duncan <sup>a</sup>    | 5   | 3 | 5.6933                  |        |   |
|                        | 6   | 3 | 5.7267                  |        |   |
|                        | 1   | 3 | 6.0567                  |        |   |
|                        | 3   | 3 | 6.4567                  | 6.4567 |   |
|                        | 4   | 3 | 6.9667                  | 6.9667 |   |
|                        | 2   | 3 |                         | 7.5467 |   |
|                        | sig |   | .072                    | .104   |   |



| 14 days                |     |   |                         |        |   |
|------------------------|-----|---|-------------------------|--------|---|
|                        | trt | N | Subset for alpha = 0.05 |        |   |
|                        |     |   | 1                       | 2      | 3 |
| Tukey HSD <sup>a</sup> | 6   | 3 | 7.3100                  |        |   |
|                        | 3   | 3 | 7.7800                  | 7.7800 |   |
|                        | 1   | 3 | 7.7900                  | 7.7900 |   |
|                        | 5   | 3 | 7.9133                  | 7.9133 |   |
|                        | 4   | 3 | 8.3667                  | 8.3667 |   |
|                        | 2   | 3 |                         | 9.3167 |   |
|                        | sig |   | .336                    | .078   |   |
|                        |     |   |                         |        |   |
| Duncan <sup>a</sup>    | 6   | 3 | 7.3100                  |        |   |
|                        | 3   | 3 | 7.7800                  |        |   |
|                        | 1   | 3 | 7.7900                  |        |   |
|                        | 5   | 3 | 7.9133                  |        |   |
|                        | 4   | 3 | 8.3667                  | 8.3667 |   |
|                        | 2   | 3 |                         | 9.3167 |   |
|                        | sig |   | .076                    | .080   |   |
|                        |     |   |                         |        |   |
| 21 days                |     |   |                         |        |   |
|                        | trt | N | Subset for alpha = 0.05 |        |   |
|                        |     |   | 1                       | 2      | 3 |
| Tukey HSD <sup>a</sup> | 1   | 3 | 7.9833                  |        |   |
|                        | 6   | 3 | 8.7600                  |        |   |
|                        | 3   | 3 | 9.0267                  |        |   |
|                        | 5   | 3 | 9.1933                  |        |   |
|                        | 4   | 3 | 9.4233                  |        |   |
|                        | 2   | 3 | 9.9567                  |        |   |
|                        | sig |   | .083                    |        |   |
|                        |     |   |                         |        |   |
| Duncan <sup>a</sup>    | 1   | 3 | 7.9833                  |        |   |
|                        | 6   | 3 | 8.7600                  | 8.7600 |   |
|                        | 3   | 3 | 9.0267                  | 9.0267 |   |
|                        | 5   | 3 | 9.1933                  | 9.1933 |   |
|                        | 4   | 3 | 9.4233                  | 9.4233 |   |
|                        | 2   | 3 |                         | 9.9567 |   |
|                        | sig |   | .065                    | .117   |   |
|                        |     |   |                         |        |   |

ตารางที่ ง-71 เปรียบเทียบความแตกต่างทางสถิติค่าความกว้างทรงพุ่มของผักสลัดกรีนโอ๊คที่ 7, 14 และ 21 วัน ด้วยวิธี Tukey HSD และ Duncan

| 7 days                 |     |   |                         |         |   |
|------------------------|-----|---|-------------------------|---------|---|
|                        | trt | N | Subset for alpha = 0.05 |         |   |
|                        |     |   | 1                       | 2       | 3 |
| Tukey HSD <sup>a</sup> | 1   | 3 | 8.3667                  |         |   |
|                        | 3   | 3 | 9.8767                  | 9.8767  |   |
|                        | 4   | 3 | 10.3900                 | 10.3900 |   |
|                        | 6   | 3 | 11.1200                 | 11.1200 |   |
|                        | 5   | 3 | 12.2067                 | 12.2067 |   |
|                        | 2   | 3 |                         | 12.4100 |   |
|                        | sig |   | .057                    | .320    |   |
|                        |     |   |                         |         |   |
| Duncan <sup>a</sup>    | 1   | 3 | 8.3667                  |         |   |
|                        | 3   | 3 | 9.8767                  | 9.8767  |   |
|                        | 4   | 3 | 10.3900                 | 10.3900 |   |
|                        | 6   | 3 |                         | 11.1200 |   |
|                        | 5   | 3 |                         | 12.2067 |   |
|                        | 2   | 3 |                         | 12.4100 |   |
|                        | sig |   | .125                    | .071    |   |
|                        |     |   |                         |         |   |

