



ลักษณะทางสัณฐานวิทยาและสารทุติยภูมิของกระเจี๊ยบแดง
(*Hibiscus sabdariffa* L.)

โดย

นางสาวชนันดา ศรีบุญไทย

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตร
วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต (เทคโนโลยีการเกษตร)
ภาควิชาเทคโนโลยีการเกษตร
คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์
ปีการศึกษา 2559
ลิขสิทธิ์ของมหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์

ลักษณะทางสัณฐานวิทยาและสารทุติยภูมิของกระเจียบแดง
(*Hibiscus sabdariffa* L.)

โดย

นางสาวชนันดา ศรีบุญไทย



วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตร
วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต (เทคโนโลยีการเกษตร)
ภาควิชาเทคโนโลยีการเกษตร
คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์
ปีการศึกษา 2559
ลิขสิทธิ์ของมหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์

MORPHOLOGICAL CHARACTERIZATION AND SECONDARY
METABOLITES OF ROSELLE (*Hibiscus sabdariffa* L.)

BY

MISS CHANUNDA SRIBOONTHAI



A THESIS SUBMITTED IN PARTIAL FULFILLMENT OF THE REQUIREMENTS
FOR THE DEGREE OF MASTER OF SCIENCE (AGRICULTURAL TECHNOLOGY)

DEPARTMENT OF AGRICULTURAL TECHNOLOGY

FACULTY OF SCIENCE AND TECHNOLOGY

THAMMASAT UNIVERSITY

ACADEMIC YEAR 2016

COPYRIGHT OF THAMMASAT UNIVERSITY

มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์
คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี

วิทยานิพนธ์

ของ

นางสาวชนันดา ศรีบุญไทย

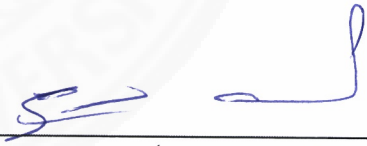
เรื่อง

ลักษณะทางสัณฐานวิทยาและสารทุติยภูมิของกระเจี๊ยบแดง (*Hibiscus sabdariffa* L.)

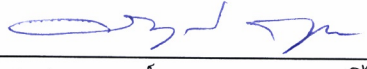
ได้รับการตรวจสอบและอนุมัติ ให้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตร
วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต (เทคโนโลยีการเกษตร)

เมื่อ วันที่ 7 กรกฎาคม พ.ศ. 2560

ประธานกรรมการสอบวิทยานิพนธ์


(รองศาสตราจารย์ ดร.อรุณพร อัจฉรัตน์)


กรรมการและอาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก


(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ภาณุมาศ ฤทธิไชย)

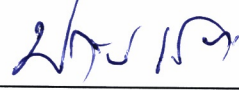
กรรมการและอาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ร่วม


(รองศาสตราจารย์ ดร.เยาวพา จิระเกียรติกุล)

กรรมการสอบวิทยานิพนธ์


(อาจารย์ ดร.นงลักษณ์ เทียนเสรี)

คณบดี


(รองศาสตราจารย์ ปกรณ์ เสริมสุข)

หัวข้อวิทยานิพนธ์	ลักษณะทางสัณฐานวิทยาและสารพฤกษเคมีของกระเจี๊ยบแดง (<i>Hibiscus sabdariffa</i> L.)
ชื่อผู้เขียน	นางสาวชนันดา ศรีบุญไทย
ชื่อปริญญา	วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต (เทคโนโลยีการเกษตร)
สาขาวิชา/คณะ/มหาวิทยาลัย	เทคโนโลยีการเกษตร วิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์
อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก	ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ภาณุมาศ ฤทธิไชย
อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ร่วม	รองศาสตราจารย์ ดร.เยาวพา จิระเกียรติกุล
ปีการศึกษา	2559

บทคัดย่อ

กระเจี๊ยบแดง (*Hibiscus sabdariffa* L.) เป็นพืชสมุนไพรชนิดหนึ่งที่ใช้กลิบเลี้ยงกันอย่างแพร่หลาย ในการลดไขมันในเลือด ขับปัสสาวะ ลดเบาหวาน ต้านการอักเสบ ต้านเซลล์มะเร็ง และมีฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระ งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาลักษณะทางสัณฐานวิทยา ปริมาณสารพฤกษเคมีในกลิบเลี้ยงและใบ การให้ผลผลิตกลิบเลี้ยงของกระเจี๊ยบแดงจำนวน 14 accessions ที่รวบรวมจากแหล่งต่างๆ รวมทั้งเพื่อศึกษาผลของอายุเก็บเกี่ยวต่อการให้ผลผลิตและสารพฤกษเคมีในใบของกระเจี๊ยบแดง จากการศึกษาลักษณะทางสัณฐานวิทยาและสารพฤกษเคมีในกระเจี๊ยบแดง พบว่าสามารถแบ่งกระเจี๊ยบแดงออกได้เป็น 2 กลุ่ม ในกลุ่มที่ 1 ประกอบด้วยกระเจี๊ยบแดง 9 accessions มีกลิบเลี้ยงหนาและใหญ่ ใบใหญ่และหยักลึกปานกลาง โดยกลุ่มนี้มีกลิบเลี้ยงที่มีสีแดงเข้มจำนวน 7 accessions มีปริมาณแอนโทไซยานินทั้งหมด (2.02 ± 1.00 mg cyd-3-glu/l) ฟลาโวนอยด์ทั้งหมด (6.90 ± 0.90 mg catechin/g dry extract) สารประกอบฟีนอลิกทั้งหมด (73.26 ± 6.48 mg GAE/g dry extract) สูงสุด และฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระ DPPH (EC_{50} เท่ากับ 24.78 ± 5.10 μ g/ml) ดีที่สุดในขณะที่อีก 2 accessions มีกลิบเลี้ยงสีส้มแดงจะมีสารพฤกษเคมีดังกล่าวลดลง ส่วนกลุ่มที่ 2 ประกอบด้วยกระเจี๊ยบแดง 5 accessions มีกลิบเลี้ยงบางและเล็ก ใบเล็กและหยักลึกมาก โดยกลิบเลี้ยงสีเขียวมี 3 accessions และกลิบเลี้ยงสีส้มแดงมี 2 accessions ซึ่งกลิบเลี้ยงสีส้มแดงมีปริมาณสารพฤกษเคมีสูงและฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระ DPPH ดีกว่ากลิบเลี้ยงสีเขียว และกลิบเลี้ยงสีส้มแดงจากทั้ง 2 กลุ่ม มีสารพฤกษเคมีใกล้เคียงกัน ส่วนสารพฤกษเคมีในใบ พบว่า กระเจี๊ยบแดงทั้ง 2 กลุ่ม มีสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมด (51.43 ± 6.06 ถึง 58.71 ± 6.90 mg GAE/g dry extract) แคโรทีนอยด์

ทั้งหมด (5.00 ± 1.36 ถึง 8.30 ± 1.54 $\mu\text{g/g}$ dry weight) และฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระ DPPH (ค่า EC_{50} 73.90 ± 8.70 ถึง 101.07 ± 7.46 $\mu\text{g/ml}$) มีค่าใกล้เคียงกัน

ศึกษาการให้ผลผลิตกลีบเลี้ยงของกระเจี๊ยบแดงทั้ง 2 กลุ่ม พบว่า กลุ่มที่ 1 ให้ผลผลิตสูง ส่วนกลุ่มที่ 2 ให้ผลผลิตต่ำ โดยเฉพาะอย่างยิ่งกลุ่มที่มีกลีบเลี้ยงสีเขียว จากการให้ผลผลิตและสารทุติยภูมิในกลีบเลี้ยง กระเจี๊ยบแดงในกลุ่มที่ 1 ที่มีกลีบเลี้ยงสีแดงเข้ม ได้แก่ HS001 HS002 HS004 HS005 และ HS007 มีศักยภาพในการพัฒนาพันธุ์ต่อไป

ศึกษาผลของอายุเก็บเกี่ยวต่อการให้ผลผลิตและสารทุติยภูมิในใบของกระเจี๊ยบแดง 2 accessions คือ HS004 ใบขนาดใหญ่และหยักลึกปานกลาง และ HS006 ใบขนาดเล็กและหยักลึกมาก พบว่า ทั้ง HS004 และ HS006 ให้น้ำหนักสดยอดสูงสุดที่อายุ 55 วันหลังย้ายปลูก ส่วนน้ำหนักแห้งยอดสูงสุดไม่แตกต่างกันทางสถิติ ที่อายุ 55 70 และ 85 วันหลังย้ายปลูก การเก็บเกี่ยวยอดในทุกอายุ กระเจี๊ยบแดงทั้ง 2 accessions มีปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมดและแคโรทีนอยด์ทั้งหมดในใบไม่แตกต่างกันทางสถิติ และฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระ DPPH ในใบของ HS004 ให้ค่า EC_{50} ที่ดีที่สุดอย่างมีนัยสำคัญ ที่อายุการเก็บเกี่ยว 40 55 และ 100 วันหลังย้ายปลูก อย่างไรก็ตาม HS006 มีค่า EC_{50} ที่ดีไม่แตกต่างกันทางสถิติในทุกอายุการเก็บเกี่ยว

คำสำคัญ: *Hibiscus sabdariffa* L. สันฐานวิทยา แอนโทไซยานิน สารประกอบฟีนอลิก
ฟลาโวนอยด์ ฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระ DPPH

Thesis Title	MORPHOLOGICAL CHARACTERIZATION AND SECONDARY METABOLITES OF ROSELLE (<i>Hibiscus sabdariffa</i> L.)
Author	Miss Chanunda Sriboonthai
Degree	Master of Science (Agricultural Technology)
Department/Faculty/University	Agricultural Technology Science and Technology Thammasat University
Thesis Advisor	Assistant Professor Panumart Rithichai, Dr. Agr. Sci
Thesis Co-Advisor	Associate Professor Yaowapha Jirakiattikul, Ph.D.
Academic Years	2016

ABSTRACT

Roselle (*Hibiscus sabdariffa* L.) is one of medicinal plants that calyces are widely used for the treatment of atherosclerosis, diuretic, diabetes, anti-inflammatory, anticancer and antioxidant activity. The objectives of this study were to investigate morphological characteristics, secondary metabolite accumulation in calyx and leaf, and calyx yield of roselle 14 accessions collecting from different regions. Furthermore, the effect of harvesting times on yield and secondary metabolites in roselle leaf was examined. Based on morphological characteristics and secondary metabolites of roselle, they were classified into two clusters. The first cluster consisted of nine accessions which showed thick and large calyces, large leaf size with medium leaf lobing. The seven accessions of dark red calyx in this cluster exhibited the highest contents of anthocyanin (2.02 ± 1.00 mg cyd-3-glu/l), total flavonoid (6.90 ± 0.90 mg catechin/g dry extract), total phenolic (73.26 ± 6.48 mg GAE/g dry extract) and the greatest DPPH radical scavenging capacity ($EC_{50} = 24.78 \pm 5.10$ μ g/ml) while those of secondary metabolites decreased in the other two accessions of orange-red calyx. The second cluster comprised five accessions which showed thin and small calyces, small leaf size with deep leaf lobing. Three accessions of green

calyx and two accessions of orange-red calyx were obtained. The orange-red calyx revealed the higher contents of secondary metabolites and greater DPPH radical scavenging capacity than the green one. In addition, similar contents of those secondary metabolites were observed in the orange-red calyx of both clusters. Secondary metabolites in leaf of both clusters displayed the similar contents of total phenolic (51.43±6.06 to 58.71±6.90 mg GAE/g dry extract), total carotenoid (5.00±1.36 to 8.30±1.54 µg/g dry weight) and DPPH radical scavenging capacity (EC_{50} = 73.90±8.70 to 101.07±7.46 µg/ml).

Calyx yield of both clusters were further carried out. The first cluster exhibited high yield while the second cluster particularly the green calyx accessions showed low yield. According to yield and secondary metabolites in calyx, therefore, the first cluster especially the accessions of dark red calyx had high potential to develop a new cultivar and the promising accessions were HS001, HS002, HS004, HS005 and HS007.

The effect of harvesting times on yield and secondary metabolites in leaf of two roselle accessions were studied. Large leaf with medium leaf lobing of HS004 and small leaf with deep leaf lobing of HS006 showed the highest shoot fresh weight at 55 days after transplanting (DAT). The highest shoot dry weights were observed at 55, 70 and 85 DAT which were not significantly different. Total phenolic and carotenoid contents in leaf of both accessions were not significantly different among the treatments. Furthermore, DPPH radical scavenging capacity in leaf of HS004 showed the greatest EC_{50} at 40, 55 and 100 DAT but that of HS006 was not significantly different regardless of harvesting times.

Keywords: *Hibiscus sabdariffa* L., morphological characterization, anthocyanin, phenolic compounds, flavonoid, DPPH radical scavenging capacity

กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดี เนื่องจากได้รับความกรุณา และการชี้แนะที่เป็นประโยชน์จากกรรมการวิทยานิพนธ์ทุกท่าน โดยเฉพาะผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ภาณุมาศ ฤทธิไชย กรรมการและอาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก ที่คอยสนับสนุน ชี้แนะให้คำปรึกษา ตลอดจนแก้ไขข้อบกพร่องต่างๆ ขอขอบพระคุณรองศาสตราจารย์ ดร.เยาวพา จิระเกียรติกุล กรรมการและอาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ร่วม รองศาสตราจารย์ ดร.อรุณพร อิฐรัตน์ ประธานกรรมการสอบวิทยานิพนธ์ และอาจารย์ ดร.นงลักษณ์ เทียนเสรี ที่ให้ความกรุณาสละเวลาอันมีค่ามาเป็นกรรมการและตรวจสอบวิทยานิพนธ์ พร้อมทั้งให้คำแนะนำที่เป็นประโยชน์และแก้ไขงานวิจัยฉบับนี้ให้ดีและสมบูรณ์ยิ่งขึ้น ผู้ศึกษาขอกราบขอบพระคุณทุกท่านเป็นอย่างสูงมา ณ โอกาสนี้

ขอขอบคุณ อาจารย์ ดร.ศรีโสภกา เรืองหนู พี่ๆ และเพื่อนๆ สาขาการแพทย์แผนไทย ประยุกต์ คณะแพทยศาสตร์ มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์ ที่ช่วยเหลือในการทำการทดลองและให้ข้อมูลที่เป็นประโยชน์ในการศึกษาครั้งนี้ รวมไปถึงอาจารย์และนักศึกษาปริญญาเอก จากโครงการให้คำปรึกษาทางสถิติเพื่อการวิจัย ภาควิชาคณิตศาสตร์และสถิติ คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์ ที่ให้ข้อเสนอแนะเกี่ยวกับการวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติ

ขอขอบคุณคณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์ ศูนย์รังสิต ที่ได้มอบทุนเรียนดีบัณฑิตศึกษา ปีงบประมาณ 2557-2558

ขอขอบคุณคณาจารย์ทุกท่าน เจ้าหน้าที่ พี่ๆ เพื่อนๆ และน้องๆ ภาควิชาเทคโนโลยีการเกษตร ในความรู้ ความเข้าใจ มิตรภาพ และคำแนะนำดีๆ ทั้งในการทำงานและในการศึกษา ท้ายที่สุดขอขอบคุณครอบครัวที่คอยสนับสนุนและเป็นกำลังใจมาตลอด

หากผลการศึกษานี้มีข้อบกพร่องประการใด ผู้ศึกษาขอน้อมรับไว้เพื่อปรับปรุงและแก้ไขในการศึกษาต่อไป

นางสาวชนันดา ศรีบุญไทย

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย	(1)
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ	(3)
กิตติกรรมประกาศ	(5)
สารบัญ	(6)
สารบัญตาราง	(9)
สารบัญภาพ	(12)
บทที่ 1 บทนำ	1
1.1 ที่มาและความสำคัญของปัญหา	1
1.2 วัตถุประสงค์	2
1.3 ขอบเขตของการวิจัย	3
1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ	3
บทที่ 2 วรรณกรรมและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	4
2.1 ลักษณะทางพฤกษศาสตร์	4
2.2 การเจริญเติบโต	5
2.3 การปลูกและการดูแลรักษา	6
2.4 การเก็บเกี่ยวผลผลิตกลีบเลี้ยงและใบ	7
2.4.1 การเก็บเกี่ยวผลผลิตกลีบเลี้ยง	7
2.4.2 การเก็บเกี่ยวผลผลิตใบ	7

2.5 สารทุติยภูมิในกระเจี๊ยบแดง	8
2.5.1 แอนโทไซยานิน	8
2.5.2 ฟลาโวนอยด์	11
2.5.3 สารประกอบฟีนอลิก	13
2.5.4 แคโรทีนอยด์	14
2.5.5 คลอโรฟิลล์	16
2.5.6 สารต้านอนุมูลอิสระ	17
2.6 ฤทธิ์ทางเภสัชวิทยาและการนำไปใช้ประโยชน์	19
บทที่ 3 อุปกรณ์และวิธีการ	21
3.1 ลักษณะทางสัณฐานวิทยาของกระเจี๊ยบแดง	21
3.2 สารทุติยภูมิในกลีบเลี้ยงและใบของกระเจี๊ยบแดง	24
3.3 การให้ผลผลิตของกลีบเลี้ยงกระเจี๊ยบแดง	29
3.4 ผลของอายุเก็บเกี่ยวต่อการให้ผลผลิตและสารทุติยภูมิในใบ ของกระเจี๊ยบแดง	29
3.5 สถานที่ทำการทดลอง	31
3.6 ระยะเวลาในการทำการทดลอง	32
บทที่ 4 ผลและวิจารณ์ผลการทดลอง	33
4.1 ลักษณะทางสัณฐานวิทยาของกระเจี๊ยบแดง	33
4.2 สารทุติยภูมิในกลีบเลี้ยงและใบของกระเจี๊ยบแดง	38
4.2.1 สารทุติยภูมิในกลีบเลี้ยง	38
4.2.2 ทุติยภูมิในใบ	41
4.3 การให้ผลผลิตของกลีบเลี้ยงกระเจี๊ยบแดง	50
4.4 ผลของอายุเก็บเกี่ยวต่อการให้ผลผลิตและสารทุติยภูมิในใบ ของกระเจี๊ยบแดง	56
4.4.1 ความสูงและความกว้างทรงพุ่ม	56
4.4.2 ผลผลิตยอดที่เก็บเกี่ยว	56
4.4.3 ค่าสีใบ	57

4.4.4 ปริมาณสารสกัดใบ	57
4.4.5 สารทุติยภูมิในใบ	58
4.4.6 ฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระ DPPH	59
บทที่ 5 สรุปผลการทดลองและข้อเสนอแนะ	66
5.1 สรุปผลการทดลอง	66
5.2 ข้อเสนอแนะ	68
รายการอ้างอิง	69
ภาคผนวก	79
ภาคผนวก ก ลักษณะทางสัณฐานวิทยาของกระเจี๊ยบแดง	80
ภาคผนวก ข การวิเคราะห์ปริมาณแอนโทไซยานินทั้งหมด (Total Anthocyaanin Content)	93
ภาคผนวก ค การวิเคราะห์ปริมาณสารฟลาโวนอยด์ทั้งหมด	94
ภาคผนวก ง การวิเคราะห์ปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมด	97
ภาคผนวก จ การวิเคราะห์ฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระ โดยวิธี DPPH radical scavenging activity	99
ภาคผนวก ฉ สภาพภูมิอากาศตั้งแต่เดือนสิงหาคม พ.ศ. 2557 ถึงเดือนธันวาคม พ.ศ. 2558	101
ภาคผนวก ช ผลผลิตกสิบเลี้ยงของกระเจี๊ยบแดง	103
ภาคผนวก ฉ ผลผลิตและสารทุติยภูมิในใบของกระเจี๊ยบแดง ที่อายุการเก็บเกี่ยวต่างๆ	107
ประวัติผู้เขียน	111

สารบัญตาราง

ตารางที่	หน้า
3.1 แหล่งรวบรวมเมล็ดพันธุ์กระเจี๊ยบแดง จำนวน 14 accessions	21
4.1 ค่าเฉลี่ยและส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน (SD) ของลักษณะทางสัณฐานวิทยา 34 ลักษณะ ของกระเจี๊ยบแดง 2 กลุ่ม	37
4.2 สารสกัดกลีบเลี้ยงและสารสกัดใบของกระเจี๊ยบแดง 2 กลุ่ม	43
4.3 ค่า pH ค่าสีเขียว/สีแดง (a^*) ค่า Chroma (C) และค่าสี Hue angle (H^0) ของสารสกัดกลีบเลี้ยงของกระเจี๊ยบแดง 2 กลุ่ม	44
4.4 ปริมาณแอนโทไซยานินทั้งหมด ฟลาโวนอยด์ทั้งหมด สารประกอบฟีนอลิกทั้งหมด และฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระ DPPH ของสารสกัดกลีบเลี้ยงของกระเจี๊ยบแดง 2 กลุ่ม	45
4.5 ค่าสหสัมพันธ์ (Correlation coefficient, r) ระหว่างสารทุติยภูมิกับ ฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระ DPPH ค่า pH ค่าสีเขียว/สีแดง (a^*) ค่า Chroma (C) และค่าสี Hue angle (H^0) ของสารสกัดกลีบเลี้ยงของกระเจี๊ยบแดง 2 กลุ่ม	46
4.6 ค่าสีเขียว/สีแดง (a^*) ค่า Chroma (C) และค่าสี Hue angle (H^0) ของสารสกัดใบของกระเจี๊ยบแดง 2 กลุ่ม	47
4.7 ปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมด แคโรทีนอยด์ทั้งหมด คลอโรฟิลล์เอ คลอโรฟิลล์บี และฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระ DPPH ของสารสกัดใบของกระเจี๊ยบแดง 2 กลุ่ม	48
4.8 ค่าสหสัมพันธ์ (Correlation coefficient, r) ระหว่างสารทุติยภูมิกับ ฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระ DPPH ค่า pH ค่าสีเขียว/สีแดง (a^*) ค่า Chroma (C) และค่าสี Hue angle (H^0) ในใบของกระเจี๊ยบแดง 2 กลุ่ม	49
ตารางผนวกที่	
ก.1 ลักษณะทางลำต้นของกระเจี๊ยบแดง 2 กลุ่ม ในระยะดอกแรกบาน 50 %	80
ก.2 ความกว้างใบ ความยาวใบ ความยาวก้านใบ และจำนวนรอยหยักต่อใบ ของกระเจี๊ยบแดง 2 กลุ่ม ในระยะดอกบาน	81
ก.3 ความลึกรอยหยักของใบ สีใบ และสีก้านใบของกระเจี๊ยบแดง 2 กลุ่ม ในระยะดอกบาน	82
ก.4 ลักษณะการเกิดดอกของกระเจี๊ยบแดง 2 กลุ่ม	83

ก.5	สีกลีบดอกและสีโคนกลีบดอกของกระเจี๊ยบแดง 2 กลุ่ม	84
ก.6	ความกว้าง ความยาว และความหนาเกลี้ยงของกระเจี๊ยบแดง 2 กลุ่ม เมื่อกลิบเลี้ยงเจริญเติบโตเต็มที่	85
ก.7	น้ำหนักสด น้ำหนักแห้ง และสีกลีบเลี้ยงของกระเจี๊ยบแดง 2 กลุ่ม เมื่อกลิบเลี้ยงเจริญเติบโตเต็มที่	86
ก.8	ความกว้างและความยาวผลของกระเจี๊ยบแดง 2 กลุ่ม เมื่อผลเจริญเติบโตเต็มที่	87
ก.9	สีผล น้ำหนักสดผลอ่อนและผลแก่ของกระเจี๊ยบแดง 2 กลุ่ม	88
ก.10	ลักษณะเมล็ดของกระเจี๊ยบแดง 2 กลุ่ม เมื่อเก็บเกี่ยวผลแก่	89
ก.11	อายุเมื่อเริ่มเก็บเกี่ยวกลีบเลี้ยง จำนวนกลีบเลี้ยง และผลผลิตกลีบเลี้ยง ของกระเจี๊ยบแดง 2 กลุ่ม	90
ข.1	จำนวนกลีบเลี้ยงต่อต้นของกระเจี๊ยบแดง 2 กลุ่ม เมื่อปลูกใน พ.ศ. 2557 และ 2558	103
ข.2	น้ำหนักสดและน้ำหนักแห้งต่อกลีบเลี้ยงของกระเจี๊ยบแดง 2 กลุ่ม เมื่อปลูกใน พ.ศ. 2557 และ 2558	104
ข.3	น้ำหนักสดและน้ำหนักแห้งต่อต้นของกระเจี๊ยบแดง 2 กลุ่ม เมื่อปลูกใน พ.ศ. 2557 และ 2558	105
ข.4	ผลผลิตน้ำหนักแห้งต่อต้นของกระเจี๊ยบแดง 2 กลุ่ม เมื่อปลูกใน พ.ศ. 2557 และ 2558	106
ณ.1	ความสูงต้น ความกว้างทรงพุ่ม น้ำหนักสดยอด น้ำหนักแห้งยอด และจำนวนยอดที่เก็บเกี่ยวต่อต้นของกระเจี๊ยบแดง HS004 ที่อายุการเก็บเกี่ยวต่างๆ หลังย้ายปลูก	107
ณ.2	ความสูงต้น ความกว้างทรงพุ่ม น้ำหนักสดยอด น้ำหนักแห้งยอด และจำนวนยอดที่เก็บเกี่ยวต่อต้นของกระเจี๊ยบแดง HS006 ที่อายุการเก็บเกี่ยวต่างๆ หลังย้ายปลูก	107
ณ.3	ผลผลิตน้ำหนักแห้งยอดที่เก็บเกี่ยวต่อต้นของกระเจี๊ยบแดง HS004 และ HS006 ที่อายุการเก็บเกี่ยวต่างๆ หลังย้ายปลูก	108
ณ.4	ค่า SPAD ค่าสีเขียว (a^*) ค่า Chroma (C) และค่าสี Hue angle (H^0) ของใบกระเจี๊ยบแดง HS004 ที่อายุการเก็บเกี่ยวต่างๆ หลังย้ายปลูก	108
ณ.5	ค่า SPAD ค่าสีเขียว (a^*) ค่า Chroma (C) และค่าสี Hue angle (H^0) ของใบกระเจี๊ยบแดง HS006 ที่อายุการเก็บเกี่ยวต่างๆ หลังย้ายปลูก	109

ฅ.6	สารสกัดใบของกระเจี๊ยบแดง HS004 และ HS006 ที่อายุการเก็บเกี่ยวต่างๆ หลังย้ายปลูก	109
ฅ.7	ปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมด แคโรทีนอยด์ทั้งหมด คลอโรฟิลล์เอ คลอโรฟิลล์บี และฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระ DPPH ในใบของกระเจี๊ยบแดง HS004 ที่อายุการเก็บเกี่ยวต่างๆ หลังย้ายปลูก	110
ฅ.8	ปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมด แคโรทีนอยด์ทั้งหมด คลอโรฟิลล์เอ คลอโรฟิลล์บี และฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระ DPPH ในใบของกระเจี๊ยบแดง HS006 ที่อายุการเก็บเกี่ยวต่างๆ หลังย้ายปลูก	110



สารบัญญภาพ

ภาพที่	หน้า
2.1 โครงสร้างทางเคมีของ anthocyanin, delphinidin-3-sambubioside และ cyanidin-3-sambubioside	8
2.2 โครงสร้างทางเคมีของแอนโทไซยานินเมื่อเกิดการเปลี่ยนแปลง pH	10
2.3 การเปลี่ยนแปลงของสเปกตรัมของแอนโทไซยานินจาก huckleberry ในสารละลายบัฟเฟอร์ pH 1.0 และ 4.5	11
2.4 โครงสร้างทางเคมีของฟลาโวนอยด์	11
2.5 ปฏิกิริยาของ $\text{NaNO}_2\text{-AlCl}_3\text{-NaOH}$ assay ต่อฟลาโวนอยด์	12
2.6 โครงสร้างทางเคมีของสารประกอบฟีนอลิก	13
2.7 โครงสร้างทางเคมีของแคโรทีนอยด์ในกลุ่มแคโรทีน	15
2.8 โครงสร้างทางเคมีของแคโรทีนอยด์ในกลุ่มแซนโทฟิลล์	15
2.9 โครงสร้างทางเคมีของคลอโรฟิลล์เอ และคลอโรฟิลล์บี	17
3.1 ความลึกของรอยหยักบนใบกระเจี๊ยบแดง A) หยักลึกน้อย B) หยักลึกปานกลาง และ C) หยักลึกมาก	24
3.2 กลีบเลี้ยงกระเจี๊ยบแดงที่เก็บเกี่ยว A) สีแดง B) สีส้มแดง C) สีเขียว	25
3.3 กราฟมาตรฐานของสารละลาย catechin	26
3.4 กราฟมาตรฐานของสารละลาย gallic acid	27
3.5 ใบและยอดอ่อนกระเจี๊ยบแดงที่เก็บเกี่ยว	30
3.6 แผนการศึกษา	31
4.1 ความสัมพันธ์ระหว่างกระเจี๊ยบแดง 14 accessions โดยใช้ลักษณะทางสัณฐานวิทยา	33
4.2 กลีบเลี้ยงและใบของกระเจี๊ยบแดงในกลุ่มที่ 1 กลีบเลี้ยงสีแดง: A) HS001 B) HS002 C) HS004 D) HS005 E) HS007 F) HS011 และ G) HS014; กลีบเลี้ยงสีส้มแดง: H) HS012 และ I) HS013 ชีตสีขาวยุติภาพมีความยาว 5 เซนติเมตร	34
4.3 กลีบเลี้ยงและใบของกระเจี๊ยบแดงในกลุ่มที่ 2 กลีบเลี้ยงสีส้มแดง: A) HS003 และ B) HS010; กลีบเลี้ยงสีเขียว: C) HS006 D) HS008 และ E) HS009 ชีตสีขาวยุติภาพมีความยาว 5 เซนติเมตร	35
4.4 จำนวนกลีบเลี้ยงต่อต้นของกระเจี๊ยบแดง 2 กลุ่ม เมื่อปลูกใน พ.ศ. 2557 และ 2558	51
4.5 น้ำหนักสดต่อกลีบเลี้ยงของกระเจี๊ยบแดง 2 กลุ่ม ปลูกใน พ.ศ. 2557 และ 2558	52

4.6	น้ำหนักแห้งต่อกลีบเลี้ยงของกระเจี๊ยบแดง 2 กลุ่ม ปลุกใน พ.ศ. 2557 และ 2558	52
4.7	น้ำหนักสดกลีบเลี้ยงต่อต้นของกระเจี๊ยบแดง 2 กลุ่ม ปลุกใน พ.ศ. 2557 และ 2558	54
4.8	น้ำหนักแห้งกลีบเลี้ยงต่อต้นของกระเจี๊ยบแดง 2 กลุ่ม ปลุกใน พ.ศ. 2557 และ 2558	55
4.9	ผลผลิตน้ำหนักแห้งกลีบเลี้ยงของกระเจี๊ยบแดง 2 กลุ่ม ปลุกใน พ.ศ. 2557 และ 2558	55
4.10	A) ความสูงต้น และ B) ความกว้างทรงพุ่มของกระเจี๊ยบแดง HS004 และ HS006 ที่อายุการเก็บเกี่ยวต่างๆ หลังย้ายปลูก	60
4.11	ยอดที่เก็บเกี่ยวของกระเจี๊ยบแดง: A) HS004 และ B) HS006	60
4.12	A) น้ำหนักสดยอด B) น้ำหนักแห้งยอด C) ผลผลิตน้ำหนักแห้งยอด และ D) จำนวนยอดที่เก็บเกี่ยวต่อต้นของกระเจี๊ยบแดง HS004 และ HS006 ที่อายุการเก็บเกี่ยวต่างๆ หลังย้ายปลูก	61
4.13	A) ค่า SPAD B) ค่า Chroma; C) ค่าสีเขียว; a^* และ D) ค่าสี Hue angle; H^0 ของใบกระเจี๊ยบแดง HS004 และ HS006 ที่อายุการเก็บเกี่ยวต่างๆ หลังย้ายปลูก	62
4.14	สารสกัดใบของกระเจี๊ยบแดง HS004 และ HS006 ที่อายุการเก็บเกี่ยวต่างๆ หลังย้ายปลูก	63
4.15	A) ปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมด B) แคโรทีนอยด์ทั้งหมด C) คลอโรฟิลล์เอ และ D) คลอโรฟิลล์บี ในใบของกระเจี๊ยบแดง HS004 และ HS006 ที่อายุการเก็บเกี่ยวต่างๆ หลังย้ายปลูก	64
4.16	ฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระ DPPH (BHT มีค่าเท่ากับ $13.04 \pm 2.79 \mu\text{g/ml}$) ในใบของกระเจี๊ยบแดง HS004 และ HS006 ที่อายุการเก็บเกี่ยวต่างๆ หลังย้ายปลูก	65
ภาพผนวกที่		
ก.1	กลีบดอกของดอกกระเจี๊ยบแดง A) HS001 B) HS002 C) HS003 D) HS004 E) HS005 F) HS006 G) HS005 H) HS008 I) HS009 J) HS010 K) HS011 L) HS012 M) HS013 N) HS014	91
ก.2	ผลอ่อนและผลแก่ของกระเจี๊ยบแดง ชีดสีขาวในภาพมีความยาว 5 เซนติเมตร	92
ค.1	รูปแบบการเติมสารละลายมาตรฐาน catechin ใน 96 well plate สำหรับวิเคราะห์ปริมาณสารฟลาโวนอยด์ทั้งหมด	96
ค.2	รูปแบบการเติมสารละลายตัวอย่างใน 96 well plate สำหรับวิเคราะห์ปริมาณสารฟลาโวนอยด์ทั้งหมด	96

ง.1	รูปแบบการเติมสารทดสอบใน 96 well plate สำหรับวิเคราะห์การวิเคราะห์ปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมด	98
จ.1	รูปแบบการเติมสารทดสอบใน 96-well plate เพื่อวิเคราะห์การวิเคราะห์ฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระ โดยวิธี DPPH radical scavenging activity	100
ฉ.1	ปริมาณน้ำฝนเฉลี่ยและความชื้นสัมพัทธ์เฉลี่ยในอากาศของเดือนสิงหาคม พ.ศ. 2557 ถึงเดือนธันวาคม พ.ศ. 2558 บริเวณภาคกลางของประเทศไทย	101
ฉ.2	อุณหภูมิต่ำสุดเฉลี่ย อุณหภูมิสูงสุดเฉลี่ย และอุณหภูมิเฉลี่ย ในอากาศของเดือนสิงหาคม พ.ศ. 2557 ถึงเดือนธันวาคม พ.ศ. 2558 บริเวณภาคกลางของประเทศไทย	102



บทที่ 1

บทนำ

1.1 ที่มาและความสำคัญของปัญหา

กระเจี๊ยบแดง (*Hibiscus sabdariffa* L.) เป็นพืชพื้นเมืองของเอเชียและแอฟริกาเขตร้อน จัดอยู่ในวงศ์ Malvaceae (Osman et al., 2011; Mohamed et al., 2012) เป็นพืชสมุนไพรที่ใช้กันอย่างแพร่หลายในประเทศต่างๆ โดยกระเจี๊ยบแดงสามารถนำมาใช้ประโยชน์ได้ทั้งลำต้น ใบ ดอก ผล และเมล็ด แต่ส่วนที่มีการนำมาใช้มากที่สุด คือกลีบเลี้ยง (สุนทร, 2555) เนื่องจากมีคุณสมบัติทางยามาก เช่น ลดไขมันในเลือด (พรรณภักดิ์ และคณะ, 2555) ลดความดันโลหิต ลดเบาหวาน (อรุณพร, 2555; Wisetmuen et al., 2013) ลดไข้ แก้กระหายน้ำ แก้ปวด ขับปัสสาวะ ต้านเชื้อรา เชื้อแบคทีเรีย มีฤทธิ์ต้านเซลล์มะเร็ง ต้านอนุมูลอิสระ (เกศนภา และคณะ, 2549; Mahadevan et al., 2009; Sireeratawong et al., 2013; Da-Costa-Rocha et al., 2014) สารทุติยภูมิที่สำคัญในกลีบเลี้ยง คือ แอนโทไซยานิน ส่วนใหญ่อยู่ในกลุ่มของ delphinidin-3-glucoside และ cyanidin-3-glucoside (บุศรารัตน์, 2545) รวมทั้งมีสารประกอบฟีนอลิก คาร์โบไฮเดรต เพกติน กรดอินทรีย์ต่างๆ เช่น กรดแอสคอร์บิก กรดซิตริก กรดมาลิก เป็นต้น (ญานี และ ปิยะวิทย์, 2555; Wong et al., 2002; Hussein et al., 2010; Borrás-Linares et al., 2015) นอกจากนี้ยังมีการนำไปรับประทานเป็นผัก และใช้เป็นยา โดยมีสรรพคุณด้านการอักเสบ ต้านอนุมูลอิสระ มีฤทธิ์ต้านเซลล์มะเร็งต่อมลูกหมาก (Lin et al., 2012; Worawattananutai et al., 2014) ต้านเซลล์มะเร็งผิวหนัง (Chiu et al., 2015) ละลายเสมหะ แก้ไอ บำรุงธาตุ และขับปัสสาวะ เป็นต้น สารทุติยภูมิที่พบในใบ ได้แก่ สารประกอบฟีนอลิก แคโรทีนอยด์ วิตามินเอ ฟอสฟอรัส แคลเซียม เหล็ก และสังกะสี เป็นต้น (อภิญา, 2551; Mahadevan et al., 2009; Atta et al., 2010a; Mohd-Esa et al., 2010) จากสรรพคุณที่กล่าวมา ทำให้มีการพัฒนาชาสมุนไพรตำรับต่างๆ ออกมามากมาย รวมทั้งการแปรรูปเป็นอาหารเสริมเพื่อสุขภาพ ซึ่งการผลิตผลิตภัณฑ์ต่างๆ ดังกล่าว จำเป็นต้องใช้วัตถุดิบที่มีคุณภาพดีและมีสารสำคัญสูง

การศึกษาลักษณะทางสัณฐานวิทยาของกระเจี๊ยบแดงได้มีการศึกษามาก่อนแล้ว เช่น Hussein et al. (2010) รายงานว่ากระเจี๊ยบแดงที่มีกลีบเลี้ยงสีแดงเข้ม สีแดง และสีเขียว มีฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระสูงใกล้เคียงกัน แต่มี genomic-DNA แตกต่างกัน จากตรวจสอบด้วยเทคนิค RAPD (random amplification of polymorphic DNA) Osman et al. (2011) พบว่ากระเจี๊ยบแดงที่กลายพันธุ์จากการฉายรังสีแกมมา มีวงจรชีวิตสั้นลงและให้ผลผลิตสูงกว่าพันธุ์เดิมที่ไม่ได้ผ่านการฉาย

รังสี Torres-Morán et al. (2011) ศึกษาความสัมพันธ์ของกระเจี๊ยบแดง 12 พันธุ์ที่ปลูกในประเทศเม็กซิโก โดยใช้ inverse sequence-tagged repeat marker สามารถแบ่งได้เป็น 2 กลุ่ม โดยภายในกลุ่มเดียวกันมีลักษณะใบคล้ายกันและมีวิวัฒนาการมาจากแหล่งกำเนิดเดียวกัน และ Cruz and Solano (2013) รายงานว่ากระเจี๊ยบแดง 47 accessions จำแนกเป็น 1) กลุ่มที่มีผลและใบขนาดเล็ก ประกอบด้วย 1.1) กลีบดอกสีเหลือง ใบสีเขียวอ่อน 1.2) กลีบดอกสีชมพู ใบสีเขียว 1.3) กลีบดอกสีแดง ใบสีเขียวเข้ม และ 2) กลุ่มที่มีผลและใบมีขนาดใหญ่ ดอกสีแดง และใบสีเขียว

การศึกษาศาสตร์ทุติยภูมิในกระเจี๊ยบแดง มีรายงานทั้งในกลีบเลี้ยง (แฉล้ม และคณะ, 2545; Camelo-Méndez et al., 2013; Borrás-Linares et al., 2015; Rahaman and Pal., 2015) ใบ (Worawattananutai et al., 2014; Rahaman and Pal., 2015; Wang et al., 2015; Zhen et al., 2016) และเมล็ด (รัชตา, 2557; Tounkara et al., 2013) โดยมีปริมาณสารทุติยภูมิแตกต่างกันไปตามสายพันธุ์และสภาพแวดล้อมที่ศึกษา อีกทั้งงานวิจัยส่วนใหญ่มักจะวิเคราะห์ปริมาณสารทุติยภูมิหลายชนิดจากตัวอย่างเดียว นอกจากนี้อายุการเก็บเกี่ยวมีผลต่อการสร้างสารทุติยภูมิ (Zhao et al., 2005) ดังเช่นการศึกษาของ Atta et al. (2010a) พบว่า ใบกระเจี๊ยบแดงที่เก็บเกี่ยวในระยะที่มีการเจริญเติบโตทางลำต้น เมื่ออายุ 25 วันหลังหยอดเมล็ด มีปริมาณธาตุเหล็ก สังกะสี และทองแดง สูงกว่า ใบที่เก็บเกี่ยวในระยะเริ่มออกดอก (อายุ 75 วันหลังหยอดเมล็ด) หรือติดฝัก (อายุ 115 วันหลังหยอดเมล็ด) ซึ่งการปลูกกระเจี๊ยบแดงในช่วงฤดูฝนของประเทศไทย จะสามารถเก็บเกี่ยวผลผลิตใบได้อย่างต่อเนื่องก่อนที่กระเจี๊ยบแดงจะออกดอก ในการทดลองนี้จึงได้รวบรวมพันธุ์กระเจี๊ยบแดงเพื่อศึกษาลักษณะทางสัณฐานวิทยา ปริมาณสารทุติยภูมิในกลีบเลี้ยงและใบ การให้ผลผลิตกลีบเลี้ยง เพื่อใช้เป็นฐานทางพันธุกรรมในการคัดเลือกพันธุ์และการปรับปรุงพันธุ์ต่อไป

1.2 วัตถุประสงค์

1. เพื่อศึกษาลักษณะทางสัณฐานวิทยา ปริมาณสารทุติยภูมิในกลีบเลี้ยงและใบของกระเจี๊ยบแดงที่เก็บรวบรวมจากแหล่งต่างๆ
2. เพื่อศึกษาการให้ผลผลิตของกลีบเลี้ยงกระเจี๊ยบแดงที่เก็บรวบรวมจากแหล่งต่างๆ
3. เพื่อศึกษาผลของอายุเก็บเกี่ยวต่อการให้ผลผลิตและสารทุติยภูมิในใบของกระเจี๊ยบแดง

1.3 ขอบเขตงานวิจัย

ปลูกกระเจี๊ยบแดง (*Hibiscus sabdariffa* L.) จำนวน 14 accessions ในเดือนสิงหาคม พ.ศ. 2557 และสิงหาคม พ.ศ. 2558 ในปีแรกบันทึกลักษณะทางสัณฐานวิทยา ได้แก่ ลำต้น ใบ ดอก กลีบเลี้ยง ผล และเมล็ด นำข้อมูลมาวิเคราะห์การจัดกลุ่มด้วยวิธี UPGMA (unweighted pair-group method with arithmetic average) โดยใช้ค่า squared Euclidean distances ในปี ที่ 2 เก็บเกี่ยวกลีบเลี้ยงที่เจริญเติบโตเต็มที่ นำมาสกัดและวิเคราะห์หาปริมาณสารแอนโทไซยานิน ทั้งหมด ฟลาโวนอยด์ทั้งหมด สารประกอบฟีนอลิกทั้งหมด และฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระ DPPH ส่วนใบ เก็บเกี่ยวใบที่เจริญเติบโตเต็มที่ในระยะก่อนเกิดตาดอก นำมาสกัดและวิเคราะห์หาปริมาณสารแคโรทีนอยด์ สารประกอบฟีนอลิกทั้งหมด และฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระ DPPH รวมทั้งยังศึกษาการให้ผลผลิตของกระเจี๊ยบแดงทั้ง 14 accessions มีการปลูกกระเจี๊ยบแดงที่มีรูปร่างใบหยักลึกและใบหยักตื้น จำนวน 2 accessions ในเดือนเมษายน พ.ศ.2558 เก็บเกี่ยวยอดก่อนกระเจี๊ยบแดงออกดอกที่อายุ 40 55 70 85 และ 100 วันหลังย้ายปลูก วิเคราะห์หาปริมาณสารประกอบฟีนอลิก แคโรทีนอยด์ ทั้งหมด และฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระ DPPH ในใบ

1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1. ทราบลักษณะประจำพันธุ์ ปริมาณสารทุติยภูมิในใบและกลีบเลี้ยงของกระเจี๊ยบแดง ที่เก็บรวบรวมจากแหล่งต่างๆ
2. ทราบการให้ผลผลิตกลีบเลี้ยงของกระเจี๊ยบแดง
3. ทราบผลของระยะเวลาเก็บเกี่ยวต่อการให้ผลผลิตและสารทุติยภูมิในใบของกระเจี๊ยบแดง

บทที่ 2

วรรณกรรมและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

กระเจี๊ยบแดง (*Hibiscus sabdariffa* L.) มีชื่อเรียกต่างๆ เช่น กระเจี๊ยบเปรี้ยว ผักแก้ง เค็ง ส้มแก้งเค็ง ส้มทะเลง-เครง ส้มพอเหมาะ ส้มพอดิ (วันดี, 2541) ชื่อสามัญมีหลายชื่อ ได้แก่ reselle, rosella, Jamaica sorrel, kharkade และ karkade เป็นต้น (Osman et al., 2011; Mohamed et al., 2012) จัดอยู่ในวงศ์ Malvaceae ใน section Furcaria ประกอบด้วยพืช 40 ชนิด (species) มีทั้งชนิดที่เป็น diploid และ tetraploid ซึ่ง *H. sabdariffa* ที่เป็นพืชปลูกจะเป็น tetraploid โดยมีโครโมโซม $2n = 4x = 36$ (Wilson and Menzel, 1964)

2.1 ลักษณะทางพฤกษศาสตร์

กระเจี๊ยบแดงมีลำต้นสีแดงอมม่วงหรือเขียว สูงประมาณ 1-3 m แตกกิ่งก้านขนาดเล็ก มีระบบรากแก้ว ใบรูปหอกปลายแหลม มี 3-7 แฉก ก้านใบยาวประมาณ 5-7 cm มีขนทั่วเกือบทั้งต้น หูใบยาวแคบ ร่วงง่าย ดอกเป็นดอกเดี่ยว ออกดอกตามซอกใบและปลายกิ่ง กลีบดอกมี 5 กลีบ เวียนซ้อนกัน มีสีเหลืองอ่อนหรือชมพูอ่อน โคนกลีบสีเหลืองเข้มหรือแดง ขนาดดอกบานเต็มที่กว้าง 4-5 cm ริวประดับและกลีบเลี้ยงอวบน้ำ มีสีแดงอมม่วง แดง เขียว หรือแดงแกมเขียว หุ้มผลอยู่ตลอดการพัฒนา ผลรูปไข่ มีขนหยาบสีเหลืองคลุม ผลหนา แข็งและแตกหักง่าย เมื่อแก่ผลจะแห้งและแตกออก เมล็ดคล้ายรูปไต เมื่อสุกแกมีสีน้ำตาลดำ (กฤษณา, 2535; Mahadevan et al., 2009; Mohamed et al., 2012; Ansari et al., 2013)

กระเจี๊ยบแดงเป็นพืชพื้นเมืองของเอเชียและแอฟริกาเขตร้อน มีการปลูกอย่างกว้างขวางในเม็กซิโก อินเดีย ชูदान อียิปต์ เซเนกัล ฟิลิปปินส์ และไทย (Gholam and Moosavi, 2012) พันธุ์ที่นิยมปลูกกันอย่างแพร่หลายในประเทศไทย คือ พันธุ์ชูदान และพันธุ์บราซิล แหล่งผลิตที่สำคัญ ได้แก่ จังหวัดลพบุรี สุพรรณบุรี ชัยนาท และฉะเชิงเทรา (วรติกร, 2555) ทั้งนี้กระเจี๊ยบแดงที่ปลูกทั่วไปนั้นมีหลายสายพันธุ์และได้มีการศึกษาลักษณะทางสัณฐานวิทยาของกระเจี๊ยบแดงมาบ้างแล้ว เช่น Hussein et al. (2010) รายงานว่ากระเจี๊ยบแดงที่มีกลีบเลี้ยงสีแดงเข้ม สีแดง และสีเขียว มีฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระสูงใกล้เคียงกัน แต่มีโปรตีนในเมล็ดแตกต่างกัน คือ 68.1 66.5 และ 46.0 mg/g ตามลำดับ และมี genomic-DNA แตกต่างกัน จากตรวจสอบด้วยเทคนิค RAPD จากรายงานของ Osman et al. (2011) พบว่ากระเจี๊ยบแดงพันธุ์ Arab ซึ่งเกิดจากการกลายพันธุ์ด้วยการฉายรังสีแกมมา มีวงจรชีวิตสั้นลงและให้ผลผลิตสูงกว่าพันธุ์เดิมที่ไม่ได้ผ่านการฉายรังสี โดยพันธุ์ที่มีกลีบเลี้ยง

