การประเมินผลผลิต คุณภาพ และคุณสมบัติทางเคมีกายภาพของข้าวเจ้าสายพันธุ์ก้าวหน้าที่เพาะปลูกในพื้นที่ชลประทานภาคกลางของประเทศไทย

โดย

ทิพย์สุดา เทียนทอง

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตร
วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต (เทคโนโลยีการเกษตร)
สาขาวิชาเทคโนโลยีการเกษตร
คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์
ปีการศึกษา 2567

Ref. code: 25676509032568NOH

EVALUATION OF YIELD, GRAIN QUALITIES, AND PHYSICOCHEMICAL PROPERTIES IN ADVANCED NON-GLUTINOUS RICE LINES GROWN IN IRRIGATED PADDY FIELDS IN THE CENTRAL PLAIN OF THAILAND

BY

TIPSUDA TEANTHONG

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 2024

Ref. code: 25676509032568NOH

มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์
คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี

วิทยานิพนธ์

ของ

ทิพย์สุดา เทียนทอง

เรื่อง

การประเมินผลผลิต คุณภาพ และคุณสมบัติทางเคมีกายภาพของข้าวเจ้าสายพันธุ์ก้าวหน้า
ที่เพาะปลูกในพื้นที่ชลประทานภาคกลางของประเทศไทย

ได้รับการตรวจสอบและอนุมัติ ให้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตร
วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต (เทคโนโลยีการเกษตร)

เมื่อ วันที่ 6 พฤษภาคม พ.ศ. 2568

ประธานกรรมการสอบวิทยานิพนธ์ _____
(รองศาสตราจารย์ ดร.ภาณุมาศ ฤทธิไชย)

กรรมการและอาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก _____
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.พรชัย หาระโคตร)

กรรมการและอาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ร่วม _____
(รองศาสตราจารย์ ดร.เยาวพา จิระเกียรติกุล)

กรรมการสอบวิทยานิพนธ์ _____
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ภัควัฒน์ เดชชีวะ)

คณบดี _____
(รองศาสตราจารย์ ดร.สุเพชร จิรขจรกุล)

หัวข้อวิทยานิพนธ์	การประเมินผลผลิต คุณภาพ และคุณสมบัติทางเคมีกายภาพของข้าวเจ้าสายพันธุ์ก้าวหน้าที่เพาะปลูกในพื้นที่ชลประทานภาคกลางของประเทศไทย
ชื่อผู้เขียน	ทิพย์สุดา เทียนทอง
ชื่อปริญญา	วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต (เทคโนโลยีการเกษตร)
สาขาวิชา/คณะ/มหาวิทยาลัย	สาขาวิชาเทคโนโลยีการเกษตร คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์
อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก	ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.พรชัย หาระโคตร
อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ร่วม	รองศาสตราจารย์ ดร.เยาวพา จิระเกียรติกุล
ปีการศึกษา	2567

บทคัดย่อ

การพัฒนาพันธุ์ข้าวที่ให้ผลผลิตสูงและมีคุณภาพดีเป็นปัจจัยสำคัญในการเพิ่มขีดความสามารถในการแข่งขันด้านราคาและคุณภาพในตลาดส่งออก การทดสอบพันธุ์ข้าวจึงเป็นขั้นตอนที่สำคัญเพื่อคัดเลือกพันธุ์ที่เหมาะสมกับสภาพแวดล้อมและพื้นที่การผลิตเป้าหมาย ดังนั้น การศึกษานี้มีวัตถุประสงค์เพื่อประเมินผลผลิต คุณภาพ และคุณสมบัติทางเคมีกายภาพของข้าวเจ้าสายพันธุ์ก้าวหน้าที่ปลูกในพื้นที่ชลประทานภาคกลางของประเทศไทย โดยทดสอบข้าวเจ้าสายพันธุ์ก้าวหน้า 10 สายพันธุ์ เปรียบเทียบกับพันธุ์ กข85 (ข้าวพื้นแข็ง) และ RJP233088 (ข้าวพื้นนุ่ม) ในฤดูนาปรัง พ.ศ.2567 จำนวน 3 สถานที่ ได้แก่ ปทุมธานี ชัยนาท และสุพรรณบุรี โดยวางแผนการทดลองแบบสุ่มสมบูรณ์ภายในบล็อก จำนวน 3 ซ้ำ บันทึกลักษณะทางการเกษตร องค์ประกอบผลผลิต ผลผลิต คุณภาพทางกายภาพและคุณสมบัติเคมีกายภาพ ผลจากการศึกษา พบว่า อิทธิพลของสายพันธุ์ สถานที่ทดสอบ และปฏิสัมพันธ์ระหว่างพันธุ์และสถานที่ทดสอบมีความแตกต่างทางสถิติในทุกลักษณะที่ศึกษา ยกเว้น อิทธิพลของสถานที่ทดสอบต่อจำนวนรวงต่อกอไม่แตกต่างทางสถิติ โดยสายพันธุ์ส่งผลต่อทุกลักษณะส่วนใหญ่ที่ศึกษาสูงสุด คิดเป็น 32.55-94.30% ของความแปรปรวนทั้งหมด ขณะที่สถานที่ทดสอบมีอิทธิพลต่อผลผลิต และและการยืดตัวของเมล็ด (53.02 และ 46.59% ของความแปรปรวนทั้งหมด ตามลำดับ) ข้าวเจ้าสายพันธุ์ก้าวหน้าส่วนใหญ่ที่ทดสอบมีผลผลิตสูง และองค์ประกอบผลผลิตดีกว่าพันธุ์เปรียบเทียบ กข85 โดยเฉพาะ สายพันธุ์ DS24-Inter-8 ให้ผลผลิต จำนวนเมล็ดต่อรวง และน้ำหนัก 100 เมล็ดสูง สำหรับสถานที่ทดสอบปทุมธานี และชัยนาท จากการ

Ref. code: 25676509032568NOH

วิเคราะห์ GGE-biplot แสดงให้เห็นว่าสายพันธุ์ DS24-Inter-1 และ DS24-Inter-8 ให้ผลผลิตสม่ำเสมอในทุกสถานที่ทดสอบ นอกจากนี้ สายพันธุ์ DS24-Inter-9, DS24-Inter-2 และ DS24-Inter-5 ให้ผลผลิตสูงเมื่อปลูกทดสอบที่ปทุมธานี ชัยนาท และสุพรรณบุรี ตามลำดับ

การประเมินคุณสมบัติทางเคมีกายภาพ ประกอบด้วย ปริมาณอมิโลส อุณหภูมิแป้งสุก ความคงตัวแป้งสุก คุณสมบัติความหนืด ความแข็งและความเหนียวของข้าวสุกของข้าวเจ้าสายพันธุ์ก้าวหน้า พบว่า ปริมาณอมิโลสมีความสัมพันธ์กับความคงตัวแป้งสุกต่ำ และไม่มีความสัมพันธ์กับอุณหภูมิแป้งสุก แต่มีความสัมพันธ์กับคุณสมบัติความหนืด เมื่อวิเคราะห์ด้วยเครื่อง rapid visco analyzer แสดงให้เห็นว่าค่าความหนืดสูงสุด ค่าการแตกตัว และค่าการคืนตัวของแป้งสามารถใช้เป็นตัวบ่งชี้ระดับความเหนียวนุ่มของข้าวสุกได้ โดยข้าวที่มีอมิโลสสูงจะแสดงค่าความหนืดสูงสุดต่ำ ค่าการคืนตัวสูง ส่งผลให้ข้าวสุกมีค่าความแข็งมาก และมีความเหนียวน้อย ในขณะที่ข้าวที่มีอมิโลสต่ำจะมีค่าพารามิเตอร์ดังกล่าวในทางตรงกันข้าม นอกจากนี้ สายพันธุ์ DS24-Inter-5, DS24-Inter-6, DS24-Inter-8 และ DS24-Inter-10 เป็นสายพันธุ์ที่มีคุณภาพด้านการหุงต้มและรับประทานดี เนื่องจาก ปริมาณอมิโลสต่ำ อุณหภูมิแป้งสุกต่ำถึงปานกลาง ความคงตัวแป้งสุกอ่อน มีค่าความหนืดสูงสุด และค่าการแตกตัวสูงกว่าพันธุ์เปรียบเทียบทั้งสอง ดังนั้น สายพันธุ์ DS24-Inter-8 ซึ่งเป็นสายพันธุ์ที่มีผลผลิตสูง องค์ประกอบผลผลิต และคุณภาพการหุงต้มและรับประทานที่ดี รวมถึงตอบสนองได้ดีในหลายสภาพแวดล้อม เหมาะสำหรับนำไปปลูกทดสอบพันธุ์ขั้นสูงในพื้นที่นาชลประทานภาคกลางต่อไป

คำสำคัญ: การปรับปรุงพันธุ์, ปฏิสัมพันธ์ระหว่างพันธุกรรมและสภาพแวดล้อม, ผลผลิต, คุณภาพการหุงต้มและรับประทาน, ปริมาณอมิโลส, ความหนืดสูงสุด, การแตกตัว, การคืนตัวของแป้ง, *Oryza sativa* L.

Ref. code: 25676509032568NOH

Thesis Title	EVALUATION OF YIELD, GRAIN QUALITIES, AND PHYSICOCHEMICAL PROPERTIES IN ADVANCED NON-GLUTINOUS RICE LINES GROWN IN IRRIGATED PADDY FIELDS IN THE CENTRAL PLAIN OF THAILAND
Author	Tipsuda Teanthong
Degree	Master of Science (Agricultural Technology)
Department/Faculty/University	Agricultural Technology Faculty of Science and Technology Thammasat University
Thesis Advisor	Assistant Professor Bhornchai Harakotr, Ph.D.
Thesis Co-Advisor	Associate Professor Yaowapha Jirakiattikul, Ph.D.
Academic Year	2024

ABSTRACT

The improvement of high-yielding and high-quality rice varieties is a crucial factor in enhancing competitiveness in terms of price and quality in the export market. Yield trials are an essential step in selecting varieties that are suitable for specific environments and target production areas. Therefore, the objective of this study was to evaluate the yield, quality, and physicochemical properties of advanced rice lines grown in irrigated areas of central Thailand. Ten advanced rice lines were tested and compared with two varieties: RD85 (high amylose content rice) and RJP233088 (low amylose content rice) during the off-season of 2024 at three locations: Pathum Thani, Chainat, and Suphan Buri provinces, Thailand. The experiment was arranged in a randomized complete block design with three replications. Agronomic characteristics, yield components, yield, physical quality, and physicochemical properties were recorded. The results indicated that genotype, location, and genotype-by-location interaction were statistically significant for all studied traits, except that location did not have a significant effect on the number of panicles per hill. Variations due to

Ref. code: 25676509032568NOH

genotype were significant for most of the studied traits, accounting for 32.55-94.30% of the total variation, while location influenced yield and grain elongation ratio, contributing 53.02% and 46.59% of the total variation, respectively. Most of the advanced rice lines exhibited higher yields and better yield components than the RD85 variety. In particular, DS24-Inter-8 demonstrated a high yield, a large number of grains per panicle, and a high 100-grain weight at Pathum Thani and Chainat. GGE-biplot analysis demonstrated that the DS24-Inter-1 and DS24-Inter-8 lines provided consistent yields across all locations. Additionally, the DS24-Inter-9, DS24-Inter-2, and DS24-Inter-5 lines produced high yields at Pathum Thani, Chainat, and Suphan Buri, respectively.

The physicochemical properties included amylose content, gelatinization temperature, gel consistency, pasting properties, and texture were evaluated. The results revealed that the cooked rice texture related to amylose content. Rapid visco analyzer analysis showed that peak viscosity, breakdown, and setback values could indicate the softness of cooked rice. High-amylose rice exhibited low peak viscosity and high setback values, resulting in hard-cooked rice with less sticky. In contrast, low-amylose rice exhibited the opposite characteristics. In addition, DS24-Inter-5, DS24-Inter-6, DS24-Inter-8, and DS24-Inter-10 lines showed good cooking and eating quality due to their low amylose content, medium to low gelatinization temperature, soft gel consistency, high peak viscosity, and high breakdown values compared to the two check varieties. Therefore, DS24-Inter-8 line, which has high yield, favorable yield components, and good cooking and eating quality, along with good adaptability across various environments, is suitable for advanced yield trials in the irrigated areas of central Thailand.

Keywords: Crop improvement, genotype by environment interaction, yield, eating and cooking quality, amylose content, peak viscosity, breakdown, setback, *Oryza sativa* L.

Ref. code: 25676509032568NOH

กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์เล่มนี้สามารถสำเร็จแบบสมบูรณ์ได้ด้วยความอนุเคราะห์ของผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.พรชัย หาระโคตร อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลักที่กรุณาให้ความรู้ คำแนะนำ ข้อเสนอแนะ คอยสนับสนุน คอยให้คำปรึกษา กำลังใจ และชี้แนะแนวทางในการทำการทดลอง สนับสนุนทั้งด้านวิชาการและส่งเสริมทางด้านทุนทรัพย์สำหรับการทำวิจัย รวมทั้งช่วยตรวจแก้ไขให้เล่มวิทยานิพนธ์นี้มีความสมบูรณ์และมีเนื้อหาครบถ้วนยิ่งขึ้น และรองศาสตราจารย์ ดร.เยาวพา จิระเกียรติกุล อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ร่วมที่กรุณาให้ความรู้ คำแนะนำ และการช่วยตรวจแก้ไขเล่มวิทยานิพนธ์จนทำให้วิทยานิพนธ์เล่มนี้สำเร็จสมบูรณ์มากยิ่งขึ้น ขอกราบขอบพระคุณเป็นอย่างสูงไว้ ณ ที่นี้

ขอขอบพระคุณ รองศาสตราจารย์ ดร.ภาณุมาศ ฤทธิไชย ประธานกรรมการและผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ภัควัฒน์ เดชชีวะ กรรมการสอบวิทยานิพนธ์ ที่ให้คำปรึกษาและข้อเสนอแนะ รวมถึงชี้แนะแนวทางต่าง ๆ ที่เป็นประโยชน์อย่างยิ่งในการทำงานวิจัยในครั้งนี้

ขอขอบพระคุณสาขาวิชาเทคโนโลยีการเกษตร คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์ ศูนย์รังสิต สถานีวิจัยรวมใจพัฒนาความรู้ จังหวัดปทุมธานี เกษตรกร อำเภอเมืองชัยนาท จังหวัดชัยนาท และเกษตรกร อำเภอหนองหญ้าไซ จังหวัดสุพรรณบุรี ที่อนุเคราะห์สถานที่ ตัวอย่างสายพันธุ์ข้าว และอุปกรณ์เพื่อนำมาใช้ในการวิจัยครั้งนี้ จนทำให้วิทยานิพนธ์เล่มนี้สำเร็จสมบูรณ์

ขอขอบคุณ ทุนบัณฑิตเรียนดีเพื่อศึกษาต่อระดับบัณฑิตศึกษา คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์ ประจำปีงบประมาณ พ.ศ. 2565 (ตามสัญญาเลขที่ ทบ. 15/2565)

ทิพย์สุดา เทียนทอง

Ref. code: 25676509032568NOH

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย	(1)
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ	(3)
กิตติกรรมประกาศ	(5)
สารบัญตาราง	(10)
สารบัญภาพ	(13)
บทที่ 1 บทนำ	1
1.1 ที่มาและความสำคัญของปัญหา	1
1.2 วัตถุประสงค์	3
1.3 ขอบเขตงานวิจัย	3
บทที่ 2 วรรณกรรมและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	4
2.1 ความสำคัญของข้าว	4
2.2 คุณภาพข้าว	5
2.2.1 คุณภาพทางกายภาพของเมล็ด	6
2.2.2 คุณภาพการสีของข้าว	8
2.2.3 คุณภาพทางเคมีของข้าว	9
2.2.4 คุณภาพการหุงต้มและรับประทาน	10
2.2.4.1 ปริมาณอมิโลส	11
2.2.4.2 ความคงตัวแป้งสุก	13
2.2.4.3 อุณหภูมิแป้งสุก	14

Ref. code: 25676509032568NOH

2.2.4.4 คุณสมบัติความหนืด 17
2.2.4.5 อัตราการยืดตัวของข้าวสุกต่อข้าวดิบ 19
2.2.4.6 เนื้อสัมผัส 20
2.2.4.7 ความหอม 22
2.3 ปัจจัยที่มีผลต่อผลผลิต และคุณภาพการหุงต้มและรับประทาน 22
2.3.1 พันธุกรรม 22
2.3.2 การจัดการก่อนการเก็บเกี่ยว 23
2.3.2.1 พื้นที่ปลูก 23
2.3.2.2 อุณหภูมิ 25
2.3.2.3 ระยะเวลาในการเก็บเกี่ยวที่เหมาะสม 26
2.3.3 กระบวนการหลังการเก็บเกี่ยว 27
2.3.3.1 การลดความชื้น 27
2.3.3.2 การเก็บรักษา 28
2.3.3.3 กระบวนการสี 29
2.4 การปรับปรุงพันธุ์ข้าวเพื่อเพิ่มผลผลิตและคุณภาพของข้าว 29
2.4.1 วิธีการปรับปรุงพันธุ์ข้าว 30
2.4.2 ขั้นตอนการปรับปรุงพันธุ์ข้าว 31

บทที่ 3 วิธีการวิจัย 34

3.1 การวางแผนการทดลอง 34
3.2 ขั้นตอนการดำเนินการปลูกและดูแลรักษา 34
3.3 การบันทึกข้อมูล 35
3.3.1 ข้อมูลอุตุนิยมวิทยา และคุณสมบัติทางกายภาพและเคมีของดิน 35
3.3.2 ลักษณะทางการเกษตร องค์ประกอบผลผลิต และผลผลิต 36
3.3.3 ลักษณะทางกายภาพของเมล็ด 36
3.3.4 ลักษณะทางเคมีกายภาพที่เกี่ยวข้องกับคุณภาพการหุงต้มและรับประทาน 37
3.3.4.1 ปริมาณอมิโลส 37
3.3.4.2 อุณหภูมิแป้งสุก 38
3.3.4.3 ความคงตัวแป้งสุก 38

Ref. code: 25676509032568NOH

3.3.4.4 การยืดตัวของเมล็ดข้าวสุก 39
3.3.4.5 คุณสมบัติความหนืด 39
3.3.4.6 ความแข็งและความเหนียวของข้าวสุก 40
3.4 การวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติ 40
3.4.1 วิเคราะห์ความแปรปรวน 40
3.4.2 วิเคราะห์ความเป็นเอกภาพของข้อมูล 40
3.4.3 วิเคราะห์ความแปรปรวนรวมของ 3 สถานที่ 41
3.4.4 การวิเคราะห์สหสัมพันธ์ของลักษณะ 42
3.4.5 การประเมินเสถียรภาพสายพันธุ์โดย GGE-biplot 42
3.5 สถานที่ทำการทดลอง 43
3.6 ระยะเวลาในการทดลอง 43

บทที่ 4 ผลการวิจัยและอภิปรายผล 44

4.1 ข้อมูลอุตุนิยมวิทยา และคุณสมบัติทางกายภาพและเคมีของดิน 44
4.1.1 ข้อมูลอุตุนิยมวิทยา 44
4.1.2 คุณสมบัติทางกายภาพและเคมีของดิน 44
4.2 ความแปรปรวนรวมของข้าวเจ้าสายพันธุ์ก้าวหน้าและพันธุ์เปรียบเทียบ 45
4.3 ลักษณะทางการเกษตร องค์ประกอบผลผลิต และผลผลิต 49
4.3.1 อายุออกดอกและอายุเก็บเกี่ยว 49
4.3.2 ความสูงต้น 50
4.3.3 จำนวนรวงต่อกอ 51
4.3.4 จำนวนเมล็ดต่อรวง 51
4.3.5 จำนวนเมล็ดดีต่อรวง 53
4.3.6 น้ำหนัก 100 เมล็ด 54
4.3.7 ผลผลิต 55
4.4 เสถียรภาพของสายพันธุ์ข้าวที่ปลูกทดสอบ 59
4.5 ลักษณะทางกายภาพ 63
4.5.1 คุณภาพการสี 63
4.5.2 ขนาดเมล็ด 63
4.5.3 ท้องไข่ 63

Ref. code: 25676509032568NOH

4.6 ลักษณะทางเคมีกายภาพที่เกี่ยวข้องกับคุณภาพการหุงต้มและรับประทาน 68
4.6.1 ปริมาณอมิโลส 68
4.6.2 อุณหภูมิแป้งสุก 69
4.6.3 ความคงตัวแป้งสุก 70
4.6.4 การยืดตัวของเมล็ดข้าวสุก 71
4.6.5 คุณสมบัติความหนืด 72
4.6.6 ความแข็งและความเหนียวของข้าวสุก 78
4.7 ความสัมพันธ์ของลักษณะทางเคมีกายภาพที่เกี่ยวข้องกับคุณภาพการหุงต้มและรับประทาน 78

บทที่ 5 สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ 85

5.1 สรุปผลการวิจัย 85
5.2 ข้อเสนอแนะ 86

รายการอ้างอิง 87

ภาคผนวก

ภาคผนวก ก 106
ภาคผนวก ข 108
ภาคผนวก ค 110

ประวัติผู้เขียน 121

Ref. code: 25676509032568NOH

สารบัญตาราง

ตารางที่		หน้า
2.1	ชั้นของเมล็ดข้าวจำแนกตามความยาวของเมล็ด	6
2.2	การจำแนกรูปร่างของเมล็ดข้าว ประเมินจากอัตราส่วนความยาวต่อความกว้างของเมล็ดข้าวเปลือก	7
2.3	การแบ่งประเภทข้าวตามปริมาณอมิโลสในข้าว	13
2.4	ปริมาณอมิโลสและความคงตัวแป้งสุกของข้าว 5 สายพันธุ์	14
2.5	ค่าการสลายตัวของเมล็ดข้าวในสารละลายด่างและอุณหภูมิแป้งสุกของข้าว 5 สายพันธุ์	16
2.6	คุณสมบัติความหนืดของแป้งข้าวแต่ละสายพันธุ์	18
2.7	อัตราการยืดตัวของข้าวสุกของข้าวบาสมาติและข้าวที่ไม่ใช่บาสมาติ	20
2.8	เนื้อสัมผัสของข้าวสุกที่วิเคราะห์ด้วยเครื่องวิเคราะห์เนื้อสัมผัส	21
2.9	น้ำหนัก 1,000 เมล็ด ปริมาณสาร 2AP การเกาะตัวกัน ความเหนียวยึดติด ปริมาณอมิโลส และค่า Pasting temperature ของข้าวขาวดอกมะลิ 105 ที่ปลูกทดสอบในทุ่งกุลาร้องไห้	25
3.1	ข้าวเจ้าสายพันธุ์ก้าวหน้า และพันธุ์เปรียบเทียบที่ใช้ในการศึกษา	35
3.2	การแบ่งประเภทข้าวตามปริมาณอมิโลสในข้าว	38
3.3	ระดับของอุณหภูมิแป้งสุก	38
3.4	การวิเคราะห์ความแปรปรวนรวมตามแผนการทดลองแบบ RCBD ใน 3 สถานที่	41
4.1	ข้อมูลสภาพอากาศของสถานที่ปลูกทดสอบระหว่างเดือนระหว่างเดือนกุมภาพันธ์-มิถุนายน พ.ศ. 2567	44
4.2	คุณสมบัติทางเคมีของดินของสถานที่ปลูกทดสอบ	45
4.3	ความแปรปรวนรวมในลักษณะทางการเกษตร องค์ประกอบผลผลิต ผลผลิต ลักษณะทางกายภาพและเคมีกายภาพของข้าวเจ้าสายพันธุ์ก้าวหน้าจำนวน 10 สายพันธุ์ และพันธุ์เปรียบเทียบ 2 พันธุ์ ที่ปลูกทดสอบจำนวน 3 สถานที่	47
4.4	วันออกดอก 50% และอายุเก็บเกี่ยวของข้าวเจ้าสายพันธุ์ก้าวหน้า 10 สายพันธุ์ ที่ปลูกทดสอบร่วมกับพันธุ์เปรียบเทียบ 2 พันธุ์ จำนวน 3 สถานที่	49
4.5	ความสูงต้นของข้าวเจ้าสายพันธุ์ก้าวหน้า 10 สายพันธุ์ และพันธุ์เปรียบเทียบ 2 พันธุ์ ที่ปลูกทดสอบจำนวน 3 สถานที่	50

Ref. code: 25676509032568NOH

4.6 จำนวนรวงต่อกอของข้าวเจ้าสายพันธุ์ก้าวหน้า 10 สายพันธุ์ และพันธุ์เปรียบเทียบ 2 พันธุ์ ที่ปลูกทดสอบจำนวน 3 สถานที่ 51
4.7 จำนวนเมล็ดต่อรวงของข้าวเจ้าสายพันธุ์ก้าวหน้า 10 สายพันธุ์ และพันธุ์เปรียบเทียบ 2 พันธุ์ ที่ปลูกทดสอบจำนวน 3 สถานที่ 52
4.8 จำนวนเมล็ดดีของข้าวเจ้าสายพันธุ์ก้าวหน้า 10 สายพันธุ์ และพันธุ์เปรียบเทียบ 2 พันธุ์ ที่ปลูกทดสอบจำนวน 3 สถานที่ 53
4.9 น้ำหนักข้าว 100 เมล็ดของข้าวเจ้าสายพันธุ์ก้าวหน้า 10 สายพันธุ์ และพันธุ์เปรียบเทียบ 2 พันธุ์ ที่ปลูกทดสอบจำนวน 3 สถานที่ 54
4.10 ผลผลิต (ความชื้น 14%) ของข้าวเจ้าสายพันธุ์ก้าวหน้า 10 สายพันธุ์ และพันธุ์เปรียบเทียบ 2 พันธุ์ ที่ปลูกทดสอบจำนวน 3 สถานที่ 55
4.11 คุณภาพการสีของข้าวเจ้าสายพันธุ์ก้าวหน้า 10 สายพันธุ์ และพันธุ์เปรียบเทียบ 2 พันธุ์ ที่ปลูกทดสอบจำนวน 3 สถานที่ 64
4.12 ขนาดเมล็ดของข้าวเจ้าสายพันธุ์ก้าวหน้า 10 สายพันธุ์ และพันธุ์เปรียบเทียบ 2 พันธุ์ ที่ปลูกทดสอบจำนวน 3 สถานที่ 65
4.13 ความเป็นท้องไข่ของข้าวเจ้าสายพันธุ์ก้าวหน้า 10 สายพันธุ์ และพันธุ์เปรียบเทียบ 2 พันธุ์ ที่ปลูกทดสอบจำนวน 3 สถานที่ 66
4.14 ปริมาณอมิโลสของข้าวเจ้าสายพันธุ์ก้าวหน้า 10 สายพันธุ์ และพันธุ์เปรียบเทียบ 2 พันธุ์ ที่ปลูกทดสอบจำนวน 3 สถานที่ 69
4.15 อุณหภูมิแป้งสุกของข้าวเจ้าสายพันธุ์ก้าวหน้า 10 สายพันธุ์ และพันธุ์เปรียบเทียบ 2 พันธุ์ ที่ปลูกทดสอบจำนวน 3 สถานที่ 70
4.16 ความคงตัวแป้งสุกของข้าวเจ้าสายพันธุ์ก้าวหน้า 10 สายพันธุ์ และพันธุ์เปรียบเทียบ 2 พันธุ์ ที่ปลูกทดสอบจำนวน 3 สถานที่ 71
4.17 การยืดตัวของเมล็ดข้าวเจ้าสายพันธุ์ก้าวหน้า 10 สายพันธุ์ และพันธุ์เปรียบเทียบ 2 พันธุ์ ที่ปลูกทดสอบจำนวน 3 สถานที่ 72
4.18 คุณสมบัติความหนืดของข้าวเจ้าสายพันธุ์ก้าวหน้า 10 สายพันธุ์ และพันธุ์เปรียบเทียบ 2 พันธุ์ ที่ปลูกทดสอบที่ปทุมธานี 75
4.19 คุณสมบัติความหนืดของข้าวเจ้าสายพันธุ์ก้าวหน้า 10 สายพันธุ์ และพันธุ์เปรียบเทียบ 2 พันธุ์ ที่ปลูกทดสอบที่ชัยนาท 76
4.20 คุณสมบัติความหนืดของข้าวเจ้าสายพันธุ์ก้าวหน้า 10 สายพันธุ์ และพันธุ์เปรียบเทียบ 2 พันธุ์ ที่ปลูกทดสอบที่สุพรรณบุรี 77

Ref. code: 25676509032568NOH

4.21 ความแข็งและความเหนียวของข้าวเจ้าสายพันธุ์ก้าวหน้า 10 สายพันธุ์ และพันธุ์เปรียบเทียบ 2 พันธุ์ ที่ปลูกทดสอบจำนวน 3 สถานที่ 79

4.22 การวิเคราะห์ความสัมพันธ์เชิงเส้นของเพียร์สันระหว่างคุณภาพทางเคมีกายภาพของข้าวเจ้าสายพันธุ์ก้าวหน้า 10 สายพันธุ์ ที่ปลูกทดสอบร่วมกับพันธุ์เปรียบเทียบ 2 พันธุ์ จำนวน 3 สถานที่ทดสอบ 80

ตารางผนวกที่

ข.1 ค่ามาตรฐานที่ใช้ในการประเมินสมบัติทางเคมีของดิน และระดับของธาตุอาหารในดิน 108

ข.2 ค่ามาตรฐานที่ใช้ในการประเมินระดับความเค็มของดิน 108

ข.3 การวิเคราะห์ความสัมพันธ์เชิงเส้นของเพียร์สันของลักษณะทางการเกษตรองค์ประกอบผลผลิต และผลิต ของข้าวเจ้าสายพันธุ์ก้าวหน้า 10 สายพันธุ์ ที่ปลูกทดสอบร่วมกับพันธุ์เปรียบเทียบ 2 พันธุ์ จำนวน 3 สถานที่ทดสอบ 109

Ref. code: 25676509032568NOH

สารบัญภาพ

ภาพที่	หน้า
2.1 การให้คะแนนข้าวท้องไข่	8
2.2 ขนาดข้าวหักและส่วนข้าวหัก	9
2.3 โครงสร้างของอมิโลสและอมิโลเพคตินในแป้ง	12
2.4 ระดับของการสลายของเมล็ดข้าวในด่าง	15
2.5 โครงสร้างแบบกิ่งของอมิโลเพคติน ประกอบด้วยสายโซ่ย่อย 3 ชนิด คือ สาย A (A-chain) สาย B (B-chain) ซึ่งแบ่งเป็นกลุ่มย่อย B1 B2 และ B3 และสาย C (C-chain) เป็นสายแกน ซึ่งมีหมู่รีดิวซิง 1 หมู่	16
2.6 การเปลี่ยนแปลงความหนืดของแป้งข้าวระหว่างการต้มสุก	17
2.7 การพัฒนาของเมล็ดข้าวทั้ง 3 ระยะ I) ภาพเอมบริโอตามยาว และ II) ตามขวาง III) กราฟแสดงความสัมพันธ์ของน้ำหนักเมล็ดและปริมาณน้ำในเมล็ดในระหว่างการพัฒนา	27
2.8 การคัดเลือกพันธุ์แบบบันทึกประวัติ (pedigree method)	32
4.1 ค่าเฉลี่ยของผลผลิตของข้าว 12 สายพันธุ์/พันธุ์ ที่ปลูกทดสอบจำนวน 3 พื้นที่ (ตัวเลขสีน้ำเงินแสดงลำดับสายพันธุ์ ตามตารางที่ 3.1)	60
4.2 which-won-where model ของข้าว 12 สายพันธุ์/พันธุ์ ที่ปลูกทดสอบจำนวน 3 พื้นที่ (ตัวเลขสีน้ำเงินแสดงลำดับสายพันธุ์ ตามตารางที่ 3.1 และตัวเลขสีแดง หมายถึง แปลงทดสอบจังหวัดปทุมธานี (1) จังหวัดชัยนาท (2) และจังหวัดสุพรรณบุรี (3))	60
4.3 การวิเคราะห์สเถียรภาพของสายพันธุ์ข้าว 12 สายพันธุ์/พันธุ์ ที่ปลูกทดสอบจำนวน 3 พื้นที่ (ตัวเลขสีดำแสดงลำดับสายพันธุ์ ตามตารางที่ 3.1 และตัวเลขสีน้ำเงิน หมายถึง แปลงทดสอบจังหวัดปทุมธานี (1) จังหวัดชัยนาท (2) และจังหวัดสุพรรณบุรี (3))	61
4.4 คุณสมบัติความหนืดของแป้งข้าวเมื่อวิเคราะห์ด้วยเครื่อง RVA สำหรับสายพันธุ์ DS24-Inter-4 (a) พันธุ์ กข85 (b) สายพันธุ์ DS24-Inter-8 (c) และพันธุ์ RJP233088 (d)	74

Ref. code: 25676509032568NOH

ภาพผนวกที่

ก.1 อุณหภูมิและปริมาณน้ำฝน ระหว่างเดือนกุมภาพันธ์-พฤษภาคม พ.ศ.2567 ในพื้นที่อำเภอคลองหลวง จังหวัดปทุมธานี 106

ก.2 อุณหภูมิและปริมาณน้ำฝน ระหว่างเดือนกุมภาพันธ์-พฤษภาคม พ.ศ.2567 ในพื้นที่อำเภอเมืองชัยนาท จังหวัดชัยนาท 106

ก.3 อุณหภูมิและปริมาณน้ำฝน ระหว่างเดือนมีนาคม-มิถุนายน พ.ศ.2567 ในพื้นที่อำเภอหนองหญ้าไซ จังหวัดสุพรรณบุรี 107

ค.1 ลักษณะท้องไข่ของข้าวเจ้าสายพันธุ์ก้าวหน้า 10 สายพันธุ์ ที่ปลูกทดสอบร่วมกับพันธุ์เปรียบ 2 พันธุ์ จำนวน 3 สถานที่ 112

ค.2 ระยะทางที่แป้งไหลของข้าวเจ้าสายพันธุ์ก้าวหน้า 10 สายพันธุ์ ที่ปลูกทดสอบร่วมกับพันธุ์เปรียบ 2 พันธุ์ จำนวน 3 สถานที่ 115

ค.3 การสลายตัวในสารละลายด่างของข้าวเจ้าสายพันธุ์ก้าวหน้า 10 สายพันธุ์ ที่ปลูกทดสอบร่วมกับพันธุ์เปรียบ 2 พันธุ์ จำนวน 3 สถานที่ 118

ค.4 สีข้าวเปลือก ข้าวกล้อง และข้าวสารของข้าวเจ้าสายพันธุ์ก้าวหน้า 10 สายพันธุ์ ที่ปลูกทดสอบร่วมกับพันธุ์เปรียบเทียบ 2 พันธุ์ จำนวน 3 สถานที่ 120

Ref. code: 25676509032568NOH

บทที่ 1
บทนำ

1.1 ที่มาและความสำคัญของปัญหา

ข้าว (*Oryza sativa* L.) เป็นพืชอาหารที่สำคัญของโลก ประชากรส่วนใหญ่มากกว่าครึ่งโลกบริโภคข้าวเป็นอาหารหลัก (Dunna and Roy, 2013) และมีปริมาณการบริโภคเพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่องตั้งแต่อดีตจนถึงปัจจุบัน สำหรับประเทศไทยข้าวนับว่าเป็นพืชที่มีความสำคัญต่อเศรษฐกิจของประเทศทั้งด้านการบริโภคและการเป็นสินค้าส่งออก มีพื้นที่เพาะปลูกครึ่งหนึ่งของพื้นที่เกษตรทั้งประเทศโดยเฉพาะภาคกลางซึ่งเป็นหนึ่งในพื้นที่ปลูกข้าวที่สำคัญ โดยปี พ.ศ. 2567 มีพื้นที่เพาะปลูกข้าวนาปรัง 1.88 แสนไร่ และข้าวนาปี 6.44 ล้านไร่ (กรมการข้าว, 2567) เนื่องจาก ภูมิภาคนี้มีระบบชลประทานที่เอื้ออำนวยต่อการเพาะปลูกและครอบคลุมในทุกจังหวัด ข้าวเป็นธัญพืชอาหารหลักที่ผู้บริโภคให้ความสำคัญในการพิจารณาเลือกคุณลักษณะของข้าวเมื่อหุงสุกซึ่งมีความแตกต่างกันในด้านของเนื้อสัมผัส เช่น เหนียวนุ่ม และแข็งร่วน ซึ่งความชอบของแต่ละบุคคลจะแตกต่างกันไปตามพฤติกรรมและความต้องการของผู้บริโภคทั้งในประเทศและต่างประเทศ เพื่อให้ผู้ที่เกี่ยวข้องกับข้าวในด้านต่าง ๆ มีความเข้าใจตรงกัน จึงมีการกำหนดคุณภาพข้าวขึ้นเป็นเกณฑ์หรือมาตรฐาน (อรอนงค์, 2550) คุณภาพข้าวแบ่งออกเป็น 4 ส่วนหลัก ได้แก่ คุณภาพทางกายภาพของเมล็ด (appearance quality) คุณภาพการสีของข้าว (milling quality) คุณค่าทางโภชนาการ (nutritional quality) และคุณภาพการรับประทานของข้าวที่หุงสุก หรือคุณภาพการหุงต้มและรับประทาน (cooking and eating quality) (Hori and Sun, 2022; Li et al., 2022) ซึ่งคุณภาพการหุงต้มและรับประทานของข้าวไม่สามารถประเมินได้ด้วยตาเปล่า แต่เป็นคุณสมบัติที่สำคัญและเกี่ยวข้องกับลักษณะเนื้อสัมผัสของข้าวหุงสุกมากที่สุด โดยเฉพาะอย่างยิ่ง คุณสมบัติทางเคมีกายภาพ (physicochemical properties) เช่น ปริมาณอมิโลส ความคงตัวของแป้งสุก อุณหภูมิแป้งสุก คุณสมบัติความหนืด รวมถึงเนื้อสัมผัส ความเหนียว ความเคี้ยวได้ และความหอมของข้าวที่หุงแล้ว เป็นต้น ซึ่งลักษณะเหล่านี้นิยมนำมาใช้เพื่อคาดคะเนคุณภาพการหุงต้มและรับประทาน (Kong et al., 2015)