| 14 days                |     |   |                         |         |   |
|------------------------|-----|---|-------------------------|---------|---|
|                        | trt | N | Subset for alpha = 0.05 |         |   |
|                        |     |   | 1                       | 2       | 3 |
| Tukey HSD <sup>a</sup> | 3   | 3 | 9.9000                  |         |   |
|                        | 1   | 3 | 11.0533                 | 11.0533 |   |
|                        | 6   | 3 | 11.7200                 | 11.7200 |   |
|                        | 4   | 3 | 12.7833                 | 12.7833 |   |
|                        | 5   | 3 | 13.2933                 | 13.2933 |   |
|                        | 2   | 3 |                         | 15.2867 |   |
|                        | sig |   | .279                    | .120    |   |
|                        |     |   |                         |         |   |
| Duncan <sup>a</sup>    | 3   | 3 | 9.9000                  |         |   |
|                        | 1   | 3 | 11.0533                 |         |   |
|                        | 6   | 3 | 11.7200                 |         |   |
|                        | 4   | 3 | 12.7833                 | 12.7833 |   |
|                        | 5   | 3 | 13.2933                 | 13.2933 |   |
|                        | 2   | 3 |                         | 15.2867 |   |
|                        | sig |   | .061                    | .137    |   |
|                        |     |   |                         |         |   |
| 21 days                |     |   |                         |         |   |
|                        | trt | N | Subset for alpha = 0.05 |         |   |
|                        |     |   | 1                       | 2       | 3 |
| Tukey HSD <sup>a</sup> | 3   | 3 | 11.6233                 |         |   |
|                        | 1   | 3 | 12.4267                 |         |   |
|                        | 5   | 3 | 12.6733                 |         |   |
|                        | 4   | 3 | 13.4307                 |         |   |
|                        | 6   | 3 | 15.7233                 |         |   |
|                        | 2   | 3 | 16.9233                 |         |   |
|                        | sig |   | .142                    |         |   |
|                        |     |   |                         |         |   |
| Duncan <sup>a</sup>    | 3   | 3 | 11.6233                 |         |   |
|                        | 1   | 3 | 12.4267                 | 12.4267 |   |
|                        | 5   | 3 | 12.6733                 | 12.6733 |   |
|                        | 4   | 3 | 13.4307                 | 13.4307 |   |
|                        | 6   | 3 | 15.7233                 | 15.7233 |   |
|                        | 2   | 3 |                         | 16.9233 |   |
|                        |     |   |                         |         |   |
|                        |     |   |                         |         |   |

|     |  |      |      |  |
|-----|--|------|------|--|
| sig |  | .079 | .057 |  |
|-----|--|------|------|--|

**ตารางที่ ง-72** เปรียบเทียบความแตกต่างทางสถิติค่าจำนวนใบของผักสลัดกรีนโอ๊คที่ 7, 14 และ 21 วัน ด้วยวิธี Tukey HSD และ Duncan

| 7 days                 |     |   |                         |   |   |
|------------------------|-----|---|-------------------------|---|---|
|                        | trt | N | Subset for alpha = 0.05 |   |   |
|                        |     |   | 1                       | 2 | 3 |
| Tukey HSD <sup>a</sup> | 2   | 3 | 7.3333                  |   |   |
|                        | 1   | 3 | 7.6667                  |   |   |
|                        | 4   | 3 | 7.6667                  |   |   |
|                        | 3   | 3 | 7.6667                  |   |   |
|                        | 5   | 3 | 8.0000                  |   |   |
|                        | 6   | 3 | 8.3333                  |   |   |
|                        | sig |   | .800                    |   |   |
| Duncan <sup>a</sup>    | 2   | 3 | 7.3333                  |   |   |
|                        | 1   | 3 | 7.6667                  |   |   |
|                        | 4   | 3 | 7.6667                  |   |   |
|                        | 3   | 3 | 7.6667                  |   |   |
|                        | 5   | 3 | 8.0000                  |   |   |
|                        | 6   | 3 | 8.3333                  |   |   |
|                        | sig |   | .275                    |   |   |

| 14 days                |     |   |                         |         |         |
|------------------------|-----|---|-------------------------|---------|---------|
|                        | trt | N | Subset for alpha = 0.05 |         |         |
|                        |     |   | 1                       | 2       | 3       |
| Tukey HSD <sup>a</sup> | 1   | 3 | 7.6667                  |         |         |
|                        | 3   | 3 | 8.3333                  |         |         |
|                        | 4   | 3 | 8.3333                  |         |         |
|                        | 6   | 3 | 9.0000                  |         |         |
|                        | 2   | 3 | 9.3333                  |         |         |
|                        | 5   | 3 | 9.3333                  |         |         |
|                        | sig |   | .427                    |         |         |
| Duncan <sup>a</sup>    | 1   | 3 | 7.6667                  |         |         |
|                        | 3   | 3 | 8.3333                  |         |         |
|                        | 4   | 3 | 8.3333                  |         |         |
|                        | 6   | 3 | 9.0000                  |         |         |
|                        | 2   | 3 | 9.3333                  |         |         |
|                        | 5   | 3 | 9.3333                  |         |         |
|                        | sig |   | .106                    |         |         |
| 21 days                |     |   |                         |         |         |
|                        | trt | N | Subset for alpha = 0.05 |         |         |
|                        |     |   | 1                       | 2       | 3       |
| Tukey HSD <sup>a</sup> | 5   | 3 | 10.3333                 |         |         |
|                        | 1   | 3 | 11.0000                 |         |         |
|                        | 2   | 3 | 11.0000                 |         |         |
|                        | 4   | 3 | 11.3333                 |         |         |
|                        | 6   | 3 | 13.6667                 |         |         |
|                        | 3   | 3 | 14.3333                 |         |         |
|                        | sig |   | .095                    |         |         |
| Duncan <sup>a</sup>    | 5   | 3 | 10.3333                 |         |         |
|                        | 1   | 3 | 11.0000                 | 11.0000 |         |
|                        | 2   | 3 | 11.0000                 | 11.0000 |         |
|                        | 4   | 3 | 11.3333                 | 11.3333 | 11.3333 |
|                        | 6   | 3 |                         | 13.6667 | 13.6667 |
|                        | 3   | 3 |                         |         | 14.3333 |
|                        | sig |   | .504                    | .091    | .055    |