สีแดงเข้ม มีน้ำหนักผลต่อต้นและน้ำหนักสดกลีบเลี้ยงต่อต้นดีที่สุดในกลุ่มพันธุ์ที่มีกลีบเลี้ยงสีเขียว มีจำนวนผลต่อกิ่ง จำนวนผลต่อต้น และน้ำหนักผลต่อต้นดีที่สุดในกลุ่มพันธุ์ที่มีกลีบเลี้ยงสีแดง 12 พันธุ์ที่ปลูกในประเทศเม็กซิโก สามารถแบ่งได้เป็น 2 กลุ่ม โดยใช้ inverse sequence-tagged repeat marker พบว่าภายในกลุ่มเดียวกันมีลักษณะใบคล้ายกัน และมีวิวัฒนาการมาจากแหล่งกำเนิดเดียวกัน (Torres-Morán et al., 2011) และ Cruz and Solano (2013) รายงานว่ากระเจียบแดง 47 accessions จากรัฐเกร์เรโร ประเทศเม็กซิโก จำแนกเป็น 1) กลุ่มที่มีผลและใบขนาดเล็ก ซึ่งในกลุ่มนี้สามารถจำแนกออกเป็น 3 กลุ่มย่อย โดยอาศัยสีดอกและสีใบ ดังนี้ 1.1) กลีบดอกสีเหลือง ใบสีเขียวอ่อน 1.2) กลีบดอกสีชมพู ใบสีเขียว 1.3) กลีบดอกสีแดง ใบสีเขียวเข้ม และ 2) กลุ่มที่มีผลและใบมีขนาดใหญ่ ดอกสีแดง และใบสีเขียว นอกจากนี้ยังพบว่ากลีบเลี้ยงที่มีสีแดงเข้มในกลุ่ม 2 ซึ่งมีปริมาณแอนโทไซยานินสูง จะไม่มีต่อมน้ำหวานที่กลีบเลี้ยง และกลุ่มที่มีกลีบเลี้ยงสีขาวในกลุ่ม 1.1 จะมีต่อมน้ำหวานที่กลีบเลี้ยง

2.2 การเจริญเติบโต

กระเจียบแดงเป็นพืชสมุนไพรที่มีอายุสั้น มีวงจรชีวิตประมาณ 6-7 เดือน (Abdel-Moniem et al., 2011) เนื่องจากกระเจียบแดงเป็นพืชวันสั้นต้องการช่วงแสงสั้นกว่า 12 ชั่วโมง ในการเข้าสู่ระยะเจริญพันธุ์และออกดอก (Ansari et al., 2013) ดังนั้นวันปลูกและฤดูกาล จึงมีผลต่อการเจริญเติบโต โดยในช่วงแรกของการเจริญเติบโตหากได้รับช่วงแสงสั้นกว่า 12 ชั่วโมง จะออกดอกถึงแม้การเจริญเติบโตทางลำต้นยังไม่เต็มที่ ซึ่งส่งผลต่อการให้ผลผลิตกลีบเลี้ยง การป้องกันไม่ให้กระเจียบแดงออกดอกเร็วเกินไปจึงควรปลูกในช่วงฤดูกาลที่เหมาะสม (Mohamed et al., 2012) กระเจียบแดงสามารถเจริญเติบโตได้ดีในสภาพอากาศร้อนหรือค่อนข้างร้อน อุณหภูมิที่เหมาะสมสำหรับการเจริญเติบโตประมาณ 18-35 °C แต่การเจริญเติบโตจะหยุดชะงักที่อุณหภูมิ 14 °C และความชื้นสัมพัทธ์ต่ำกว่า 60 % สำหรับฤดูปลูกในประเทศไทยเพื่อผลิตกลีบเลี้ยง คือ เดือนกรกฎาคมถึงสิงหาคม (รัชตา, 2557) โดยการปลูกกระเจียบแดงในวันที่ 2 สิงหาคม จะมีผลผลิตกลีบเลี้ยงและปริมาณแอนโทไซยานินสูงที่สุด ส่วนวันปลูกที่ช้ากว่านี้จะมีปริมาณแอนโทไซยานินและผลผลิตกลีบเลี้ยงลดลงแต่ปริมาณเพกตินเพิ่มขึ้น (กฤษณา, 2535) จากการศึกษาของรัชตา (2557) พบว่าการปลูกในวันที่ 10 กรกฎาคม กระเจียบแดงให้ผลผลิต ทั้งจำนวนและน้ำหนักผล น้ำหนักสดและน้ำหนักแห้งกลีบเลี้ยงต่อต้น สูงกว่าการปลูกในวันที่ 10 มิถุนายน 10 สิงหาคม 10 กันยายน และ 10 ตุลาคม ในขณะที่การปลูกในวันที่ 10 สิงหาคม ให้น้ำหนักเมล็ดสูงสุดและมีปริมาณกรดอินทรีย์ในกลีบเลี้ยงแห้งมากที่สุด ส่วนการปลูกในวันที่ 10 กันยายน ให้ปริมาณน้ำมันในเมล็ดสูงกว่าวันปลูกอื่นๆ

2.3 การปลูกและการดูแลรักษา

กระเจี๊ยบแดงขยายพันธุ์โดยใช้เมล็ด สามารถปลูกในแปลงโดยตรงหรือเพาะกล้าแล้วย้ายปลูก โดยวิธีการแรก คือ หยอดเมล็ดในแปลง หลุมละ 3-5 เมล็ด เมื่ออายุ 7 วันหลังปลูก ถอนแยกให้เหลือ 1 ต้น ระยะห่างระหว่างต้น 60-100 cm ระยะห่างระหว่างแถว 100-150 cm ยกแปลงสูงจากระดับพื้น 30-50 cm คลุมแปลงปลูกด้วยฟางหรือพลาสติกคลุมแปลง ส่วนอีกวิธีเพาะเมล็ดในกระบะเพาะ เมื่อดันกล้ามีใบจริง 3-4 ใบหรือประมาณ 7-14 วันหลังเพาะเมล็ด จึงย้ายปลูกในแปลง (Mahadevan et al., 2009; Ansari et al., 2013) ซึ่งวิธีข้างต้นสามารถนำมาใช้ได้ทั้งสำหรับปลูกเพื่อใช้กลีบเลี้ยงและปลูกเพื่อใช้ใบ กระเจี๊ยบแดงสามารถเจริญเติบโตได้ในดินทุกชนิด แต่จะเจริญเติบโตดีในดินร่วนที่มีค่าความเป็นกรด/ด่างของดิน (pH) อยู่ในช่วง 4.5-8.0 หากดินมีสภาพเป็นกรด (pH 4.8) การใส่ปูนมาร์ลอัตรา 500 kg/rai ร่วมกับปุ๋ยคอกอัตรา 2 t/rai จะทำให้การเจริญเติบโตและการให้ผลผลิตกลีบเลี้ยงของกระเจี๊ยบแดงสูงสุด 1,518.80 kg/rai (วรติกร, 2555)

กระเจี๊ยบแดงเป็นพืชทนแล้ง (Mohamed et al., 2012) แต่ควรให้น้ำสม่ำเสมอ โดยเฉพาะในช่วง 3-4 เดือนแรกของการปลูก ซึ่งเป็นช่วงที่มีการพัฒนาของลำต้นและออกดอก หลังจากนั้น เมื่อติดฝักแล้วสามารถปล่อยตามธรรมชาติได้ กระเจี๊ยบแดงมีความต้องการปริมาณน้ำฝนสะสมตลอดช่วงการปลูกประมาณ 400-500 mm. (Ansari et al., 2013) จากรายงานของ Seghatoleslami et al. (2013) พบว่าการให้น้ำแก่กระเจี๊ยบแดงเพียง 20 % ของปริมาณการใช้น้ำของพืช จะทำให้มีผลผลิตกลีบเลี้ยงสูงที่สุด และ Javadzadeh (2015) รายงานว่าการให้น้ำทุกๆ 7 วัน กระเจี๊ยบแดงมีการออกดอกมากที่สุด เมื่อเปรียบเทียบกับการให้น้ำทุกๆ 14 และ 21 วัน ส่วนการให้ปุ๋ย 15-15-15 และปุ๋ยยูเรีย ในอัตราที่เท่ากัน (100-200 kg/ha) ในระยะแรกของการเจริญเติบโต (อายุ 2 4 6 และ 8 สัปดาห์หลังย้ายปลูก) กระเจี๊ยบแดงมีการเจริญเติบโตไม่แตกต่างกัน แต่ที่อายุ 10 สัปดาห์หลังย้ายปลูก พบว่าการให้ปุ๋ย 15-15-15 จะมีต้นสูงกว่าการให้ปุ๋ยยูเรีย (Egharevba and Low-Ogbomo, 2007) และการใส่ปุ๋ยไนโตรเจน 60 kg/ha ร่วมกับปุ๋ยมูลไก่ 5 t/ha จะช่วยเพิ่มผลผลิตของกระเจี๊ยบแดงได้ดีที่สุด (Haruna et al., 2009)

สำหรับการปลูกเพื่อเก็บเกี่ยวใบ ควรปลูกตั้งแต่ต้นปี จะทำให้พืชออกดอกช้า เนื่องจากเป็นพืชวันสั้น กระเจี๊ยบแดงใช้เวลาในการเจริญเติบโต 4-5 เดือน สามารถเก็บเกี่ยวใบได้นาน (Ansari et al., 2013) และให้ผลผลิตใบสูงถึง 10 t/ha (Wang et al., 2014) นอกจากนี้ Ahmed et al. (2011) รายงานว่า กระเจี๊ยบแดงให้ผลผลิตใบ และผลผลิตกลีบเลี้ยงไม่แตกต่างกัน ทั้งการปลูกในเดือนพฤษภาคม พ.ศ. 2551 และ 2552 โดยมีการเจริญเติบโตดีและให้ผลผลิตทั้งกลีบเลี้ยงและใบสูงสุดเมื่อปลูกในดินผสมร่วมกับปุ๋ยหมักและพ่นด้วยกรดฮิวมิก

2.4 การเก็บเกี่ยวผลผลิตกลีบเลี้ยงและใบ

2.4.1 การเก็บเกี่ยวผลผลิตกลีบเลี้ยง

การเก็บเกี่ยวผลผลิตกลีบเลี้ยงในประเทศไทย หากปลูกในเดือนสิงหาคม สามารถเก็บเกี่ยวได้เมื่ออายุ 100-160 วันหลังปลูก หรือในช่วงปลายเดือนพฤศจิกายน โดยกลีบเลี้ยงมีการเจริญเติบโตเต็มเมื่ออายุ 15-20 วันหลังดอกบาน หรืออาจจะเก็บเกี่ยวตามการสุกแก่ของเมล็ด (Ansari et al., 2013) การเก็บเกี่ยวสามารถทำได้ 2 วิธี คือ เก็บเกี่ยวเฉพาะฝักกระเจี๊ยบ โดยใช้กรรไกรตัดเฉพาะฝักที่แก่พร้อมเก็บเกี่ยว หรือเก็บเกี่ยวพร้อมกันทั้งต้น โดยใช้เคียวเกี่ยวกิ่งที่มีฝักกระเจี๊ยบบริเวณโคน แล้วนำมาปลิดฝักทีหลัง จากนั้นนำฝักกระเจี๊ยบแดงที่เก็บเกี่ยวได้มากระทุ้งให้กลีบเลี้ยงและผลหุ้มเมล็ดหลุดออกจากกัน นำกลีบเลี้ยงและผลมาเกลี่ยใส่ภาชนะที่สะอาด ตากแดดไว้ประมาณ 5-6 วัน หรืออบให้แห้งสนิท จึงเก็บกลีบเลี้ยงบรรจุถุงเพื่อการนำไปใช้ประโยชน์ต่อไป ส่วนผลที่แห้งสนิทสามารถแยกเก็บเมล็ดนำไปเป็นเมล็ดพันธุ์ได้ (Rubatzky and Yamaguchi, 1997; Mahadevan et al., 2009; Ansari et al., 2013) เนื่องจากกระเจี๊ยบแดงเป็นพืชผสมตัวเองตามธรรมชาติ ซึ่งจะผสมเกสรก่อนดอกบาน (Osman et al., 2011) แต่มีโอกาสผสมข้ามประมาณ 0.20-0.68 % (Vaidya, 2000) สำหรับการให้ผลผลิตกลีบเลี้ยงในประเทศไทย พบว่า กระเจี๊ยบแดงที่ปลูกในวันที่ 10 สิงหาคม ให้ผลผลิตกลีบเลี้ยงสูงสุด 181.5 กิโลกรัมต่อไร่ (รัชตา, 2557) ในประเทศไนเจอร์ให้ผลผลิตกลีบเลี้ยงอยู่ในช่วง 123±8.26 ถึง 766±36.81 kg/ha (Atta et al., 2011) ที่ประเทศมาเลเซีย พบว่า กระเจี๊ยบแดงที่มีกลีบเลี้ยงสีแดงเข้ม สีแดงอ่อน และสีเขียว ให้ผลผลิตกลีบเลี้ยงเฉลี่ย 83.2 54.7 และ 76.4 กรัมต่อต้น (Osman et al., 2011) ส่วนในประเทศอิหร่าน พบว่า กระเจี๊ยบแดงให้ผลผลิตกลีบเลี้ยงสูงสุดเฉลี่ย 395.33 kg/ha เมื่อปลูกในเดือนพฤษภาคมและปลูก 8 ต้นต่อตารางเมตร (Gholam and Moosavi, 2012)

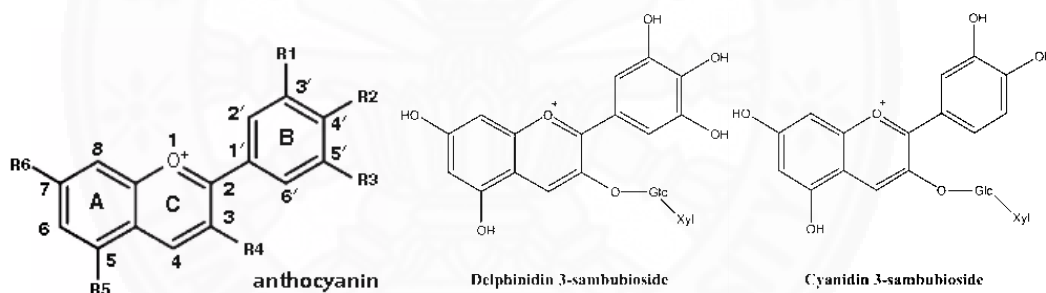
2.4.2 การเก็บเกี่ยวผลผลิตใบ

การเก็บเกี่ยวผลผลิตใบกระเจี๊ยบแดง Atta et al. (2010a) พบว่าที่ระยะการเจริญเติบโตทางลำต้น จะมีปริมาณธาตุอาหารไนโตรเจน (ธาตุเหล็ก สังกะสี และทองแดง) มากกว่าที่ระยะออกดอกและระยะสุกแก่ของเมล็ด ดังนั้นอายุเก็บเกี่ยวใบที่เหมาะสม คือ ช่วงระยะการเจริญเติบโตทางลำต้นก่อนการออกดอก สำหรับการให้ผลผลิตใบ Ahmed et al. (2011) รายงานว่า กระเจี๊ยบแดงที่ปลูกในประเทศอียิปต์ โดยใส่ปุ๋ยคอกและปุ๋ยหมักจะให้ผลผลิตใบอยู่ในช่วง 30.1 และ 45.1 กรัมต่อต้น และกระเจี๊ยบแดงที่ปลูกในประเทศไนเจอร์ให้ผลผลิตใบอยู่ในช่วง 295±13.10 ถึง 402±11.53 kg/ha (Atta et al., 2011)

2.5 สารทุติยภูมิในกระเจี๊ยบแดง

2.5.1 แอนโทไซยานิน

แอนโทไซยานิน (anthocyanin) เป็นกลุ่มของสารประกอบที่มีโครงสร้างพื้นฐานประกอบด้วยแอนโทไซยานิดิน น้ำตาล และ/หรือกรด มีโมเลกุลขนาดเล็กและมีโครงสร้างประกอบด้วยการจัดเรียงตัวของคาร์บอน 15 อะตอม (C6-C3-C6) เป็นวงแหวน 3 วง ได้แก่ วงแหวนอะโรมาติก (A และ B) ต่อกับวงแหวนเฮเทอโรไซคลิก (C) ซึ่งอยู่ตรงกลางโครงสร้าง ดังแสดงในภาพที่ 2.1 (Zhang et al., 2014) แอนโทไซยานินที่พบมากในปัจจุบันมี 6 ชนิด คือ เพลาโกนิน (pelargonidin) ไซยานิดิน (cyanidin) เดลฟินิดิน (delphinidin) พีโอนิน (peonidin) เพทูนิน (petunidin) และมอลวิดิดิน (malvidin) แอนโทไซยานินแต่ละชนิดจะแตกต่างกันตรงตำแหน่ง 3' หรือ 5' ที่มีหมู่ไฮดรอกซิล (hydroxyl) หรือเมทอกซิล (methoxyl) (อรุษา, 2554; Li et al., 2014)



ภาพที่ 2.1 โครงสร้างทางเคมีของ anthocyanin, delphinidin-3-sambubioside และ

cyanidin-3-sambubioside

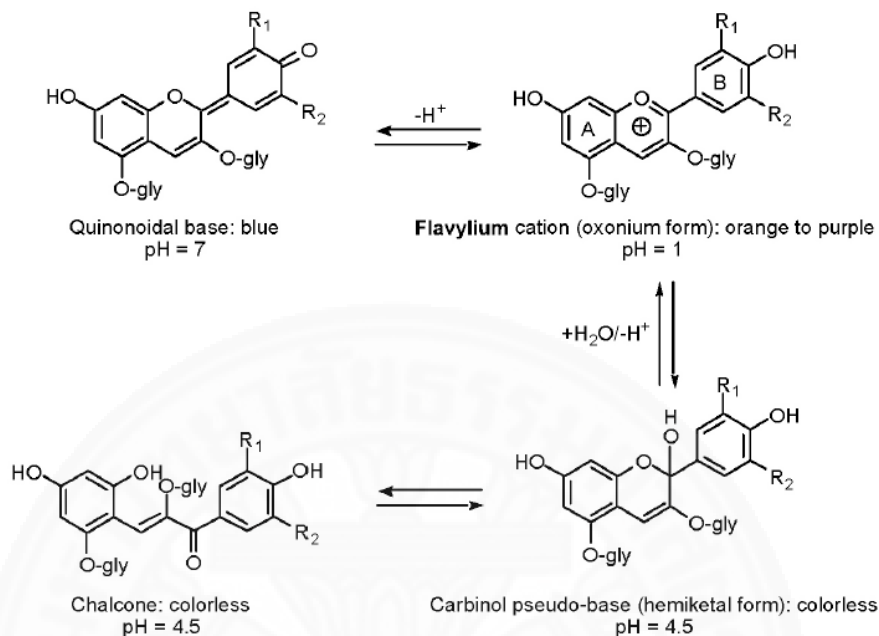
ที่มา: Zhang et al. (2014)

แอนโทไซยานินพบได้ทั่วไปในธรรมชาติ มีคุณสมบัติเป็นสารออกฤทธิ์ทางชีวภาพ (biological activity) ลดการอักเสบ ลดไขมันในเลือด ลดความเสี่ยงต่อโรคมะเร็ง ต้านไวรัส มีประสิทธิภาพต้านอนุมูลอิสระสูงกว่าวิตามินซีและวิตามินอีถึง 2 เท่า (กระทรวงวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี, 2553) การสะสมแอนโทไซยานินขึ้นอยู่กับสภาพแวดล้อม โดยเฉพาะอย่างยิ่งความเข้มแสง ซึ่งในสภาพความเข้มแสงมากพืชจะสะสมแอนโทไซยานินได้มาก อุณหภูมิต่ำในช่วงฤดูใบไม้ร่วง ช่วยให้มีการสังเคราะห์และสะสมแอนโทไซยานินมากขึ้น สภาพความเครียดต่างๆ ทั้งการขาดธาตุอาหาร การขาดน้ำ สภาพที่มีแสงอัลตราไวโอเล็ตมาก การเกิดบาดแผล การเข้าทำลายของโรคและ

แมลง ล้วนกระตุ้นให้เกิดการสร้างและการสะสมแอนโทไซยานินได้มาก (อรุษา, 2554; Lee et al., 2005; Li et al., 2014) สารสี (pigment) ของแอนโทไซยานินที่พบในกลีบเลี้ยงของกระเจี๊ยบแดง สามารถแยกได้เป็น 4 ชนิด คือ delphinidin-3-sambubioside (hybiscin), cyanidin-3-sambubioside, delphinidin-3-glucoside และ cyanidin-3-glucoside ซึ่งแอนโทไซยานินที่พบมากอยู่ในกลุ่มของ delphinidin-3-sambubioside และ cyanidin-3-sambubioside (Wong et al., 2002) ดังแสดงในภาพที่ 2.1 จากการศึกษาปริมาณสารแอนโทไซยานินในกระเจี๊ยบแดง แฉล้ม และคณะ (2545) พบว่า ปริมาณสารแอนโทไซยานินในกลีบเลี้ยงของกระเจี๊ยบแดง 29 สายพันธุ์ที่เก็บรวบรวมในประเทศไทย มีค่าอยู่ระหว่าง 51-442 mg/100g dry weight ส่วนกระเจี๊ยบแดงจากประเทศอียิปต์มีสารแอนโทไซยานินทั้งหมดเท่ากับ 622.91 mg/100g dry weight (Abou-Arab et al., 2011) Camelo-Méndez et al. (2013) พบว่ากระเจี๊ยบแดง 4 สายพันธุ์ จากประเทศเม็กซิโก มีแอนโทไซยานินอยู่ในช่วง 17.30 ถึง 32.20 mg of cyanidin-3-glucoside/g dry weight และ Borrás-Linares et al. (2015) รายงานว่า กระเจี๊ยบแดงจากประเทศเม็กซิโกที่มีสีของกลีบเลี้ยงตั้งแต่สีเขียวจนถึงสีแดงเข้มจำนวน 25 สายพันธุ์ มีแอนโทไซยานินทั้งหมดอยู่ในช่วง 0 ถึง 4,408 mg/100g dry weight โดยที่แอนโทไซยานินในกระเจี๊ยบแดงกลีบเลี้ยงสีแดงจะเพิ่มขึ้นตามอายุการเก็บเกี่ยว (นิชานา, 2558; Christian and Jackson, 2009)

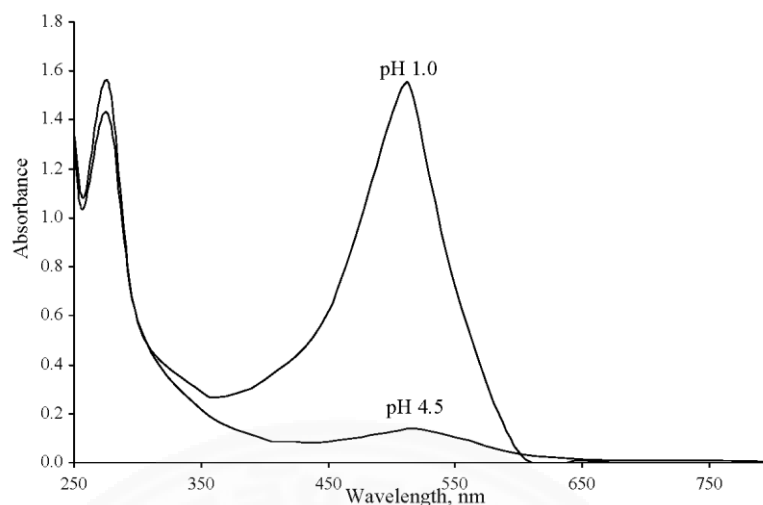
แอนโทไซยานินเป็นสารที่ละลายน้ำ แต่ไม่ละลายใน non-hydroxy solvent เช่น acetone benzene chloroform เป็นต้น (กฤษณา, 2535) และให้สีตามสภาวะ คือ เมื่อสภาวะที่เป็นด่างมีสีน้ำเงินเข้ม (pH มากกว่า 7) เป็นกลางมีสีม่วง (pH 7) ส่วนสภาวะกรดจะเป็นสีแดงถึงส้ม (pH น้อยกว่า 7) โดยทั่วไปไอออนของสารแอนโทไซยานินสามารถเปลี่ยนโครงสร้างโมเลกุลได้ตาม pH ซึ่งส่งผลให้เกิดความแตกต่างของสีที่ pH แตกต่างกัน โดยในสารละลายแอนโทไซยานินมีโครงสร้างโมเลกุลอยู่อย่างสมดุล 4 รูปแบบ คือ flavylium cation, quinonoidal base, carbinol pseudo-base และ chalcone ซึ่งสัดส่วนของรูปแบบโครงสร้างโมเลกุลจะก่อให้เกิดสีของแอนโทไซยานินแตกต่างกันไปตาม pH ในสารละลายนั้นๆ โดยในสภาพที่เป็นกรด (pH น้อยกว่า 2) แอนโทไซยานินจะอยู่ในรูปของ flavylium cation ซึ่งจะทำให้สารละลายมีสีแดง และเมื่อ pH สูงขึ้นจนอยู่ในสภาวะที่เป็นกรดอ่อน (pH 4.5) ปริมาณ flavylium cation จะเริ่มลดลงเนื่องจากการเกิด hydration โดยดึงโปรตอนออกจากหมู่ -OH ที่ตำแหน่ง 4, 5 และ 7 ไปเป็น carbinol pseudo-base และค่อยๆ เปลี่ยนเป็น chalcone ซึ่งไม่มีสี ในขณะเดียวกันการเพิ่มขึ้นของ pH จนเป็นกลาง (pH 7) ยังทำให้เกิดการสูญเสียโปรตอนจากแอนโทไซยานินที่อยู่ในรูปของ flavylium cation ทำให้เปลี่ยนไปอยู่ในรูปของ quinonoidal base ที่เป็นสีฟ้าหรือม่วง ดังนั้น เมื่อ pH สูงกว่า 4.5 ขึ้นไป จึงมีเฉพาะโครงสร้างของ carbinol pseudo-base และ chalcone ซึ่งเป็น

โครงสร้างที่ไม่มีสี หรืออยู่ในสถานะที่เป็นเบส จะมีโครงสร้างของ quinonoidal base ซึ่งเป็นโครงสร้างสีน้ำเงินทำให้สารละลายเป็นสีน้ำเงิน (Cavalcanti et al., 2011) ดังภาพที่ 2.2



ภาพที่ 2.2 โครงสร้างทางเคมีของแอนโทไซยานินเมื่อเกิดการเปลี่ยนแปลง pH
ที่มา: Lee et al. (2005)

ปัจจุบันการวัดปริมาณแอนโทไซยานินที่นิยมมากที่สุด คือ วิธี pH-differential เป็นวิธีที่พัฒนามาจากการที่โครงสร้างของแอนโทไซยานินเปลี่ยนแปลงไปตามการเปลี่ยนแปลงค่า pH ทำให้การดูดกลืนแสงของแอนโทไซยานินเปลี่ยนไป (ภาพที่ 2.2) ที่ pH 1 โครงสร้างของแอนโทไซยานินจะอยู่ในรูปออกโซเนียม (Oxonium form) ซึ่งมีสีส้มจนถึงสีม่วง มีการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 520 นาโนเมตร เมื่อปรับ pH เป็น 4.5 จะไม่มีการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่นดังกล่าว เนื่องจากที่ pH 4.5 โครงสร้างแอนโทไซยานินจะอยู่ในรูปเฮมิคีทอล (Hemiketal form) ซึ่งไม่มีสี ดังภาพที่ 2.2 ถ้าในตัวอย่างที่ทดสอบมีสารอื่นๆ ที่ดูดกลืนแสงช่วงเดียวกับแอนโทไซยานิน เมื่อเปลี่ยน pH เป็น 4.5 ค่าการดูดกลืนแสงของสารอื่นๆ จะเท่าเดิมในขณะที่ค่าการดูดกลืนแสงของแอนโทไซยานินจะหายไป (ภาพที่ 2.3) ดังนั้น การวัดด้วยวิธีนี้จะต้องวัดค่าการดูดกลืนแสงของแอนโทไซยานินที่ความยาวคลื่นสูงสุด (520 nm) ที่ pH 1.0 และ 4.5 นำมาหักลบกันเพื่อกำจัดการดูดกลืนแสงจากสารอื่นๆ ที่ไม่ใช่แอนโทไซยานิน และการวัดค่าการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 700 นาโนเมตร เพื่อหักลบค่าความขุ่นที่อาจเกิดขึ้น เพื่อให้ได้ผลที่มีความถูกต้องและแม่นยำมากขึ้น (อรุษา, 2554; Lee et al., 2005)



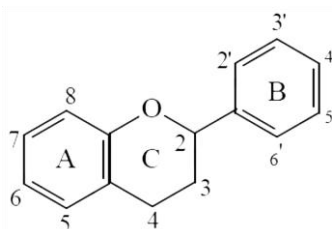
ภาพที่ 2.3 การเปลี่ยนแปลงของสเปกตรัมของแอนโทไซยานินจาก huckleberry ในสารละลาย

บัฟเฟอร์ pH 1.0 และ 4.5

ที่มา: Lee et al. (2005)

2.5.2 ฟลาโวนอยด์

ฟลาโวนอยด์ (flavonoid) เป็นกลุ่มของสารประกอบที่มีโครงสร้างพื้นฐานเป็นฟีนิลเบนโซไพโรน (phenylbenzopyrones) มีโมเลกุลขนาดเล็กและมีโครงสร้างประกอบด้วยการจัดเรียงตัวของคาร์บอน 15 อะตอม (C6-C3-C6) เป็นวงแหวน 3 วง ได้แก่ วงแหวนเบนซีน (benzene ring) 2 วง (A และ B) เชื่อมต่อกับวงแหวนไพแรน (heterocyclicpyran ring) ซึ่งอยู่ตรงกลางของโครงสร้าง (C) ดังแสดงในภาพที่ 2.4 ฟลาโวนอยด์แบ่งออกเป็นกลุ่มย่อยตามโครงสร้างเคมีได้ 7 กลุ่ม ได้แก่ ฟลาโวนอล (flavonols) ฟลาโวน (flavones) ฟลาวาโนน (flavanones) ฟลาวานอล (flavanols) ฟลาวาโนนอล (flavanonols) ไอโซฟลาโวน (isoflavones) และแอนโทไซยานิดิน (anthocyanidins) สามารถพบได้ในพืช เช่น ผัก ผลไม้ และเครื่องดื่มบางชนิด เช่น ไวน์ชา เป็นต้น (วิภพ, 2556) ทำหน้าที่เป็นรงควัตถุในการกรองแสง

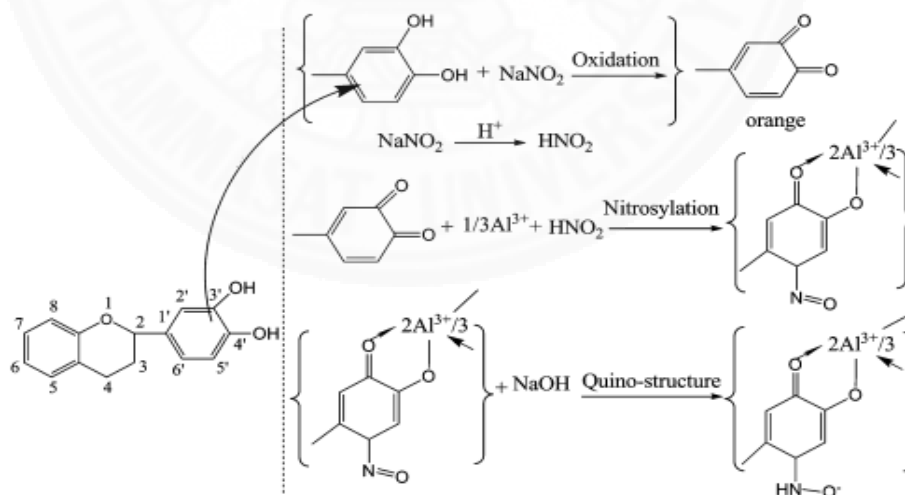


ภาพที่ 2.4 โครงสร้างทางเคมีของฟลาโวนอยด์

ที่มา: วิภพ (2556)

ฟลาโวนอยด์มีฤทธิ์ทางเภสัชวิทยาหลายอย่าง เช่น ต้านอนุมูลอิสระ ต้านการเกิดมะเร็ง ยับยั้งการแบ่งตัวและเพิ่มจำนวนของเซลล์มะเร็ง ต้านการอักเสบ ลดเบาหวาน ต้านจุลชีพ ลดไขมันในเลือด และปรับการทำงานของระบบภูมิคุ้มกัน (วิภพ, 2556; Pietta, 2000) โดยฟลาโวนอยด์กลุ่มหลักที่พบในกระเจี๊ยบแดง คือ gossypetine, hibiscetine และ sabdaretine (Mohamed et al., 2012) จากการศึกษาของ Borrás-Linares et al. (2015) พบว่า กระเจี๊ยบแดงจากประเทศเม็กซิโกที่มีสีของกลีบเลี้ยงตั้งแต่สีเขียวจนถึงสีแดงเข้ม จำนวน 25 สายพันธุ์ มีฟลาโวนอยด์อยู่ในช่วง 419 ± 20 ถึง $2,260 \pm 70$ mg quercetin/100g dry weight สำหรับในใบ Wang et al. (2015) พบว่าใบกระเจี๊ยบแดง 31 accessions มีฟลาโวนอยด์ทั้งหมดอยู่ในช่วง 3.35 ถึง 23.30 mg/g dry weight

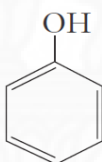
การวัดปริมาณของ flavonoid ทำได้หลายวิธี แต่วิธีที่นิยมใช้คือ Aluminum chloride colorimetric assay ($\text{NaNO}_2\text{-AlCl}_3\text{-NaOH}$ assay) หลักการคือ NaNO_2 ทำปฏิกิริยากับหมู่ไฮดรอกซิลบนวงฟีนอลเกิดเป็นหมู่คีโต จากนั้น aluminum ion จะไปจับกับหมู่คีโตบนวงฟีนอลของฟลาโวนอยด์ที่ตำแหน่ง 3' และ 4' เกิดเป็นโครงสร้างเชิงซ้อนขึ้นมาซึ่งเมื่ออยู่ในสภาวะที่เป็นเบสจะเกิดเป็นสารที่มีสีแดง (ภาพที่ 2.5) ซึ่งสามารถวัดการเปลี่ยนแปลงของสีที่เกิดขึ้นได้โดยวัดค่าการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 510 nm (Zhu et al., 2010) และรายงานค่าปริมาณฟลาโวนอยด์ทั้งหมดในรูปของมิลลิกรัมของคาเทชิน (catechin equivalent, mg/ml)



ภาพที่ 2.5 ปฏิกิริยาของ $\text{NaNO}_2\text{-AlCl}_3\text{-NaOH}$ assay ต่อฟลาโวนอยด์
ที่มา: Zhu et al. (2010)

2.5.3 สารประกอบฟีนอลิก

สารประกอบฟีนอลิก (phenolic compounds) หรือโพลีฟีนอล (polyphenol compounds) เป็นสารประกอบที่มี aromatic ring และอย่างน้อย 1 hydroxyl group (ภาพที่ 2.6) รวมถึงอนุพันธ์ของสารประกอบฟีนอล ซึ่งมีการแทนที่ด้วยหมู่เคมีต่างๆ สารประกอบฟีนอลิกเป็นสารกลุ่มใหญ่ พบทั่วไปในพืชแทบทุกชนิด มีบทบาทสำคัญในการทำให้เกิดกลิ่น สี และรสชาติ ในพืชผักและผลไม้ สารในกลุ่มนี้ ได้แก่ phenolic acid, tannins, lignin, abscisic acid, cinnamic acid, caffeic acid, chlorogenic acid, tyrosine, phenylalanine, dihydroxy-phenylalanine (DOPA), coenzyme Q, quinines, coumarins, flavonoids และ anthocyanins เป็นต้น (นวลศรี และ อัญชนา, 2545; Ryan et al., 2002)



ภาพที่ 2.6 โครงสร้างทางเคมีของสารประกอบฟีนอลิก

ที่มา: Hopkins and Hüner (2009)

สารประกอบฟีนอลิกเป็นสารที่มีความสามารถในการต้านปฏิกิริยาออกซิเดชันสูง เนื่องจากมีหมู่ที่ให้อิเล็กตรอนหรือไฮโดรเจนแก่สารที่เป็นอนุมูลอิสระ คือ หมู่ไฮดรอกซี (-OH) หรือหมู่เมทอกซี (-OCH₃) ได้อย่างรวดเร็ว เมื่อสารประกอบฟีนอลิกเสียอิเล็กตรอนหรือไฮโดรเจนอะตอมไปแล้ว จะสามารถเกิดเรโซแนนซ์ภายในโครงสร้างของสารเอง ทำให้โมเลกุลของสารประกอบฟีนอลิกเสถียร (Pacôme et al., 2014) สารประกอบฟีนอลิกมีบทบาทสำคัญเนื่องจากมีฤทธิ์ต้านแบคทีเรีย ต้านไวรัส ต้านการอักเสบ และมีสรรพคุณในการละลายลิ่มเลือด รวมทั้งยังเป็นสารต้านอนุมูลอิสระ เป็นต้น (นวลศรี และอัญชนา, 2545)

สารประกอบฟีนอลิกที่พบในกระเจี๊ยบแดงทั้งกลีบเลี้ยงและใบ อยู่ในกลุ่มของ protocatechuic acid (PCA), 3,4-dihydrobenzoic acid และ chlorogenic acid เช่น caffeic acid, ferulic acid, *p*-coumaric acid และ quinic acid (Da-Costa-Rocha et al., 2014) จากการศึกษาของ แฉล้ม และคณะ (2545) พบว่า ปริมาณสารประกอบฟีนอลิกในกลีบเลี้ยงของกระเจี๊ยบแดง 29 สายพันธุ์ที่เก็บรวบรวมในประเทศไทย มีค่าอยู่ระหว่าง 94-239 mg GAE/100g dry weight ส่วนกระเจี๊ยบแดงจากประเทศเม็กซิโกที่มีสีของกลีบเลี้ยงตั้งแต่สีเขียวจนถึงสีแดงเข้มจำนวน 25 สายพันธุ์ มีสารประกอบฟีนอลิก อยู่ในช่วง 2,400±30 ถึง 10,000±40 mg GAE/100g dry weight (Borrás-Linares et al., 2015) และกระเจี๊ยบแดงจากประเทศอียิปต์มีสารประกอบ

ฟีนอลิก 37.42 mg/g dry weight (Abou-Arab et al., 2011) นอกจากนี้ Rahaman and Pal (2015) พบว่าปริมาณสารประกอบฟีนอลิกในกลีบเลี้ยง (38.70 mg/g dry weight) สูงกว่าในใบ (32.80 mg/g dry weight) ส่วน Zhen et al. (2016) พบว่าในใบกระเจี๊ยบแดง 25 accessions มีสารประกอบฟีนอลิก อยู่ในช่วง 18.78 ถึง 29.90 mg GAE/g dry weight

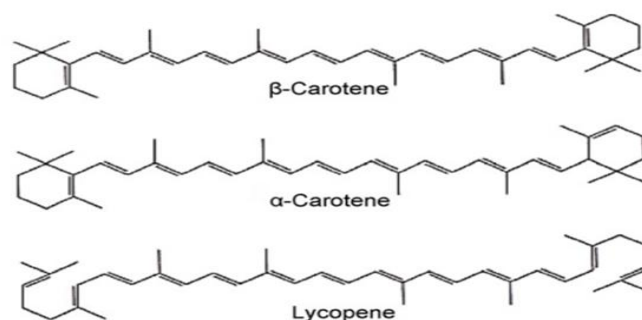
ในการวิเคราะห์หาปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมด (total phenolic compounds) ด้วยวิธี Folin-Ciocalteu's reagent ซึ่งอาศัยหลักการปฏิกิริยารีดอกซ์ของโมลิบโด ทั้งสเตตไอออน (molybdotungstate ion) โดยรีเอเจนต์ประกอบด้วย โซเดียมทั้งสเตต (sodium tungstate) โซเดียมโบลิบเดต (sodium bolybdate) กรดฟอสฟอริก (phosphoric acid) และ โซเดียมคาร์บอเนต (sodium carbonate) สังเกตการณ์เปลี่ยนแปลงของไอออน Mo(VI) ที่มีสีเหลือง เมื่อได้รับอิเล็กตรอนจากสารต้านอนุมูลอิสระจะเปลี่ยนไปอยู่ในรูป Mo(V) ซึ่งมีสีน้ำเงิน นำไปวัดค่า การดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 765 นาโนเมตร (Tsai et al., 2005) และรายงานค่าปริมาณ สารประกอบฟีนอลรวมในรูปของ มิลลิกรัมของกรดแกลลิก (Gallic acid equivalent, mg GAE/g)

2.5.4 แคโรทีนอยด์

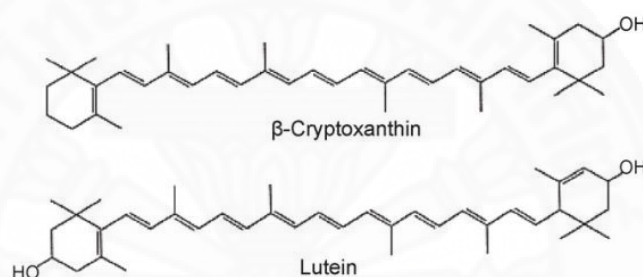
แคโรทีนอยด์ (carotenoid) เป็นสารสำคัญที่พบในคลอโรพลาสต์ของพืช มีบทบาทสำคัญเกี่ยวข้องกับการสังเคราะห์แสง ดังนั้นในผักใบเขียวจึงพบว่ามีแคโรทีนอยด์ด้วย ซึ่ง โครงสร้างของแคโรทีนอยด์เป็นโพลีอินไฮโดรคาร์บอน (polyene hydrocarbon) ที่มีหมู่ไอโซพรีน (isoprene unites) เป็นองค์ประกอบ มีคาร์บอน 40 อะตอม หรือมีหมู่ไอโซพรีน 8 หมู่เรียงต่อกัน เป็นสายยาวด้วยพันธะคู่คอนจูเกต (conjugated double bonds) สารในกลุ่มนี้มีหลายร้อยชนิดซึ่ง ให้ทั้งสีส้ม (สีแดง ส้ม และเหลือง) และมีประโยชน์ต่อร่างกาย เพราะเป็นสารต้านอนุมูลอิสระ ทั้งนี้ แคโรทีนอยด์แบ่งได้เป็น 2 กลุ่มตามโครงสร้างทางเคมี (นวลศรี และ อัญชญา, 2545) ดังนี้

1) แคโรทีน (carotene) เป็นรงควัตถุที่ให้สีส้มแดง มีโครงสร้างที่ประกอบด้วย คาร์บอนอะตอมและไฮโดรเจน และปลายข้างใดข้างหนึ่งหรือทั้งสองข้างจะมีวงแหวน ไอโอโนน (ionone ring) มีสูตรโครงสร้างคือ $C_{40}H_{56}$ (ภาพที่ 2.7) ตัวอย่างสารในกลุ่มนี้ เช่น α -carotene, β -carotene, γ -carotene และ lycopene เป็นต้น (Rao and Rao, 2007)

2) แซนโทฟิลล์ (xanthophyll) เป็นรงควัตถุที่ให้สีเหลืองหรือเหลืองแกมน้ำตาล ซึ่งอนุพันธ์ของแคโรทีนอยด์ที่จับอยู่กับออกซิเจน หรือเรียกว่าออกซิแคโรทีนอยด์ (oxycarotenoids) มีโครงสร้างประกอบด้วยคาร์บอน ไฮโดรเจน และออกซิเจน (ภาพที่ 2.8) สารกลุ่มนี้พบได้ในพืช และ สหรัยทุกชนิด เช่น capxanthin, capsorubin, cryptoxanthin, lutein, zeaxanthin เป็นต้น (Rao and Rao, 2007)



ภาพที่ 2.7 โครงสร้างทางเคมีของแคโรทีนอยด์ในกลุ่มแคโรทีน
ที่มา: Rao and Rao (2007)



ภาพที่ 2.8 โครงสร้างทางเคมีของแคโรทีนอยด์ในกลุ่มแซนโทฟิลล์
ที่มา: Rao and Rao (2007)

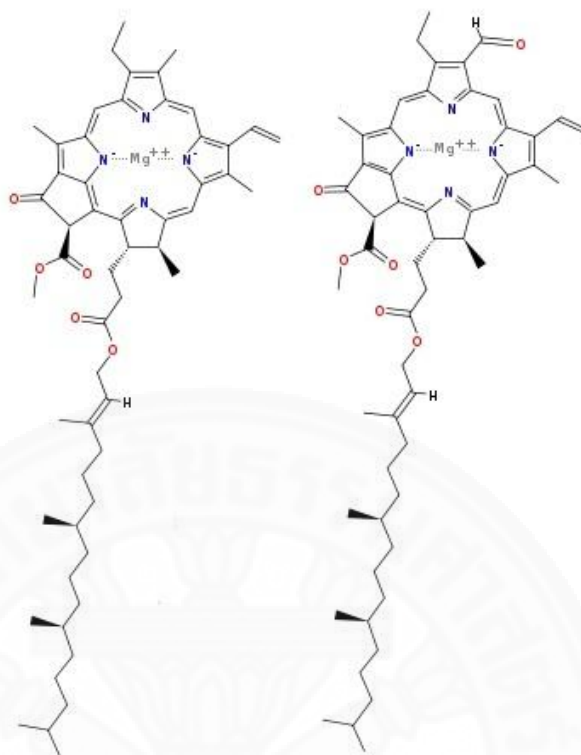
แคโรทีนอยด์เป็นสารที่มีความสำคัญหลายประการ เช่น เป็นสารตั้งต้นของวิตามินเอ ช่วยบำรุงสุขภาพดวงตา เป็นสารต้านอนุมูลอิสระ ช่วยสร้างภูมิคุ้มกัน และช่วยในการพัฒนาของตัวอ่อนและระบบสืบพันธุ์ เป็นต้น สำหรับในใบกระเจียบแดงมีแคโรทีนอยด์ทั้งหมด 12.50 $\mu\text{g/g}$ dry weight และในกลีบเลี้ยงมีแคโรทีนอยด์มากกว่าในใบถึงสองเท่า คือมีค่าเท่ากับ 24.60 $\mu\text{g/g}$ dry weight (Rahaman and Pal, 2015)

ในการหาปริมาณแคโรทีนอยด์ ใช้หลักการคำนวณจากสมการความสัมพันธ์ของคลอโรฟิลล์เอและคลอโรฟิลล์บี เนื่องจากในสารสกัดของใบพืช ประกอบด้วย แคโรทีนอยด์ (แซนโทโรฟิลล์ร่วมกับแคโรทีน) และคลอโรฟิลล์ โดยจะใช้ 80% อะซีโตนเป็นตัวทำละลายในการดึงรงควัตถุออกมาจากตัวอย่างพืช จากนั้นนำสารสกัดไปวัดค่าการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 663 645 และ 470 nm ซึ่งแคโรทีนอยด์ คลอโรฟิลล์เอ และคลอโรฟิลล์บี สามารถดูดกลืนแสงได้สูงสุดที่ความยาวคลื่น 470 nm และทั้งคลอโรฟิลล์เอและคลอโรฟิลล์บีในสารละลายอะซีโตนยังสามารถดูดกลืนแสงสูงสุดเฉลี่ยที่ความยาวคลื่น 663 และ 645 nm (Lichtenthaler and Buschmann, 2001)