การพัฒนาพันธุ์ข้าวที่มีผลผลิตสูง และมีคุณภาพหลากหลายตามความต้องการตลาดจะนำไปสู่การเพิ่มศักยภาพการแข่งขันในการส่งออกทั้งในด้านราคา และคุณภาพ โดยคุณภาพของเมล็ดสัมพันธ์กับลักษณะทางกายภาพ คุณสมบัติการหุงต้ม คุณสมบัติทางประสาทสัมผัส และคุณค่าทางโภชนาการ ซึ่งคุณภาพการหุงต้มและการรับประทานนี้สามารถส่งเสริมให้พันธุ์ข้าวมีเอกลักษณ์เป็นพันธุ์ข้าวคุณภาพพรีเมียม สามารถนำมากำหนดมูลค่าทางเศรษฐกิจในตลาดส่งออก และการ

Ref. code: 25676509032568NOH

ยอมรับของผู้บริโภค (Bassinello et al., 2020) ส่งผลให้คุณภาพด้านดังกล่าวเป็นเป้าหมายสำคัญประการหนึ่งของการปรับปรุงพันธุ์ข้าวควบคู่ไปกับการเพิ่มผลผลิตเพื่อตอบสนองความต้องการของตลาด (Bassinello et al., 2020; Li et al., 2022; Gong et al., 2023) แม้ว่าเทคโนโลยีการปรับปรุงพันธุ์สมัยใหม่จะสามารถช่วยลดระยะเวลาในการปรับปรุงพันธุ์ และมีความแม่นยำมากขึ้น แต่นักปรับปรุงพันธุ์ข้าวส่วนใหญ่ยังคงใช้วิธีการคัดเลือกแบบสืบประวัติ (pedigree selection) และการคัดเลือกแบบหมู่ (mass selection) สำหรับการปรับปรุงพันธุ์เพื่อเพิ่มผลผลิตและคุณภาพการหุงต้มและการรับประทาน ซึ่งวิธีการดังกล่าวเป็นการคัดเลือกหาสายพันธุ์ที่มีลักษณะดีในทุก ๆ ชั่วอายุ ในช่วงแรกของการคัดเลือกเป็นการคัดเลือกรายต้น (single-plant selection) ที่มีลักษณะดี ส่วนช่วงหลังจะพิจารณาคัดเลือกแถวหรือสายพันธุ์ (family selection) ที่มีลักษณะดีและมีความสม่ำเสมอไว้ จากนั้นจึงนำไปศึกษาพันธุ์ เปรียบเทียบผลผลิต ทดสอบความต้านทานต่อโรคและแมลงศัตรูข้าว การตอบสนองต่อธาตุอาหารพืช ซึ่งเป็นการเปรียบเทียบผลผลิตร่วมกับสายพันธุ์อื่น ๆ และพันธุ์มาตรฐานภายในสถานี เพื่อคัดเลือกสายพันธุ์ข้าวที่ให้ผลผลิตสูง และมีลักษณะดีตามต้องการ และสุดท้ายเป็นการประเมินผลผลิตขั้นสูง (Advanced yield trial; AYT) ซึ่งเป็นการประเมินคุณภาพเมล็ดทางกายภาพ คุณภาพการสี คุณภาพเมล็ดทางเคมี คุณภาพการหุงต้มและรับประทาน และการยอมรับของเกษตรกร ซึ่งการประเมินขั้นนี้จะปลูกทดสอบทั้งในและระหว่างสถานี (intra- and inter station yield trials) และแปลงเกษตรกร (On farm trial) เพื่อประเมินศักยภาพของผลผลิตและประเมินผลกระทบของปฏิสัมพันธ์ระหว่างจีโนไทป์กับสิ่งแวดล้อม ก่อนการคัดเลือกสายพันธุ์ (Gomez and Gomez, 1984)

ข้าวสายพันธุ์ปรับปรุงใหม่หรือสายพันธุ์ก้าวหน้านี้มีความจำเป็นต้องทดสอบผลผลิตเพื่อให้ทราบถึงผลผลิตและการปรับตัวของข้าวสายพันธุ์ก้าวหน้าในพื้นที่เป้าหมาย ตลอดจนเพื่อเผยแพร่พันธุ์ข้าวเหล่านี้ให้เป็นที่รู้จักของเกษตรกรในพื้นที่ดังกล่าว (ไวพจน์ และคณะ, 2558) โดยองค์ประกอบผลผลิตของข้าวเป็นลักษณะที่สำคัญเบื้องต้นที่ใช้ในการประเมินเพื่อคัดเลือกพันธุ์ที่ให้ได้ผลผลิตสูง ประกอบด้วยจำนวนต้นต่อกอ จำนวนรวงต่อกอ จำนวนเมล็ดต่อรวง และน้ำหนักเมล็ด (บุญหงษ์, 2557) ลักษณะที่สำคัญอีกอย่างที่ใช้ในการคัดเลือกพันธุ์ข้าว คือ ปริมาณอมิโลส เนื่องจากปริมาณอมิโลสเป็นปัจจัยสำคัญที่ทำให้ข้าวสุกมีคุณสมบัติแตกต่างกัน สามารถนำไปใช้ประโยชน์ได้ต่างกัน โดยข้าวอมิโลสปานกลาง (20-25%) เป็นข้าวที่นิยมบริโภคภายในประเทศและใช้ในอุตสาหกรรมอาหาร ในขณะที่ปัจจุบันผู้บริโภคให้ความสนใจกับข้าวที่มีปริมาณอมิโลสต่ำ (<20%) หรือข้าวพื้นนุ่มมากขึ้น (เปรมกมล และคณะ, 2566) จากรายงานการวิจัยและพัฒนาพันธุ์ข้าวในไทยที่ผ่านมา แสดงให้เห็นว่าพันธุ์ข้าวที่ให้ผลผลิตสูง ลักษณะทางการเกษตร และคุณภาพการหุงต้มและรับประทานดี ส่งผลต่อความพึงพอใจและการยอมรับของเกษตรกร (ดลตภร และคณะ, 2564; สุภาพร และคณะ, 2564; ชวนชม และคณะ, 2565; เปรมกมล และคณะ, 2565; พีระดุง และคณะ,

Ref. code: 25676509032568NOH

2565; สุภาพร และคณะ, 2565) การพัฒนาสายพันธุ์ข้าวจึงมุ่งเน้นไปที่การคัดเลือกสายพันธุ์ที่มีสายพันธุ์ข้าวที่มีผลผลิตสูง ปริมาณอมิโลสต่ำถึงปานกลาง ดังนั้น ในการศึกษาครั้งนี้นำข้าวเจ้าสายพันธุ์ก้าวหน้า 10 สายพันธุ์ มาศึกษาลักษณะทางการเกษตร องค์ประกอบผลผลิต ผลผลิต ลักษณะทางกายภาพของเมล็ด และลักษณะทางเคมีกายภาพ โดยผลจากการศึกษาครั้งนี้จะเป็นข้อมูลพื้นฐานสำหรับนักปรับปรุงพันธุ์ข้าวเพื่อการคัดเลือกข้าวสายพันธุ์ก้าวหน้าที่มีผลผลิต คุณภาพ และคุณสมบัติทางเคมีกายภาพดี รวมถึงเหมาะสำหรับการเพาะปลูกในพื้นที่เขตชลประทานต่อไป

1.2 วัตถุประสงค์

1. เพื่อประเมินผลผลิต คุณภาพ และคุณสมบัติทางเคมีกายภาพของข้าวเจ้าสายพันธุ์ก้าวหน้าที่เพาะปลูกในพื้นที่ชลประทานภาคกลางของประเทศไทย
2. เพื่อศึกษาความสัมพันธ์ของคุณสมบัติทางเคมีกายภาพของข้าวเจ้าสายพันธุ์ก้าวหน้า

1.3 ขอบเขตการวิจัย

1. ประเมินลักษณะทางการเกษตร องค์ประกอบผลผลิต ผลผลิต ลักษณะทางกายภาพของเมล็ด และลักษณะทางเคมีกายภาพของข้าวเจ้าสายพันธุ์ก้าวหน้า จำนวน 10 สายพันธุ์ และพันธุ์เปรียบเทียบ 2 พันธุ์ (พันธุ์ กข85 และ RJP233088) โดยปลูกทดสอบ 3 สถานที่ ได้แก่ จังหวัดปทุมธานี ชัยนาท และสุพรรณบุรี ในช่วงเดือนกุมภาพันธ์ถึงมิถุนายน พ.ศ. 2567 ทำการบันทึกข้อมูล ได้แก่ ข้อมูลสภาพอากาศ คุณสมบัติทางกายภาพและเคมีของดิน อายุออกดอก อายุเก็บเกี่ยว ความสูงต้น จำนวนรวงต่อกอ จำนวนเมล็ดดี น้ำหนักเมล็ด ผลผลิต ความยาว และความกว้างของเมล็ดข้าวเปลือก ข้าวกล้อง และข้าวสาร หลังจากนั้นนำมาวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติ และวิเคราะห์ปฏิสัมพันธ์ระหว่างพันธุกรรมกับสภาพแวดล้อมและเสถียรภาพของผลผลิต โดยวิธี GGE-biplot เพื่อประเมินความแตกต่างของผลผลิตของสายพันธุ์ข้าวที่ตอบสนองในแต่ละพื้นที่ปลูกข้าว
2. ศึกษาความสัมพันธ์ของคุณสมบัติทางเคมีกายภาพของข้าวเจ้าสายพันธ์ก้าวหน้า ประกอบด้วย ปริมาณอมิโลส ความคงตัวแป้งสุก คุณสมบัติความหนืด ความแข็งและความเหนียวของข้าวสุก

Ref. code: 25676509032568NOH

บทที่ 2
วรรณกรรมและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.1 ความสำคัญของข้าว

ข้าว (*O. sativa* L.) เป็นพืชตระกูลหญ้า (Poaceae หรือ Gramineae) เป็นพืชที่มีความสำคัญทั่วโลก ประชากรส่วนใหญ่มากกว่าครึ่งโลกบริโภคข้าวเป็นอาหารหลักและมีปริมาณการบริโภคเพิ่มขึ้นเรื่อย ๆ ตั้งแต่อดีตจนถึงปัจจุบัน (Dunna and Roy, 2013) จึงทำให้ข้าวเป็นส่วนสำคัญของชีวิตและวัฒนธรรมของผู้คน โดยมีต้นกำเนิดในทวีปเอเชียและแพร่กระจายไปยังหลาย ๆ ประเทศทั่วโลก ข้าวเป็นพืชที่มีความสามารถในการปรับตัวสูง สามารถเจริญเติบโตได้ดีทั้งในเขตร้อน (tropical zone) และเขตอบอุ่น (temperate) ข้าวชนิดแรกที่มนุษย์รู้จักนำมากิน คือ ข้าวป่า และได้มีการพัฒนาโดยคัดเลือกให้เข้ากับสภาพแวดล้อม สามารถแบ่งออกได้เป็น 2 สปีชีส์ คือ *O. sativa* ที่นิยมเพาะปลูกในทวีปเอเชีย และ *O. glaberrima* ที่นิยมเพาะปลูกในทวีปแอฟริกา ซึ่งข้าวที่นิยมปลูกและซื้อขายกันในตลาดโลกกว่า 90% เป็นข้าวจากทวีปเอเชีย (Khush, 1997) พันธุ์ข้าวมีหลายชนิดทั้งพันธุ์ที่ปลูกเฉพาะนาปีและปลูกได้ตลอดทั้งปี โดยส่วนใหญ่ข้าวที่ปลูกในประเทศไทยเป็นชนิด *O. sativa* และเป็นชนิดย่อย (subspecies) Indica ซึ่งมีความหลากหลายของพันธุ์ค่อนข้างมาก ทั้งที่เป็นข้าวเหนียว (glutinous rice) และข้าวเจ้า (non-glutinous rice)

ข้าวเป็นพืชที่มีความสำคัญต่อเศรษฐกิจของประเทศไทยมาอย่างยาวนาน โดยประเทศไทยเป็นประเทศผู้ผลิตและส่งออกข้าวที่สำคัญของโลก ประชากรส่วนใหญ่ทำนาเป็นอาชีพหลักและบริโภคข้าวเป็นอาหารหลัก ข้าวจึงมีส่วนสำคัญในเรื่องความมั่นคงทางอาหาร (food security) ปี พ.ศ. 2567 ประเทศไทยมีพื้นที่ปลูกข้าวครอบคลุมพื้นที่เพาะปลูกมากที่สุด คิดเป็น 43.7% ของพื้นที่ทำการเกษตรทั้งหมด โดยแบ่งเป็นพื้นที่ปลูกข้าวนาปีจำนวน 62.02 ล้านไร่ ผลผลิตเฉลี่ย 435 กิโลกรัมต่อไร่ และพื้นที่ปลูกข้าวนาปรัง 12.00 ล้านไร่ ผลผลิตเฉลี่ย 655 กิโลกรัมต่อไร่ (สำนักงานเศรษฐกิจการเกษตร, 2567) ซึ่งภาคกลางเป็นหนึ่งในพื้นที่ปลูกข้าวที่สำคัญ โดยมีพื้นที่เพาะปลูกข้าวนาปรัง 1.88 แสนไร่ และข้าวนาปีจำนวน 6.44 ล้านไร่ (กรมการข้าว, 2567) การใช้ประโยชน์ของข้าวนอกจากจะนำมาบริโภคเป็นข้าวหุงสุกแล้ว ผลผลิตข้าวประมาณ 30-40% ถูกใช้เป็นวัตถุดิบในภาคอุตสาหกรรม เช่น อุตสาหกรรมอาหารสัตว์ แป้งข้าว ขนมขบเคี้ยว เครื่องดื่ม ด้านการแพทย์ อาหารเสริม และเครื่องสำอาง เป็นต้น (ลัดดาวัลย์, 2551) ส่งผลให้ข้าวมีมูลค่าทางการตลาดเพิ่มขึ้น คุณภาพข้าวจึงเป็นตัวกำหนดการยอมรับของตลาด ซึ่งคุณภาพของข้าวรวมถึงการนำไปใช้ประโยชน์ที่หลากหลายของข้าวไทยนั้นเปลี่ยนแปลงไปตามพฤติกรรมและความต้องการของผู้บริโภคทั้งใน

Ref. code: 25676509032568NOH

ประเทศและต่างประเทศ ส่งผลให้อุตสาหกรรมข้าวมีแนวโน้มที่จะจัดหาข้าวคุณภาพหลากหลายประเภท และพัฒนาพันธุ์ข้าวให้มีหลากหลายพันธุ์เพื่อรองรับความต้องการของเกษตรกรและภาคอุตสาหกรรมต่าง ๆ ตั้งแต่ข้าวคุณภาพต่ำ คุณภาพดี ไปจนถึงคุณภาพสูงให้สอดคล้องกับกลุ่มตลาดที่แตกต่างกัน (Custodio et al., 2019)

2.2 คุณภาพข้าว

คุณภาพข้าว (rice quality) เป็นลักษณะที่มีความซับซ้อน เนื่องจากผู้บริโภคแต่ละกลุ่มกำหนดคุณภาพข้าวแตกต่างกัน เช่น ประชากรในภูมิภาคเอเชียตะวันออกเฉียงใต้จะให้ความสำคัญคุณภาพด้านประโยชน์ทางโภชนาการ ความนุ่มและกลิ่นหอม ในขณะที่ในเอเชียใต้ให้ความสำคัญกับลักษณะทางกายภาพของเมล็ดข้าวที่ยังไม่สุกมากกว่า เช่น ขนาดและรูปร่างที่สม่ำเสมอ ความขาวและความเรียว เป็นต้น (Custodio et al., 2019) หรือกลุ่มของเกษตรกรที่มักจะให้ความสำคัญกับคุณภาพขององค์ประกอบผลผลิตข้าว (yield component) ประกอบด้วย จำนวนกอต่อพื้นที่ จำนวนต้นต่อกอ จำนวนรวงต่อกอ น้ำหนักรวง ความยาวรวง จำนวนเมล็ดต่อรวง ความสูงเมล็ด ความกว้างเมล็ด และน้ำหนักเมล็ด (Agbo and Obi, 2005; Chandra et al., 2009) ซึ่งเป็นลักษณะที่สำคัญเบื้องต้นที่ใช้ในการคัดเลือกพันธุ์เพื่อให้ได้ผลผลิตสูง เนื่องจากองค์ประกอบผลผลิตมีอิทธิพลทั้งทางตรงและทางอ้อมแบบบวกต่อผลผลิตสูง (นุจรี และคณะ, 2564) อย่างไรก็ตาม ความต้องการของเกษตรกรผู้ปลูกข้าวมักได้รับอิทธิพลมาจากความชอบของผู้บริโภคทั้งในประเทศและต่างประเทศ เช่น กลิ่น รสชาติ และลักษณะเมล็ด ดังนั้น เพื่อให้กลุ่มคนที่เกี่ยวข้องกับข้าวในด้านต่าง ๆ ไม่ว่าจะเป็นนักวิชาการ เกษตรกรผู้ปลูกข้าว โรงสีผู้ซื้อข้าวเปลือกมาแปรรูปเป็นข้าวสาร ผู้ค้าข้าวทั้งข้าวเปลือกและข้าวสารขายให้ผู้ขายส่ง และผู้ขายปลีกให้ผู้บริโภคให้เกิดความเข้าใจที่ตรงกัน จึงมีการกำหนดคุณภาพข้าวขึ้นเป็นเกณฑ์หรือมาตรฐาน (อรอนงค์, 2550) โดยคุณภาพข้าวแบ่งออกเป็น 4 ส่วนหลัก ได้แก่ คุณภาพทางกายภาพของเมล็ด (appearance quality) คุณภาพการสีของข้าว (milling quality) คุณค่าทางโภชนาการ (nutritional quality) และคุณภาพการรับประทานของข้าวที่หุงสุกหรือคุณภาพการหุงต้มและรับประทาน (eating and cooking quality) (Hori and Sun, 2022; Li et al., 2022; Sultana et al., 2022)

Ref. code: 25676509032568NOH

2.2.1 คุณภาพทางกายภาพของเมล็ด

รูปลักษณ์ของเมล็ดข้าวจะมีบทบาทสำคัญมากต่อการตัดสินใจของผู้บริโภค เนื่องจาก ลักษณะเมล็ดข้าวเป็นดัชนีเดียวที่มองเห็นได้ทันที โดยทั่วไปคุณภาพทางกายภาพของข้าวจะพิจารณาจากรูปร่าง (grain shape) ลักษณะท้องไข่ (chalkiness) ความใสของเมล็ดข้าว (transparency) และสีเมล็ด (color) (Zhao et al., 2022) โดยมีรายละเอียดดังนี้

1. สีข้าวเปลือก (hull color) เป็นลักษณะประจำพันธุ์ มีหลายสีตั้งแต่สีขาว สีฟาง สีน้ำตาลอ่อนถึงน้ำตาลเข้ม น้ำตาลทอง ร่องน้ำตาล กระน้ำตาล น้ำตาลแดง ม่วงหรือดำ เป็นต้น ราคาข้าวเปลือกสีอ่อนสูงกว่าข้าวเปลือกสีเข้ม เนื่องจาก ข้าวเปลือกสีอ่อนจะมีเปลือกบางกว่าเมื่อขัดสีแล้วจะได้ปริมาณข้าวสารมากกว่า ในขณะที่เปลือกสีเข้มเมื่อนำไปสีจะได้เปอร์เซ็นต์แกลบสูง ซึ่งพันธุ์ข้าวไทยที่นิยมส่วนใหญ่มีสีเปลือกเป็นสีฟาง (อรอนงค์, 2550)

2. สีข้าวกล้อง (caryopsis color) ข้าวกล้อง คือ ข้าวที่กะเทาะเปลือกข้าวออก สีของข้าวกล้องมีสีต่าง ๆ เช่น สีขาว บางพันธุ์มีสีแดง น้ำตาล น้ำตาลเข้มหรือสีม่วงจนเกือบดำ วิธีตรวจสอบสีของข้าวกล้องเป็นการดูด้วยตาเปล่า (อรอนงค์, 2550) ข้าวขาวเป็นชนิดที่ผู้บริโภคให้ความนิยมในการบริโภคมากที่สุด ข้าวกล้องมีสีที่เข้มขึ้นเมื่อเทียบกับข้าวขาว เนื่องจากการสะสมของฟลาโวนอยด์ ส่วนข้าวสีดำมีการสะสมแอนโทไซยานิน ส่งผลให้ข้าวที่มีสีมีประโยชน์ต่อสุขภาพ เนื่องจาก มีสารประกอบที่ออกฤทธิ์ทางชีวภาพและคุณค่าทางโภชนาการมากกว่าข้าวที่ไม่มีสี เช่น ไฟโตสเตอรอล แคโรทีนอยด์ วิตามิน และฟลาโวนอยด์ที่สะสมอยู่ในข้าวหุงสุก (Zhao et al., 2022)

3. ขนาดของเมล็ด (grain size) เป็นลักษณะประจำพันธุ์ มีอิทธิพลต่อน้ำหนักเมล็ดและมูลค่าทางตลาดของข้าว มาตรฐานข้าวไทยกำหนดชั้นของเมล็ดเป็น 4 ขนาด โดยวัดความยาวของเมล็ดข้าวสารจากปลายยอดสุดของเมล็ดถึงโคนเมล็ด ดังตารางที่ 2.1 (กองวิจัยและพัฒนาข้าว, 2559)

ตารางที่ 2.1 ชั้นของเมล็ดข้าวจำแนกตามความยาวของเมล็ด

ชั้นของเมล็ด	ความยาว (มิลลิเมตร)
เมล็ดยาวชั้น 1 (extra-long)	> 7.0
เมล็ดยาวชั้น 2 (long)	6.6-7.0
เมล็ดยาวชั้น 3 (medium)	6.2-6.6
เมล็ดสั้น (short)	< 6.2

ที่มา: กองวิจัยและพัฒนาข้าว (2559)

Ref. code: 25676509032568NOH

4. รูปร่างเมล็ด (grain shape) รูปร่างของเมล็ดข้าวเปลือก สามารถแบ่งได้ 3 รูปร่าง คือ เมล็ดเรียว เมล็ดปานกลาง และเมล็ดป้อม ประเมินจากอัตราส่วนความยาวต่อความกว้างของเมล็ด และการวัดความหนาของเมล็ด ความยาวของเมล็ดวัดจากปลายยอดสุดของเมล็ดถึงโคนเมล็ด ความกว้างเมล็ดวัดจากส่วนที่กว้างที่สุดระหว่างเปลือกใหญ่ถึงเปลือกเล็ก และความหนาของเมล็ดวัดจากระยะทางที่มากที่สุดระหว่างเปลือกใหญ่ด้านหนึ่งไปยังอีกด้านหนึ่ง จำแนกได้ดังตารางที่ 2.2 (กองวิจัยและพัฒนาข้าว, 2559) ข้าวไทยที่มีคุณภาพเมล็ดที่ดีส่วนใหญ่มีลักษณะเมล็ดเรียวยาว (บุญหงษ์และคณะ, 2558)

ตารางที่ 2.2 การจำแนกรูปร่างของเมล็ดข้าว ประเมินจากอัตราส่วนความยาวต่อความกว้างของเมล็ดข้าวเปลือก

รูปร่างเมล็ด	ความยาว/ความกว้าง
เรียว (slender)	มากกว่า 3.0
ปานกลาง (medium)	2.0-3.0
ป้อม (bold)	น้อยกว่า 2.0

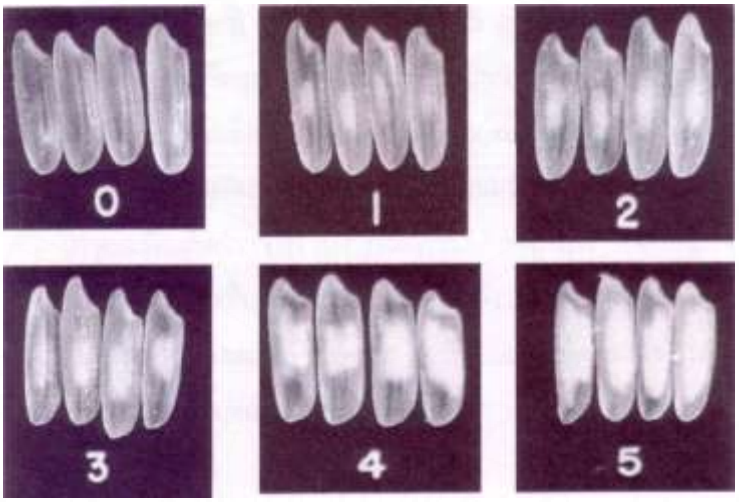
ที่มา: กองวิจัยและพัฒนาข้าว (2559)

5. น้ำหนักเมล็ด (grain weight) เป็นปัจจัยที่กำหนดผลผลิตของต้นข้าว การหาน้ำหนักเมล็ดทำได้ 2 แบบ คือ น้ำหนักต่อจำนวนเมล็ด หมายถึง การชั่งน้ำหนักข้าวด้วยจำนวนเมล็ดที่คงที่ เช่น กรัม/100 เมล็ด หรือ กรัม/1,000 เมล็ด และน้ำหนักต่อปริมาตร หมายถึง การชั่งน้ำหนักข้าวด้วยปริมาตรคงที่ เช่น กรัม/ลิตร หรือ กิโลกรัม/ถัง (อรอนงค์, 2550) น้ำหนักเมล็ดเป็นหนึ่งในองค์ประกอบที่มีส่วนสำคัญในการกำหนดผลผลิตข้าว ซึ่งมีความสัมพันธ์เชิงบวกกับผลผลิตสูง (Xu et al., 2015) อย่างไรก็ตาม การคัดเลือกเพื่อให้ข้าวมีผลผลิตสูง องค์ประกอบผลผลิตทั้ง 3 ลักษณะประกอบด้วยจำนวนรวง จำนวนเมล็ดต่อรวง และน้ำหนักเมล็ดต้องมีความสมดุลกัน (Shen et al., 2023)

6. ข้าวท้องไข่ (chalky grain) เป็นจุดขาวขุ่นทึบแสงในเมล็ดข้าวเจ้า เกิดจากการจับตัวกันอย่างหลวม ๆ ระหว่างผลึกแป้ง (starch granule) กลุ่มแป้ง (starch compound) และโปรตีน (protein body) ทำให้เกิดช่องอากาศเล็ก ๆ ภายในเมล็ด จึงเห็นเป็นลักษณะทึบแสง โดยระดับความเป็นท้องไข่ของเมล็ดข้าวแบ่งเป็น 0-5 ดังนี้ 0 คือ ไม่มีจุดขาวขุ่นหรือไม่เป็นท้องไข่, 1 คือ มีจุดขาวขุ่นเล็กน้อย (10% ของเนื้อเมล็ดข้าวสาร), 2-3 คือ มีจุดขาวขุ่นปานกลาง (10-20% ของเนื้อเมล็ดข้าวสาร) และ 4-5 คือ มีจุดขาวขุ่นมาก (>20% ของเนื้อเมล็ดข้าวสาร) (ภาพที่ 2.1) ตำแหน่งท้องไข่

Ref. code: 25676509032568NOH

อาจเกิดขึ้นตรงกลางเมล็ด (white center) จากด้านท้องที่อยู่ข้างเดียวกับคัพภะ (white belly) หรือจากด้านหลัง (white back) โดยลักษณะของท้องไข่จะเห็นได้ในข้าวเจ้าหรือข้าวที่มีอมิโลสเป็นองค์ประกอบของแป้งในเมล็ดข้าว สำหรับข้าวเหนียวที่มีอมิโลเพคตินเป็นส่วนประกอบเกือบทั้งหมด ทำให้เมล็ดข้าวมีสีขาวขุ่นทั้งเมล็ดจึงทำให้ไม่เห็นลักษณะท้องไข่ (อรอนงค์, 2550) การจับตัวของเม็ดแป้งไม่แน่นพอ ทำให้เมล็ดข้าวน้ำหนักเบาลง แตกหักง่าย ส่งผลเสียต่อผลผลิต ลักษณะการสี การหุง และคุณภาพความอร่อย ทำให้การเกิดข้าวท้องไข่เป็นปัญหาหลักในพื้นที่ผลิตข้าวทั่วโลก ดังนั้น ข้าวท้องไข่จึงไม่เป็นที่ต้องการของผู้บริโภค (Armstrong et al., 2019)



ภาพที่ 2.1 การให้คะแนนข้าวท้องไข่
ที่มา: กองวิจัยและพัฒนาข้าว (2559)

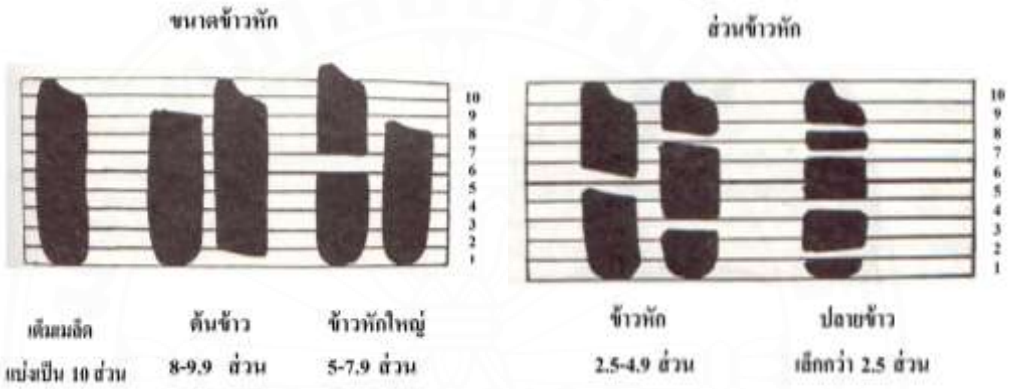
7. ความใสขุ่นของเมล็ดข้าวสาร (grain translucency) หมายถึง ความทึบแสง (opaque) หรือความใส (translucence) ของเนื้อข้าวสารทั้งเมล็ด ซึ่งเป็นคนละลักษณะกับท้องไข่ ความใสของเมล็ดส่วนใหญ่ได้รับอิทธิพลจากองค์ประกอบและโครงสร้างของเม็ดแป้ง (starch granule) ในเอนโดสเปิร์ม (Zhao et al., 2022) ความใสเป็นลักษณะโปร่งแสง แสงสามารถส่องผ่านได้ทั้งเมล็ด ต่างจากลักษณะท้องไข่ที่จะเกิดเฉพาะจุด สามารถสังเกตเห็นความแตกต่างได้ในข้าวเจ้า ความใสของข้าวเจ้าพันธุ์เดียวกันอาจมีความใสหรือขุ่นต่างกันไปตามสภาพแวดล้อมที่ปลูก ในขณะที่ข้าวเหนียวจะมีความทึบแสง (อรอนงค์, 2550)

2.2.2 คุณภาพการสีของข้าว

คุณภาพการสี หมายถึง ประสิทธิภาพการสีและระดับการสีให้ได้ข้าวสารตามต้องการ กระบวนการขัดสี ประกอบด้วย 4 ขั้นตอน คือ การทำความสะอาด (cleaning) การกะเทาะ

Ref. code: 25676509032568NOH

(hulling) การขัดขาว (whitening) และการคัดแยก (grading) ในระหว่างการสีข้าวอาจเกิดการแตกหักทำให้เมล็ดข้าวมีขนาดความยาวเมล็ดต่างไม่เท่ากัน การตรวจสอบคุณภาพการขัดสีเป็นการคำนวณปริมาณแกลบ รำ ข้าวสารเต็มเมล็ด ต้นข้าว และข้าวหัก (เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก) ปริมาณต้นข้าว (head rice) คือ ข้าวที่เหลือความยาวอย่างน้อยในสัดส่วนของข้าวเต็มเมล็ดและส่วนที่เป็นข้าวสารทั้งหมดที่ได้จากข้าวเปลือกหนึ่งหน่วย การจำแนกข้าวเต็มเมล็ด ต้นข้าว และข้าวหักตามความยาวของเมล็ดข้าวสาร นั้นได้แสดงในภาพที่ 2.2 (กิติยา, 2547) ข้าวคุณภาพดีควรสีได้ข้าวเต็มเมล็ดและต้นข้าวมาก มีข้าวหักน้อย (Cruz and Khush, 2000)



ภาพที่ 2.2 ขนาดข้าวหักและส่วนข้าวหัก
ที่มา: กิติยา (2547)

2.2.3 คุณภาพทางเคมีของข้าว

องค์ประกอบทางเคมีหลักที่มีในข้าว คือ คาร์โบไฮเดรต โปรตีน ไขมัน และน้ำหรือความชื้น เป็นองค์ประกอบที่สำคัญที่ส่งผลต่อคุณภาพของข้าวทั้งข้าวเปลือก ข้าวสาร และข้าวกล้อง โดยข้าวสารประกอบด้วยคาร์โบไฮเดรตประมาณ 70-80% โปรตีน 4-10% ไขมัน 0.5-1% และน้ำหรือความชื้น 10% (ณพัฐอร, 2564) ซึ่งลักษณะทางเคมีและคุณค่าทางโภชนาการบางอย่างในเมล็ดข้าวเป็นที่ต้องการของผู้บริโภค เนื่องจาก ปริมาณองค์ประกอบในข้าวแต่ละสายพันธุ์มีสัดส่วนที่แตกต่างกัน ทำให้ข้าวมีลักษณะคุณภาพต่างกันไปตลอดจนมีผลต่อคุณค่าทางอาหาร โดยความผันแปรระหว่างคุณภาพทางเคมีและคุณค่าทางอาหารของพันธุ์ข้าวเกิดจากปัจจัยหลายประการ เช่น พันธุกรรม สิ่งแวดล้อม และการจัดการหลังการเก็บเกี่ยว (Verma and Srivastav, 2017) โดย สุทธิรัตน์ และ ปิยวรรณ (2561) พบว่า ข้าวพื้นเมืองจังหวัดนราธิวาสและยะลาแต่ละพันธุ์ มีองค์ประกอบทางเคมีในปริมาณที่แตกต่างกัน เช่น พันธุ์หอมกระดังงาให้ปริมาณโปรตีนสูงที่สุด

Ref. code: 25676509032568NOH

(10.50%) พันธุ์ลูกขาวให้ปริมาณไขมันสูงที่สุด (8.29%) และพันธุ์จันเต๊ะให้ปริมาณคาร์โบไฮเดรตสูงที่สุด (80.04%) เป็นต้น โดยปริมาณคาร์โบไฮเดรตจะส่งผลต่อเนื้อสัมผัสของข้าวเป็นหลัก ส่วนโปรตีนซึ่งเป็นองค์ประกอบรองกำหนดความแข็งผิว ส่งผลให้ปริมาณโปรตีนมีความสัมพันธ์เชิงลบกับรสชาติ เนื่องจากโปรตีนจะสร้างพันธะไดซัลไฟด์ซึ่งเป็นพันธะที่มีความแข็งแรง ช่วยเพิ่มการยึดเกาะระหว่างโปรตีนและไปแทรกอยู่ระหว่างช่องว่างของเม็ดแป้ง ทำให้เพิ่มความแข็งแรงให้กับเม็ดแป้งในเมล็ดข้าว โดยข้าวที่มีโปรตีนสูงมีผลทำให้เนื้อสัมผัสของข้าวหุงสุกมีความแข็งสูงและความเหนียวลดลง (ละมุล, 2555) อย่างไรก็ตาม ข้าวที่รับประทานโดยทั่วไปมีโปรตีนประมาณ 7% ปริมาณโปรตีนจึงไม่ถือเป็นตัวบ่งชี้คุณภาพที่สำคัญ (Birla et al., 2017; Verma and Srivastav, 2017)