ตารางที่ ง-73 เปรียบเทียบความแตกต่างทางสถิติค่าความยาวรากของผักสลัดกรีนโอ๊คด้วยวิธี

Tukey HSD และ Duncan

|                        | trt | N | Subset for alpha = 0.05 |   |   |
|------------------------|-----|---|-------------------------|---|---|
|                        |     |   | 1                       | 2 | 3 |
| Tukey HSD <sup>a</sup> | 3   | 3 | 12.2467                 |   |   |
|                        | 6   | 3 | 12.4600                 |   |   |
|                        | 1   | 3 | 12.5667                 |   |   |
|                        | 4   | 3 | 14.2533                 |   |   |
|                        | 5   | 3 | 15.8500                 |   |   |
|                        | 2   | 3 | 16.2767                 |   |   |
|                        | sig |   | .703                    |   |   |
| Duncan <sup>a</sup>    | 3   | 3 | 12.2467                 |   |   |
|                        | 6   | 3 | 12.4600                 |   |   |
|                        | 1   | 3 | 12.5667                 |   |   |
|                        | 4   | 3 | 14.2533                 |   |   |
|                        | 5   | 3 | 15.8500                 |   |   |
|                        | 2   | 3 | 16.2767                 |   |   |
|                        | sig |   | 12.2467                 |   |   |

ตารางที่ ง-74 เปรียบเทียบความแตกต่างทางสถิติค่าน้ำหนักสดลำต้นและรากผักสลัดกรีนโอ๊คด้วยวิธี

Tukey HSD และ Duncan

| Stem                   |     |                         |         |   |  |
|------------------------|-----|-------------------------|---------|---|--|
| trt                    | N   | Subset for alpha = 0.05 |         |   |  |
|                        |     | 1                       | 2       | 3 |  |
| Tukey HSD <sup>a</sup> | 3   | 5.9640                  |         |   |  |
|                        | 6   | 6.7131                  |         |   |  |
|                        | 4   | 8.2358                  |         |   |  |
|                        | 1   | 9.5246                  |         |   |  |
|                        | 5   | 11.4913                 |         |   |  |
|                        | 2   | 18.2769                 |         |   |  |
|                        | sig | .174                    |         |   |  |
| Duncan <sup>a</sup>    | 3   | 5.9640                  |         |   |  |
|                        | 6   | 6.7131                  |         |   |  |
|                        | 4   | 8.2358                  | 8.2358  |   |  |
|                        | 1   | 9.5246                  | 9.5246  |   |  |
|                        | 5   | 11.4913                 | 11.4913 |   |  |
|                        | 2   |                         | 18.2769 |   |  |
|                        | sig | .309                    | .074    |   |  |
| Root                   |     |                         |         |   |  |
| trt                    | N   | Subset for alpha = 0.05 |         |   |  |
|                        |     | 1                       | 2       | 3 |  |
| Tukey HSD <sup>a</sup> | 1   | 1.5382                  |         |   |  |
|                        | 3   | 1.5390                  |         |   |  |
|                        | 6   | 1.5616                  |         |   |  |
|                        | 4   | 1.8876                  |         |   |  |
|                        | 5   | 2.6288                  |         |   |  |
|                        | 2   | 3.2609                  |         |   |  |
|                        | sig | .642                    |         |   |  |
| Duncan <sup>a</sup>    | 1   | 1.5382                  |         |   |  |
|                        | 3   | 1.5390                  |         |   |  |
|                        | 6   | 1.5616                  |         |   |  |
|                        | 4   | 1.8876                  |         |   |  |
|                        | 5   | 2.6288                  |         |   |  |
|                        | 2   | 3.2609                  |         |   |  |
|                        | sig | .186                    |         |   |  |