2.5.5 คลอโรฟิลล์

คลอโรฟิลล์ (Chlorophyll) คลอโรฟิลล์เป็นรงควัตถุซึ่งมีสีเขียวซึ่งเกี่ยวข้องกับกระบวนการสังเคราะห์แสงของพืช พบในพืชสีเขียวทุกชนิด ในใบพืชที่มีสีเขียวจะมีคลอโรฟิลล์ประมาณ 0.1 % fresh weight กระจายตัวอยู่ในอวัยวะภายในเซลล์ชื่อว่า คลอโรพลาสต์ คลอโรฟิลล์เป็นกลุ่มของสารประกอบที่มีโครงสร้างโมเลกุลแบ่งออกเป็น 2 ส่วน คือ ส่วนหัว ที่ประกอบด้วยวงแหวนไพโรล (pyrrole ring) จำนวน 4 วง โดยมีไนโตรเจน และแมกนีเซียมเชื่อมพันธะเป็นองค์ประกอบอยู่ตรงกลาง และส่วนที่ 2 คือ ส่วนหางที่มีไฮโดรคาร์บอนสายยาว เรียกว่า ไฟทอล (phytol) เป็นส่วนที่ทำให้คลอโรฟิลล์ที่พบมีความแตกต่างกัน (ภาพที่ 2.9) เช่น โครงสร้างโมเลกุลของคลอโรฟิลล์เอ และคลอโรฟิลล์บี จะแตกต่างกันที่ตำแหน่งวงแหวนไพโรล ตำแหน่งที่ 3 (C-3) นับจากตำแหน่งอะตอมไนโตรเจนล่างสุดเรียงขึ้นด้านบน โดยโซ่ต่อด้านข้างคลอโรฟิลล์เอ เป็นหมู่เมทิล (-CH₃) ส่วนโซ่ต่อด้านข้างของคลอโรฟิลล์บี เป็นหมู่อัลดีไฮด์ (-CHO) ทำให้โมเลกุลของคลอโรฟิลล์เอมีขั้ว จึงละลายในสารละลายที่มีขั้ว เช่น น้ำ และเมทิลแอลกอฮอล์ ได้ดีกว่าคลอโรฟิลล์บี มีหมู่อัลดีไฮด์ที่ไม่มีขั้ว จึงละลายได้ดีในสารที่ไม่มีขั้ว เช่น อีเทอร์ และคีโตน เป็นต้น นอกจากนี้ ยังทำให้สีที่มองเห็นแตกต่างกัน คือ คลอโรฟิลล์เอ จะมีสีเขียวเข้ม คลอโรฟิลล์บี จะมีสีเขียวอ่อน ซึ่งคลอโรฟิลล์มีหลายชนิดพบในทุกส่วนที่เป็นสีเขียวของพืช และสามารถพบได้ทั่วไปตามธรรมชาติ เช่น คลอโรฟิลล์เอ คลอโรฟิลล์บี คลอโรฟิลล์ซี และคลอโรฟิลล์ดี เป็นต้น แต่ที่สำคัญคือ คลอโรฟิลล์เอ และคลอโรฟิลล์บี ซึ่งจะปรากฏในผักและผลไม้ในอัตราส่วน 3:1 (ภาคภูมิ, 2550)

คลอโรฟิลล์เป็นสารที่มีความสำคัญหลายประการ เช่น เป็นสารอาหารประเภทให้พลังงานแก่ร่างกาย ช่วยเพิ่มปริมาณเม็ดเลือดแดง เสริมสร้างภูมิคุ้มกันต้านทาน ป้องกันตับอักเสบ ต้านการอักเสบ ป้องกันมะเร็ง ขับถ่ายดีขึ้น ส่งเสริมการย่อยอาหาร รักษาสมดุลจุลินทรีย์ที่เป็นประโยชน์ในระบบทางเดินอาหาร ป้องกันโรคท้องร่วง ช่วยดูดซึมน้ำและแร่ธาตุในลำไส้ ป้องกันโรคกรดสีดวงทวารหนัก ลดกลิ่นตัว และต้านอนุมูลอิสระ (<http://www.siamchemi.com/คลอโรฟิลล์/>) จากการศึกษาของ Kumar et al. (2015) พบว่า ใบกระเจี๊ยบแดงที่ทำให้แห้งที่อุณหภูมิห้องและ freeze-dried มีปริมาณคลอโรฟิลล์เท่ากับ 1.59 ± 0.001 และ 1.55 ± 0.001 g/kg ตามลำดับ และ Rahaman and Pal (2015) รายงานว่าใบกระเจี๊ยบแดงมีคลอโรฟิลล์เอ และคลอโรฟิลล์บี เท่ากับ $45.1 \mu\text{g/g}$ และ $8.7 \mu\text{g/g}$ ตามลำดับ เป็นต้น



ภาพที่ 2.9 โครงสร้างทางเคมีของคลอโรฟิลล์เอ และคลอโรฟิลล์บี
ที่มา : ภาควิชา (2550)

2.5.6 สารต้านอนุมูลอิสระ

สารต้านอนุมูลอิสระ (antioxidant) หรือสารกำจัดอนุมูลอิสระ (radical scavengers) หมายถึง สารที่สามารถทำปฏิกิริยากับอนุมูลอิสระโดยตรง เพื่อหยุดยั้งและป้องกันไม่ให้เกิดปฏิกิริยาออกซิเดชัน โดยทำหน้าที่ให้อิเล็กตรอนแก่อนุมูลอิสระ ซึ่งจะจับกับโลหะที่ส่งเสริมให้เกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันหรือลดการก่อตัวของ singlet oxygen ซึ่งเป็นออกซิเจนที่อยู่ในรูปที่พร้อมจะเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชัน ทำให้อนุมูลอิสระไม่สามารถสร้างความเสียหายให้กับโมเลกุลอื่น ๆ ได้อีก (นวลศรี และอัญชญา, 2545; โอภา, 2550; Halliwell, 2009; Hopkins and Hüner, 2009) สารต้านอนุมูลอิสระมีกลไกการทำงานด้วยกันหลายแบบ เช่น ดักจับอนุมูลอิสระที่เกิดขึ้น หยุดปฏิกิริยาลูกโซ่ไม่ให้ดำเนินต่อ ยับยั้งการทำงานของออกซิเจนที่ขาดอิเล็กตรอน จับกับโลหะที่สามารถเร่งปฏิกิริยาออกซิเดชัน เสริมฤทธิ์ และยับยั้งการทำงานของเอนไซม์ที่เร่งปฏิกิริยาของอนุมูลอิสระ เป็นต้น ทั้งนี้สิ่งมีชีวิตจะมีระบบการป้องกันการทำลายเซลล์และเนื้อเยื่อจากอนุมูลอิสระ ประกอบด้วยสารต้านอนุมูลอิสระหลายชนิด ทั้งที่เป็นเอนไซม์ (enzymatic antioxidants) เช่น superoxide

dismutase (SOD), catalase (CAT), ascorbate peroxidase (APX), และ glutathione peroxidase (GPX) เป็นต้น และไม่เป็นเอนไซม์ (non-enzymatic antioxidants) เช่น vitamin A (retinol), vitamin C (ascorbic acid), vitamin E (α -tocopherol), glutathione (GSH), แครโธทีนอยด์ และสารประกอบฟีนอลิก โดยสารต้านอนุมูลอิสระเหล่านี้มีแหล่งที่มาจาก 2 แหล่ง คือ สารต้านอนุมูลอิสระสังเคราะห์ (synthetic antioxidants) และสารต้านอนุมูลอิสระจากธรรมชาติ (natural antioxidants) (โอภา, 2550; เจนจิรา และประสงค์, 2554; บุหรีน, 2556; Pokorny et al., 2001)

การศึกษาฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระในกระเจี๊ยบแดง Tsai et al. (2002) พบว่า แอนโทไซยานินเป็นแหล่งของฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระหลักในสารสกัดกระเจี๊ยบแดง โดยสารสกัดชั้นน้ำของกลีบเลี้ยงกระเจี๊ยบแดงมีฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระสูงที่สุด (Chumsri et al., 2008; Sindi et al., 2014) ทั้งนี้ Abou-Arab et al. (2011) รายงานว่ากระเจี๊ยบแดงจากประเทศอียิปต์มีฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระ โดยมีค่า IC_{50} เท่ากับ $36.53 \mu\text{mol}$ ส่วนกระเจี๊ยบแดงจากประเทศเม็กซิโกที่มีสีของกลีบเลี้ยงตั้งแต่สีเขียวจนถึงสีแดงเข้มจำนวน 25 สายพันธุ์ มีฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระอยู่ในช่วง 27.40 ± 0.30 ถึง $112.00 \pm 8.00 \mu\text{mol trolox/g dry weight}$ (Borrás-Linares et al., 2015) และ Zhen et al. (2016) พบว่า ในใบกระเจี๊ยบแดง 25 accessions มีฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระอยู่ในช่วง 17.50 ถึง $152.50 \mu\text{mol trolox/g dry weight}$ นอกจากนี้ Rahaman and Pal (2015) พบว่าใบและกลีบเลี้ยงของกระเจี๊ยบแดงมีฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระใกล้เคียงกัน คือ 31.39 % และ 36.87 % ตามลำดับ

การวิเคราะห์ความสามารถในการเป็นสารต้านออกซิเดชัน (antioxidant) มีอยู่หลายวิธี ซึ่ง DPPH (2,2-diphenyl-1-picrylhydrazyl) assay เป็นหนึ่งวิธีที่สะดวก รวดเร็ว ง่ายต่อการวิเคราะห์ ให้ความถูกต้องและแม่นยำสูง หลักการคือ DPPH เป็นอนุมูลอิสระในตัวทำละลายเอทานอล (ethanol) สารละลายนี้มีสีม่วง ซึ่งดูดกลืนแสงได้ดีที่ความยาวคลื่น 520 nm โดย DPPH \cdot หรือ radical species (R \cdot) จะเกิดปฏิกิริยากับ antioxidant (AH) เมื่อ DPPH \cdot ทำปฏิกิริยากับสารที่มีฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระ สีของสารละลายสีม่วงจะเปลี่ยนเป็นสีเหลือง โดยเปรียบเทียบกับสารต้านอนุมูลอิสระที่ใช้เป็นมาตรฐานคือ BHT ถ้าตัวอย่างมีความสามารถในการต้านออกซิเดชันได้สูง ความเข้มของสารละลายสีม่วงจะลดลง (พรณิ, 2550) ปริมาณการต้านอนุมูลอิสระจะรายงานผลเป็นค่า 50% effective concentration (EC_{50}) ซึ่งหมายถึง ปริมาณสารต้านอนุมูลอิสระที่ทำให้ความเข้มของ DPPH เหลืออยู่ 50% (Aruoma, 2003)

2.6 ฤทธิ์ทางเภสัชวิทยาและการนำไปใช้ประโยชน์

กลีบเลี้ยงกระเจี๊ยบแดงมีคุณสมบัติทางยามากมาย เช่น ลดไขมันในเลือด (พรธณภัทร และคณะ, 2555) ลดความดันโลหิต ลดเบาหวาน (อรุณพร, 2555; Wisetmuen et al., 2013) มีฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระ ช่วยป้องกันการเกิดโรคมะเร็งและช่วยชะลอการลุกลามของมะเร็งบางชนิด โดยแอนโทไซยานินจากกระเจี๊ยบแดงมีฤทธิ์ช่วยยับยั้งปฏิกิริยาออกซิเดชัน และกำจัดเซลล์มะเร็งเม็ดเลือดขาวได้ (เกศนภา และคณะ, 2549; Herrera-Arellano et al., 2004; Mahadevan et al., 2009; Sireeratawong et al., 2013; Da-Costa-Rocha et al., 2014) ตัวอย่างวิธีและขนาดที่มีการนำไปใช้ในการรักษาโรค เช่น การวิจัยทางคลินิกของชาชงกระเจี๊ยบแดงในผู้ป่วยความดันโลหิตสูงปานกลาง 54 คน เปรียบเทียบระหว่างกลุ่มที่ได้รับชาชง (31 คน) กับกลุ่มที่ไม่ได้ชาชง (23 คน) พบว่าในวันที่ 12 หลังได้รับชาชง ค่าความดันโลหิตเมื่อหัวใจบีบตัวและคลายตัว ลดลง 11.2 และ 10.7 % ตามลำดับ เมื่อเทียบกับวันแรก ซึ่งแตกต่างจากกลุ่มควบคุมอย่างมีนัยสำคัญและหลังจากหยุดดื่มชาชงค่าความดันโลหิตทั้งสองค่าเพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญ (เกศนภา และคณะ, 2549; สุภางค์, 2552) การศึกษาในผู้ป่วยโรคทางเดินปัสสาวะ โดยใช้น้ำดอกกระเจี๊ยบ 3 กรัม ชงกับน้ำเดือด 1 แก้ว ให้ผู้ป่วยโรคนี้หรือโรคทางเดินปัสสาวะอักเสบ เนื่องจากของต่อมลูกหมากหลังการผ่าตัด ต่อมวันละ 3 ครั้ง เป็นเวลา 1 ปี พบว่า 80 % ของผู้ป่วย มีปัสสาวะใสกว่าเดิมและพบว่าทำให้ปัสสาวะ เป็นกรดจึงช่วยฆ่าเชื้อในทางเดินปัสสาวะ นอกจากนี้ยังมีฤทธิ์ขับปัสสาวะอีกด้วย และการใช้เป็นยารักษาอาการขัดเบา โดยนำกลีบเลี้ยงตากแห้งบดเป็นผง ใช้ครั้งละ 1 ช้อนชา (3 กรัม) ชงกับน้ำ 1 ถ้วย (250 มิลลิลิตร) นอกจากนี้ยังเป็นยาขับเสมหะ ช่วยให้ชุ่มคอ ช่วยย่อยอาหาร หล่อลื่นลำไส้ และลดไขมันในเลือด เป็นต้น (จิตรลดา, 2549) ยังมีการนำกลีบเลี้ยงกระเจี๊ยบแดงไปพัฒนาเพิ่มมูลค่าเป็นผลิตภัณฑ์ต่างๆ เช่น น้ำกระเจี๊ยบพร้อมดื่ม กระเจี๊ยบแดงเข้มข้น ผงชา ไวน์ แยม ซอส กระเจี๊ยบเชื่อม กระเจี๊ยบแช่แข็ง เยลลี่ ไอศกรีม สีสผสมอาหาร สบู่ และเครื่องสำอาง เป็นต้น (อรุณพร, 2555; Mohamed et al, 2012; Da-Costa-Rocha et al., 2014; Mgaya et al., 2014)

ใบกระเจี๊ยบแดงมีฤทธิ์ต้านเซลล์มะเร็งต่อมลูกหมาก (Lin et al., 2012; Worawattananutai et al., 2014) ต้านเซลล์มะเร็งผิวหนัง (Chiu et al., 2015) แก้อาการปวดข้ออักเสบ ช่วยละลายเสมหะ ขับเมือกในลำคอ ขับปัสสาวะ บำรุงธาตุ บำรุงกำลัง ดำพอกฝีหรือต้มกับน้ำใช้ล้างแผลได้ และบำรุงธาตุ เป็นต้น (อภิญา, 2551; Mahadevan et al., 2009; Atta et al., 2010a; Mohd-Esa et al., 2010) นอกจากนี้ยังมีการนำไปและต้นกล้าอ่อนมารับประทานเป็นสลัดอีกด้วย เนื่องจากใบและยอดอ่อนของกระเจี๊ยบแดงมีแคลเซียม ฟอสฟอรัส และวิตามินเอสูง บำรุงสายตา สามารถนำมารับประทานเป็นผักสดหรือประกอบอาหารได้ เช่น ใส่แกงเผ็ด แกงส้มใบกระเจี๊ยบ เป็นต้น (อภิญา, 2551)

ลำต้นกระเจี๊ยบแดงมีเส้นใยจากเปลือกลำต้น ใช้ทำเชือกแทนปอกระเจา และเนื้อไม้ยังสามารถนำไปใช้ในอุตสาหกรรมการผลิตกระดาษ (Atta et al., 2010b)

ผลและเมล็ดกระเจี๊ยบแดง ช่วยลดไขมันในเลือด รักษาแผลในกระเพาะ บำรุงธาตุ บำรุงกำลัง แก้ไอ แก้อ่อนเพลีย แก้ดีพิการ ช่วยเพิ่มการหลั่งน้ำดีจากตับ ช่วยป้องกันไม่ให้ตับถูกทำลาย เป็นยาระบาย ช่วยฆ่าเชื้อในลำไส้ รักษาโรคหัวใจ และโรคประสาท เป็นต้น (เกศนภา และคณะ, 2549; Wong et al., 2002; Mahadevan et al., 2009; Hussein et al., 2010; Lin et al., 2012; Da-Costa-Rocha et al., 2014; Borrás-Linares et al., 2015) ในแอฟริกาใต้ใช้เมล็ดกระเจี๊ยบต้มกิน เป็นยาขับปัสสาวะ ยาบำรุง และใช้น้ำมันจากเมล็ดรักษาแผลให้อูฐ ในอียิปต์ใช้ทั้งต้นต้มกินรักษาโรคหัวใจและโรคประสาท รวมทั้งใช้เป็นยาลดน้ำหนักเนื่องจากช่วยระบายและช่วยฆ่าเชื้อในลำไส้ (อภิญญา, 2551; Da-Costa-Rocha et al., 2014)



บทที่ 3 อุปกรณ์และวิธีการ

3.1 ลักษณะทางสัณฐานวิทยาของกระเจี๊ยบแดง

รวบรวมเมล็ดพันธุ์กระเจี๊ยบแดงจากในประเทศไทย 8 accessions และประเทศเมียนมาร์ 6 accessions (ตารางที่ 3.1) ปลูกที่แปลงทดลองของภาควิชาเทคโนโลยีการเกษตร คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์ ศูนย์รังสิต โดยหยอดเมล็ดวันที่ 15 สิงหาคม พ.ศ. 2557 ในแปลงปลูกกว้าง 0.8 เมตร ยาว 9 เมตร คลุมแปลงด้วย polyethylene film ในแต่ละแปลงปลูก 1 แถว ระยะห่างระหว่างต้น 0.8 เมตร หยอดเมล็ด 5 เมล็ดต่อหลุม เมื่ออายุ 7 วันหลังหยอดเมล็ด ถอนแยกให้เหลือ 1 ต้นต่อหลุม ให้น้ำทุกวัน และลดการให้น้ำในช่วงหลังจากติดฝัก โดยให้วันเว้นวัน การให้ปุ๋ย ใส่ปุ๋ยคอก รองพื้นอัตรา 100 กิโลกรัมต่อแปลง เมื่ออายุ 15 วันหลังหยอดเมล็ด ให้ปุ๋ยอินทรีย์ อัตรา 250 กรัมต่อต้น จากนั้นเมื่ออายุ 30 วันหลังหยอดเมล็ด ใส่ปุ๋ยอินทรีย์ อัตรา 500 กรัมต่อต้น พร้อมกับรดปุ๋ยยูเรีย อัตรา 10 กรัมต่อน้ำ 20 ลิตร ปริมาณ 0.5 ลิตรต่อต้น และหลังจากนั้นทุกๆ 30 วัน ให้ปุ๋ยสูตร 16-16-16 อัตรา 10 กรัมต่อต้น จนถึงอายุ 120 วันหลังปลูก ปักค้ำเมื่ออายุ 45 วันหลังหยอดเมล็ด พร้อมกับแขวนกาวเหนียวดักแมลงที่ทาบนแผ่นพลาสติกสีเหลืองขนาด 15x20 เซนติเมตร สูงจากพื้นแปลง 40 เซนติเมตร แปลงละ 3 แผ่น ป้องกันและกำจัดศัตรูพืชโดยการฉีดพ่นน้ำส้มควันไม้ผสมน้ำด้วยอัตราส่วน 1:50 v/v ตามการระบาดของโรคและแมลง

ตารางที่ 3.1 แหล่งรวบรวมเมล็ดพันธุ์กระเจี๊ยบแดง จำนวน 14 accessions

Accession No.	แหล่งรวบรวม	Accession No.	แหล่งรวบรวม
HS001	นครปฐม	HS008	ย่างกุ้ง ประเทศเมียนมาร์
HS002	กรุงเทพมหานคร	HS009	ย่างกุ้ง ประเทศเมียนมาร์
HS003	ย่างกุ้ง ประเทศเมียนมาร์	HS010	ย่างกุ้ง ประเทศเมียนมาร์
HS004	สุพรรณบุรี	HS011	ลพบุรี
HS005	ย่างกุ้ง ประเทศเมียนมาร์	HS012	ลพบุรี
HS006	ย่างกุ้ง ประเทศเมียนมาร์	HS013	ลพบุรี
HS007	ลพบุรี	HS014	อุดรธานี

การบันทึกข้อมูล

- 1) ลำต้น บันทึกข้อมูลในระยะดอกแรกบาน 50 % โดยเฉลี่ยจาก 10 ต้น ดังนี้
 - 1.1) ความสูงของลำต้น โดยวัดตั้งแต่โคนต้นส่วนเหนือดินถึงปลายยอด
 - 1.2) ความกว้างของทรงพุ่ม โดยวัดจากบริเวณที่กว้างที่สุด
 - 1.3) จำนวนกิ่งแขนงต่อต้น โดยนับกิ่งแขนงที่อยู่บนต้นหลักที่มีความยาวมากกว่า 2 เซนติเมตร
- 2) ใบ บันทึกจากใบที่เจริญเติบโตเต็มที่ในระยะดอกบานโดยเฉลี่ยจาก 10 ใบ ดังนี้
 - 2.1) ความยาวใบ วัดจากโคนใบจนถึงปลายใบ
 - 2.2) ความกว้างใบ วัดบริเวณกลางใบส่วนที่กว้างที่สุด
 - 2.3) ความยาวก้านใบ วัดจากข้อใบถึงโคนใบ
 - 2.4) จำนวนรอยหยักต่อใบ
 - 2.5) ความลึกรอยหยักของใบ โดยบันทึกความลึกเป็นหยักลึกน้อย ปานกลาง และมาก ดังภาพที่ 3.1
 - 2.6) สีสบนแผ่นใบและก้านใบ โดยใช้เครื่องวัดสียี่ห้อ Color Flex รุ่น CX2687 วัดในระบบ Hunter lab scale ($L^* a^* b^*$) โดยค่า L^* คือ ค่าความสว่างมีค่าตั้งแต่ 0-100 (0 คือ สีดำ และ 100 คือ สีขาว) ค่า a^* ค่าบวกแสดงว่ามีสีแดงมาก ค่าลบแสดงว่ามีสีเขียวมาก และค่า b^* ค่าบวกแสดงว่ามีสีเหลือง ค่าลบแสดงว่ามีสีน้ำเงินมาก หลังจากนั้นนำค่าที่ได้มาคำนวณหาค่า Chroma (C) และค่า Hue angle (H^0) จากสูตร

$$\text{Chroma} = (a^{*2} + b^{*2})^{1/2}$$

$$\text{Hue angle} = \arctangent (b^*/a^*) \quad \text{เมื่อ } a^* > 0 \text{ และ } b^* \geq 0$$

$$\arctangent (b^*/a^*) + 180^\circ \quad \text{เมื่อ } a^* < 0$$

$$\arctangent (b^*/a^*) + 360^\circ \quad \text{เมื่อ } a^* > 0 \text{ และ } b^* < 0$$
 โดยที่ ค่า C มีค่าเข้าใกล้ 0 หมายถึง วัตถุมีสีซีดจาง (เทา) มีค่าเข้าใกล้ 60 หมายถึง วัตถุมีสีเข้ม
 ค่า H^0 แสดงช่วงสีของวัตถุมีค่าอยู่ระหว่าง 0-360°

0°-45° แสดงสีม่วงแดงถึงสีส้มแดง	180°-225° แสดงสีเขียวถึงสีน้ำเงินเขียว
45°-90° แสดงสีส้มแดงถึงสีเหลือง	225°-270° แสดงสีน้ำเงินเขียวถึงสีน้ำเงิน
90°-135° แสดงสีเหลืองถึงสีเหลืองเขียว	270°-315° แสดงสีน้ำเงินถึงสีม่วง
135°-180° แสดงสีเหลืองเขียวถึงสีเขียว	315°-360° แสดงสีม่วงถึงสีม่วงแดง

3) ดอก

3.1) อายุการเกิดตาดอก บันทึกเมื่อตาดอกแรกมีความยาว 1 เซนติเมตรโดยเฉลี่ยจาก 10 ต้น

3.2) ข้อที่เกิดดอกแรก โดยเฉลี่ยจาก 10 ต้น

3.3) อายุเมื่อดอกแรกบาน 50 %

3.4) สีกลีบดอก โดยใช้เครื่องวัดสีหย้อ Color Flex รุ่น CX2687

4) กลีบเลี้ยง บันทึกเมื่อกลีบเลี้ยงเจริญเติบโตเต็มที่ขณะที่ปลายกลีบเลี้ยงยังปิดอยู่และในระยะผลแก่ โดยเฉลี่ยจาก 10 ตัวอย่าง ดังนี้

4.1) สีกลีบเลี้ยง โดยใช้เครื่องวัดสีหย้อ Color Flex รุ่น CX2687

4.2) ความยาวกลีบเลี้ยง โดยวัดตั้งแต่โคนถึงปลายกลีบเลี้ยง

4.3) ความกว้างกลีบเลี้ยง โดยวัดบริเวณที่กว้างที่สุดของกลีบเลี้ยง

4.4) ความหนากลิบเลี้ยง โดยใช้เวอร์เนียร์คาลิเปอร์วัดบริเวณที่หนาที่สุดของกลีบเลี้ยง

4.5) น้ำหนักสดและน้ำหนักแห้งของกลีบเลี้ยง โดยน้ำหนักแห้งของกลีบเลี้ยง บันทึกหลังอบที่อุณหภูมิ 50°C เป็นเวลา 72 ชั่วโมง

5) ผล บันทึกในระยะเก็บเกี่ยวกลีบเลี้ยง (ผลอ่อน) และเมื่อแก่ โดยเฉลี่ยจาก 10 ตัวอย่าง ดังนี้

5.1) ความยาวและความกว้างของผล

5.2) น้ำหนักสด

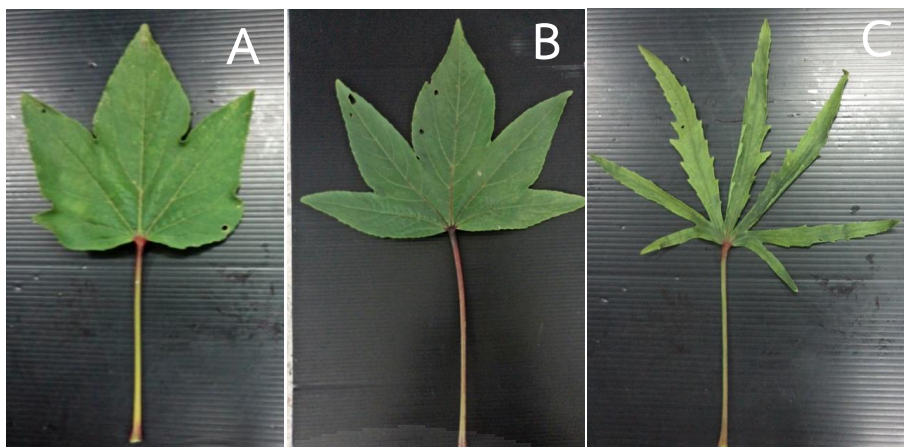
6) เมล็ด บันทึกเมื่อเก็บเกี่ยวผลแก่ ดังนี้

6.1) สีของเมล็ด โดยใช้เครื่องวัดสีหย้อ Color Flex รุ่น CX2687

6.2) จำนวนเมล็ดต่อผล เฉลี่ยจาก 10 ตัวอย่าง

6.3) น้ำหนัก 100 เมล็ด เฉลี่ยจาก 4 ซ้ำ

การวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติ นำข้อมูลแต่ละซ้ำมาหาค่าเฉลี่ยและส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน โดยใช้โปรแกรมmicrosoft excel 2007 และนำมาวิเคราะห์ข้อมูลตัวแปรหลายตัว (multivariable analysis) โดยวิเคราะห์การจัดกลุ่ม (cluster analysis) จัดทำ dendrogram หรือ phylogenetic tree ด้วยวิธี UPGMA (unweighted pair-group method with arithmetic average) โดยใช้ค่า Euclidean distance ด้วยโปรแกรม SPSS



ภาพที่ 3.1 ความลึกของรอยหยักบนใบกระเจี๊ยบแดง A) หยักเล็กน้อย B) หยักลึกปานกลาง และ C) หยักลึกมาก

3.2 สารทุติยภูมิในกลีบเลี้ยงและใบของกระเจี๊ยบแดง

ศึกษาสารทุติยภูมิในกระเจี๊ยบแดงจำนวน 14 accessions (ตารางที่ 3.1) โดยเพาะกล้า ในวันที่ 15 สิงหาคม พ.ศ. 2558 ในสภาพเพาะที่มีวัสดุปลูกเป็นดินผสมและขุยมะพร้าว อัตราส่วน 1:1 โดยปริมาตร เมื่อต้นกล้าอายุ 7 วันหลังเพาะเมล็ด ย้ายปลูกในแปลงที่คลุมด้วย polyethylene film แปลงขนาดกว้าง 0.8 เมตร ยาว 9 เมตร จำนวน 8 แปลง ในแต่ละแปลงปลูก 1 แถว ระยะห่างระหว่างต้น 0.8 เมตร แปลงละ 10 ต้น ให้น้ำทุกวัน และลดการให้น้ำในช่วงหลังจากติดฝัก โดยให้วันเว้นวัน การให้ปุ๋ย ใส่ปุ๋ยคอก รองพื้นอัตรา 100 กิโลกรัมต่อแปลง เมื่ออายุ 7 วันหลังย้ายปลูก ให้ปุ๋ยยูเรีย อัตรา 10 กรัมต่อน้ำ 20 ลิตร ปริมาณ 0.5 ลิตรต่อต้น เมื่ออายุ 30 วันหลังย้ายปลูก ให้ปุ๋ยสูตร 16-16-16 อัตรา 10 กรัมต่อต้น และหลังจากนั้นทุกๆ 30 วัน จนถึงอายุ 120 วันหลังย้ายปลูก กำจัดวัชพืชทุกครั้งหลังใส่ปุ๋ย ป้องกันและกำจัดศัตรูพืชตามการระบาดของโรคและแมลง เก็บเกี่ยวกลีบเลี้ยงในขณะที่ยังเขียวเจริญเติบโตเต็มที่ (ภาพที่ 3.2) เมื่อต้นมีอายุ 80-100 วันหลังย้ายปลูก ส่วนใบเก็บเกี่ยวใบที่เจริญเติบโตเต็มที่ โดยเก็บใบที่ 20-25 นับจากปลายยอดลำต้นหลักลงมา เมื่อต้นอายุ 70 วันหลังย้ายปลูก ก่อนเกิดตาดอก นำกลีบเลี้ยงและใบมาอบแห้งที่อุณหภูมิ 50 °C นาน 72 ชั่วโมง เพื่อนำไปสกัดและวิเคราะห์สารทุติยภูมิ ดังนี้



ภาพที่ 3.2 กลีบเลี้ยงกระเจี๊ยบแดงที่เก็บเกี่ยว A) สีแดง B) สีส้มแดง C) สีเขียว

3.2.1 สารทุติยภูมิในกลีบเลี้ยงของกระเจี๊ยบแดง

การเตรียมสารสกัดจากกลีบเลี้ยง โดยดัดแปลงจากวิธีของ Chumsri et al. (2008) นำกลีบเลี้ยงอบแห้งมาจำนวน 10 กรัม เติมน้ำกลั่นโดยใช้อัตราส่วน 1:10 โดยน้ำหนักต่อปริมาตร นำมาต้มที่อุณหภูมิ 60°C นาน 30 นาที จากนั้นนำมากรองด้วยผ้าขาวบาง ทำการสกัดซ้ำอีกครั้งโดยใช้ตัวทำละลายและปริมาตรเหมือนเดิม นำสารสกัดที่ได้มาต้มระเหยตัวทำละลายออกนาน 30 นาที และทำให้แห้งด้วยวิธี vacuum dry เป็นเวลา 24 ชั่วโมงหรือจนกว่าจะแห้ง จากนั้นนำมาบดเป็นผงด้วยโกร่งบดยา ชั่งน้ำหนักและคำนวณหาปริมาณสารสกัด (% yield) จากสูตร

$$\% \text{ สารสกัด} = (\text{น้ำหนักสารสกัด} / \text{น้ำหนักเริ่มต้นที่ใช้หมัก}) \times 100$$

นำสารสกัดมาบันทึกค่าสีและค่า pH ของสารสกัด ดัดแปลงจากวิธีของ แฉล้ม และคณะ (2545) และสุภาวงศ์ (2552) วัดค่าสีและค่า pH โดยนำสารสกัดกลีบเลี้ยงกระเจี๊ยบแดงมาละลายด้วยน้ำกลั่น ให้มีความเข้มข้น 1 mg/ml นำไปวัดค่า pH ด้วยเครื่อง pH meter และวัดค่าสีด้วยเครื่องวัดสียี่ห้อ Color Flex รุ่น CX2687 จากนั้นศึกษาปริมาณสารทุติยภูมิในกลีบเลี้ยง ดังนี้

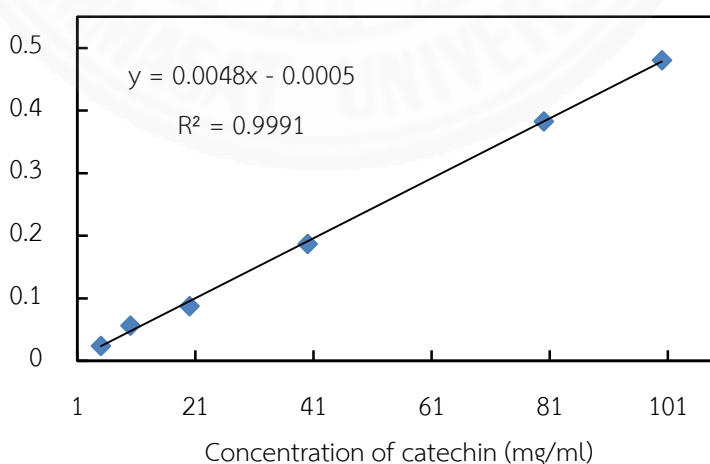
แอนโทไซยานินทั้งหมด (total anthocyanins) วิเคราะห์ด้วยวิธี pH differential โดยดัดแปลงจากวิธีของ Lee et al. (2005) นำสารสกัดกลีบเลี้ยงกระเจี๊ยบแดงมาละลายด้วยน้ำกลั่น ให้มีความเข้มข้น 1 mg/ml แบ่งสารละลายเป็น 2 หลอด หลอดทดลองที่ 1 ปิดเตสารละลายมา 2 ml เติมสารละลายบัฟเฟอร์ pH 1.0 (0.025 M potassium chloride) ปริมาตร 10 ml และหลอดที่ 2 ปิดเตสารละลายมา 2 ml เติมสารละลายบัฟเฟอร์ pH 4.5 (0.4 M sodium acetate) ปริมาตร 10 ml ตั้งทิ้งไว้ที่อุณหภูมิห้อง นาน 30 นาที จากนั้นนำไปวัดค่าการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 520 และ 700 nm ตามลำดับ ด้วยเครื่อง spectrophotometer ยี่ห้อ shimadzu รุ่น UV-1700 คำนวณหาปริมาณแอนโทไซยานินทั้งหมด จากสมการ

$$\text{ปริมาณแอนโทไซยานิน} = (A \times MW \times DF \times 10^3) / (\epsilon \times l)$$

โดยที่ A = (A520 nm – A700 nm) pH 1.0 – (A520 nm – A700 nm) pH 4.5
 MW = น้ำหนักโมเลกุลของ cyanidin-3-glucoside (cyd-3-glu) เท่ากับ 449.2 g/mol
 DF = dilution factor ของสารละลายตัวอย่าง (ปริมาตรสารละลายทั้งหมด/ปริมาตรสารสกัด)
 l = ความกว้างของคิวเวต (1 cm)
 ε = โมลาร์แอบซอร์บติวิตี (molar adsorptivity) ของ cyd-3-glu ในสารละลายบัฟเฟอร์ pH 1.0 ซึ่งเท่ากับ 26,900 L/mol/cm
 รายงานผลในรูปของ mg cyd-3-glu /l

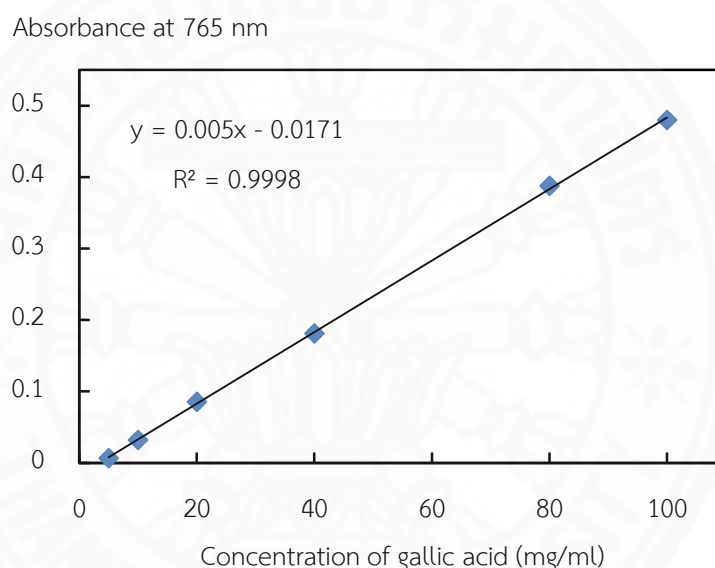
ฟลาโวนอยด์ทั้งหมด (total flavonoid) วิเคราะห์โดยดัดแปลงจากวิธีของ Zhu et al. (2010) นำสารสกัดกลีบเลี้ยงกระเจี๊ยบแดงมาละลายด้วยน้ำกลั่น ให้มีความเข้มข้น 1 mg/ml จากนั้นปีเปตสารละลายใส่ในหลอดทดลองปริมาตร 500 µl เติม 5% NaNO₂ ปริมาตร 75 µl ผสมให้เข้ากันเป็นเวลา 6 นาที และเติม 10% AlCl₃ ปริมาตร 150 µl ผสมให้เข้ากันเป็นเวลา 6 นาที จากนั้นเติม 1M NaOH ปริมาตร 500 µl สุดท้ายเติมน้ำกลั่นปริมาตร 275 µl บ่มไว้นาน 15 นาที ที่อุณหภูมิห้อง จากนั้นปีเปตสารละลายลงใน 96 well-microplates ปริมาตร 200 µl นำไปวัดค่าการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 510 nm ด้วยเครื่อง Microplate Reader ยี่ห้อ Biotek รุ่น PowerWave XS คำนวณปริมาณฟลาโวนอยด์ทั้งหมดเปรียบเทียบกับกราฟมาตรฐาน catechin (ภาพที่ 3.3)

Absorbance at 510 nm



ภาพที่ 3.3 กราฟมาตรฐานของสารละลาย catechin

สารประกอบฟีนอลิกทั้งหมด (total phenolic) วิเคราะห์ด้วยวิธี Folin-Ciocalteu colorimetric โดยดัดแปลงจากวิธีของ Folin and Ciocalteu (1927) นำสารสกัดกลีบเลี้ยงกระเจี๊ยบแดงมาละลายด้วยน้ำกลั่น ให้มีความเข้มข้น 1 mg/ml จากนั้นปิเปตสารละลาย ปริมาตร 20 μ l ใส่ใน 96 well-microplates เติม 2M Folin-Ciocalteu's reagent เจือจาง 10 เท่า ปริมาตร 100 μ l และเติมสารละลาย 7.5% Na_2CO_3 ปริมาตร 80 μ l บ่มไว้ในที่มืด 30 นาที ที่อุณหภูมิห้อง นำไปวัดค่าการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 765 nm ด้วยเครื่อง Microplate Reader ยี่ห้อ Biotek รุ่น PowerWave XS คำนวณปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมดเปรียบเทียบกับกราฟมาตรฐาน gallic acid (ภาพที่ 3.4)



ภาพที่ 3.4 กราฟมาตรฐานของสารละลาย gallic acid

ฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระ โดยวิธี DPPH scavenging activity ดัดแปลงจากวิธีของ Yamasaki et al. (1994) อ้างโดย Jaiaree (2010) นำสารสกัดกลีบเลี้ยงกระเจี๊ยบแดงมาละลายด้วยน้ำกลั่น ให้มีความเข้มข้น 1 mg/ml จากนั้นเจือจางให้มีความเข้มข้นสุดท้ายเป็น 200 100 20 และ 2 μ g/ml ปิเปตสารละลายแต่ละความเข้มข้นปริมาตร 100 μ l ลงใน 96 well-microplates เติมสารละลาย DPPH ปริมาตร 100 μ l บ่มไว้ในที่มืด 30 นาที ที่อุณหภูมิห้อง นำไปวัดค่าการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 520 nm ด้วยเครื่อง Microplate Reader ยี่ห้อ Biotek รุ่น PowerWave XS คำนวณหา % inhibition โดยใช้สูตร

$$\% \text{ inhibition} = \frac{[\text{Abs}_{\text{control}} - \text{Abs}_{\text{sample}}]}{\text{Abs}_{\text{control}}} \times 100$$

เมื่อ $Abs_{control}$ = ค่าการดูดกลืนแสงของ control

Abs_{sample} = ค่าการดูดกลืนแสงของ sample

รายงานผลเป็นค่า EC_{50} (ค่าความสามารถของสารสกัดที่สามารถยับยั้งอนุมูล DPPH ได้ที่ 50%) โดยคำนวณได้จากการนำค่า % inhibition ที่ความเข้มข้นต่างๆ มากำหนดจุดในกราฟระหว่างค่าความเข้มข้นของสารละลายมาตรฐานหรือสารสกัด (แกน x) และ % inhibition (แกน y) คำนวณค่าจากสมการลอการิทึมเปรียบเทียบค่าความสามารถของสารต้านอนุมูลอิสระระหว่างตัวอย่างกับสารละลายมาตรฐาน

3.2.2 สารทุติยภูมิในใบของกระเจี๊ยบแดง

การเตรียมสารสกัดจากใบ ตามวิธีของ Worawattananutai et al. (2014) โดยนำใบกระเจี๊ยบแดงที่ได้จากการอบแห้งมาจำนวน 10 g สกัดด้วย 95% ethanol โดยใช้อัตราส่วน 1:10 โดยน้ำหนักต่อปริมาตร หมักไว้ 72 ชั่วโมง จากนั้นนำมากรองด้วยกระดาษกรอง whatman เบอร์ 1 ทำการสกัดซ้ำอีก 2 ครั้ง โดยใช้ตัวทำละลายและปริมาตรเหมือนเดิม นำสารสกัดที่ได้มาระเหยตัวทำละลายออก โดยใช้เครื่อง Rotary Evaporator ที่อุณหภูมิ 50 °C และทำให้แห้งด้วยวิธี vacuum dry เป็นเวลา 24 ชั่วโมงหรือจนกว่าจะแห้ง จะได้สารสกัดใบกระเจี๊ยบแดง และคำนวณหา % yield เช่นเดียวกับการเตรียมสารสกัดจากกลีบเลี้ยง นำสารสกัดมาวัดค่าสี ดัดแปลงจากวิธีของ แฉล้ม และคณะ (2545) และศึกษาปริมาณสารทุติยภูมิในใบ ดังนี้

สารประกอบฟีนอลิกทั้งหมด (total phenolic) วิเคราะห์ด้วยวิธี Folin-Ciocalteu colorimetric ดัดแปลงจากวิธีของ Folin and Ciocalteu (1927) นำสารสกัดใบกระเจี๊ยบแดงมาละลายด้วยตัวทำละลาย absolute ethanol ให้มีความเข้มข้น 1 mg/ml วิเคราะห์ฤทธิ์สารประกอบฟีนอลิกทั้งหมดในใบ เช่นเดียวกับการวิเคราะห์ในกลีบเลี้ยง

ปริมาณแคโรทีนอยด์ (carotenoid) ตามวิธีของ Lin et al. (2013) นำใบกระเจี๊ยบแดงอบแห้งมา 0.05 g หมักกับ 80 % acetone ปริมาตร 1 ml นาน 24 ชั่วโมง ที่อุณหภูมิ 4 °C จากนั้นนำไปปั่นเหวี่ยงที่ความเร็วรอบ 13,000 รอบต่อนาที นาน 5 นาที แล้วดูดสารละลายส่วนใสปริมาตร 200 μ l ลงใน 96 well-microplates แล้วนำไปวัดค่าการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 663 645 และ 470 nm ด้วยเครื่อง microplate reader ยี่ห้อ Biotek รุ่น PowerWave XS โดยใช้ 80 % acetone ปริมาตร 200 μ l เป็น blank ปริมาณแคโรทีนอยด์คำนวณจากค่าความสัมพันธ์ของ chlorophyll a (Chl a) และ chlorophyll b (Chl b) ที่ความยาวคลื่นต่างๆ จากสมการ ดังนี้

$$Chl\ a = (12.72 \times Abs_{663}) - (2.59 \times Abs_{645})$$

$$Chl\ b = (22.88 \times Abs_{645}) - (4.67 \times Abs_{663})$$

$$Carotenoid = (1000 \times Abs_{470} - 3.27 \times Chl\ a - 104 \times Chl\ b) / 229$$

รายงานผลในหน่วย μ g/g dry weight

ฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระ โดยวิธี DPPH scavenging activity ดัดแปลงจากวิธีของ Yamasaki et al. (1994) อ้างโดย Jaiaree (2010) นำสารสกัดใบกระเจี๊ยบแดงมาละลายด้วยตัวทำละลาย absolute ethanol ให้มีความเข้มข้น 1 mg/ml จากนั้นเจือจางให้มีความเข้มข้นสุดท้ายเป็น 200 100 20 และ 2 µg/ml วิเคราะห์ฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระในใบ เช่นเดียวกับการวิเคราะห์ในกลีบเลี้ยง

การวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติ นำข้อมูลมาหาค่าเฉลี่ยและส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน รวมทั้งวิเคราะห์ความสัมพันธ์ (correlation) ระหว่างตัวแปรต่างๆ โดยใช้โปรแกรมสำเร็จรูป SAS

3.3 การให้ผลผลิตของกลีบเลี้ยงกระเจี๊ยบแดง

เมล็ดกระเจี๊ยบแดงที่เก็บรวบรวมจากแหล่งต่างๆ จำนวน 14 accessions (ตารางที่ 3.1) นำมาปลูก 2 ครั้ง โดยครั้งแรกหยอดเมล็ดกระเจี๊ยบแดง ในวันที่ 15 สิงหาคม พ.ศ. 2557 และปลูกครั้งที่ 2 ในวันที่ 15 สิงหาคม พ.ศ. 2558 มีการปลูกและดูแลรักษาเช่นเดียวกับข้อ 3.1 และ 3.2 ตามลำดับ เก็บเกี่ยวผลผลิตกลีบเลี้ยงเมื่อต้นอายุ 80 วันหลังปลูก และหลังจากนั้นทุกๆ 7 วัน ในขณะที่กลีบเลี้ยงเจริญเติบโตเต็มที่ (ภาพที่ 3.2) จนถึงอายุ 150 วันหลังปลูก บันทึกข้อมูลเฉลี่ยจาก 4 ต้น ดังนี้

- 1) จำนวนกลีบเลี้ยงต่อต้น
- 2) น้ำหนักสดและน้ำหนักแห้งต่อกลีบเลี้ยง โดยเฉลี่ยจาก 10 กลีบเลี้ยง
- 3) น้ำหนักสดและน้ำหนักแห้งของกลีบเลี้ยงต่อต้น
- 4) ผลผลิตน้ำหนักแห้งกลีบเลี้ยง คำนวณจากสูตร

$$\% \text{ ผลผลิตน้ำหนักแห้งกลีบเลี้ยง} = (\text{น้ำหนักแห้งกลีบเลี้ยง} / \text{น้ำหนักสดกลีบเลี้ยง}) \times 100$$

การวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติ นำข้อมูลมาหาค่าเฉลี่ยและส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน โดยใช้โปรแกรม Microsoft excel

3.4 ผลของอายุเก็บเกี่ยวต่อการให้ผลผลิตและสารทุติยภูมิในใบของกระเจี๊ยบแดง

วางแผนการทดลองแบบบล็อกสุ่มอย่างสมบูรณ์ (Randomized Complete Block Design; RCBD) งานทดลองนี้มี 4 ซ้ำๆ ละ 8 ต้น โดยเฉพาะเมล็ดกระเจี๊ยบแดง 2 accessions คือ HS004 ที่มีกลีบเลี้ยงสีแดง ใบสีเขียว ใบหยักลึกตั้งแต่หยักลึกปานกลาง และ HS006 ที่มีกลีบเลี้ยงสีเขียว ใบสีเขียวอ่อน ใบหยักลึกมาก วันที่ 17 เมษายน พ.ศ. 2558 ลงในสภาพเพาะที่ใช้วัสดุปลูกเป็นดินผสมและขุยมะพร้าว อัตราส่วน 1:1 โดยปริมาตร เมื่อต้นกล้าอายุ 7 วันหลังเพาะเมล็ด ย้ายปลูกใน

แปลงที่คลุมด้วย polyethylene film แปลงขนาดกว้าง 0.8 m ยาว 9 m จำนวน 8 แปลง ดูแลรักษาเช่นเดียวกับข้อ 3.2 เมื่ออายุ 40 55 70 85 และ 100 วันหลังย้ายปลูก เก็บเกี่ยวใบ โดยตัดส่วนยอดทุกยอดที่มีมากกว่า 10 ใบ นับจากปลายยอดที่ใบมีขนาดยาวมากกว่า 5 เซนติเมตร ลงมา (ภาพที่ 3.5) ซึ่งประกอบด้วยใบอ่อนและใบเพสลาด ทั้งนี้ในระยะที่เก็บเกี่ยวใบเป็นช่วงที่ต้นยังไม่ออกดอก บันทึกข้อมูลในแต่ละครั้งที่เก็บเกี่ยว ดังนี้