2.2.4 คุณภาพการหุงต้มและรับประทาน

คุณภาพการหุงต้มและรับประทาน หมายถึง การรับรู้ทางประสาทสัมผัสของผู้บริโภคข้าวที่หุงสุก และสัมพันธ์กับลักษณะต่าง ๆ เช่น ความมันเงา รสชาติ และความเหนียว สะท้อนถึงปฏิกิริยาเคมีที่เกิดขึ้นระหว่างการหุงข้าว (Hsu, 2014) คุณภาพการหุงต้มและรับประทานของข้าวเป็นคุณภาพที่สำคัญที่สุดของข้าวที่ผู้บริโภคใช้ในการตัดสินใจเลือกซื้อข้าวและควบคุมราคาข้าวในตลาด (Ahmed et al., 2020) นอกจากนี้ คุณภาพด้านนี้ยังมีความสำคัญในการกำหนดมูลค่าทางเศรษฐกิจในตลาดส่งออกและการยอมรับของผู้บริโภค เนื่องจาก ข้าวสามารถผลิตได้ทั่วโลกและมีการซื้อขายกันระหว่างประเทศ จึงจำเป็นต้องกำหนดมาตรฐานของคำจำกัดความของคุณภาพข้าวที่สามารถใช้ได้ทั่วโลก ทำให้มีการตรวจสอบคุณภาพข้าวทางเคมีและเคมีกายภาพเพื่อเปรียบเทียบความแตกต่างของพันธุ์ข้าวตามลักษณะที่จะนำไปใช้ประโยชน์ในด้านการหุงต้ม การรับประทาน และการแปรรูป ซึ่งผู้บริโภคมีความต้องการลักษณะของข้าวแตกต่างกันในแต่ละภูมิภาค รวมถึงความพึงพอใจในลักษณะการหุงต้มและรับประทานที่ต่างกัน ทำให้เกณฑ์คุณภาพในด้านต่าง ๆ ไม่เป็นมาตรฐานเดียวกัน (อรอนงค์, 2550) จากความเห็นที่ไม่เป็นเอกฉันท์ในการวัดและจัดหมวดหมู่คุณภาพข้าวในเชิงปริมาณ (Sattari et al., 2015) อาจเป็นปัญหาในการตั้งเป้าหมายในการปรับปรุงพันธุ์ข้าว จึงจำเป็นต้องมีการนำข้อมูลทางประสาทสัมผัสของคุณภาพการรับประทานมาใช้ในการแยกความแตกต่างของพันธุ์ข้าวที่จัดอยู่ในชั้นคุณภาพเดียวกัน (Custodio et al., 2019)

คุณภาพการหุงต้มและรับประทานเป็นลักษณะที่ซับซ้อน ซึ่งเกิดจากหลายปัจจัย โดยมีแป้งเป็นส่วนประกอบหลักที่มีบทบาทสำคัญในการกำหนดคุณภาพการรับประทานของข้าว แป้งข้าวหรือสตาร์ชประกอบด้วยอมิโลสและอมิโลเพคตินที่แตกต่างกันไปตามพันธุ์ ซึ่งมีส่วนทำให้เกิดความแปรปรวนในความหนืดและเนื้อสัมผัส โดยปริมาณอมิโลสภายในเอนโดสเปิร์มของข้าวเป็นปัจจัยที่สำคัญที่สุดที่กำหนดคุณสมบัติทางเคมีกายภาพ (physicochemical properties) ของแป้ง (Sreenivasulu et al., 2022) ซึ่งไม่สามารถประเมินได้ด้วยตาเปล่า แต่เป็นคุณภาพที่สำคัญและมีความเกี่ยวข้องกับการหุงต้ม และลักษณะเนื้อสัมผัสของข้าวหุงสุกมากที่สุด (ละมุล, 2555) โดยทั่วไป

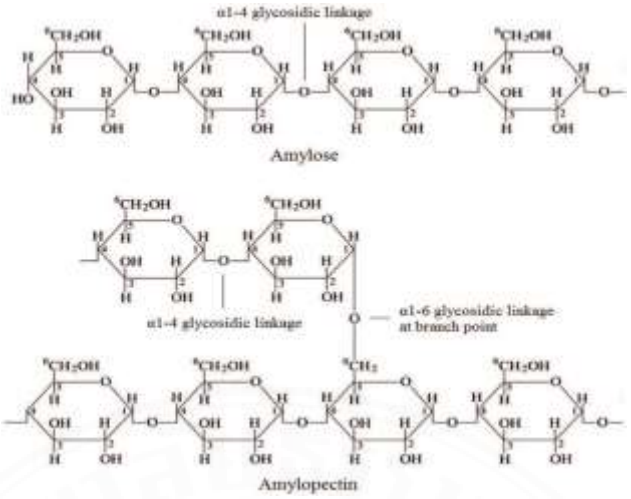
Ref. code: 25676509032568NOH

ตัวอย่างข้าวมักจะจำแนกตามปริมาณอมิโลสซึ่งใช้เป็นดัชนีคุณภาพการรับประทานเพื่อคาดคะเนเนื้อสัมผัสของข้าวหลังหุง อย่างไรก็ตาม การจำแนกข้าวตามปริมาณอมิโลสเพียงอย่างเดียวอาจทำให้คุณภาพทางประสาทสัมผัสไม่ถูกต้อง ดังนั้น นอกจากปริมาณอมิโลสแล้ว คุณสมบัติทางเคมีกายภาพอื่น ๆ เช่น ความคงตัวของแป้งสุก (gel consistency) อุณหภูมิแป้งสุก (gelatinization temperature) การสลายเมล็ดในด่าง (alkali digestion) และคุณสมบัติความหนืด (pasting properties หรือ pasting viscosity) รวมถึงเนื้อสัมผัส (texture) ความเหนียว (stickiness) และความเคี้ยวได้ (chewiness) ของข้าวสุก ซึ่งมีบทบาทสำคัญในการประเมินคุณภาพการรับประทานของข้าวเช่นกัน (Kong et al., 2015) โดยมีรายละเอียดดังนี้

2.2.4.1 ปริมาณอมิโลส

ปริมาณอมิโลส (amylose content) ภายในเอนโดสเปิร์มของข้าวคิดเป็นเปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก เป็นปัจจัยที่สำคัญที่สุดที่กำหนดคุณสมบัติทางเคมีกายภาพของแป้งและคุณภาพขั้นสุดท้าย โดยแป้งข้าวจะมีอมิโลเพคติน (amylopectin) เป็นองค์ประกอบหลักและอมิโลสเป็นองค์ประกอบรอง อมิโลสเป็นพอลิเมอร์ของน้ำตาลกลูโคสจับกันด้วยพันธะอัลฟา-1,4 กลูโคซิดิคเกาะกันเป็นเส้นตรง และอมิโลเพคติน ซึ่งประกอบด้วยน้ำตาลกลูโคสจับกันด้วยพันธะอัลฟา-1,4 และอัลฟา-1,6 กลูโคซิดิค เกาะกันเป็นกิ่งก้านมีแขนงมาก จัดเรียงตัวกันในลักษณะโซ่กิ่งเกลียวคู่ (double helices) (ภาพที่ 2.3) การสังเคราะห์อมิโลสและอมิโลเพคตินเกิดจากการทำงานของเอนไซม์ 4 กลุ่ม ได้แก่ granule-bound starch synthase (GBSS) เกี่ยวข้องกับการสังเคราะห์อมิโลส ส่วน soluble starch synthase (SSS) starch-branching enzymes (SBEs) และ starch debranching enzymes (SDBE) เป็นเอนไซม์ที่เกี่ยวข้องกับการสังเคราะห์อมิโลเพคติน โดยทั่วไปประเภทข้าวมักแบ่งตามอัตราส่วนของอมิโลสและอมิโลเพคติน ซึ่งมีผลต่อโครงสร้างของแป้งในแง่ของความเป็นผลึก ขนาดของเม็ดแป้ง ลักษณะทางเคมี และการจัดเรียงตัวของโพลิเมอร์ภายในเม็ดแป้ง (Nawaz et al., 2020) โดยความแตกต่างของปริมาณอมิโลสนั้นเกิดจากพันธุกรรมและสภาพแวดล้อม (Wang et al., 2010) Yanjie et al. (2018) พบว่า ข้าวพันธุ์ LD18, LD20 และ LD30 ที่ปลูกในเมือง Xiangshui มีปริมาณอมิโลสเท่ากับ 19.8, 20.4 และ 17.5% ตามลำดับ ซึ่งมีปริมาณอมิโลสสูงกว่าข้าวพันธุ์เดียวกันที่ปลูกในเมือง Hangzhou ที่มีปริมาณอมิโลสเท่ากับ 17.0, 16.9 และ 13.2% ตามลำดับ เนื่องจากอุณหภูมิระหว่างการเจริญเติบโตของข้าวในเมือง Xiangshui ต่ำกว่าเมือง Hangzhou แสดงให้เห็นว่าสภาพแวดล้อมมีอิทธิพลต่อปริมาณอมิโลส

Ref. code: 25676509032568NOH



ภาพที่ 2.3 โครงสร้างของอมิโลสและอมิโลเพคตินในแป้ง
ที่มา: Nawaz et al. (2020)

ปริมาณอมิโลสมีอิทธิพลอย่างมากต่อลักษณะการหุงต้มและการรับประทานของข้าว เนื่องจากปริมาณอมิโลสเป็นปัจจัยสำคัญที่ทำให้ข้าวสุกมีคุณสมบัติแตกต่างกัน โดยข้าวที่มีปริมาณอมิโลสสูงมีแนวโน้มที่จะหุงได้ข้าวที่มีความร่วนแข็ง ไม่เกาะตัว ในขณะที่ข้าวที่มีปริมาณอมิโลสระดับกลางมีแนวโน้มที่จะนุ่มและเหนียวกว่า และข้าวที่มีปริมาณอมิโลสต่ำ เนื้อสัมผัสของข้าวสุกนุ่มและเหนียว (International Rice Research Institute [IRRI], 2006) เนื่องจากคุณสมบัติการคืนตัวของอมิโลสที่สุกแล้วหรือกระบวนการรีโทรเกรเดชัน (retrogradation) เกิดขึ้นเมื่อแป้งข้าวได้รับความร้อนจนแป้งสุก โมเลกุลของอมิโลสและอมิโลเพคตินกระจายออกมา เมื่อปล่อยให้เย็นตัวลงโมเลกุลของอมิโลสกลับมารวมกันเป็นเกลียวคู่ที่หนาแน่นและแข็งแรง จึงได้มีการจัดแบ่งประเภทข้าวตามปริมาณอมิโลส ดังในตารางที่ 2.3 (งามชื่น, 2547) ซึ่งในข้าวเหนียวมีปริมาณอมิโลสเป็นศูนย์ แต่มีปริมาณอมิโลเพคตินสูง ซึ่งหมายความว่ามีอัตราส่วนของแป้งในเอนโดสเปิร์มมากกว่าข้าวเจ้าและมีอัตราการย่อยสลายที่ดีกว่า ส่งผลให้ข้าวเหนียวมีสัดส่วนของปริมาณน้ำตาลมากกว่าข้าวเจ้าเมื่อการย่อยเสร็จสมบูรณ์ (อาทิตย์ และคณะ, 2563) อย่างไรก็ตาม Peng et al. (2021) รายงานว่าพันธุ์ข้าวที่มีปริมาณอมิโลสใกล้เคียงกัน มีค่ารสชาติ (taste value) ที่ประเมินโดยผู้ชิมนั้นแตกต่างกัน โดยข้าวที่มีค่ารสชาติดี มีสัดส่วนของอมิโลเพคตินสายสั้นสูงกว่าและอมิโลเพคตินสายยาวค่อนข้างต่ำ ซึ่งมีส่วนทำให้ค่าความหนืดสูงสุด (peak viscosity) และค่าการแตกตัว (breakdown) มีค่าสูงขึ้น รวมถึงเนื้อสัมผัสที่นุ่มและเหนียวกว่าของข้าวสุก แสดงให้เห็นว่าข้าวที่มีปริมาณอมิโลสใกล้เคียงกันนั้นอาจมีคุณภาพการรับประทานที่แตกต่างกัน เนื่องจาก ความยาวสายโซ่อมิโลสที่ทำให้เกิดความแตกต่างในคุณภาพของข้าวหลังการหุง

Ref. code: 25676509032568NOH

ตารางที่ 2.3 การแบ่งประเภทข้าวตามปริมาณอมิโลสในข้าว

ประเภทข้าว	ปริมาณอมิโลส (%)	ลักษณะข้าวสุก
ข้าวเหนียว	0-2	เหนียวมาก
ข้าวเจ้าอมิโลสต่ำ	10-19	เหนียว-นุ่ม
ข้าวเจ้าอมิโลปานกลาง	20-25	ค่อนข้างร่วนไม่แข็ง
ข้าวเจ้าอมิโลสสูง	26-34	ร่วน แข็ง

ที่มา: งามชื่น (2547)

2.2.4.2 ความคงตัวแป้งสุก

ค่าความคงตัวแป้งสุก (gel consistency) สามารถใช้เป็นดัชนีความนุ่มของข้าวสุกได้ ข้าวจะมีค่าความคงตัวของแป้งสุกแตกต่างกันตั้งแต่อ่อนไปแข็ง การทดสอบความคงตัวแป้งสุก สามารถทดสอบโดยวัดระยะทางที่แป้งสุกไหลไปเมื่อวางในแนวราบ ถ้าระยะการไหลมากแสดงว่าแป้งอ่อน ถ้าระยะการไหลน้อยแสดงว่าแป้งแข็ง แบ่งค่าความคงตัวแป้งสุกเป็น 3 ประเภท คือ 1) แป้งสุกแข็ง ระยะทางที่แป้งไหล 26-40 มิลลิเมตร 2) แป้งสุกปานกลาง ระยะทางที่แป้งไหล 41-60 มิลลิเมตร และ 3) แป้งสุกอ่อน ระยะทางที่แป้งไหล 61-100 มิลลิเมตร ค่าความคงตัวแป้งสุกถูกนำมาใช้เพื่อช่วยในการจำแนกคุณภาพของข้าวที่มีปริมาณอมิโลสใกล้เคียงกัน จากตารางที่ 2.4 เห็นว่าข้าวทั้ง 5 พันธุ์ จัดอยู่ในกลุ่มข้าวอมิโลสปานกลางเหมือนกัน (20-25%) แต่เมื่อผ่านการหุงต้มพบว่า มีความแข็งของข้าวสุกแตกต่างกัน ตั้งแต่ อ่อน ปานกลาง และแข็ง ซึ่งความแตกต่างนี้อาจเนื่องมาจากคุณสมบัติของแป้งสุกมีอัตราการคืนตัวไม่เท่ากัน ทำให้แป้งสุกมีความแข็งและอ่อนแตกต่างกัน ข้าวที่มีแป้งสุกอ่อนเมื่อหุงสุกข้าวจะมีความนุ่ม และยังคงนุ่มแม้จะเย็นตัวลงแล้ว ส่วนข้าวที่มีความคงตัวแป้งสุกแข็งเมื่อสุกจะมีลักษณะแข็ง ซึ่งข้าวที่มีความเหนียวนุ่มเป็นที่ต้องการของผู้บริโภคส่วนใหญ่ (Anjum and Hossain, 2019)

Ref. code: 25676509032568NOH

ตารางที่ 2.4 ปริมาณอมิโลสและความคงตัวแป้งสุกของข้าว 5 สายพันธุ์

Cultivar	Amylose content (%)	Gel consistency (mm)	
		Mean ± SD	Category
Boilam	21.98 ± 0.18[a]	49.91 ± 0.66[b]	Medium
Carandol	21.79 ± 0.26[a]	39.73 ±0.03[a]	Hard
Rajashail	24.14 ± 0.03[b]	84.60 ± 0.04[d]	Soft
Kajalshail	25.45 ± 0.29[d]	92.53 ± 0.04[e]	Soft
Gigoj	24.63 ± 0.23[c]	56.25 ±0.04[c]	Medium

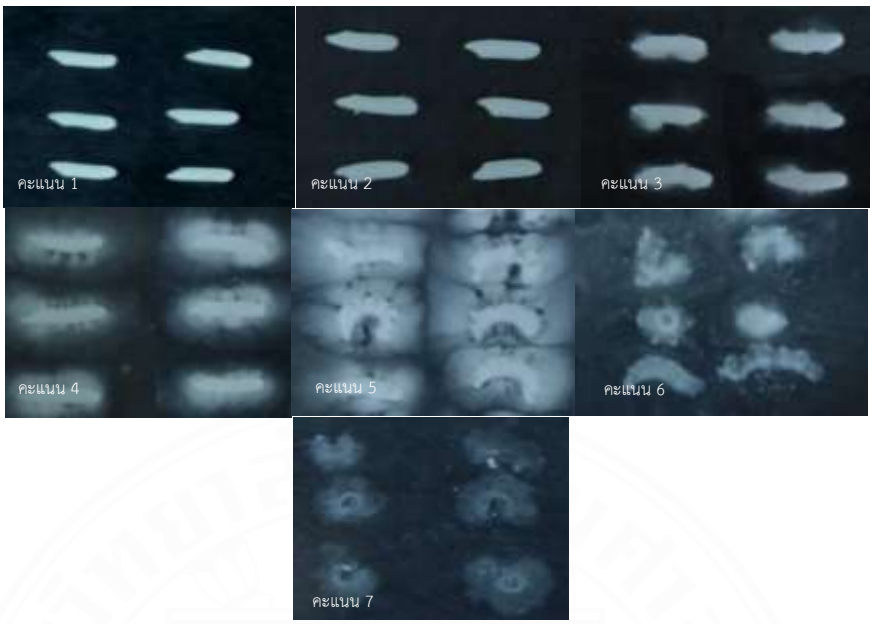
Superscript letters (a-e) indicate significant differences ($p < 0.05$) among different rice varieties. Means with same letter within column are not significantly different ($p < 0.05$), means ± SD.

ที่มา: ดัดแปลงจาก Anjum and Hossain (2019)

2.2.4.3 อุณหภูมิแป้งสุก

อุณหภูมิแป้งสุกหรืออุณหภูมิการเกิดเจลาติไนเซชัน (gelatinization temperature) เป็นอุณหภูมิที่ทำให้แป้งเปลี่ยนสถานะจากผลึกกลายเป็นเจล เม็ดแป้งจะดูดซับน้ำและสูญเสียความเป็นผลึกไปอย่างถาวร อมิโลสจะละลายออกมาและไม่สามารถย้อนกลับได้ เป็นกระบวนการสำคัญที่ทำให้เมล็ดข้าวสุกและนุ่ม แป้งข้าวมักจะมีอุณหภูมิแป้งสุกระหว่าง 65 ถึง 85°C (IRRI, 2006) อุณหภูมิการเกิดเจลาติไนเซชันถูกวัดโดย Alkali Spreading Value (ASV) หรือค่าการสลายตัวของเมล็ดข้าวในสารละลายด่าง หมายถึง อัตราการสลายของแป้งในข้าวสารในสารละลายโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ (KOH) เข้มข้น 1.7% นาน 23 ชั่วโมง ที่อุณหภูมิ 30°C (สำนักงานมาตรฐานสินค้าเกษตรและอาหารแห่งชาติ, 2560) ค่าการสลายตัวมีคะแนนตั้งแต่ 1 ถึง 7 ดังภาพที่ 2.4 (อรอนงค์, 2550) ค่าการสลายเมล็ดในสารละลายด่างสะท้อนถึงความง่ายหรือยากในการหุงข้าว อุณหภูมิแป้งสุกในสายพันธุ์ข้าวต่าง ๆ สามารถจำแนกได้เป็นอุณหภูมิแป้งสุกต่ำช่วง 55-69°C (คะแนนการสลายตัว 6-7) อุณหภูมิแป้งสุกปานกลาง 70–74°C (คะแนนการสลายตัว 4-5) และอุณหภูมิแป้งสุกสูง 75-79°C (คะแนนการสลายตัว 1-3) (Kong et al., 2015)

Ref. code: 25676509032568NOH

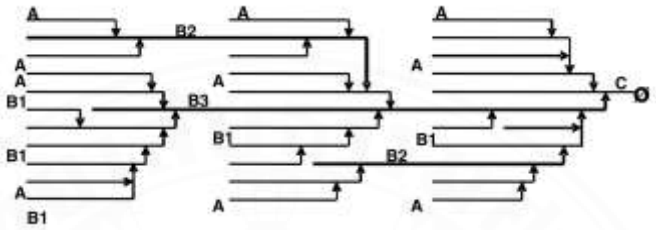


ภาพที่ 2.4 ระดับของการสลายของเมล็ดข้าวในสารละลายด่าง
ที่มา: สำนักงานมาตรฐานสินค้าเกษตรและอาหารแห่งชาติ (2560)

อุณหภูมิแป้งสุกสามารถกำหนดคุณภาพการหุงต้มของพันธุ์ข้าวได้โดยตรง ค่าการสลายตัวของเมล็ดข้าวในสารละลายด่างมีความสัมพันธ์เชิงลบกับอุณหภูมิแป้งสุก โดยทั่วไปค่าการสลายตัวของเมล็ดข้าวในสารละลายด่างที่เพิ่มขึ้น หมายความว่า อุณหภูมิแป้งสุกต่ำ เวลาในการหุงจะลดลง การเกิดเจลาติไนเซชันของแป้งข้าวขึ้นอยู่กับพันธุ์ ปริมาณอมิโลส และปริมาณน้ำที่ผสม เนื่องจากแป้งข้าวแต่ละพันธุ์จำเป็นต้องใช้น้ำปริมาณหนึ่งเพื่อให้เริ่มเกิดการเจลาติไนเซชัน และการเกิดเจลาติไนเซชันที่สมบูรณ์จำเป็นต้องมีปริมาณน้ำอย่างต่ำปริมาณหนึ่งในการทำให้แป้งสุก ปริมาณอมิโลสมีความสัมพันธ์กับอุณหภูมิแป้งสุกและความสามารถในการดูดซับน้ำของข้าวระหว่างการหุง โดยอุณหภูมิการเกิดเจลาติไนเซชันมีความสัมพันธ์เชิงบวกกับปริมาณอมิโลส แป้งข้าวที่มีอมิโลสต่ำจะใช้อุณหภูมิการเกิดเจลาติไนเซชันต่ำ ส่วนข้าวที่มีปริมาณอมิโลสสูงมักมีอุณหภูมิการเกิดเจลาติไนเซชันสูงขึ้น เนื่องจากแป้งที่มีปริมาณอมิโลสสูงต้องใช้ความร้อนที่สูงกว่าเพื่อทำลายโครงสร้างของอมิโลสที่จับตัวกันแน่น นอกจากนี้อมิโลสยังมีความสามารถในการดูดซับน้ำต่ำ ต้องใส่น้ำมาก และใช้เวลาในการหุงมากกว่าข้าวที่มีอุณหภูมิแป้งสุกต่ำ (ศันสนีย์ และคณะ, 2546; Odenigbo et al., 2013; Anjum and Hossain, 2019; Boonmeejoy et al., 2019; Cao et al., 2020; Zhang et al., 2022; Kumar et al., 2023) อย่างไรก็ตาม จากการศึกษาของ Anjum and Hossain (2019) พบว่า ข้าวที่มีปริมาณอมิโลสปานกลาง (20-25%) นั้นมีอุณหภูมิแป้งสุกตั้งแต่ต่ำจนถึงสูง โดยพันธุ์ที่มีอมิโลสต่ำ มีค่าการสลายตัวต่ำแต่อุณหภูมิแป้งสุกสูง (ตารางที่ 2.5) ทั้งนี้อุณหภูมิ

Ref. code: 25676509032568NOH

แป้งสุกนั้นได้รับอิทธิพลจากองค์ประกอบของอมิโลเพคตินที่มีความยาวของสายกิ่งแตกต่างกัน โดยค่าการสลายตัวต่ำอาจเกิดจากการมีสายโซ่อมิโลเพคตินแบบยาว (B2 และ B3) มากกว่าสายโซ่อมิโลเพคตินแบบสั้น (A และ B1) (ภาพที่ 2.5) หรืออาจเกิดจากปริมาณโปรตีน ข้าวที่มีโปรตีนมากตามบริเวณผิวนอกของเมล็ดอาจเป็นอุปสรรคในการซึมผ่านของน้ำ จะต้องการน้ำมากขึ้นและใช้เวลาในการหุงนานขึ้น (Masniawati et al., 2018)



ภาพที่ 2.5 โครงสร้างแบบกิ่งของอมิโลเพคติน ประกอบด้วยสายโซ่ย่อย 3 ชนิด คือ สาย A (A-chain) สาย B (B-chain) ซึ่งแบ่งเป็นกลุ่มย่อย B1 B2 และ B3 และสาย C (C-chain) เป็นสายแกน ซึ่งมีหมู่รีดิวซิง 1 หมู่
ที่มา: Bijttebier et al. (2008)

ตารางที่ 2.5 ค่าการสลายตัวของเมล็ดข้าวในสารละลายด่างและอุณหภูมิแป้งสุกของข้าว 5 สายพันธุ์

Cultivar	Amylose content (%)	Alkali spreading value		Gelatinization temperature	
		Scale	Category	GT (°C)	Category
Boilam	21.98 ± 0.18[a]	2	Low	75 - 79	High
Carandol	21.79± 0.26[a]	1	Low	75 - 79	High
Rajashail	24.14± 0.03[b]	4	Intermediate	70 - 74	Intermediate
Kajalshail	25.45± 0.29[d]	6	High	65 - 69	Low
Gigoj	24.63± 0.23[c]	3	High	75 - 79	High

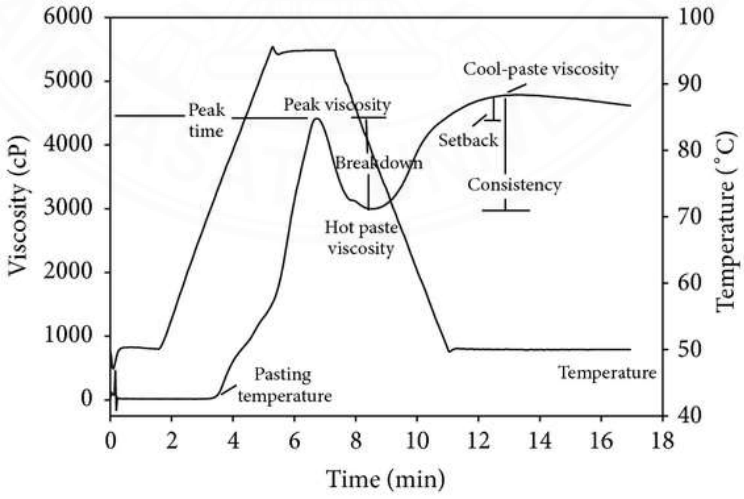
Superscript letters (a-c) indicate significant differences ($p < 0.05$) among different rice varieties. Means with same letter within column are not significantly different ($p < 0.05$), means ± SD.

ที่มา: Anjum and Hossain (2019)

Ref. code: 25676509032568NOH

2.2.4.4 คุณสมบัติความหนืด

ความหนืด (viscosity) เป็นคุณสมบัติเฉพาะตัวที่สำคัญของแป้ง (pasting properties หรือ pasting viscosity) เป็นดัชนีที่สำคัญอีกประการหนึ่งในการประเมินคุณภาพการรับประทานข้าว ความหนืดของแป้งสุกสามารถวัดได้ด้วยเครื่องวัดความหนืดอย่างรวดเร็ว (Rapid visco analyzer; RVA) ซึ่งเลียนแบบกระบวนการหุงข้าวและติดตามการเปลี่ยนแปลงของแป้งข้าวและน้ำในระหว่างการทดสอบ (IRRI, 2006) โดยความหนืดเกิดขึ้นเมื่อแป้งได้รับความร้อน ความร้อนจะทำลายพันธะในเม็ดแป้ง ทำให้เม็ดแป้งดูดซึมน้ำและพองตัวขึ้น และมีความหนืดเกิดขึ้น อุณหภูมิที่ความหนืดเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็วนี้เรียกว่า pasting temperature ปริมาณน้ำรอบเม็ดแป้งลดน้อยลง ทำให้เม็ดแป้งเคลื่อนไหวได้ยาก ส่งผลให้ความหนืดเพิ่มขึ้นจนถึงจุดที่มีความหนืดสูงสุด (peak viscosity) คือ จุดที่เม็ดแป้งพองตัวเต็มที่ ซึ่งความหนืดสูงสุดแสดงถึงความสามารถในการรวมตัวกับน้ำและเกิดการพองตัวของเม็ดแป้ง หลังจากเกิดความหนืดสูงสุด อมิโลสและอมิโลเพคตินจะถูกปลดปล่อยออกมากับสารละลายทำให้ความหนืดลดลง (breakdown) เนื่องจาก การแตกตัวของเม็ดแป้ง แสดงถึงการแตกตัวของเม็ดแป้งหลังจากเกิดการพองตัว ต่อมาเมื่ออุณหภูมิลดลงจะเกิดการจัดเรียงโครงสร้างใหม่ของโมเลกุลอมิโลสและอมิโลเพคตินที่กระจัดกระจายออกมาจากเม็ดแป้ง ถ้ามีขนาดโมเลกุลที่เหมาะสม คือ ไม่สั้นและยาวเกินไปจะสามารถเคลื่อนที่เข้ามาจับกันและกักน้ำไว้ได้ ทำให้ความหนืดเพิ่มขึ้นอีกครั้ง (set back) กระบวนการนี้ว่าการคืนตัวของแป้ง (retrogradation) ดังภาพที่ 2.6 (Kesarwani et al., 2016)



ภาพที่ 2.6 การเปลี่ยนแปลงความหนืดของแป้งข้าวระหว่างการต้มสุก
ที่มา: Kesarwani et al. (2016)

Ref. code: 25676509032568NOH

ค่าค่าการคืนตัว (setback) จะแสดงถึงความสามารถในการคืนตัวของแป้งข้าวหลังจากหุงสุก โดยมีความสัมพันธ์กับความแข็งกระด้างของเมล็ดข้าวหลังจากหุงสุกแล้วปล่อยให้เย็นตัว จากการศึกษาของ Kong et al. (2015) แสดงให้เห็นว่าปริมาณอมิโลสมีความสัมพันธ์กับความหนืด โดยข้าวเหนียวและข้าวที่มีปริมาณอมิโลสต่ำ มีค่าความหนืดสูงสุดสูงกว่าข้าวที่มีอมิโลสสูง แสดงถึงความสามารถในการจับตัวกับน้ำหรือระดับการพองตัวของเม็ดแป้ง อุณหภูมิที่เกิดการเปลี่ยนแปลงความหนืด (pasting temperature) ของข้าวที่มีอมิโลสต่ำจะเกิดค่าความหนืดสูงสุดที่อุณหภูมิต่ำกว่าแป้งข้าวที่มีอมิโลสสูง แสดงว่าเมื่อหุงข้าวที่มีอมิโลสต่ำจะสุกเร็วกว่าหรือใช้เวลาในการหุง (peak time) น้อยกว่า เนื่องจากแป้งข้าวที่มีอมิโลสสูง อมิโลสจะยับยั้งการพองของเม็ดแป้งโดยการสร้างสารเชิงซ้อนกับไขมัน ซึ่งส่งผลให้ค่าความหนืดสูงสุดลดลง และใช้อุณหภูมิเพื่อให้เกิดความหนืดเพิ่มขึ้น และแป้งข้าวที่มีอมิโลสสูงจะมีค่าค่าการคืนตัวสูง (ตารางที่ 2.6) เนื่องจากส่วนประกอบของอมิโลส สามารถกลับมารวมกันเป็นผลึกได้ง่ายกว่าอมิโลเพคติน ด้วยโครงสร้างของอมิโลสจะสร้างพันธะไฮโดรเจนระหว่างโมเลกุล ทำให้เกิดเจลที่แน่น ลักษณะเนื้อสัมผัสของข้าวเมื่อทิ้งข้าวหุงสุกให้เย็นตัวลงข้าวจะแข็งขึ้น ดังนั้น คุณสมบัติความหนืดของแป้ง จึงเป็นอีกหนึ่งปัจจัยที่ได้รับความสนใจในการนำมาใช้ในการคัดเลือกสายพันธุ์ข้าว เนื่องจาก คุณสมบัติความหนืดของแป้งข้าวได้รับอิทธิพลจากการทำงานร่วมกันของปัจจัยองค์ประกอบและโครงสร้างหลายอย่าง ทำให้คุณสมบัติความหนืดของข้าวแต่ละสายพันธุ์มีความเชื่อมโยงกับองค์ประกอบทางเคมี และโครงสร้างโมเลกุลที่เป็นเอกลักษณ์ที่บ่งชี้ถึงความอร่อยได้ (Sangwongchai et al., 2023)

ตารางที่ 2.6 คุณสมบัติความหนืดของแป้งข้าวแต่ละสายพันธุ์

Class	Code	Peak viscosity (RVU)	Breakdown (RVU)	Setback (RVU)	Pasting temperature (°C)	Peak time (min)
Waxy	BP011	217^{j}	126^{g}	-70^{f}	81.2^{a}	7.4^{e}
	BP597	364^{a}	229^{b}	-189^{i}	68.4^{k}	5.0^{h}
	BP601	200^{k}	125^{g}	-73^{f}	79.2^{c}	7.2^{ef}
Low amylose	BP005	310^{c}	122^{g}	0^{c}	80.6^{b}	8.4^{b}
	BP025	350^{b}	263^{a}	-161^{h}	69.8^{j}	6.2^{g}
	BP033	311^{c}	166de	-33^{d}	70.4^{i}	7.8^{cd}
	BP050	226^{i}	150^{ef}	-27^{d}	69.6^{j}	6.2^{g}
	BP605	305^{c}	227^{b}	-118^{g}	72.7^{h}	6.3^{g}

Ref. code: 25676509032568NOH

ตารางที่ 2.6 คุณสมบัติความหนืดของแป้งข้าวแต่ละสายพันธุ์ (ต่อ)

Class	Code	Peak viscosity (RVU)	Breakdown (RVU)	Setback (RVU)	Pasting temperature (°C)	Peak time (min)
Intermediate	BP015	282^{e}	182^{c}	-42de	75.6^{f}	7.9^{c}
amylose	BP047	301^{d}	176^{cd}	-53^{e}	76.5^{e}	7.6^{de}
High	BP003	261^{g}	103^{h}	115^{a}	80.8^{ab}	8.2^{b}
amylose	BP028	272^{f}	139^{fg}	78^{b}	77.2^{d}	7.3^{ef}
	BP578	249^{h}	125^{g}	88^{b}	76.8^{de}	7.1^{f}
	BP628	284^{e}	87^{i}	114^{a}	73.5^{g}	9.0^{a}

Values in the same column with the same letters do not differ significantly ($p < 0.05$).

ที่มา: Kong et al. (2015)

2.2.4.5 อัตราการยืดตัวของข้าวสุกต่อข้าวดิบ

ในระหว่างการหุงต้มเมล็ดข้าวจะขยายตัวทุกด้าน โดยเฉพาะด้านยาว ข้าวบางพันธุ์สามารถยืดตัวได้มาก คุณลักษณะนี้เป็นคุณภาพพิเศษของข้าวบางพันธุ์ ซึ่งจะช่วยเสริมให้เมล็ดข้าวสุกขยายขนาดเพิ่มขึ้น และหากเมล็ดข้าวสุกเป็นข้าวที่ไม่เหนียวติดกัน การขยายขนาดเมล็ดข้าวสุกจะช่วยให้ข้าวขึ้นหม้อดียิ่งขึ้น การที่เมล็ดข้าวขยายตัวได้มากทำให้เนื้อภายในโปร่งขึ้น ไม่อัดแน่นและช่วยให้ข้าวนุ่มมากขึ้น เนื่องจาก เมล็ดข้าวสามารถดูดซับน้ำได้มากขึ้น (งามชื่น, 2547) การตรวจสอบการยืดตัวของเมล็ดข้าวสุกนั้น ตรวจสอบจากอัตราส่วนระหว่างความยาวเฉลี่ยของเมล็ดข้าวสุกกับความยาวเฉลี่ยของเมล็ดข้าวสาร (มิลลิเมตร) ซึ่งค่าอัตราการยืดตัวของเมล็ดข้าวสุกที่แตกต่างกันจะบ่งบอกศักยภาพในการขยายตัวของเมล็ดข้าวสุกของแต่ละสายพันธุ์ เช่น ข้าวพันธุ์ Basmati 370 ซึ่งเป็นข้าวที่มีอมิโลสปานกลางมีการยืดตัวดีมาก จึงเป็นที่นิยมของตลาดตะวันออกกลาง ส่วนใหญ่ข้าวโดยทั่วไปจะมีอัตราการยืดตัวปกติ (อัตราการยืดของเมล็ดน้อยกว่า 1.9 มิลลิเมตร) ถ้าอัตราการยืดของเมล็ดมากกว่า 1.9 หมายความว่า มีอัตราการยืดดี จากการศึกษาของ Yadav et al. (2016) พบว่า ข้าวบาสมาติ (PB-1, PB-1401, P-2511 และ PP-1509) มีอมิโลสปานกลาง มีอัตราการยืดตัวสูงกว่าข้าวที่ไม่ใช่บาสมาติ (HKR-47, HKR127) ที่มีปริมาณอมิโลสต่ำ (ตารางที่ 2.7) โดยอัตราส่วนการยืดตัวของข้าวสุกอาจเป็นผลจากการพองตัวของอมิโลส และอัตราส่วนความยาวต่อความกว้างของเมล็ด

Ref. code: 25676509032568NOH

ตารางที่ 2.7 อัตราการยืดตัวของข้าวสุกของข้าวบาสมาติและข้าวที่ไม่ใช่บาสมาติ

Cultivar	Elongation ratio (mm)
HKR-47	1.60 ± 0.02
HKR-127	1.54 ± 0.01
PP-1509	2.67 ± 0.03
P-2511	1.80 ± 0.01
PB-1401	1.71 ± 0.02
PB-1	1.83 ± 0.02

The values are mean ± SD of three independent determinations (P≤0.05).