ตารางที่ ง-75 เปรียบเทียบความแตกต่างทางสถิติค่าน้ำหนักแห้งลำต้นและรากผักสลัดกรีนโอ๊คด้วย  
วิธี Tukey HSD และ Duncan

| Stem                   |     |                         |        |   |  |
|------------------------|-----|-------------------------|--------|---|--|
| trt                    | N   | Subset for alpha = 0.05 |        |   |  |
|                        |     | 1                       | 2      | 3 |  |
| Tukey HSD <sup>a</sup> | 3   | .4436                   |        |   |  |
|                        | 6   | .4589                   |        |   |  |
|                        | 1   | .7136                   |        |   |  |
|                        | 4   | .7572                   |        |   |  |
|                        | 5   | .8251                   |        |   |  |
|                        | 2   | 1.4894                  |        |   |  |
|                        | sig | .102                    |        |   |  |
| Duncan <sup>a</sup>    | 3   | .4436                   |        |   |  |
|                        | 6   | .4589                   |        |   |  |
|                        | 1   | .7136                   | .7136  |   |  |
|                        | 4   | .7572                   | .7572  |   |  |
|                        | 5   | .8251                   | .8251  |   |  |
|                        | 2   |                         | 1.4894 |   |  |
|                        | sig | .348                    | .067   |   |  |
| Root                   |     |                         |        |   |  |
| trt                    | N   | Subset for alpha = 0.05 |        |   |  |
|                        |     | 1                       | 2      | 3 |  |
| Tukey HSD <sup>a</sup> | 6   | .1479                   |        |   |  |
|                        | 3   | .1496                   |        |   |  |
|                        | 1   | .1626                   |        |   |  |
|                        | 4   | .2120                   |        |   |  |
|                        | 5   | .2832                   |        |   |  |
|                        | 2   | .3827                   |        |   |  |
|                        | sig | .421                    |        |   |  |
| Duncan <sup>a</sup>    | 6   | .1479                   |        |   |  |
|                        | 3   | .1496                   |        |   |  |
|                        | 1   | .1626                   |        |   |  |
|                        | 4   | .2120                   |        |   |  |
|                        | 5   | .2832                   |        |   |  |
|                        | 2   | .3827                   |        |   |  |
|                        | sig | .104                    |        |   |  |



**ตารางที่ ง-76** เปรียบเทียบความแตกต่างทางสถิติค่าปริมาณจุลินทรีย์ในดินก่อนและหลังการทดลอง  
วิธี Tukey HSD และ Duncan

| trt                    | N   | Subset for alpha = 0.05 |       |        |        |
|------------------------|-----|-------------------------|-------|--------|--------|
|                        |     | 1                       | 2     | 3      | 4      |
| Tukey HSD <sup>a</sup> | 1   | 3                       | .6347 |        |        |
|                        | 3   | 3                       | .9487 | .9487  |        |
|                        | 2   | 3                       |       | 1.1990 | 1.1990 |
|                        | 6   | 3                       |       | 1.3410 | 1.3410 |
|                        | 5   | 3                       |       | 1.4253 | 1.4253 |
|                        | 4   | 3                       |       | 1.4890 |        |
|                        | sig |                         | .373  | .076   | .452   |
| Duncan <sup>a</sup>    | 1   | 3                       | .6347 |        |        |
|                        | 3   | 3                       | .9487 | .9487  |        |
|                        | 2   | 3                       |       | 1.1990 | 1.1990 |
|                        | 6   | 3                       |       |        | 1.3410 |
|                        | 5   | 3                       |       |        | 1.4253 |
|                        | 4   | 3                       |       |        | 1.4890 |
|                        | sig |                         | .063  | .129   | .105   |

5.7 การทดลองที่ 3 ทดสอบประสิทธิภาพของเมล็ดที่ผ่านการแช่เมล็ดโดยทุกการทดลอง  
รดด้วยผลการทดลองตอนที่ 1

ตารางที่ ง-77 เปรียบเทียบความแตกต่างทางสถิติค่าความสูงของผักสลัดกรีนโอ๊คที่ 7, 14 และ 21  
วัน ด้วยวิธี Tukey HSD และ Duncan

| 7 days                 |     |   |                         |        |        |
|------------------------|-----|---|-------------------------|--------|--------|
|                        | trt | N | Subset for alpha = 0.05 |        |        |
|                        |     |   | 1                       | 2      | 3      |
| Tukey HSD <sup>a</sup> | 1   | 3 | 5.9700                  |        |        |
|                        | 2   | 3 | 7.0300                  | 7.0300 |        |
|                        | 6   | 3 | 8.6033                  | 8.6033 |        |
|                        | 3   | 3 |                         | 8.7433 |        |
|                        | 4   | 3 |                         | 8.7467 |        |
|                        | 5   | 3 |                         | 9.2967 |        |
|                        | sig |   | .061                    | .127   |        |
| Duncan <sup>a</sup>    | 1   | 3 | 5.9700                  |        |        |
|                        | 2   | 3 | 7.0300                  | 7.0300 |        |
|                        | 6   | 3 |                         | 8.6033 | 8.6033 |
|                        | 3   | 3 |                         | 8.7433 | 8.7433 |
|                        | 4   | 3 |                         | 8.7467 | 8.7467 |
|                        | 5   | 3 |                         |        | 9.2967 |
|                        | sig |   | .216                    | .073   | .444   |