1) ความสูงและความกว้างทรงพุ่ม โดยบันทึกก่อนการเก็บเกี่ยวในแต่ละครั้ง

2) ผลผลิต

1.1) จำนวนยอดที่เก็บเกี่ยวต่อต้น

1.2) น้ำหนักสดและน้ำหนักแห้งยอดที่เก็บเกี่ยวต่อต้น โดยน้ำหนักแห้งยอด บันทึก

หลังอบที่อุณหภูมิ 50°C นาน 72 ชั่วโมง

1.3) ผลผลิตน้ำหนักแห้งยอด คำนวณจากสูตร

$$\% \text{ ผลผลิตน้ำหนักแห้งยอด} = (\text{น้ำหนักแห้งยอด} / \text{น้ำหนักสดยอด}) \times 100$$

3) ค่าสีใบ บันทึกค่า SPAD โดยใช้เครื่องวัดคลอโรฟิลล์ยี่ห้อ Konica Minolta รุ่น SPAD-502 และวัดสีบนแผ่นใบ โดยใช้เครื่องวัดสียี่ห้อ Color Flex รุ่น CX2687

4) สารสกัดใบ คำนวณจากสูตร

$$\% \text{ สารสกัด} = (\text{น้ำหนักสารสกัด} / \text{น้ำหนักเริ่มต้นที่ใช้หมัก}) \times 100$$

5) สารทุติยภูมิ วิเคราะห์ปริมาณแคโรทีนอยด์ทั้งหมด สารประกอบฟีนอลิกทั้งหมด และฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระ DPPH ในใบของกระเจียบแดง ทำการสกัดและวิเคราะห์เช่นเดียวกับข้อ 3.2.2



ภาพที่ 3.5 ใบและยอดอ่อนกระเจียบแดงที่เก็บเกี่ยว

การวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติ นำข้อมูลมาวิเคราะห์ความแปรปรวน (Analysis of variance) ตามวิธี CRD และเปรียบเทียบความแตกต่างของค่าเฉลี่ยโดยวิธีการ Duncan's Multiple Range Test (DMRT) ที่ระดับความเชื่อมั่น 95% โดยใช้โปรแกรมสำเร็จรูป SAS



ภาพที่ 3.6 แผนการศึกษา

3.5 สถานที่ทำการทดลอง

- แปลงทดลองและห้องปฏิบัติการเทคโนโลยีเมล็ดพันธุ์ ภาควิชาเทคโนโลยีการเกษตร และศูนย์เครื่องมือวิทยาศาสตร์ คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี
- ห้องปฏิบัติการหน่วยวิจัยและอาหาร สถานการแพทย์แผนไทยประยุกต์ และศูนย์เครื่องมือวิจัย คณะแพทยศาสตร์

มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์ ศูนย์รังสิต อำเภอคลองหลวง จังหวัดปทุมธานี

3.6 ระยะเวลาในการทดลอง

ใช้ระยะเวลาในการทำงานวิจัย 24 เดือน เริ่มตั้งแต่เดือนสิงหาคม พ.ศ. 2557 ถึงเดือนสิงหาคม พ.ศ. 2559

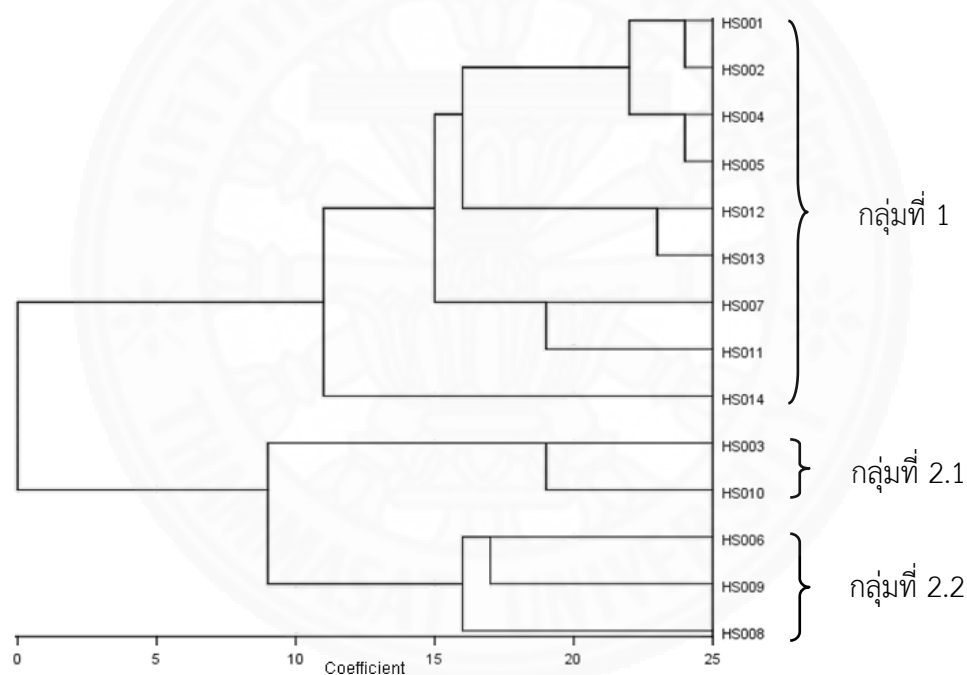


บทที่ 4

ผลและวิจารณ์ผลการทดลอง

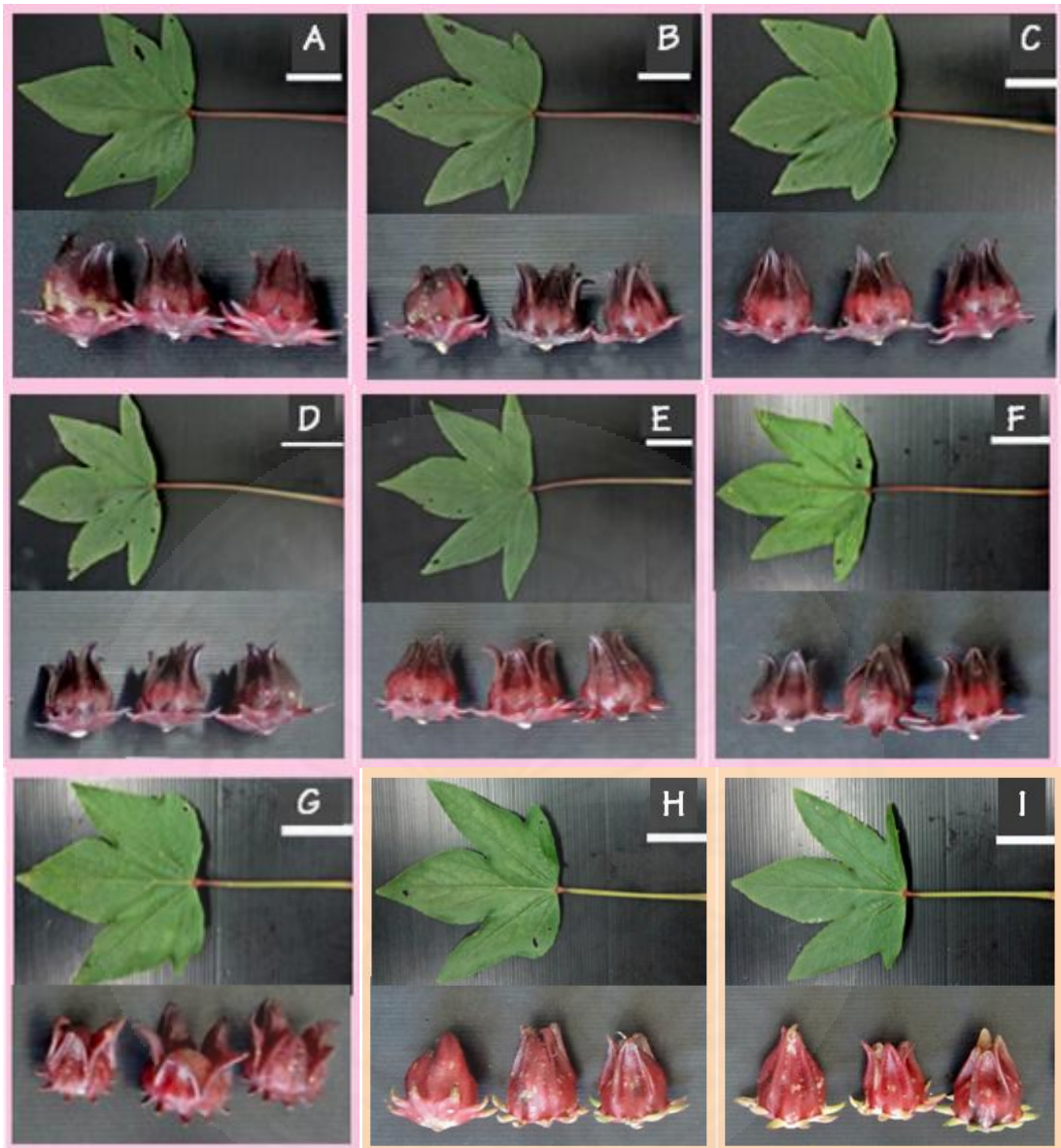
4.1 ลักษณะทางสัณฐานวิทยาของกระเจียบแดง

จากการรวบรวมข้อมูลลักษณะทางสัณฐานวิทยา 34 ลักษณะ ของกระเจียบแดง 14 accessions แล้วนำมาวิเคราะห์การจัดกลุ่มและทำ dendrogram ด้วยวิธี UPGMA โดยใช้ค่า squared Euclidean distance พบว่า สามารถแบ่งกระเจียบแดงทั้ง 14 accessions ออกได้เป็น 2 กลุ่ม (ภาพที่ 4.1 และตารางที่ 4.1) ดังนี้



ภาพที่ 4.1 ความสัมพันธ์ระหว่างกระเจียบแดง 14 accessions โดยใช้ลักษณะทางสัณฐานวิทยา

กลุ่มที่ 1 ประกอบด้วยกระเจียบแดง 9 accessions ในกลุ่มนี้มีต้นสูง พุ่มกว้าง จำนวนกิ่งน้อย ใบใหญ่และหยักลึกปานกลาง ก้านใบยาว ลำต้นและก้านใบมีสีแดง ผลใหญ่ ผลมีสีเหลืองอมเขียวและมีสีแดงที่ปลายผล กลีบดอกมีสีชมพูและโคนกลีบดอกมีสีแดงเข้ม (ภาพผนวกที่ ก. 1) กลีบเลี้ยงหนาและใหญ่ กลีบเลี้ยงส่วนใหญ่มีสีแดงเข้ม มีจำนวน 7 accessions คือ HS001 HS002 HS004 HS005 HS007 HS011 และ HS014 มีเพียง 2 accessions คือ HS012 และ HS013 ที่กลีบเลี้ยงสีส้มแดง (ภาพที่ 4.2)



ภาพที่ 4.2 กลีบเลี้ยงและใบของกระเจี๊ยบแดงในกลุ่มที่ 1 กลีบเลี้ยงสีแดง: A) HS001 B) HS002 C) HS004 D) HS005 E) HS007 F) HS011 และ G) HS014; กลีบเลี้ยงสีส้มแดง: H) HS012 และ I) HS013 ขีดสีขาวในภาพมีความยาว 5 เซนติเมตร

กลุ่มที่ 2 ประกอบด้วยกระเจี๊ยบแดง 5 accessions ในกลุ่มนี้มีทรงพุ่มเล็ก ใบเล็กและหยักลึกมาก ก้านใบสั้น ผลเล็ก ผลมีสีเขียว กลีบเลี้ยงบางและเล็ก จำนวนผลต่อต้นมีมาก จากสีกลีบเลี้ยง สีกลีบดอก สีลำต้น และก้านใบ กระเจี๊ยบแดงในกลุ่มนี้ ยังสามารถแบ่งออกเป็น 2 กลุ่มย่อย (ภาพที่ 4.3) คือ

กลุ่มย่อยที่ 2.1 กลุ่มที่มีกลีบเลี้ยงสีส้มแดงหรือสีแดงแกมเขียว กลีบดอกมีสีชมพู และโคนกลีบดอกมีสีแดงเข้ม (ภาพผนวกที่ ก. 1) ลำต้นและก้านใบสีแดง จำนวน 2 accessions คือ HS003 และ HS010

กลุ่มย่อยที่ 2.2 กลุ่มที่มีกลีบเลี้ยงสีเขียว กลีบดอกสีเหลืองแกมเขียว โคนกลีบดอกสีแดงและสีเหลืองเข้ม (ภาพผนวกที่ ก. 1) ลำต้นและก้านใบสีเขียว จำนวน 3 accessions คือ HS006 HS008 และ HS009



ภาพที่ 4.3 กลีบเลี้ยงและใบของกระเจี๊ยบแดงในกลุ่มที่ 2 กลีบเลี้ยงสีส้มแดง: A) HS003 และ B) HS010; กลีบเลี้ยงสีเขียว: C) HS006 D) HS008 และ E) HS009 ขีดสีขาวในภาพ มีความยาว 5 เซนติเมตร

จากผลการจัดกลุ่ม กระจับแดงในกลุ่มที่ 1 ส่วนใหญ่เก็บรวบรวมมาจากประเทศไทย ยกเว้น HS005 และกระจับแดงในกลุ่มที่ 2 เก็บรวบรวมมาจากประเทศเมียนมาร์ แสดงให้เห็นว่า กระจับแดงที่มาจากแหล่งเดียวกัน มีลักษณะสัณฐานวิทยาที่คล้ายกัน ซึ่งสอดคล้องกับการศึกษาของ Torres-Morán et al. (2011) ที่พบว่ากระจับแดงภายในกลุ่มเดียวกันมีลักษณะคล้ายกันและมีวิวัฒนาการมาจากแหล่งเดียวกัน โดยทั่วไปกระจับแดงที่มีกลีบเลี้ยงสีแดงจะถูกนำไปใช้ประโยชน์ต่างๆ มากมาย เช่น ใช้เป็นยาขับปัสสาวะ ลดการอักเสบ ลดไขมันในเลือด ลดความเสี่ยงต่อโรคมะเร็ง ต้านไวรัส และเสริมให้สุขภาพแข็งแรง เป็นต้น เนื่องจากมีสารแอนโทไซยานิน ซึ่งเป็นสารออกฤทธิ์ทางชีวภาพ มีประสิทธิภาพต้านอนุมูลอิสระสูงกว่าวิตามินซีและวิตามินอีถึง 2 เท่า (สุนทร, 2555) ในขณะที่กลุ่มที่มีกลีบเลี้ยงสีเขียว สามารถใช้ในอุตสาหกรรมเครื่องดื่มไร้สี และรสกระจับแดงได้นอกจากนี้กระจับแดงทั้งที่มีกลีบเลี้ยงสีแดงเข้ม สีแดง และสีเขียว มีฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระสูงสามารถยับยั้งการสร้าง reactive nitrogen species ซึ่งเป็นสาเหตุสำคัญที่ก่อให้เกิดโรคมะเร็ง (Hussein et al., 2010)

อย่างไรก็ตามกระจับแดงทั้งสองกลุ่มยังมีลักษณะบางประการคล้ายคลึงกัน ได้แก่ ข้อที่เกิตตาดอกแรก อายุการเกิดตาดอก วันที่ดอกแรกบาน 50 % และอายุที่เริ่มเก็บเกี่ยวผลผลิต (ตารางที่ 4.1) แสดงให้เห็นว่าการออกดอกของกระจับแดงทั้งสองกลุ่มมีการตอบสนองต่อสิ่งแวดล้อมในลักษณะเดียวกัน เนื่องจากเป็นพืชวันสั้นต้องการช่วงแสงสั้นกว่า 12 ชั่วโมง ในการเข้าสู่ระยะเจริญพันธุ์ (Ansari et al., 2013) ส่วนการให้ผลผลิตกลีบเลี้ยงจะเห็นว่ากระจับแดงในกลุ่มที่ 1 ให้ผลผลิตกลีบเลี้ยงแห้งสูง เนื่องจากมีกลีบเลี้ยงหนาและใหญ่ แต่มีจำนวนผลต่อต้นน้อย ส่วนกระจับแดงในกลุ่มที่ 2 ถึงแม้ว่าจะมีจำนวนผลต่อต้นมาก แต่ให้ผลผลิตกลีบเลี้ยงแห้งต่ำ เนื่องจากมีกลีบเลี้ยงบางและเล็ก

ตารางที่ 4.1 ค่าเฉลี่ยและส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน (SD) ของลักษณะทางสัณฐานวิทยา 34 ลักษณะ ของกระเจียบแดง 2 กลุ่ม

ลักษณะทางสัณฐานวิทยา	กลุ่มที่ 1		กลุ่มที่ 2.1		กลุ่มที่ 2.2	
	เฉลี่ย	SD	เฉลี่ย	SD	เฉลี่ย	SD
1. ความสูงทรงพุ่ม (ซม.)	128.76	12.54	113.75	6.15	110.73	18.46
2. ความกว้างทรงพุ่ม (ซม.)	115.20	14.63	106.55	6.43	105.17	0.29
3. จำนวนกิ่งแขนงต่อต้น	24.90	3.39	28.05	3.75	26.77	1.59
4. สีลำต้น ¹	1.55	0.01	1.56	0.01	178.45	0.03
5. ความยาวใบ (ซม.)	14.14	1.12	12.19	0.08	12.65	1.19
6. ความกว้างใบ (ซม.)	15.94	1.75	13.84	0.31	14.84	2.82
7. ความยาวก้านใบ (ซม.)	13.50	1.51	7.57	0.18	8.25	0.78
8. จำนวนรอยหยักต่อใบ	4.71	0.15	4.60	0.14	5.10	0.10
9. ความลึกรอยหยักของใบ ²	3.00	0.00	4.00	1.41	5.00	0.00
10. สีใบ ¹	178.45	0.00	178.44	0.00	178.44	0.00
11. สีก้านใบ ¹	21.20	58.97	1.52	0.01	178.47	0.05
12. อายุการเกิดตาดอกแรก	54.73	3.24	54.85	2.47	54.73	1.12
13. ข้อที่เกิดดอกแรก	21.87	2.10	20.80	2.26	22.50	1.45
14. อายุเมื่อดอกแรกบาน 50 %	71.56	2.60	71.55	5.73	71.30	0.87
15. สีกลีบดอก ¹	1.56	0.00	1.55	0.02	178.43	0.00
16. สีโคนกลีบดอก ¹	1.57	0.00	1.57	0.00	60.54	102.15
17. ความยาวกลีบเลี้ยง (ซม.)	5.09	0.42	4.93	0.05	4.75	0.19
18. ความกว้างกลีบเลี้ยง (ซม.)	4.76	0.65	3.29	0.05	2.95	0.11
19. ความหนากลีบเลี้ยง (ซม.)	0.43	0.04	0.33	0.04	0.33	0.03
20. น้ำหนักสดกลีบเลี้ยง (กรัมต่อกลีบเลี้ยง)	12.04	1.73	3.82	0.22	3.38	0.83
21. น้ำหนักแห้งกลีบเลี้ยง (กรัมต่อกลีบเลี้ยง)	1.23	0.16	0.41	0.01	0.40	0.02
22. สีกลีบเลี้ยง ¹	1.55	0.01	1.57	0.00	178.44	0.01
23. ความยาวผล (ซม.)	2.61	0.09	2.35	0.13	2.53	0.25
24. ความกว้างผล (ซม.)	2.24	0.14	1.50	0.16	1.45	0.01
25. น้ำหนักสดผลอ่อน (กรัมต่อผล)	5.32	0.54	2.85	0.09	3.07	0.09
26. น้ำหนักสดผลแก่ (กรัมต่อผล)	2.16	0.38	1.61	0.11	1.53	0.13
27. สีผล ¹	40.87	78.00	178.46	0.03	178.45	0.01
28. จำนวนเมล็ดต่อผล	23.46	3.03	26.10	0.28	23.03	3.01
29. น้ำหนัก 100 เมล็ด (กรัม)	2.50	0.27	3.16	0.03	2.93	0.08
30. สีเมล็ดสุกแก่ ¹	1.53	0.01	1.53	0.02	1.53	0.02
31. อายุเมื่อเริ่มเก็บเกี่ยวกลีบเลี้ยง	80.31	2.73	84.00	1.06	82.75	3.68
32. จำนวนกลีบเลี้ยงต่อต้น	202.52	49.56	582.82	70.82	373.75	83.75
33. ผลผลิตสดกลีบเลี้ยง (กิโลกรัมต่อต้น)	2.12	0.56	2.10	0.48	1.32	0.42
34. ผลผลิตแห้งกลีบเลี้ยง (กรัมต่อต้น)	240.76	72.57	232.74	26.16	145.21	32.32

¹ สี (°hue angle); 0°-45° สีม่วงแดงถึงสีส้มแดง 45°-90° สีส้มแดงถึงสีเหลือง 90°-135° สีเหลืองถึงสีเหลืองเขียว 135°-180° สีเหลืองเขียวถึงสีเขียว 180°-225° สีเขียวถึงสีน้ำเงินเขียว 225°-270° สีน้ำเงินเขียวถึงสีน้ำเงิน 270°-315° สีน้ำเงินถึงสีม่วง และ 315°-360° สีม่วงถึงสีม่วงแดง

² ความลึกรอยหยักของใบ; 1=หยักลึกน้อย 3=หยักลึกปานกลาง 5=หยักลึกมาก

4.2 สารพฤกษเคมีในกลีบเลี้ยงและใบของกระเจี๊ยบแดง

4.2.1 สารพฤกษเคมีในกลีบเลี้ยง

กระเจี๊ยบแดงทั้ง 2 กลุ่ม จากข้อ 4.1 นำมาสกัดด้วยน้ำและศึกษาสารพฤกษเคมีในกลีบเลี้ยง พบว่า ในกลุ่มที่ 1 กลีบเลี้ยงสีส้มแดง ให้สารสกัดสูงสุด 55.15 ± 2.63 % รองลงมาคือกลีบเลี้ยงสีแดงเข้มจากกลุ่มเดียวกัน กลีบเลี้ยงสีเขียวจากกลุ่มที่ 2.2 และกลีบเลี้ยงสีส้มแดงจากกลุ่มที่ 2.1 ซึ่งมีค่าเท่ากับ 50.19 ± 5.43 49.62 ± 4.60 และ 46.10 ± 5.21 % ตามลำดับ (ตารางที่ 4.2)

ค่า pH ของสารสกัดกลีบเลี้ยงกระเจี๊ยบแดงมีค่าใกล้เคียงกันทั้ง 2 กลุ่ม โดยมีค่า pH อยู่ในช่วง 2.94 ± 0.02 ถึง 3.03 ± 0.07 (ตารางที่ 4.3) ซึ่งมีความเป็นกรดสูงหรือเปรี้ยวมากเนื่องจากในกลีบเลี้ยงกระเจี๊ยบแดงส่วนใหญ่มีของแข็งที่ละลายน้ำได้ทั้งหมดเป็นกรดอินทรีย์ต่างๆ เช่น กรดแอสคอร์บิก กรดทาร์ทาริก กรดซิตริก และกรดมาลิก เป็นต้น (Salazar-González et al., 2012)

ค่าสีเขียว/สีแดง (a^*) และค่าความบริสุทธิ์ของสี (Chroma; C) ของสารสกัด (ตารางที่ 4.3) พบว่า ในกลุ่มที่ 1 ซึ่งมีกลีบเลี้ยงสีแดงเข้ม มีค่า a^* และ C สูงกว่ากลีบเลี้ยงสีส้มแดงที่อยู่ในกลุ่มเดียวกัน โดยมีค่า a^* เท่ากับ 0.47 ± 0.23 และค่า C เท่ากับ 0.64 ± 0.18 รองลงมาคือกระเจี๊ยบแดงที่มีกลีบเลี้ยงสีส้มแดงจากทั้งกลุ่มที่ 1 และกลุ่มที่ 2.1 มีค่า a^* (0.28 ± 0.12 และ 0.27 ± 0.20 ตามลำดับ) และ C (0.53 ± 0.12 และ 0.46 ± 0.32 ตามลำดับ) ใกล้เคียงกัน และกลุ่มที่ 2.2 ที่มีกลีบเลี้ยงสีเขียว มีค่า a^* (-0.21 ± 0.19) และ C (0.45 ± 0.22) ต่ำที่สุด ในขณะที่ค่าเฉดสี (Hue angle; H^0) ของสารสกัดกลีบเลี้ยงของกระเจี๊ยบแดงในกลุ่มที่ 1 ที่มีกลีบเลี้ยงสีแดงเข้มและสีส้มแดง ทั้งกลุ่มที่ 1 และกลุ่มที่ 2.1 มีค่าใกล้เคียงกัน คือ 0.67 ± 0.41 1.03 ± 0.18 และ 0.76 ± 0.44 ตามลำดับ ส่วนกลุ่มที่ 2.2 ที่มีกลีบเลี้ยงสีเขียวมีค่าเฉดสี 181.00 ± 0.44

เมื่อพิจารณาสารพฤกษเคมี (ตารางที่ 4.4) พบว่า ในกลุ่มที่ 1 ซึ่งมีกลีบเลี้ยงใหญ่และหนา สีแดงเข้ม มีสารพฤกษเคมีในกลีบเลี้ยงสูงกว่ากลีบเลี้ยงสีส้มแดงที่อยู่ในกลุ่มเดียวกัน โดยกลีบเลี้ยงสีแดงเข้มมีแอนโทไซยานินทั้งหมด 2.02 ± 1.00 mg cyd-3-glu/l ฟลาโวนอยด์ทั้งหมด 6.90 ± 0.90 mg catechin/g dry extract สารประกอบฟีนอลิกทั้งหมด 73.26 ± 6.48 mg GAE/g dry extract และฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระ DPPH มีค่า EC_{50} เท่ากับ 24.78 ± 5.10 $\mu\text{g/ml}$ ซึ่งมีสารพฤกษเคมีสูงและฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระ DPPH ดีกว่ากลีบเลี้ยงสีส้มแดงที่อยู่ในกลุ่มเดียวกัน

ส่วนกลุ่มที่ 2 มีกลีบเลี้ยงเล็กและบาง ในกลุ่มที่ 2.2 ซึ่งกลีบเลี้ยงสีเขียว มีแอนโทไซยานินทั้งหมด 0.40 ± 0.17 mg cyd-3-glu/l ฟลาโวนอยด์ทั้งหมด 4.85 ± 0.71 mg catechin/g dry extract สารประกอบฟีนอลิกทั้งหมด 56.46 ± 5.79 mg GAE/g dry extract และฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระ DPPH มีค่า EC_{50} เท่ากับ 121.90 ± 19.13 $\mu\text{g/ml}$ จะเห็นได้ว่าปริมาณสารพฤกษเคมีในกลีบ

เลี้ยงมีค่าต่ำและมีฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระ DPPH ต่ำกว่ากลุ่มที่ 2.1 กลีบเลี้ยงสีส้มแดงที่อยู่ในกลุ่มเดียวกัน

อย่างไรก็ตามกระเจี๊ยบแดงที่มีกลีบเลี้ยงสีส้มแดงจากทั้งกลุ่มที่ 1 และกลุ่มที่ 2.1 มีปริมาณสารฟลูโควินอยด์ใกล้เคียงกัน โดยมีแอนโทไซยานินทั้งหมด 0.78 ± 0.10 และ 0.88 ± 0.18 mg cyd-3-glu/l ตามลำดับ ฟลาโวนอยด์ทั้งหมด 5.91 ± 0.38 และ 5.31 ± 0.48 mg catechin/g dry extract ตามลำดับ สารประกอบฟีนอลิกทั้งหมด 56.49 ± 4.23 และ 58.72 ± 5.47 mg GAE/g dry extract ตามลำดับ และฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระ DPPH มีค่า EC_{50} เท่ากับ 73.06 ± 14.47 และ 82.29 ± 18.28 $\mu\text{g/ml}$ ตามลำดับ ส่วนฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระ DPPH ของ BHT ที่ใช้เป็น positive control มีค่า EC_{50} เท่ากับ 10.09 ± 1.17 $\mu\text{g/ml}$ (ตารางที่ 4.4) แสดงให้เห็นว่า ลักษณะและสีของกลีบเลี้ยงมีผลต่อปริมาณสารฟลูโควินอยด์ในกลีบเลี้ยงของกระเจี๊ยบแดง ซึ่งผลการทดลองนี้สอดคล้องกับการทดลองของ แฉล้ม และคณะ (2553) ที่รายงานว่ากระเจี๊ยบแดงแต่ละพันธุ์จะมีสารฟลูโควินอยด์ต่างกัน โดยพันธุ์ที่มีกลีบเลี้ยงหนา น้ำหนักมาก สีแดงเข้ม จะมีปริมาณสารแอนโทไซยานินและสารประกอบฟีนอลิกสูง ส่วนพันธุ์ที่มีกลีบเลี้ยงบาง น้ำหนักเบา สีแดง หรือบางพันธุ์มีสีแดงปนสีเขียว จะมีปริมาณสารแอนโทไซยานินและสารประกอบฟีนอลิกน้อย ส่วน Ottai et al. (2004) พบว่า กลีบเลี้ยงสีแดงเข้มของกระเจี๊ยบแดงจะมีปริมาณสารแอนโทไซยานินสูงที่สุด รองลงมาคือชนิดที่มีกลีบเลี้ยงสีแดงอ่อน ในขณะที่ชนิดกลีบเลี้ยงสีเขียวไม่มีหรือมีสารแอนโทไซยานินในปริมาณน้อยมาก นอกจากนี้ Christian and Jackson (2006) พบว่า กระเจี๊ยบแดงกลีบเลี้ยงสีส้มแดงมีฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระโดยรวมดีที่สุดเมื่อเทียบกับกลีบเลี้ยงสีขาว ในขณะที่ Hussein et al. (2010) กล่าวว่า กลีบเลี้ยงสีแดงเข้มของกระเจี๊ยบแดงจะมีปริมาณสารประกอบฟีนอลิกมากกว่ากลีบเลี้ยงสีเขียว และ Borrás-Linares et al. (2015) พบว่า แอนโทไซยานินมีในกลีบเลี้ยงของกระเจี๊ยบแดงสายพันธุ์สีส้มแดง ส่วนสายพันธุ์สีขาวหรือสีเขียวตรวจไม่พบแอนโทไซยานิน เดลฟินิดิน หรือไซยานิดินเลย

เมื่อศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระ DPPH กับสารฟลูโควินอยด์ในกลีบเลี้ยงของกระเจี๊ยบแดง (ตารางที่ 4.5) พบว่า แอนโทไซยานินทั้งหมด ฟลาโวนอยด์ทั้งหมด และสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมดมีความสัมพันธ์ในเชิงลบกับค่า EC_{50} ของฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระ DPPH โดยมีค่า $r = -0.620$ -0.613 และ -0.688 ตามลำดับ กล่าวคือ กลีบเลี้ยงที่มีสารฟลูโควินอยด์สูงจะทำให้มีฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระ DPPH ที่ดี (ค่า EC_{50} ต่ำ) ตามไปด้วย นอกจากนี้แอนโทไซยานินทั้งหมด ฟลาโวนอยด์ทั้งหมด และสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมดมีความสัมพันธ์ในเชิงบวกต่อกัน นั่นคือ กลีบเลี้ยงที่มีสารใดสารหนึ่งสูงจะมีอีกสารสูงเช่นกัน ผลการทดลองนี้สอดคล้องกับรายงานของ นิชาภา (2558) ที่พบว่า พันธุ์กระเจี๊ยบแดงที่มีสารฟลูโควินอยด์สูงกว่าจะมีฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระ DPPH ได้ดีกว่าพันธุ์กระเจี๊ยบแดงที่มีสารฟลูโควินอยด์ต่ำ และ Rahaman and Pal (2015) รายงานว่า สารประกอบฟีนอลิกทั้งหมด กรดแอสคอร์บิก แคโรทีนอยด์ทั้งหมด ปริมาณเอนไซม์แคตาเลส และเอนไซม์เพอรอกซิเดส

ในกลีบเลี้ยงของกระเจี๊ยบแดง มีความสัมพันธ์ไปในทิศทางเดียวกันกับฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระ (% inhibition) นั่นคือปริมาณสารพฤกษเคมีต่างๆ จะแสดงถึงประสิทธิภาพการต้านอนุมูลอิสระของพืช ส่วนฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระ DPPH (EC_{50}) กับค่า pH ของสารสกัด มีความสัมพันธ์เชิงลบ โดยมีค่า $r=-0.485$ แสดงว่า ค่า pH ของสารสกัดกลีบเลี้ยงที่มีค่าสูง (ความเป็นกรดลดลง) จะมีฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระ DPPH ที่ดี (ค่า EC_{50} ต่ำ) และฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระ DPPH กับค่าสีของสารสกัด พบว่า ค่า EC_{50} ของฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระ DPPH มีความสัมพันธ์เชิงลบกับค่า a^* ($r=-0.635$) และ C ($r=-0.422$) ในขณะที่ค่า H^0 ของสารสกัดกลีบเลี้ยงมีความสัมพันธ์กันทางบวกกับฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระ DPPH โดยมีค่า $r=0.748$ แสดงว่าเมื่อ ค่า a^* และ C สูง (กลีบเลี้ยงมีสีแดงเข้ม) สารสกัดจะมีฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระ DPPH ที่ดี (ค่า EC_{50} ต่ำ) และถ้าค่า a^* และ C ต่ำ (กลีบเลี้ยงมีสีเขียว) สารสกัดจะมีฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระ DPPH ต่ำ (ค่า EC_{50} สูง) ส่วนค่า H^0 มีค่าต่ำ (กลีบเลี้ยงมีสีแดง) สารสกัดจะมีฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระ DPPH ที่ดี (ค่า EC_{50} ต่ำ) และถ้าค่า H^0 มีค่าสูง (กลีบเลี้ยงมีสีเขียว) สารสกัดจะมีฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระ DPPH ต่ำ (ค่า EC_{50} สูง)

ค่า pH ของสารสกัดกลีบเลี้ยงมีความสัมพันธ์เชิงบวกกับแอนโทไซยานินทั้งหมด ฟลาโวนอยด์ทั้งหมด และสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมด โดยมีค่า $r=0.267$ 0.442 และ 0.317 ตามลำดับ (ตารางที่ 4.5) จะเห็นได้ว่า ค่า pH ของสารสกัดกลีบเลี้ยงที่มีค่าสูง (ความเป็นกรดลดลง) ทำให้ปริมาณสารทุติยภูมิเพิ่มขึ้น ซึ่งความสัมพันธ์ของค่า pH กับฟลาโวนอยด์ทั้งหมดและสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมดนั้นสอดคล้องกับรายงานของ นิชาภา (2558) แต่ความสัมพันธ์ของค่า pH กับแอนโทไซยานินทั้งหมดกลับแตกต่างกับรายงานของ รัตนา และคณะ (2557) ในสภาวะความเป็นกรดสูงหรือ pH ต่ำ จะมีปริมาณแอนโทไซยานินมากกว่าสภาวะความเป็นกรดต่ำหรือ pH สูง นอกจากนี้ค่า pH ของสารสกัดกลีบเลี้ยงยังมีความสัมพันธ์เชิงบวกกับค่า a^* ($r=0.284$) และเชิงลบกับค่า H^0 ($r=-0.572$)

ค่าสีของสารสกัดกับสารทุติยภูมิ พบว่า ค่า a^* มีความสัมพันธ์กันทางบวกกับแอนโทไซยานินทั้งหมด ฟลาโวนอยด์ทั้งหมด และสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมด โดยมีค่า $r=0.674$ 0.499 และ 0.506 ตามลำดับ เช่นเดียวกับค่า C ซึ่งมีความสัมพันธ์กันทางบวกกับแอนโทไซยานินทั้งหมด ฟลาโวนอยด์ทั้งหมด และสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมด โดยมีค่า $r=0.415$ 0.295 และ 0.436 ตามลำดับ (ตารางที่ 4.5) แสดงว่าเมื่อ ค่า a^* และ C สูง (สารสกัดกลีบเลี้ยงมีสีแดงเข้ม) จะมีสารทุติยภูมิสูง และถ้าค่า a^* และ C ต่ำ (สารสกัดกลีบเลี้ยงมีสีเขียว) จะมีสารทุติยภูมิต่ำ แต่ค่า H^0 ของสารสกัดกลับมีความสัมพันธ์เชิงลบกับแอนโทไซยานินทั้งหมด ฟลาโวนอยด์ทั้งหมด และสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมด โดยมีค่า $r=-0.491$ -0.572 และ -0.461 ตามลำดับ (ตารางที่ 4.5) กล่าวคือ ถ้าค่า H^0 มีค่าต่ำ (สารสกัดกลีบเลี้ยงมีสีแดงเข้มถึงสีส้มแดง) จะมีสารทุติยภูมิสูง และค่า H^0 มีค่าสูง (สารสกัดกลีบเลี้ยงมีสีเหลืองเขียวถึงสีน้ำเงิน) จะมีสารทุติยภูมิต่ำ

4.2.2 สารทุติยภูมิในใบ

นำใบกระเจี๊ยบแดงทั้ง 2 กลุ่ม จากข้อ 4.1 มาสกัดด้วยเอทานอล และศึกษาสารทุติยภูมิในใบ พบว่า สารสกัดใบทั้ง 2 กลุ่ม (ตารางที่ 4.2) มีค่าใกล้เคียงกัน คือ 31.20 ± 3.45 % ในกลุ่มที่ 1 กลีบเลี้ยงสีแดงเข้ม 31.66 ± 1.34 % ในกลุ่มที่ 1 กลีบเลี้ยงสีส้มแดง 32.62 ± 2.58 % ในกลุ่มที่ 2.1 กลีบเลี้ยงสีส้มแดง และ 32.59 ± 1.43 % ในกลุ่มที่ 2.2 กลีบเลี้ยงสีเขียว

เมื่อพิจารณาถึงค่าสีของสารสกัดใบ (ตารางที่ 4.6) พบว่า ใบกระเจี๊ยบแดงทั้ง 2 กลุ่มมีค่า $a^* C$ และ H^0 ใกล้เคียงกัน โดยมีค่าอยู่ในช่วง -4.55 ± 0.84 ถึง -6.54 ± 0.84 , 11.22 ± 1.48 ถึง 16.14 ± 2.55 และ 178.44 ± 0.00 ถึง 178.45 ± 0.00 ตามลำดับ

จากการศึกษาสารทุติยภูมิในใบ (ตารางที่ 4.7) พบว่า กระเจี๊ยบแดงทั้ง 2 กลุ่ม มีปริมาณสารทุติยภูมิและฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระ DPPH ใกล้เคียงกัน โดยมีสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมดในช่วง 52.67 ± 4.26 ถึง 56.67 ± 3.32 mg GAE/g dry extract แคลโรทีนอยด์ทั้งหมดในช่วง 6.56 ± 1.26 ถึง 7.04 ± 2.11 $\mu\text{g/g}$ dry weight คลอโรฟิลล์เอ ในช่วง 32.04 ± 2.98 ถึง 32.80 ± 2.86 $\mu\text{g/g}$ dry weight คลอโรฟิลล์บี ในช่วง 12.82 ± 4.25 ถึง 13.68 ± 6.98 $\mu\text{g/g}$ dry weight และฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระ DPPH มีค่า EC_{50} อยู่ในช่วง 78.77 ± 8.50 ถึง 90.91 ± 11.77 $\mu\text{g/ml}$ ส่วน BHT ที่ใช้เป็น positive control มีค่า EC_{50} เท่ากับ 9.29 ± 0.70 $\mu\text{g/ml}$ จะเห็นได้ว่าปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมดและฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระ DPPH มีค่าอยู่ในช่วงใกล้เคียงกับการทดลองของ Worawattananutai et al. (2014) ที่รายงานว่ สารสกัดจากใบกระเจี๊ยบแดงที่แห้งแล้วสกัดด้วยเอทานอลที่ความเข้มข้นต่างกันมีสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมดอยู่ในช่วง 44.31 ± 1.34 ถึง 57.00 ± 3.73 mg GAE/g dry extract และฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระ DPPH มีค่า EC_{50} อยู่ในช่วง 34.51 ± 2.62 ถึง >100 $\mu\text{g/ml}$ สำหรับฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระ DPPH ในใบกระเจี๊ยบแดงในการทดลองนี้มีค่า EC_{50} ไม่แตกต่างกันมาก อาจเพราะในแต่ละ accessions มีปริมาณสารประกอบฟีนอลิกและแคลโรทีนอยด์ใกล้เคียงกัน อีกทั้งพืชในกลุ่มเดียวกันจะมีฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระใกล้เคียงกัน (Reynertson et al., 2005) อย่างไรก็ตามปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมดในใบของการทดลองนี้มีค่ามากกว่าใบในการทดลองของ Zhen et al. (2016) ที่รายงานว่ สารสกัดใบกระเจี๊ยบแดง 25 accessions มีปริมาณสารประกอบฟีนอลิกเพียงแค่ว่า 18.98 ± 2.7 ถึง 29.9 ± 0.5 mg GAE/g dry extract

สำหรับฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระ DPPH ของกระเจี๊ยบแดงทั้งในกลีบเลี้ยงและในใบ พบว่า กลีบเลี้ยงสีแดงเข้มมีฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระ DPPH ดีกว่าในใบ (ตารางที่ 4.4 และ 4.7) ส่วนกลีบเลี้ยงสีเขียวมีฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระ DPPH ต่ำกว่าในใบ และกลีบเลี้ยงสีส้มแดงมีฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระ DPPH ใกล้เคียงกับที่พบในใบ ส่วนสารประกอบฟีนอลิกในใบของกระเจี๊ยบแดงทั้ง 2 กลุ่ม มีปริมาณสารประกอบฟีนอลิกสูงใกล้เคียงกับกลีบเลี้ยง ดังนั้นสารสกัดจากใบกระเจี๊ยบแดง จึงมีศักยภาพที่จะ

พัฒนาไปเป็นตำรับยาสมุนไพรใช้ป้องกันและรักษาเมะเร็งรวมถึงใช้เป็นยาต้านการอักเสบ ตามที่ Worawattananutai et al. (2014) และ Zhen et al. (2016) ได้กล่าวไว้

จากศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระ DPPH กับสารทุติยภูมิในใบของกระเจี๊ยบแดง (ตารางที่ 4.8) พบว่า คลอโรฟิลล์เอมีความสัมพันธ์เชิงบวกกับค่า EC_{50} ของฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระ DPPH สารประกอบฟีนอลิก และแคโรทีนอยด์ โดยมีค่า $r=0.265$ 0.290 และ 0.238 ตามลำดับ แสดงว่าเมื่อคลอโรฟิลล์เอในใบมีค่าสูง ใบจะมีฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระ DPPH สารประกอบฟีนอลิก และแคโรทีนอยด์สูง แต่ถ้าคลอโรฟิลล์เอในใบมีค่าต่ำ ใบจะมีฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระ DPPH สารประกอบฟีนอลิก และแคโรทีนอยด์ต่ำเช่นกัน ในขณะที่คลอโรฟิลล์บีมีความสัมพันธ์เชิงลบกับแคโรทีนอยด์ และมีความสัมพันธ์เชิงบวกกับคลอโรฟิลล์เอ โดยมีค่า $r=-0.344$ และ 0.497 ตามลำดับ หมายความว่าเมื่อคลอโรฟิลล์เอและคลอโรฟิลล์บีในใบมีค่าสูง ใบจะมีแคโรทีนอยด์ต่ำ แต่ถ้าคลอโรฟิลล์เอและคลอโรฟิลล์บีในใบมีค่าต่ำ แคโรทีนอยด์ในใบจะมีค่าสูง ส่วนค่า a^* มีความสัมพันธ์เชิงลบกับค่า C และมีความสัมพันธ์เชิงบวกกับค่า H^0 โดยมีค่า $r=-0.798$ และ 0.786 ตามลำดับ และค่า C มีความสัมพันธ์เชิงลบกับค่า H^0 โดยมีค่า $r=-0.684$ จะเห็นว่าเมื่อค่า a^* สูง (สีเขียวอ่อน) ค่า C จะต่ำ (วัตถุมีสีจางหรือสีอ่อน) และค่า H^0 สูง (ใบสีเขียวเหลือง) แต่ถ้าค่า a^* ต่ำ (สีเขียวเข้ม) ค่า C จะสูง (วัตถุมีสีเข้ม) และค่า H^0 ต่ำ (ใบสีเขียวเข้ม)

ตารางที่ 4.2 สารสกัดกลีบเลี้ยงและสารสกัดใบของกระเจี๊ยบแดง 2 กลุ่ม

กลุ่มที่	Accession no.	สารสกัดกลีบเลี้ยง (%)	สารสกัดใบ (%)
1 กลีบเลี้ยง สีแดงเข้ม	HS001	49.89±3.16 ¹	32.56±1.58
	HS002	48.33±1.48	29.11±5.03
	HS004	48.14±1.43	31.56±1.70
	HS005	42.68±2.23	31.32±0.75
	HS007	50.26±3.32	29.94±1.70
	HS011	58.06±5.15	31.92±7.71
	HS014	53.99±4.59	31.97±1.13
	เฉลี่ย	50.19±5.43	31.20±3.45
1 กลีบเลี้ยง สีส้มแดง	HS012	54.18±2.02	30.89±0.51
	HS013	56.12±3.09	32.44±1.53
	เฉลี่ย	55.15±2.63	31.66±1.34
2.1 กลีบเลี้ยง สีส้มแดง	HS003	43.52±6.14	33.89±1.22
	HS010	48.68±2.81	31.34±3.11
	เฉลี่ย	46.10±5.21	32.62±2.58
2.2 กลีบเลี้ยง สีเขียว	HS006	44.42±3.33	32.57±0.97
	HS008	52.51±2.67	33.50±1.03
	HS009	51.93±2.22	31.72±1.83
	เฉลี่ย	49.62±4.60	32.59±1.43

¹ ค่าเฉลี่ย±ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน

ตารางที่ 4.3 ค่า pH ค่าสีเขียว/สีแดง (a*) ค่า Chroma (C) และค่าสี Hue angle (H⁰) ของสารสกัด
กลีบเลี้ยงของกระเจี๊ยบแดง 2 กลุ่ม

กลุ่มที่	Accession No.	pH	a*	C	H ⁰
1 กลีบเลี้ยง สีแดงเข้ม	HS001	2.98±0.06 ¹	0.74±0.28	0.84±0.20	0.49±0.31
	HS002	2.99±0.03	0.32±0.11	0.64±0.22	0.99±0.28
	HS004	3.04±0.04	0.38±0.17	0.56±0.12	0.81±0.29
	HS005	3.07±0.05	0.29±0.13	0.55±0.16	0.96±0.31
	HS007	3.03±0.03	0.38±0.14	0.54±0.09	0.41±0.59
	HS011	2.99±0.01	0.62±0.29	0.74±0.12	0.49±0.51
	HS014	3.04±0.03	0.53±0.17	0.58±0.15	0.39±0.16
	เฉลี่ย	3.02±0.05	0.47±0.23	0.64±0.18	0.67±0.41
1 กลีบเลี้ยง สีส้มแดง	HS012	3.07±0.08	0.32±0.13	0.56±0.13	0.97±0.21
	HS013	2.98±0.03	0.23±0.09	0.50±0.12	1.10±0.12
	เฉลี่ย	3.03±0.07	0.28±0.12	0.53±0.12	1.03±0.18
2.1 กลีบเลี้ยง สีส้มแดง	HS003	3.00±0.02	0.16±0.04	0.29±0.15	0.80±0.47
	HS010	3.00±0.03	0.38±0.23	0.63±0.37	0.73±0.47
	เฉลี่ย	3.00±0.02	0.27±0.20	0.46±0.32	0.76±0.44
2.2 กลีบเลี้ยง สีเขียว	HS006	2.94±0.01	-0.09±0.06	0.24±0.16	180.93±0.66
	HS008	2.96±0.02	-0.29±0.20	0.54±0.18	180.99±0.39
	HS009	2.93±0.03	-0.26±0.24	0.57±0.20	181.09±0.34
	เฉลี่ย	2.94±0.02	-0.21±0.19	0.45±0.22	181.00±0.44

¹ ค่าเฉลี่ย±ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน

a* มีค่าบวกแสดงว่ามีสีแดง ค่าลบแสดงว่ามีสีเขียว

C มีค่าอยู่ระหว่าง 0-60 (0 คือวัตถุดิบสีจาง และ 60 คือวัตถุดิบสีเข้ม)

H⁰ มีค่าอยู่ระหว่าง 0-360 (0°-45° สีม่วงแดงถึงสีส้มแดง 45°-90° สีส้มแดงถึงสีเหลือง 90°-135° สีเหลืองถึงสีเหลืองเขียว 135°-180° สีเหลืองเขียวถึงสีเขียว 180°-225° สีเขียวถึงสีน้ำเงินเขียว 225°-270° สีน้ำเงินเขียวถึงสีน้ำเงิน 270°-315° สีน้ำเงินถึงสีม่วง และ 315°-360° สีม่วงถึงสีม่วงแดง)