ที่มา: ดัดแปลงจาก Yadav et al. (2016)

2.2.4.6 เนื้อสัมผัส

เนื้อสัมผัส (textural properties) เป็นส่วนหนึ่งที่มีความสำคัญต่อคุณภาพของข้าวหุงสุก และเป็นคุณลักษณะที่สำคัญต่อการยอมรับของผู้บริโภค โดยผู้บริโภคที่อยู่ในภูมิภาคต่างกัน จะมีความชอบคุณลักษณะของข้าวหุงสุกที่แตกต่างกัน เนื้อสัมผัสอธิบายถึงสิ่งที่เราอาจพบในปากของเราเมื่อกินข้าว เป็นความรู้สึกเริ่มแรกในปาก เช่น ความแข็ง (hardness) ความนุ่ม (tenderness) ความเหนียวติดกัน (adhesiveness หรือ stickiness) การเกาะตัวกัน (cohesiveness) ความยืดหยุ่น (springiness) ความเหนียวยืดติด (gumminess) และความเคี้ยวได้ (chewiness) เป็นต้น โดยทั่วไปลักษณะเหล่านี้วัดโดยประสาทสัมผัส (sensory evaluation) ของผู้ชิม ซึ่งเป็นกลุ่มคนที่มีประสบการณ์สูงในการกำหนดและอธิบายลักษณะเนื้อสัมผัสของข้าว หรือการวัดด้วยเครื่องมือ ได้แก่ เครื่องวิเคราะห์เนื้อสัมผัส (textural profile analysis; TPA) ที่สามารถใช้ในการวัดความแข็งและความเหนียวของข้าวสุกได้ (Tao et al., 2020) เนื้อสัมผัสของข้าวที่หุงสุกได้รับผลกระทบจากปัจจัยต่าง ๆ เช่น ปริมาณอมิโลส กระบวนการหลังการเก็บเกี่ยว และวิธีการหุง (Syafutri et al., 2016; Adi et al., 2020) จากการศึกษาที่ผ่านมา รายงานว่าความแข็งและความเหนียว (hardness and stickiness) ของข้าวพันธุ์ที่มีปริมาณอมิโลสต่ำ จะมีความแข็งต่ำและมีความเหนียวสูง ส่วนพันธุ์ที่มีปริมาณอมิโลสสูงจะมีความแข็งสูงและมีความเหนียวต่ำ จากตารางที่ 2.8 แสดงให้เห็นว่าความแข็งของข้าวสุกได้รับอิทธิพลจากอมิโลส เนื่องจากข้าวเมื่อเย็นตัวลงโมเลกุลที่อยู่ใกล้กันจะพยายามกลับมาจัดเรียงตัวกันใหม่ทั้งอมิโลสและอมิโลเพคติน โดยที่อมิโลสจะจัดเรียงตัวใหม่ได้ไวกว่าอมิโลเพคติน ทำให้เกิดโครงสร้างใหม่ด้วยกระบวนการตกผลึกซ้ำ ได้แป้งที่มีความคงตัวมากขึ้น (Boonmeejoy et al., 2019) นอกจากนี้ Li et al. (2015) พบว่า สายอมิโลสที่มีระดับการเกิด

Ref. code: 25676509032568NOH

พอลิเมอไรเซชัน (degree of polymerization; DP) 100-20,000 และสายอมิโลเพคตินแบบยาวมีความสัมพันธ์เชิงบวกกับความแข็งของเมล็ดข้าว ในขณะที่ สายอมิโลเพคตินที่มี DP<70 มีความสัมพันธ์เชิงลบกับความแข็งของเมล็ดข้าว และสายอมิโลเพคตินแบบยาวมีความสัมพันธ์เชิงลบกับความเหนียวของเมล็ดข้าว หมายความว่า ข้าวที่มีปริมาณอมิโลเพคตินสายยาวมากจะทำให้ข้าวสุกแข็ง ส่วนข้าวที่มีปริมาณอมิโลเพคตินสายสั้นมากจะทำให้ข้าวสุกมีความนุ่มเหนียว สำหรับข้าวที่มีปริมาณอมิโลสใกล้เคียงกัน ปริมาณของสายโซ่อมิโลสที่มีค่า DP 1,000-2,000 มีความสัมพันธ์เชิงบวกกับความแข็ง ในขณะที่ขนาดของอมิโลสมีความสัมพันธ์เชิงลบกับความแข็ง (Juliano et al., 1972; Li et al., 2015) บ่งชี้ว่าข้าวที่มีปริมาณอมิโลสเท่ากัน ข้าวพันธุ์ที่มีขนาดโมเลกุลของอมิโลสเล็กและมีสายโซ่อมิโลสยาวในสัดส่วนที่สูงกว่าจะมีเนื้อสัมผัสที่แข็งขึ้นหลังการหุง

ตารางที่ 2.8 เนื้อสัมผัสของข้าวสุกที่วิเคราะห์ด้วยเครื่องวิเคราะห์เนื้อสัมผัส

Cultivar	Amylose content (%)	Cooked rice texture (TPA)	
		Hardness (g)	Stickiness (g·s)
Hom Mali Niaow	2.0 ± 0.5^{g}	45.2 ± 5.5^{h}	6.6 ± 0.8^{a}
Langi	15.5 ± 0.6^{f}	58.9 ± 2.8^{cd}	1.5 ± 0.3^{ef}
YRF 216	15.7 ± 0.8^{f}	54.5 ± 9.5^{ef}	2.6 ± 0.4^{d}
Bengal	18.7 ± 0.6^{ef}	51.0 ± 6.8^{fg}	3.5 ± 0.4^{c}
Tachiminori	19.5 ± 1.2^{de}	57.0 ± 4.4^{de}	5.1 ± 0.9^{b}
IR 65598-112-2	22.9 ± 0.4^{cd}	50.0 ± 4.2^{g}	2.3 ± 0.7^{d}
Remant	24.4 ± 0.6^{c}	54.7 ± 3.1^{ef}	2.0 ± 0.6^{de}
Doongara	25.4 ± 0.3^{bc}	53.0 ± 4.2^{efg}	2.2 ± 0.4^{d}
Topaz	25.9 ± 1.6^{bc}	62.7 ± 4.6^{bc}	1.2 ± 0.2^{f}
Vandana	28.8 ± 1.7^{ab}	65.4 ± 5.6^{b}	1.1 ± 0.2^{f}
IR45427-2B-2-2B-1-1	31.4 ± 0.8^{a}	72.7 ± 7.5^{a}	1.1 ± 0.1^{f}

Data based on duplicate measurements; values with different letters are significantly different at $p \leq 0.05$.

ที่มา: ดัดแปลงจาก Tao et al. (2020)

Ref. code: 25676509032568NOH

2.2.4.7 ความหอม

ความหอม (Aroma) เป็นลักษณะที่ผู้บริโภคให้ความสนใจ และเพิ่มมูลค่าให้กับพันธุ์ข้าว (high premium) เป็นที่ชื่นชอบของผู้บริโภคทั้งในประเทศและต่างประเทศ ปริมาณสาร 2-acetyl-1-pyrroline (2AP) ถูกนำมาใช้เป็นมาตรฐานในการกำหนดการซื้อขายข้าวหอม การวัดปริมาณความหอมสามารถวัดได้โดยผู้มีประสบการณ์ในการดมกลิ่น หรือวิเคราะห์ปริมาณสารหอม 2AP ในเมล็ดข้าวด้วยเทคนิค Headspace-GC/MS (ปวีณา และคณะ, 2562) ความหอมของข้าวถูกควบคุมด้วยยีน *betaine aldehyde dehydrogenase 2 (badh2)* ซึ่งทำหน้าที่สร้างเอนไซม์ betaine aldehyde dehydrogenase homologue (BADH) เปลี่ยนสาร γ-aminobutyraldehyde (GABald) เป็นสาร γ- aminobutyric acid (GABA) มีผลทำให้ข้าวไม่มีกลิ่นหอม แต่เมื่อยีนเกิดการกลายพันธุ์เป็นยีนด้อย (*badh2*) ส่งผลทำให้ไม่สามารถสังเคราะห์เอนไซม์ BADH เพื่อเปลี่ยนสาร GABald เป็นสาร GABA ได้ แต่ข้าวจะสร้างสาร 2AP ขึ้นแทนทำให้ข้าวมีกลิ่นหอม สาร 2AP ในข้าวเป็นสารระเหยง่าย โดยปัจจัยด้านสิ่งแวดล้อม เช่น ความแห้งแล้ง ความเค็ม แสง และอุณหภูมิ มีอิทธิพลต่อการสังเคราะห์ทางชีวภาพของ 2AP (Imran et al., 2023) นอกจากนี้ ความหอมสามารถลดลงได้ในทุกขั้นตอนการผลิตข้าว ตั้งแต่การเก็บเกี่ยว การลดความชื้น การกะเทาะ ขัดขาว ขัดมัน การปรับปรุงสภาพ และบรรจุถุงจำหน่าย โดยเฉพาะในขั้นตอนการอบจะทำให้ความหอมของข้าวลดลง 17-28% ส่วนกระบวนการแปรสภาพของโรงสี (การสี การขัดขาว และขัดมัน) ทำให้ปริมาณสารหอมลดลง 15-24% ดังนั้น อุณหภูมิที่ใช้ในการลดความชื้นและแปรสภาพมีผลทำให้ปริมาณสารหอมในข้าวลดลง (อัญชลี และคณะ, 2564)

2.3 ปัจจัยที่มีผลต่อผลผลิต และคุณภาพการหุงต้มและการรับประทานของข้าว

2.3.1 พันธุกรรม

พันธุ์ข้าว มีลักษณะประจำพันธุ์ซึ่งมีองค์ประกอบทางเคมี ขนาด รูปร่าง สีเปลือก สีข้าวกล้อง ข้าวท้องไข่ และความหอมของเมล็ดข้าวแตกต่างกันในแต่ละพันธุ์ ข้าวปลูกในปัจจุบัน (*O. sativa* L.) มีวิวัฒนาการมาจากข้าวป่า (*O. rufipogon* Griff) ทำให้เกิดการแพร่กระจายของพันธุ์ข้าวและเกิดความหลากหลายทางพันธุกรรม เป็นผลมาจากการปรับตัวให้เหมาะกับสภาพแวดล้อมโดยธรรมชาติ การผสมข้ามระหว่างประชากร หรือการคัดเลือกของเกษตรกร (farmers' selection) ความหลากหลายของพันธุ์ข้าวมีอิทธิพลต่อลักษณะทางการเกษตรและองค์ประกอบผลผลิตของข้าว เช่น ความสูง ผลผลิต องค์ประกอบผลผลิต และคุณภาพการรับประทาน (ครุปกรณ์ และ อรุณรัศมี, 2562; Sarkar et al., 2014) ปัจจัยที่ทำให้ข้าวพันธุ์ต่าง ๆ มีคุณภาพของข้าวสุกแตกต่างกันขึ้นกับ

Ref. code: 25676509032568NOH

องค์ประกอบ ได้แก่ ปริมาณอมิโลส ความคงตัวแป้งสุก อุณหภูมิแป้งสุก และกลิ่นหอม โดยเฉพาะอัตราส่วนของอมิโลสและอมิโลเพคตินเป็นปัจจัยสำคัญที่ทำให้ข้าวมีคุณสมบัติแตกต่างกัน ปริมาณอมิโลสของข้าวถูกควบคุมด้วยยีน *Waxy (Wx)* บนโครโมโซมที่ 6 โดยยีน *Wx* มีหน้าที่สังเคราะห์เอนไซม์ granule bound synthase I (GBSSI) ซึ่งมีผลต่อการสังเคราะห์ปริมาณอมิโลสในข้าว ความผันแปรของยีน *Waxy* อาจเป็นผลเนื่องมาจากจำนวนเบสซ้ำ $(CT)_n$ repeat ใน exon 1 โดยข้าวที่มีจำนวนซ้ำของ $(CT)_n$ repeat น้อยกว่าหรือเท่ากับ 11 (shorter repeat alleles) จะมีปริมาณอมิโลสสูง (มากกว่า 25%) ส่วนข้าวที่มีจำนวนซ้ำของ $(CT)_n$ repeat มากกว่าหรือเท่ากับ 16 (longer repeat alleles) จะมีปริมาณอมิโลสต่ำ (น้อยกว่า 20%) นอกจากนี้ความแตกต่างของลำดับเบส single nucleotide polymorphism (SNP) บริเวณ 5' splice site ของอินตรอน โดยการแทนที่ของเบส G เปลี่ยนเป็น T จะส่งผลทำให้การสังเคราะห์เอนไซม์ GBSSI ลดลง ข้าวจึงมีการสังเคราะห์ปริมาณอมิโลสต่ำ (ฉันทมาศ และคณะ, 2560) ความคงตัวแป้งสุกควบคุมด้วยยีนอยู่บนโครโมโซม 6 (*qGC-6*) ได้รับอิทธิพลหลักในการแสดงออกร่วมกับยีน *Wx* (Zhao et al., 2020) และอุณหภูมิแป้งสุกถูกควบคุมด้วยยีน *soluble starch synthase IIa* (*SSIIa*) บนโครโมโซมที่ 6 ทำหน้าที่ในการต่อสายแขนงพอลิเมอร์ของอมิโลเพคตินให้ยาวขึ้น โดยข้าวที่มีอัลลีล *SSIIa*-GC มักมีอุณหภูมิแป้งสุกสูงกว่าข้าวที่มีอัลลีล *SSIIa*-TT อย่างมีนัยสำคัญ (ยุพเยาว์ และคณะ, 2561) เนื่องจาก ลำดับนิวคลีโอไทด์เป็น GC ส่งผลให้สัดส่วนสายโซ่ A ของอมิโลเพคตินต่ำและสายโซ่ B1 ของอมิโลเพคตินเพิ่มขึ้น (Hu et al., 2023)

2.3.2 การจัดการก่อนการเก็บเกี่ยว

ข้าวเป็นพืชที่สามารถปลูกได้ในสภาพอากาศที่หลากหลาย การเจริญเติบโตและพัฒนาการของต้นข้าว ตลอดจนผลผลิตจากการทำนาในแต่ละพื้นที่ขึ้นอยู่กับเปลี่ยนแปลงตามฤดูกาลของสภาพแวดล้อม โดยองค์ประกอบด้านสิ่งแวดล้อม เช่น อุณหภูมิ อากาศ แสง น้ำ และสารอาหารในดิน องค์ประกอบทั้งหมดเหล่านี้มีอิทธิพลต่อลักษณะทางการเกษตรที่สำคัญ เช่น ผลผลิต และคุณภาพ ในการประเมินความสามารถในการเจริญเติบโตและการให้ผลผลิตของพันธุ์ข้าวที่ปลูกในพื้นที่ต่างกันนั้น ต้องคำนึงถึงความแตกต่างของสภาพภูมิอากาศระหว่างพื้นที่ด้วย (บุญหงษ์, 2557) ซึ่งการปลูกข้าวภายใต้สภาพแวดล้อมที่แตกต่างกันทางด้านสภาพพื้นที่ อุณหภูมิ และปริมาณน้ำฝนล้วนส่งผลต่อการเจริญเติบโตและกระบวนการสร้างผลผลิตของข้าว ทำให้น้ำหนักเมล็ด ความยาว และความกว้างของเมล็ดข้าวแตกต่างกัน (Sridevi and Chellamuthu, 2015) รวมถึงส่งผลต่อคุณสมบัติของแป้งในเมล็ดข้าว (Li et al., 2018) รายละเอียด ดังนี้

2.3.2.1 พื้นที่ปลูก

นอกจากลักษณะทางพันธุกรรมของพันธุ์ข้าวแล้ว สภาพภูมิอากาศและการจัดการก็มีส่วนสำคัญในการควบคุมผลผลิตและคุณภาพของเมล็ด สภาพแวดล้อมการปลูกที่

Ref. code: 25676509032568NOH

แตกต่างกันออกไปย่อมส่งผลให้เกิดความแปรปรวนในการให้ผลผลิตของสายพันธุ์ข้าวได้ เนื่องจากปัจจัยด้านสิ่งแวดล้อมมีการเปลี่ยนแปลงอยู่เสมอและมีการเปลี่ยนแปลงตลอดช่วงการเจริญเติบโตของข้าว ซึ่งส่งผลต่อผลผลิต องค์ประกอบของผลผลิต และคุณภาพการหุงต้มและรับประทานของข้าว ผลกระทบของความแตกต่างในสภาพแวดล้อมทางภูมิศาสตร์เป็นปัจจัยหลักในการคัดเลือกพันธุ์ในแต่ละพื้นที่ เนื่องจากสายพันธุ์ที่ให้ผลผลิตสูงในพื้นที่หนึ่งอาจมีเสถียรภาพ (stability) ในการให้ผลผลิตต่ำเมื่อปลูกในพื้นที่อื่น เห็นได้จากการศึกษาของ Jaruchai et al. (2018) รายงานว่าข้าวเหนียวพันธุ์ชิวเกลี้ยงให้ผลผลิตเมล็ดสูงเมื่อปลูกที่อำเภอบ้านแฮด โดยให้ผลผลิตเฉลี่ย 2,734±177 กิโลกรัมต่อเฮกตาร์ และที่ศูนย์วิจัยข้าวชุมแพ จังหวัดขอนแก่น ให้ผลผลิตเฉลี่ย 2,045±115 กิโลกรัมต่อเฮกตาร์ อย่างไรก็ตาม เมื่อปลูกที่ศูนย์วิจัยข้าวแม่ฮ่องสอน จังหวัดแม่ฮ่องสอน ผลผลิตของข้าวเหนียวพันธุ์ชิวเกลี้ยงลดลงเหลือ 1,262±265 กิโลกรัมต่อเฮกตาร์ เนื่องจากปัญหาความแห้งแล้ง และเผชิญกับโรคใบไหม้ในระหว่างการเจริญเติบโต จึงทำให้ผลผลิตในพื้นที่นี้ลดลง ทั้งนี้ Phuseerit and Siriamornpun (2020) ศึกษาความแปรปรวน (variations) ของคุณภาพของข้าวขาวดอกมะลิ 105 (KDML 105) ที่ปลูกในพื้นที่ทุ่งกุลาร้องไห้ 3 พื้นที่ ได้แก่ อำเภอพยัคฆภูมิพิสัย จังหวัดมหาสารคาม (TL1) อำเภอเกษตรวิสัย (TL2) และอำเภอโพนทราย จังหวัดร้อยเอ็ด (TL3) เพื่อประเมินคุณสมบัติทางกายภาพ เคมี และคุณภาพการหุงต้มและรับประทาน ผลการศึกษาพบว่าคุณภาพทางเคมี เนื้อสัมผัส และคุณสมบัติความหนืดของข้าวขาวดอกมะลิ 105 แตกต่างกันไปตามพื้นที่ปลูกในพื้นที่ทุ่งกุลาร้องไห้ ในขณะที่คุณสมบัติทางกายภาพส่วนใหญ่ของข้าวจากทั้ง 3 พื้นที่มีความคล้ายคลึงกันและปริมาณอมิโลสไม่แตกต่างกัน ส่งผลให้ค่า pasting temperature การเกาะตัวกัน (cohesiveness) และความเหนียวยืดติด (gumminess) แตกต่างกันเล็กน้อย ($p<0.05$) อย่างไรก็ตาม ปริมาณ 2AP ของข้าวจากพื้นที่ TL1 (5.47 ppm) สูงกว่าอีกสองพื้นที่อย่างมีนัยสำคัญ (ตารางที่ 2.9) ซึ่งอาจเกิดจากสภาพพื้นที่ที่แห้งแล้งและเป็นดินทราย โดยความเครียดจากความแห้งแล้งในช่วงระยะน้ำนมของข้าวอาจทำให้ค่า 2AP เพิ่มขึ้น ดังนั้น การทดลองหลายสภาพแวดล้อม (Multi-environment trials; METs) จึงเป็นสิ่งสำคัญในโครงการปรับปรุงพันธุ์พืชเพื่อประเมินผลผลิตและความสามารถในการปรับตัวในสภาพแวดล้อมที่หลากหลาย

Ref. code: 25676509032568NOH

ตารางที่ 2.9 น้ำหนัก 1,000 เมล็ด ปริมาณสาร 2AP การเกาะตัวกัน ความเหนียวยึดติด ปริมาณอมิโลส และค่า pasting temperature ของข้าวขาวดอกมะลิ 105 ที่ปลูกทดสอบในทุ่งกุลาร้องไห้

Location	1000 - kernel weight (g)	2-Acetyl-1-Pyrroline (ppm)	Cohesiveness (Unitless)	Gumminess (N)	Amylose content	Pasting temperature (°C)
TL1	27.23±0.76	5.47±0.19[a]	0.23±0.03[b]	2.56±0.54[b]	19.32±0.22	73.50±0.42[a]
TL2	27.68±1.62	5.10±0.10[b]	0.25±0.02[a]	2.80±0.41[a]	19.74±0.34	73.60±0.40[a]
TL3	27.51±0.08	5.00±0.19[b]	0.25±0.02[a]	2.92±0.44[a]	19.43±0.49	72.69±0.18[b]

(a-b) Significant differences between means for a given within the same row ($p<0.05$).

ที่มา: Phuseerit and Siriamornpun (2020)

2.3.2.2 อุณหภูมิ

อุณหภูมิส่งผลกระทบโดยตรงต่อผลผลิตข้าวที่ระยะเจริญพันธุ์ เป็นช่วงที่วิกฤตที่สุดต่อสภาพอุณหภูมิสูง (≥35°C) อุณหภูมิสูงในระยะเจริญพันธุ์มีผลทำให้ความยาวรวง น้ำหนักรวง ผลผลิตต่อกอ การติดเมล็ด และน้ำหนักเมล็ดดีต่อรวงลดลง (จารุวรรณ และคณะ, 2564) เนื่องจาก อุณหภูมิสูงมีผลทำให้ความมีชีวิตของละอองเกสรลดลง ดอกย่อยเป็นหมัน และไม่สามารถสร้างเมล็ดได้ Shimoyanagi et al. (2021) รายงานว่าข้าวที่ได้รับอุณหภูมิสูงในระยะการสะสมแป้งในเมล็ด (grain filling) ทำให้ปริมาณเมล็ดท้องไข่และขนาดของท้องไข่ในเมล็ดข้าวเพิ่มขึ้น เนื่องจากการสะสมแป้งที่ไม่ดี (ปริมาณอมิโลสต่ำ) ส่งผลให้น้ำหนักเมล็ดข้าวลดลง เมล็ดข้าวแตกระหว่างการกะเทาะเปลือกและการสี ส่งผลให้มูลค่าการตลาดลดลง นอกจากความเครียดจากอุณหภูมิสูงจะส่งผลกระทบต่อผลผลิตแล้ว ยังส่งผลต่อคุณภาพการหุงต้มและรับประทาน เนื่องจากอุณหภูมิสูงอาจส่งผลต่ออัตราส่วนของอมิโลสและอมิโลเพคติน Singh et al. (2023b) ศึกษาผลกระทบของอุณหภูมิสูงในช่วงสะสมแป้งในเมล็ดต่อคุณภาพข้าว 12 สายพันธุ์ พบว่า ข้าวที่ปลูกในสภาวะควบคุมเปรียบเทียบกับข้าวได้รับความเครียดจากอุณหภูมิสูง (36-38°C) มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ โดยอุณหภูมิสูงส่งผลให้ปริมาณการเกิดท้องไข่ในเมล็ดข้าวเพิ่มขึ้น และปริมาณอมิโลสลดลง 2.5-14% ซึ่งมีอิทธิพลต่อคุณสมบัติความหนืด และคุณภาพการรับประทาน เช่น ค่าคาวามหนืดสูงสุด ค่าการคืนตัว และค่าความหนืดสุดท้ายลดลงอย่างมีนัยสำคัญ เนื่องจาก เมื่อข้าวเผชิญกับสภาวะอุณหภูมิสูง กิจกรรมของเอนไซม์ GBSS ซึ่งมีบทบาทสำคัญในการสังเคราะห์อมิโลสมีแนวโน้มลดลง ขณะที่กิจกรรมของเอนไซม์ α-amylase ที่ทำหน้าที่เร่งการย่อยสลายอมิโลสกลับเพิ่มขึ้น (Ahmed et al., 2014) ส่งผล

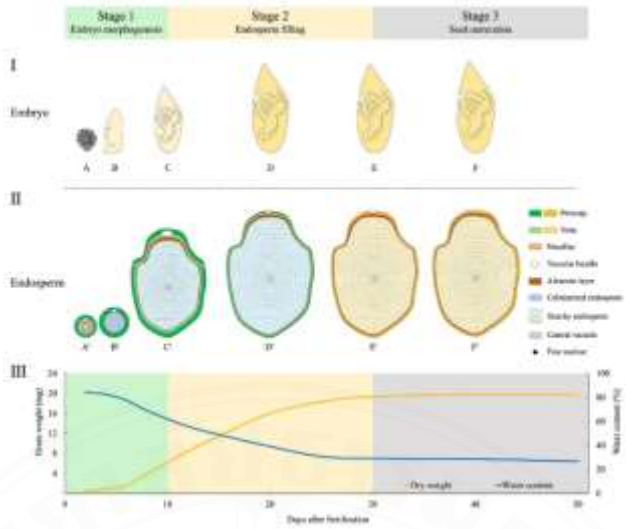
Ref. code: 25676509032568NOH

ให้ปริมาณอมิโลสในเมล็ดข้าวลดลง สอดคล้องกับผลการศึกษาของ Okpala et al. (2020) พบว่าข้าวที่เจริญเติบโตภายใต้อุณหภูมิสูง (32°C) มีปริมาณอมิโลสต่ำที่สุด เนื่องจาก อุณหภูมิสูงส่งผลต่อกิจกรรมของเอนไซม์ SBEs ซึ่งมีบทบาทสำคัญในการสร้างพันธะไกลโคไซด์ (glycoside bond) โดยพบว่ากิจกรรมของเอนไซม์ดังกล่าวลดลง ส่งผลให้ความถี่ของการแตกแขนงของโมเลกุลอมิโลเพคตินลดลง แต่ในขณะเดียวกันทำให้สัดส่วนของอมิโลเพคตินสายโซ่ยาวเพิ่มขึ้น ส่งผลให้ปริมาณอมิโลเพคตินในเมล็ดข้าวเพิ่มขึ้น (Ahmed et al., 2014)

2.3.2.3 ระยะเวลาในการเก็บเกี่ยวที่เหมาะสม

การเก็บเกี่ยวข้าวช้าหรือเร็วเกินไปจะมีผลต่อปริมาณและคุณภาพของข้าว โดยการพัฒนาของเมล็ดแบ่งออกเป็น 3 ระยะ ดังภาพที่ 2.7 ได้แก่ ระยะที่ 1 (0-10 วันหลังการผสมเกสร) เริ่มมีการสะสมแป้งและโปรตีนในเอนโดสเปิร์ม เมล็ดยังคงมีความชื้นสูง (มากกว่า 70%) (Itoh et al., 2005) ระยะที่ 2 (10-30 วันหลังการผสมเกสร) (Zhu et al., 2011; Fu et al., 2013) เมล็ดเริ่มแข็งและมีน้ำหนักเพิ่มขึ้น จากการสะสมแป้งเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็วจึงเป็นช่วงที่น้ำหนักแห้งของเมล็ดข้าวเพิ่มขึ้นสูงสุด ขณะที่ความชื้นของเมล็ดลดลงมาอยู่ที่ประมาณ 50-60% และระยะที่ 3 (30 วันหลังการผสมเกสรถึงเมล็ดสุดแก่) เมล็ดมีการพัฒนาเต็มที่ มีการสะสมแป้งและโปรตีนสมบูรณ์ ความชื้นลดลงเหลือประมาณ 20-30% ซึ่งในระยะนี้เมล็ดพืชจะอ่อนไหวต่อการงอกภายใต้สภาพอากาศร้อนและชื้น ทำให้เกิดการงอกก่อนการเก็บเกี่ยว ซึ่งส่งผลเสียต่อผลผลิตและคุณภาพของเมล็ด (Du et al., 2018) หากเก็บเกี่ยวข้าวเร็วเกินไป เมล็ดข้าวยังสร้างเนื้อเมล็ดไม่สมบูรณ์ เมล็ดมีสีเขียว น้ำหนักเมล็ดเบา (อรอนงค์, 2550) อุไรวรรณ และคณะ (2560) ศึกษาอายุเก็บเกี่ยวของข้าวสังข์หยดที่ปลูกแบบธรรมชาติในพื้นที่นาดอน พบว่า ข้าวที่เก็บเกี่ยวระยะ 45 วันหลังออกดอก มีปริมาณโปรตีนสูงกว่าข้าวที่เก็บเกี่ยวระยะ 55 และ 35 วัน ตามลำดับ บ่งชี้ว่าระยะเวลาการเก็บเกี่ยวข้าวมีผลต่อการสะสมของโปรตีนในเมล็ดข้าว ข้าวที่ยังไม่สุกแก่เต็มที่จึงมีปริมาณโปรตีนน้อยกว่าระยะอื่น โดยมีแนวโน้มการเพิ่มขึ้นของปริมาณโปรตีนตามระยะเวลาการเก็บเกี่ยวที่นานขึ้นเช่นกัน โดยระยะเวลาในการเก็บเกี่ยวที่เหมาะสมไม่ควรเกิน 45 วันหลังออกดอก อีกทั้งไม่ควรเก็บเกี่ยวระยะก่อน 35 วัน เนื่องจากการสะสมสารอาหารบางตัวยังเกิดไม่สมบูรณ์ และอายุเก็บเกี่ยวมีผลต่อปริมาณความคงตัวแป้งสุก โดยความคงตัวแป้งสุกลดลงเมื่ออายุเก็บเกี่ยวนานขึ้น แต่ไม่มีผลต่อปริมาณอมิโลสในข้าวสังข์หยดพัทลุง

Ref. code: 25676509032568NOH



ภาพที่ 2.7 การพัฒนาของเมล็ดข้าวทั้ง 3 ระยะ I) ภาพเอมบริโอตามยาว และ II) ตามขวาง III) กราฟแสดงความสัมพันธ์ของน้ำหนักเมล็ดและปริมาณน้ำในเมล็ดในระหว่างการพัฒนา
ที่มา: An et al. (2020)

2.3.3 กระบวนการหลังการเก็บเกี่ยว

กระบวนการหลังการเก็บเกี่ยวมีความสำคัญอย่างยิ่งต่อการผลิตเมล็ดข้าวที่มีมูลค่าสูง โดยมีวัตถุประสงค์หลักเพื่อการรักษาคุณภาพของเมล็ดข้าว ป้องกันความเสียหายทางกายภาพและการเปลี่ยนแปลงองค์ประกอบทางเคมี การจัดการหลังการเก็บเกี่ยว เช่น กระบวนการอบแห้ง การเก็บรักษา การกะเทาะ และการสี ล้วนมีผลกระทบต่อคุณภาพของเมล็ดข้าว รวมถึงคุณภาพการหุงต้มและรับประทานข้าว ซึ่งอาจส่งผลต่อคุณภาพของข้าวสารทั้งในเชิงบวกและลบ (Tong et al., 2019) รายละเอียดดังนี้

2.3.3.1 การลดความชื้น

ข้าวที่เก็บเกี่ยวในระยะที่เหมาะสม เมล็ดมีความชื้นประมาณ 20-25% จะทำให้ได้ผลผลิตสูงและข้าวมีคุณภาพดี และควรลดความชื้นของเมล็ดข้าวให้เหลือประมาณ 14% สำหรับการเก็บข้าวไว้นาน 2-3 เดือน แต่ถ้าเก็บนานเกินกว่า 3 เดือน ควรลดความชื้นเมล็ดให้เหลือต่ำกว่า 12% ซึ่ง Kim and Lee (2013) ศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างความชื้นของข้าวเปลือกกับคุณภาพของข้าวกล้อง โดยข้าวเปลือกที่มีความชื้น 15 และ 17% ให้ผลผลิตข้าวกล้องสมบูรณ์สูงที่สุด (85.7 และ 86.6% ตามลำดับ) ขณะที่ข้าวเปลือกที่มีความชื้น 19% ให้ผลผลิตข้าวกล้องต่ำที่สุด อย่างไรก็ตาม ข้าวกล้องที่แตกหักมีปริมาณสูงขึ้นในข้าวเปลือกที่มีความชื้น 17 และ 19% ซึ่งมีความสัมพันธ์กับการเกิดข้าวสารหักระหว่างการขัดสี เนื่องจากข้าวเปลือกที่มีความชื้นสูงเสี่ยงต่อการถูกทำลายโดย

Ref. code: 25676509032568NOH

แมลง ทำให้เมล็ดข้าวแตกหักได้ง่าย นอกจากนี้ ข้าวเปลือกที่มีความชื้นต่ำก็มีแนวโน้มที่เมล็ดจะแตกหักง่ายเช่นกัน เมื่อกะเทาะเปลือกจะพบการแตกหักของเมล็ดข้าวมาก

การลดความชื้นในข้าวสามารถทำได้ 2 วิธี คือ การใช้แสงอาทิตย์ เป็นวิธีการใช้ความร้อนจากแสงอาทิตย์และการไหลของอากาศ ทำให้เกิดการถ่ายเทความร้อนระหว่างข้าวเปลือกกับอากาศ ทำให้ความชื้นข้าวเปลือกลดลง โดยเกษตรกรนิยมตากในนาข้าว และการตากในลาน แต่มีข้อเสีย คือ ต้องใช้แรงงานและพื้นที่ในการตาก และไม่สามารถควบคุมคุณภาพข้าวได้ เนื่องจากความร้อนที่สูงเกินไปทำให้เกิดการแตกร้าวภายในเมล็ด ส่งผลให้เปอร์เซ็นต์ข้าวเต็มเมล็ดหลังการสีมีค่าต่ำ รวมทั้งไม่สามารถป้องกันให้ความชื้นในอากาศตอนกลางคืน ทำให้ความชื้นกลับเข้าไปในเมล็ด หรือเปียกฝนในระหว่างการตาก ทำให้ข้าวเกิดรอยร้าวในเมล็ด เมื่อนำข้าวไปนวดหรือสีจะเกิดการแตกหัก ส่งผลให้คุณภาพการสีลดลง (กองวิจัยและพัฒนาข้าว, 2559) และอีกวิธี คือ การใช้เครื่องอบ วิธีนี้มีข้อดี คือ สามารถปฏิบัติได้ในทุกสภาวะอากาศ แม้ว่าฝนจะตกหรือมีแสงแดดน้อย ใช้พื้นที่น้อย สามารถควบคุมการลดความชื้นให้อยู่ในระดับตามต้องการ สามารถควบคุมป้องกันความเสียหายต่อคุณภาพข้าวได้ โดยเครื่องอบนั้นมีพัฒนาการในด้านโครงสร้างรูปแบบต่าง ๆ มาโดยตลอด เพื่อให้การอบแห้งนั้นมีประสิทธิภาพสูงสุดและกำลังการผลิตตามที่ผู้บริโภคต้องการ โดยเครื่องอบที่นิยมใช้กันมาก คือ เครื่องอบแห้งข้าวเปลือกแบบแอลเอสยู (Louisiana state university; LSU) และแบบฟลูอิไดซ์เบด (Fluidized-bed) โดยเวลาที่ใช้ในการอบจะขึ้นอยู่กับความชื้นเริ่มต้นของเมล็ด อุณหภูมิ และความเร็วของลมที่ใช้ในการอบ ส่งผลให้เครื่องอบสามารถลดความชื้นของข้าวเปลือกได้อย่างรวดเร็วและแน่นอน ช่วยลดการแตกร้าวภายในเมล็ด ลดการสูญเสียของผลผลิต (พิรสิทธิ์ และคณะ, 2557)

2.3.3.2 การเก็บรักษา

การเก็บรักษาส่งผลต่อคุณภาพการหุงต้มและคุณภาพการรับประทานของข้าว เนื่องจาก ในช่วงเวลาดังกล่าวมีการเปลี่ยนแปลงกระบวนการทางเคมีกายภาพ (Müller et al., 2022) Zhu et al. (2023a) พบว่า การเก็บรักษาส่งผลต่อคุณภาพข้าวอย่างมีนัยสำคัญ โดยหลังจากการเก็บรักษา 1 ปี ข้าวจาโปนิกา ข้าวอินดิกา และข้าวลูกผสมระหว่างอินดิก้า-จาโปนิกา มีปริมาณแป้งทั้งหมดลดลง ในขณะที่ปริมาณอมิโลสเพิ่มขึ้น 9.63-11.65, 2.99-4.67 และ 8.07-8.97 ตามลำดับ และปริมาณไขมันลดลง 60.0-65.0, 37.21-46.51 และ 41.67-42.42% ตามลำดับ การเพิ่มขึ้นของอมิโลสและการลดลงของอมิโลเพคตินมีสาเหตุมาจากกิจกรรมของเอนไซม์ไอโซอมิเลสที่เพิ่มขึ้นระหว่างการเก็บรักษา ซึ่งมีความสามารถในการสลาย 1,6 β-glycosidic บนแขนงของอมิโลเพคตินให้เป็น 1,4 α -glycosidic เพื่อสร้างอมิโลส (จุฑาพร และสมชาย, 2556; Suismono et al., 2022) นอกจากนี้ ข้าวที่เก็บรักษา 1 ปี มีค่าความหนืดลดลง อุณหภูมิเจลาติไนเซชันและความ

Ref. code: 25676509032568NOH

แข็งของข้าวสุกเพิ่มขึ้น เนื่องจากปฏิกิริยาระหว่างส่วนประกอบต่าง ๆ เช่น อมิโลสกับอมิโลส อมิโลสกับอมิโลเพคติน และแป้งกับโปรตีน ซึ่งขัดขวางความสามารถในการดูดซับน้ำและการขยายปริมาตรของข้าวสุก ทำให้ต้องใช้เวลามากขึ้นเพื่อให้แป้งสุก สอดคล้องกับการศึกษาของ อภิวัฒน์ และคณะ (2559) พบว่า ค่าการสลายตัวของเมล็ดในด่างและความคงตัวแป้งสุกมีค่าลดลงเมื่อเก็บรักษานาน 1 ปี ผลจากการศึกษาเหล่านี้แสดงให้เห็นว่าระยะเวลาการเก็บรักษามีผลทำให้มีระยะเวลาในการหุงเพิ่มขึ้นและลักษณะสัมผัสแข็งขึ้นเมื่อหุงสุก รวมถึงปริมาณสาร 2AP ลดลงในระหว่างการเก็บรักษา ส่งผลให้คุณภาพการหุงต้มและรับประทานลดลง