| 14 days                |     |                         |         |         |         |
|------------------------|-----|-------------------------|---------|---------|---------|
| trt                    | N   | Subset for alpha = 0.05 |         |         |         |
|                        |     | 1                       | 2       | 3       |         |
| Tukey HSD <sup>a</sup> | 1   | 3                       | 8.2233  |         |         |
|                        | 2   | 3                       | 8.5067  | 8.5067  |         |
|                        | 5   | 3                       | 10.0400 | 10.0400 |         |
|                        | 4   | 3                       | 10.0533 | 10.0533 |         |
|                        | 6   | 3                       | 10.1067 | 10.1067 |         |
|                        | 3   | 3                       |         | 10.7167 |         |
|                        | sig |                         | .159    | .076    |         |
| Duncan <sup>a</sup>    | 1   | 3                       | 8.2233  |         |         |
|                        | 2   | 3                       | 8.5067  | 8.5067  |         |
|                        | 5   | 3                       |         | 10.0400 | 10.0400 |
|                        | 4   | 3                       |         | 10.0533 | 10.0533 |
|                        | 6   | 3                       |         | 10.1067 | 10.1067 |
|                        | 3   | 3                       |         |         | 10.7167 |
|                        | sig |                         | .697    | .058    | .395    |
| 21 days                |     |                         |         |         |         |
| trt                    | N   | Subset for alpha = 0.05 |         |         |         |
|                        |     | 1                       | 2       | 3       |         |
| Tukey HSD <sup>a</sup> | 1   | 3                       | 9.7567  |         |         |
|                        | 2   | 3                       | 9.9200  |         |         |
|                        | 4   | 3                       | 10.3133 |         |         |
|                        | 3   | 3                       | 10.7533 |         |         |
|                        | 6   | 3                       | 10.9967 |         |         |
|                        | 5   | 3                       | 11.3200 |         |         |
|                        | sig |                         | .501    |         |         |
| Duncan <sup>a</sup>    | 1   | 3                       | 9.7567  |         |         |
|                        | 2   | 3                       | 9.9200  |         |         |
|                        | 4   | 3                       | 10.3133 |         |         |
|                        | 3   | 3                       | 10.7533 |         |         |
|                        | 6   | 3                       | 10.9967 |         |         |
|                        | 5   | 3                       | 11.3200 |         |         |
|                        | sig |                         | .130    |         |         |

ตารางที่ ง-78 เปรียบเทียบความแตกต่างทางสถิติค่าความกว้างทรงพุ่มของผักสลัดกรีนโอ๊คที่ 7, 14 และ 21 วัน ด้วยวิธี Tukey HSD และ Duncan

| 7 days                 |     |   |                         |         |   |
|------------------------|-----|---|-------------------------|---------|---|
|                        | trt | N | Subset for alpha = 0.05 |         |   |
|                        |     |   | 1                       | 2       | 3 |
| Tukey HSD <sup>a</sup> | 1   | 3 | 9.3400                  |         |   |
|                        | 2   | 3 | 11.7933                 | 11.7933 |   |
|                        | 5   | 3 | 12.0733                 | 12.0733 |   |
|                        | 4   | 3 | 12.4833                 | 12.4833 |   |
|                        | 3   | 3 |                         | 12.7000 |   |
|                        | 6   | 3 |                         | 13.7867 |   |
|                        | sig |   | .069                    | .393    |   |
| Duncan <sup>a</sup>    | 1   | 3 | 9.3400                  |         |   |
|                        | 2   | 3 |                         | 11.7933 |   |
|                        | 5   | 3 |                         | 12.0733 |   |
|                        | 4   | 3 |                         | 12.4833 |   |
|                        | 3   | 3 |                         | 12.7000 |   |
|                        | 6   | 3 |                         | 13.7867 |   |
|                        | sig |   | 1.000                   | .092    |   |