ตารางที่ 4.4 ปริมาณแอนโทไซยานินทั้งหมด ฟลาโวนอยด์ทั้งหมด สารประกอบฟีนอลิกทั้งหมด และฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระ DPPH ของสารสกัดกลีบเลี้ยงของกระเจี๊ยบแดง 2 กลุ่ม

กลุ่มที่	Accession No.	แอนโทไซยานินทั้งหมด (mg cyd-3-glu/l)	ฟลาโวนอยด์ทั้งหมด (mg catechin/g dry extract)	สารประกอบฟีนอลิกทั้งหมด (mg GAE/g dry extract)	ฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระ DPPH (EC ₅₀ : µg/ml)
1 กลีบเลี้ยง สีแดงเข้ม	HS001	3.73±0.25 ¹	6.49±0.25	71.03±2.68	21.07±3.25
	HS002	0.95±0.25	7.47±0.80	78.47±7.07	31.65±2.70
	HS004	1.73±0.35	6.68±0.71	70.61±6.84	23.87±2.36
	HS005	1.08±0.26	8.21±0.72	76.07±6.25	27.04±5.06
	HS007	2.50±0.22	7.13±0.80	67.43±6.62	26.85±6.77
	HS011	1.68±0.30	6.06±0.57	75.43±5.58	20.74±3.43
	HS014	2.45±1.02	6.28±0.21	73.78±6.74	22.21±1.22
	เฉลี่ย	2.02±1.00	6.90±0.90	73.26±6.48	24.78±5.10
1 กลีบเลี้ยง สีส้มแดง	HS012	0.75±0.10	5.85±0.38	57.11±5.53	73.77±9.49
	HS013	0.80±0.12	5.97±0.42	55.88±3.16	72.35±19.92
	เฉลี่ย	0.78±0.10	5.91±0.38	56.49±4.23	73.06±14.47
2.1 กลีบเลี้ยง สีส้มแดง	HS003	0.88±0.25	5.01±0.17	55.44±5.00	92.42±17.84
	HS010	0.88±0.13	5.62±0.51	61.99±4.02	72.17±13.71
	เฉลี่ย	0.88±0.18	5.31±0.48	58.72±5.47	82.29±18.28
2.2 กลีบเลี้ยง สีเขียว	HS006	0.40±0.08	4.94±0.64	56.72±7.56	127.60±24.62
	HS008	0.38±0.15	4.36±0.53	56.50±5.92	128.59±13.20
	HS009	0.43±0.26	5.26±0.78	56.15±5.51	109.52±15.96
	เฉลี่ย	0.40±0.17	4.85±0.71	56.46±5.79	121.90±19.13
	BHT				10.09±1.17

¹ ค่าเฉลี่ย±ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน

ตารางที่ 4.5 ค่าสหสัมพันธ์ (Correlation coefficient, r) ระหว่างสารพฤกษเคมีกับฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระ DPPH ค่า pH ค่าสีเขียว/สีแดง (a*) ค่า Chroma (C) และค่าสี Hue angle (H⁰) ของสารสกัดกลีบเลี้ยงของกระเจียวแดง 2 กลุ่ม

Data	DPPH (EC ₅₀)	แอนโทไซยานิน	ฟลาโวนอยด์	สารประกอบฟีนอลิก	pH	a*	C
แอนโทไซยานิน	-0.620 ^{**}						
ฟลาโวนอยด์	-0.613 ^{**}	0.364 ^{**}					
สารประกอบฟีนอลิก	-0.688 ^{**}	0.459 ^{**}	0.637 ^{**}				
pH	-0.485 ^{**}	0.267 [*]	0.442 ^{**}	0.317 [*]			
a*	-0.635 ^{**}	0.674 ^{**}	0.499 ^{**}	0.506 ^{**}	0.284 [*]		
C	-0.422 ^{**}	0.415 ^{**}	0.295 [*]	0.436 ^{**}	0.061 ^{ns}	0.481 ^{**}	
H ⁰	0.748 ^{**}	-0.491 ^{**}	-0.572 ^{**}	-0.461 ^{**}	-0.572 ^{**}	-0.758 ^{**}	-0.258 ^{ns}

* มีความสัมพันธ์กันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (p<0.05)

** มีความสัมพันธ์กันอย่างมีนัยสำคัญยิ่งทางสถิติ (p<0.01)

ตารางที่ 4.6 ค่าสีเขียว/สีแดง (a^*) ค่า Chroma (C) และค่าสี Hue angle (H^0) ของสารสกัดใบของ
กระเจียบแดง 2 กลุ่ม

กลุ่มที่	Accession No.	a^*	C	H^0
1 กลีบเลี้ยง สีแดงเข้ม	HS001	-5.85 ± 0.74 ⁴¹	13.81 ± 1.49	178.45 ± 0.01
	HS002	-5.17 ± 0.92	12.82 ± 1.40	178.45 ± 0.01
	HS004	-5.35 ± 0.47	13.05 ± 0.75	178.45 ± 0.01
	HS005	-5.14 ± 0.48	11.72 ± 1.05	178.45 ± 0.00
	HS007	-6.15 ± 0.06	13.71 ± 0.18	178.44 ± 0.00
	HS011	-5.35 ± 0.77	11.56 ± 0.93	178.45 ± 0.01
	HS014	-5.30 ± 0.48	12.24 ± 1.24	178.45 ± 0.00
	เฉลี่ย	-5.47 ± 0.65	12.70 ± 1.28	178.45 ± 0.00
1 กลีบเลี้ยง สีส้มแดง	HS012	-5.00 ± 0.57	11.23 ± 2.09	178.45 ± 0.00
	HS013	-4.11 ± 0.89	11.21 ± 0.87	178.45 ± 0.01
	เฉลี่ย	-4.55 ± 0.84	11.22 ± 1.48	178.45 ± 0.00
2.1 กลีบเลี้ยง สีส้มแดง	HS003	-5.86 ± 0.67	12.62 ± 0.60	178.45 ± 0.01
	HS010	-5.22 ± 0.46	11.99 ± 1.18	178.45 ± 0.00
	เฉลี่ย	-5.54 ± 0.63	12.31 ± 0.93	178.45 ± 0.00
2.2 กลีบเลี้ยง สีเขียว	HS006	-5.87 ± 0.68	13.29 ± 1.26	178.44 ± 0.00
	HS008	-7.54 ± 0.10	18.96 ± 0.81	178.44 ± 0.00
	HS009	-6.22 ± 0.11	16.18 ± 0.51	178.44 ± 0.00
	เฉลี่ย	-6.54 ± 0.84	16.14 ± 2.55	178.44 ± 0.00

⁴¹ ค่าเฉลี่ย \pm ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน

a^* มีค่าบวกแสดงว่ามีสีแดง ค่าลบแสดงว่ามีสีเขียว

C มีค่าอยู่ระหว่าง 0-60 (0 คือวัตถุไม่มีสีจาง และ 60 คือวัตถุมีสีเข้ม)

H^0 มีค่าอยู่ระหว่าง 0-360 (0°-45° สีม่วงแดงถึงสีส้มแดง 45°-90° สีส้มแดงถึงสีเหลือง 90°-135° สีเหลืองถึงสีเหลืองเขียว 135°-180° สีเหลืองเขียวถึงสีเขียว 180°-225° สีเขียวถึงสีน้ำเงินเขียว 225°-270° สีน้ำเงินเขียวถึงสีน้ำเงิน 270°-315° สีน้ำเงินถึงสีม่วง และ 315°-360° สีม่วงถึงสีม่วงแดง)

ตารางที่ 4.7 ปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมด แคโรทีนอยด์ทั้งหมด คลอโรฟิลล์เอ คลอโรฟิลล์บี และฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระ DPPH ของสารสกัดใบของกระเจียวแดง 2 กลุ่ม

กลุ่มที่	Accession No.	สารประกอบฟีนอลิกทั้งหมด (mg GAE/g dry extract)	แคโรทีนอยด์ทั้งหมด ($\mu\text{g/g dry weight}$)	คลอโรฟิลล์เอ ($\mu\text{g/g dry weight}$)	คลอโรฟิลล์บี ($\mu\text{g/g dry weight}$)	ฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระ DPPH (EC_{50} : $\mu\text{g/ml}$)
1 กลีบเลี้ยง สีแดงเข้ม	HS001	54.80 \pm 6.38 ¹	6.34 \pm 0.54	32.31 \pm 1.80	10.71 \pm 4.94	88.50 \pm 8.97
	HS002	58.71 \pm 6.90	5.81 \pm 1.44	29.91 \pm 2.47	13.97 \pm 5.43	74.72 \pm 2.12
	HS004	54.50 \pm 3.09	7.07 \pm 0.69	33.81 \pm 0.47	15.58 \pm 2.79	100.00 \pm 6.97
	HS005	57.43 \pm 3.78	5.00 \pm 1.36	32.85 \pm 1.57	12.88 \pm 5.77	96.54 \pm 11.33
	HS007	54.64 \pm 4.03	7.30 \pm 0.52	33.55 \pm 0.35	11.55 \pm 1.89	95.40 \pm 8.56
	HS011	53.58 \pm 3.19	6.20 \pm 0.61	33.33 \pm 0.78	14.94 \pm 4.92	101.07 \pm 7.46
	HS014	56.34 \pm 1.58	8.18 \pm 0.36	33.22 \pm 0.63	10.13 \pm 2.13	80.14 \pm 5.26
	เฉลี่ย	55.71 \pm 4.32	6.56 \pm 1.26	32.71 \pm 1.74	12.82 \pm 4.25	90.91 \pm 11.77
1 กลีบเลี้ยง สีส้มแดง	HS012	56.46 \pm 4.00	6.71 \pm 0.38	32.03 \pm 3.37	14.23 \pm 4.02	74.88 \pm 8.28
	HS013	55.47 \pm 1.83	7.32 \pm 0.50	33.40 \pm 0.93	12.67 \pm 4.38	83.49 \pm 5.44
	เฉลี่ย	55.97 \pm 2.93	7.02 \pm 0.53	32.71 \pm 2.40	13.45 \pm 3.98	79.18 \pm 7.96
2.1 กลีบเลี้ยง สีส้มแดง	HS003	55.87 \pm 3.16	7.48 \pm 2.43	30.42 \pm 3.71	8.08 \pm 5.27	85.47 \pm 11.58
	HS010	57.48 \pm 3.74	6.49 \pm 0.84	33.65 \pm 0.23	19.27 \pm 1.58	86.54 \pm 10.76
	เฉลี่ย	56.67 \pm 3.32	6.98 \pm 1.76	32.04 \pm 2.98	13.68 \pm 6.98	86.00 \pm 10.36
2.2 กลีบเลี้ยง สีเขียว	HS006	51.43 \pm 6.06	8.30 \pm 1.54	33.53 \pm 0.75	10.28 \pm 5.19	81.26 \pm 7.63
	HS008	53.06 \pm 4.09	7.75 \pm 1.44	31.32 \pm 4.72	9.97 \pm 4.46	73.90 \pm 8.70
	HS009	53.53 \pm 3.15	5.05 \pm 1.97	33.54 \pm 1.65	18.42 \pm 9.90	81.15 \pm 9.13
	เฉลี่ย	52.67 \pm 4.26	7.04 \pm 2.11	32.80 \pm 2.86	12.89 \pm 7.50	78.77 \pm 8.50
	BHT					9.29 \pm 0.70

¹ ค่าเฉลี่ย \pm ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน

ตารางที่ 4.8 ค่าสหสัมพันธ์ (Correlation coefficient, r) ระหว่างสารพฤกษเคมีกับฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระ DPPH ค่า pH ค่าสีเขียว/สีแดง (a*) ค่า Chroma (C) และค่าสี Hue angle (H⁰) ในใบของกระเจี๊ยบแดง 2 กลุ่ม

Data	DPPH (EC ₅₀)	สารประกอบ ฟีนอลิก	แคโร ทีนอยด์	คลอโรฟิลล์ เอ	คลอโรฟิลล์ บี	a*	C
สารประกอบ ฟีนอลิก	-0.191 ^{ns}						
แคโรทีนอยด์	0.021 ^{ns}	-0.245 ^{ns}					
คลอโรฟิลล์เอ	0.265 [*]	0.290 [*]	0.328 [*]				
คลอโรฟิลล์บี	0.057 ^{ns}	0.026 ^{ns}	-0.344 ^{**}	0.479 ^{**}			
a*	0.092 ^{ns}	-0.073 ^{ns}	-0.181 ^{ns}	-0.073 ^{ns}	0.096 ^{ns}		
C	-0.229 ^{ns}	-0.017 ^{ns}	0.027 ^{ns}	-0.017 ^{ns}	-0.030 ^{ns}	-0.798 ^{**}	
H ⁰	-0.103 ^{ns}	-0.113 ^{ns}	-0.033 ^{ns}	-0.113 ^{ns}	0.052 ^{ns}	0.786 ^{**}	-0.684 ^{**}

ns ไม่มีความสัมพันธ์กันทางสถิติ

* มีความสัมพันธ์กันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (p<0.05)

** มีความสัมพันธ์กันอย่างมีนัยสำคัญยิ่งทางสถิติ (p<0.01)

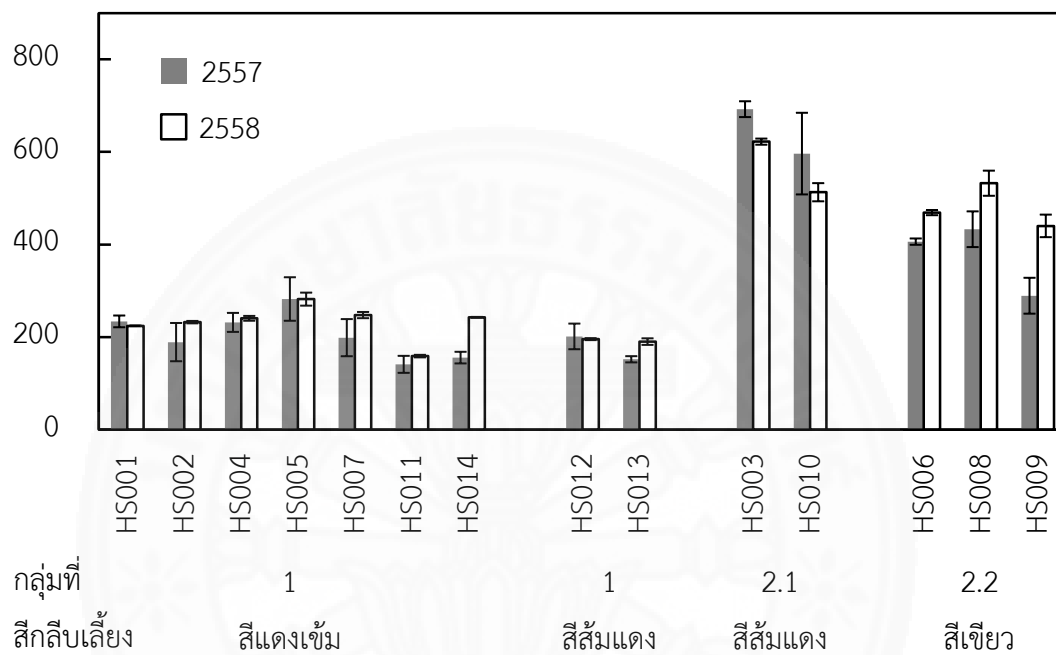
4.3 การให้ผลผลิตของกลีบเลี้ยงกระเจี๊ยบแดง

การให้ผลผลิตของกลีบเลี้ยงกระเจี๊ยบแดงทั้ง 2 กลุ่ม เมื่อปลูกใน พ.ศ. 2557 และ 2558 พบว่า ในกลุ่มที่ 2 กลีบเลี้ยงมีขนาดเล็กและบาง จะให้จำนวนกลีบเลี้ยงต่อต้นมาก โดยเฉพาะกลุ่มที่ 2.1 มีกลีบเลี้ยงต่อต้นจำนวนมากที่สุด และ HS003 มีจำนวนกลีบเลี้ยงต่อต้นสูงที่สุด 692.28 ± 17.08 และ 622.12 ± 6.63 กลีบเลี้ยงต่อต้น เมื่อปลูกใน พ.ศ. 2557 และ 2558 ตามลำดับ (ภาพที่ 4.4 และ ตารางผนวกที่ ข. 1) กระเจี๊ยบแดงในกลุ่มที่ 2.2 มีจำนวนกลีบเลี้ยงต่อต้นอยู่ในระดับปานกลาง โดยมีจำนวนกลีบเลี้ยงต่อต้น อยู่ในช่วง 289.27 ± 38.76 ถึง 432.95 ± 38.58 และ 440.17 ± 24.36 ถึง 532.33 ± 27.17 กลีบเลี้ยงต่อต้น เมื่อปลูกใน พ.ศ. 2557 และ 2558 ตามลำดับ ส่วนกระเจี๊ยบแดงในกลุ่มที่ 1 ซึ่งมีกลีบเลี้ยงใหญ่และหนา มีจำนวนกลีบเลี้ยงต่อต้นน้อย โดยมีจำนวนอยู่ในช่วง 151.98 ± 6.71 ถึง 282.21 ± 47.00 และ 158.87 ± 2.73 ถึง 281.94 ± 14.06 กลีบเลี้ยงต่อต้น เมื่อปลูกใน พ.ศ. 2557 และ 2558 ตามลำดับ จากผลการทดลองจะเห็นได้ว่ากระเจี๊ยบแดงที่กลีบเลี้ยงมีขนาดเล็กและบาง จะให้จำนวนกลีบเลี้ยงต่อต้นมาก ทั้งนี้อาจเนื่องจากกลีบเลี้ยงเล็กและบางจึงใช้อาหารน้อยในการพัฒนา จึงมีอาหารเพียงพอสำหรับการพัฒนาดอกเพิ่มขึ้นเรื่อยๆ ทำให้มีจำนวนดอกต่อต้นมาก ส่วนกระเจี๊ยบแดงที่กลีบเลี้ยงมีขนาดใหญ่และหนา ต้องใช้อาหารมากกว่าในการพัฒนา กลีบเลี้ยง จึงทำให้มีอาหารไม่เพียงพอสำหรับการพัฒนาดอกใหม่ๆ จำนวนกลีบเลี้ยงต่อต้นจึงน้อย ซึ่งผลการทดลองนี้ให้ผลสอดคล้องกับการทดลองของ Gebremedin (2015) ที่รายงานว่า จำนวนกลีบเลี้ยงต่อต้นของกระเจี๊ยบแดงพันธุ์ WG-Hibiscus-Jamaica ซึ่งเป็นพันธุ์ที่มีกลีบเลี้ยงบาง มีค่าสูงสุด 121.05 กลีบเลี้ยงต่อต้น ขณะที่พันธุ์ WG-Hibiscus-Sudan ซึ่งเป็นพันธุ์ที่มีกลีบเลี้ยงหนา มีค่าต่ำสุด 50.82 กลีบเลี้ยงต่อต้น

น้ำหนักต่อกลีบเลี้ยงของกระเจี๊ยบแดงทั้ง 2 กลุ่ม ที่ปลูกใน พ.ศ. 2557 และ 2558 (ภาพที่ 4.5-4.6 และ ตารางผนวกที่ ข.2) พบว่า ในกลุ่มที่ 1 ซึ่งมีกลีบเลี้ยงใหญ่และหนา มีน้ำหนักสดและน้ำหนักแห้งต่อกลีบเลี้ยงสูง โดยกลุ่มที่มีกลีบเลี้ยงสีส้มแดง ให้ผลผลิตน้ำหนักสดสูงสุด 11.94 ± 0.07 และ 9.43 ± 0.52 กรัมต่อกลีบเลี้ยง เมื่อปลูกใน พ.ศ. 2557 และ 2558 ตามลำดับ (ภาพที่ 4.5) และน้ำหนักแห้งของกลีบเลี้ยงสูงสุด 1.27 ± 0.02 และ 1.10 ± 0.04 กรัมต่อกลีบเลี้ยง เมื่อปลูกใน พ.ศ. 2557 และ 2558 ตามลำดับ (ภาพที่ 4.6) รองลงมาคือกลีบเลี้ยงสีแดงเข้มที่อยู่ในกลุ่มเดียวกัน ซึ่งให้ผลผลิตน้ำหนักสด 10.38 ± 1.10 และ 8.38 ± 1.54 กรัมต่อกลีบเลี้ยง เมื่อปลูกใน พ.ศ. 2557 และ 2558 ตามลำดับ และน้ำหนักแห้งของกลีบเลี้ยง 1.09 ± 0.12 และ 0.98 ± 0.17 กรัมต่อกลีบเลี้ยง เมื่อปลูกใน พ.ศ. 2557 และ 2558 ตามลำดับ ส่วนกระเจี๊ยบแดงในกลุ่มที่ 2 ซึ่งกลีบเลี้ยงมีขนาดเล็กและบาง มีน้ำหนักสดและน้ำหนักแห้งต่อกลีบเลี้ยงต่ำทั้งในกลุ่มที่ 2.1 กลีบเลี้ยงสีส้มแดงและกลุ่มที่ 2.2 กลีบเลี้ยงสีเขียว โดยมีน้ำหนักสดต่อกลีบเลี้ยงอยู่ในช่วง 3.48 ± 0.35 ถึง 3.59 ± 0.30 และ 2.98 ± 0.35 ถึง

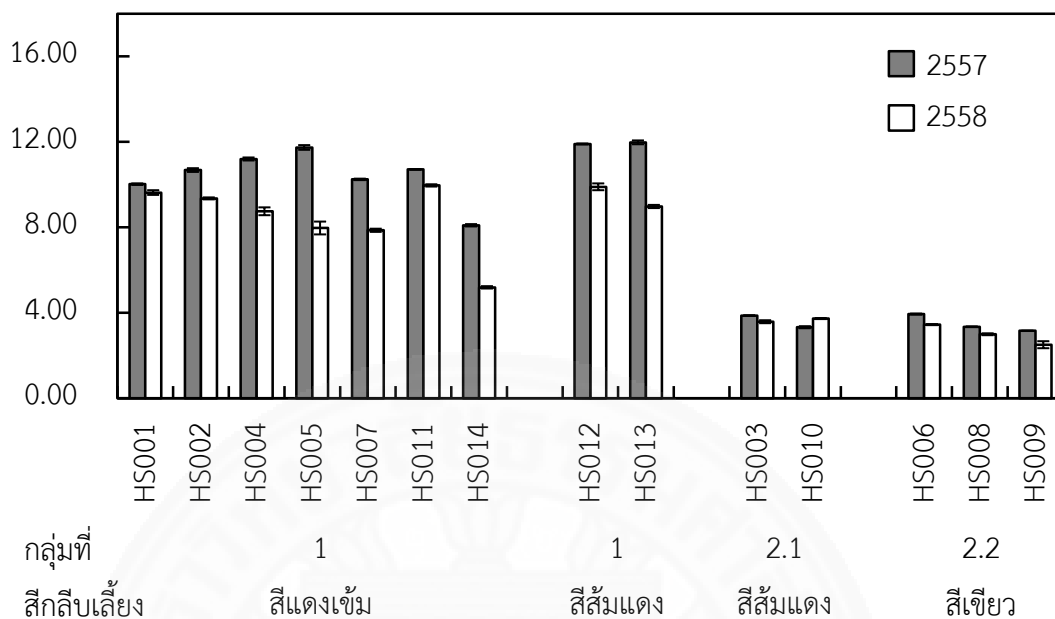
3.65±0.09 กรัมต่อกลีบเลี้ยง เมื่อปลูกใน พ.ศ. 2557 และ 2558 ตามลำดับ และน้ำหนักแห้งต่อกลีบเลี้ยงอยู่ในช่วง 0.39±0.01 ถึง 0.40±0.01 และ 0.42±0.01 ถึง 0.42±0.04 กรัมต่อกลีบเลี้ยง เมื่อปลูกใน พ.ศ. 2557 และ 2558 ตามลำดับ

จำนวนกลีบเลี้ยงต่อต้น



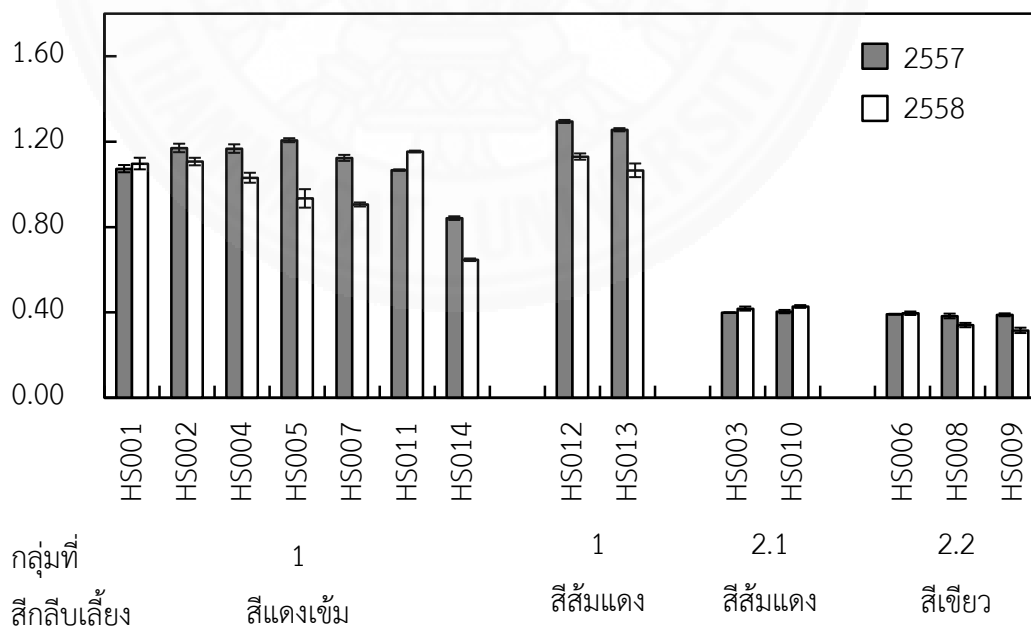
ภาพที่ 4.4 จำนวนกลีบเลี้ยงต่อต้นของกระเจียบแดง 2 กลุ่ม เมื่อปลูกใน พ.ศ. 2557 และ 2558

น้ำหนักสดต่อกลีบเลี้ยง (กรัม)



ภาพที่ 4.5 น้ำหนักสดต่อกลีบเลี้ยงของกระเจียบแดง 2 กลุ่ม ปลูกใน พ.ศ. 2557 และ 2558

น้ำหนักแห้งต่อกลีบเลี้ยง (กรัม)



ภาพที่ 4.6 น้ำหนักแห้งต่อกลีบเลี้ยงของกระเจียบแดง 2 กลุ่ม ปลูกใน พ.ศ. 2557 และ 2558

การให้ผลผลิตน้ำหนักรสและน้ำหนักแห้งของกลีบเลี้ยงต่อต้านของกระเจี๊ยบแดงทั้ง 2 กลุ่ม เมื่อปลูกในปี พ.ศ. 2557 และ 2558 (ภาพที่ 4.7-4.8 และตารางผนวกที่ ช.3) พบว่า กระเจี๊ยบแดงในกลุ่มที่ 1 ซึ่งมีกลีบเลี้ยงใหญ่และหนา สีแดงเข้ม มีน้ำหนักรสและน้ำหนักแห้งของกลีบเลี้ยงสูง โดยเฉพาะ HS005 ให้ผลผลิตน้ำหนักรส และน้ำหนักแห้งของกลีบเลี้ยงสูงสุด 3.31 ± 0.58 กิโลกรัมต่อต้น และ 340.37 ± 55.76 กรัมต่อต้น ตามลำดับ เมื่อปลูกใน พ.ศ. 2557 และ 2.24 ± 0.03 กิโลกรัมต่อต้น และ 262.86 ± 1.12 กรัมต่อต้น ตามลำดับ เมื่อปลูกใน พ.ศ. 2558 รองลงมาคือกระเจี๊ยบแดง HS001 HS002 HS004 และ HS007 ส่วนกระเจี๊ยบแดง HS011 และ HS014 กลับให้น้ำหนักรสและน้ำหนักแห้งของกลีบเลี้ยงต่อต้านต่ำ โดยมีน้ำหนักรสอยู่ในช่วง 1.26 ± 0.10 ถึง 1.51 ± 0.20 และ 1.26 ± 0.02 ถึง 1.58 ± 0.04 กิโลกรัมต่อต้น ใน พ.ศ. 2557 และ 2558 ตามลำดับ และน้ำหนักแห้งมีค่าอยู่ในช่วง 130.86 ± 9.57 ถึง 150.43 ± 19.56 และ 156.81 ± 1.95 ถึง 183.24 ± 3.80 กรัมต่อต้น ใน พ.ศ. 2557 และ 2558 ตามลำดับ เช่นเดียวกับกระเจี๊ยบแดงในกลุ่มที่ 2 ที่มีกลีบเลี้ยงมีขนาดเล็กและบาง สีเขียว ซึ่งน้ำหนักรสมีค่าเฉลี่ย 1.32 ± 0.32 และ 1.43 ± 0.26 กิโลกรัมต่อต้น ใน พ.ศ. 2557 และ 2558 ตามลำดับ และน้ำหนักแห้งมีค่าเฉลี่ย 145.69 ± 27.72 และ 168.43 ± 22.74 กรัมต่อต้น ใน พ.ศ. 2557 และ 2558 ตามลำดับ

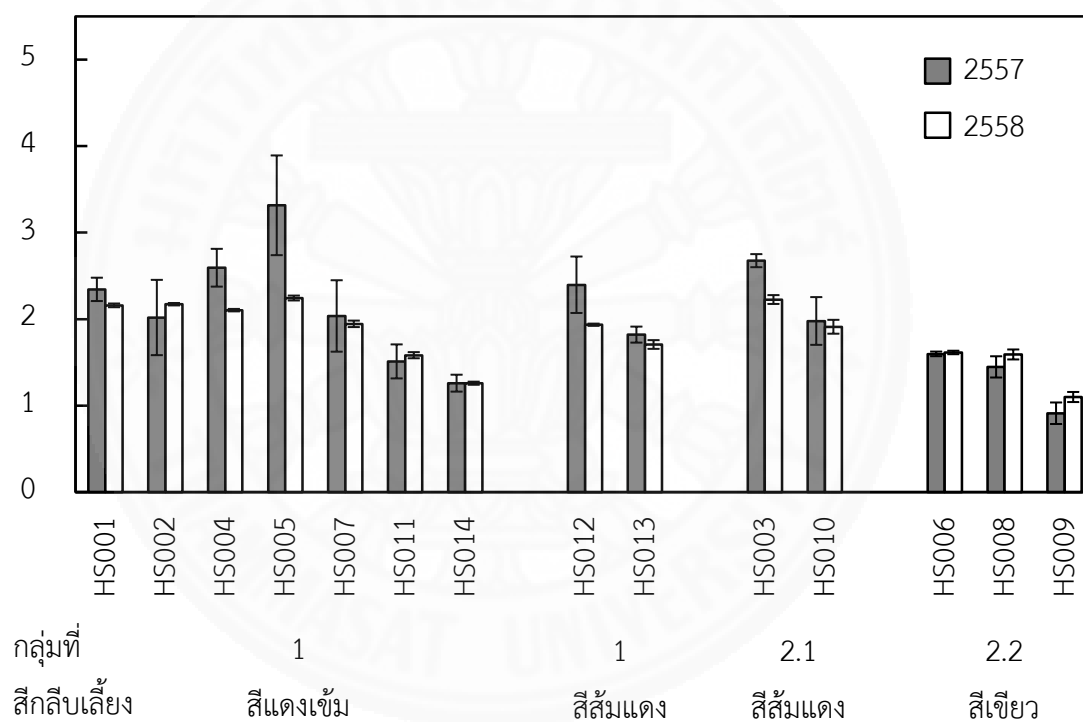
อย่างไรก็ตาม กระเจี๊ยบแดงที่มีกลีบเลี้ยงสีส้มแดง ทั้งในกลุ่มที่ 1 (HS012 และ HS013) และกลุ่มที่ 2.1 (HS003 และ HS010) พบว่า ให้ผลผลิตน้ำหนักรสและน้ำหนักแห้งของกลีบเลี้ยงสูง (ภาพที่ 4.7 และ 4.8) ทั้งที่กลุ่มที่ 2.1 มีกลีบเลี้ยงมีขนาดเล็กและบาง แต่เนื่องจากมีจำนวนกลีบเลี้ยงต่อต้านมาก (ภาพที่ 4.4) จึงทำให้น้ำหนักรสและน้ำหนักแห้งของกลีบเลี้ยงต่อต้านสูงตามไปด้วย โดยที่น้ำหนักรสมีค่าอยู่ในช่วง 2.11 ± 0.38 ถึง 2.33 ± 0.42 และ 1.82 ± 0.13 ถึง 2.07 ± 0.18 กิโลกรัมต่อต้น ใน พ.ศ. 2557 และ 2558 ตามลำดับ และน้ำหนักแห้งมีค่าอยู่ในช่วง 225.74 ± 44.90 ถึง 257.98 ± 28.00 และ 211.69 ± 10.44 ถึง 239.43 ± 23.04 กรัมต่อต้น ใน พ.ศ. 2557 และ 2558 ตามลำดับ แสดงให้เห็นว่าการให้ผลผลิตต่อต้านของกลีบเลี้ยงกระเจี๊ยบแดงนั้นขึ้นอยู่กับน้ำหนักของกลีบเลี้ยงและจำนวนกลีบเลี้ยงต่อต้าน ส่วนการให้ผลผลิตน้ำหนักรสของกระเจี๊ยบแดงทั้ง 2 กลุ่ม มีค่าใกล้เคียงกัน ซึ่งอยู่ในช่วง 9.94 ± 0.04 ถึง 12.33 ± 0.22 และ 11.38 ± 0.12 ถึง 12.63 ± 0.34 % ใน พ.ศ. 2557 และ 2558 ตามลำดับ (ภาพที่ 4.9 และตารางผนวกที่ ช.4)

จากผลการทดลองนี้พบว่ากระเจี๊ยบแดงส่วนใหญ่ให้ผลผลิตกลีบเลี้ยงสูงเมื่อปลูกในพ.ศ. 2557 มากกว่า พ.ศ. 2558 อาจเนื่องมาจากกระเจี๊ยบแดงได้รับปัจจัยที่จำเป็นต่อการเจริญเติบโตอย่างเพียงพอ ในช่วงพัฒนาของลำต้น โดยเฉพาะน้ำ ซึ่งใน พ.ศ. 2557 มีปริมาณน้ำฝนเฉลี่ยช่วงเดือนสิงหาคมสูงกว่า พ.ศ. 2558 (ตารางผนวกที่ ฉ. 1) อย่างไรก็ตาม ผลผลิตกระเจี๊ยบแดงยังขึ้นอยู่กับพันธุ์

และพื้นที่ปลูกอีกด้วย (Ottai et al., 2004) รวมถึงปัจจัยอื่นๆ เช่น แสง ธาตุอาหาร ออกซิเจน และคาร์บอนไดออกไซด์ (Gholam and Moosavi. 2012)

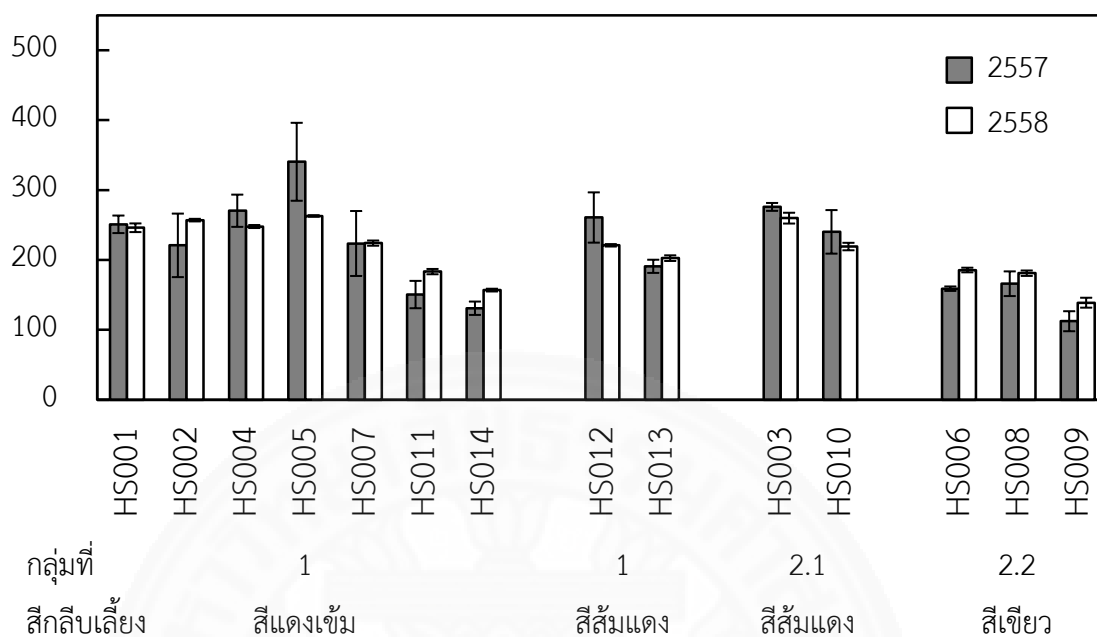
เมื่อพิจารณาจากปริมาณสารทุติยภูมิ และการให้ผลผลิตของกระเจี๊ยบแดงทั้ง 14 accessions แล้ว พบว่า กระเจี๊ยบแดงที่มีศักยภาพในการพัฒนาสายพันธุ์ เพื่อให้ได้ผลผลิตและสารทุติยภูมิในกลีบเลี้ยงสูงชัน คือ กระเจี๊ยบแดงในกลุ่มที่ 1 ที่มีกลีบเลี้ยงสีแดงเข้ม ซึ่งให้ผลผลิตและสารทุติยภูมิในกลีบเลี้ยงสูง รวมทั้งมีฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระ DPPH ที่ดี โดยมี accessions ดังนี้ HS001 HS002 HS004 HS005 และ HS007

น้ำหนักสด (กิโลกรัมต่อต้น)



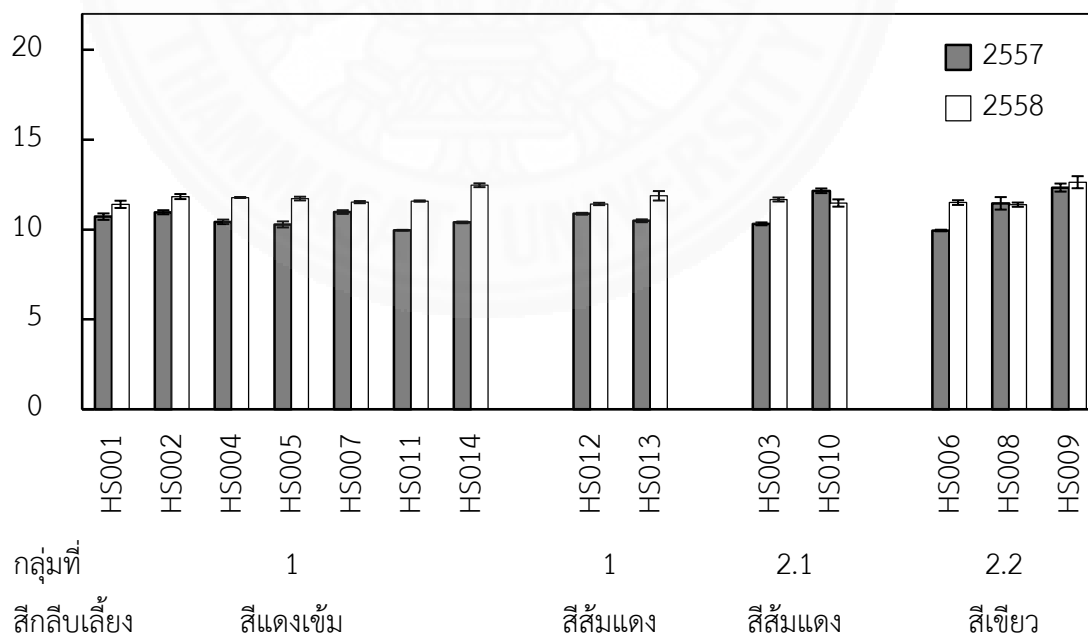
ภาพที่ 4.7 น้ำหนักสดกลีบเลี้ยงต่อต้นของกระเจี๊ยบแดง 2 กลุ่ม ปลูกใน พ.ศ. 2557 และ 2558

น้ำหนักแห้ง (กรัมต่อต้น)



ภาพที่ 4.8 น้ำหนักแห้งกลีบเลี้ยงต่อต้นของกระเจียบแดง 2 กลุ่ม ปลูกใน พ.ศ. 2557 และ 2558

ผลผลิตน้ำหนักแห้งกลีบเลี้ยง (%)



ภาพที่ 4.9 ผลผลิตน้ำหนักแห้งกลีบเลี้ยงของกระเจียบแดง 2 กลุ่ม ปลูกใน พ.ศ. 2557 และ 2558

4.4 ผลของอายุเก็บเกี่ยวต่อการให้ผลผลิตและสารทุติยภูมิในใบของกระเจี๊ยบแดง

4.4.1 ความสูงต้นและความกว้างของทรงพุ่ม

ความสูงต้นและความกว้างของทรงพุ่มของต้นกระเจี๊ยบแดง HS004 และ HS006 มีค่าเพิ่มขึ้นตามอายุการเก็บเกี่ยวขยอด นอกจากนี้ HS004 มีลำต้นสูงและมีทรงพุ่มกว้างกว่า HS006 โดยความสูงต้นมีค่าสูงสุดที่อายุ 100 วันหลังย้ายปลูก เท่ากับ 99.60 ± 5.51 เซนติเมตร ใน HS004 และ 84.60 ± 9.20 เซนติเมตร ใน HS006 แต่ความสูงทั้ง 2 accessions ที่อายุ 100 วันหลังย้ายปลูกมีค่าไม่แตกต่างกันทางสถิติกับที่อายุ 85 วันหลังย้ายปลูก (ภาพที่ 4.10A) ส่วนทรงพุ่มมีความกว้างมากที่สุดที่อายุ 70 วันหลังย้ายปลูก 111.90 ± 2.79 เซนติเมตร ใน HS004 และ 109.80 ± 6.81 เซนติเมตร ใน HS006 แต่ความกว้างทรงพุ่มที่อายุดังกล่าวมีค่าไม่แตกต่างกันทางสถิติกับที่อายุ 85 วันหลังย้ายปลูก หลังจากนั้นความกว้างทรงพุ่มของกระเจี๊ยบแดงทั้ง 2 accessions ลดลง (ภาพที่ 4.10B)

4.4.2 ผลผลิตยอดที่เก็บเกี่ยว

ผลผลิตยอดที่เก็บเกี่ยวของ HS004 และ HS006 (ภาพที่ 4.11) พบว่า น้ำหนักสดและน้ำหนักแห้งยอดมีค่าต่ำในช่วงแรกของการพัฒนา ที่อายุเก็บเกี่ยว 40 วันหลังย้ายปลูก จากนั้นทั้ง HS004 และ HS006 มีน้ำหนักสดยอดเพิ่มขึ้นและสูงสุด 735.61 ± 59.52 และ 829.53 ± 96.52 กรัมต่อต้น ตามลำดับ ที่อายุ 55 วันหลังย้ายปลูก หลังจากนั้นน้ำหนักสดยอดลดลงจนสิ้นสุดการทดลองที่อายุ 100 วันหลังย้ายปลูก (ภาพที่ 4.12A และตารางผนวกที่ ฉ.1-ฉ.2) ส่วนน้ำหนักแห้งยอดมีค่าสูงสุดเมื่อเก็บเกี่ยวที่อายุ 55 วันหลังย้ายปลูก แต่ไม่แตกต่างกันทางสถิติ กับการเก็บเกี่ยวที่อายุ 70 และ 85 วันหลังย้ายปลูก โดย HS004 มีน้ำหนักแห้งยอดเท่ากับ 116.15 ± 9.01 102.31 ± 9.99 และ 102.04 ± 14.50 กรัมต่อต้น ตามลำดับ ส่วน HS006 ที่ช่วงอายุดังกล่าวมีน้ำหนักแห้งยอดเท่ากับ 131.20 ± 15.10 112.04 ± 15.03 และ 109.47 ± 20.07 กรัมต่อต้น ตามลำดับ (ภาพที่ 4.12B และตารางผนวกที่ ฉ.1-ฉ.2) การให้ผลผลิตน้ำหนักแห้งยอดที่เก็บเกี่ยวของ HS004 และ HS006 ไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติในทุกอายุการเก็บเกี่ยว โดยมีค่าอยู่ในช่วง 15.27 ± 0.47 ถึง 18.47 ± 0.87 และ 15.71 ± 1.25 ถึง 18.54 ± 1.44 % ตามลำดับ (ภาพที่ 4.12C และตารางผนวกที่ ฉ.1-ฉ.2) จำนวนยอดที่เก็บเกี่ยวต่อต้นให้ผลสอดคล้องกับน้ำหนักแห้งยอด โดยมีจำนวนยอดที่เก็บเกี่ยวต่อต้นสูงสุด เมื่อเก็บเกี่ยวที่อายุ 55 70 และ 85 วันหลังย้ายปลูก ซึ่งมีค่าไม่แตกต่างกันทางสถิติ โดย HS004 มีจำนวนยอดสูงสุด 12.95 ± 1.00 13.80 ± 1.21 และ 12.55 ± 2.00 ยอดต่อต้น ตามลำดับ ส่วน HS006 ที่ช่วงอายุดังกล่าวมีจำนวนยอดสูงสุด 27.50 ± 4.02 35.05 ± 7.34 และ 34.35 ± 7.66 ยอดต่อต้น ตามลำดับ (ภาพที่ 4.12D และตารางผนวกที่ ฉ.1-ฉ.2) จากผลการทดลองนี้จะเห็นได้ว่าการเก็บเกี่ยวขยอดที่อายุ 40 วันหลังย้ายปลูกนั้นทั้ง HS004 และ HS006 ให้ผลผลิตต่ำ อาจเนื่องมาจากต้นยังมีการเจริญเติบโตไม่เต็มที่ จึงทำให้จำนวนยอดต่อต้นน้อย น้ำหนักสดและน้ำหนักแห้งยอดจึงต่ำตามไปด้วย หลังจากนั้นเมื่อพืชมี

การเจริญเติบโตมากขึ้น จึงสามารถแตกกิ่งได้จำนวนมาก และให้ผลผลิตน้ำหนักแห้งยอดต่อต้นสูงขึ้น ส่วนที่อายุ 100 วันหลังย้ายปลูก น้ำหนักแห้งยอดและจำนวนยอดลดลง เนื่องจากต้นมีอายุมากขึ้นจึงมีการแตกกิ่งและใบใหม่ต่ำ (รุ่งอรุณ และคณะ, 2549) การเก็บเกี่ยวในแต่ละครั้ง HS006 ให้จำนวนยอดต่อต้นมากกว่า HS004 แต่น้ำหนักสดและน้ำหนักแห้งยอดกลับไม่มีความแตกต่างกันมาก เนื่องจาก HS006 มีใบขนาดเล็กและหยักลึกมาก ซึ่งจะใช้อาหารปริมาณต่ำ จึงมีอาหารเพียงพอสำหรับพัฒนา ยอดใหม่ได้มากกว่า HS004 ที่มีใบขนาดใหญ่และหยักลึกปานกลาง ซึ่งจะใช้อาหารปริมาณมาก จึงทำให้มีอาหารสำหรับพัฒนายอดใหม่ลดลง