2.3.3.3 กระบวนการสี

กระบวนการสี (milling processes) อาจส่งผลต่อปริมาณอมิโลสและคุณสมบัติทางเคมีกายภาพของแป้ง เนื่องจากระดับการสีมีผลกระทบต่อโครงสร้างแป้งและปริมาณของพอลิแซกคาไรด์อื่น ๆ ที่ไม่ใช่แป้ง ซึ่งมีความสำคัญต่อเนื้อสัมผัส เช่น ความเหนียวและนุ่มของเมล็ดข้าว Sandhu et al. (2018) พบว่า ค่าความหนืดเพิ่มขึ้น เมื่อระดับการขัดสีข้าวพันธุ์อินดิกาเมล็ดสั้นและเมล็ดยาวเพิ่มขึ้น สอดคล้องกับการศึกษาของ Perdon et al. (2001) รายงานว่า เมื่อระดับการสีเพิ่มขึ้น ค่าความหนืดสูงสุดของข้าวทุกชนิดเพิ่มขึ้นตามระดับการสี เนื่องจาก อัตราการสีที่สูงขึ้นทำให้ปริมาณโปรตีน และไขมันที่พื้นผิวถูกขัดออก ส่งผลให้ปริมาณแป้งสูงขึ้นตามการลดลงของสารประกอบอื่น ๆ ที่กระจายอยู่ในชั้นรำข้าวและจมูกข้าว เมล็ดข้าวที่หุงสุกดูดซับน้ำได้มากขึ้นและนิ่มลงได้ง่ายขึ้น ความหนืดจึงสูงขึ้น บ่งชี้ว่าอัตราการขัดสีสามารถเปลี่ยนรสชาติและเนื้อสัมผัสของข้าวได้ (Chun et al., 2012; Puri et al., 2014; Zhao et al., 2023) ดังนั้น จึงควรพิจารณาระดับการสีข้าวอย่างรอบคอบ และควบคุมคุณสมบัติทางเคมีกายภาพ และคุณภาพการรับประทานที่ต้องการระหว่างการสีข้าว

2.4 การปรับปรุงพันธุ์ข้าวเพื่อเพิ่มผลผลิตและคุณภาพของข้าว

การปรับปรุงพันธุ์มีเป้าหมายสำคัญ คือ การพัฒนาและคัดเลือกสายพันธุ์ข้าวที่มีลักษณะเด่นทั้งในด้านผลผลิตและคุณภาพเมล็ดข้าว รวมถึงความทนทานต่อโรค แมลง และสภาพแวดล้อมที่ไม่เหมาะสม เช่น ความแห้งแล้ง น้ำท่วม และอุณหภูมิที่สูงขึ้น หรือเป็นการพัฒนาสายพันธุ์ให้มีลักษณะพิเศษกว่าพันธุ์อื่น ๆ (Breseghello and Coelho, 2013) การพัฒนาพันธุ์ข้าวที่ให้ผลผลิตสูงและมีคุณภาพหลากหลายตามความต้องการตลาดจะนำไปสู่การเพิ่มศักยภาพการแข่งขันในการส่งออกทั้งในด้านราคา และคุณภาพ โดยคุณภาพของเมล็ดมีความสัมพันธ์กับลักษณะทางกายภาพ คุณสมบัติทางเคมีกายภาพ คุณสมบัติทางประสาทสัมผัส และคุณค่าทางโภชนาการ แม้ว่าลักษณะทางกายภาพสามารถกำหนดราคาตลาดได้อย่างชัดเจน อย่างไรก็ตาม คุณภาพการหุงต้มและ

Ref. code: 25676509032568NOH

รับประทานสามารถส่งเสริมให้พันธุ์ข้าวมีเอกลักษณ์เป็นพันธุ์ข้าวคุณภาพพรีเมียม ทั้งยังมีความสำคัญในการกำหนดมูลค่าทางเศรษฐกิจในตลาดส่งออกและการยอมรับของผู้บริโภค (Bassinello et al., 2020) ดังนั้น คุณภาพการหุงต้มและรับประทานจึงเป็นเป้าหมายสำคัญประการหนึ่งของการปรับปรุงพันธุ์ข้าวควบคู่ไปกับการเพิ่มผลผลิตเพื่อตอบสนองความต้องการของตลาด (Li et al., 2021; Gong et al., 2023)

2.4.1 วิธีการปรับปรุงพันธุ์ข้าว

การปรับปรุงพันธุ์เพื่อให้ได้ข้าวพันธุ์ใหม่หรือพันธุ์ที่ดีนั้น มีการปรับปรุงพันธุ์แบบดั้งเดิม (conventional breeding) วิธีต่าง ๆ ได้แก่ การคัดเลือกหมู่ (mass selection) การคัดเลือกสายพันธุ์บริสุทธิ์ (pure line selection) การคัดเลือกพันธุ์แบบบันทึกประวัติ (pedigree method) การคัดเลือกพันธุ์แบบเก็บเมล็ดรวม (bulk method) การชักนำให้เกิดการกลายพันธุ์ (induced mutation) และการสร้างพันธุ์ข้าวลูกผสม (hybrid rice) (บุญหงษ์, 2557) ทำให้สามารถปรับปรุงผลผลิต การปรับตัวเข้ากับสภาพแวดล้อม การต้านทานโรคและแมลงศัตรู และคุณภาพของเมล็ดข้าวได้ (ไวพจน์ และคณะ, 2558; ศิลป์ศุภา และคณะ, 2565; Guo-hui and Long-ping, 2015; Khan et al., 2015; Oladosu et al., 2019) อย่างไรก็ตาม การปรับปรุงพันธุ์พืชแบบดั้งเดิมต้องใช้ระยะเวลาและแรงงานจำนวนมาก นอกจากนี้ วิธีการปรับปรุงพันธุ์แบบดั้งเดิมนั้นไม่สามารถปรับปรุงลักษณะเชิงปริมาณที่ซับซ้อนหลายอย่างพร้อม ๆ กัน ทั้งยังมีลักษณะที่ไม่ต้องการติดมาด้วย (Tabassum et al., 2021) จากความก้าวหน้าในการศึกษาทางพันธุกรรมได้พัฒนาเทคนิคระดับโมเลกุล (molecular breeding) เป็นการใช้โมเลกุลเครื่องหมายดีเอ็นเอ (DNA-based marker) เข้ามาช่วยคัดเลือกในการปรับปรุงพันธุ์พืช (Marker Assisted Selection, MAS) เพื่อปรับปรุงคุณภาพการหุงต้มและการรับประทาน เช่น การใช้เครื่องหมายดีเอ็นเอช่วยคัดเลือกลักษณะความหอม และปริมาณอมิโลสต่ำในการปรับปรุงพันธุ์ข้าวแบบบันทึกประวัติโดยใช้เครื่องหมายดีเอ็นเอ Naro และ RM190 ที่เฉพาะกับลักษณะความหอมและปริมาณอมิโลสที่มีตำแหน่งอยู่บนโครโมโซม 8 และ 6 ของข้าว ตามลำดับ มาใช้ในการคัดเลือกลักษณะทั้ง 2 ในประชากรชั่วที่ 2 จากคู่ผสมระหว่างพันธุ์ปทุมธานี 1 (PTT1) ที่มีคุณภาพหุงต้มดี กับพันธุ์ CH4 ที่มีศักยภาพการให้ผลผลิตสูงเพื่อนำไปใช้ในขั้นตอนต่อไปของการปรับปรุงพันธุ์ (จันทร์จิรา และคณะ, 2557) นอกจากนี้ ในระยะเวลาที่ผ่านมามีการคิดค้นเทคนิคการปรับแต่งจีโนม (genome editing) คือ การเปลี่ยนแปลงดีเอ็นเอของสิ่งมีชีวิตที่ตำแหน่งเฉพาะในจีโนมให้คงอยู่อย่างถาวร ตัวอย่างเช่น เทคนิค CRISPR/Cas9 ซึ่งถูกนำมาใช้ในการปรับปรุงพืชเพื่อกำหนดลักษณะการทำงานของยีน (Chen et al., 2019; Savadi et al., 2021) รวมถึงการนำมาใช้ในการปรับปรุงลักษณะทางการเกษตร และคุณภาพการหุงต้มและรับประทานของข้าว (Tabassum et al., 2021) Zhang et al. (2018) ใช้เทคนิค CRISPR/Cas9

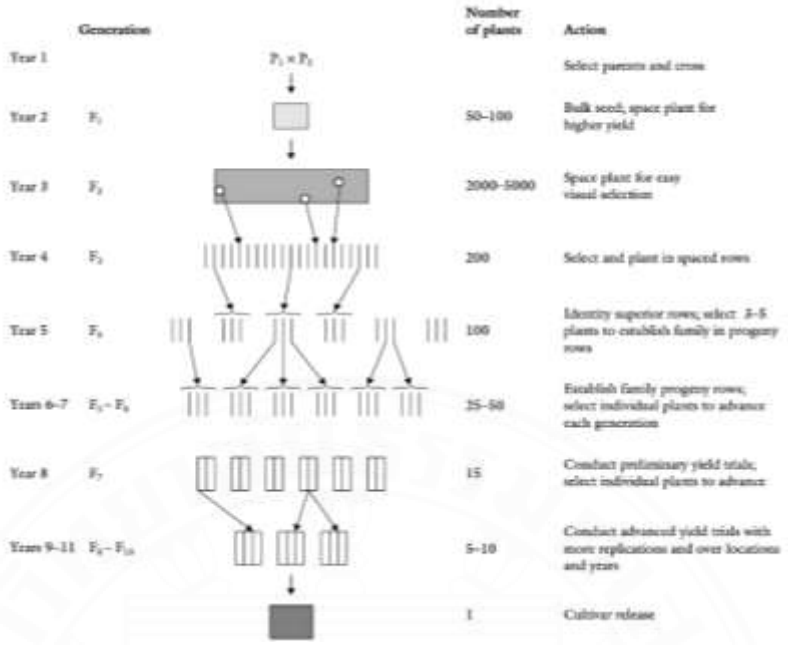
Ref. code: 25676509032568NOH

เพื่อเปลี่ยนแปลงยีน *Wx* ให้สูญเสียการทำงานในข้าวพันธุ์ดี 2 สายพันธุ์ ได้แก่ สายพันธุ์ XS134 และ 9522 ผลจากการศึกษา พบว่า การเปลี่ยนแปลงยีน *Wx* ทำให้ปริมาณอมิโลสลดลง และเปลี่ยนข้าวเจ้าให้เป็นข้าวเหนียว โดยไม่ส่งผลกระทบต่อลักษณะทางการเกษตรอื่น ๆ ที่ต้องการ ดังนั้น เทคนิคการแก้ไขจีโนมสามารถช่วยให้นักวิจัยและนักปรับปรุงพันธุ์พืชสามารถสร้างความหลากหลายทางพันธุกรรม และพัฒนาพืชพันธุ์ใหม่ได้รวดเร็วยิ่งขึ้น (Chen et al., 2019; Khalil, 2020; Savadi et al., 2021)

2.4.2 ขั้นตอนการปรับปรุงพันธุ์ข้าว

แม้ว่าเทคโนโลยีการปรับปรุงพันธุ์สมัยใหม่จะสามารถช่วยลดระยะเวลาในการปรับปรุงพันธุ์และมีความแม่นยำมากขึ้น อย่างไรก็ตาม นักปรับปรุงพันธุ์ข้าวส่วนใหญ่ยังคงใช้วิธีการคัดเลือกแบบบันทึกประวัติเพื่อพัฒนาสายพันธุ์ข้าวใหม่ที่มีลักษณะเด่น เช่น ผลผลิตสูง คุณภาพดี และทนทานต่อโรคหรือสภาพแวดล้อมที่ไม่เหมาะสม เห็นได้จากการปรับปรุงพันธุ์ข้าวเจ้า กข89 (นุ่มบ้านสร้าง) (พีระดุง และคณะ, 2565) กข91 (สุภาพร และคณะ, 2564) กข93 (พุ่มพวงเมืองสองแคว) (เปรมกมล และคณะ, 2565) กข95 (ดกเจ้าพระยา) (ชวนชม และคณะ, 2565) กข97 (หอมรังสิต) (สุภาพร และคณะ, 2565) และข้าวเหนียวพันธุ์ดำดาษ 20 (ดลตภร และคณะ, 2564) เป็นต้น การคัดเลือกพันธุ์ข้าวแบบบันทึกประวัติเป็นหนึ่งในวิธีการคัดเลือกพันธุ์ที่ใช้กันมากที่สุด โดยคัดเลือกหากอที่มีลักษณะดีในทุก ๆ ชั่วอายุ ในช่วงแรกของการคัดเลือกจะเลือกต้น (single plant) ที่มีลักษณะดี ส่วนช่วงหลังจะพิจารณาคัดเลือกแถว (family) ที่มีลักษณะดี และมีความสม่ำเสมอไว้ เนื่องจากข้าวจะเข้าสู่การเป็นสายพันธุ์บริสุทธิ์เกือบ 100% เมื่อได้พันธุ์ที่มีความสม่ำเสมอจึงนำพันธุ์ดีจากแปลงศึกษาพันธุ์ไปปลูกทดสอบผลผลิตเปรียบเทียบระหว่างสายพันธุ์ และพันธุ์ตรวจสอบมาตรฐานทั้งในและระหว่างสถานีและนาเกษตรกร รวมถึงการทดสอบการทดสอบคุณภาพต่าง ๆ ที่ต้องการ เพื่อคัดเลือกเพียง 1 สายพันธุ์ และแนะนำให้เกษตรกรปลูกต่อไป (ภาพที่ 2.8) (Singh et al., 2023a)

Ref. code: 25676509032568NOH



ภาพที่ 2.8 การคัดเลือกพันธุ์แบบบันทึกประวัติ (pedigree method)
ที่มา: Pan (2024)

หลังจากคัดเลือกพันธุ์ที่มีลักษณะดีและมีความสม่ำเสมอไว้เบื้องต้นแล้ว ขั้นตอนถัดมา คือ การศึกษาพันธุ์ เปรียบเทียบผลผลิต ทดสอบความต้านทานต่อโรคและแมลงศัตรูข้าว การตอบสนองต่อธาตุอาหารพืช ซึ่งเป็นการเปรียบเทียบผลผลิตของข้าวสายพันธุ์ปรับปรุงใหม่หรือสายพันธุ์ก้าวหน้าร่วมกับสายพันธุ์อื่น ๆ และพันธุ์มาตรฐานภายในสถานี เพื่อคัดเลือกสายพันธุ์ข้าวที่ให้ผลผลิตสูงและมีลักษณะดีตามต้องการ และสุดท้ายเป็นขั้นตอนการประเมินผลผลิตขั้นสูง (AYT) ซึ่งเป็นการประเมินคุณภาพเมล็ดทางกายภาพ คุณภาพการสี คุณภาพเมล็ดทางเคมี คุณภาพการหุงต้มและรับประทาน และการยอมรับของเกษตรกร ซึ่งข้าวสายพันธุ์ก้าวหน้านี้มีการทดสอบทั้งในและระหว่างสถานีและแปลงเกษตรกร เพื่อให้ทราบถึงผลผลิตและการปรับตัวของข้าวในพื้นที่เป้าหมาย ตลอดจนเพื่อเผยแพร่พันธุ์ข้าวเหล่านี้ให้เป็นที่รู้จักของเกษตรกรในพื้นที่ดังกล่าว (ไวพจน์ และคณะ, 2558) การประเมินผลผลิตระดับ AYT จึงเป็นหนึ่งในขั้นตอนของการปรับปรุงพันธุ์ข้าวที่ควรทดสอบในหลายสถานที่หรือฤดูกาล เพื่อประเมินศักยภาพของผลผลิตและประเมินผลกระทบของปฏิสัมพันธ์ระหว่างจีโนไทป์กับสิ่งแวดล้อม ก่อนการคัดเลือกสายพันธุ์ (Gomez and Gomez, 1984) ซึ่งการปรับปรุงพันธุ์ข้าวแบบบันทึกประวัติได้มีรายงานแล้ว เช่น

Kaewmungkun et al. (2023) ประเมินเชื้อพันธุ์ข้าว (germplasm lines) ที่มีคุณภาพเมล็ดข้าวดี และพัฒนาสายพันธุ์ใหม่ที่มีคุณภาพการรับประทานดี พบว่า มี 36 สายพันธุ์ที่มี

Ref. code: 25676509032568NOH

ยีน *badh2* ควบคุมกลิ่น จากนั้นพบ 17 สายพันธุ์ที่มีอัลลีลที่มีปริมาณอมิโลสต่ำ (*waxy*) และอุณหภูมิแป้งสุกต่ำ (*SSIIa*) บ่งบอกว่าเป็นข้าวหอมที่มีคุณสมบัติหุงต้มและรับประทานดี คัดเลือกสายพันธุ์เพื่อนำไปสร้างลูกผสม โดยลูกผสมชั่วที่ 9 ให้ผลผลิตสูง มีการผลิต 2AP สูง และปริมาณอมิโลสต่ำ นอกจากนี้ พีระดุง และคณะ (2564) ได้ผสมพันธุ์ข้าวระหว่างข้าวสายพันธุ์ PCR92211-5-2-2B กับ PCRC93021-67 ปลูกคัดเลือกแบบหมู่ประชากรชั่วที่ 2-4 และปลูกคัดเลือกแบบบันทึกประวัติประชากรชั่วที่ 5-6 เพื่อให้ได้พันธุ์ข้าวที่มีปริมาณอมิโลสต่ำ ให้ผลผลิตสูงในสภาพนาน้ำลึกมากกว่า 100 เซนติเมตร คุณภาพเมล็ด และคุณภาพการหุงต้มและรับประทานดี ทำการศึกษาพันธุ์เปรียบเทียบผลผลิต ความต้านทานต่อโรคและแมลงศัตรูข้าว การตอบสนองต่อปุ๋ยไนโตรเจน คุณภาพเมล็ดทางกายภาพ คุณภาพการสี คุณภาพเมล็ดทางเคมี คุณภาพการหุงต้มและรับประทาน และการยอมรับของเกษตรกร ได้พันธุ์ กข89 (นุ่มบ้านสร้าง) เป็นข้าวที่สามารถยืดปล้องขึ้นน้ำได้ดี ปริมาณอมิโลสต่ำ (15.32%) ความคงตัวแป้งสุกอ่อน การยืดของข้าวสุกปกติ ข้าวหุงสุกสีขาวนวลค่อนข้างเหนียวนุ่ม ไม่มีกลิ่นหอม และ สุภาพร และคณะ (2565) ดำเนินการผสมพันธุ์ข้าวระหว่างพันธุ์ กข7 ซึ่งเป็นข้าวที่มีอมิโลสปานกลาง ลักษณะข้าวสุกร่วน กับพันธุ์ NP847 ปลูกคัดเลือกแบบบันทึกประวัติ ศึกษาวิจัยปรับปรุงพันธุ์ตามขั้นตอน คือ การศึกษาพันธุ์ การเปรียบเทียบผลผลิต ความต้านทานต่อโรคและแมลงศัตรูข้าว การตอบสนองต่อปุ๋ยไนโตรเจน คุณภาพเมล็ดทางกายภาพ คุณภาพการสี คุณภาพเมล็ดทางเคมี คุณภาพการหุงต้มและรับประทาน และการยอมรับของเกษตรกร ได้พันธุ์ กข 101 (ทุ่งหลวงรังสิต) ที่มีปริมาณอมิโลสปานกลาง ไม่ไวต่อช่วงแสง ผลผลิตสูง คุณภาพข้าวสุกค่อนข้างนุ่ม ไม่เหนียว ไม่ร่วน เพื่อใช้ปลูกในนาชลประทานได้หลากหลายพื้นที่

Ref. code: 25676509032568NOH

บทที่ 3
วิธีการวิจัย

3.1 การวางแผนการทดลอง

วางแผนการทดลองแบบบล็อกสุ่มสมบูรณ์ (randomized complete block design; RCBD) จำนวน 3 ซ้ำ ทำการศึกษาในข้าว 12 สายพันธุ์/พันธุ์ ประกอบด้วย 1) สายพันธุ์ข้าวเจ้าที่คัดเลือกจากโครงการปรับปรุงพันธุ์ข้าวของสถานีวิจัยรวมใจพัฒนาความรู้ จำนวน 10 สายพันธุ์ (DS24-Inter-1 ถึง 10) และ 2) พันธุ์เปรียบเทียบ จำนวน 2 พันธุ์ ได้แก่ กข85 หรือ RD85 (ข้าวพื้นแข็ง) และ RJP233088 (ข้าวพื้นนุ่ม) (ตารางที่ 3.1) ปลูกทดสอบ จำนวน 3 พื้นที่ ได้แก่

1) สถานีวิจัยรวมใจพัฒนาความรู้ อำเภอคลองหลวง จังหวัดปทุมธานี ทำการปลูกทดสอบระหว่างเดือนกุมภาพันธ์ - พฤษภาคม พ.ศ. 2567

2) แปลงเกษตรกร อำเภอเมืองชัยนาท จังหวัดชัยนาท ทำการปลูกทดสอบระหว่างเดือนกุมภาพันธ์ - พฤษภาคม พ.ศ. 2567

3) แปลงเกษตรกร อำเภอหนองหญ้าไซ จังหวัดสุพรรณบุรี ทำการปลูกทดสอบระหว่างเดือนมีนาคม - มิถุนายน พ.ศ. 2567

3.2 ขั้นตอนการดำเนินการปลูกและดูแลรักษา

นำเมล็ดพันธุ์ข้าวมาเพาะกล้า เมื่อต้นกล้าอายุประมาณ 20-25 วัน ถอนต้นกล้าไปปักดำแบบต้นเดียว ระยะปักดำ 25x25 เซนติเมตร จำนวน 7 แถว ๆ ละ 40 ต้น ต่อสายพันธุ์/พันธุ์ ใส่ปุ๋ยครั้งที่ 1 ในวันปักดำ ใช้ปุ๋ยเคมีสูตร 16-20-0 อัตรา 35 กิโลกรัมต่อไร่ ใส่ปุ๋ยครั้งที่ 2 ในระยะสร้างรวงอ่อน ใช้ปุ๋ยเคมีสูตร 46-0-0 อัตรา 20 กิโลกรัมต่อไร่ รักษาระดับน้ำตลอดช่วงทำการทดลอง และหลังปลูก มีการกำจัดวัชพืชด้วยวิธีการฉีดยาคุมวัชพืชตามคำแนะนำในการปฏิบัติทางการเกษตรที่ดีสำหรับข้าวของสำนักงานมาตรฐานสินค้าเกษตรและอาหารแห่งชาติ (กระทรวงเกษตรและสหกรณ์, 2551)

Ref. code: 25676509032568NOH

ตารางที่ 3.1 ข้าวเจ้าสายพันธุ์ก้าวหน้า และพันธุ์เปรียบเทียบที่ใช้ในการศึกษา

ลำดับ	รหัสพันธุ์	ชั่วรุ่น	คู่ผสม	
			ลักษณะสายพันธุ์แม่	ลักษณะสายพันธุ์พ่อ
1	DS24-Inter-1	F_{11}	สายพันธุ์แม่เป็นหมัน (A-line)	สายพันธุ์ข้าวจาก IRRI
2	DS24-Inter-2	F_{11}	สายพันธุ์ที่คัดเลือกแบบหมู่ดัดแปลงจากต่างประเทศ	
3	DS24-Inter-3	F_{11}	สายพันธุ์ที่คัดเลือกแบบหมู่ดัดแปลงจากต่างประเทศ	
4	DS24-Inter-4	F_{11}	สายพันธุ์ที่คัดเลือกแบบหมู่ดัดแปลงจากต่างประเทศ	
5	DS24-Inter-5	F_{11}	สายพันธุ์ที่คัดเลือกแบบหมู่ดัดแปลงจากต่างประเทศ	
6	DS24-Inter-6	F_{11}	สายพันธุ์ที่คัดเลือกแบบหมู่ดัดแปลงจากต่างประเทศ	
7	DS24-Inter-7	F_{12}	สายพันธุ์แม่เป็นหมัน (A-line)	สายพันธุ์ปรับปรุง F_8
8	DS24-Inter-8	F_{12}	สายพันธุ์ปรับปรุง F_8	สายพันธุ์ปรับปรุง F_8
9	DS24-Inter-9	F_{11}	สายพันธุ์ปรับปรุง F_8	สายพันธุ์ปรับปรุง F_8
10	DS24-Inter-10	F_{11}	สายพันธุ์แม่เป็นหมัน (A-line)	สายพันธุ์ปรับปรุง F_8
พันธุ์เปรียบเทียบ				
11	RD85		ข้าวพื้นแข็งของกรมการข้าว	
12	RJP233088		ข้าวพื้นนุ่มของสถานีวิจัยรวมใจพัฒนาความรู้	

3.3 การบันทึกข้อมูล

3.3.1 ข้อมูลอุตุนิยมวิยา และคุณสมบัติทางกายภาพและเคมีของดิน

ข้อมูลอุตุนิยมวิทยา ข้อมูลที่ทำการบันทึก ประกอบด้วย อุณหภูมิต่ำสุด/สูงสุด (ºC) และปริมาณน้ำฝน (มิลลิเมตร) โดยรวบรวมจากสถานีอุตุนิยมวิทยาที่อยู่ใกล้สถานที่ปลูกทดสอบ และคุณสมบัติทางกายภาพและเคมีของดิน ได้แก่ ค่าความเป็นกรด-ด่าง (pH) ค่าการนำไฟฟ้า (EC) ปริมาณอินทรียวัตถุ (organic matter) ปริมาณไนโตรเจนทั้งหมด ฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์ โพแทสเซียม แคลเซียม แมกนีเซียมที่แลกเปลี่ยนได้ และเนื้อดิน (texture) โดยเก็บตัวอย่างดินที่ระดับความลึก 0-30 เซนติเมตร หลังจากการเก็บเกี่ยว และส่งตัวอย่างดินไปวิเคราะห์ที่ภาควิชาพืชศาสตร์และปฐพีศาสตร์ คณะเกษตรศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่

Ref. code: 25676509032568NOH

3.3.2 ลักษณะทางการเกษตร องค์ประกอบผลผลิต และผลผลิต บันทึกข้อมูล ตามวิธีการของสุชาวดี (2555) และไวพจน์ และคณะ (2558) ดังนี้

1) อายุวันออกดอก บันทึกจำนวนวันเริ่มตั้งแต่แช่เมล็ดพันธุ์ไปจนถึงวันที่ต้นข้าวในแปลงย่อยแต่ละแปลงออกดอก 50% ของจำนวนกอทั้งหมดในแปลงย่อย

2) วันเก็บเกี่ยว บันทึกวันที่เก็บเกี่ยวผลผลิตเมื่อข้าวสุกแก่เต็มที่ คือ ประมาณ 90-110 วันหลังเพาะ

3) การแตกกอ บันทึกการแตกกอจากการนับจำนวนหน่อต่อกอ จำนวน 10 กอต่อแปลงย่อย ในระยะที่ข้าวแตกกอเต็มที่ คือ ประมาณ 60 วันหลังเพาะกล้า

4) จำนวนรวงต่อกอ และความสูงต้น (เซนติเมตร) สุ่มกอที่จะวัด จำนวน 5 จุด จุดละ 2 กอติดกัน กอที่ 1 ในแต่ละจุด ให้นับจำนวนรวงต่อกอ กอที่ 2 นับจำนวนรวงต่อกอและวัดความสูงของต้นด้วย โดยวัดความสูงจากระดับผิวดินถึงปลายรวง ซึ่งจะได้ข้อมูลจำนวนรวงต่อกอจาก 10 กอ และความสูงของต้นจาก 5 กอ แล้วหาค่าเฉลี่ย

5) จำนวนเมล็ดดีต่อรวง และน้ำหนัก 100 เมล็ด (กรัม) สุ่มเก็บตัวอย่าง จำนวน 10 กอ เก็บเกี่ยวรวงยอด หรือรวงจากต้นหลักแยกใส่ถุงไว้ แล้วนำไปนับเมล็ดจำนวน 10 รวง/ซ้ำ และชั่งน้ำหนักแยกกันแล้วคำนวณหาน้ำหนักเมล็ด

6) ผลผลิตต่อไร่ เก็บเกี่ยวจาก 4 แถวกลาง ยกเว้นแถวข้างด้านละ 1 แถว และกอที่อยู่หัวท้ายของแต่ละแถว เก็บผลผลิตรวมไว้ในถุงตาข่าย แล้วนำไปตากเพื่อลดความชื้น นวดและทำความสะอาดเมล็ดเพื่อชั่งน้ำหนักสำหรับเปรียบเทียบผลผลิต โดยเก็บเกี่ยวข้าว 2 ตารางเมตร จากนั้นนำมาเทียบเป็นผลผลิตกิโลกรัมต่อไร่ โดยผลผลิต/ไร่ คำนวณจากสูตร

ผลผลิต (กก./ไร่) = น้ำหนักข้าวจาก 2 ตารางเมตร ×800

3.3.3 ลักษณะทางกายภาพของเมล็ด

1) ลักษณะทางกายภาพของเมล็ด สุ่มเมล็ดข้าวจำนวน 3 ซ้ำ ซ้ำละ 100 เมล็ด บันทึกลักษณะสีข้าวเปลือก วัดความยาวและความกว้างของเมล็ดข้าวเปลือก จำนวน 10 เมล็ด/สายพันธุ์ (มิลลิเมตร) ชั่งน้ำหนัก 100 เมล็ด (กรัม) จากนั้นนำข้าวเปลือกไปกะเทาะ เพื่อแยกส่วนของแกลบออก สิ่งที่ได้จากการกะเทาะเปลือก คือ ข้าวกล้อง บันทึกสีข้าวกล้อง ชั่งน้ำหนักเมล็ดข้าวกล้อง 100 เมล็ด (กรัม) วัดความยาว และความกว้าง (มิลลิเมตร) ของข้าวกล้อง จำนวน 10 เมล็ด/สายพันธุ์ จำแนกรูปร่างเมล็ดจากอัตราส่วนความยาวต่อความกว้างของข้าวเปลือก และจำแนกชั้นของเมล็ดตามความยาวของข้าวกล้อง

Ref. code: 25676509032568NOH

2) ลักษณะท้องไข่ สุ่มเมล็ดข้าวสารเต็มเมล็ด จำนวน 3 ซ้ำ ซ้ำละ 100 เมล็ด นำเมล็ดข้าวสารวางบน light box แล้วเปิดไฟเพื่อดูลักษณะท้องไข่ แล้วแยกเมล็ดข้าวท้องไข่ออกเป็น 6 ระดับและนับจำนวนเมล็ดข้าวท้องไข่แต่ละระดับ เป็นระดับคะแนน 0-5 เพื่อคำนวณค่าการเป็นท้องไข่ตามวิธีการของงามชื่น (2547)

3) คุณภาพการสี นำตัวอย่างจำนวน 3 ซ้ำ ซ้ำละ 150 กรัม นำข้าวเปลือกไปกะเทาะ ชั่งน้ำหนักข้าวกล้องที่ผ่านการกะเทาะ จากนั้นนำไปขัดขาวด้วยเครื่องขัดเมล็ดข้าวนาน 30 วินาที ชั่งน้ำหนักข้าวสาร และนำข้าวสารที่ผ่านการขัดขาวไปคัดแยกเมล็ด ชั่งน้ำหนักข้าวเต็มเมล็ดและต้นข้าว และนำไปคำนวณหาคุณภาพการสี (Rather et al., 2016) โดยใช้สูตร

$$\text{คุณภาพการสี} = \frac{\text{น้ำหนักต้นข้าวเต็มเมล็ด (whole kernel) และต้นข้าว (head rice)}}{\text{น้ำหนักข้าวเปลือกทั้งหมด}} \times 100$$

คุณภาพการสีจำแนกตามเปอร์เซ็นต์ข้าวเต็มเมล็ดและต้นข้าว ได้ 4 ระดับ

1) มากกว่า 50% คุณภาพการสีดีมาก

2) 40 – 50% คุณภาพการสีดี

3) 31 – 39% คุณภาพการสีปานกลาง

4) น้อยกว่า 30% คุณภาพการสีต่ำ

3.3.4 ลักษณะทางเคมีกายภาพที่เกี่ยวข้องกับคุณภาพการหุงต้มและรับประทาน

3.3.4.1 ปริมาณอมิโลส (amylose content)

ตามวิธีการของงามชื่น (2547) โดยทดสอบจำนวนตัวอย่างละ 3 ซ้ำ ชั่งแป้งข้าวที่บดละเอียด 0.1 กรัม ใส่ในขวดแก้วขนาด 100 มิลลิลิตร เติมเอทานอล 1 มิลลิลิตร และสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ความเข้มข้น 2 N ปริมาตร 9 มิลลิลิตร จากนั้นปั่นกวนด้วยเครื่องปั่นระบบแม่เหล็กนาน 10 นาที แล้วปรับปริมาตรด้วยน้ำกลั่นให้ได้ 100 มิลลิลิตร นำสารละลายแป้งมาทำปฏิกิริยาให้เกิดสี อ่านค่าความเข้มของสีสารละลายด้วยเครื่องสเปกโตรโฟโตมิเตอร์ (รุ่น V-5800 ยี่ห้อ METASH ประเทศจีน) ความยาวคลื่น 620 นาโนเมตร เปรียบเทียบกับค่าของกราฟมาตรฐาน (standard curve) และจัดประเภทข้าวตามปริมาณอมิโลส ดังในตารางที่ 3.2 (งามชื่น, 2547)

Ref. code: 25676509032568NOH

ตารางที่ 3.2 การแบ่งประเภทข้าวตามปริมาณอมิโลสในข้าว

ประเภทข้าว	ปริมาณอมิโลส (%)	ลักษณะข้าวสุก
ข้าวเหนียว	0-2	เหนียวมาก
ข้าวเจ้าอมิโลสต่ำ	10-19	เหนียว-นุ่ม
ข้าวเจ้าอมิโลสปานกลาง	20-25	ค่อนข้างร่วนไม่แข็ง
ข้าวเจ้าอมิโลสสูง	26-34	ร่วน แข็ง

ที่มา: งามชื่น (2547)

3.3.4.2 อุณหภูมิแป้งสุก (gelatinization temperature)

ประเมินจากค่าการสลายเมล็ดในด่าง (alkali spreading test) ตามวิธีการของอรอนงค์ (2550) นำเมล็ดข้าวสารจำนวน 10 เมล็ด จำนวนตัวอย่างละ 3 ซ้ำ วางลงในถาดพลาสติก (petri dish) บนพื้นสีเข้ม เติมสารละลายด่าง KOH ความเข้มข้น 1.7% ปริมาตร 25 มิลลิลิตร (ให้ข้าวสารทั้งเมล็ดจมอยู่ในสารละลาย) ปิดฝาและทิ้งไว้ 23 ชั่วโมง หลังจากนั้น ทำการให้คะแนนค่าการสลายตัวในด่างของเมล็ดด้วยคะแนน 1-7 ซึ่งมีระดับการสลายตัวในด่างที่สามารถแปรผลเป็นระดับอุณหภูมิแป้งสุกได้ ดังตารางที่ 3.3

ตารางที่ 3.3 ระดับของอุณหภูมิแป้งสุก

อุณหภูมิแป้งสุก (°C)	ระดับ	ค่าการสลายเมล็ดในด่าง	ระยะเวลาในการหุง (นาที)
ต่ำกว่า 70	ต่ำ	6-7	12-16
70-74	ปานกลาง	4-5	16-24
มากกว่า 75	สูง	1-3	มากกว่า 24

ที่มา: อรอนงค์ (2550)

3.3.4.3 ความคงตัวแป้งสุก (gel consistency)

ตามวิธีการของอรอนงค์ (2550) ทดสอบโดยชั่งแป้งข้าวที่บดละเอียด 0.1 กรัม ใส่ในหลอดทดลองขนาด 13 x 100 มิลลิเมตร จำนวนตัวอย่างละ 3 ซ้ำ จากนั้นเติมไทมอลบลูความเข้มข้น 0.025% ที่ละลายในเอทานอลความเข้มข้น 95% ปริมาตร 0.2 มิลลิลิตร และเติมโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ความเข้มข้น 0.2 N ปริมาตร 2 มิลลิลิตร แล้วนำไปปั่นให้เข้ากันโดยใช้เครื่อง

Ref. code: 25676509032568NOH

เขย่าสาร นานประมาณ 8-10 วินาที เพื่อให้แป้งลอยตัว แล้วต้มหลอดทดลองในอ่างน้ำควบคุมอุณหภูมิ (100 °C) ปิดปากหลอดทดลองด้วยลูกแก้วต้มนาน 8 นาที (ต้มทีละหลอดตามลำดับ เพื่อป้องกันไม่ให้แป้งเกิดการนอนที่ก้นหลอด) จนน้ำแป้งในหลอดขึ้นสูง 2/3 ของหลอด เมื่อครบ 8 นาที นำขึ้นจากน้ำเดือดแล้วนำไปปั่นนาน 15 วินาที แช่ในน้ำเย็นจัดที่มีน้ำแข็งนาน 20 นาที นำไปวางในแนวราบบนกระดาษกราฟที่มีช่องแบ่งละเอียดถึง 1 มิลลิเมตร นาน 30 นาที จากนั้นวัดค่าระยะทางที่แป้งไหลและนำค่าที่ได้มาจำแนกประเภทตามค่าความคงตัวแป้งสุกเป็น 3 ประเภท คือ