| 14 days                |     |   |                         |         |   |
|------------------------|-----|---|-------------------------|---------|---|
|                        | trt | N | Subset for alpha = 0.05 |         |   |
|                        |     |   | 1                       | 2       | 3 |
| Tukey HSD <sup>a</sup> | 1   | 3 | 11.2733                 |         |   |
|                        | 5   | 3 | 12.5900                 |         |   |
|                        | 4   | 3 | 12.8700                 |         |   |
|                        | 2   | 3 | 13.7400                 |         |   |
|                        | 6   | 3 | 14.4333                 |         |   |
|                        | 3   | 3 | 15.2733                 |         |   |
|                        | sig |   | .102                    |         |   |
|                        |     |   |                         |         |   |
| Duncan <sup>a</sup>    | 1   | 3 | 11.2733                 |         |   |
|                        | 5   | 3 | 12.5900                 | 12.5900 |   |
|                        | 4   | 3 | 12.8700                 | 12.8700 |   |
|                        | 2   | 3 | 13.7400                 | 13.7400 |   |
|                        | 6   | 3 | 14.4333                 | 14.4333 |   |
|                        | 3   | 3 |                         | 15.2733 |   |
|                        | sig |   | .056                    | .098    |   |
|                        |     |   |                         |         |   |
| 21 days                |     |   |                         |         |   |
|                        | trt | N | Subset for alpha = 0.05 |         |   |
|                        |     |   | 1                       | 2       | 3 |
| Tukey HSD <sup>a</sup> | 4   | 3 | 14.0067                 |         |   |
|                        | 5   | 3 | 14.5100                 |         |   |
|                        | 1   | 3 | 14.9900                 |         |   |
|                        | 2   | 3 | 15.4200                 |         |   |
|                        | 3   | 3 | 15.4800                 |         |   |
|                        | 6   | 3 | 15.5733                 |         |   |
|                        | sig |   | .995                    |         |   |
|                        |     |   |                         |         |   |
| Duncan <sup>a</sup>    | 4   | 3 | 14.0067                 |         |   |
|                        | 5   | 3 | 14.5100                 |         |   |
|                        | 1   | 3 | 14.9900                 |         |   |
|                        | 2   | 3 | 15.4200                 |         |   |
|                        | 3   | 3 | 15.4800                 |         |   |
|                        | 6   | 3 | 15.5733                 |         |   |
|                        | sig |   | .656                    |         |   |
|                        |     |   |                         |         |   |

**ตารางที่ ง-79** เปรียบเทียบความแตกต่างทางสถิติค่าจำนวนใบของผักสลัดกรีนโอ๊คที่ 7, 14 และ 21 วัน ด้วยวิธี Tukey HSD และ Duncan

| 7 days                 |     |   |                         |        |   |
|------------------------|-----|---|-------------------------|--------|---|
|                        | trt | N | Subset for alpha = 0.05 |        |   |
|                        |     |   | 1                       | 2      | 3 |
| Tukey HSD <sup>a</sup> | 1   | 3 | 7.3333                  |        |   |
|                        | 2   | 3 | 8.0000                  |        |   |
|                        | 5   | 3 | 8.0000                  |        |   |
|                        | 3   | 3 | 8.3333                  |        |   |
|                        | 4   | 3 | 8.3333                  |        |   |
|                        | 6   | 3 | 8.6667                  |        |   |
|                        | sig |   | .166                    |        |   |
| Duncan <sup>a</sup>    | 1   | 3 | 7.3333                  |        |   |
|                        | 2   | 3 | 8.0000                  | 8.0000 |   |
|                        | 5   | 3 | 8.0000                  | 8.0000 |   |
|                        | 3   | 3 | 8.3333                  | 8.3333 |   |
|                        | 4   | 3 | 8.3333                  | 8.3333 |   |
|                        | 6   | 3 |                         | 8.6667 |   |
|                        | sig |   | .098                    | .254   |   |

| 14 days                |     |   |                         |   |   |
|------------------------|-----|---|-------------------------|---|---|
|                        | trt | N | Subset for alpha = 0.05 |   |   |
|                        |     |   | 1                       | 2 | 3 |
| Tukey HSD <sup>a</sup> | 2   | 3 | 8.6667                  |   |   |
|                        | 4   | 3 | 8.6667                  |   |   |
|                        | 1   | 3 | 9.0000                  |   |   |
|                        | 5   | 3 | 9.3333                  |   |   |
|                        | 6   | 3 | 9.3333                  |   |   |
|                        | 3   | 3 | 9.6667                  |   |   |
|                        | sig |   | .800                    |   |   |
|                        |     |   |                         |   |   |
| Duncan <sup>a</sup>    | 2   | 3 | 8.6667                  |   |   |
|                        | 4   | 3 | 8.6667                  |   |   |
|                        | 1   | 3 | 9.0000                  |   |   |
|                        | 5   | 3 | 9.3333                  |   |   |
|                        | 6   | 3 | 9.3333                  |   |   |
|                        | 3   | 3 | 9.6667                  |   |   |
|                        | sig |   | .275                    |   |   |
|                        |     |   |                         |   |   |
| 21 days                |     |   |                         |   |   |
|                        | trt | N | Subset for alpha = 0.05 |   |   |
|                        |     |   | 1                       | 2 | 3 |
| Tukey HSD <sup>a</sup> | 5   | 3 | 10.6667                 |   |   |
|                        | 6   | 3 | 11.0000                 |   |   |
|                        | 4   | 3 | 11.6667                 |   |   |
|                        | 2   | 3 | 12.0000                 |   |   |
|                        | 1   | 3 | 12.3333                 |   |   |
|                        | 3   | 3 | 13.3333                 |   |   |
|                        | sig |   | .822                    |   |   |
|                        |     |   |                         |   |   |
| Duncan <sup>a</sup>    | 5   | 3 | 10.6667                 |   |   |
|                        | 6   | 3 | 11.0000                 |   |   |
|                        | 4   | 3 | 11.6667                 |   |   |
|                        | 2   | 3 | 12.0000                 |   |   |
|                        | 1   | 3 | 12.3333                 |   |   |
|                        | 3   | 3 | 13.3333                 |   |   |
|                        | sig |   | .292                    |   |   |
|                        |     |   |                         |   |   |