4.4.3 ค่าสีใบ

ค่า SPAD พบว่า HS004 มีค่าเพิ่มขึ้นตามอายุการเก็บเกี่ยวยอดและสูงสุดที่อายุ 100 วันหลังย้ายปลูก มีค่าเท่ากับ 63.95 ± 1.83 ส่วน HS006 ไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติในทุกอายุการเก็บเกี่ยว โดยมีค่าอยู่ในช่วง 53.07 ± 0.95 ถึง 56.54 ± 1.82 (ภาพที่ 4.13A และตารางผนวกที่ ฅ.5-ฅ.6) ส่วนค่าความสว่างของสีใบ (Chroma; C) ของ HS004 ไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติในทุกอายุการเก็บเกี่ยว โดยมีค่าอยู่ในช่วง 10.76 ± 1.20 ถึง 16.18 ± 1.62 ในขณะที่ HS006 มีค่าความสว่างของสีใบมากที่สุดที่อายุ 40 และ 55 วันหลังย้ายปลูก ซึ่งมีค่าเท่ากับ 15.01 ± 2.25 และ 13.32 ± 1.25 ตามลำดับ หลังจากนั้นค่าความสว่างของสีใบลดลงตามอายุการเก็บเกี่ยวยอด (ภาพที่ 4.13B) ส่วนค่าสีเขียว/สีแดง (a^*) และค่าเฉดสี (Hue angle; H^0) ของใบพบว่าไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติในทุกอายุการเก็บเกี่ยวยอด ซึ่ง HS004 และ HS006 มีค่า a^* อยู่ในช่วง -6.96 ± 0.48 ถึง -5.88 ± 0.35 และ -6.46 ± 0.43 ถึง -5.54 ± 0.19 ตามลำดับ (ภาพที่ 4.13C) และค่า H^0 อยู่ในช่วง 178.87 ± 0.03 ถึง 179.00 ± 0.07 และ 178.89 ± 0.03 ถึง 178.99 ± 0.06 ตามลำดับ (ภาพที่ 4.13D) จากการทดลองนี้แสดงให้เห็นว่ายอดอ่อนของกระเจี๊ยบแดง HS004 และ HS006 ที่เก็บเกี่ยวมีสีใบใกล้เคียงกัน อีกทั้งการวัดสีของใบส่วนยอดและช่วงอายุการเก็บเกี่ยวยังอยู่ในฤดูเดียวกัน จึงทำให้ใบมีสีไม่แตกต่างกัน ซึ่งสีเขียวของใบเกิดขึ้นเนื่องมาจากคลอโรฟิลล์ โดยปกติพืชจะมีการสร้างและสลายคลอโรฟิลล์อยู่ตลอดเวลา นอกจากในใบพืชจะมีสารให้สีที่เกิดจากคลอโรฟิลล์แล้วยังมีสารให้สีชนิดอื่น เช่น แคโรทีนอยด์ที่ประกอบด้วยแคโรทีนให้สีแดงส้มและแซนโทฟิลล์ให้สีเขียวแกมน้ำเงินอยู่ในใบเดียวกัน ดังนั้นสีของใบจึงสามารถเปลี่ยนแปลงได้เมื่อใบมีอายุมากขึ้นหรือฤดูกาลเปลี่ยนไป (Saini et al., 2015)

4.4.4 สารสกัดใบ

จากการนำใบอ่อนกระเจี๊ยบแดง HS004 และ HS006 ที่อายุการเก็บเกี่ยวต่างๆ หลังย้ายปลูก มาสกัดด้วยเอทานอล พบว่า ที่อายุ 40 และ 55 วันหลังย้ายปลูก สารสกัดใบ HS004 และ HS006 มีปริมาณต่ำ หลังจากนั้นปริมาณเพิ่มขึ้นและมีสารสกัดใบมีค่าสูงสุดอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ที่อายุการเก็บเกี่ยว 70 และ 85 วันหลังย้ายปลูก โดย HS004 มีสารสกัด 22.35 ± 3.36 และ 24.11 ± 1.93 % ตามลำดับ ส่วน HS006 ที่อายุดังกล่าวมีสารสกัด 22.48 ± 0.73 และ 23.81 ± 2.31 %

ตามลำดับ ซึ่งมีสารสกัดไม่แตกต่างกันทางสถิติ หลังจากนั้นที่อายุการเก็บเกี่ยว 100 วันหลังย้ายปลูก จะมีสารสกัดลดลง (ภาพที่ 4.14) ในการทดลองนี้ สารสกัดค่อนข้างต่ำเมื่อเปรียบเทียบกับสารสกัดที่ได้จากใบที่เจริญเติบโตเต็มที่ในข้อ 4.2.2 (ตารางที่ 4.2) แสดงให้เห็นว่าสารสกัดของใบขึ้นอยู่กับอายุใบ

4.4.5 สารทุติยภูมิในใบ

สารประกอบฟีนอลิกทั้งหมดในใบของกระเจี๊ยบแดงทั้ง 2 accessions มีปริมาณไม่แตกต่างกันทางสถิติในทุกอายุการเก็บเกี่ยว โดย HS004 มีค่าอยู่ในช่วง 58.33 ± 2.46 ถึง 64.29 ± 5.54 mg GAE/g dry extract และ HS006 มีค่าอยู่ในช่วง 60.51 ± 3.62 ถึง 65.72 ± 4.97 mg GAE/g dry extract (ภาพที่ 4.15A) และปริมาณแคโรทีนอยด์ทั้งหมดในของกระเจี๊ยบแดงทั้ง 2 accessions มีปริมาณไม่แตกต่างกันทางสถิติในทุกอายุการเก็บเกี่ยว โดย HS004 มีค่าอยู่ในช่วง 5.99 ± 0.51 ถึง 7.94 ± 0.98 $\mu\text{g/g}$ dry weight และ HS006 มีค่าอยู่ในช่วง 6.86 ± 0.84 ถึง 8.65 ± 0.65 $\mu\text{g/g}$ dry weight (ภาพที่ 4.15B) แสดงว่าอายุเก็บเกี่ยวไม่มีผลต่อการสะสมสารประกอบฟีนอลิกและแคโรทีนอยด์ในใบอ่อนของกระเจี๊ยบแดง และในใบอ่อนยังมีปริมาณสารประกอบฟีนอลิกและแคโรทีนอยด์ค่อนข้างสูงเช่นเดียวกับที่สะสมในใบที่เจริญเติบโตเต็มที่ในข้อ 4.2.2 (ตารางที่ 4.7)

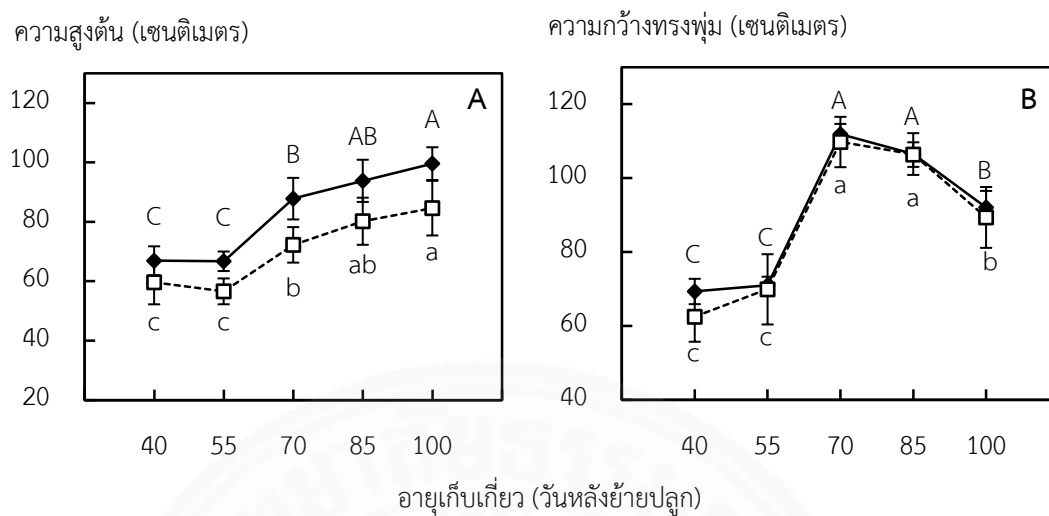
ปริมาณคลอโรฟิลล์เอและคลอโรฟิลล์บี พบว่า ปริมาณคลอโรฟิลล์เอในใบกระเจี๊ยบแดง HS004 มีปริมาณไม่แตกต่างกันทางสถิติในทุกอายุการเก็บเกี่ยว โดยมีค่าอยู่ในช่วง 20.29 ± 3.83 ถึง 30.69 ± 2.58 $\mu\text{g/g}$ dry weight อย่างไรก็ตาม กระเจี๊ยบแดง HS006 มีปริมาณคลอโรฟิลล์เอสูงสุดอย่างมีนัยสำคัญ เมื่อเก็บเกี่ยวที่อายุ 40 และ 55 วันหลังย้ายปลูก จากนั้นมีปริมาณลดลงและเพิ่มขึ้นอีกครั้งเมื่ออายุ 100 วันหลังย้ายปลูก โดยมีค่าเท่ากับ 27.54 ± 2.28 31.16 ± 1.85 และ 29.33 ± 1.62 $\mu\text{g/g}$ dry weight ตามลำดับ (ภาพที่ 4.15C) ส่วนคลอโรฟิลล์บีในใบของกระเจี๊ยบแดง HS004 มีปริมาณสูงสุดอย่างมีนัยสำคัญ เมื่อเก็บเกี่ยวที่อายุ 40 และ 55 วันหลังย้ายปลูก จากนั้นมีปริมาณลดลงและเพิ่มขึ้นอีกครั้งเมื่ออายุ 100 วันหลังย้ายปลูก โดยมีค่าเท่ากับ 6.66 ± 1.70 4.95 ± 1.74 และ 4.61 ± 1.13 $\mu\text{g/g}$ dry weight ตามลำดับ แต่กระเจี๊ยบแดง HS006 มีปริมาณคลอโรฟิลล์บีไม่แตกต่างกันทางสถิติในทุกอายุการเก็บเกี่ยว โดยมีค่าอยู่ในช่วง 3.19 ± 0.49 ถึง 6.99 ± 3.38 $\mu\text{g/g}$ dry weight (ภาพที่ 4.15D) จากผลการทดลองจะเห็นว่า ปริมาณคลอโรฟิลล์เอและคลอโรฟิลล์บีในใบมีมากในช่วงแรกของการพัฒนา และค่อยๆ ลดลงตามอายุเก็บเกี่ยว ถึงแม้ในทุกอายุเก็บเกี่ยวจะเก็บยอดอ่อนที่มีสีใบไม่แตกต่างกัน แต่มีปริมาณคลอโรฟิลล์เอและคลอโรฟิลล์บีแตกต่างกัน โดยพืชจะมีปริมาณคลอโรฟิลล์สูงเมื่อได้รับแสงที่เพียงพอและมีการสังเคราะห์แสงมาก (Lewandowska and Jarvis, 1977; Mlinarić et al., 2016) ซึ่งสอดคล้องกับผลการทดลองนี้พบว่าช่วงแรกของการพัฒนาพืชมีทรงพุ่มเล็กและจำนวนยอดต่อต้นน้อย (ภาพที่ 4.12D) ทำให้ได้รับแสงมาก มีการสังเคราะห์แสงมากปริมาณคลอโรฟิลล์จึงสูง หลังจากนั้นเมื่อพืชมีอายุมากขึ้นมีจำนวนยอดต่อต้นมาก ทำให้ยอดและใบที่หนาแน่นได้รับแสงน้อย มีการสังเคราะห์แสงน้อยลง ปริมาณคลอโรฟิลล์จึงลดลง อย่างไรก็ตาม

ปริมาณสารทุติยภูมิที่แตกต่างกันนี้ยังขึ้นอยู่กับสภาพแวดล้อมและระยะเวลาเจริญเติบโต (Atta et al., 2010a) เช่น การศึกษาของ Lewandowska and Jarvis (1977) พบว่า ใบ Sitka spruce (*Picea sitchensis* (Bong.) Carr.) มีปริมาณคลอโรฟิลล์สูงสุดเมื่อเก็บเกี่ยวยอดในฤดูร้อน ส่วน Yoo et al. (2003) พบว่า white clover (*Trifolium repens* L.) มีปริมาณแคโรทีนอยด์และคลอโรฟิลล์สูงในใบที่กำลังพัฒนาและใบที่เจริญเติบโตเต็มที่ แต่ใบแก่จะมีปริมาณสารดังกล่าวลดลง และในผักคะน้า พบว่ามีปริมาณแคโรทีนอยด์ คลอโรฟิลล์เอ และคลอโรฟิลล์บีสูงสุดที่อายุ 2-3 สัปดาห์หลังปลูก (Lefsrud et al., 2007)

4.4.6 ฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระ DPPH

ฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระ DPPH ในใบของกระเจี๊ยบแดงทั้ง 2 accessions (ภาพที่ 4.16) พบว่า ใบกระเจี๊ยบแดง HS004 ที่อายุการเก็บเกี่ยว 40 55 และ 100 วันหลังย้ายปลูก มีฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระ DPPH ดีที่สุดอย่างมีนัยสำคัญ โดยมีค่า EC_{50} เท่ากับ 95.33 ± 3.91 99.44 ± 6.36 และ 93.15 ± 4.72 $\mu\text{g/ml}$ ตามลำดับ ส่วนใบกระเจี๊ยบแดง HS006 มีค่า EC_{50} ไม่แตกต่างกันทางสถิติในทุกอายุการเก็บเกี่ยว โดยมีค่า EC_{50} อยู่ในช่วง 87.52 ± 2.57 ถึง 103.00 ± 18.23 $\mu\text{g/ml}$ อย่างไรก็ตาม สารสกัดจากใบอ่อนกระเจี๊ยบแดงยังคงมีฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระ DPPH น้อยกว่า BHT ที่ใช้เป็น positive control ซึ่งมีค่า $EC_{50} = 13.04 \pm 2.79$ $\mu\text{g/ml}$ จากการทดลองนี้จะเห็นได้ว่าใบอ่อนกระเจี๊ยบแดงจะมีฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระ DPPH ที่ดี เมื่อมีปริมาณคลอโรฟิลล์สูง ผลการทดลองนี้สอดคล้องกับผลการทดลองอื่นๆ ที่รายงานว่าระยะเก็บเกี่ยวที่มีสารทุติยภูมิสูงจะมีฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระ DPPH สูงตามไปด้วย เช่น ในดอกตูมของดอกพระจันทร์ (ภาณุมาศ และคณะ, 2558) กลีบเลี้ยงกระเจี๊ยบแดง (Rahaman and Pal, 2015) และใบเก๋ากี้ (Liu et al., 2017) เป็นต้น

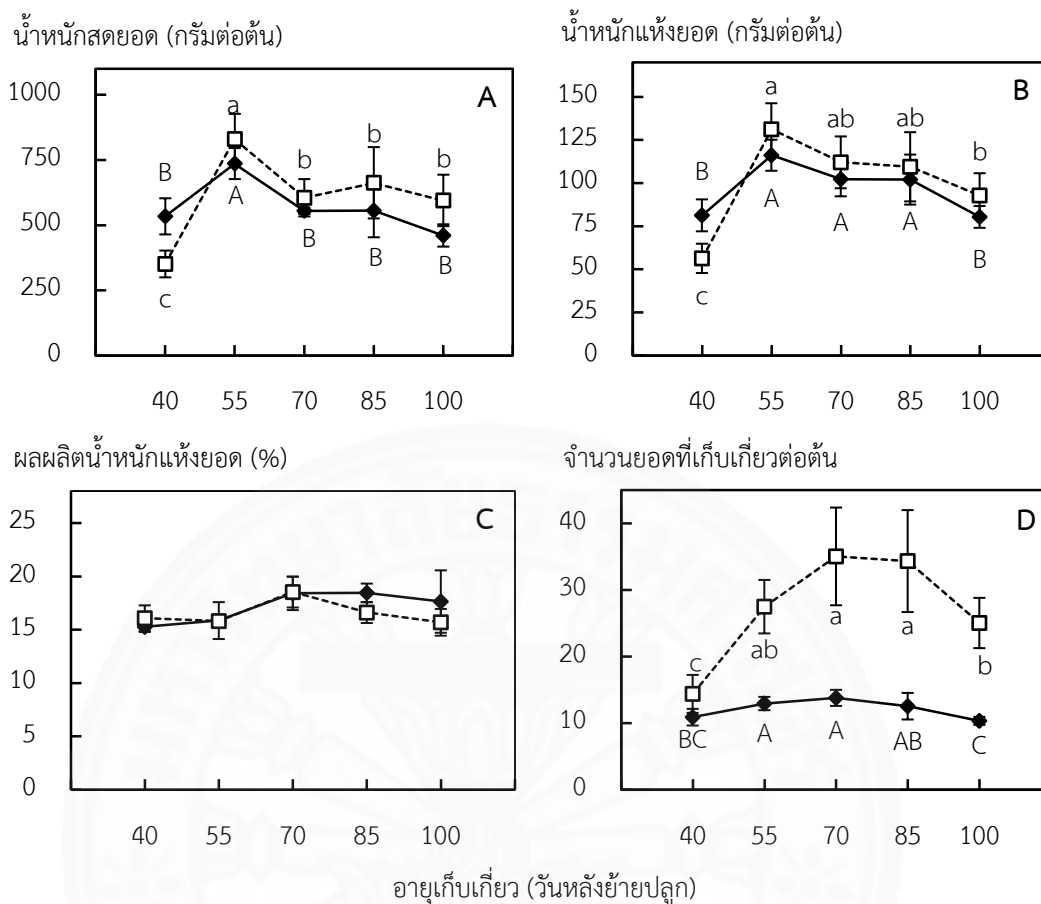
จากข้อมูลการให้ผลผลิตและปริมาณสารทุติยภูมิตั้งที่กล่าวมาแล้วข้างต้น โดยปลูกกระเจี๊ยบแดงในเดือนเมษายน การเก็บเกี่ยวยอดอ่อนควรเริ่มเก็บเกี่ยวที่อายุ 55 วันหลังย้ายปลูก การเว้นระยะเก็บเกี่ยวทุกๆ 15 วัน ไปจนถึงอายุ 85 วันหลังย้ายปลูก พบว่า ยังมีการพัฒนาของยอดอ่อนได้เร็ว ให้ผลผลิตสูง ยิ่งไปกว่านั้นการตัดยอดยังเป็นการตัดแต่งทรงพุ่มไปในตัว ทำให้พุ่มไม่แน่น ช่วยลดปัญหาโรคและแมลงรบกวน แต่เมื่ออายุ 100 วันหลังย้ายปลูก ต้นมีอายุมากขึ้นและเริ่มมีตาดอก ทำให้การแตกกิ่งและใบใหม่ลดลง ส่วนสารทุติยภูมิที่สะสมในใบอ่อน พบว่า สารประกอบฟีนอลิกและแคโรทีนอยด์ทั้งหมดมีปริมาณไม่แตกต่างกันในทุกอายุการเก็บเกี่ยว ทั้ง HS004 และ HS006 เมื่อเปรียบเทียบกับสารทุติยภูมิในใบที่เจริญเติบโตเต็มที่ที่มีสารประกอบฟีนอลิกและแคโรทีนอยด์ทั้งหมดไม่แตกต่างกัน อีกทั้งฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระ DPPH ยังมีค่าใกล้เคียงกัน ดังนั้น การเก็บเกี่ยวใบกระเจี๊ยบแดงทั้งใบที่มีรูปร่างของใบหยักลึกต้นและหยักลึกมาก จึงสามารถเก็บเกี่ยวได้ต่อเนื่องทั้งใบอ่อนและใบที่เจริญเติบโตเต็มที่จนถึงระยะก่อนออกดอก ตั้งแต่อายุ 55 ถึง 85 วันหลังย้ายปลูก เพื่อนำไปสกัดและพัฒนาเป็นยาต่อไป



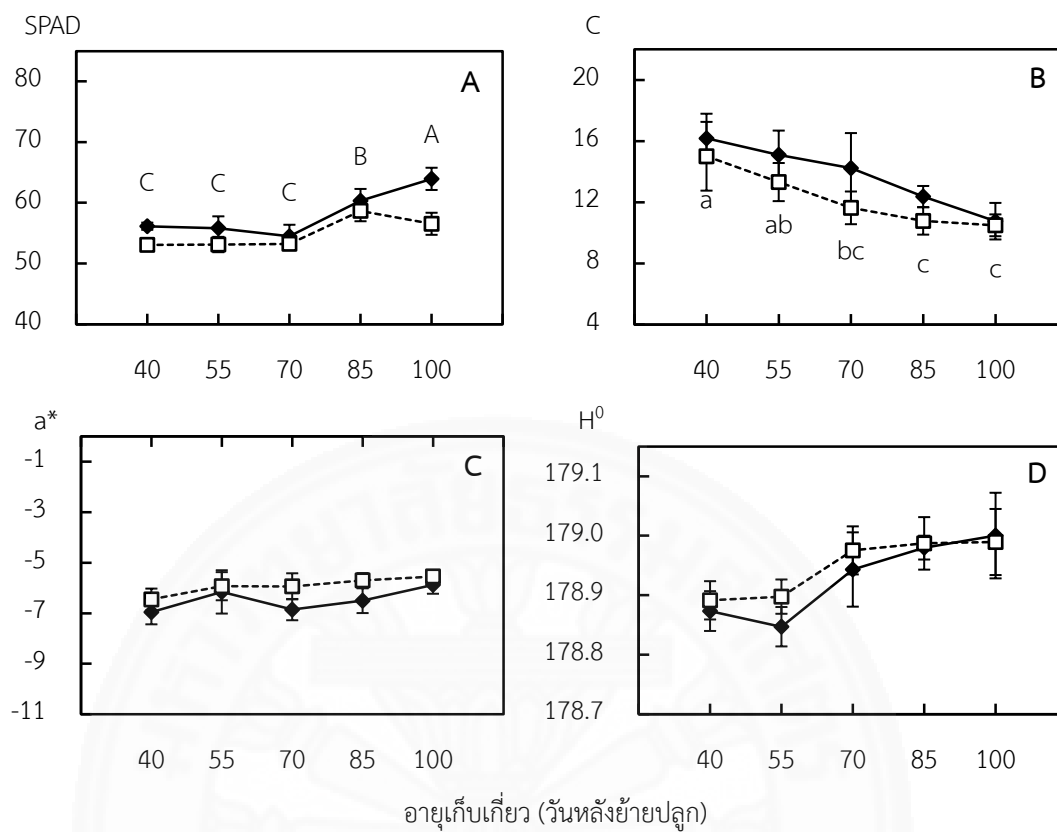
ภาพที่ 4.10 A) ความสูงต้น และ B) ความกว้างทรงพุ่มของกระเจียบแดง HS004 และ HS006 ที่อายุการเก็บเกี่ยวต่างๆ หลังย้ายปลูก (—◆— HS004, ---□--- HS006) อักษรตัวพิมพ์ใหญ่ของ HS004 และตัวพิมพ์เล็กของ HS006 ที่ตามด้วยอักษรที่แตกต่างกันมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95% โดยวิธี DMRT



ภาพที่ 4.11 ยอดที่เก็บเกี่ยวของกระเจียบแดง: A) HS004 และ B) HS006

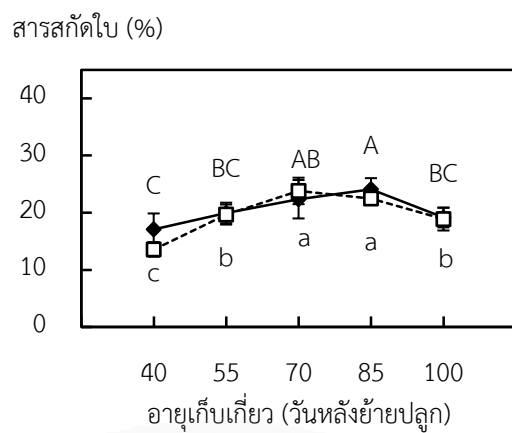


ภาพที่ 4.12 A) น้ำหนักสดยอด B) น้ำหนักแห้งยอด C) ผลผลิตน้ำหนักร้างยอด และ D) จำนวนยอดที่เก็บเกี่ยวต่อตันของกระเจียบแดง HS004 และ HS006 ที่อายุการเก็บเกี่ยวต่างๆ หลังย้ายปลูก (—◆— HS004, ---□--- HS006) อักษรตัวพิมพ์ใหญ่ของ HS004 และตัวพิมพ์เล็กของ HS006 ที่ตามด้วยอักษรที่แตกต่างกันมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95% โดยวิธี DMRT



ภาพที่ 4.13 A) ค่า SPAD B) ค่า Chroma; C) ค่าสีเขียว; a* และ D: ค่าสี Hue angle; H⁰ ของใบกระเจียวแดง HS004 และ HS006 ที่อายุการเก็บเกี่ยวต่างๆ หลังย้ายปลูก (—◆— HS004, ---□--- HS006)

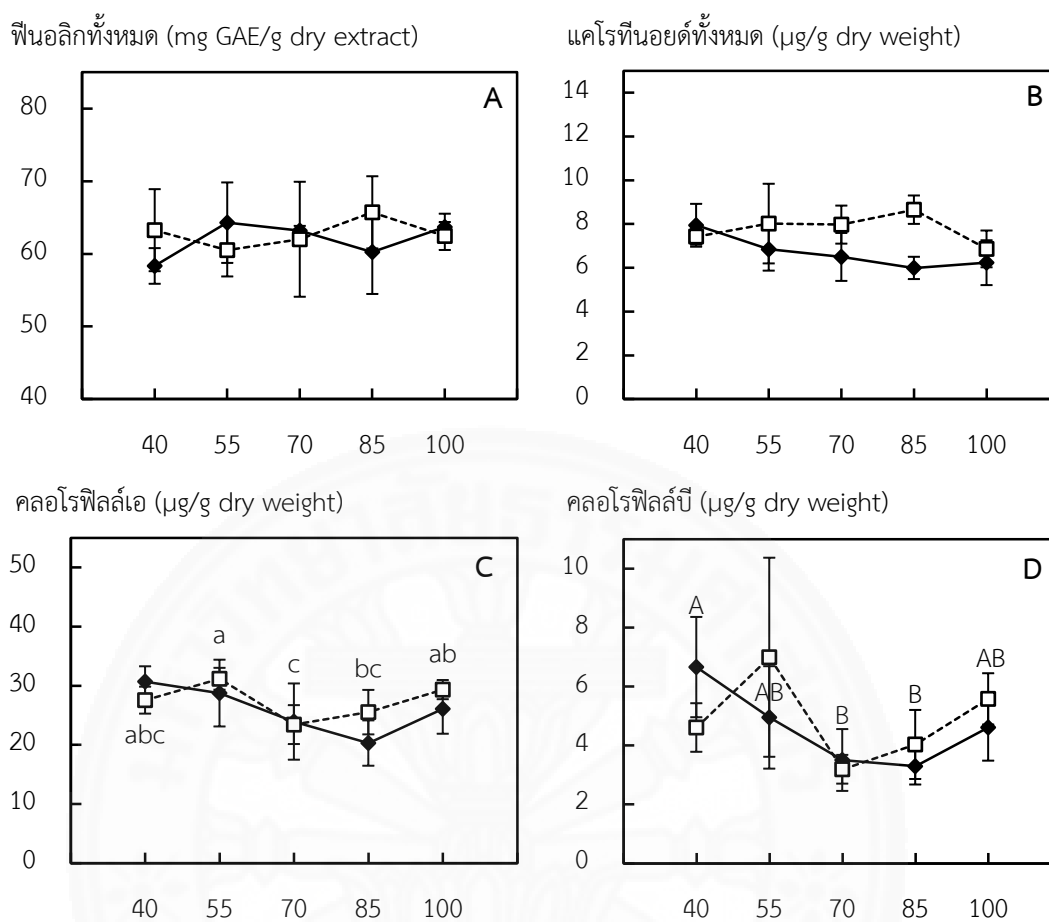
อักษรตัวพิมพ์ใหญ่ของ HS004 และตัวพิมพ์เล็กของ HS006 ที่ตามด้วยอักษรที่แตกต่างกันมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95% โดยวิธี DMRT



ภาพที่ 4.14 สารสกัดใบของกระเจี๊ยบแดง HS004 และ HS006 ที่อายุการเก็บเกี่ยวต่างๆ หลังย้ายปลูก

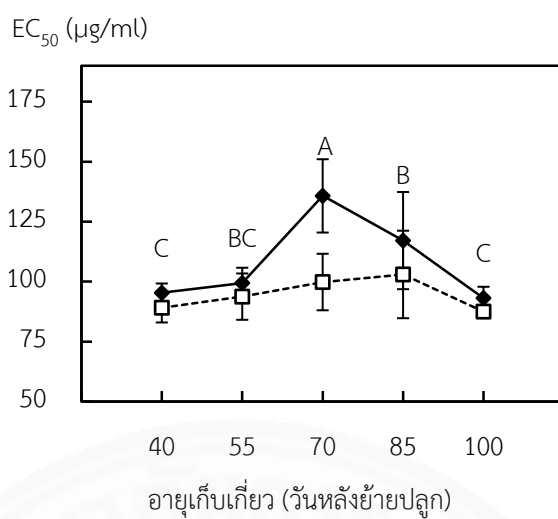
(—◆— HS004, ---□--- HS006)

อักษรตัวพิมพ์ใหญ่ของ HS004 และตัวพิมพ์เล็กของ HS006 ที่ตามด้วยอักษรที่แตกต่างกันมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95% โดยวิธี DMRT



ภาพที่ 4.15 A) ปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมด B) แคโรทีนอยด์ทั้งหมด C) คลอโรฟิลล์เอ และ D) คลอโรฟิลล์บี ในใบของกระเจี๊ยบแดง HS004 และ HS006 ที่อายุการเก็บเกี่ยวต่างๆ หลังย้ายปลูก (—◆— HS004, ---□--- HS006)

อักษรตัวพิมพ์ใหญ่ของ HS004 และตัวพิมพ์เล็กของ HS006 ที่ตามด้วยอักษรที่แตกต่างกันมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95% โดยวิธี DMRT



ภาพที่ 4.16 ฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระ DPPH (BHT มีค่าเท่ากับ 13.04 ± 2.79 µg/ml) ในใบของกระเจียบแดง HS004 และ HS006 ที่อายุการเก็บเกี่ยวต่างๆ หลังย้ายปลูก

(—◆— HS004, ---□--- HS006)

อักษรตัวพิมพ์ใหญ่ของ HS004 และตัวพิมพ์เล็กของ HS006 ที่ตามด้วยอักษรที่ต่างกัันมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95% โดยวิธี DMRT

บทที่ 5

สรุปผลการทดลองและข้อเสนอแนะ

5.1 สรุปผลการทดลอง

1. จากการศึกษาลักษณะทางสัณฐานของกระเจี๊ยบแดง 14 accessions โดยวิเคราะห์การจัดกลุ่มด้วยวิธี UPGMA สามารถแบ่งกระเจี๊ยบแดงออกได้เป็น 2 กลุ่ม คือ กลุ่มที่ 1 ประกอบด้วยกระเจี๊ยบแดง 9 accessions มีกลีบเลี้ยงหนาและใหญ่ สีกลีบเลี้ยงมีตั้งแต่สีส้มแดงและสีแดงเข้ม ใบใหญ่และหยักลึกปานกลาง และให้ผลผลิตกลีบเลี้ยงแห้งสูง กลุ่มที่ 2 ประกอบด้วยกระเจี๊ยบแดง 5 accessions มีกลีบเลี้ยงบางและเล็ก ใบเล็กและหยักลึกมาก และจำนวนผล/ต้นมีมาก จากสีกลีบเลี้ยง กระเจี๊ยบแดงในกลุ่มนี้ ยังสามารถแบ่งออกเป็นอีก 2 กลุ่มย่อย คือ กลุ่มที่มีกลีบเลี้ยงสีเขียว 3 accessions และกลุ่มที่มีกลีบเลี้ยงสีส้มแดง 2 accessions

2. กระเจี๊ยบแดงในกลุ่มที่ 1 กลีบเลี้ยงสีแดงเข้ม มีปริมาณสารพฤกษเคมีสูงสุดและมีฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระ DPPH ดีที่สุด รองลงมาคือกลีบเลี้ยงสีส้มแดงในกลุ่มที่ 1 และกลุ่มที่ 2 โดยมีปริมาณสารพฤกษเคมีใกล้เคียงกัน ในขณะที่กลีบเลี้ยงสีเขียวในกลุ่มที่ 2 มีปริมาณสารพฤกษเคมีต่ำที่สุด ส่วนสารพฤกษเคมีในใบ พบว่า กระเจี๊ยบแดงทั้ง 2 กลุ่ม มีปริมาณสารพฤกษเคมีและฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระ DPPH มีค่าใกล้เคียงกัน

3. การให้ผลผลิตกลีบเลี้ยงของกระเจี๊ยบแดงทั้ง 2 กลุ่ม เมื่อปลูกใน พ.ศ. 2557 และ 2558 พบว่า กลุ่มที่ 1 กลีบเลี้ยงใหญ่และหนา สีแดงเข้ม ให้ผลผลิตสูง ส่วนกลุ่มที่ 2 กลีบเลี้ยงเล็กและบาง ให้ผลผลิตต่ำ โดยเฉพาะอย่างยิ่ง กลุ่มที่มีกลีบเลี้ยงสีเขียว จากการให้ผลผลิตและปริมาณสารพฤกษเคมี กระเจี๊ยบแดงในกลุ่มที่ 1 คือ HS001 HS002 HS004 HS005 และ HS007 มีศักยภาพในการพัฒนาพันธุ์ต่อไป

4. การเก็บเกี่ยวยอดกระเจี๊ยบแดง HS004 และ HS006 ให้นำหนักสดยอดสูงสุดที่อายุ 55 วันหลังย้ายปลูก หลังจากนั้นน้ำหนักสดยอดลดลง ส่วนน้ำหนักแห้งยอดมีค่าสูงสุดที่อายุ 55 70 และ 85 วันหลังย้ายปลูก ซึ่งไม่แตกต่างกันทางสถิติ การสะสมสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมดและแคโรทีนอยด์ทั้งหมดในใบของกระเจี๊ยบแดงทั้ง 2 accessions มีปริมาณไม่แตกต่างกันทางสถิติในทุกอายุการเก็บเกี่ยว และฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระ DPPH ในใบของ HS004 ให้ค่า EC_{50} ที่ดีที่สุดอย่างมีนัยสำคัญ ที่อายุการเก็บเกี่ยว 40 55 และ 100 วันหลังย้ายปลูก อย่างไรก็ตาม HS006 มีค่า EC_{50} ที่ดีไม่แตกต่างกันทางสถิติในทุกอายุการเก็บเกี่ยว

5. กระเจี๊ยบแดงที่ให้ผลผลิตและสารทุติยภูมิในกลีบเลี้ยงสูง รวมถึงมีฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระ DPPH ที่ดี คือ กระเจี๊ยบแดงในกลุ่มที่ 1 ที่มีกลีบเลี้ยงขนาดใหญ่และหนา โดยเฉพาะกลีบเลี้ยงสีแดงเข้ม ได้แก่ HS001 HS002 HS004 HS005 และ HS007 ส่วนใบของกระเจี๊ยบแดงมีสารทุติยภูมิและฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระ DPPH ที่ดีใกล้เคียงกันในทุก accessions รวมทั้งยังสามารถเก็บเกี่ยวได้ต่อเนื่องทั้งใบอ่อนและใบที่เจริญเติบโตเต็มที่จนถึงระยะก่อนออกดอก เพื่อนำไปใช้ประโยชน์ทางยาต่อไป



5.2 ข้อเสนอแนะ

1. ควรปลูกกระเจี๊ยบแดงในช่วงเวลาที่เหมาะสม เนื่องจากกระเจี๊ยบแดงเป็นพืชที่ไวต่อช่วงแสง จะออกดอกเมื่อวันสั้น หากปลูกในช่วงต้นปีหรือปลูกเร็วเกินไปพืชจะมีทรงพุ่มใหญ่และออกดอกช้า ต้องใช้เวลาดูแลนาน ทำให้สิ้นเปลืองแรงงานและปัจจัยการผลิตอื่นๆ ถ้าปลูกช้าพืชจะมีทรงพุ่มเล็กและออกดอกเร็ว ทำให้ได้ผลผลิตกlibเลี้ยงหรือใบน้อยกว่าที่ควรจะเป็น นอกจากนี้จำเป็นจะต้องปักค้ำ เพื่อป้องกันกิ่งหักหรือกิ่งโน้มลงพื้นดิน อันจะทำให้ผลผลิตเสียหายได้
2. ควรศึกษาเพิ่มเติมถึงปริมาณฟลาโวนอยด์ทั้งหมดในใบ และปริมาณแคโรทีนอยด์ทั้งหมดในกlibเลี้ยง เพื่อเปรียบเทียบปริมาณสารทุติยภูมิในกlibเลี้ยงและใบของกระเจี๊ยบแดง
3. ควรศึกษาเพิ่มเติมถึงวิธีการทดสอบฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระที่แตกต่างกัน เช่น ABTS และ FRAP เพื่อยืนยันผลการต้านอนุมูลอิสระ เพื่อให้เห็นถึงความสามารถของสารสกัดกlibเลี้ยงและใบของกระเจี๊ยบแดงในการต้านอนุมูลอิสระผ่านหลายกลไก
4. ควรนำสารสกัดที่ได้จากกlibเลี้ยงและใบของกระเจี๊ยบแดงไปทดสอบความเป็นพิษกับเซลล์มะเร็ง (cytotoxic activity) เพิ่มเติมต่อไป

รายการอ้างอิง

- กฤษณา บุญศิริ. 2535. อิทธิพลของวันปลูก ระยะปลูกและการตัดยอดต่อผลผลิตและคุณภาพของ
กระเจี๊ยบแดง. วิทยานิพนธ์ปริญญาโท. มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, กรุงเทพฯ.
- กระทรวงวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี. 2553. ประมวลสารสนเทศพร้อมใช้ เรื่อง แอนโทไซยานิน
(Anthocyanin). กรมวิทยาศาสตร์บริการ กระทรวงวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี. กรุงเทพฯ.
แหล่งที่มา: <http://siweb.dss.go.th/repack/fulltext/IR21.pdf> (สืบค้นเมื่อวันที่
10 มิถุนายน 2558)
- เกศนภา ถาวร ณธร ชัยญาคุณาภฤกษ์ และวิษณุ ธรรมลิขิตกุล. 2549. การทบทวนวรรณกรรมอย่าง
เป็นระบบการศึกษาประสิทธิภาพทางคลินิกของกระเจี๊ยบแดง. วารสารไทยเภสัชศาสตร์และ
วิทยาการสุขภาพ. 1: 219-225.
- จิตรลดา ชมบุญ. 2549. ปลูกและใช้สมุนไพรใกล้ตัว. ไพลิน บุกเน็ต จำกัด. กรุงเทพฯ. 199 หน้า.
- เจนจิรา จิรัมย์ และ ประสงค์ สีหานาม. 2554. อนุมูลอิสระและสารต้านอนุมูลอิสระ: แหล่งที่มาและ
กลไกการเกิดปฏิกิริยา. วารสารวิชาการมหาวิทยาลัยราชภัฏกาฬสินธุ์. 1: 59-70.
- แฉล้ม มาศวรรณาศุจิรัตน์ สงวนรังศิริกุล เพียงเพ็ญ ศรวัต พีรเดช ชูยกระเดื่อง และสุวัชชัย มิสุณา.
2545. ปริมาณสารต้านอนุมูลอิสระในกลีบกระเจี๊ยบแดง 29 สายพันธุ์. รายงานวิจัย
สถาบันวิจัยพืชไร่และพืชพลังงานทดแทน. ศูนย์วิจัยพืชไร่ขอนแก่น, ขอนแก่น.
- ญาณี จินตามัง และ ปิยะวิทย์ ทิพรส. 2555. ความคงตัวของสารสีแอนโทไซยานินจากกากกลีบดอก
กระเจี๊ยบแดง (*Hibiscus sabdariffa* Linn.) ในผลิตภัณฑ์ข้าวเหนียวมูน. สุทธิปริทัศน์.
26: 129-146.
- นวลศรี รักอริยะธรรม และ อัญชญา เจนวิถีสุข. 2545. แอนติออกซิแดนท์ : สารต้านมะเร็ง ใน
ผัก - สมุนไพรไทย. นพบุรีการพิมพ์. เชียงใหม่. 281 หน้า.
- นิชาภา บุญบริวารกุล. 2558. การพัฒนาผลิตภัณฑ์และการเปลี่ยนแปลงสารทุติยภูมิในกลีบเลี้ยงของ
กระเจี๊ยบแดง ที่อายุต่างๆ หลังดอกบาน. ปัญหาพิเศษปริญญาโท. คณะวิทยาศาสตร์และ
เทคโนโลยี มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์, ปทุมธานี.
- บุหรัน พันธุ์สุวรรณ. 2556. อนุมูลอิสระ สารต้านอนุมูลอิสระ และการวิเคราะห์ฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระ.
วารสารวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี. 21: 275-286.

- พรรณภัทร อินทฤทธิ์ กัมมมาล กุมาร ปาวา อรุณพร อิฐรัตน์ และ พินิต ชินสร้อย. 2555. การศึกษาเปรียบเทียบประสิทธิภาพและผลข้างเคียงของสารสกัดกระเจี๊ยบแดงกับ Simvastatin ในการลดระดับไขมันในผู้ป่วยโรคไขมันในเลือดสูง (การวิจัยทางคลินิกระยะที่ ๒). ธรรมชาติเวชสาร. 12: 506-517.
- พรรณณี เต๋นรุ่งเรือง 2550. ฤทธิ์การต้านอนุมูลอิสระของเปลือกต้นวงศ์อบเชย (Lauraceae). รายงานวิจัยประจำปี พ.ศ. 2550. สำนักวิจัยการจัดการป่าไม้และผลิตผลป่าไม้, กรมป่าไม้. จตุจักร. กรุงเทพฯ.
- ภาคภูมิ พระประเสริฐ. 2550. สรีระวิทยาของพืช. โอเดียนสโตร์, กรุงเทพฯ. 174 หน้า
- ภาณุมาศ ฤทธิชัย ปิยาภรณ์ เข็มวิชัย และเยาวพา จิระเกียรติกุล. 2558. การพัฒนาของดอกและฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระในดอกพระจันทร์ (*Ipomoea alba* L.) วารสารวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี. 23: 497-506.
- รัชตา ทนวิฑูตร. 2557. ผลของวันปลูกต่อผลผลิต องค์ประกอบผลผลิต ปริมาณกรดในกลีบเลี้ยง และปริมาณน้ำมันในเมล็ดของกระเจี๊ยบแดงพันธุ์สุรินทร์. แก่นเกษตร. 42: 437-442.
- รัตนา ม่วงรัตน์ กรวิกา สกกุลไกรพิระ ธีญญารัตน์ บุระคำ และลีลาวดี ชมนาน 2557. ปัจจัยที่มีผลต่อการสกัดสารแอนโทไซยานินจากข้าวโพดสีม่วง. วารสารวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี. 22: 367-380.
- รุ่งอรุณ สุ่มแก้ว ยุพา มงคลสุข มะลิวัลย์ ธนะสมบัติ พงษ์ศักดิ์ พลเสนา เจษฎา วงศ์พรหม และ วรวิทย์ อินศวร. 2549. ระยะเก็บเกี่ยวและช่วงความถี่ในการเก็บเกี่ยวที่เหมาะสมของต้นเทียนกิ่งในประเทศไทย. การประชุมทางวิชาการของมหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ ครั้งที่ 44. 30 มกราคม – 2 กุมภาพันธ์ 2549. กรุงเทพฯ.
- วรติกร ณ ลำปาง. 2555. การจัดการดินกรดร่วมกับการใช้ปุ๋ยอินทรีย์ที่เหมาะสมเพื่อผลิตพืชสมุนไพรกระเจี๊ยบแดงอินทรีย์. สำนักวิจัยและพัฒนาการจัดการที่ดิน. แหล่งที่มา: http://www.ddd.go.th/web_psd/Employee%20Assessment/wean/2555/3-02-55/no3.pdf (สืบค้นเมื่อวันที่ 30 มิถุนายน 2558)
- วันดี ฤกษ์พันธ์. 2541. สมุนไพรน้ำจืด. พิมพ์ครั้งที่ 3. สำนักพิมพ์แห่งจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, กรุงเทพฯ. 273 หน้า.
- วิภาพ สุทชนะ. 2556. ฤทธิ์ต้านมะเร็งของพลาไวโนอยด์: กลไกการออกฤทธิ์. ศรีนครินทร์เวชสาร. 28: 567-582.
- สุนทร ตรีนันทวัน. 2555. สารแอนโทไซยานิน (Anthocyanin) ในดอกกระเจี๊ยบแดง. เทคโนโลยีการศึกษา สสวท. แหล่งที่มา: <http://edtech.ipst.ac.th> (สืบค้นเมื่อวันที่ 30 มิถุนายน 2558)

- สุภางค์ เรืองฉาย. 2552. การพัฒนาน้ำพริกมะขามผสมกระเจี๊ยบ. วารสารวิชาการมหาวิทยาลัย
หอการค้าไทย. 29: 88-101.
- อภิญา คำเอก. 2551. กระเจี๊ยบแดงผักพื้นบ้านที่ดีต่อสุขภาพ. สมุนไพรเพื่อสุขภาพ. 92: 33-35.
- อรุณพร อิฐรัตน์. 2555. ยาเม็ดกระเจี๊ยบแดงใช้สำหรับผู้ป่วยความดันโลหิตสูงและเบาหวาน.
แหล่งที่มา : [www4.tu.ac.th /images/images/pdf/research/p19.pdf](http://www4.tu.ac.th/images/images/pdf/research/p19.pdf). (สืบค้นเมื่อวันที่
10 มิถุนายน 2558)
- อรุษา เขาวนลิขิต. 2554. การสกัดและวิธีการวิเคราะห์แอนโทไซยานิน. วารสารมหาวิทยาลัย
ศรีนครินทรวิโรฒ. 6: 26-36.
- โอภา วัชรคุปต์. 2550. สารต้านอนุมูลอิสระ: Radical Scavenging Agents. นิวไทยมิตรการพิมพ์.
กรุงเทพฯ. 280 หน้า.
- Abdel-Moniem, A. S. H., El-Wahab, T. E. A. and Farag, N. A. 2011. Prevailing insects in
roselle plants, *Hibiscus sabdariffa* L., and their efficiency on pollination.
Archives of Phytopathology and Plant Protection. 44: 242–252.
- Abou-Arab, A. A., Abu-Salem, F. M. and Abou-Arab, E. A. 2011. Physico-chemical
properties of natural pigments (anthocyanin) extracted from roselle calyces
(*Hibiscus sabdariffa*). J. Am. Sci. 7: 445-456.
- Ahmed, Y. M., Shalaby, E. A. and Shanan, N. T. 2011. The use of organic and inorganic
cultures in improving vegetative growth, yield characters and antioxidant
activity of roselle plants (*Hibiscus sabdariffa* L.) Afr. J. Biotechnol.
10: 1988-1996.
- Ansari, M., Eslaminejad, T., Sarhadynejad, Z. and Eslaminejad, T. 2013. An overview of
the roselle plant with particular reference to its cultivation, diseases and
usages. European J. Med. Plants. 3: 135-145.
- Aruoma, O. 2003. Methodological considerations for characterizing potential
antioxidant actions of bioactive components in plant foods. Mutat. Res.
523–524 : 9–20.
- Atta, A., Diallo, A. B. Bakasso, Y., Sarr, B., Saadou, M. and Glew, R. H. 2010a. Micro-
element contents of roselle (*Hibiscus sabdariffa* L.) at different growth stages.
AJFAND. 10: 2615-2628

- Atta, S., Sarr, B., Bakasso, Y., Diallo, A. B., Lona, I., Saadou, M. and Glew, H. R. 2010b. Roselle (*Hibiscus sabdariffa* L.) yield and yield components in response to nitrogen fertilization in Niger. *Indian J. Agric. Res.* 44: 96-103.
- Atta, S., Seyni, H. H., Bakasso, Y., Sarr, B., Lona, I. and Saadou, M. 2011. Yield character variability in roselle (*Hibiscus sabdariffa* L.). *Afr. J. Agric. Res.* 6: 1371-1377.
- Borrás-Linares, I., Fernández-Arroyo, S., Arráez-Roman, D., Palmeros-Suárez, P. A., Del Val-Díaz, R., Andrade-González, I., Fernández-Gutiérrez, A., Gómez-Leyva, J.F. and Segura-Carretero, A. 2015. Characterization of phenolic compounds, anthocyanidin, antioxidant and antimicrobial activity of 25 varieties of Mexican roselle (*Hibiscus sabdariffa*). *Ind. Crop Prod.* 69: 385–394.
- Camelo-Méndez, G. A., Ragazzo-Sánchez, J. A., Jiménez-Aparicio, A. R., Vanegas-Espinoza, P. E., Paredes-López, O. and Del Villar-Martínez, A. A. 2013. Comparative study of anthocyanin and volatile compounds content of four varieties of Mexican roselle (*Hibiscus sabdariffa* L.) by multivariable analysis. *Plant Foods Hum. Nutr.* 68: 229–234.
- Cavalcanti, R. N., Diego, T. S. and Maria, A. A. 2011. Non-thermal stabilization mechanisms of anthocyanins in model and food systems – An overview. *Food Res. Int.* 44: 499-509.
- Chiu, C. T., Hsuan, S. W., Lin, H. H., Hsu, C. C., Chou, F. P. and Chen, J. H. 2015. *Hibiscus sabdariffa* leaf polyphenolic extract induces human melanoma cell death, apoptosis, and autophagy. *J. Food Sci.* 80: 649–658.
- Christian, K. R. and Jackson, C. J. 2009. Changes in total phenolic and monomeric anthocyanin composition and antioxidant activity of three varieties of sorrel (*Hibiscus sabdariffa*) during maturity. *J. Food Compos. Anal.* 22: 663-337.
- Chumsri, P., Sirichote, A. and Itharat, A. 2008. Studies on the optimum conditions for the extraction and concentration of roselle (*Hibiscus sabdariffa* Linn.) extract. *Songklanakarin J. Sci. Technol.* 30: 133-139.
- Cruz, N. A. and Solano, J. P. L. 2013. Morphological characterization of an ethnographic sample of roselle (*Hibiscus sabdariffa* L.). *Rev. Chapingo Ser. Hortic.* 19: 85-98.