1) ความคงตัวแป้งสุกแข็งระยะทางไหล 26-40 มิลลิเมตร

2) ความคงตัวแป้งสุกปานกลางระยะทางไหล 41-60 มิลลิเมตร

3) ความคงตัวแป้งสุกอ่อนระยะทางไหล 61-100 มิลลิเมตร

3.3.4.4 การยืดตัวของเมล็ดข้าวสุก

ตามวิธีการของงามชื่น (2547) สุ่มเมล็ดข้าวสารเต็มเมล็ด 20 เมล็ด วัดความยาว 10 เมล็ด หาค่าเฉลี่ย โดยนำข้าวสาร 20 เมล็ดใส่ในตะแกรง แช่ในน้ำนาน 30 นาที แล้วต้มในน้ำเดือด 10 นาที ยกตะแกรงให้สะเด็ดน้ำ แล้วแช่ในน้ำเย็นจัดที่มีน้ำแข็งนาน 30 นาที เพื่อไม่ให้เมล็ดข้าวสุกขยายตัวเพิ่มมากขึ้น เทข้าวลงจานพลาสติกที่มีฝาปิด เลือกเมล็ดที่มีลักษณะตรง เมล็ดไม่หัก จำนวน 10 เมล็ด วัดความยาว คำนวณหาอัตราการยืดตัวของข้าว ดังสูตร

$$\text{อัตราการยืดตัวของข้าว (เซนติเมตร)} = \frac{\text{ความยาวเฉลี่ยข้าวสุก}}{\text{ความยาวเฉลี่ยข้าวสาร}}$$

3.3.4.5 คุณสมบัติความหนืด

วิเคราะห์ความหนืดของน้ำแป้ง ด้วยเครื่อง rapid visco analyzer (RVA) (รุ่น TecMaster ยี่ห้อ Perten ประเทศออสเตรเลีย) ตามวิธีของ Li et al. (2021) โดยเตรียมตัวอย่างน้ำแป้งความเข้มข้น 1% (w/v) ในน้ำกลั่น ใส่ลงในกระบอก กำหนดสภาวะของเครื่อง RVA ในการทดสอบ โดยใช้ใบพัดกวนแป้งที่หมุนด้วยความเร็ว ดังนี้ วินาทีที่ 0-10 หมุนด้วยความเร็ว 960 รอบต่อนาที หลังจากนั้นหมุนด้วยความเร็ว 160 รอบต่อนาที จนเสร็จสิ้นเวลาทดสอบและกำหนดอุณหภูมิในการทดสอบ ดังนี้ อุณหภูมิเริ่มต้น 50°C คงที่นาน 1 นาที จากนั้นให้อุณหภูมิเพิ่มขึ้นถึง 95°C ในเวลา 3.48 นาที และอุณหภูมิคงที่ 95°C นาน 2.7 นาที อุณหภูมิลดลงให้เหลือ 50°C ในเวลา 3.88 นาที และคงที่ไว้ที่อุณหภูมิสุดท้าย 50°C คงที่นาน 2 นาที หน่วยของความหนืด เรียกว่า RVU (Rapid Visco Unit)

Ref. code: 25676509032568NOH

3.3.4.6 ความแข็งและความเหนียวของข้าวสุก

ด้วยเครื่อง texture analyzer (รุ่น TA-XT plus ยี่ห้อ Stable Micro Systems ประเทศอังกฤษ) ตามวิธีการของสวนีย์ และนันทวัน (2558) และ Tao et al. (2020) ใช้ข้าวสาร 100 กรัม หุงในอัตราส่วน ข้าว:น้ำ เท่ากับ 1:1.8 จากนั้นวางตัวอย่างข้าวหุงสุกจำนวน 5 เมล็ดลงบนฐาน และใช้ Probe P/100 เส้นผ่านศูนย์กลาง 10 เซนติเมตร และกำหนด pre-test speed 1.0 mm/s, test และ post-test speed 0.5 mm/s และบันทึกค่าความแข็ง (hardness) และค่าความเหนียว (stickiness) ของข้าวแต่ละสายพันธุ์

3.4 การวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติ (statistical analysis)

3.4.1 วิเคราะห์ความแปรปรวน (Analysis of Variance)

วิเคราะห์ความแปรปรวนของลักษณะเชิงปริมาณตามแผนการทดลองแบบ RCBD แล้วทำการเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยของลักษณะทางการเกษตร องค์ประกอบผลผลิต และผลผลิต โดยวิธี least significant different (LSD) ที่ระดับความเชื่อมั่น 95% ด้วยโปรแกรม Statistix (version 10.0) ซึ่งมี model ของแผนการทดลองแบบ RCBD (Gomez and Gomez, 1984) ดังนี้

$$Y_{ij} = \mu + R_j + G_i + E_{ij}$$

โดยที่ i = จำนวนพันธุ์

j = จำนวนซ้ำ

Y_{ij} = ค่าสังเกตที่วัดได้ของพันธุ์ที่ i ซ้ำที่ j

μ = ค่าเฉลี่ยของประชากร

R_j = อิทธิพลของการสุ่มซ้ำที่ j

G_i = อิทธิพลของพันธุ์ที่ i

E_{ij} = ค่าความคลาดเคลื่อนของพันธุ์ที่ i ซ้ำที่ j

3.4.2 วิเคราะห์ความเป็นเอกภาพของข้อมูล (Homogeneity)

วิเคราะห์ความเป็นเอกภาพก่อนการวิเคราะห์ความแปรปรวนรวม เพื่อจัดกลุ่มการทดลองที่มีค่าความแปรปรวนของความคลาดเคลื่อน (error mean square) ของทั้ง 3 สถานที่ ถ้าแตกต่างกันไม่เกิน 3 เท่า ถือว่าเป็นเอกภาพ จึงจะสามารถดำเนินการวิเคราะห์การทดลองทั้ง 3 สถานที่ร่วมกันได้ โดยใช้สูตรคำนวณ ดังนี้

F = larger error mean square/smaller error mean square

Ref. code: 25676509032568NOH

3.4.3 วิเคราะห์ความแปรปรวนรวมของ 3 สถานที่

โดยใช้โปรแกรม Statistix (version 10.0) ซึ่งมี model ของแผนการทดลองแบบ RCBD (Gomez and Gomez, 1984) ดังนี้

$$Y_{ij} = \mu + E_k + R_{j/k} + T^i + (ET)_{ik} + E_{ijk}$$

โดยที่ I = จำนวนพันธุ์

j = จำนวนซ้ำ

k = จำนวนสถานที่

Y_{ij} = ค่าสังเกตที่วัดได้ของพันธุ์ที่ I ซ้ำที่ j ในสถานที่ที่ k

μ = ค่าเฉลี่ยทั้งหมดทุกสภาพแวดล้อม

E_k = อิทธิพลของสภาพแวดล้อมที่ k

$R_{j/k}$ = อิทธิพลโดยสุ่มของซ้ำที่ j ในสถานที่ที่ k

T_i = อิทธิพลของพันธุ์ที่ i

$(ET)_{ik}$ = อิทธิพลของปฏิกิริยาสัมพันธ์ระหว่างพันธุ์ที่ I ในสถานที่ที่ k

E_{ijk} = ค่าความคลาดเคลื่อนของพันธุ์ที่ I ซ้ำที่ j ในสถานที่ที่ k กำหนดให้พันธุ์ (i) เป็นอิทธิพลคงที่ (fixed effect) สถานที่ปลูก (k) และซ้ำ (j) เป็นอิทธิพลสุ่ม (random effect) โดยมีตารางความแปรปรวน ดังแสดงในตารางที่ 3.4

ตารางที่ 3.4 การวิเคราะห์ความแปรปรวนรวมตามแผนการทดลองแบบ RCBD ใน 3 สถานที่

Source of variation	df	MS	EMS
location (L)	(l-1)	M_1	$\boldsymbol{\sigma}^2_e + v\boldsymbol{\sigma}^2_{r/l} + rv\boldsymbol{\sigma}^2_e$
replication/L	l(r-1)	M_2	$\boldsymbol{\sigma}^2_e + v\boldsymbol{\sigma}^2_{r/l}$
genotypes (G)	(g-1)	M_3	$\boldsymbol{\sigma}^2_e + rlK^2_g$
L x G	(l-1)(g-1)	M_4	$\boldsymbol{\sigma}^2_e + rK^2_{lg}$
pooled error	l(r-1)(g-1)	M_5	$\boldsymbol{\sigma}^2_e$
total	lrg-1		

ที่มา: ดัดแปลงจาก Gomez and Gomez (1984)

Ref. code: 25676509032568NOH

เมื่อ L = สถานที่ปลูก

R = จำนวนซ้ำ

G = จำนวนพันธุ์

σ^2_e = variance component of error

$\sigma^2_{r/s}$ = variance component due to replication

σ^2_l = variance component due to location

K^2_{lg} = variance component of location and genotypes interaction

K^2_g = $\sum (T_i-T)^2/(G-1)$ เมื่อ Ti เป็น อิทธิพลของพันธุ์ที่ i และ T เป็นค่าเฉลี่ยของประชากร

3.4.4 การวิเคราะห์สหสัมพันธ์ของลักษณะ

โดยคำนวณได้จากสูตร (Gomez and Gomez, 1984) ดังนี้

$$r = \frac{\sum xy}{\sqrt{(\sum x^2)(\sum y^2)}}$$

เมื่อ $\sum x^2 = \sum(X_i-X)^2$

$\sum y^2 = \sum(\bar{Y}_i-Y)^2$

$\sum xy = \sum(X_i-\bar{X})(Y_i-\bar{Y})$

X_i, Y_i = ค่าสังเกต x และ y ในสายพันธุ์/พันธุ์ที่ i

$\bar{X}, \bar{Y}$ = ค่าเฉลี่ยของ x และ y

3.4.5 การประเมินเสถียรภาพสายพันธุ์โดย GGE-biplot

เป็นวิธีการที่ใช้ในการวิเคราะห์ข้อมูลที่มีการเปรียบเทียบสายพันธุ์ในสภาพแวดล้อมที่แตกต่างกัน และช่วยในการประเมินเสถียรภาพของสายพันธุ์ในแต่ละสภาพแวดล้อม เป็นวิธีการที่พัฒนาโดย Yan et al. (2000) การคำนวณ Genotype main effect (G) และ Genotype × Environment interaction effect (GE) ในการศึกษาครั้งนี้ใช้โปรแกรม R packages (version 3.5.1 2018)

Ref. code: 25676509032568NOH

3.5 สถานที่ทำการทดลอง

1) ห้องปฏิบัติการ สาขาวิชาเทคโนโลยีการเกษตร คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์ ศูนย์รังสิต

2) สถานีวิจัยรวมใจพัฒนาความรู้ อำเภอคลองหลวง จังหวัดปทุมธานี

3) แปลงเกษตรกร อำเภอหนองหญ้าไซ จังหวัดสุพรรณบุรี

4) แปลงเกษตรกร อำเภอเมืองชัยนาท จังหวัดชัยนาท

3.6 ระยะเวลาในการทดลอง

เวลาในการดำเนินการทดลอง 2 ปี เริ่มตั้งแต่ เดือนสิงหาคม พ.ศ. 2566 ถึงเดือน มีนาคม พ.ศ. 2568

Ref. code: 25676509032568NOH

บทที่ 4
ผลการวิจัยและอภิปรายผล

4.1 ข้อมูลอุตุนิยมวิทยา และคุณสมบัติทางกายภาพและเคมีของดิน

ข้อมูลสภาพภูมิอากาศและคุณสมบัติของดินของพื้นที่ปลูกทดสอบ 3 สถานที่ มีรายละเอียดดังนี้

4.1.1 ข้อมูลอุตุนิยมวิทยา

อุณหภูมิเฉลี่ยต่ำสุด-สูงสุด และปริมาณน้ำฝนสะสมตลอดฤดูปลูกข้าวทั้ง 3 สถานที่ แสดงในตารางที่ 4.1 โดยแปลงทดสอบปทุมธานี มีอุณหภูมิเฉลี่ยสูงสุด-ต่ำสุด เท่ากับ 27.95 และ 36.44°C ตามลำดับ ปริมาณน้ำฝนสะสมตลอดฤดูปลูกข้าว เท่ากับ 153.40 มิลลิเมตร แปลงทดสอบชัยนาท มีอุณหภูมิเฉลี่ยต่ำสุด-สูงสุด เท่ากับ 25.85 และ 36.13°C ตามลำดับ ปริมาณน้ำฝนสะสมตลอดฤดูปลูกข้าว เท่ากับ 188.40 มิลลิเมตร และแปลงทดสอบสุพรรณบุรี มีอุณหภูมิเฉลี่ยต่ำสุด-สูงสุด เท่ากับ 27.28 และ 36.70°C ตามลำดับ ปริมาณน้ำฝนสะสมตลอดฤดูปลูกข้าว เท่ากับ 274.50 มิลลิเมตร

ตารางที่ 4.1 ข้อมูลสภาพอากาศของสถานที่ปลูกทดสอบระหว่างเดือนระหว่างเดือนกุมภาพันธ์-มิถุนายน พ.ศ. 2567

สภาพอากาศ	สถานที่ปลูกทดสอบ		
	ปทุมธานี	ชัยนาท	สุพรรณบุรี
1) อุณหภูมิเฉลี่ยต่ำสุด (°C)	27.95	25.85	27.28
2) อุณหภูมิเฉลี่ยสูงสุด (°C)	36.44	36.13	36.70
3) ปริมาณน้ำฝนรวมตลอดฤดูปลูก (มิลลิเมตร)	153.40	188.40	274.50

4.1.2 คุณสมบัติทางกายภาพและเคมีของดิน

จากการวิเคราะห์คุณสมบัติของดินในแต่ละสถานที่ทดสอบ พบว่า ทุกแปลงทดสอบมีค่าความเป็นกรด-ด่างเป็นกลาง และค่าการนำไฟฟ้าอยู่ในระดับต่ำ ลักษณะเนื้อดินของแปลงทดสอบสุพรรณบุรีเป็นดินร่วนปนทราย ในขณะที่ลักษณะดินของแปลงทดสอบปทุมธานีและชัยนาท

Ref. code: 25676509032568NOH

เป็นดินเหนียว และดินร่วนเหนียวปนทรายแป้ง ตามลำดับ นอกจากนี้ ดินที่แปลงทดสอบสุพรรณบุรียังมีปริมาณอินทรียวัตถุ และปริมาณไนโตรเจนทั้งหมดต่ำที่สุด อย่างไรก็ตาม ปริมาณฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์อยู่ในระดับที่สูงมาก ขณะที่แปลงทดสอบอื่นธาตุอาหารดังกล่าวอยู่ในระดับต่ำ ส่วนที่แปลงทดสอบปทุมธานี มีโพแทสเซียม แคลเซียมและแมกนีเซียมที่แลกเปลี่ยนได้อยู่ในระดับสูง ขณะที่แปลงทดสอบอื่น ๆ มีปริมาณธาตุอาหารเหล่านี้อยู่ในระดับปานกลาง (ตารางที่ 4.2)

ตารางที่ 4.2 คุณสมบัติทางกายภาพและเคมีของดินของสถานที่ปลูกทดสอบ

รายการ	สถานที่ปลูกทดสอบ		
	ปทุมธานี	ชัยนาท	สุพรรณบุรี
ความเป็นกรด – ด่าง (pH)	6.62	6.44	6.48
ค่าการนำไฟฟ้า (EC) (dS/m)	2.68	1.04	2.00
อินทรียวัตถุ (OM, %)	2.90	3.80	1.47
ไนโตรเจนทั้งหมด (Total N, %)	0.17 (สูง)[1/]	0.18 (สูง)	0.07 (ต่ำ)
ฟอสฟอรัส (mg/kg)	3.81 (ต่ำ)	7.28 (ต่ำ)	70.50 (สูงมาก)
โพแทสเซียม (mg/kg)	317.50 (สูงมาก)	74.90 (ปานกลาง)	112.00 (สูง)
แคลเซียม (mg/kg)	3,416 (สูง)	1,798 (ปานกลาง)	1,202 (ปานกลาง)
แมกนีซียม (mg/kg)	682.90 (สูง)	246.00 (ปานกลาง)	153.80 (ปานกลาง)
เนื้อดิน (Texture)	Clay	Silty clay loam	Sandy loam

[1/] เกณฑ์ตามตารางผนวกที่ ข.1

4.2 ความแปรปรวนรวมของข้าวเจ้าสายพันธุ์ก้าวหน้าและพันธุ์เปรียบเทียบ

จากการวิเคราะห์ความเป็นเอกภาพของลักษณะที่ทำการศึกษา พบว่า ความแปรปรวนของแต่ละสถานที่ปลูกทดสอบเป็นเอกภาพกัน จึงทำการวิเคราะห์ความแปรปรวนรวมของลักษณะทางการเกษตร องค์ประกอบผลผลิต ผลผลิต ลักษณะทางกายภาพของเมล็ด และเคมีกายภาพ จำนวน 21 ลักษณะ ของข้าวเจ้าสายพันธุ์ก้าวหน้าจำนวน 10 สายพันธุ์ ร่วมกับพันธุ์เปรียบเทียบ 2 พันธุ์ พบว่า สถานที่ปลูก (location) สายพันธุ์ (line) มีอิทธิพลต่อทุกลักษณะที่ทำการศึกษา (ตารางที่ 4.3) ยกเว้น สถานที่ปลูกไม่มีอิทธิพลต่อจำนวนรวงต่อกอ นอกจากนี้ ความแปรปรวนของความสูงต้น จำนวนเมล็ดต่อรวง จำนวนเมล็ดดีต่อรวง น้ำหนัก 100 เมล็ด ขนาดเมล็ด ลักษณะท้องไข่ คุณภาพการสี ปริมาณอมิโลส ความคงตัวแป้งสุก อุณหภูมิแป้งสุก คุณสมบัติความหนืด ความแข็งและความ

Ref. code: 25676509032568NOH

เหนียวของข้าวสุกเกิดจากอิทธิพลของสายพันธุ์สูงสุด (คิดเป็น 32.55-94.30% ของความแปรปรวนทั้งหมด) ขณะที่ ความแปรปรวนของผลผลิต และการยืดตัวของเมล็ดเกิดจากอิทธิพลของสถานที่ปลูกสูงสุด (คิดเป็น 53.02 และ 46.59% ของความแปรปรวนทั้งหมด) จากการศึกษาแสดงให้เห็นว่าอิทธิพลของสายพันธุ์มีผลกระทบที่สำคัญต่อการแสดงออกของลักษณะส่วนใหญ่ที่ทำการศึกษา โดยความหลากหลายทางพันธุกรรมของสายพันธุ์ส่งผลให้ความสามารถในการเจริญเติบโต การปรับตัวต่อสภาพแวดล้อม และการสะสมอาหารที่แตกต่างกัน จึงมีผลต่อลักษณะทางเกษตร องค์ประกอบผลผลิต และคุณภาพด้านต่าง ๆ เช่น ความสูง จำนวนรวง จำนวนเมล็ด ขนาดของเมล็ด และคุณภาพการหุงต้มและรับประทาน (ครุปกรณ์ และ อรุณรัศมี, 2562; Sarkar et al., 2014) ซึ่งสายพันธุ์ข้าวที่มีลักษณะพันธุกรรมดีจะส่งผลให้การเจริญเติบโตและผลผลิตของข้าวมีคุณภาพสูงขึ้น อย่างไรก็ตามสภาพภูมิอากาศ และคุณสมบัติทางกายภาพและเคมีของดิน ส่งผลให้เกิดความแปรปรวนในการให้ผลผลิตของข้าวที่ทำการทดสอบได้เช่นเดียวกัน เนื่องจาก ปัจจัยด้านสิ่งแวดล้อมมีการเปลี่ยนแปลงตลอดช่วงการเจริญเติบโตของข้าว ซึ่งส่งผลกระทบโดยตรงต่อกระบวนการทางสรีรวิทยาของข้าว การเจริญเติบโต การพัฒนาและการสร้างเมล็ด ทำให้ความสามารถในการให้ผลผลิตของข้าวเปลี่ยนแปลงไป (Jaruchai et al., 2018; Shrestha et al., 2021) นอกจากนี้ ปฏิสัมพันธ์ระหว่างสถานที่ปลูกและสายพันธุ์ (L×L interaction) มีอิทธิพลต่อทุกลักษณะด้วยเช่นกัน แสดงถึงการตอบสนองของสายพันธุ์ต่อสภาพแวดล้อมที่แตกต่างกันในแต่ละสถานที่ ลักษณะดังกล่าวของสายพันธุ์ข้าวที่ทำการทดสอบนั้นมีการเปลี่ยนแปลงไปตามสภาพแวดล้อม ส่งผลให้เกิดความคลาดเคลื่อนในการคัดเลือกพันธุ์ได้ (Lakew et al., 2014) เนื่องจาก ปฏิสัมพันธ์ระหว่างสายพันธุ์และสถานที่ส่งผลต่อเสถียรภาพของพันธุ์ สายพันธุ์ที่ให้ผลผลิตคงที่ในหลากหลายสภาพแวดล้อมถือว่ามีเสถียรภาพสูง ขณะที่สายพันธุ์ที่ให้ผลผลิตดีเฉพาะบางสภาพแวดล้อมถือว่ามีเสถียรภาพต่ำ การศึกษาปฏิสัมพันธ์นี้ช่วยเลือกพันธุ์ข้าวที่เหมาะกับแต่ละพื้นที่ เพื่อให้ได้ผลผลิตและคุณภาพตามต้องการ

Ref. code: 25676509032568NOH

ตารางที่ 4.3 ความแปรปรวนรวมในลักษณะทางการเกษตร องค์ประกอบผลผลิต ผลผลิต ลักษณะทางกายภาพและเคมีกายภาพของข้าวเจ้าสายพันธุ์ก้าวหน้าจำนวน 10 สายพันธุ์ และพันธุ์เปรียบเทียบ 2 พันธุ์ ที่ปลูกทดสอบจำนวน 3 สถานที่

df	2	11	22	66	
ลักษณะ	mean squares				C.V. (%)
	location (L)	line (L)	L×L	Error	
ความสูงต้น	2491.99**	463.13**	35.58**	11.79	3.15
	(42.17)[1/]	(43.05)	(6.62)	(6.57)	
จำนวนรวงต่อกอ	31.45[ns]	32.39**	16.85*	8.07	14.62
	(4.59)	(26.00)	(27.04)	(38.89)	
จำนวนเมล็ดต่อรวง	6,355**	11,376**	1,960**	95.10	5.91
	(6.73)	(66.66)	(22.91)	(3.44)	
จำนวนเมล็ดดี	1,686**	5,595**	2,190**	84.00	8.2
ต่อรวง	(2.73)	(51.83)	(40.59)	(4.67)	
น้ำหนัก 100 เมล็ด	0.95**	0.14**	0.04**	0.01	5.55
	(28.55)	(32.55)	(20.61)	(17.48)	
ผลผลิต	849,362**	80,133*	24,943*	1,025	5.47
	(53.02)	(27.51)	(17.13)	(0.21)	
ขนาดเมล็ด	0.53**	0.62**	0.04**	0.01	1.29
	(11.32)	(73.19)	(6.19)	(2.30)	
ลักษณะท้องไข่	9.31**	3.88**	0.68**	0.03	10.27
	(23.72)	(54.34)	(19.00)	(2.30)	
คุณภาพการสี	690.17**	792.45**	129.22**	1.83	4.39
	(10.56)	(66.71)	(21.75)	(0.92)	
ปริมาณอมิโลส	23.92**	173.41**	3.17**	1.66	6.08
	(2.23)	(88.97)	(3.25)	(5.10)	
ความคงตัวแป้งสุก	1,812**	4,373**	390.98**	161.12	15.97
	(5.06)	(67.08)	(12.00)	(14.82)	

Ref. code: 25676509032568NOH

ตารางที่ 4.3 ความแปรปรวนรวมในลักษณะทางการเกษตร องค์ประกอบผลผลิต ผลผลิต ลักษณะทางกายภาพและเคมีกายภาพของข้าวเจ้าสายพันธุ์ก้าวหน้าจำนวน 10 สายพันธุ์ และพันธุ์เปรียบเทียบ 2 พันธุ์ ที่ปลูกทดสอบจำนวน 3 สถานที่ (ต่อ)

df	2	11	22	66	
ลักษณะ	Mean Squares				C.V. (%)
	Location (L)	Line (L)	L×L	Error	
อุณหภูมิแป้งสุก	2.134**	17.34**	0.31**	0.01	1.74
	(2.11)	(94.30)	(3.32)	(0.25)	
การยืดตัวของเมล็ด	0.21**	0.01**	0.01**	0.002	2.93
	(46.59)	(12.60)	(26.71)	(13.74)	
ความหนืดสูงสุด	3,196,783**	3,804,682**	218,830**	1,893	1.44
	(12.02)	(78.67)	(9.05)	(0.23)	
การแตกตัว	580,545**	2,527,300**	102,380**	1,609	4.77
	(3.71)	(88.73)	(7.19)	(0.34)	
ความหนืดสุดท้าย	194,880**	1,444,345**	88,893**	1,537	1.06
	(2.12)	(86.50)	(10.65)	(0.55)	
การคืนตัว	215,561**	1,150,478**	37,268**	389.00	1.39
	(3.08)	(90.62)	(5.87)	(0.18)	
Peak time	0.44**	1.08**	0.13**	0.007	1.37
	(5.43)	(72.94)	(17.55)	(2.74)	
Pasting	66.29**	22.32**	8.34**	0.48	0.79
temperatures	(22.21)	(41.13)	(30.75)	(5.31)	
ความแข็ง	5,643,043**	10,980,000**	1,342,792**	345,775	9.65
	(6.08)	(65.08)	(15.92)	(12.30)	
ความเหนียว	833,289**	1,850,869**	95,024**	27,628	7.21
	(6.38)	(77.98)	(8.01)	(6.98)	

*,** มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น $p < 0.05$ และ $p < 0.01$ ตามลำดับ และ ns คือ ไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ

[1/] ตัวเลขในวงเล็บ แสดงถึงสัดส่วนความแปรปรวนต่อความแปรปรวนทั้งหมด

Ref. code: 25676509032568NOH

4.3 ลักษณะทางการเกษตร องค์ประกอบผลผลิต และผลผลิต

4.3.1 อายุออกดอกและอายุเก็บเกี่ยว

จากการปลูกทดสอบ พบว่า สายพันธุ์ก้าวหน้าทุกสายพันธุ์จัดเป็นพันธุ์ข้าวอายุสั้น (อายุเก็บเกี่ยวไม่เกิน 110 วันหลังเพาะ) (ตารางที่ 4.4) โดยพันธุ์เปรียบเทียบ RJP233088 มีอายุออกดอก 50% และมีอายุเก็บเกี่ยวเร็วที่สุดทุกสถานที่ปลูกทดสอบ (61-63 วัน และ 88-92 วัน ตามลำดับ) ส่วนสายพันธุ์ก้าวหน้าเกือบทุกสายพันธุ์ มีอายุออกดอก 50% เร็วกว่าพันธุ์เปรียบเทียบ กข85 (75-81 วัน) ทุกสถานที่ปลูกทดสอบ ยกเว้น สายพันธุ์ DS24-Inter-4 มีอายุออกดอก 50% และอายุเก็บเกี่ยวช้าสุด (76 และ 102 วัน ตามลำดับ) เท่ากับ กข85 เมื่อปลูกทดสอบที่ปทุมธานี และ DS24-Inter-9 มีอายุออกดอก 50% และอายุเก็บเกี่ยวช้าสุด (82 และ 110 วัน ตามลำดับ) มากกว่าเปรียบเทียบ กข85 เมื่อปลูกทดสอบที่ชัยนาท และเท่ากับ กข85 (81 และ 109 วัน ตามลำดับ) เมื่อปลูกทดสอบที่สุพรรณบุรี

ตารางที่ 4.4 วันออกดอก 50% และอายุเก็บเกี่ยวของข้าวเจ้าสายพันธุ์ก้าวหน้า 10 สายพันธุ์ ที่ปลูกทดสอบร่วมกับพันธุ์เปรียบเทียบ 2 พันธุ์ จำนวน 3 สถานที่

สายพันธุ์/พันธุ์	ปทุมธานี		ชัยนาท		สุพรรณบุรี	
	วันออกดอก 50%	วันเก็บเกี่ยว (วันหลังเพาะ)	วันออกดอก 50%	วันเก็บเกี่ยว (วันหลังเพาะ)	วันออกดอก 50%	วันเก็บเกี่ยว (วันหลังเพาะ)
DS24-Inter-1	68	94	66	94	67	95
DS24-Inter-2	70	96	69	97	68	96
DS24-Inter-3	71	97	70	98	73	101
DS24-Inter-4	76	102	69	97	67	95
DS24-Inter-5	66	92	64	92	69	97
DS24-Inter-6	68	94	66	94	69	97
DS24-Inter-7	65	91	66	94	69	97
DS24-Inter-8	72	98	71	99	73	101
DS24-Inter-9	72	98	82	110	81	109
DS24-Inter-10	69	95	67	95	76	104
RD85	76	102	75	103	81	109
RJP233088	62	88	61	92	63	91

Ref. code: 25676509032568NOH

4.3.2 ความสูงต้น

ความสูงต้นของข้าว 12 สายพันธุ์/พันธุ์มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติทั้ง 3 สถานที่ (ตารางที่ 4.5) ข้าวที่ปลูกทดสอบในสุพรรณบุรีมีความสูงต้นเฉลี่ยน้อยกว่าปทุมธานีและชัยนาท โดยมีจำนวน 6 สายพันธุ์ที่มีความสูงต้นเฉลี่ยจัดอยู่ในกลุ่มความสูงปานกลาง (ความสูง 110-130 เซนติเมตร) ส่วนอีก 4 สายพันธุ์ และพันธุ์เปรียบเทียบทั้งสองจัดอยู่ในกลุ่มต้นเตี้ย (ความสูง <110 เซนติเมตร) โดยการปลูกทดสอบที่ปทุมธานี มีเพียงสายพันธุ์ DS24-Inter-6 ที่จัดอยู่ในกลุ่มต้นเตี้ย ซึ่งไม่แตกต่างกับพันธุ์เปรียบเทียบ RJP233088 และ 9 สายพันธุ์อยู่ในกลุ่มความสูงปานกลาง ส่วนการปลูกทดสอบที่ชัยนาท 4 สายพันธุ์จัดอยู่ในกลุ่มต้นเตี้ยและไม่แตกต่างกับพันธุ์เปรียบเทียบ RJP233088 ขณะที่อีก 5 อยู่ในกลุ่มความสูงปานกลาง และไม่แตกต่างจากพันธุ์เปรียบเทียบ กข85 นอกจากนี้ การปลูกทดสอบที่สุพรรณบุรี มีเพียงสายพันธุ์ DS24-Inter-9 ที่อยู่ในกลุ่มปานกลาง ส่วนที่เหลืออีก 9 สายพันธุ์จัดอยู่ในกลุ่มต้นเตี้ย

ตารางที่ 4.5 ความสูงต้นของข้าวเจ้าสายพันธุ์ก้าวหน้า 10 สายพันธุ์ และพันธุ์เปรียบเทียบ 2 พันธุ์ ที่ปลูกทดสอบจำนวน 3 สถานที่

สายพันธุ์/พันธุ์	ความสูงต้น (เซนติเมตร)			ค่าเฉลี่ย
	ปทุมธานี	ชัยนาท	สุพรรณบุรี	
DS24-Inter-1	119.33 ± 3.68$^{bc\ 1/}$	118.33 ± 4.93^{b}	104.67 ± 3.79^{bc}	114.11^{bc}
DS24-Inter-2	120.13 ± 0.93^{abc}	114.17 ± 2.75^{b}	100.67 ± 3.06^{bcd}	111.66^{cd}
DS24-Inter-3	115.20 ± 5.47^{bcd}	118.17 ± 4.54^{b}	106.50 ± 4.82^{b}	113.30^{bc}
DS24-Inter-4	126.07 ± 4.47^{a}	119.00 ± 4.44^{b}	103.33 ± 1.15^{bcd}	116.13^{b}
DS24-Inter-5	116.53 ± 5.00^{bcd}	114.33 ± 1.61^{b}	102.67 ± 4.16^{bcd}	111.17^{cd}
DS24-Inter-6	104.23 ± 6.53^{e}	103.50 ± 2.18^{cd}	93.67 ± 0.58^{ef}	100.47^{f}
DS24-Inter-7	116.03 ± 3.65^{bcd}	105.00 ± 3.91^{cd}	100.00 ± 3.00^{cd}	107.00^{f}
DS24-Inter-8	120.17 ± 6.11^{abc}	108.50 ± 3.97^{c}	97.83 ± 5.39^{de}	108.83^{de}
DS24-Inter-9	121.17 ± 2.20^{ab}	125.00 ± 1.80^{a}	113.67 ± 4.16^{a}	119.95^{a}
DS24-Inter-10	111.57 ± 0.37^{d}	100.07 ± 1.10^{d}	88.67 ± 0.58^{fg}	100.10^{g}
RD85	114.47 ± 2.83^{cd}	114.50 ± 2.18^{b}	98.83 ± 3.01^{cde}	109.27^{de}
RJP233088	100.10 ± 5.63^{e}	102.00 ± 2.65^{d}	84.33 ± 1.52^{g}	95.48^{g}
ค่าเฉลี่ย	115.42$^{A\ 2/}$	111.88^{A}	99.57^{B}	
C.V. (%)	3.06	2.97	3.46	

[1/]ค่าเฉลี่ยตามแนวตั้งที่ตามหลังด้วยอักษรที่แตกต่างกันมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$) โดยวิธี LSD

[2/]ค่าเฉลี่ยตามแนวนอนที่ตามหลังด้วยอักษรที่แตกต่างกันมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$) โดยวิธี LSD

Ref. code: 25676509032568NOH

4.3.3 จำนวนรวงต่อกอ

จำนวนรวงต่อกอของข้าวแต่ละสายพันธุ์ที่ปลูกทดสอบในชัยนาทมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (ตารางที่ 4.6) โดยสายพันธุ์ก้าวหน้า 2 สายพันธุ์ ได้แก่ สายพันธุ์ DS24-Inter-4 และ DS24-Inter-10 มีจำนวนรวงต่อกอสูงสุด (27.33 และ 25.33 รวงต่อกอ ตามลำดับ) ซึ่งสูงกว่าพันธุ์เปรียบเทียบทั้งสอง คิดเป็น 32.89-39.00% ในขณะที่ การปลูกทดสอบที่ปทุมธานีและสุพรรณบุรีจำนวนรวงต่อกอไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ โดยมีค่าเฉลี่ยอยู่ในช่วง 16.00±4.36 ถึง 20.67±1.15 และ 14.33±4.51 ถึง 23.33±1.15 รวงต่อกอ ตามลำดับ

ตารางที่ 4.6 จำนวนรวงต่อกอของข้าวเจ้าสายพันธุ์ก้าวหน้า 10 สายพันธุ์ และพันธุ์เปรียบเทียบ 2 พันธุ์ ที่ปลูกทดสอบจำนวน 3 สถานที่

สายพันธุ์/พันธุ์	จำนวนรวงต่อกอ			ค่าเฉลี่ย
	ปทุมธานี	ชัยนาท	สุพรรณบุรี	
DS24-Inter-1	17.00 ± 1.73	17.67 ± 1.53^{defg}1/	16.33 ± 4.04	17.00
DS24-Inter-2	19.67 ± 2.31	22.67 ± 2.52^{bc}	16.00 ± 1.00	19.44
DS24-Inter-3	19.00 ± 1.00	21.00 ± 1.00^{cd}	17.33 ± 0.58	19.11
DS24-Inter-4	19.67 ± 4.04	27.33 ± 2.52^{a}	19.33 ± 7.57	22.11
DS24-Inter-5	20.00 ± 3.00	19.67 ± 2.52^{cdef}	14.33 ± 4.51	18.00
DS24-Inter-6	20.00 ± 1.00	21.00 ± 2.65^{cd}	23.33 ± 1.15	21.44
DS24-Inter-7	19.67 ± 5.51	21.33 ± 2.89^{cd}	20.33 ± 2.08	20.44
DS24-Inter-8	16.00 ± 4.36	15.67 ± 0.58^{g}	19.33 ± 0.58	17.00
DS24-Inter-9	17.00 ± 1.00	20.67 ± 2.31^{cde}	20.67 ± 3.06	19.44
DS24-Inter-10	19.67 ± 1.53	25.33 ± 4.51^{ab}	22.00 ± 3.46	22.33
RD85	16.67 ± 0.58	16.67 ± 0.58^{fg}	18.33 ± 2.08	17.22
RJP233088	20.67 ± 1.15	17.00 ± 2.65^{efg}	21.33 ± 1.53	19.67
ค่าเฉลี่ย	18.75	20.5	19.06	
C.V. (%)	15.17	10.9	17.52	

1/ค่าเฉลี่ยตามแนวตั้งที่ตามหลังด้วยอักษรที่แตกต่างกันมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$) โดยวิธี LSD

4.3.4 จำนวนเมล็ดต่อรวง

จำนวนเมล็ดต่อรวงของข้าว 12 สายพันธุ์/พันธุ์มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (ตารางที่ 4.7) โดยข้าวที่ปลูกในชัยนาทมีจำนวนเมล็ดต่อรวงเฉลี่ยสูงกว่าปทุมธานีและสุพรรณบุรี นอกจากนี้ สายพันธุ์ DS24-Inter-8 ให้ค่าเฉลี่ยจำนวนเมล็ดต่อรวงสูงสุด (244.33