ตารางที่ ง-80 เปรียบเทียบความแตกต่างทางสถิติค่าความยาวรากของผักสลัดกรีนโอ๊คด้วยวิธี

Tukey HSD และ Duncan

|                        | trt | N | Subset for alpha = 0.05 |   |   |
|------------------------|-----|---|-------------------------|---|---|
|                        |     |   | 1                       | 2 | 3 |
| Tukey HSD <sup>a</sup> | 4   | 3 | 10.9167                 |   |   |
|                        | 5   | 3 | 12.9767                 |   |   |
|                        | 3   | 3 | 13.4667                 |   |   |
|                        | 1   | 3 | 13.8733                 |   |   |
|                        | 6   | 3 | 14.7833                 |   |   |
|                        | 2   | 3 | 15.3633                 |   |   |
|                        | sig |   | .391                    |   |   |
| Duncan <sup>a</sup>    | 4   | 3 | 10.9167                 |   |   |
|                        | 5   | 3 | 12.9767                 |   |   |
|                        | 3   | 3 | 13.4667                 |   |   |
|                        | 1   | 3 | 13.8733                 |   |   |
|                        | 6   | 3 | 14.7833                 |   |   |
|                        | 2   | 3 | 15.3633                 |   |   |
|                        | sig |   | .094                    |   |   |



ตารางที่ ง-81 เปรียบเทียบความแตกต่างทางสถิติค่าน้ำหนักสดลำต้นและรากผักสลัดกรีนโอ๊คด้วยวิธี

Tukey HSD และ Duncan

| Stem                   |     |                         |         |   |  |
|------------------------|-----|-------------------------|---------|---|--|
| trt                    | N   | Subset for alpha = 0.05 |         |   |  |
|                        |     | 1                       | 2       | 3 |  |
| Tukey HSD <sup>a</sup> | 5   | 3                       | 6.2617  |   |  |
|                        | 6   | 3                       | 8.4081  |   |  |
|                        | 2   | 3                       | 9.9655  |   |  |
|                        | 1   | 3                       | 10.9425 |   |  |
|                        | 4   | 3                       | 12.7897 |   |  |
|                        | 3   | 3                       | 14.3933 |   |  |
|                        | sig |                         | .713    |   |  |
| Duncan <sup>a</sup>    | 5   | 3                       | 6.2617  |   |  |
|                        | 6   | 3                       | 8.4081  |   |  |
|                        | 2   | 3                       | 9.9655  |   |  |
|                        | 1   | 3                       | 10.9425 |   |  |
|                        | 4   | 3                       | 12.7897 |   |  |
|                        | 3   | 3                       | 14.3933 |   |  |
|                        | sig |                         | .221    |   |  |
| Root                   |     |                         |         |   |  |
| trt                    | N   | Subset for alpha = 0.05 |         |   |  |
|                        |     | 1                       | 2       | 3 |  |
| Tukey HSD <sup>a</sup> | 4   | 3                       | 1.6100  |   |  |
|                        | 5   | 3                       | 1.7773  |   |  |
|                        | 6   | 3                       | 2.0967  |   |  |
|                        | 3   | 3                       | 2.2233  |   |  |
|                        | 2   | 3                       | 2.4033  |   |  |
|                        | 1   | 3                       | 2.7167  |   |  |
|                        | sig |                         | .531    |   |  |
| Duncan <sup>a</sup>    | 4   | 3                       | 1.6100  |   |  |
|                        | 5   | 3                       | 1.7773  |   |  |
|                        | 6   | 3                       | 2.0967  |   |  |
|                        | 3   | 3                       | 2.2233  |   |  |
|                        | 2   | 3                       | 2.4033  |   |  |
|                        | 1   | 3                       | 2.7167  |   |  |
|                        | sig |                         | .141    |   |  |

ตารางที่ ง-82 เปรียบเทียบความแตกต่างทางสถิติค่าน้ำหนักแห้งลำต้นและรากผักสลัดกรีนโอ๊คด้วย  
วิธี Tukey HSD และ Duncan