- Da-Costa-Rocha, I., Bonnlaender, B., Sievers, H., Pischel, I. and Heinrich, M. 2014. *Hibiscus sabdariffa* L. – A phytochemical and pharmacological review. Food chem. 165: 424-443.
- Egharevba, R. K. A. and Low-Ogbomo, K. E. 2007. Comparative effect of two nitrogen sources on the growth and yield of roselle (*Hibiscus sabdariffa* L.) in the rainforest region: A case study of Benin-city, Edo state, Nigeria. J. Agron. 6: 142-146.
- Folin, O. and Ciocalteu, V. 1927. On tyrosine and tryptophane determinations in proteins. J. Biol. Chem. 73: 627-650.
- Gebremedin, B. D. 2015. Influence of variety and plant spacing on yield and yield attributes of roselle (*Hibiscus sabdariffa* L.). Sci. Technol. Arts Res. 4: 25-30.
- Gholam, S. and Moosavi, R. 2012. The effect of sowing date and plant density on yield and yield components of roselle. J. Med. Plants Res. 6: 1627-1632.
- Halliwell, B. 2009. The wanderings of a free radical. Free Radic. Biol. Med. 46: 531-542.
- Haruna, I. M., Ibrahim, H. Y. and Rahman, S. A. 2009. The yield and profitability of roselle (*Hibiscus sabdariffa* L.) at varying poultry manure and nitrogen fertilizer rates in the southern guinea savanna of Nigeria. J. Agric. Sci. Technol. 7: 605-609.
- Herrera-Arellano, A., Flores-Romero, S., Chavez-Soto, M. A. 2004. Effectiveness and tolerability of a standardized extract from *Hibiscus sabdariffa* in patients with mild to moderate hypertension: a controlled and randomized clinical trial. Phytomedicine. 11: 375–382.
- Hopkins, W. G. and Hüner, N. P. A. 2009. Introduction to Plant Physiology. 4th edition. John Wiley and Sons, USA. 503 p.
- Hussein, R. M., Shahein, Y. E., Hakim, A. E. E. and Awad, H. M. 2010. Biochemical and molecular characterization of three colored types of roselle (*Hibiscus sabdariffa* L.). J. Am. Sci. 6: 726-733.
- Jaiarree, N. 2010. Biological activities of *Dioscorea birmanica* Prain and Burkill extract and its active ingredients. Doctoral Thesis in Medical Sciences. Faculty of Medicine. Thammasat University, Pathumthani.

- Javadzadeh, S. M. 2015. The effect of irrigation intervals on yield, yield components and water use efficiency of roselle (*Hibiscus sabdariffa* L.). Direct Res. J. Agric. Food. Sci. 3: 98-105.
- Kumar, S. S., Manoj, P., Shetty, N. P. and Giridhar, P. 2015. Effect of different drying methods on chlorophyll, ascorbic acid and antioxidant compounds retention of leaves of *Hibiscus sabdariffa* L. J. Sci. Food Agr. 95: 1812–1820.
- Lee, J., Durst, R. W. and Wrolstad, R. E. 2005. Determination of total monomeric anthocyanin pigment content of fruit juices, beverages, natural colorants, and wines by the pH differential method: collaborative study. J. AOAC Int. 88: 1269-1278.
- Lefsrud, M., Kopsell, D., Wenzel, A. and Sheehan, J. 2007. Changes in kale (*Brassica oleracea* L. var. acephala) carotenoid and chlorophyll pigment concentrations during leaf ontogeny. Sci. Hortic. 112: 136-141.
- Lewandowska, M. and Jarvis, P. G. 1977. Changes in chlorophyll and carotenoid content, specific leaf area and dry weight fraction in sitka spruce, in response to shading and season. New. Phytol. 79: 247-256.
- Li, Q., Wang, J., Sun, H. Y. and Shang X. 2014. Flower color patterning in pansy (*Viola x wittrockiana* Gams.) is caused by the differential expression of three genes from the anthocyanin pathway in acyanic and cyanic flower areas. Plant. Physiol. Biochem. 84: 134-141.
- Lichtenthaler, H. K. and Buschmann, C. 2001. Current Protocols in Food Analytical Chemistry. John Wiley and Sons. New York. 1203 p.
- Lin, H., Chan, K., Sheu, J., Hsuan, S., Wang, C. and Chen, J. 2012. *Hibiscus sabdariffa* leaf induces apoptosis of human prostate cancer cells *in vitro* and *in vivo*. Food Chem. 132: 880–891.
- Lin, K. H., Huang, M. Y., Hsu Huang, W. D., Yang, Z. W. and Yang, C. M. 2013. The effects of red, blue, and white light-emitting diodes on the growth, development, and edible quality of hydroponically grown lettuce (*Lactuca sativa* L. var. *capitata*). Sci. Hortic. 150: 86-91.

- Liu, S. C., Lin, J. T., Hu, C. C., Shen, B. Y., Chen, T. Y., Chang, Y. L., Shin, C. H. and Yang, D. J. 2017. Phenolic compositions and antioxidant attributes of leaves and stems from three inbred varieties of *Lycium chinense* Miller harvested at various times. *Food Chem.* 215: 284-291.
- Mahadevan, N., Shivali and Kamboj, P. 2009. *Hibiscus sabdariffa* Linn.-an overview. *Nat. Proc. Rad.* 8: 77-83.
- Mgaya, K. B., Remberg, S. F., Chove, B. E. and Wicklund, T. 2014. Physio-chemical, mineral composition and antioxidant properties of roselle (*Hibiscus sabdariffa* L.) extract blended with tropical fruit juices. *Afr. J. Food. Nutr. Sci.* 14: 8964-8976.
- Mlinarić, S., Dunić, J. A., Štolfa, I., Cesar, V., and Lepeduš, H. 2016. High irradiation and increased temperature induce different strategies for competent photosynthesis in young and mature fig leaves. *S. Afr. J. Bot.* 103: 25-31.
- Mohamed, B. B., Sulaiman, A. A. and Dahab, A. A. 2012. Roselle (*Hibiscus sabdariffa* L.) in Sudan, cultivation and their uses. *Bull. Environ. Pharmacol. Life Sci.* 1: 48-54.
- Mohd-Esa, N., Hern, F. S., Ismail, A. and Yee, C. L. 2010. Antioxidant activity in different parts of roselle (*Hibiscus sabdariffa* L.) extracts and potential exploitation of the seeds. *Food chem.* 122: 1055-1060.
- Osman, M., Golam, F., Saberi, S., Majid, N. A., Nagoor, N. H. and Zulqarnain, M. 2011. Morpho-agronomic analysis of three roselle (*Hibiscus sabdariffa* L.) mutants in tropical Malaysia. *Aust. J. Crop Sci.* 5: 1150-1156.
- Ottai, M., Abdel-Moniem, A., and El-Mergawi, R. A. 2004. Effect of variety and location on growth and yield components of roselle, *Hibiscus sabdariffa* L. and its infestation with the spiny bollworm *Earias insulana* (BOISD.). *Archives of Phytopathology and Plant Protection.* 37: 215-231.
- Pacôme, O. A., Bernard, D. N., Sékou, D., Joseph, D. A., David, N. J., Mongomaké, K. and Hilaire, K. T. 2014. Phytochemical and antioxidant activity of roselle (*Hibiscus sabdariffa* L.) petal extracts. *RJPBCS.* 5: 1453-1465.
- Pietta P. G. 2000. Flavonoids as antioxidants. *J. Nat. Prod.* 63: 1035-1042.

- Pokorny, J., Yanishlieva, N. and Gordon, M. 2001. Antioxidants in Food: Practical Applications. CRC Press, New York. 380 p.
- Rahaman, C. H. and Pal, K. 2015. Phytochemical and antioxidant studies of *Hibiscus sabdariffa* L. – an ethnomedicinal plant. IAJPR. 5: 1454-1462.
- Rao, A. V. and Rao, L. G. 2007. Carotenoids and human health. Pharmacol. Res. 55: 207-216.
- Reynertson, K. A., Basile, M. J. and Kennelly E. J. 2005. Antioxidant potential of seven myrtaceous fruits. Ethnobot. Res. Appl. 3: 25-35.
- Rubatzky, V. E. and Yamaguchi, M. 1997. Word Vegetable: Principle, Production and Nutritive Values. Chapman & Hall. USA. 891 p.
- Ryan, D., Antolovitch, M., Prenzler, P., Robards, K. and Lavee, S. 2002. Biotransformations of phenolics compounds in *Olea europaea* L. Sci. Hortic. 92: 147-176.
- Saini, R. K., Nile, S. H. and Park, N. S. 2015. Carotenoids from fruits and vegetables: chemistry, analysis, occurrence, bioavailability and biological activities. Food Res. Int. 76: 735-750
- Salazar-González, C., Vergara-Balderas, F. T., Ortega-Regules, A. E. and Guerrero-Beltrán, J. Á. 2012. Antioxidant properties and color of *Hibiscus sabdariffa* extracts. Cien. Inv. Agr. 39: 79-90.
- Schijlen, E. G. W. M., Ric de Vos, C. H., Van Tunen, A. J. and Bovy, A. G., 2004. Modification of flavonoid biosynthesis in crop plants. Phytochemistry. 65: 2631- 2648.
- Seghatoleslami, M. J., Mousavi, S. G. and Barjand, I. 2013. Effect of irrigation and planting date on morpho-physiological traits and yield of roselle (*Hibiscus sabdariffa*). J. Anim. Plant Sci. 23: 256-260.
- Sindi, H. A., Marshall, L. J. and Morgan, M. R. A. 2014. Comparative chemical and biochemical analysis of extracts of *Hibiscus sabdariffa*. Food Chem. 164: 23-29.
- Sireeratawong, S., Itharat, A., Khonsung, P., Lertprasertsuke, N. and Jaijoy, K. 2013. Toxicity studies of the water extract from the calyces of *Hibiscus sabdariffa* L. in rats. Afr. J. Tradit. Complement. Altern. Med. 10: 122-127.

- Torres-Morán, M. I., Escoto-Delgadillo, M., Ron-Parra, J., Parra-Tovar, G., Mena-Munguía, S., Rodríguez-García, A. and Castellanos-Hernández, Y. O. 2011. Relationships among twelve genotypes of roselle (*Hibiscus sabdariffa* L.) cultivated in western Mexico. *Ind. Crop Prod.* 34: 1079–1083.
- Toukara, F., Amza, T., Lagnika, C., Le, G. W. and Shi, Y. H. 2013. Extraction, characterization, nutritional and functional properties of roselle (*Hibiscus sabdariffa* Linn) seed proteins. *Songklanakarin J. Sci. Technol.* 35: 159-166.
- Tsai, P. J., McIntosh, J., Pearce, P., Camden, B. and Jordan, B. R. 2002. Anthocyanin and antioxidant capacity in roselle (*Hibiscus sabdariffa* L.) extract. *Food. Res. Int.* 35: 351-356.
- Tsai, T. H., Tsai, P. J. and Ho, S. C. 2005. Antioxidant and anti-inflammatory activities of several commonly species. *J. Food Sci.* 70: 93 – 97.
- Vaidya, K. R. 2000. Natural cross-pollination in roselle, *Hibiscus sabdariffa* L. (Malvaceae). *Genet. Mol. Biol.* 23: 667-669.
- Wang, J., Cao, X., Jiang, H., Qi, Y., Chin, K. L. and Yue, Y. 2014. Antioxidant activity of leaf extracts from different *Hibiscus sabdariffa* accessions and simultaneous determination five major antioxidant compounds by LC-Q-TOF-MS. *Molecules.* 19: 21226-21238.
- Wang, J., Cao, X., Ferchaud, V., Qi, Y., Jiang, H., Tang, F., Yue, Y. and Chin, K. L. 2015. Variations in chemical fingerprints and major flavonoid contents from the leaves of thirty-one accessions of *Hibiscus sabdariffa* L. *Biomed. Chromatogr.* 1: 3623-3631.
- Wilson, F. D. and Menzel, M. Y. 1964. Kenaf (*Hibiscus cannabinus* L.), roselle (*Hibiscus sabdariffa* L.). *Econ. Bot.* 18: 80-91.
- Wisetmuen, E., Pannangpetch, P., Kongyingyoes, B., Kukongviriyapan, U., Yutanawiboonchai, W. and Itharat, A. 2013. Insulin secretion enhancing activity of roselle calyx extract in normal and streptozotocin-induced diabetic rats. *Pharmacognosy Res.* 5: 65-70.
- Wong, P. K., Yusof, S., Ghazali, H. M. and Man, Y. B. C. 2002. Physico-chemical characterization of roselle (*Hibiscus sabdariffa* L.). *J. Nutr. Food Sci.* 32: 68-73

- Worawattananutai, P., Itharat, A. and Ruangnoo, S. 2014. *In vitro* antioxidant, anti-inflammatory, cytotoxic activities against prostate cancer of extracts from *Hibiscus sabdariffa* leaves. J. Med. Assoc. Thai. 97: 81-87.
- Yoo, S. D., Greer, D. H., Laing, W. A. and McManus, M. T. 2003. Changes in photosynthetic efficiency and carotenoid composition in leaves of white clover at different developmental stages. Plant. Physiol. Bioch. 41: 887-893.
- Zhang, Y., Butelli, E. and Martin, C. 2014. Engineering anthocyanin biosynthesis in plants. Curr. Opin. Plant Biol. 19: 81-90.
- Zhao, J., Davis, L. C. and Verpoote, R. 2005. Elicitor signal transduction leading to production of plant secondary metabolites. Biotechnol. Adv. 23: 283-333.
- Zhen, J., Villani, T. S., Guo, Y., Qi, Y., Chin, K., Pan, M. H., Ho, C. T., Simon, J. E. and Wu, Q. 2016. Phytochemistry, antioxidant capacity, total phenolic content and anti-inflammatory activity of *Hibiscus sabdariffa* leaves. Food Chem. 190: 673-680.
- Zhu, H., Wang, Y., Liu, Y., Xia, Y. and Tang, T. 2010. Analysis of flavonoids in *Portulaca oleracea* L. by UV-Vis spectrophotometry with comparative study on different extraction technologies. Food Anal. Methods. 3: 90-97.
- <http://www.siamchemi.com/คลอโรฟิลล์/> (สืบค้นเมื่อวันที่ 1 ธันวาคม 2558)



ภาคผนวก

ภาคผนวก ก
ลักษณะทางสัณฐานวิทยาของกระเจี๊ยบแดง

ตารางผนวกที่ ก. 1 ลักษณะทางลำต้นของกระเจี๊ยบแดง 2 กลุ่ม ในระยะดอกแรกบาน 50 %

กลุ่มที่	Accession No.	ความสูง ทรงพุ่ม (ซม.)	ความกว้าง ทรงพุ่ม (ซม.)	จำนวน กิ่งแขนง (กิ่งต่อต้น)	สีลำต้น (H ⁰)
1 กลีบเลี้ยง สีแดงเข้ม	HS001	131.90±13.88 ^{1/}	126.00±18.23	25.70±2.67	1.55±0.00
	HS002	119.40±20.85	114.20±21.54	26.00±5.19	1.56±0.00
	HS004	147.50±13.57	143.50±19.15	30.50±2.88	1.54±0.00
	HS005	51.50±17.80	126.80±17.92	28.80±3.82	1.54±0.00
	HS007	120.50±12.56	109.50±19.36	25.60±3.13	1.55±0.00
	HS011	123.20±17.13	94.00±19.97	21.60±3.81	1.54±0.00
1 กลีบเลี้ยง สีส้มแดง	HS014	125.50±20.61	109.00±20.52	21.60±3.98	1.55±0.00
	HS012	116.80±16.33	106.20±15.77	20.40±2.88	1.55±0.00
	HS013	122.50±20.03	107.60±18.23	23.90±5.63	1.56±0.00
2.1 กลีบเลี้ยง สีส้มแดง	เฉลี่ย	128.76±12.54	115.20±14.63	24.90±3.39	1.55±0.01
	HS003	109.40±11.83	111.10±10.82	25.40±3.06	1.56±0.00
	HS010	118.10±13.10	102.00±13.17	30.70±2.36	1.55±0.00
2.2 กลีบเลี้ยง สีเขียว	เฉลี่ย	113.75±6.15	106.55±6.43	28.05±3.75	1.56±0.01
	HS006	98.90±16.62	105.50±15.71	26.00±2.40	178.48±0.00
	HS008	101.30±13.47	105.00±12.25	25.70±4.00	178.44±0.00
	HS009	132.00±13.76	105.00±12.91	28.60±2.50	178.43±0.00
	เฉลี่ย	110.73±18.46	105.17±0.29	26.77±1.59	178.45±0.03

^{1/} ค่าเฉลี่ย±ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน

H⁰ ค่าสี (°hue angle); 0°-45° สีม่วงแดงถึงสีส้มแดง 45°-90° สีส้มแดงถึงสีเหลือง 90°-135° สีเหลืองถึงสีเหลืองเขียว 135°-180° สีเหลืองเขียวถึงสีเขียว 180°-225° สีเขียวถึงสีน้ำเงินเขียว 225°-270° สีน้ำเงินเขียวถึงสีน้ำเงิน 270°-315° สีน้ำเงินถึงสีม่วง และ 315°-360° สีม่วงถึงสีม่วงแดง

ตารางผนวกที่ ก. 2 ความกว้างใบ ความยาวใบ ความยาวก้านใบ และจำนวนรอยหยักต่อใบของ
กระเจี๊ยบแดง 2 กลุ่ม ในระยะดอกบาน

กลุ่มที่	Accession No.	ความกว้างใบ (ซม.)	ความยาวใบ (ซม.)	ความยาวก้านใบ (ซม.)	จำนวนรอยหยักต่อใบ
1 กลีบเลี้ยง สีแดงเข้ม	HS001	18.28±1.11 ^{1/}	15.36±1.03	13.47±0.82	4.70±0.67
	HS002	16.40±1.09	14.54±1.08	13.54±0.94	4.60±0.70
	HS004	16.71±1.42	14.99±0.58	15.05±0.77	4.90±0.32
	HS005	16.65±1.22	14.88±0.48	15.70±0.76	4.80±0.63
	HS007	15.83±1.99	13.86±0.87	13.69±1.42	4.90±0.32
	HS011	15.19±1.22	14.23±1.03	14.57±1.33	4.50±0.85
1 กลีบเลี้ยง สีส้มแดง	HS014	12.04±1.31	11.88±0.91	10.98±1.12	4.50±0.85
	HS012	17.13±1.74	14.64±0.92	12.57±1.21	4.80±0.63
	HS013	15.26±1.71	12.87±1.26	11.91±1.16	4.70±0.67
2.1 กลีบเลี้ยง สีส้มแดง	เฉลี่ย	15.94±1.75	14.14±1.12	13.50±1.51	4.71±0.15
	HS003	14.06±1.34	12.13±0.77	7.44±0.33	4.50±0.85
	HS010	13.62±1.22	12.24±0.77	7.69±0.41	4.70±0.67
2.2 กลีบเลี้ยง สีเขียว	เฉลี่ย	13.84±0.31	12.19±0.08	7.57±0.18	4.60±0.14
	HS006	12.66±1.77	12.24±0.98	8.02±0.52	5.00±0.47
	HS008	13.83±0.96	11.72±0.91	7.60±0.98	5.20±0.79
	HS009	18.02±1.64	13.99±1.62	9.12±0.55	5.10±0.32
	เฉลี่ย	14.84±2.82	12.65±1.19	8.25±0.78	5.10±0.10

^{1/} ค่าเฉลี่ย±ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน

ตารางผนวกที่ ก. 3 ความลึกรอยหยักของใบ สีใบ และสีก้านใบของกระเจี๊ยบแดง 2 กลุ่ม
ในระยะดอกบาน

กลุ่มที่	Accession No.	ความลึกรอยหยักของใบ	สีใบ (H ⁰)	สีก้านใบ (H ⁰)
1 กลีบเลี้ยง สีแดงเข้ม	HS001	ปานกลาง	178.44±0.00 ⁴¹	1.55±0.00
	HS002	ปานกลาง	178.45±0.00	1.55±0.00
	HS004	ปานกลาง	178.45±0.00	1.55±0.00
	HS005	ปานกลาง	178.45±0.00	1.53±0.02
	HS007	ปานกลาง	178.44±0.00	1.56±0.00
	HS011	ปานกลาง	178.45±0.00	1.56±0.00
	HS014	ปานกลาง	178.45±0.00	1.55±0.00
1 กลีบเลี้ยง สีส้มแดง	HS012	ปานกลาง	178.45±0.00	1.35±0.28
	HS013	ปานกลาง	178.45±0.00	178.46±0.00
	เฉลี่ย	ปานกลาง	178.45±0.00	21.20±58.97
2.1 กลีบเลี้ยง สีส้มแดง	HS003	มาก	178.44±0.00	1.52±0.01
	HS010	มาก	178.45±0.00	1.51±0.01
	เฉลี่ย	มาก	178.44±0.00	1.52±0.01
2.2 กลีบเลี้ยง สีเขียว	HS006	มาก	178.44±0.00	178.61±0.19
	HS008	มาก	178.44±0.00	178.43±0.00
	HS009	มาก	178.44±0.00	178.44±0.00
	เฉลี่ย	มาก	178.44±0.00	178.47±0.05

⁴¹ ค่าเฉลี่ย±ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน

H⁰ ค่าสี (°hue angle); 0°-45° สีม่วงแดงถึงสีส้มแดง 45°-90° สีส้มแดงถึงสีเหลือง 90°-135° สีเหลืองถึงสีเหลืองเขียว 135°-180° สีเหลืองเขียวถึงสีเขียว 180°-225° สีเขียวถึงสีน้ำเงินเขียว 225°-270° สีน้ำเงินเขียวถึงสีน้ำเงิน 270°-315° สีน้ำเงินถึงสีม่วง และ 315°-360° สีม่วงถึงสีม่วงแดง

ตารางผนวกที่ ก. 4 ลักษณะการเกิดดอกของกระเจี๊ยบแดง 2 กลุ่ม

กลุ่มที่	Accession No.	ข้อที่เกิดดอกแรก	อายุการเกิดตาดอกแรก (วันหลังหยอดเมล็ด)	อายุเมื่อดอกแรกบาน 50 % (วันหลังหยอดเมล็ด)
1 กลีบเลี้ยง สีแดงเข้ม	HS001	21.70±1.89 ⁴¹	53.20±1.48	70.90±1.60
	HS002	20.50±1.84	53.40±2.63	72.00±3.02
	HS004	24.90±2.18	52.00±1.50	68.60±1.26
	HS005	23.60±3.37	54.40±1.78	72.10±2.38
	HS007	22.20±2.62	56.90±1.97	71.00±1.83
	HS011	24.20±2.30	62.30±2.99	77.30±1.42
1 กลีบเลี้ยง สีส้มแดง	HS014	21.10±2.60	54.20±3.26	72.30±3.83
	HS012	18.30±1.57	51.60±1.08	68.30±1.57
	HS013	20.30±3.27	54.60±2.91	71.50±1.96
2.1 กลีบเลี้ยง สีส้มแดง	เฉลี่ย	21.87±2.10	54.73±3.24	71.56±2.60
	HS003	19.20±1.55	53.10±1.80	67.50±3.57
	HS010	22.40±1.78	56.60±2.72	75.60±2.17
2.2 กลีบเลี้ยง สีเขียว	เฉลี่ย	20.80±2.26	54.85±2.47	71.55±5.73
	HS006	22.60±1.78	53.50±2.68	70.30±2.87
	HS008	21.00±2.49	55.70±2.31	71.90±2.13
	HS009	23.90±1.52	55.00±2.45	71.70±2.63
	เฉลี่ย	22.50±1.45	54.73±1.12	71.30±0.87

⁴¹ ค่าเฉลี่ย±ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน

ตารางผนวกที่ ก. 5 สีกลีบดอกและสีโคนกลีบดอกของกระเจี๊ยบแดง 2 กลุ่ม

กลุ่มที่	Accession No.	สีกลีบดอก (H^0)	สีโคนกลีบดอก (H^0)
1 กลีบเลี้ยง สีแดงเข้ม	HS001	1.56±0.00 ⁴¹	1.52±0.07
	HS002	1.56±0.00	1.57±0.00
	HS004	1.56±0.00	1.57±0.00
	HS005	1.56±0.00	1.57±0.00
	HS007	1.56±0.00	1.57±0.00
	HS011	1.56±0.00	1.57±0.00
	HS014	1.56±0.00	1.57±0.00
1 กลีบเลี้ยง สีส้มแดง	HS012	1.56±0.00	1.57±0.00
	HS013	1.56±0.00	1.57±0.00
	เฉลี่ย	1.56±0.00	1.57±0.00
2.1 กลีบเลี้ยง สีส้มแดง	HS003	1.54±0.00	1.57±0.00
	HS010	1.57±0.00	1.56±0.00
	เฉลี่ย	1.55±0.02	1.57±0.00
2.2 กลีบเลี้ยง สีเขียว	HS006	178.43±0.00	1.56±0.00
	HS008	178.43±0.00	178.51±0.03
	HS009	178.43±0.00	1.56±0.00
	เฉลี่ย	178.43±0.00	60.54±102.15

⁴¹ ค่าเฉลี่ย±ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน

H^0 ค่าสี (°hue angle); 0°-45° สีม่วงแดงถึงสีส้มแดง 45°-90° สีส้มแดงถึงสีเหลือง 90°-135° สีเหลืองถึงสีเหลืองเขียว 135°-180° สีเหลืองเขียวถึงสีเขียว 180°-225° สีเขียวถึงสีน้ำเงินเขียว 225°-270° สีน้ำเงินเขียวถึงสีน้ำเงิน 270°-315° สีน้ำเงินถึงสีม่วง และ 315°-360° สีม่วงถึงสีม่วงแดง

ตารางผนวกที่ ก. 6 ความกว้าง ความยาว และความหนาเกลี้ยงของกระเจี๊ยะแดง 2 กลุ่ม
เมื่อเกลี้ยงเจริญเติบโตเต็มที่

กลุ่มที่	Accession No.	ความกว้างเกลี้ยง (ซม.)	ความยาวเกลี้ยง (ซม.)	ความหนาเกลี้ยง (ซม.)
1 เกลี้ยง สีแดงเข้ม	HS001	5.04±0.93	5.41±0.40 ^{1/}	0.50±0.08
	HS002	5.32±0.64	5.55±0.51	0.46±0.09
	HS004	5.15±0.62	5.49±0.27	0.46±0.10
	HS005	5.03±0.74	5.02±0.30	0.41±0.09
	HS007	4.27±0.49	4.73±0.22	0.38±0.11
	HS011	5.41±0.48	4.86±0.30	0.45±0.09
	HS014	3.34±0.27	4.30±0.27	0.37± 0.09
1 เกลี้ยง สีส้มแดง	HS012	4.84±0.68	5.44±0.33	0.45±0.09
	HS013	4.44±0.60	4.98±0.29	0.42±0.09
	เฉลี่ย	4.76±0.65	5.09±0.42	0.43±0.04
2.1 เกลี้ยง สีส้มแดง	HS003	3.32±0.48	4.96±0.27	0.30±0.07
	HS010	3.25±0.44	4.89±0.43	0.36±0.06
	เฉลี่ย	3.29±0.05	4.93±0.05	0.33±0.04
2.2 เกลี้ยง สีเขียว	HS006	2.83±0.37	4.70±0.35	0.32±0.08
	HS008	2.98±0.36	4.96±0.14	0.31±0.06
	HS009	3.05±0.33	4.58±0.22	0.36±0.40
	เฉลี่ย	2.95±0.11	4.75±0.19	0.33±0.03

^{1/} ค่าเฉลี่ย±ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน

ตารางผนวกที่ ก. 7 น้ำหนักสด น้ำหนักแห้ง และสีกลีบเลี้ยงของกระเจี๊ยบแดง 2 กลุ่ม
เมื่อกลีบเลี้ยงเจริญเติบโตเต็มที่

กลุ่มที่	Accession No.	น้ำหนักสด (กรัมต่อกลีบเลี้ยง)	น้ำหนักแห้ง (กรัมต่อกลีบเลี้ยง)	สีกลีบเลี้ยง (H ⁰)
1 กลีบเลี้ยง สีแดงเข้ม	HS001	10.74±0.30 ¹	1.17±0.12	1.53±0.05
	HS002	12.16±0.12	1.29±0.15	1.55±0.02
	HS004	13.18±0.04	1.33±0.16	1.54±0.01
	HS005	13.90±0.11	1.33±0.16	1.54±0.01
	HS007	11.24±0.11	1.20±0.15	1.54±0.01
	HS011	11.71±0.07	1.12±0.09	1.54±0.02
1 กลีบเลี้ยง สีส้มแดง	HS014	8.49± 0.05	0.987±0.06	1.55±0.00
	HS012	13.64±0.37	1.38±0.11	1.56±0.00
	HS013	13.26±0.15	1.35±0.10	1.57±0.00
2.1 กลีบเลี้ยง สีส้มแดง	เฉลี่ย	12.04±1.73	1.23±0.16	1.55±0.01
	HS003	3.97±0.09	0.40±0.04	1.56±0.00
	HS010	3.66±0.17	0.42±0.05	1.57±0.00
2.2 กลีบเลี้ยง สีเขียว	เฉลี่ย	3.82±0.22	0.41±0.01	1.57±0.00
	HS006	4.26±0.18	0.42±0.04	178.46±0.02
	HS008	3.26±0.09	0.38±0.04	178.44±0.00
	HS009	2.62±0.85	0.40±0.05	178.44±0.00
	เฉลี่ย	3.38±0.83	0.40±0.02	178.44±0.01

¹ ค่าเฉลี่ย±ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน

H⁰ ค่าสี (°hue angle); 0°-45° สีม่วงแดงถึงสีส้มแดง 45°-90° สีส้มแดงถึงสีเหลือง 90°-135° สีเหลืองถึงสีเหลืองเขียว 135°-180° สีเหลืองเขียวถึงสีเขียว 180°-225° สีเขียวถึงสีน้ำเงินเขียว 225°-270° สีน้ำเงินเขียวถึงสีน้ำเงิน 270°-315° สีน้ำเงินถึงสีม่วง และ 315°-360° สีม่วงถึงสีม่วงแดง

ตารางผนวกที่ ก. 8 ความกว้างและความยาวผลของกระเจียบแดง 2 กลุ่ม เมื่อผลเจริญเติบโตเต็มที่

กลุ่มที่	Accession No.	ความกว้างผล (ซม.)	ความยาวผล (ซม.)
1 กลีบเลี้ยง สีแดงเข้ม	HS001	2.23±0.08	2.60±0.19 ^{1/}
	HS002	2.25±0.11	2.61±0.14
	HS004	2.49±0.14	2.77±0.26
	HS005	2.29±0.09	2.68±0.09
	HS007	2.00±0.11	2.44±0.21
	HS011	2.11±0.16	2.57±0.21
	HS014	2.16±0.13	2.64±0.22
1 กลีบเลี้ยง สีส้มแดง	HS012	2.34±0.11	2.59±0.15
	HS013	2.32±0.09	2.58±0.08
	เฉลี่ย	2.24±0.14	2.61±0.09
2.1 กลีบเลี้ยง สีส้มแดง	HS003	1.61±0.07	2.44±0.10
	HS010	1.38±0.06	2.26±0.13
	เฉลี่ย	1.50±0.16	2.35±0.13
2.2 กลีบเลี้ยง สีเขียว	HS006	1.46±0.07	2.80±0.46
	HS008	1.44±0.05	2.32±0.10
	HS009	1.46±0.05	2.46±0.13
	เฉลี่ย	1.45±0.01	2.53±0.25

^{1/} ค่าเฉลี่ย±ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน

ตารางผนวกที่ ก. 9 สีผล น้ำหนักสดผลอ่อนและผลแก่ของกระเจี๊ยบแดง 2 กลุ่ม

กลุ่มที่	Accession No.	สีผล (H^0)	น้ำหนักสดผลอ่อน (กรัมต่อผล)	น้ำหนักสดผลแก่ (กรัมต่อผล)
1 กลีบเลี้ยง สีแดงเข้ม	HS001	1.56±0.00 ¹	5.30±0.37	1.91±0.08
	HS002	1.56±0.00	5.06±0.22	2.24±0.05
	HS004	1.56±0.00	5.39±0.70	1.97±0.05
	HS005	1.56±0.00	5.33±0.38	2.78±0.09
	HS007	1.56±0.00	4.99±0.34	1.77±0.03
	HS011	1.56±0.00	5.36±0.09	1.81±0.05
	HS014	1.56±0.00	4.37±0.23	2.66±0.10
1 กลีบเลี้ยง	HS012	178.45±0.00	6.30±0.32	2.40±0.00
	HS013	178.45±0.00	5.83±0.29	1.90±0.04
สีส้มแดง	เฉลี่ย	40.87±78.00	5.32±0.54	2.16±0.38
2.1 กลีบเลี้ยง	HS003	178.50±0.05	2.91±0.18	1.68±0.07
	HS010	178.44±0.00	2.78±0.09	1.53±0.02
	เฉลี่ย	178.46±0.03	2.85±0.09	1.61±0.11
2.2 กลีบเลี้ยง สีเขียว	HS006	178.46±0.01	2.99±0.32	1.68±0.02
	HS008	178.44±0.00	3.16±0.25	1.46±0.05
	HS009	178.44±0.00	3.05±0.16	1.44±0.10
	เฉลี่ย	178.45±0.01	3.07±0.09	1.53±0.13

¹ ค่าเฉลี่ย±ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน

H^0 ค่าสี (°hue angle); 0°-45° สีม่วงแดงถึงสีส้มแดง 45°-90° สีส้มแดงถึงสีเหลือง 90°-135° สีเหลืองถึงสีเหลืองเขียว 135°-180° สีเหลืองเขียวถึงสีเขียว 180°-225° สีเขียวถึงสีน้ำเงินเขียว 225°-270° สีน้ำเงินเขียวถึงสีน้ำเงิน 270°-315° สีน้ำเงินถึงสีม่วง และ 315°-360° สีม่วงถึงสีม่วงแดง

ตารางผนวกที่ ก. 10 ลักษณะเมล็ดของกระเจียบแดง 2 กลุ่ม เมื่อเก็บเกี่ยวผลแก่

กลุ่มที่	Accession No.	จำนวนเมล็ดต่อผล	น้ำหนัก 100 เมล็ด (กรัม)	สีเมล็ดสุกแก่ (H ⁰)
1 กลีบเลี้ยง สีแดงเข้ม	HS001	22.80±1.87 ^{1/}	2.77±0.12	1.50±0.00
	HS002	21.60±2.80	2.69±0.09	1.53±0.00
	HS004	20.20±2.10	2.80±0.11	1.53±0.00
	HS005	23.20±2.66	2.75±0.08	1.54±0.00
	HS007	24.30±1.89	2.29±0.11	1.54±0.00
	HS011	26.90±1.29	2.51±0.12	1.54±0.00
	HS014	18.60±1.51	2.24±0.06	1.54±0.00
1 กลีบเลี้ยง สีส้มแดง	HS012	26.00±2.98	2.41±0.07	1.54±0.01
	HS013	27.50±2.37	2.04±0.07	1.54±0.00
	เฉลี่ย	23.46±3.03	2.50±0.27	1.53±0.01
2.1 กลีบเลี้ยง สีส้มแดง	HS003	25.90±1.97	3.14±0.05	1.52±0.00
	HS010	26.30±2.06	3.18±0.01	1.54±0.01
	เฉลี่ย	26.10±0.28	3.16±0.03	1.53±0.02
2.2 กลีบเลี้ยง สีเขียว	HS006	19.90±1.29	3.02±0.05	1.51±0.00
	HS008	23.30±2.87	2.87±0.08	1.54±0.00
	HS009	25.90±1.20	2.90±0.05	1.54±0.00
	เฉลี่ย	23.03±3.01	2.93±0.08	1.53±0.02

^{1/} ค่าเฉลี่ย±ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน

H⁰ ค่าสี (°hue angle); 0°-45° สีม่วงแดงถึงสีส้มแดง 45°-90° สีส้มแดงถึงสีเหลือง 90°-135° สีเหลืองถึงสีเหลืองเขียว 135°-180° สีเหลืองเขียวถึงสีเขียว 180°-225° สีเขียวถึงสีน้ำเงินเขียว 225°-270° สีน้ำเงินเขียวถึงสีน้ำเงิน 270°-315° สีน้ำเงินถึงสีม่วง และ 315°-360° สีม่วงถึงสีม่วงแดง

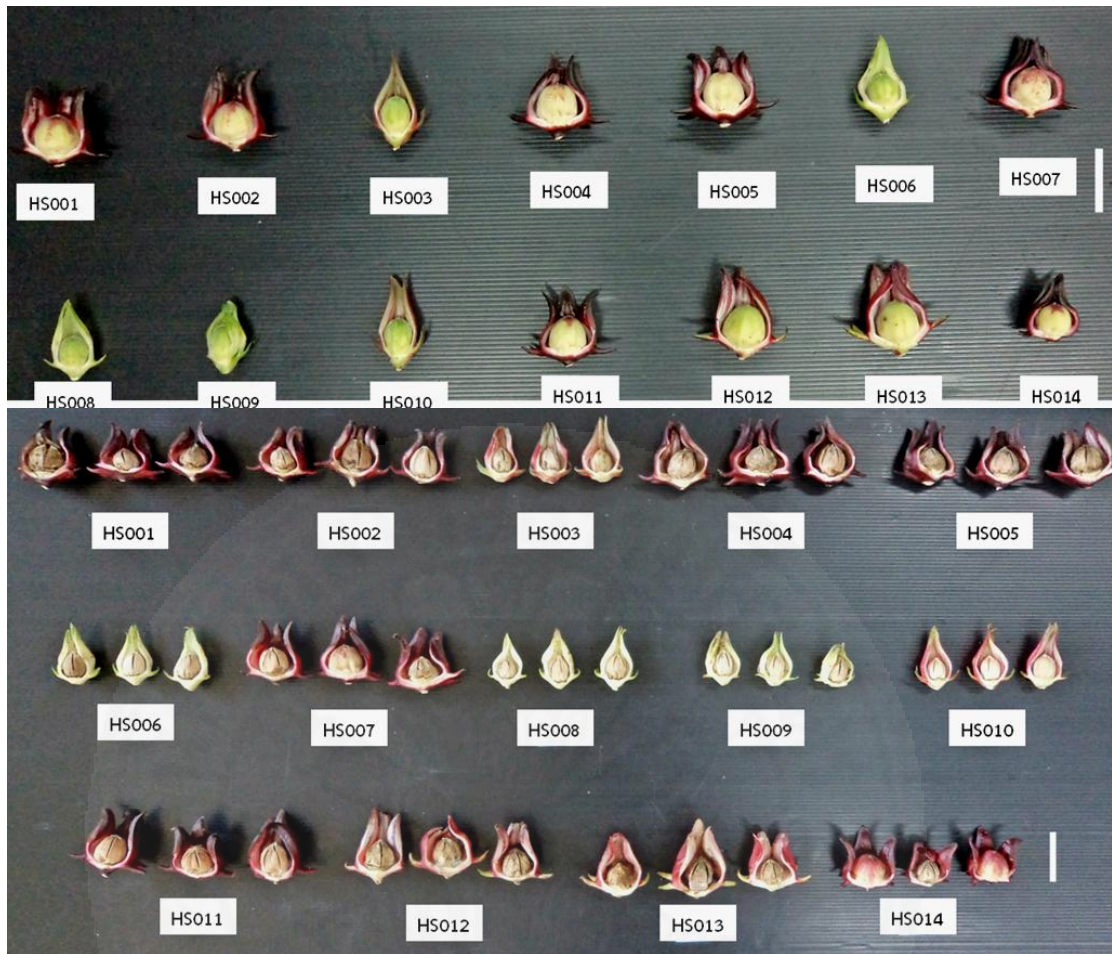
ตารางผนวกที่ ก. 11 อายุเมื่อเริ่มเก็บเกี่ยวกลีบเลี้ยง จำนวนกลีบเลี้ยง และผลผลิตกลีบเลี้ยงของ
กระเจียบแดง 2 กลุ่ม

กลุ่มที่	Accession No.	อายุเมื่อเริ่มเก็บเกี่ยวกลีบเลี้ยง (วันหลังย้ายปลูก)	จำนวนกลีบเลี้ยง ต่อต้น	ผลผลิตน้ำหนักสดกลีบเลี้ยง (กิโลกรัมต่อต้น)	ผลผลิตน้ำหนักแห้งกลีบเลี้ยง (กรัมต่อต้น)
1 กลีบเลี้ยง สีแดงเข้ม	HS001	82.25±2.22 ¹	250.50±34.83	2.51±0.35	268.38±36.35
	HS002	81.50±1.73	204.32±45.46	2.19±0.49	327.92±217.41
	HS004	79.00±1.41	219.18±30.07	2.46±0.33	256.17±34.01
	HS005	78.25±1.50	258.93±60.32	3.03±0.74	308.15±78.89
	HS007	85.25±1.26	262.87±132.38	2.11±0.37	297.04±151.93
	HS011	82.75±1.50	133.21±21.71	1.42±0.24	141.46±24.02
	HS014	78.50±1.73	145.44±22.78	1.18±0.19	122.00±19.36
1 กลีบเลี้ยง สีส้มแดง	HS012	77.25±1.26	191.02±30.67	2.28±0.36	247.59±39.32
	HS013	78.00±0.82	157.24±11.87	1.89±0.15	198.12±16.48
	เฉลี่ย	80.31±2.73	202.52±49.56	2.12±0.56	240.76±72.57
2.1 กลีบเลี้ยง สีส้มแดง	HS003	83.25±0.96	632.89±119.60	2.45±0.46	251.24±49.41
	HS010	84.75±0.96	532.74±146.10	1.77±0.49	214.24±57.69
	เฉลี่ย	84.00±1.06	582.82±70.82	2.10±0.48	232.74±26.16
2.2 กลีบเลี้ยง สีเขียว	HS006	86.00±1.83	437.07±62.10	1.72±0.24	170.75±23.96
	HS008	78.75±1.26	405.40±63.46	1.36±0.21	156.01±24.51
	HS009	83.50±1.29	278.79±37.96	0.88±0.12	108.87±13.55
	เฉลี่ย	82.75±3.68	373.75±83.75	1.32±0.42	145.21±32.32

¹ ค่าเฉลี่ย±ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน



ภาพผนวกที่ ก. 1 กลีบดอกของดอกกระเจียวแดง A) HS001 B) HS002 C) HS003 D) HS004
 E) HS005 F) HS006 G) HS005 H) HS008 I) HS009 J) HS010 K) HS011
 L) HS012 M) HS013 N) HS014



ภาพผนวกที่ ก. 2 ผลอ่อนและผลแก่ของกระเจี๊ยบแดง ชีตสีขาวในภาพมีความยาว 5 เซนติเมตร

ภาคผนวก ข

การวิเคราะห์ปริมาณแอนโทไซยานินทั้งหมด (Total Anthocyaanin Content)

การเตรียมสารละลายบัฟเฟอร์และสารละลายตัวอย่าง

1. บัฟเฟอร์ pH 1.0 (potassium chloride, 0.025M) โดยชั่ง KCl 0.93 g ในปิ๊กเกอร์ และเติมน้ำกลั่น 490 ml ปรับ pH ด้วย HCl ให้เป็น pH 1.0 (± 0.05) จากนั้นปรับปริมาตรด้วยน้ำกลั่นให้ครบ 500 ml ใน volumetric flask
2. บัฟเฟอร์ pH 4.5 (sodium acetate, 0.4M) โดยชั่ง $\text{CH}_3\text{CO}_2\text{Na} \cdot 3\text{H}_2\text{O}$ 27.21 g ในปิ๊กเกอร์และเติมน้ำกลั่น 480 ml ปรับ pH ด้วย HCl ให้เป็น pH 4.5 (± 0.05) จากนั้นปรับปริมาตรด้วยน้ำกลั่นให้ครบ 500 ml ใน volumetric flask
3. เตรียมสารละลายตัวอย่างให้มีความเข้มข้น 1 mg/ml โดยชั่งสารสกัดกลีบเลี้ยงกระเจี๊ยบแดง 4 mg ละลายด้วยตัวทำละลายน้ำกลั่นปริมาตร 4 ml

วิธีทดสอบ

1. การเจือจาง โดยปิเปตสารละลายตัวอย่างความเข้มข้น 10 mg/ml ที่เตรียมไว้ ลงในหลอดทดลอง 2 หลอด หลอดละ 2 ml จากนั้นเติมบัฟเฟอร์ pH 1.0 หรือ pH 4.5 ปริมาตร 10 ml จะได้เป็น dilution factor 6
2. ตั้งทิ้งไว้ที่อุณหภูมิห้อง นาน 30 นาที จากนั้นนำไปวัดค่าการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 520 และ 700 nm ด้วยเครื่อง spectrophotometer โดยใช้ น้ำกลั่นเป็น blank
3. คำนวณหาปริมาณแอนโทไซยานินทั้งหมดในสารทดสอบ ตามสมการ

$$\text{ปริมาณแอนโทไซยานิน} = (A \times \text{MW} \times \text{DF} \times 10^3) / (\mathcal{E} \times l)$$

โดยที่ A = $(A_{520\text{nm}} - A_{700\text{nm}})_{\text{pH 1.0}} - (A_{520\text{nm}} - A_{700\text{nm}})_{\text{pH 4.5}}$

MW = น้ำหนักโมเลกุลของ cyanidin-3-glucoside (cyd-3-glu) เท่ากับ 449.2 g/mol

DF = dilution factor ของสารละลายตัวอย่าง (ปริมาตรสารทั้งหมด/ปริมาตรสารสกัด)

l = ความกว้างของคิวเวต (1 cm)

\mathcal{E} = โมลาร์แอบซอร์ปติวิตี (molar adsorptivity) ของ cyd-3-glu ในสารละลายบัฟเฟอร์ pH 1.0 ซึ่งเท่ากับ 26,900 L/mol/cm

รายงานผลในรูปของ mg cyd-3-glu /l

ภาคผนวก ค

การวิเคราะห์ปริมาณสารฟลาโวนอยด์ทั้งหมด

การเตรียมสารที่ใช้ในการทดสอบและสารละลายตัวอย่าง

1. เตรียม 5% (w/v) sodium nitrite โดยชั่ง NaNO_2 5 g ละลายด้วยน้ำกลั่นและปรับปริมาตรให้ครบ 100 ml ใน volumetric flask
2. เตรียม 10% (w/v) aluminium chloride โดยชั่ง AlCl_3 10 g ละลายด้วยน้ำกลั่นและปรับปริมาตรให้ครบ 100 ml ใน volumetric flask
3. เตรียม 1M sodium hydroxide โดยชั่ง NaOH 10 g ละลายด้วยน้ำกลั่นและปรับปริมาตรให้ครบ 250 ml ใน volumetric flask
4. เตรียมสารละลายตัวอย่างที่ความเข้มข้น 1 mg/ml โดยชั่งชั่งสารสกัดกลีบเลี้ยงกระเจี๊ยบแดง 10 mg ละลายด้วยตัวทำละลายน้ำกลั่น 10 ml

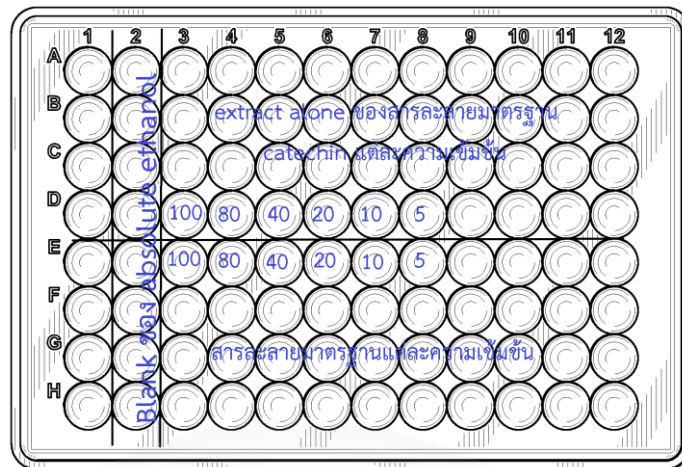
การเตรียมสารละลายมาตรฐาน catechin

1. เตรียม catechin ที่ความเข้มข้น 1 mg/ml โดยชั่ง catechin 10 mg ละลายใน absolute ethanol 10 ml จากนั้นเจือจางเป็น 100, 80, 40, 20, 10 และ 5 $\mu\text{g/ml}$ เพื่อสร้างเป็นกราฟมาตรฐาน
2. ดูดสารละลายจากข้อ 1 มา 400 μl แล้วปรับปริมาตรให้ครบ 4,000 μl ด้วย absolute ethanol (ความเข้มข้นสุดท้ายคือ 100 $\mu\text{l/ml}$)
3. ดูดสารละลายจากข้อ 2 มา 2,400 μl แล้วปรับปริมาตรให้ครบ 3,000 μl ด้วย absolute ethanol (ความเข้มข้นสุดท้ายคือ 80 $\mu\text{l/ml}$)
4. ดูดสารละลายจากข้อ 3 มา 1,500 μl แล้วปรับปริมาตรให้ครบ 3,000 μl ด้วย absolute ethanol (ความเข้มข้นสุดท้ายคือ 40 $\mu\text{l/ml}$)
5. ดูดสารละลายจากข้อ 4 มา 1,500 μl แล้วปรับปริมาตรให้ครบ 3,000 μl ด้วย absolute ethanol (ความเข้มข้นสุดท้ายคือ 20 $\mu\text{l/ml}$)
6. ดูดสารละลายจากข้อ 5 มา 1,500 μl แล้วปรับปริมาตรให้ครบ 3,000 μl ด้วย absolute ethanol (ความเข้มข้นสุดท้ายคือ 10 $\mu\text{l/ml}$)