Ref. code: 25676509032568NOH

เมล็ดต่อรวง) ซึ่งสูงกว่าพันธุ์เปรียบเทียบทั้งสอง คิดเป็น 71.85 และ 79.97% ตามลำดับ รองลงมาคือสายพันธุ์ DS24-Inter-9 และ DS24-Inter-3 (202.44 และ 188.89 เมล็ดต่อรวง ตามลำดับ)

โดยการปลูกทดสอบที่ปทุมธานี มี 6 สายพันธุ์ ที่มีจำนวนเมล็ดต่อรวงสูงกว่าพันธุ์เปรียบเทียบ กข85 และ 2 สายพันธุ์สูงกว่าพันธุ์เปรียบเทียบ RJP233088 โดยสายพันธุ์ DS24-Inter-8 มีจำนวนเมล็ดต่อรวงสูงสุด (267.67 เมล็ดต่อรวง) ส่วนการปลูกทดสอบที่ชัยนาท มี 4 สายพันธุ์ ที่มีจำนวนเมล็ดต่อรวงสูงกว่าพันธุ์เปรียบเทียบ กข85 และ 7 สายพันธุ์สูงกว่าพันธุ์ RJP233088 โดยสายพันธุ์ DS24-Inter-8 มีจำนวนเมล็ดต่อรวงสูงสุด (284.17 เมล็ดต่อรวง) นอกจากนี้ การปลูกทดสอบที่สุพรรณบุรี มี 7 สายพันธุ์ ที่มีจำนวนเมล็ดต่อรวงสูงกว่าพันธุ์เปรียบเทียบ กข85 และ 8 สายพันธุ์สูงกว่าพันธุ์เปรียบเทียบ RJP233088 โดยสายพันธุ์ DS24-Inter-5 มีจำนวนเมล็ดต่อรวงสูงสุด (209.00 เมล็ดต่อรวง)

ตารางที่ 4.7 จำนวนเมล็ดต่อรวงของข้าวเจ้าสายพันธุ์ก้าวหน้า 10 สายพันธุ์ และพันธุ์เปรียบเทียบ 2 พันธุ์ ที่ปลูกทดสอบจำนวน 3 สถานที่

สายพันธุ์/พันธุ์	จำนวนเมล็ดต่อรวง			ค่าเฉลี่ย
	ปทุมธานี	ชัยนาท	สุพรรณบุรี	
DS24-Inter-1	154.33 ± 3.51$^{de1/}$	173.33 ± 6.00^{de}	136.33 ± 6.51^{d}	154.56^{f}
DS24-Inter-2	173.67 ± 1.53^{c}	162.28 ± 16.44^{ef}	180.33 ± 2.52^{b}	172.11^{de}
DS24-Inter-3	196.33 ± 16.04^{b}	205.83 ± 4.50^{c}	164.67 ± 10.69^{c}	188.89^{c}
DS24-Inter-4	154.67 ± 0.58^{de}	143.17 ± 10.50^{fg}	106.33 ± 8.14^{e}	137.78^{g}
DS24-Inter-5	126.67 ± 1.53^{f}	153.11 ± 8.03^{efg}	209.00 ± 11.00^{a}	162.89^{ef}
DS24-Inter-6	174.00 ± 12.00^{c}	188.00 ± 5.67^{cd}	157.33 ± 4.51^{c}	173.11^{d}
DS24-Inter-7	161.67 ± 10.97^{cd}	158.44 ± 12.23^{efg}	152.67 ± 1.53^{c}	157.56^{f}
DS24-Inter-8	267.67 ± 3.51^{a}	284.17 ± 7.50^{a}	181.00 ± 5.00^{b}	244.33^{a}
DS24-Inter-9	172.33 ± 3.79^{c}	242.83 ± 30.84^{b}	192.00 ± 1.00^{b}	202.44^{b}
DS24-Inter-10	119.67 ± 11.55^{f}	113.44 ± 8.14^{h}	93.67 ± 5.03^{e}	108.89^{h}
RD85	142.00 ± 2.00^{e}	160.50 ± 14.17^{ef}	128.33 ± 9.82^{d}	142.22^{g}
RJP233088	165.33 ± 4.51^{cd}	137.00 ± 5.00^{g}	104.67 ± 13.50^{e}	135.78^{g}
ค่าเฉลี่ย	167.36$^{B2/}$	176.84^{A}	150.53^{C}	
C.V. (%)	4.51	7.31	5.26	

[1/]ค่าเฉลี่ยตามแนวตั้งที่ตามหลังด้วยอักษรที่แตกต่างกันมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$) โดยวิธี LSD

[2/]ค่าเฉลี่ยตามแนวนอนที่ตามหลังด้วยอักษรที่แตกต่างกันมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$) โดยวิธี LSD

Ref. code: 25676509032568NOH

4.3.5 จำนวนเมล็ดดีต่อรวง

จำนวนเมล็ดดีต่อรวงของข้าว 12 สายพันธุ์/พันธุ์มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (ตารางที่ 4.8) โดยข้าวที่ปลูกในชัยนาทมีจำนวนเมล็ดดีต่อรวงเฉลี่ยน้อยกว่าปทุมธานีและสุพรรณบุรี นอกจากนี้ สายพันธุ์ DS24-Inter-8 ให้ค่าเฉลี่ยสูงสุด (153.94 เมล็ดต่อรวง) ซึ่งสูงกว่าพันธุ์เปรียบเทียบทั้งสอง คิดเป็น 75.43 และ 60.35% ตามลำดับ

โดยการปลูกทดสอบที่ปทุมธานี มี 7 สายพันธุ์ ที่มีจำนวนเมล็ดดีสูงกว่าพันธุ์เปรียบเทียบ กข85 และสายพันธุ์ DS24-Inter-8 มีจำนวนเมล็ดดีสูงสุด และสูงกว่าพันธุ์เปรียบเทียบ RJP233088 ส่วนการปลูกทดสอบที่ชัยนาท มี 6 สายพันธุ์ที่มีจำนวนเมล็ดดีสูงกว่าพันธุ์เปรียบเทียบ กข85 และ 7 สายพันธุ์สูงกว่าพันธุ์เปรียบเทียบ RJP233088 โดยสายพันธุ์ DS24-Inter-8 และ DS24-Inter-9 มีจำนวนเมล็ดดีต่อรวงสูงสุด นอกจากนี้ การปลูกที่สุพรรณบุรี มี 6 สายพันธุ์ที่มีจำนวนเมล็ดดีสูงกว่าเปรียบเทียบทั้งสอง โดยสายพันธุ์ DS24-Inter-5 มีจำนวนเมล็ดดีสูงสุด

ตารางที่ 4.8 จำนวนเมล็ดดีต่อรวงของข้าวเจ้าสายพันธุ์ก้าวหน้า 10 สายพันธุ์ และพันธุ์เปรียบเทียบ 2 พันธุ์ ที่ปลูกทดสอบจำนวน 3 สถานที่

สายพันธุ์/พันธุ์	จำนวนเมล็ดดีต่อรวง			ค่าเฉลี่ย
	ปทุมธานี	ชัยนาท	สุพรรณบุรี	
DS24-Inter-1	115.00 ± 6.00$^{d1/}$	128.67 ± 8.14^{b}	101.33 ± 5.86^{cd}	114.98^{d}
DS24-Inter-2	128.33 ± 11.50^{bcd}	116.00 ± 14.00^{b}	143.00 ± 1.00^{b}	129.07^{b}
DS24-Inter-3	137.33 ± 13.50^{b}	125.00 ± 12.29^{b}	116.67 ± 6.51^{c}	126.30^{bc}
DS24-Inter-4	81.00 ± 7.94^{ef}	81.67 ± 11.93^{de}	76.33 ± 6.81^{ef}	79.81^{f}
DS24-Inter-5	85.00 ± 2.00^{e}	84.67 ± 10.97^{cde}	187.33 ± 14.50^{a}	118.85^{cd}
DS24-Inter-6	134.00 ± 5.00^{bc}	98.67 ± 2.52^{c}	137.67 ± 5.03^{b}	123.44^{bcd}
DS24-Inter-7	116.33 ± 2.52^{d}	96.67 ± 9.50^{cd}	143.67 ± 6.11^{b}	118.83^{cd}
DS24-Inter-8	198.00 ± 10.00^{a}	148.33 ± 3.51^{a}	115.33 ± 18.01^{c}	153.94^{a}
DS24-Inter-9	122.00 ± 5.20^{cd}	161.00 ± 12.00^{a}	97.67 ± 3.51^{d}	126.87^{bc}
DS24-Inter-10	68.33 ± 5.13^{f}	51.00 ± 3.00^{f}	74.33 ± 5.03^{f}	64.56^{g}
RD85	87.33 ± 8.08^{e}	81.33 ± 6.51^{de}	95.00 ± 9.85^{d}	87.78^{ef}
RJP233088	124.00 ± 13.00^{bcd}	73.67 ± 4.16^{e}	91.00 ± 11.00^{de}	96.00^{e}
ค่าเฉลี่ย	116.39$^{A2/}$	103.89^{B}	114.94^{A}	
C.V. (%)	7.41	9.09	8.18	

[1/]ค่าเฉลี่ยตามแนวตั้งที่ตามหลังด้วยอักษรที่แตกต่างกันมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$) โดยวิธี LSD

[2/]ค่าเฉลี่ยตามแนวนอนที่ตามหลังด้วยอักษรที่แตกต่างกันมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$) โดยวิธี LSD

Ref. code: 25676509032568NOH

4.3.6 น้ำหนัก 100 เมล็ด

น้ำหนัก 100 เมล็ดของข้าว 12 สายพันธุ์/พันธุ์มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (ตารางที่ 4.9) โดยข้าวที่ปลูกในปทุมธานีมีน้ำหนัก 100 เมล็ดเฉลี่ยน้อยกว่าชัยนาทและสุพรรณบุรี นอกจากนี้ สายพันธุ์ DS24-Inter-1 ให้ค่าเฉลี่ยสูงสุด (22.16 กรัม) ซึ่งไม่แตกต่างทางสถิติกับพันธุ์เปรียบเทียบ กข85 (22.86 กรัม)

โดยการปลูกทดสอบที่ปทุมธานี และชัยนาท สายพันธุ์ DS24-Inter-1 มีน้ำหนัก 100 เมล็ดสูง (2.08 และ 2.35 กรัม ตามลำดับ) ไม่แตกต่างทางสถิติกับพันธุ์เปรียบเทียบ กข85 (2.24 และ 2.44 กรัม ตามลำดับ) แต่สูงกว่าพันธุ์เปรียบเทียบ RJP233088 ขณะที่ สายพันธุ์ DS24-Inter-4, DS24-Inter-5, DS24-Inter-9 และ DS24-Inter-10 ที่ปลูกทดสอบในสุพรรณบุรีมีน้ำหนัก 100 เมล็ดสูง (2.36 2.26 2.25 และ 2.47 กรัม ตามลำดับ) ไม่แตกต่างทางสถิติกับพันธุ์เปรียบเทียบ RJP233088 (2.47 กรัม)

ตารางที่ 4.9 น้ำหนักข้าว 100 เมล็ดของข้าวเจ้าสายพันธุ์ก้าวหน้า 10 สายพันธุ์ และพันธุ์เปรียบเทียบ 2 พันธุ์ ที่ปลูกทดสอบจำนวน 3 สถานที่

สายพันธุ์/พันธุ์	น้ำหนัก 100 เมล็ด (กรัม)			ค่าเฉลี่ย
	ปทุมธานี	ชัยนาท	สุพรรณบุรี	
DS24-Inter-1	2.08 ± 0.02$^{ab1/}$	2.35 ± 0.14^{ab}	2.24 ± 0.24^{bc}	22.16^{ab}
DS24-Inter-2	1.85 ± 0.08^{c}	2.06 ± 0.04^{def}	2.24 ± 0.06^{bc}	20.37^{c}
DS24-Inter-3	1.87 ± 0.14^{c}	2.19 ± 0.04^{bcd}	1.97 ± 0.04^{d}	20.08^{c}
DS24-Inter-4	1.89 ± 0.04^{c}	2.25 ± 0.05^{bc}	2.36 ± 0.14^{ab}	21.53^{b}
DS24-Inter-5	1.82 ± 0.25^{c}	2.01 ± 0.20^{efg}	2.26 ± 0.13^{abc}	20.20^{c}
DS24-Inter-6	1.76 ± 0.03^{c}	1.85 ± 0.04^{gh}	2.11 ± 0.02^{cd}	18.99^{c}
DS24-Inter-7	1.87 ± 0.02^{c}	2.01 ± 0.05^{efg}	2.18 ± 0.06^{bcd}	20.12^{c}
DS24-Inter-8	1.79 ± 0.08^{c}	1.77 ± 0.02^{h}	2.06 ± 0.08^{cd}	18.16^{d}
DS24-Inter-9	1.90 ± 0.15^{bc}	1.96 ± 0.19^{fg}	2.25 ± 0.16^{abc}	20.25^{c}
DS24-Inter-10	1.91 ± 0.04^{bc}	2.24 ± 0.02^{bc}	2.40 ± 0.09^{ab}	21.72^{b}
RD85	2.24 ± 0.07^{a}	2.44 ± 0.08^{a}	2.19 ± 0.14^{bcd}	22.86^{a}
RJP233088	1.90 ± 0.11^{bc}	2.15 ± 0.04^{cde}	2.47 ± 0.19^{a}	21.56^{b}
ค่าเฉลี่ย	1.91$^{B2/}$	2.11^{A}	2.23^{A}	
C.V. (%)	5.83	4.86	5.87	

[1/]ค่าเฉลี่ยตามแนวตั้งที่ตามหลังด้วยอักษรที่แตกต่างกันมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$) โดยวิธี LSD

[2/]ค่าเฉลี่ยตามแนวนอนที่ตามหลังด้วยอักษรที่แตกต่างกันมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$) โดยวิธี LSD

Ref. code: 25676509032568NOH

4.3.7 ผลผลิต

ผลผลิตของข้าว 12 สายพันธุ์/พันธุ์มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (ตารางที่ 4.10) โดยข้าวที่ปลูกในชัยนาทมีผลผลิตเฉลี่ยสูงกว่าปทุมธานีและสุพรรณบุรี นอกจากนี้ สายพันธุ์ DS24-Inter-1 ให้ผลผลิตเฉลี่ยสูงสุด (714.84 กก./ไร่) ซึ่งสูงกว่าพันธุ์เปรียบเทียบ กข85 และ RJP233088 คิดเป็น 51.74 และ 29.60% ตามลำดับ รองลงมา คือ สายพันธุ์ DS24-Inter-3 DS24-Inter-7 และ DS24-Inter-2 (668.69 662.04 และ 647.54 กก./ไร่ ตามลำดับ)

โดยการปลูกทดสอบที่ปทุมธานี มี 8 สายพันธุ์ที่ให้ผลผลิตสูงกว่าพันธุ์เปรียบเทียบ กข85 และ 4 สายพันธุ์ที่ให้ผลผลิตสูงกว่าพันธุ์เปรียบเทียบ RJP233088 โดยสายพันธุ์ DS24-Inter-7 และ DS24-Inter-8 ให้ผลผลิตสูงสุด (656.79 และ 642.26 กก./ไร่ ตามลำดับ) และสูงกว่าพันธุ์เปรียบเทียบทั้งสอง คิดเป็น 18.92-64.30% ส่วนการปลูกทดสอบที่ชัยนาท มี 5 สายพันธุ์ที่ให้ผลผลิตสูงกว่าพันธุ์เปรียบเทียบทั้งสองพันธุ์ โดยสายพันธุ์ DS24-Inter-2 และ DS24-Inter-3 ให้ผลผลิตสูงสุด (996.68 และ 937.87 กก./ไร่ ตามลำดับ) และสูงกว่าพันธุ์เปรียบเทียบทั้งสอง คิดเป็น 36.54-45.40% นอกจากนี้ การปลูกทดสอบที่สุพรรณบุรี มี 9 และ 7 สายพันธุ์ที่ให้ผลผลิตสูงกว่าพันธุ์เปรียบเทียบ กข85 และ RJP233088 ตามลำดับ โดยสายพันธุ์ DS24-Inter-1 ให้ผลผลิตสูงสุด (694.28 กก./ไร่) ซึ่งสูงกว่าพันธุ์เปรียบเทียบทั้งสอง คิดเป็น 112.70 และ 61.90% ตามลำดับ

ตารางที่ 4.10 ผลผลิต (ความชื้น 14%) ของข้าวเจ้าสายพันธุ์ก้าวหน้า 10 สายพันธุ์ และพันธุ์เปรียบเทียบ 2 พันธุ์ ที่ปลูกทดสอบจำนวน 3 สถานที่

สายพันธุ์/พันธุ์	ผลผลิต (กก./ไร่)			ค่าเฉลี่ย
	ปทุมธานี	ชัยนาท	สุพรรณบุรี	
DS24-Inter-1	587.25 ± 5.00^{c}	862.98 ± 34.85^{cd}	694.28 ± 50.72^{a}	714.84^{a}
DS24-Inter-2	452.58 ± 9.65^{f}	996.68 ± 43.86^{a}	493.34 ± 10.54^{c}	647.54^{bcd}
DS24-Inter-3	553.67 ± 12.15^{d}	937.87 ± 19.28^{ab}	514.53 ± 43.61^{c}	668.69^{b}
DS24-Inter-4	505.09 ± 39.30^{e}	915.62 ± 68.95^{bc}	484.84 ± 35.36^{cd}	635.18^{cd}
DS24-Inter-5	351.85 ± 1.07^{h}	614.25 ± 18.91^{h}	500.93 ± 38.21^{c}	489.01^{g}
DS24-Inter-6	490.45 ± 16.79^{e}	723.60 ± 78.43^{fg}	531.76 ± 30.60^{bc}	581.94^{e}
DS24-Inter-7	656.79 ± 15.06^{a}	749.06 ± 51.20^{ef}	580.27 ± 15.84^{b}	662.04^{bc}
DS24-Inter-8	642.26 ± 30.01^{ab}	808.37 ± 14.98^{de}	435.54 ± 13.26^{de}	628.72^{d}
DS24-Inter-9	616.19 ± 3.22^{bc}	669.85 ± 26.32^{gh}	439.28 ± 34.00^{de}	575.11^{ef}
DS24-Inter-10	323.63 ± 8.05^{h}	489.32 ± 44.32^{i}	369.92 ± 13.58^{f}	394.29^{h}

Ref. code: 25676509032568NOH

ตารางที่ 4.10 ผลผลิต (ความชื้น 14%) ของข้าวเจ้าสายพันธุ์ก้าวหน้า 10 สายพันธุ์ และพันธุ์เปรียบเทียบ 2 พันธุ์ ที่ปลูกทดสอบจำนวน 3 สถานที่ (ต่อ)

สายพันธุ์/พันธุ์	ผลผลิต (กก./ไร่)			ค่าเฉลี่ย
	ปทุมธานี	ชัยนาท	สุพรรณบุรี	
RD85	399.72 ± 6.08^{g}	686.90 ± 45.60^{fgh}	326.40 ± 22.00^{f}	471.01^{g}
RJP233088	540.10 ± 6.43^{d}	685.79 ± 19.28^{fgh}	428.85 ± 28.93^{e}	551.58^{f}
ค่าเฉลี่ย	509.97$^{B2/}$	761.69^{A}	483.33^{C}	
C.V. (%)	3.40	5.71	6.16	

[1/]ค่าเฉลี่ยตามแนวตั้งที่ตามหลังด้วยอักษรที่แตกต่างกันมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$) โดยวิธี LSD

[2/]ค่าเฉลี่ยตามแนวนอนที่ตามหลังด้วยอักษรที่แตกต่างกันมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$) โดยวิธี LSD

จากการศึกษาผลผลิต องค์ประกอบผลผลิต และลักษณะทางเกษตรของข้าวเจ้าสายพันธุ์ก้าวหน้าที่ปลูกทดสอบ 3 สถานที่ พบว่า สายพันธุ์ที่ทำการทดสอบมีความสูงต้น จำนวนรวงต่อกอ จำนวนเมล็ดต่อรวง จำนวนเมล็ดดี น้ำหนัก 100 เมล็ด และผลผลิต แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ โดยลักษณะผลผลิตเป็นเป้าหมายสำคัญในการคัดเลือกสายพันธุ์ข้าวเพื่อพัฒนาสายพันธุ์ข้าวที่มีผลผลิตสูง จากการวิเคราะห์ความแปรปรวนรวมพบว่า ผลผลิตได้รับอิทธิพลจากสถานที่ปลูกเป็นหลัก (ตารางที่ 4.3) ส่งผลให้ข้าวแต่ละสายพันธุ์ให้ผลผลิตแตกต่างกันในแต่ละสถานที่ปลูกทดสอบ โดยข้าวที่ปลูกในพื้นที่ชัยนาทมีศักยภาพในการให้ผลผลิตสูง เนื่องจากพื้นที่มีลักษณะดินร่วนเหนียวปนทรายแป้ง และมีสมบัติทางเคมีที่เหมาะสม (ตารางที่ 4.2) ดินมีค่าความเป็นกรด-ด่าง (pH) เท่ากับ 6.44 ซึ่งอยู่ในช่วงที่ธาตุอาหารสามารถละลายและดูดใช้ได้ดี โดยพบว่าไนโตรเจนทั้งหมดอยู่ในระดับสูง ส่วนโพแทสเซียม แคลเซียม และแมกนีเซียมที่แลกเปลี่ยนได้อยู่ในระดับปานกลาง อีกทั้งค่าการนำไฟฟ้า (EC) ของดินที่บ่งบอกถึงปริมาณเกลือซึ่งละลายน้ำในดินอยู่ในช่วง 0-2 dS/m จัดเป็นดินธรรมดาที่ไม่มีผลกระทบต่อการเจริญเติบโตของพืช (สำนักวิจัยและพัฒนาพันธุ์ข้าว, 2552) แสดงให้เห็นว่าดินในพื้นที่ชัยนาทมีความเหมาะสมต่อการเจริญเติบโตของต้นข้าว โดยบทบาทของธาตุอาหารที่มีอยู่ในดินจะต้องสอดคล้องกับความต้องการของข้าวในแต่ละช่วงการเจริญเติบโต ซึ่งผลผลิตที่ได้จะขึ้นอยู่กับศักยภาพการให้ผลผลิตของพันธุ์ข้าว อุณหภูมิ และการให้ธาตุอาหารที่เหมาะสมกับความต้องการของข้าว (พิสิฐ, 2544) ลิลลี่ และคณะ (2556) กล่าวว่าตลอดการเจริญเติบโตครบวัฏจักรของข้าวต้องได้รับธาตุอาหารครบถ้วนทั้งธาตุอาหารหลัก และธาตุอาหารรองเพื่อการเจริญเติบโต โดยไนโตรเจนช่วยกระตุ้นการเจริญเติบโตทั้งในด้านความสูง การแตกกอ ขนาดใบ จำนวนเมล็ดต่อรวง และเปอร์เซ็นต์เมล็ดดี ขณะที่โพแทสเซียมช่วยในการเคลื่อนย้ายแป้งและน้ำตาล ซึ่งมีผลต่อจำนวนเมล็ดดีและน้ำหนัก 100 เมล็ด สำหรับแคลเซียมและแมกนีเซียมมีบทบาทในการส่ง

Ref. code: 25676509032568NOH

สัญญาณระดับเซลล์ และเป็นองค์ประกอบของเอนไซม์ที่เกี่ยวข้องกับการสังเคราะห์แสงและการเปลี่ยนแปลงของคาร์โบไฮเดรต (พิสิฐ, 2544; ยงยุทธ, 2558) ขณะที่ พื้นที่ทดสอบสุพรรณบุรี สภาพดินเป็นร่วนปนทราย ความสามารถในการอุ้มน้ำต่ำ ส่งผลให้การดูดซึมธาตุอาหารลดลง ดินมีไนโตรเจนต่ำ แต่มีฟอสฟอรัสและโพแทสเซียมสูง (ตารางที่ 4.2) ถึงแม้ฟอสฟอรัสจะมีบทบาทในการแตกกอและพัฒนาใบ แต่เมื่อมีไนโตรเจนไม่เพียงพอ ส่งผลให้ข้าวเจริญเติบโตช้า ต้นเตี้ย และผลผลิตลดลง (ยงยุทธ, 2558) อย่างไรก็ตาม โพแทสเซียมในระดับสูงมีส่วนช่วยในช่วงเริ่มสร้างรวงจนถึงเก็บเกี่ยว ส่งผลต่อการพัฒนาของเมล็ด ทำให้มีจำนวนเมล็ดดี และน้ำหนักเมล็ดเพิ่มขึ้น (พิสิฐ, 2544) โดยการที่ดินมีปริมาณไนโตรเจนอยู่ในระดับต่ำ แม้จะมีการใส่ปุ๋ยไนโตรเจนเพิ่ม แต่อัตราที่ใส่ยังไม่เพียงพอต่อความต้องการของข้าว เนื่องจากดินในแต่ละพื้นที่มีคุณสมบัติและความอุดมสมบูรณ์ที่ค่อนข้างแตกต่างกัน (Attanandana and Yost, 2005) สอดคล้องกับการศึกษาของ ภาณุมาศ และคณะ (2565) พบว่า การให้ปุ๋ยไนโตรเจนในอัตรา 0, 4, 8, 12 และ 16 กิโลกรัมไนโตรเจนต่อไร่ ในข้าวหอมวารินที่ปลูกในดินทรายร่วนที่มีความอุดมสมบูรณ์ต่ำ ไม่มีผลทำให้ผลผลิตแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ

สายพันธุ์ก้าวหน้าแต่ละสายพันธุ์มีความดีเด่นในด้านผลผลิตที่แตกต่างกัน โดยสายพันธุ์ DS24-Inter-1 ให้ผลผลิตเฉลี่ยจากทั้ง 3 พื้นที่สูงสุด รองลงมาคือ สายพันธุ์ DS24-Inter-2 และ DS24-Inter-7 ขณะที่แต่ละสถานที่ปลูกทดสอบมีสายพันธุ์ที่ให้ผลผลิตสูงแตกต่างกัน (ตารางที่ 4.10) แสดงให้เห็นว่าพันธุกรรมของสายพันธุ์มีอิทธิพลต่อการแสดงออกของลักษณะนี้ และมีการตอบสนองต่อสถานที่ทดสอบใน 3 สถานที่ที่แตกต่างกัน นอกจากนี้ ความแปรปรวนของสายพันธุ์ยังมีอิทธิพลต่อลักษณะทางการเกษตรอื่น ๆ เช่น จำนวนเมล็ดต่อรวง และน้ำหนัก 100 เมล็ด ซึ่งมีความสัมพันธ์เชิงบวกกับผลผลิต (ตารางผนวกที่ ข.1) จากการศึกษาครั้งนี้พบว่า ข้าวที่ปลูกทดสอบพื้นที่ชัยนาทมีผลผลิตสูงสุด รวมถึงมีจำนวนรวงต่อกอ จำนวนเมล็ดต่อรวง และน้ำหนักเมล็ดสูง ในขณะที่ สายพันธุ์ข้าวที่ปลูกทดสอบที่สุพรรณบุรีมีผลผลิตต่ำ โดยมีจำนวนเมล็ดต่อรวงต่ำ และเมื่อเปรียบเทียบระหว่างสายพันธุ์ที่ปลูกทดสอบทั้ง 3 พื้นที่ พบว่า สายพันธุ์ก้าวหน้า DS24-Inter-8 เป็นสายพันธุ์ที่มีจำนวนเมล็ดต่อรวง และจำนวนเมล็ดดีสูง ในพื้นที่ทดสอบปทุมธานี และชัยนาท ส่งผลให้ผลผลิตของสายพันธุ์ในพื้นที่ดังกล่าวสูง (642.26±30.01 และ 808.37±14.98 กก./ไร่) และลดลงเมื่อปลูกทดสอบในพื้นที่จังหวัดสุพรรณบุรี สอดคล้องกับการศึกษาของ นเรศศักดิ์ และคณะ (2560) รายงานว่า สายพันธุ์ข้าวที่มีจำนวนหน่อต่อกอสูง รวงยาว จะมีจำนวนเมล็ดต่อรวงมาก ทำให้ได้น้ำหนักเมล็ดต่อกอสูง ส่งผลให้ผลผลิตเฉลี่ยสูงด้วยเช่นกัน เนื่องจากลักษณะเหล่านี้เป็นองค์ประกอบผลผลิตที่สำคัญที่กำหนดผลผลิตของข้าว อย่างไรก็ตาม สายพันธุ์ข้าวที่มีผลผลิตสูงสุด อาจไม่ใช่สายพันธุ์ที่มีองค์ประกอบผลผลิตทุกลักษณะสูงสุด หรือสายพันธุ์ที่มีองค์ประกอบผลผลิตสูง อาจไม่ใช่สายพันธุ์ที่มีผลผลิตสูงสุด โดยองค์ประกอบผลผลิตที่มีอิทธิพลต่อผลผลิตข้าวแตกต่างกันไปในแต่ละ

Ref. code: 25676509032568NOH

การศึกษา โดยบางรายงานระบุว่า จำนวนรวงต่อหน่วยพื้นที่เป็นปัจจัยสำคัญที่ส่งผลต่อผลผลิต (Lin et al., 2019; Jiang et al., 2020) ขณะที่บางงานวิจัยให้ความสำคัญกับจำนวนเมล็ดต่อรวง (Xiao et al., Jiang et al., 2021) นอกจากนี้ ยังมีรายงานที่ชี้ว่าทั้งจำนวนเมล็ดต่อรวงและน้ำหนักเมล็ดมีบทบาทสำคัญต่อผลผลิต (Xiao et al., 2021) ขึ้นอยู่กับการตอบสนองของสายพันธุ์ต่อสภาพแวดล้อมที่แตกต่างกัน (He et al., 2024)

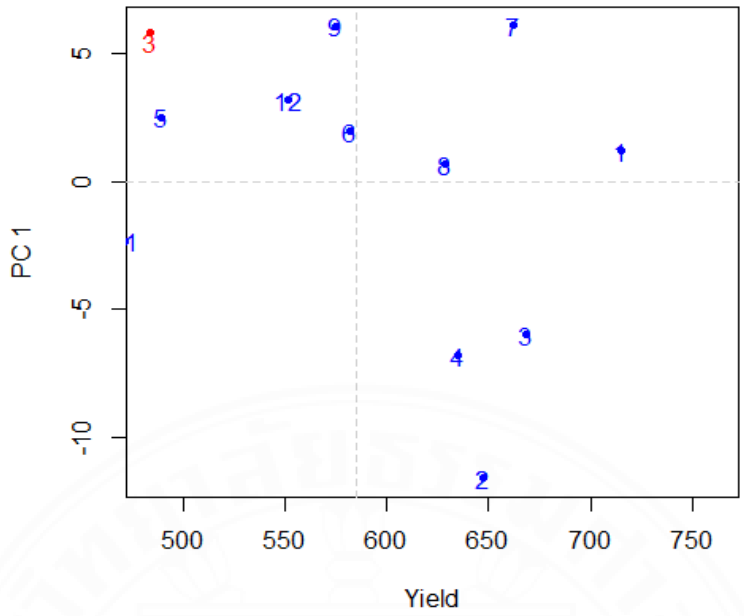
นอกจากผลผลิตและองค์ประกอบผลผลิตแล้ว ลักษณะทางการเกษตร ได้แก่ ความสูงต้น และอายุเก็บเกี่ยวนั้น เป็นปัจจัยสำคัญในการกำหนดผลผลิตข้าวได้เช่นเดียวกัน จากการศึกษาครั้งนี้ พบว่า สายพันธุ์ก้าวหน้ามีอายุเก็บเกี่ยวระหว่าง 91-110 วันหลังเพาะ จัดเป็นพันธุ์ข้าวอายุสั้น ซึ่งทั้ง 10 สายพันธุ์ มีอายุเก็บเกี่ยวที่ใกล้เคียงหรือสั้นกว่าพันธุ์เปรียบเทียบ กข85 อย่างไรก็ตาม สายพันธุ์ก้าวหน้าทุกสถานที่ปลูกทดสอบมีอายุเก็บเกี่ยวช้ากว่าพันธุ์เปรียบเทียบ RJP233088 ที่มีอายุเก็บเกี่ยวระหว่าง 88-92 วันหลังเพาะ โดยทั่วไปข้าวที่ออกดอกเร็วมีเวลาในการเจริญเติบโตสั้น มีแนวโน้มที่จะให้ผลผลิตต่ำ ซึ่งจากการศึกษานี้ พบว่า สายพันธุ์ก้าวหน้าส่วนใหญ่มีอายุเก็บเกี่ยวไวกว่าพันธุ์เปรียบเทียบ กข85 แต่ยังคงให้ผลผลิตสูงกว่าพันธุ์เปรียบเทียบ กข85 เนื่องจาก การปรับปรุงพันธุ์ข้าวในปัจจุบันสามารถพัฒนาสายพันธุ์ข้าวอายุสั้นให้มีศักยภาพในการให้ผลผลิตสูงใกล้เคียงหรือเทียบเท่ากับข้าวพันธุ์หนัก โดยเน้นไปที่จำนวนเมล็ดต่อรวง และน้ำหนักเมล็ดที่เพิ่มขึ้น (Chen et al., 2020) ส่งผลให้ข้าวอายุสั้นมีศักยภาพในการให้ผลผลิตสูง นอกจากนี้ ข้าวอายุสั้นสามารถหลีกเลี่ยงความเสียหายที่อาจเกิดจากสภาพอากาศที่ไม่เหมาะสม รวมถึงลดความเสี่ยงจากศัตรูพืชได้ดี ส่งผลให้เกษตรกรสามารถลดการใช้แรงงานและการจัดการลงได้ (ปรางค์นัดดา และคณะ , 2563) เมื่อพิจารณาลักษณะความสูงต้น พบว่า สายพันธุ์ก้าวหน้าที่ปลูกทดสอบที่ปทุมธานีและชัยนาทมีความสูงต้นจัดอยู่ในกลุ่มความสูงต้นปานกลาง (110-130 เซนติเมตร) ขณะที่ สายพันธุ์ก้าวหน้ามีความสูงอยู่ในเกณฑ์ต้นเตี้ย (ต่ำกว่า 110 เซนติเมตร) เมื่อปลูกทดสอบที่สุพรรณบุรี เนื่องจาก พื้นที่ดังกล่าวมีปริมาณธาตุไนโตรเจนอยู่ในระดับต่ำ ส่งผลให้ข้าวมีลักษณะต้นเตี้ย และการเจริญเติบโตช้า (ยงยุทธ, 2558; จักรชัยวัฒน์, 2563; Zou et al., 2023) ซึ่งหากต้นเตี้ยเกินไปอาจส่งผลให้ผลผลิตลดลง และความต้านทานต่อโรคต่ำ ดังนั้น ต้นข้าวที่มีความสูงเหมาะสมจะช่วยลดปัญหาการหักล้ม และรักษาศักยภาพการให้ผลผลิตได้ (Sadimantara et al., 2018; Lan et al., 2023)

Ref. code: 25676509032568NOH

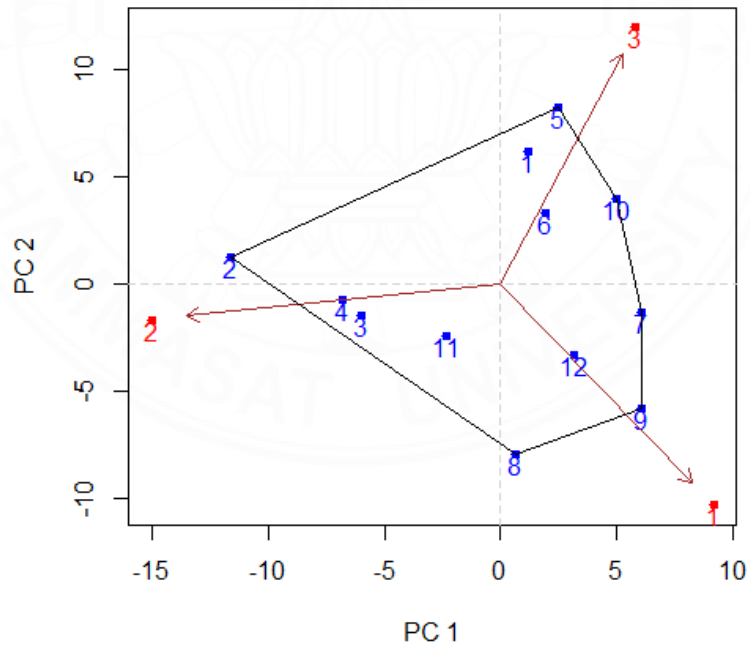
4.4 เสถียรภาพของสายพันธุ์ข้าวที่ปลูกทดสอบ