| Stem                   |     |                         |        |   |  |
|------------------------|-----|-------------------------|--------|---|--|
| trt                    | N   | Subset for alpha = 0.05 |        |   |  |
|                        |     | 1                       | 2      | 3 |  |
| Tukey HSD <sup>a</sup> | 4   | 3                       | .1449  |   |  |
|                        | 5   | 3                       | .1538  |   |  |
|                        | 6   | 3                       | .1805  |   |  |
|                        | 2   | 3                       | .2152  |   |  |
|                        | 1   | 3                       | .2539  |   |  |
|                        | 3   | 3                       | .2869  |   |  |
|                        | sig |                         | .252   |   |  |
| Duncan <sup>a</sup>    | 4   | 3                       | .1449  |   |  |
|                        | 5   | 3                       | .1538  |   |  |
|                        | 6   | 3                       | .1805  |   |  |
|                        | 2   | 3                       | .2152  |   |  |
|                        | 1   | 3                       | .2539  |   |  |
|                        | 3   | 3                       | .2869  |   |  |
|                        | sig |                         | .056   |   |  |
| Root                   |     |                         |        |   |  |
| trt                    | N   | Subset for alpha = 0.05 |        |   |  |
|                        |     | 1                       | 2      | 3 |  |
| Tukey HSD <sup>a</sup> | 5   | 3                       | .5811  |   |  |
|                        | 4   | 3                       | .7462  |   |  |
|                        | 2   | 3                       | .7531  |   |  |
|                        | 6   | 3                       | .8785  |   |  |
|                        | 1   | 3                       | .9599  |   |  |
|                        | 3   | 3                       | 1.1947 |   |  |
|                        | sig |                         | .498   |   |  |
| Duncan <sup>a</sup>    | 5   | 3                       | .5811  |   |  |
|                        | 4   | 3                       | .7462  |   |  |
|                        | 2   | 3                       | .7531  |   |  |
|                        | 6   | 3                       | .8785  |   |  |
|                        | 1   | 3                       | .9599  |   |  |
|                        | 3   | 3                       | 1.1947 |   |  |
|                        | sig |                         | .129   |   |  |

**ตารางที่ ง-83** เปรียบเทียบความแตกต่างทางสถิติค่าปริมาณจุลินทรีย์ในดินก่อนและหลังการทดลอง  
วิธี Tukey HSD และ Duncan

|                        | trt | N | Subset for alpha = 0.05 |        |   |   |
|------------------------|-----|---|-------------------------|--------|---|---|
|                        |     |   | 1                       | 2      | 3 | 4 |
| Tukey HSD <sup>a</sup> | 1   | 3 | .7457                   |        |   |   |
|                        | 2   | 3 | 1.1880                  | 1.1880 |   |   |
|                        | 3   | 3 |                         | 1.3200 |   |   |
|                        | 4   | 3 |                         | 1.3490 |   |   |
|                        | 6   | 3 |                         | 1.3813 |   |   |
|                        | 5   | 3 |                         | 1.4900 |   |   |
|                        | sig |   | .131                    | .451   |   |   |
| Duncan <sup>a</sup>    | 1   | 3 | .7457                   |        |   |   |
|                        | 2   | 3 |                         | 1.1880 |   |   |
|                        | 3   | 3 |                         | 1.3200 |   |   |
|                        | 4   | 3 |                         | 1.3490 |   |   |
|                        | 6   | 3 |                         | 1.3813 |   |   |
|                        | 5   | 3 |                         | 1.4900 |   |   |
|                        | sig |   | 1.000                   | .110   |   |   |

## ประวัติผู้เขียน

|              |                                                                                                                    |
|--------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| ชื่อ         | กัญญารัตน์ กสินศักดิ์                                                                                              |
| วุฒิการศึกษา | ปีการศึกษา 2562: วิทยาศาสตร์บัณฑิต<br>(เทคโนโลยีชีวภาพ) เกียรตินิยมอันดับสอง<br>มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์              |
| ทุนการศึกษา  | ปี พ.ศ.2563: ทุนบัณฑิตเรียนดีเพื่อศึกษาต่อระดับ<br>บัณฑิตศึกษา คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี<br>มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์ |

## ผลงานทางวิชาการ

Chantorn, S., Aekkawatchai, N., Kasinsak, K., and Oontawee, S. (2022). Preservation of *Paenibacillus polymyxa* BTK01 and *Bacillus subtilis* BTK07 as lignocellulolytic bacterial starters for industrial applications: Physicochemical conditions, enzyme stability, freeze-drying processes and cryoprotection. *Biocatalysis and Agricultural Biotechnology*, 42, 102326.

กัญญารัตน์ กสินศักดิ์ และสุดาทิพย์ จันทร. (2566). การศึกษาผลของน้ำหมักและเอนไซม์จาก *Bacillus subtilis* BTK07 และ *Paenibacillus polymyxa* BTK01 ต่อการงอกและเจริญของเมล็ดผักสลัดกรีนโอ๊ค. หนังสือประมวลบทความการประชุมวิชาการระดับชาติ ครั้งที่ 18 และระดับนานาชาติ ครั้งที่ 8 มหาวิทยาลัยศรีปทุม ออนไลน์ เรื่อง การวิจัยและนวัตกรรมสู่การพัฒนาที่ยั่งยืน. (น. 2870-2880). กรุงเทพฯ: มหาวิทยาลัยศรีปทุม.

## ประสบการณ์ทำงาน

ปี พ.ศ.2565: ผู้ช่วยสอน รายวิชา วท.161 ปฏิบัติการชีววิทยา 1 และรายวิชา วท.163 ปฏิบัติการชีววิทยาทั่วไป สาขาเทคโนโลยีชีวภาพ คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์