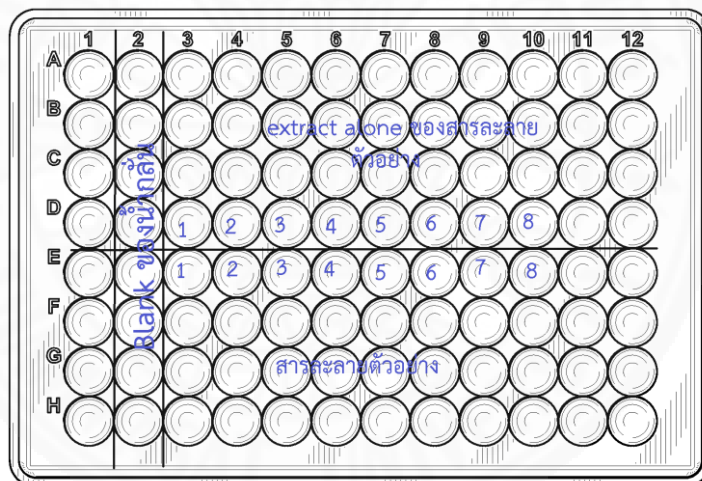
7. ดูดสารละลายจากข้อ 6 มา 1,500 μl แล้วปรับปริมาตรให้ครบ 3,000 μl ด้วย absolute ethanol (ความเข้มข้นสุดท้ายคือ 5 $\mu\text{l}/\text{ml}$)

วิธีทดสอบ

1. Blank ของ absolute ethanol = Abs.etOH 500 μl + 5% NaNO_2 75 μl + 10% AlCl_3 150 μl + 1M NaOH 500 μl + น้ำกลั่น 275 μl
2. Blank ของน้ำกลั่น = น้ำกลั่น 500 μl + 5% NaNO_2 75 μl + 10% AlCl_3 150 μl + 1M NaOH 500 μl + น้ำกลั่น 275 μl
3. ทำ extract alone ของสารละลายมาตรฐาน catechin และสารละลายตัวอย่าง = สารละลายมาตรฐานแต่ละความเข้มข้นหรือสารละลายตัวอย่าง 500 μl + น้ำกลั่น 1,000 μl
4. สารละลายมาตรฐาน catechin และสารละลายตัวอย่าง = สารละลายมาตรฐานหรือสารละลายตัวอย่าง 500 μl + 5% NaNO_2 75 μl (เขย่า 6 นาที) จากนั้นเติม 10% AlCl_3 150 μl (เขย่า 6 นาที) จากนั้นเติม 1M NaOH 500 μl และน้ำกลั่น 275 μl
5. ทิ้งไว้ที่อุณหภูมิห้องเป็นเวลา 15 นาที จากนั้นเปิด reaction ลงใน 96 well plate 200 $\mu\text{l}/\text{well}$
6. นำไปอ่านค่าการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 510 nm ด้วยเครื่อง microplate reader
7. นำค่าการดูดกลืนแสงของสารละลายมาตรฐาน catechin มาสร้างเป็นกราฟมาตรฐาน จากนั้นนำค่าการดูดกลืนแสงของสารสกัดตัวอย่างลบด้วย blank ที่ได้มาตัดกราฟแล้วหาค่าความเข้มข้นที่แกน x จะได้เป็น catechin equivalent



ภาพผนวกที่ ค. 1 รูปแบบการเติมสารละลายมาตรฐาน catechin ใน 96 well plate สำหรับวิเคราะห์ปริมาณสารฟลาโวนอยด์ทั้งหมด



ภาพผนวกที่ ค. 2 รูปแบบการเติมสารละลายตัวอย่างใน 96 well plate สำหรับวิเคราะห์ปริมาณสารฟลาโวนอยด์ทั้งหมด

ภาคผนวก ง

การวิเคราะห์ปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมด

การเตรียมสารที่ใช้ในการทดสอบและสารละลายตัวอย่าง

1. เตรียมสารละลาย Folin-Ciocalteu's reagent โดยปิเปตสารมา 10 ml ลงใน volumetric flask ขนาด 100 ml จากนั้นปรับปริมาตรด้วยน้ำกลั่นจนครบ 100 ml แล้วห่อด้วย foil
2. เตรียมสารละลาย sodium carbonate (Na_2CO_3) โดยชั่ง Na_2CO_3 7.5 g ละลายด้วยน้ำกลั่นและปรับปริมาตรให้ครบ 100 ml ใน volumetric flask
3. เตรียมสารละลายตัวอย่างที่ความเข้มข้น 1 mg/ml โดยชั่งสารสกัดตัวอย่าง 10 mg ละลายด้วยตัวทำละลาย* 10 ml

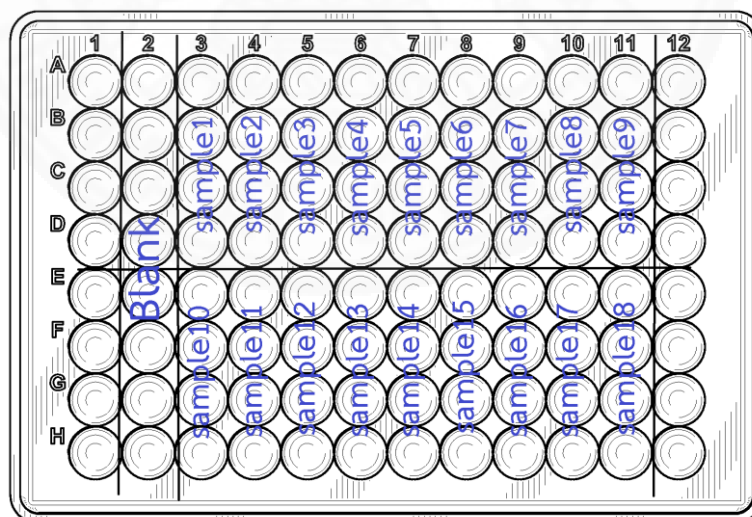
* สารสกัดกลีบเลี้ยงของกระเจี๊ยบแดงใช้น้ำกลั่นเป็นตัวทำละลาย ส่วนสารสกัดใบของกระเจี๊ยบแดงจะใช้ absolute ethanol เป็นตัวทำละลาย)

การเตรียมสารละลายมาตรฐาน Gallic acid

1. เตรียม stock solution ที่ความเข้มข้น 1 mg/ml โดยชั่งสารมาตรฐาน Gallic acid 10 mg ละลายใน absolute ethanol 10 ml
2. ดูดสารละลายจากข้อ 1 มา 200 μl แล้วปรับปริมาตรให้ครบ 2,000 μl ด้วย absolute ethanol (ความเข้มข้นสุดท้ายคือ 100 $\mu\text{l}/\text{ml}$)
3. ดูดสารละลายจากข้อ 2 มา 1,600 μl แล้วปรับปริมาตรให้ครบ 2,000 μl ด้วย absolute ethanol (ความเข้มข้นสุดท้ายคือ 80 $\mu\text{l}/\text{ml}$)
4. ดูดสารละลายจากข้อ 3 มา 1,000 μl แล้วปรับปริมาตรให้ครบ 2,000 μl ด้วย absolute ethanol (ความเข้มข้นสุดท้ายคือ 40 $\mu\text{l}/\text{ml}$)
5. ดูดสารละลายจากข้อ 4 มา 1,000 μl แล้วปรับปริมาตรให้ครบ 2,000 μl ด้วย absolute ethanol (ความเข้มข้นสุดท้ายคือ 20 $\mu\text{l}/\text{ml}$)
6. ดูดสารละลายจากข้อ 5 มา 1,000 μl แล้วปรับปริมาตรให้ครบ 2,000 μl ด้วย absolute ethanol (ความเข้มข้นสุดท้ายคือ 10 $\mu\text{l}/\text{ml}$)
7. ดูดสารละลายจากข้อ 6 มา 1,000 μl แล้วปรับปริมาตรให้ครบ 2,000 μl ด้วย absolute ethanol (ความเข้มข้นสุดท้ายคือ 5 $\mu\text{l}/\text{ml}$)

วิธีทดสอบ

1. เติมสารละลายมาตรฐานทุกความเข้มข้นและสารละลายตัวอย่างความเข้มข้น 1 mg/ml ที่เตรียมไว้ ลงใน 96-well plate ปริมาตร 20 μ l/well
2. เติมสารละลาย Folin-Ciocalteu's reagent ลงในสารละลายตัวอย่างทุกหลุม ปริมาตร 100 μ l
3. เติมสารละลาย Na_2CO_3 ลงในสารละลายตัวอย่างทุกหลุม ปริมาตร 80 μ l
4. Blank = น้ำกลั่น (blank ของสารสกัดกลีบเลี้ยงของกระเจี๊ยบแดง) หรือ absolute ethanol (blank ของสารสกัดใบของกระเจี๊ยบแดงหรือสารมาตรฐาน Gallic acid) ปริมาตร 20 μ l/well + Folin-Ciocalteu's reagent ปริมาตร 100 μ l + Na_2CO_3 ปริมาตร 80 μ l
5. ทิ้งไว้นาน 30 นาที ที่อุณหภูมิห้อง จากนั้นนำไปอ่านค่าการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 765 nm ด้วยเครื่อง microplate reader
6. คำนวณหาปริมาณ total phenolic ในสารทดสอบ โดยนำค่าการดูดกลืนแสงของสารสกัดตัวอย่างลบด้วย blank มาคำนวณจากสมการเส้นตรงเปรียบเทียบกับค่าที่ได้กับกราฟมาตรฐาน กราฟของสารละลายมาตรฐาน gallic acid ให้อยู่ในหน่วย mg ของ gallic acid equivalents (GAE) ต่อสารสกัดชิ้นน้ำ 1 g (mg GAE/g dry extract)



ภาพผนวกที่ ง. 1 รูปแบบการเติมสารทดสอบใน 96 well plate สำหรับวิเคราะห์การวิเคราะห์ ปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมด

ภาคผนวก จ

การวิเคราะห์ฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระ โดยวิธี DPPH radical scavenging activity

การเตรียมสารละลายมาตรฐาน BHT และสารละลายตัวอย่าง

1. เตรียม stock solution มีความเข้มข้น 1 mg/ml โดยชั่งสารมาตรฐาน BHT มา 1 mg ละลายด้วย absolute ethanol 1 ml และชั่งสารสกัดกลีบเลี้ยงของกระเจี๊ยบแดงมา 1 mg ละลายด้วยน้ำกลั่น 1 ml
2. ดูดสารละลายจากข้อ 1 มา 200 μ l แล้วปรับปริมาตรให้ครบ 1,000 μ l ด้วยตัวทำละลาย* (ความเข้มข้นสุดท้ายคือ 100 μ l/ml)
3. ดูดสารละลายจากข้อ 2 มา 500 μ l แล้วปรับปริมาตรให้ครบ 1,000 μ l ด้วยตัวทำละลาย (ความเข้มข้นสุดท้ายคือ 50 μ l/ml)
4. ดูดสารละลายจากข้อ 3 มา 200 μ l แล้วปรับปริมาตรให้ครบ 1,000 μ l ด้วยตัวทำละลาย (ความเข้มข้นสุดท้ายคือ 10 μ l/ml)
5. ดูดสารละลายจากข้อ 4 มา 100 μ l แล้วปรับปริมาตรให้ครบ 1,000 μ l ด้วยตัวทำละลาย (ความเข้มข้นสุดท้ายคือ 1 μ l/ml)

* สารมาตรฐาน BHT และสารสกัดใบของกระเจี๊ยบแดงปรับปริมาตรด้วย absolute ethanol ส่วนสารสกัดกลีบเลี้ยงของกระเจี๊ยบแดงปรับปริมาตรด้วยน้ำกลั่น

การเตรียมสารละลาย DPPH

ชั่งสาร DPPH 1.2 mg ละลายด้วย absolute ethanol เติลงใน volumetric flask 50 ml และปรับปริมาตรให้ครบ 50 ml ห่อด้วย foil แล้วนำไป sonicate นาน 10 นาที

วิธีทดสอบ

1. เติมสารลงใน 96-well plate ดังนี้
 Control = ตัวทำละลาย (absolute ethanol หรือน้ำกลั่น) 100 μ l/well + DPPH 100 μ l/well
 Control, blank = ตัวทำละลาย (absolute ethanol หรือน้ำกลั่น) 200 μ l/well

Blank = ตัวทำละลาย (absolute ethanol หรือน้ำกลั่น) 100 μ l/well + สารละลายมาตรฐานหรือ สารละลายตัวอย่างแต่ละความเข้มข้น 100 μ l/well

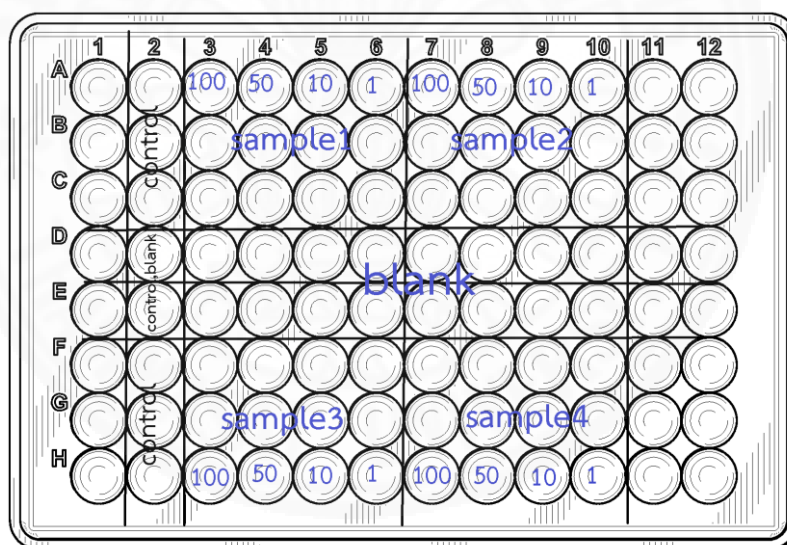
Sample = สารละลายตัวอย่างแต่ละความเข้มข้น 100 μ l/well + DPPH 100 μ l/well

2. ทิ้งไว้ในที่มีเวลานาน 30 นาที ที่อุณหภูมิห้อง จากนั้นนำไปอ่านค่าการดูดกลืนแสงที่ ความยาวคลื่น 520 nm ด้วยเครื่อง microplate reader

3. นำค่าการดูดกลืนแสงของสารละลายมาตรฐาน BHT มาสร้างเป็นกราฟ มาตรฐาน

4. จากนั้นนำค่าการดูดกลืนแสงของสารสกัดตัวอย่างที่ได้มาคำนวณหา % inhibition จากสมการ $\% \text{ inhibition} = (\text{Abs}_{\text{control}} - \text{Abs}_{\text{sample}}) / \text{Abs}_{\text{control}} \times 100$

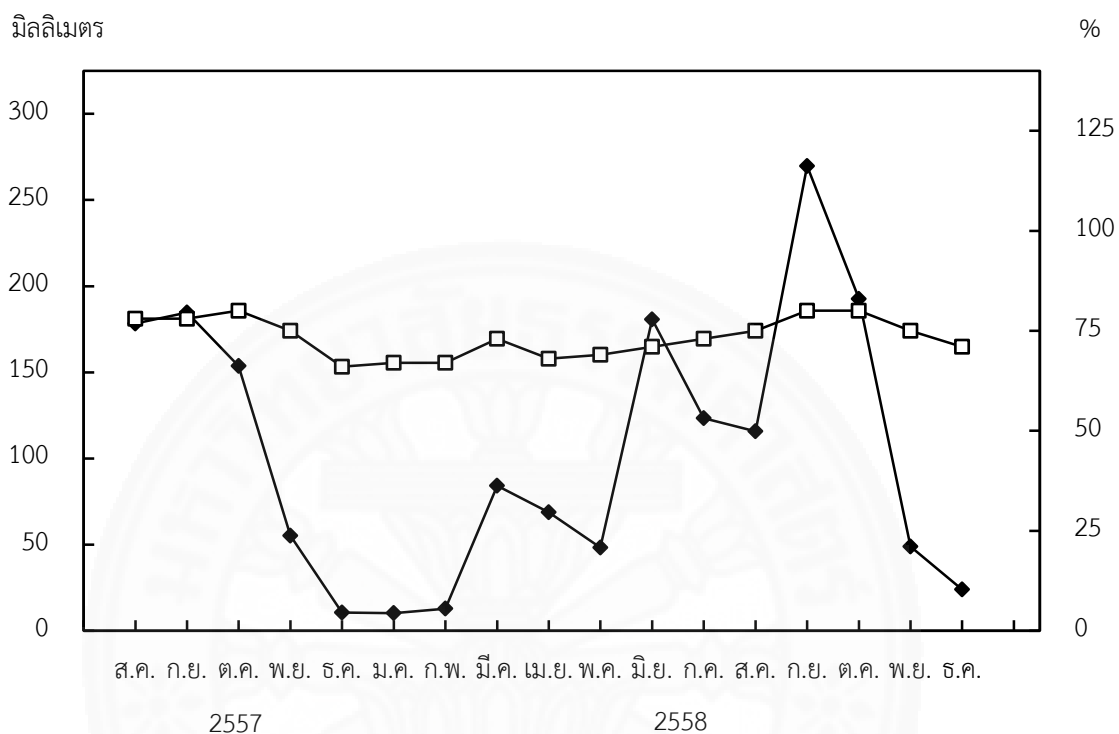
5. นำค่า % inhibition มาคำนวณหาค่า EC_{50} โดยสร้างกราฟระหว่างสารละลาย ตัวอย่างแต่ละความเข้มข้นกับ % inhibition จะได้สมการ $y = a \ln(x) - c$ แทนค่า $y = 50$ แก้ สมการหาค่า \ln คือ EC_{50}



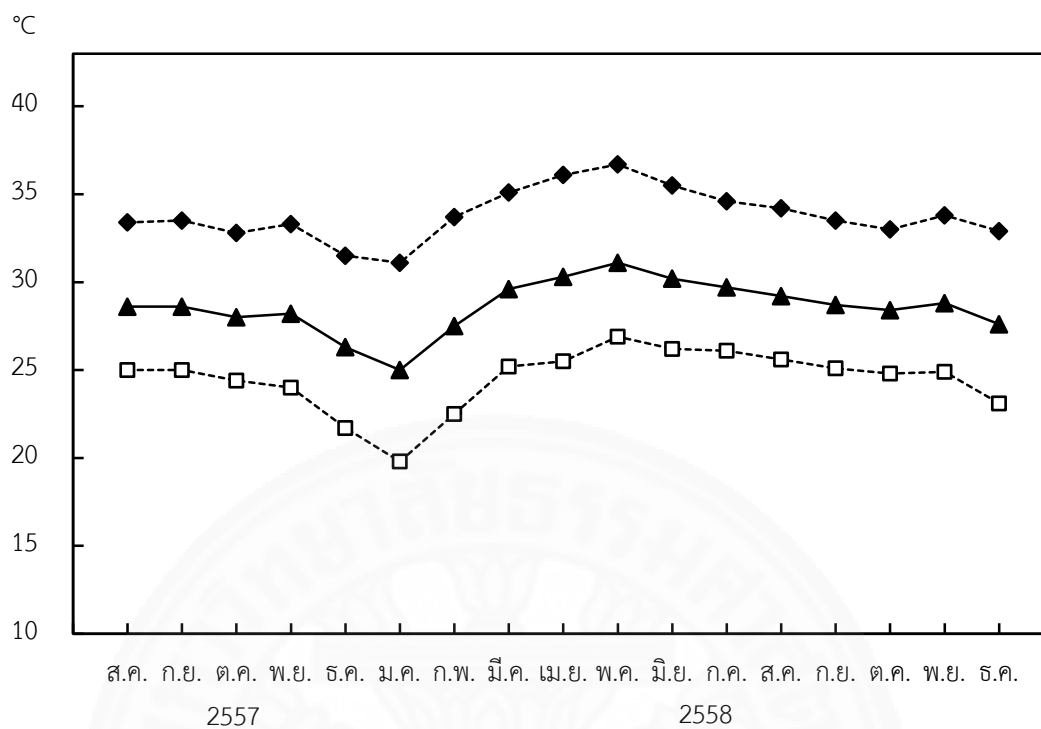
ภาพผนวกที่ จ. 1 รูปแบบการเติมสารทดสอบใน 96-well plate เพื่อวิเคราะห์การวิเคราะห์ฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระ โดยวิธี DPPH radical scavenging activity

ภาคผนวก ฉ

สภาพภูมิอากาศตั้งแต่เดือนสิงหาคม พ.ศ. 2557 ถึงเดือนธันวาคม พ.ศ. 2558



ภาพผนวกที่ ฉ. 1 ปริมาณน้ำฝนเฉลี่ย (—◆—) และความชื้นสัมพัทธ์เฉลี่ย (—□—) ในอากาศของเดือนสิงหาคมพ.ศ. 2557 ถึงเดือนธันวาคม พ.ศ. 2558 บริเวณภาคกลางของประเทศไทย
ที่มา: กรมอุตุนิยมวิทยา



ภาพผนวกที่ ฉ. 2 อุณหภูมิต่ำสุดเฉลี่ย (--□--) อุณหภูมิสูงสุดเฉลี่ย (--◆--) และอุณหภูมิเฉลี่ย (—▲) ในอากาศของเดือนสิงหาคม พ.ศ. 2557 ถึงเดือนธันวาคม พ.ศ. 2558 บริเวณภาคกลางของประเทศไทย
ที่มา: กรมอุตุนิยมวิทยา

ภาคผนวก ข
ผลผลิตกليبเลี้ยงของกระเจียบแดง

ตารางผนวกที่ ข. 1 จำนวนกليبเลี้ยงต่อต้นของกระเจียบแดง 2 กลุ่ม เมื่อปลูกใน พ.ศ. 2557 และ 2558

กลุ่มที่	Accession No.	จำนวนกليبเลี้ยงต่อต้น		T-test
		2557	2558	
1 กليبเลี้ยง สีแดงเข้ม	HS001	233.88±12.68 ^{1de}	224.23±0.70 ^g	ns
	HS002	189.10±41.33 ^{ef}	232.23±2.64 ^{fg}	ns
	HS004	231.67±20.50 ^{de}	240.48±5.22 ^{fg}	ns
	HS005	282.21±47.00 ^d	281.94±14.06 ^e	ns
	HS007	198.74±40.11 ^{ef}	247.49±6.71 ^f	ns
	HS011	141.06±18.36 ^f	158.87±2.73 ⁱ	ns
	HS014	155.61±12.54 ^f	242.62±0.91 ^{fg}	ns
	เฉลี่ย	204.61±53.00	232.55±35.74	
1 กليبเลี้ยง สีส้มแดง	HS012	201.39±27.67 ^{ef}	195.51±2.09 ^h	ns
	HS013	151.98±6.71 ^f	190.18±7.09 ^h	ns
	เฉลี่ย	176.68±32.51	192.85±5.51	
2.1 กليبเลี้ยง สีส้มแดง	HS003	692.28±17.08 ^a	622.12±6.63 ^a	ns
	HS010	596.30±88.19 ^b	512.87±19.63 ^b	ns
	เฉลี่ย	644.29±77.41	567.49±61.26	
2.2 กليبเลี้ยง สีเขียว	HS006	406.15±6.82 ^c	468.86±5.62 ^c	ns
	HS008	432.95±38.58 ^c	532.33±27.17 ^b	ns
	HS009	289.27±38.76 ^d	440.17±24.36 ^d	**
	เฉลี่ย	376.12±71.67	480.45±44.82	
	F-test	**	**	

^{1/1} ค่าเฉลี่ย±ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานในแนวตั้งที่ตามด้วยอักษรที่แตกต่างกันมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95% โดยวิธี DMRT

ns ไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ

** มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (p<0.01)

ตารางผนวกที่ ข. 2 น้ำหนักสดและน้ำหนักแห้งต่อกลีบเลี้ยงของกระเจี๊ยบแดง 2 กลุ่ม เมื่อปลูกใน พ.ศ. 2557 และ 2558

กลุ่มที่	Accession No.	น้ำหนักสด (กรัมต่อกลีบเลี้ยง)			น้ำหนักแห้ง (กรัมต่อกลีบเลี้ยง)		
		2557	2558	T-test	2557	2558	T-test
1 กลีบเลี้ยง สีแดงเข้ม	HS001	10.02±0.04 ^{1f}	9.62±0.11 ^b	**	1.07±0.02 ^f	1.10±0.03 ^{bc}	ns
	HS002	10.68±0.09 ^d	9.35±0.05 ^c	**	1.17±0.02 ^d	1.11±0.02 ^{bc}	*
	HS004	11.20±0.07 ^c	8.75±0.18 ^e	**	1.17±0.02 ^d	1.03±0.02 ^d	*
	HS005	11.73±0.11 ^b	7.97±0.30 ^f	**	1.21±0.01 ^c	0.93±0.04 ^e	*
	HS007	10.24±0.03 ^e	7.86±0.07 ^f	**	1.12±0.01 ^e	0.91±0.01 ^e	*
	HS011	10.71±0.01 ^d	9.96±0.05 ^a	**	1.07±0.00 ^f	1.15±0.00 ^a	*
	HS014	8.09±0.05 ^g	5.19±0.05 ^g	**	0.84±0.01 ^g	0.65±0.01 ^f	*
	เฉลี่ย	10.38±1.10	8.38±1.54		1.09±0.12	0.98±0.17	
1 กลีบเลี้ยง สีส้มแดง	HS012	11.90±0.02 ^a	9.89±0.16 ^a	**	1.29±0.01 ^a	1.13±0.01 ^{ab}	*
	HS013	11.97±0.09 ^a	8.97±0.07 ^d	**	1.26±0.01 ^b	1.07±0.03 ^{cd}	*
	เฉลี่ย	11.94±0.07	9.43±0.52		1.27±0.02	1.10±0.04	
2.1 กลีบเลี้ยง สีส้มแดง	HS003	3.86±0.01 ^h	3.58±0.07 ^{hi}	**	0.40±0.00 ^h	0.42±0.01 ^g	*
	HS010	3.32±0.05 ⁱ	3.73±0.03 ^h	**	0.40±0.01 ^h	0.43±0.01 ^g	*
	เฉลี่ย	3.59±0.30	3.65±0.09		0.40±0.01	0.42±0.01	
2.2 กลีบเลี้ยง สีเขียว	HS006	3.93±0.02 ^h	3.44±0.02 ⁱ	**	0.39±0.00 ^h	0.40±0.01 ^{gh}	*
	HS008	3.34±0.01 ⁱ	2.99±0.04 ^j	**	0.38±0.01 ^h	0.34±0.01 ^h	*
	HS009	3.15±0.01 ^j	2.50±0.16 ^k	**	0.39±0.01 ^h	0.32±0.01 ⁱ	*
	เฉลี่ย	3.48±0.35	2.98±0.35		0.39±0.01	0.42±0.04	
F-test		**	**		**	**	

¹ ค่าเฉลี่ย±ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานในแนวตั้งที่ตามด้วยอักษรที่แตกต่างกันมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95% โดยวิธี DMRT

ns ไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ

* มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (p<0.05)

** มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญยิ่งทางสถิติ (p<0.01)

ตารางผนวกที่ ข. 3 น้ำหนักสดและน้ำหนักแห้งกลีบเลี้ยงต่อต้นของกระเจี๊ยบแดง 2 กลุ่ม เมื่อปลูก
ใน พ.ศ. 2557 และ 2558

กลุ่มที่	Accession No.	น้ำหนักสดกลีบเลี้ยง (กิโลกรัมต่อต้น)			น้ำหนักแห้งกลีบเลี้ยง (กรัมต่อต้น)		
		2557	2558	T-test	2557	2558	T-test
1 กลีบเลี้ยง สีแดงเข้ม	HS001	2.34±0.14 ^{1bc}	2.16±0.02 ^{bc}	ns	250.94±12.53 ^b	246.01±6.2 ^b	ns
	HS002	2.02±0.43 ^{cd}	2.17±0.01 ^{bc}	ns	220.81±45.43 ^{cd}	256.92±1.87 ^a	ns
	HS004	2.59±0.22 ^b	2.10±0.01 ^c	**	270.33±23.04 ^{bc}	247.75±2.16 ^b	ns
	HS005	3.31±0.58 ^a	2.24±0.03 ^a	**	340.37±55.76 ^a	262.86±1.12 ^a	**
	HS007	2.04±0.41 ^{cd}	1.94±0.04 ^d	ns	223.48±46.47 ^{bcd}	224.02±3.72 ^c	ns
	HS011	1.51±0.20 ^{efg}	1.58±0.04 ^f	ns	150.43±19.56 ^{efg}	183.24±3.80 ^e	**
	HS014	1.26±0.10 ^{h^s}	1.26±0.02 ^g	ns	130.86±9.57 ^{fg}	156.81±1.95 ^f	**
	เฉลี่ย	2.15±0.71	1.92±0.35		226.74±73.61	225.37±38.45	
1 กลีบเลี้ยง สีส้มแดง	HS012	2.40±0.33 ^{bc}	1.93±0.01 ^d	**	260.65±35.98 ^{bc}	220.88±1.74 ^c	ns
	HS013	1.82±0.09 ^{def}	1.71±0.05 ^e	ns	190.83±9.41 ^{de}	202.51±4.05 ^d	ns
	เฉลี่ย	2.11±0.38	1.82±0.13		225.74±44.90	211.69±10.44	
2.1 กลีบเลี้ยง สีส้มแดง	HS003	2.67±0.08 ^b	2.23±0.05 ^{ab}	**	275.84±5.65 ^b	259.76±7.72 ^a	ns
	HS010	1.98±0.28 ^{cde}	1.91±0.08 ^d	ns	240.13±31.17 ^{bcd}	219.11±5.35 ^c	ns
	เฉลี่ย	2.33±0.42	2.07±0.18		257.98±28.00	239.43±23.04	
2.2 กลีบเลี้ยง สีเขียว	HS006	1.60±0.03 ^{defg}	1.61±0.02 ^f	ns	158.84±3.19 ^{efg}	185.53±3.31 ^e	**
	HS008	1.45±0.12 ^{fg}	1.59±0.06 ^f	ns	165.92±17.64 ^{ef}	180.97±3.87 ^e	ns
	HS009	0.91±0.12 ^h	1.10±0.06 ^h	ns	112.30±14.32 ^g	138.78±7.09 ^g	ns
	เฉลี่ย	1.32±0.32	1.43±0.26		145.69±27.72	168.43±22.74	
	F-test	**	**		**	**	

¹ ค่าเฉลี่ย±ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานในแนวตั้งที่ตามด้วยอักษรที่แตกต่างกันมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95% โดยวิธี DMRT

ns ไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ

** มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (p<0.01)

ตารางผนวกที่ ข. 4 ผลผลิตน้ำหนักรากแห้งกลีบเลี้ยงของกระเจี๊ยบแดง 2 กลุ่ม เมื่อปลูกใน พ.ศ. 2557 และ 2558

กลุ่มที่	Accession No.	ผลผลิตน้ำหนักรากแห้งกลีบเลี้ยง (%)		T-test
		2557	2558	
1 กลีบเลี้ยง สีแดงเข้ม	HS001	10.71±0.18 ^{fg}	11.40±0.20 ^{ef}	**
	HS002	10.96±0.11 ^e	11.83±0.14 ^{bc}	**
	HS004	10.43±0.13 ⁱ	11.78±0.02 ^{bcd}	**
	HS005	10.28±0.17 ^l	11.72±0.10 ^{bcde}	**
	HS007	10.97±0.10 ^d	11.52±0.06 ^{cdef}	**
	HS011	9.96±0.02 ^m	11.58±0.04 ^{bcdef}	**
	HS014	10.40±0.05 ^j	12.46±0.11 ^a	**
	เฉลี่ย	10.53±0.37	11.76±0.34	
1 กลีบเลี้ยง สีส้มแดง	HS012	10.88±0.05 ^f	11.42±0.07 ^{ef}	**
	HS013	10.48±0.08 ^h	11.88±0.26 ^b	**
	เฉลี่ย	10.68±0.22	11.65±0.30	
2.1 กลีบเลี้ยง สีส้มแดง	HS003	10.31±0.08 ^k	11.67±0.11 ^{bcdef}	**
	HS010	12.15±0.13 ^b	11.47±0.20 ^{def}	**
	เฉลี่ย	11.23±1.01	11.57±0.18	
2.2 กลีบเลี้ยง สีเขียว	HS006	9.94±0.04 ⁿ	11.50±0.13 ^{def}	**
	HS008	11.45±0.35 ^c	11.38±0.12 ^f	**
	HS009	12.33±0.22 ^a	12.63±0.34 ^a	**
	เฉลี่ย	11.24±1.07	11.84±0.63	
F-test		**	**	

^{1/1} ค่าเฉลี่ย±ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานในแนวตั้งที่ตามด้วยอักษรที่แตกต่างกันมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95% โดยวิธี DMRT

** มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญยิ่งทางสถิติ (p<0.01)

ภาคผนวก ฅ

ผลผลิตและสารทุติยภูมิในใบของกระเจี๊ยบแดงที่อายุการเก็บเกี่ยวต่างๆ

ตารางผนวกที่ ฅ. 1 ความสูงต้น ความกว้างทรงพุ่ม น้ำหนักสดยอด น้ำหนักแห้งยอด และจำนวนยอดที่เก็บเกี่ยวต่อต้นของกระเจี๊ยบแดง HS004 ที่อายุการเก็บเกี่ยวต่างๆ หลังย้ายปลูก

อายุการเก็บเกี่ยว (วันหลังย้ายปลูก)	ความสูงต้น (ซม.)	ความกว้างทรงพุ่ม (ซม.)	ยอดที่เก็บเกี่ยว (กรัมต่อต้น)		จำนวนยอดที่เก็บ เกี่ยวต่อต้น
			น้ำหนักสด	น้ำหนักแห้ง	
40	66.89 ± 4.87 ^{1c}	69.38 ± 3.43 ^c	533.39 ± 69.28 ^b	81.31 ± 9.26 ^b	10.90 ± 1.25 ^{1bc}
55	66.73 ± 3.28 ^c	71.05 ± 2.32 ^c	735.61 ± 59.52 ^a	116.15 ± 9.01 ^a	12.95 ± 1.00 ^{ab}
70	87.80 ± 7.00 ^b	111.90 ± 2.79 ^a	554.94 ± 12.75 ^b	102.31 ± 9.99 ^a	13.80 ± 1.21 ^a
85	93.80 ± 7.10 ^{ab}	106.55 ± 5.65 ^a	555.56 ± 102.37 ^b	102.04 ± 14.50 ^a	12.55 ± 2.00 ^{ab}
100	99.60 ± 5.51 ^a	92.10 ± 4.47 ^b	460.19 ± 42.79 ^b	80.38 ± 6.32 ^b	10.35 ± 0.60 ^c
F-test	**	**	**	**	**

¹ ค่าเฉลี่ยในแนวตั้งที่ตามหลังด้วยอักษรที่แตกต่างกันมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95% โดยวิธี DMRT

** มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญยิ่งทางสถิติ (p<0.01)

ตารางผนวกที่ ฅ. 2 ความสูงต้น ความกว้างทรงพุ่ม น้ำหนักสดยอด น้ำหนักแห้งยอด และจำนวนยอดที่เก็บเกี่ยวต่อต้นของกระเจี๊ยบแดง HS006 ที่อายุการเก็บเกี่ยวต่างๆ หลังย้ายปลูก

อายุการเก็บเกี่ยว (วันหลังย้ายปลูก)	ความสูงต้น (ซม.)	ความกว้างทรงพุ่ม (ซม.)	ยอดที่เก็บเกี่ยว (กรัมต่อต้น)		จำนวนยอดที่เก็บ เกี่ยวต่อต้น
			น้ำหนักสด	น้ำหนักแห้ง	
40	59.65±7.41 ^{1c}	62.53±6.74 ^c	350.98±51.35 ^c	56.36±8.50 ^c	14.40±2.85 ^c
55	56.60±4.35 ^c	69.95±9.50 ^c	829.53±96.52 ^a	131.20±15.10 ^a	27.50±4.02 ^{ab}
70	72.25±5.98 ^b	109.80±6.81 ^a	604.56±71.68 ^b	112.04±15.03 ^{ab}	35.05±7.34 ^a
85	80.20±7.93 ^{ab}	106.40±3.33 ^a	662.13±136.62 ^b	109.47±20.07 ^{ab}	34.35±7.66 ^a
100	84.60±9.20 ^a	89.40±8.23 ^b	594.38±98.59 ^b	92.85±12.88 ^b	25.05±3.77 ^b
F-test	**	**	**	**	**

¹ ค่าเฉลี่ยในแนวตั้งที่ตามหลังด้วยอักษรที่แตกต่างกันมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95% โดยวิธี DMRT

** มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญยิ่งทางสถิติ (p<0.01)

ตารางผนวกที่ ฅ. 3 ผลผลิตน้ำหนักร้างยอดที่เก็บเกี่ยวต่อต้นของกระเจี๊ยบแดง HS004 และ HS006 ที่อายุการเก็บเกี่ยวต่างๆ หลังย้ายปลูก

อายุการเก็บเกี่ยว (วันหลังย้ายปลูก)	ผลผลิตน้ำหนักร้างยอดที่เก็บเกี่ยวต่อต้น (%)	
	HS004	HS006
40	15.27±0.47 ^{d1}	16.09±1.21
55	15.87±1.73	15.82±0.31
70	18.42±1.57	18.54±1.44
85	18.47±0.87	16.62±0.98
100	17.65±2.93	15.71±1.25
F-test	ns	ns

^{d1} ค่าเฉลี่ย±ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน

ns ไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ

ตารางผนวกที่ ฅ. 4 ค่า SPAD ค่าสีเขียว (a*) ค่า Chroma (C) และค่าสี Hue angle (H⁰) ของใบกระเจี๊ยบแดง HS004 ที่อายุการเก็บเกี่ยวต่างๆ หลังย้ายปลูก

อายุการเก็บเกี่ยว (วันหลังย้ายปลูก)	SPAD value	a*	C	H ⁰
40	56.14±0.59 ^{d1c}	-6.96 ± 0.48	16.18 ± 1.62	178.87 ± 0.03
55	55.83±1.94 ^c	-6.16 ± 0.86	15.10 ± 1.59	178.85 ± 0.03
70	54.47±1.91 ^c	-6.86 ± 0.42	14.23 ± 2.30	178.94 ± 0.06
85	60.33±1.96 ^b	-6.50 ± 0.49	12.37 ± 0.69	178.98 ± 0.02
100	63.95±1.83 ^a	-5.88 ± 0.35	10.76 ± 1.20	179.00 ± 0.07
F-test	**	ns	ns	ns

^{d1} ค่าเฉลี่ยในแนวตั้งที่ตามหลังด้วยอักษรที่ต่างกันมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95% โดยวิธี DMRT

ns ไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ

** มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญยิ่งทางสถิติ (p<0.01)

a* มีค่าบวกแสดงว่ามีสีแดง ค่าลบแสดงว่ามีสีเขียว

C มีค่าอยู่ระหว่าง 0-60 (0 คือวัตถุไม่มีสีจาง และ 60 คือวัตถุมีสีเข้ม)

H⁰ มีค่าอยู่ระหว่าง 0-360 (0°-45° สีม่วงแดงถึงสีส้มแดง 45°-90° สีส้มแดงถึงสีเหลือง 90°-135° สีเหลืองถึงสีเหลืองเขียว 135°-180° สีเหลืองเขียวถึงสีเขียว 180°-225° สีเขียวถึงสีน้ำเงินเขียว 225°-270° สีน้ำเงินเขียวถึงสีน้ำเงิน 270°-315° สีน้ำเงินถึงสีม่วง และ 315°-360° สีม่วงถึงสีม่วงแดง)

ตารางผนวกที่ ๕ ค่า SPAD ค่าสีเขียว (a*) ค่า Chroma (C) และค่าสี Hue angle (H⁰) ของใบกระเจียวแดง HS006 ที่อายุการเก็บเกี่ยวต่างๆ หลังย้ายปลูก

อายุการเก็บเกี่ยว (วันหลังย้ายปลูก)	SPAD value	a*	C	H ⁰
40	53.07±0.95 ⁴¹	-6.46±0.43	15.01±2.25 ^a	178.89±0.03
55	53.13±1.26	-5.93±0.56	13.32±1.25 ^{ab}	178.90±0.03
70	53.25±1.04	-5.94±0.52	11.63±1.07 ^{bc}	178.98±0.04
85	58.68±1.72	-5.70±0.29	10.78±0.90 ^c	178.99±0.04
100	56.54±1.82	-5.54±0.19	10.49±0.71 ^c	178.99±0.06
F-test	ns	ns	**	ns

⁴¹ ค่าเฉลี่ยในแนวตั้งที่ตามหลังด้วยอักษรที่ต่างกันมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95% โดยวิธี DMRT

ns ไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ

** มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (p<0.01)

a* มีค่าบวกแสดงว่ามีสีแดง ค่าลบแสดงว่ามีสีเขียว

C มีค่าอยู่ระหว่าง 0-60 (0 คือวัดภูมิสีจาง และ 60 คือวัดภูมิสีเข้ม)

H⁰ มีค่าอยู่ระหว่าง 0-360 (0°-45° สีม่วงแดงถึงสีส้มแดง 45°-90° สีส้มแดงถึงสีเหลือง 90°-135° สีเหลืองถึงสีเขียว 135°-180° สีเหลืองถึงสีเขียว 180°-225° สีเขียวถึงสีน้ำเงินเขียว 225°-270° สีน้ำเงินเขียวถึงสีน้ำเงิน 270°-315° สีน้ำเงินถึงสีม่วง และ 315°-360° สีม่วงถึงสีม่วงแดง)

ตารางผนวกที่ ๖ สารสกัดใบของกระเจียวแดง HS004 และ HS006 ที่อายุการเก็บเกี่ยวต่างๆ หลังย้ายปลูก

อายุการเก็บเกี่ยว (วันหลังย้ายปลูก)	สารสกัดใบ (%)	
	HS004	HS006
40	17.08±2.78 ^{41c}	13.57±1.28 ^c
55	19.95±1.80 ^{bc}	19.68±1.76 ^b
70	22.35±3.36 ^{ab}	23.81±2.31 ^a
85	24.11±1.93 ^a	22.48±0.73 ^a
100	19.15±1.73 ^{bc}	18.87±2.00 ^b
F-test	**	**

⁴¹ ค่าเฉลี่ยในแนวตั้งที่ตามหลังด้วยอักษรที่ต่างกันมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95% โดยวิธี DMRT

** มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (p<0.01)

ตารางผนวกที่ ๗. 7 ปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมด แคโรทีนอยด์ทั้งหมด คลอโรฟิลล์เอ คลอโรฟิลล์บี และฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระ DPPH ในใบของกระเจี๊ยบแดง HS004 ที่อายุการเก็บเกี่ยวต่างๆ หลังย้ายปลูก

อายุการเก็บเกี่ยว (วันหลังย้ายปลูก)	สารประกอบ ฟีนอลิกทั้งหมด (mg GAE/g dry extract)	แคโรทีนอยด์ ทั้งหมด ($\mu\text{g/g}$ dry weight)	คลอโรฟิลล์เอ ($\mu\text{g/g}$ dry weight)	คลอโรฟิลล์บี ($\mu\text{g/g}$ dry weight)	ฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระ DPPH ¹ (EC ₅₀ : $\mu\text{g/ml}$)
40	58.33±2.46 ²	7.94±0.98	30.69±2.58	6.66±1.70 ^a	95.33±3.91 ^c
55	64.29±5.54	6.84±0.97	28.74±5.64	4.95±1.74 ^{ab}	99.44±6.36 ^{bc}
70	63.20±0.65	6.49±1.10	23.92±6.45	3.50±1.05 ^b	135.76±15.28 ^a
85	60.25±5.77	5.99±0.51	20.29±3.83	3.29±0.62 ^b	117.12±20.25 ^b
100	63.69±1.83	6.23±1.02	26.06±4.20	4.61±1.13 ^{ab}	93.15±4.72 ^c
F-test	ns	ns	ns	*	**

¹ BHT มีค่าเท่ากับ 13.04±2.79 $\mu\text{g/ml}$

² ค่าเฉลี่ยในแนวตั้งที่ตามหลังด้วยอักษรที่แตกต่างกันมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95% โดยวิธี DMRT

ns ไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ

* มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$)

** มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.01$)

ตารางผนวกที่ ๗. 8 ปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมด แคโรทีนอยด์ทั้งหมด คลอโรฟิลล์เอ คลอโรฟิลล์บี และฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระ DPPH ในใบของกระเจี๊ยบแดง HS006 ที่อายุการเก็บเกี่ยวต่างๆ หลังย้ายปลูก

อายุการเก็บเกี่ยว (วันหลังย้ายปลูก)	สารประกอบ ฟีนอลิกทั้งหมด (mg GAE/g dry extract)	แคโรทีนอยด์ ทั้งหมด ($\mu\text{g/g}$ dry weight)	คลอโรฟิลล์เอ ($\mu\text{g/g}$ dry weight)	คลอโรฟิลล์บี ($\mu\text{g/g}$ dry weight)	ฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระ DPPH ¹ (EC ₅₀ : $\mu\text{g/ml}$)
40	63.26±5.65 ²	7.43±0.37	27.54±2.28 ^{abc}	4.61±0.82	89.14±6.15
55	60.51±3.62	8.02±1.82	31.16±1.85 ^a	6.99±3.38	93.76±9.66
70	62.01±7.92	7.97±0.87	23.41±3.29 ^c	3.19±0.49	99.85±11.78
85	65.72±4.97	8.65±0.65	25.51±3.76 ^{bc}	4.03±1.17	103.00±18.23
100	62.46±1.92	6.86±0.84	29.33±1.62 ^{ab}	5.58±0.87	87.52±2.57
F-test	ns	ns	**	ns	ns

¹ BHT มีค่าเท่ากับ 13.04±2.79 $\mu\text{g/ml}$

² ค่าเฉลี่ยในแนวตั้งที่ตามหลังด้วยอักษรที่แตกต่างกันมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95% โดยวิธี DMRT

ns ไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ

** มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.01$)

ประวัติผู้เขียน

ชื่อ	นางสาวชนันดา ศรีบุญไทย
วันเดือนปีเกิด	30 เมษายน 2534
วุฒิการศึกษา	ปีการศึกษา 2556: วิทยาศาสตร์บัณฑิต (เทคโนโลยีการเกษตร) คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์
ทุนการศึกษา	ปีงบประมาณ 2557-2558: ทุนเรียนดีบัณฑิตศึกษา คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์

ผลงานทางวิชาการ

- ชนันดา ศรีบุญไทย ภาณุมาศ ฤทธิไชย และ เยาวพา จิระเกียรติกุล. 2559. ความหลากหลายทางพันธุกรรมของกระเจี๊ยบแดง (*Hibiscus sabdariffa* L.) โดยใช้ลักษณะทางสัณฐานวิทยา. วารสารวิทยาศาสตร์เกษตร. 47: 149-152
- ชนันดา ศรีบุญไทย ภาณุมาศ ฤทธิไชย เยาวพา จิระเกียรติกุล และอรุณพร อีฐรัตน์. 2559. ผลของอายุเก็บเกี่ยวต่อการให้ผลผลิตและสารทุติยภูมิในใบของกระเจี๊ยบแดง (*Hibiscus sabdariffa* L.). การประชุมวิชาการพืชสวนแห่งชาติ ครั้งที่ 15 วันที่ 9-12 พฤศจิกายน 2559 ณ โรงแรม ลี การ์เดนส์ พลาซ่า จังหวัดสงขลา
- Chanunda Sriboonthai, Panumart Rithichai, Yaowapha Jirakiattikul and Arunporn Itharat. 2016. Secondary Metabolites in Calyx of Roselle (*Hibiscus sabdariffa* L.). 20th World Congress on Clinical Nutrition (WCCN 2016). December 14-16, 2016. Rama Gardens Hotel, Bangkok, Thailand.