จากการวิเคราะห์ศักยภาพการให้ผลผลิตและเสถียรภาพของสายพันธุ์ด้วยวิธี GGE-biplot ของสายพันธุ์ข้าวทั้ง 12 สายพันธุ์/พันธุ์ พบว่า สายพันธุ์ก้าวหน้าจำนวน 5 สายพันธุ์ ให้ผลผลิตสูงกว่าค่าเฉลี่ยผลผลิตจากสถานที่ปลูกทดสอบทั้งหมด โดยสายพันธุ์ DS24-Inter-1 เป็นสายพันธุ์ที่ผลผลิตเฉลี่ยจากทุกสถานที่ทดสอบสูงสุด เนื่องจาก สายพันธุ์นี้อยู่ในตำแหน่งที่ห่างจากแกนตั้งซึ่งเป็นค่าเฉลี่ยของผลผลิตมาทางขวา (ภาพที่ 4.1) เมื่อพิจารณาค่า PC1 ซึ่งบ่งบอกถึงเสถียรภาพการให้ผลผลิตของสายพันธุ์ ถ้าค่า PC1>0 แสดงว่าเป็นสายพันธุ์ที่มีเสถียรภาพสูง ส่วนค่า PC1<0 แสดงว่าเป็นสายพันธุ์ที่มีเสถียรภาพต่ำ โดยสายพันธุ์ DS24-Inter-1 และ DS24-Inter-8 เป็นสายพันธุ์ที่มีเสถียรภาพสูงสุด เนื่องจาก สายพันธุ์ทั้งสองอยู่ในตำแหน่งที่ใกล้แกน PC1 มากที่สุด (ภาพที่ 4.1) เมื่อพิจารณากราฟ which-won-where (ภาพที่ 4.2) เพื่อระบุสายพันธุ์ข้าวที่เหมาะสมที่สุดในแต่ละสถานที่ปลูกทดสอบ รวมถึงการแยกพันธุ์ข้าวที่มีศักยภาพสูงออกจากพันธุ์ที่ไม่เหมาะสมในสภาพแวดล้อมต่าง ๆ พบว่า สายพันธุ์ DS24-Inter-7, DS24-Inter-8, DS24-Inter-9 และพันธุ์เปรียบเทียบ RJP233088 ให้ผลผลิตสูง เมื่อทดสอบที่ปทุมธานี (1) สายพันธุ์ DS24-Inter-2 DS24-Inter-3 DS24-Inter-4 และพันธุ์เปรียบเทียบ กข85 ให้ผลผลิตสูงเมื่อทดสอบที่ชัยนาท (2) สายพันธุ์ DS24-Inter-1 DS24-Inter-5 DS24-Inter-6 และ DS24-Inter-10 ให้ผลผลิตสูงเมื่อทดสอบที่สุพรรณบุรี (3) นอกจากนี้ สายพันธุ์ข้าวที่อยู่มุมของ polygon ในแต่ละ sector ถือว่าเป็นพันธุ์ที่ให้ผลผลิตสูงที่สุดในสถานที่ปลูกนั้น พบว่า สายพันธุ์ DS24-Inter-9, DS24-Inter-2 และ DS24-Inter-5 ให้ผลผลิตสูงในสภาพแวดล้อมปทุมธานี ชัยนาท และสุพรรณบุรี ตามลำดับ นอกจากนี้ การวิเคราะห์เสถียรภาพของสายพันธุ์ต่อสถานที่ปลูกทดสอบ (ภาพที่ 4.3) โดยสังเกตจากตำแหน่งของสายพันธุ์ที่ใกล้กับเส้นของสถานที่ปลูก และจุดตัด (0,0) มากที่สุด จะเห็นว่าสายพันธุ์ DS24-Inter-1 และ DS24-Inter-8 มีเสถียรภาพสูง เนื่องจาก เป็นสายพันธุ์ที่มีตำแหน่งใกล้กับจุดตัด และเส้นที่แสดงสถานที่ปลูกทั้ง 3 สถานที่ทดสอบมากที่สุด

Ref. code: 25676509032568NOH

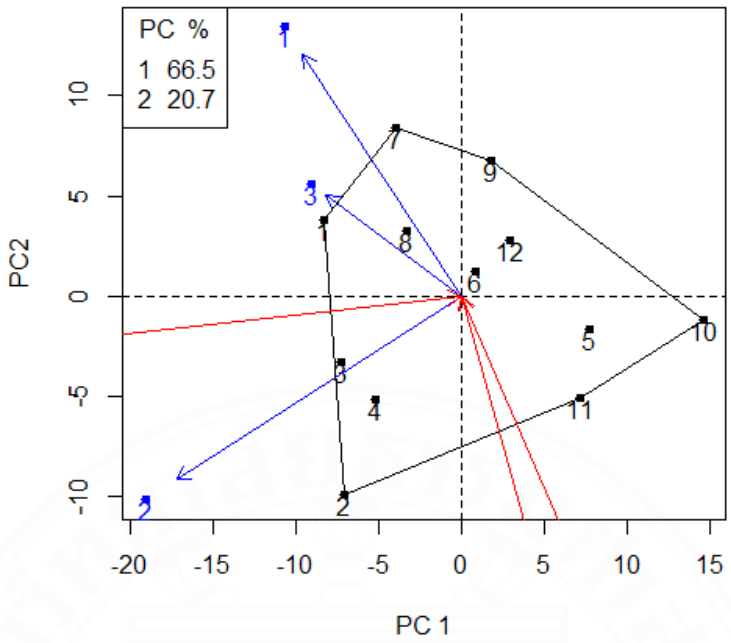


ภาพที่ 4.1 ค่าเฉลี่ยของผลผลิตของข้าว 12 สายพันธุ์/พันธุ์ ที่ปลูกทดสอบจำนวน 3 พื้นที่ (ตัวเลขสีน้ำเงินแสดงลำดับสายพันธุ์ ตามตารางที่ 3.1)



ภาพที่ 4.2 which-won-where model ของข้าว 12 สายพันธุ์/พันธุ์ ที่ปลูกทดสอบจำนวน 3 พื้นที่ (ตัวเลขสีน้ำเงินแสดงลำดับสายพันธุ์ ตามตารางที่ 3.1 และตัวเลขสีแดง หมายถึง แปลงทดสอบปทุมธานี (1) ชัยนาท (2) และสุพรรณบุรี (3))

Ref. code: 25676509032568NOH



ภาพที่ 4.3 การวิเคราะห์สเถียรภาพของสายพันธุ์ข้าว 12 สายพันธุ์/พันธุ์ ที่ปลูกทดสอบจำนวน 3 พื้นที่ (ตัวเลขสีดำแสดงลำดับสายพันธุ์ ตามตารางที่ 3.1 และตัวเลขสีน้ำเงิน หมายถึง แปลงทดสอบปทุมธานี (1) ชัยนาท (2) และสุพรรณบุรี (3))

จากการวิเคราะห์แปรปรวนรวมของผลผลิตข้าว 12 สายพันธุ์/พันธุ์ใน 3 สถานที่ปลูกทดสอบ พบปฏิสัมพันธ์ระหว่างสายพันธุ์กับสภาพแวดล้อมอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (ตารางที่ 4.3) จึงทำการวิเคราะห์ศักยภาพการให้ผลผลิตและเสถียรภาพของสายพันธุ์ด้วยวิธี GGE-biplot โดยการวิเคราะห์เสถียรภาพของพันธุ์ด้วย GGE-biplot เป็นเครื่องมือสำคัญในการวิเคราะห์ผลกระทบของจีโนไทป์ (G) และปฏิสัมพันธ์ระหว่างจีโนไทป์กับสภาพแวดล้อม (GE) สำหรับข้อมูลจากการทดลองในหลายสภาพแวดล้อม โดยเฉพาะในกรณีที่สภาพแวดล้อมมีผลกระทบต่อการเปลี่ยนแปลงผลผลิต ซึ่งเป็นอุปสรรคต่อการคัดเลือกสายพันธุ์ เสถียรภาพของสายพันธุ์จึงเป็นปัจจัยสำคัญ เนื่องจากเกษตรกรต้องการพันธุ์ที่ให้ผลผลิตดีในหลากหลายสภาพแวดล้อมเพื่อลดความเสี่ยงจากความแปรปรวนของสภาพอากาศในแต่ละปี ดังนั้น การเลือกใช้วิธีวิเคราะห์ข้อมูลที่มีประสิทธิภาพจึงช่วยเพิ่มความแม่นยำในการคัดเลือกพันธุ์ได้ดียิ่งขึ้น โดย Yan et al. (2007) รายงานว่า GGE-biplot ถูกนำมาใช้ในการประเมินจีโนไทป์ได้ดีกว่าวิธี additive main effects and multiplicative interaction (AMMI) เนื่องจาก GGE biplot ทำให้ทราบถึงผลของจีโนไทป์และปฏิสัมพันธ์ระหว่างจีโนไทป์กับสภาพแวดล้อมในภาพรวม และอธิบายการตอบสนองของจีโนไทป์ในแต่ละสภาพแวดล้อมได้ชัดเจน ดังนั้น GGE-biplot สามารถจัดลำดับพันธุ์ตามความเหมาะสมกับแต่ละสภาพแวดล้อม รวมถึงระบุพันธุ์ที่มีเสถียรภาพสูง ซึ่งเหมาะสมกับสภาพแวดล้อมที่หลากหลาย หรือพันธุ์ที่เหมาะสม

Ref. code: 25676509032568NOH

กับสภาพแวดล้อมที่เหมาะสมกับสายพันธุ์ จากการประเมินเสถียรภาพในการให้ผลผลิตของสายพันธุ์ข้าวด้วย GGE-biplot (ภาพที่ 4.1) แสดงให้เห็นว่า สายพันธุ์ DS24-Inter-1 ให้ผลผลิตเฉลี่ยสูงสุดจากสถานที่ปลูกทดสอบทั้ง 3 สถานที่ การพิจารณาความสามารถในการให้ผลผลิตเพียงอย่างเดียวอาจไม่เพียงพอ จำเป็นต้องคำนึงถึงความเสถียรของสายพันธุ์ภายใต้สภาพแวดล้อมที่หลากหลายร่วมด้วย จากการวิเคราะห์เพิ่มเติม พบว่า สายพันธุ์ DS24-Inter-1 และ DS24-Inter-8 แสดงศักยภาพในการให้ผลผลิตดีเด่นอย่างต่อเนื่องในเกือบทุกสถานที่ปลูกทดสอบ ซึ่งแสดงถึงความมีเสถียรภาพสูง (ภาพที่ 4.3) ดังนั้น ทั้งสองสายพันธุ์สามารถตอบสนองได้ดีและสม่ำเสมอภายใต้สภาพแวดล้อมที่แตกต่างกัน ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยของ Tariku (2017) รายงานว่า พันธุ์ข้าว สภาพแวดล้อม และปฏิสัมพันธ์ระหว่างพันธุ์กับสภาพแวดล้อม มีผลต่อผลผลิตอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ข้อมูลผลผลิตถูกวิเคราะห์เพิ่มเติมด้วย GGE biplot โดยใช้องค์ประกอบหลักสององค์ประกอบแรก (PC1 = 76.80% และ PC2 = 20.05%) ซึ่งสามารถอธิบายความแปรปรวนรวมได้ถึง 96.85% ผลการวิเคราะห์แสดงให้เห็นว่า พันธุ์ NERICA-13, FOFIFA-3730 และ NERICA-12 มีศักยภาพสูง ทั้งในด้านผลผลิตเฉลี่ยและความเสถียรในการปรับตัวกับสภาพแวดล้อมต่าง ๆ

การพิจารณาความเหมาะสมของสายพันธุ์ต่อสภาพแวดล้อมจากกราฟ which-won-where โดย Yan and Kang (2002) แนะนำว่าเป็นเป็นเครื่องมือที่มีประโยชน์ในการจำแนกและคัดเลือกพันธุ์ข้าวให้เหมาะกับสภาพแวดล้อม โดยอาศัยปฏิสัมพันธ์ระหว่างพันธุกรรมและสิ่งแวดล้อม อีกทั้งยังสามารถจัดกลุ่มความสัมพันธ์ของสภาพแวดล้อมได้อย่างมีประสิทธิภาพ โดยการแสดงศักยภาพการให้ผลผลิตสูงสุดในแต่ละสถานที่ปลูกทดสอบนั้น พบว่า สายพันธุ์ DS24-Inter-9, DS24-Inter-2 และ DS24-Inter-5 มีระดับการให้ผลผลิตที่เหมาะสมเมื่อปลูกที่ปทุมธานี ชัยนาท และสุพรรณบุรี ตามลำดับ (ภาพที่ 4.2) แสดงให้เห็นว่าสายพันธุ์เหล่านี้เป็นสายพันธุ์ที่มีความเหมาะสมเฉพาะพื้นที่ (site specific) สอดคล้องกับ Yan (2001) ซึ่งอธิบายว่า GGE-biplot สามารถแสดงความสามารถของแปลงทดสอบในการแยกความแตกต่างของพันธุ์ตามระยะห่างจากจุดกำเนิด นอกจากนี้ Akter et al. (2015) ระบุว่า มุมของรูปหลายเหลี่ยมใน GGE-biplot บ่งชี้พันธุ์ที่มีผลผลิตสูงและไวต่อสิ่งแวดล้อม เช่น BRRI1A/BR168R, BRRI10A/BRRI10R และ BRRI dhan28 ที่มีศักยภาพเฉพาะพื้นที่ ขณะที่ Kaya et al. (2006) ใช้ GGE-biplot ศึกษาปฏิสัมพันธ์ระหว่างพันธุ์กับสภาพแวดล้อมของข้าวสาลี 25 พันธุ์ ทดสอบ 9 สถานที่ พบว่า แปลงทดสอบมีพันธุ์ดีเด่นในลักษณะผลผลิตที่แตกต่างกัน เนื่องจากแต่ละแปลงได้รับปริมาณน้ำฝนและมีลักษณะเนื้อดินที่แตกต่างกัน ดังนั้น การคัดเลือกพันธุ์ข้าวที่เหมาะสมกับพื้นที่ปลูกที่จำเพาะจึงจะสามารถเพิ่มอัตราผลผลิต และลดความเสี่ยงที่เกิดจากความไม่เหมาะสมของพันธุ์ข้าวในแต่ละพื้นที่ได้

Ref. code: 25676509032568NOH

4.5 ลักษณะทางกายภาพของเมล็ด

จากการศึกษาลักษณะทางกายภาพของเมล็ดของข้าวเจ้าสายพันธุ์ก้าวหน้า 10 สายพันธุ์ ร่วมกับพันธุ์เปรียบเทียบ 2 พันธุ์ จำนวน 3 สถานที่ พบว่า สีของข้าวเปลือก ข้าวกล้อง และรูปร่างเมล็ดไม่แตกต่างกัน โดยข้าวเปลือกมีสีฟาง ข้าวกล้องมีสีน้ำตาล และเมล็ดมีรูปร่างเรียว (ความยาว/ความกว้าง >3) (ภาพผนวกที่ ค.4) ขณะที่ ลักษณะทางกายภาพอื่น ๆ ได้แก่ คุณภาพการสี ขนาดเมล็ด และปริมาณการเกิดท้องไข่มีความแตกต่างกัน ดังนี้

4.5.1 คุณภาพการสี

คุณภาพการสีของข้าว 12 สายพันธุ์/พันธุ์แตกต่างกัน (ตารางที่ 4.11) โดยการปลูกทดสอบที่ปทุมธานีพบสายพันธุ์ที่มีคุณภาพการสีดี 4 สายพันธุ์ ปานกลาง 4 สายพันธุ์ และต่ำ 2 สายพันธุ์ ขณะที่พันธุ์เปรียบเทียบทั้งสองมีคุณภาพการสีอยู่ในระดับปานกลาง ส่วนการปลูกทดสอบที่ชัยนาทพบสายพันธุ์ที่มีคุณภาพการสีดี 1 สายพันธุ์ ปานกลาง 3 สายพันธุ์ และต่ำ 6 สายพันธุ์ ขณะที่พันธุ์เปรียบเทียบมีคุณภาพการสีดีและปานกลาง นอกจากนี้ การปลูกทดสอบที่สุพรรณบุรี พบสายพันธุ์ที่มีคุณภาพการสีปานกลาง 4 สายพันธุ์ และต่ำ 6 สายพันธุ์ โดยพันธุ์เปรียบเทียบทั้ง 2 อยู่ในระดับปานกลาง

4.5.2 ขนาดเมล็ด

ขนาดของเมล็ดของข้าว 12 สายพันธุ์/พันธุ์ แบ่งได้เป็น 2 กลุ่ม (ตารางที่ 4.12) โดยการปลูกทดสอบที่ปทุมธานี พบว่า ข้าวเจ้าสายพันธุ์ก้าวหน้า 7 สายพันธุ์ และพันธุ์เปรียบเทียบทั้งสองอยู่ในกลุ่มเมล็ดยาวชั้น 1 (>7 มม.) ส่วนอีก 3 สายพันธุ์อยู่ในกลุ่มเมล็ดยาวชั้น 2 (6.6-7.0 มม.) ส่วนการปลูกทดสอบที่ชัยนาท พบว่า 6 สายพันธุ์ และพันธุ์เปรียบเทียบทั้ง 2 จัดอยู่ในกลุ่มเมล็ดยาวชั้น 1 และอีก 3 สายพันธุ์เป็นกลุ่มเมล็ดยาวชั้น 2 ขณะที่การปลูกทดสอบที่สุพรรณบุรี พบว่า ข้าวทุกสายพันธุ์อยู่ในกลุ่มเมล็ดยาวชั้น 1

4.5.3 ท้องไข่

ลักษณะท้องไข่ของข้าว 12 สายพันธุ์/พันธุ์แตกต่างกันในแต่ละสายพันธุ์ (ตารางที่ 4.13 และภาพผนวกที่ ค.1) โดยพันธุ์เปรียบเทียบ กข85 และสายพันธุ์ DS24-Inter-10 มีท้องไข่น้อย ขณะที่ พันธุ์เปรียบเทียบ RJP233088 มีท้องไข่มากในทุกสถานที่ปลูก โดยการปลูกทดสอบที่ปทุมธานี พบว่า ข้าวเจ้าสายพันธุ์ก้าวหน้าแสดงลักษณะท้องไข่น้อย 5 สายพันธุ์ ปานกลาง 4 สายพันธุ์ และค่อนข้างมาก 1 สายพันธุ์ ส่วนการปลูกทดสอบที่ชัยนาท พบว่า สายพันธุ์ที่มีท้องไข่น้อย 1 สายพันธุ์ ปานกลาง 2 สายพันธุ์ ค่อนข้างมาก 2 สายพันธุ์ และมาก 5 สายพันธุ์ ขณะที่การปลูก

Ref. code: 25676509032568NOH

ทดสอบที่สุพรรณบุรี พบว่า สายพันธุ์ที่มีท้องไข่น้อยมี 2 สายพันธุ์ ปานกลาง 1 สายพันธุ์ ค่อนข้างมาก 2 สายพันธุ์ และมาก 5 สายพันธุ์

ตารางที่ 4.11 คุณภาพการสีของข้าวเจ้าสายพันธุ์ก้าวหน้า 10 สายพันธุ์ และพันธุ์เปรียบเทียบ 2 พันธุ์ ที่ปลูกทดสอบจำนวน 3 สถานที่

สายพันธุ์/พันธุ์	ปทุมธานี		ชัยนาท		สุพรรณบุรี	
	คะแนน	ระดับ	คะแนน	ระดับ	คะแนน	ระดับ
DS24-Inter-1	38.45±0.39	ปานกลาง	26.44±0.02	ต่ำ	27.55±0.39	ต่ำ
DS24-Inter-2	45.33±0.67	ดี	31.33±0.67	ปานกลาง	27.11±0.38	ต่ำ
DS24-Inter-3	38.22±0.39	ปานกลาง	36.45±0.39	ปานกลาง	30.45±0.39	ปานกลาง
DS24-Inter-4	41.56±1.02	ดี	25.34±1.15	ต่ำ	25.34±1.15	ต่ำ
DS24-Inter-5	39.11±0.38	ปานกลาง	29.11±0.38	ต่ำ	36.00±0.67	ปานกลาง
DS24-Inter-6	20.00±1.15	ต่ำ	20.55±0.38	ต่ำ	21.67±0.67	ต่ำ
DS24-Inter-7	25.77±0.39	ต่ำ	22.33±0.00	ต่ำ	20.89±0.38	ต่ำ
DS24-Inter-8	40.00±0.67	ดี	41.55±0.77	ดี	33.11±2.14	ปานกลาง
DS24-Inter-9	33.55±0.39	ปานกลาง	22.44±1.01	ต่ำ	23.89±0.38	ต่ำ
DS24-Inter-10	47.11±1.02	ดี	38.67±0.00	ปานกลาง	39.78±1.02	ปานกลาง
RD85	31.55±0.39	ปานกลาง	38.22±0.38	ปานกลาง	31.33±6.36	ปานกลาง
RJP233088	33.11±0.78	ปานกลาง	43.33±1.76	ดี	38.67±0.67	ปานกลาง

หมายเหตุ: คุณภาพการสีดีมาก (ข้าวเต็มเมล็ดและต้นข้าว > 50%), คุณภาพการสีดี (ข้าวเต็มเมล็ดและต้นข้าว 40-50%), คุณภาพการสีปานกลาง (ข้าวเต็มเมล็ดและต้นข้าว 31-39%) และคุณภาพการสีต่ำ (ข้าวเต็มเมล็ดและต้นข้าว <30%)

Ref. code: 25676509032568NOH

ตารางที่ 4.12 ขนาดเมล็ดของข้าวเจ้าสายพันธุ์ก้าวหน้า 10 สายพันธุ์ และพันธุ์เปรียบเทียบ 2 พันธุ์ ที่ปลูกทดสอบจำนวน 3 สถานที่

สายพันธุ์/พันธุ์	ปทุมธานี		ชัยนาท		สุพรรณบุรี	
	ความยาว (มม.)	ชั้นของเมล็ด	ความยาว (มม.)	ชั้นของเมล็ด	ความยาว (มม.)	ชั้นของเมล็ด
DS24-Inter-1	7.31±0.06	ชั้น 1[1/]	7.02±0.37	ชั้น 1	7.59±0.15	ชั้น 1
DS24-Inter-2	6.77±0.11	ชั้น 2	6.96±0.03	ชั้น 2	7.13±0.03	ชั้น 1
DS24-Inter-3	6.79±0.05	ชั้น 2	6.92±0.13	ชั้น 2	7.14±0.09	ชั้น 1
DS24-Inter-4	7.53±0.03	ชั้น 1	7.59±0.04	ชั้น 1	7.70±0.04	ชั้น 1
DS24-Inter-5	7.13±0.07	ชั้น 1	7.19±0.02	ชั้น 1	7.24±0.06	ชั้น 1
DS24-Inter-6	7.28±0.11	ชั้น 1	7.52±0.06	ชั้น 1	7.42±0.07	ชั้น 1
DS24-Inter-7	7.07±0.03	ชั้น 1	7.25±0.04	ชั้น 1	7.48±0.07	ชั้น 1
DS24-Inter-8	6.90±0.02	ชั้น 2	6.93±0.07	ชั้น 2	7.14±0.07	ชั้น 1
DS24-Inter-9	7.46±0.05	ชั้น 1	7.56±0.05	ชั้น 1	7.62±0.10	ชั้น 1
DS24-Inter-10	7.16±0.02	ชั้น 1	7.49±0.02	ชั้น 1	7.41±0.09	ชั้น 1
RD85	7.70±0.08	ชั้น 1	7.57±0.01	ชั้น 1	7.73±0.06	ชั้น 1
RJP233088	7.09±0.05	ชั้น 1	7.11±0.05	ชั้น 1	7.11±0.11	ชั้น 1

หมายเหตุ: เมล็ดยาวชั้น 1 (>7 มม.), เมล็ดยาวชั้น 2 (6.6-7.0 มม.), เมล็ดยาวชั้น 3 (6.2-6.6 มม.) และเมล็ดสั้น (< 6.2 มม.)

Ref. code: 25676509032568NOH

ตารางที่ 4.13 ความเป็นท้องไข่ของข้าวเจ้าสายพันธุ์ก้าวหน้า 10 สายพันธุ์ และพันธุ์เปรียบเทียบ 2 พันธุ์ ที่ปลูกทดสอบจำนวน 3 สถานที่

สายพันธุ์/พันธุ์	ปทุมธานี		ชัยนาท		สุพรรณบุรี	
	คะแนน	ระดับ	คะแนน	ระดับ	คะแนน	ระดับ
DS24-Inter-1	1.06±0.21	น้อย	2.19±0.29	มาก	2.69±0.17	มาก
DS24-Inter-2	0.47±0.01	น้อย	2.30±0.09	มาก	2.02±0.12	มาก
DS24-Inter-3	0.64±0.04	น้อย	2.31±0.17	มาก	1.50±0.24	ปานกลาง
DS24-Inter-4	0.39±0.03	น้อย	1.56±0.17	ปานกลาง	1.70±0.12	ค่อนข้างมาก
DS24-Inter-5	1.26±0.34	ปานกลาง	1.42±0.11	ปานกลาง	0.52±0.22	น้อย
DS24-Inter-6	1.20±0.29	ปานกลาง	2.31±0.26	มาก	2.22±0.05	มาก
DS24-Inter-7	1.78±0.17	ค่อนข้างมาก	2.38±0.00	มาก	2.77±0.05	มาก
DS24-Inter-8	1.49±0.21	ปานกลาง	1.73±0.24	ค่อนข้างมาก	1.70±0.18	ค่อนข้างมาก
DS24-Inter-9	1.12±0.12	ปานกลาง	1.83±0.05	ค่อนข้างมาก	3.37±0.09	มาก
DS24-Inter-10	0.19±0.26	น้อย	0.81±0.19	น้อย	0.28±0.07	น้อย
RD85	0.54±0.38	น้อย	1.01±0.08	น้อย	1.01±0.08	น้อย
RJP233088	1.99±0.26	มาก	2.88±0.33	มาก	3.23±0.20	มาก

หมายเหตุ: ความเป็นท้องไข่น้อย (คะแนนความเป็นท้องไข่ 0-1), ปานกลาง (คะแนนความเป็นท้องไข่ 1.1-1.5), ค่อนข้างมาก (คะแนนความเป็นท้องไข่ 1.6-1.9) และมาก (คะแนนความเป็นท้องไข่ 2-5)

จากการวิเคราะห์ความแปรปรวนรวมของลักษณะทางกายภาพของเมล็ด พบว่า ความแปรปรวนของขนาดเมล็ด ลักษณะท้องไข่ และคุณภาพการสี ได้รับอิทธิพลส่วนใหญ่จากการแสดงออกของสายพันธุ์ (ตารางที่ 4.3) ซึ่งลักษณะทางกายภาพของเมล็ดเหล่านี้เป็นลักษณะประจำพันธุ์ที่ใช้กำหนดคุณภาพข้าวและเป็นเกณฑ์มาตรฐานที่สำคัญในการส่งเสริมการปลูกและการซื้อขายข้าว สายพันธุ์ที่มีขนาดเมล็ดยาว ปริมาณท้องไข่น้อย และคุณภาพการสีระดับปานกลางขึ้นไป ถือเป็นปัจจัยสำคัญในการประเมินคุณภาพข้าว (Lan et al., 2023) อย่างไรก็ตาม การศึกษาครั้งนี้ยังพบว่าสถานที่ปลูกทดสอบมีปฏิสัมพันธ์กับการแสดงออกของสายพันธุ์ที่ทำให้ขนาดเมล็ด ปริมาณการเกิดท้องไข่ และคุณภาพสีเปลี่ยนแปลงไป ซึ่งปฏิสัมพันธ์ระหว่างสายพันธุ์และสถานที่ปลูกนี้เป็นปัจจัยที่สำคัญที่ส่งผลต่อคุณภาพข้าว เนื่องจาก พันธุ์ข้าวแต่ละชนิดมีการตอบสนองต่อสภาพแวดล้อมที่แตกต่างกัน จึงส่งผลต่อลักษณะทางกายภาพของเมล็ด เช่น ขนาดเมล็ดและการพัฒนาเมล็ดที่สมบูรณ์

คุณภาพการสีของข้าวประเมินจากปริมาณข้าวเต็มเมล็ดและต้นข้าว ข้าวคุณภาพดีควรสีได้ข้าวเต็มเมล็ดและต้นข้าวมาก ข้าวหักน้อย โดยปัจจัยที่ทำให้ข้าวหักในระหว่างการสี คือ เมล็ดยาวมาก เมล็ดไม่สมบูรณ์ และเมล็ดมีท้องไข่ (กรมการข้าว, 2567) ซึ่งลักษณะท้องไข่เป็นลักษณะที่ไม่

Ref. code: 25676509032568NOH

พึงประสงค์ เนื่องจาก เมล็ดข้าวที่มีท้องไข่จะมีรูปร่างไม่สมบูรณ์ และส่งผลต่อคุณภาพการสี โดยข้าวที่มีปริมาณท้องไข่น้อยจะมีคุณภาพการสีดี ในขณะที่ข้าวที่มีท้องไข่มากจะมีคุณภาพการสีต่ำและข้าวหักมาก (Armstrong et al., 2019) ในการศึกษานี้ พบว่า สายพันธุ์ก้าวหน้ามีปริมาณการเกิดท้องไข่มีความแปรปรวนไปตามสถานที่ปลูก โดยข้าวที่ปลูกทดสอบในชัยนาทและสุพรรณบุรีมีปริมาณการเกิดท้องไข่สูงกว่าการปลูกทดสอบที่ปทุมธานี จากการศึกษาที่ผ่านมารายงานว่า การเกิดท้องไข่เป็นกระบวนการที่ซับซ้อนซึ่งถูกควบคุมด้วยยีนที่แตกต่างกัน และได้รับผลกระทบด้านปัจจัยที่แตกต่างกัน โดยเฉพาะสภาพภูมิอากาศ (Lanning et al., 2011; Siebenmorgen et al., 2013) จากข้อมูลสภาพอากาศของสถานที่ปลูกทดสอบทั้งสาม พบว่า มีอุณหภูมิในระยะการสะสมแป้งในเมล็ดของข้าวอยู่ระหว่าง 36-40°C (ภาพผนวกที่ ก.1-3) ซึ่งเมื่อข้าวที่ได้รับอุณหภูมิสูง (อุณหภูมิกลางวัน/กลางคืนที่ 36/31°C) ในช่วงการสะสมแป้งในเมล็ดจะมีท้องไข่มากขึ้น (Tsukaguchi and Iida, 2008) เนื่องจากการสะสมแป้งที่ไม่สมบูรณ์ ซึ่งเกิดจากกิจกรรมของเอนไซม์ granule bound starch synthase (GBSS) ที่ลดลง ขณะที่กิจกรรมของเอนไซม์ α-amylase ซึ่งทำหน้าที่เร่งการย่อยแป้งเพิ่มขึ้น ทำให้เกิดช่องว่างระหว่างผลึกแป้งและช่องอากาศเล็ก ๆ ซึ่งทำให้เมล็ดข้าวดูทึบแสง (Ahmed et al., 2014) ส่งผลให้สายพันธุ์ข้าวที่ปลูกในพื้นที่ดังกล่าวมีปริมาณท้องไข่เพิ่มขึ้น

แม้ว่าทั้งสามพื้นที่ปลูกทดสอบจะเผชิญกับสภาวะอุณหภูมิสูง แต่อัตราการเกิดท้องไข่ในเมล็ดข้าวที่จังหวัดปทุมธานีกลับต่ำกว่าสถานที่ปลูกทดสอบอื่น ๆ (ตารางที่ 4.12) ซึ่งอาจเนื่องมาจากความอุดมสมบูรณ์ของดิน โดยเฉพาะปริมาณไนโตรเจนและโพแทสเซียมที่อยู่ในระดับสูง (ตารางที่ 4.2) จากการศึกษาของ Singh et al. (2004) พบว่า ธาตุไนโตรเจนสามารถลดผลกระทบของอุณหภูมิสูงต่อคุณภาพเมล็ดข้าวโดยควบคุมกระบวนการสะสมแป้ง ขณะที่โพแทสเซียมมีบทบาทในการส่งเสริมการใช้ไนโตรเจนอย่างมีประสิทธิภาพ และยังสามารถดูดซึมได้รวดเร็วกว่าธาตุไนโตรเจน ส่งผลให้อัตราและระดับความรุนแรงของการเกิดท้องไข่ในเมล็ดข้าวลดลงอย่างมีนัยสำคัญ (Wang et al., 2004; Armengaud et al., 2009) สอดคล้องกับผลการศึกษาของ Guo et al. (2024) ที่รายงานว่า การใส่ปุ๋ยไนโตรเจนในระดับสูง (150 และ 225 กิโลกรัมต่อเฮกตาร์) ช่วยลดอัตราเมล็ดท้องไข่ได้ 8.93-28.02% และลดความรุนแรงของท้องไข่ลงได้ 8.61-33.99% เมื่อเปรียบเทียบกับการใส่ปุ๋ยไนโตรเจนในระดับต่ำ (75 กิโลกรัมต่อเฮกตาร์) ซึ่งเป็นผลจากการเปลี่ยนแปลงกิจกรรมของเอนไซม์ที่เกี่ยวข้องกับการสังเคราะห์แป้ง ได้แก่ ลดกิจกรรมของเอนไซม์ GBSS และ starch-debranching enzyme (SDBEs) ขณะเดียวกันเพิ่มกิจกรรมของเอนไซม์ ADP-glucose pyrophosphorylase, SSS, และ SBEs รวมถึงเพิ่มกิจกรรมของเอนไซม์ glutamate synthetase และ glutamine synthetase ซึ่งส่งเสริมการสังเคราะห์อมิโลเพคติน ทำให้มีการสะสมแป้งและโปรตีนในเมล็ดเพิ่มขึ้นในช่วงอายุ 6-30 วันหลังออกดอก นอกจากนี้ Zhang et al. (2025) รายงานว่า การใส่ปุ๋ยโพแทสเซียมแบบแบ่งครั้งสามารถลดอัตราท้องไข่และระดับความรุนแรงของท้อง

Ref. code: 25676509032568NOH

ไข่ภายใต้สภาวะอุณหภูมิสูงได้ เท่ากับ 9.2-13.72% และ 12.16-19.91% ตามลำดับ โดยเฉพาะในช่วงอายุ 5-10 วันหลังออกดอก ซึ่งเป็นช่วงที่กิจกรรมของเอนไซม์ที่เกี่ยวข้องกับการเปลี่ยนซูโครสเป็นแป้ง ได้แก่ เอนไซม์ sucrose synthetase (SuSy), Adenosine diphosphate glucose pyrophosphorylase (ADPGase) และ SBE ลดลง เท่ากับ 3.17-34.20% รวมถึงเอนไซม์ GBSS และ SSS ที่ลดลง เท่ากับ 6.48-13.50% ในช่วงอายุ 5 วันหลังออกดอก สะท้อนถึงประสิทธิภาพของการจัดการธาตุอาหารในการบรรเทาผลกระทบของความร้อนต่อการเกิดท้องไข่ในเมล็ดข้าว อย่างไรก็ตาม จากการศึกษาครั้งนี้ พบว่า สายพันธุ์ DS24-Inter-10 และพันธุ์เปรียบเทียบทั้งสองมีระดับการเกิดท้องไข่อยู่ในระดับเดียวกันทั้ง 3 สถานที่ปลูกทดสอบ สะท้อนถึงศักยภาพในการทนต่ออุณหภูมิสูงของสายพันธุ์/พันธุ์ สอดคล้องกับการศึกษาของ Cheng et al. (2019) ซึ่งรายงานว่า ข้าวแต่ละพันธุ์มีการตอบสนองต่ออุณหภูมิสูงในช่วงการสะสมแป้งแตกต่างกัน โดยสามารถจำแนกข้าว 26 พันธุ์ออกเป็น 3 กลุ่ม คือ กลุ่ม A และ B ซึ่งมีความไวต่ออุณหภูมิสูง และแสดงการเปลี่ยนแปลงของการเกิดท้องไข่อย่างชัดเจนเมื่อปลูกในสภาพแวดล้อมที่ต่างกัน ขณะที่กลุ่ม C มีความเสถียรต่ออุณหภูมิสูง โดยระดับการเกิดท้องไข่เปลี่ยนแปลงเพียงเล็กน้อย เนื่องจากลักษณะดังกล่าวอาจเกิดจากความแตกต่างทางพันธุกรรม โดยพันธุ์ที่สามารถพัฒนาเมล็ดข้าวได้สมบูรณ์แม้ภายใต้สภาวะเครียดมักมีอัตราการเกิดท้องไข่น้อย ในขณะที่พันธุ์ที่มีการพัฒนาเมล็ดไม่สมบูรณ์จะมีการเกิดท้องไข่มากกว่า

4.6 ลักษณะทางเคมีกายภาพที่เกี่ยวข้องกับคุณภาพการหุงต้มและรับประทาน

4.6.1 ปริมาณอมิโลส

จากการวิเคราะห์ปริมาณอมิโลสของข้าว 12 สายพันธุ์/พันธุ์ที่ปลูกทดสอบใน 3 สถานที่ พบว่า สายพันธุ์ DS24-Inter-4 DS24-Inter-7 DS24-Inter-9 และพันธุ์เปรียบเทียบ กข85 จัดอยู่ในกลุ่มข้าวอมิโลสสูงในทุกสถานที่ทดสอบ (ตารางที่ 4.14) ขณะที่สายพันธุ์ DS24-Inter-3 จัดอยู่ในกลุ่มข้าวอมิโลสปานกลาง และสายพันธุ์ DS24-Inter-5 DS24-Inter-6 DS24-Inter-8 DS24-Inter-10 และพันธุ์เปรียบเทียบ RJP233088 จัดอยู่ในกลุ่มข้าวอมิโลสต่ำ ส่วนสายพันธุ์ DS24-Inter-1 และ DS24-Inter-2 มีปริมาณอมิโลสที่ผันแปรไปตามสถานที่ทดสอบ

Ref. code: 25676509032568NOH

ตารางที่ 4.14 ปริมาณอมิโลสของข้าวเจ้าสายพันธุ์ก้าวหน้า 10 สายพันธุ์ และพันธุ์เปรียบเทียบ 2 พันธุ์ ที่ปลูกทดสอบจำนวน 3 สถานที่

สายพันธุ์/พันธุ์	ปทุมธานี		ชัยนาท		สุพรรณบุรี	
	อมิโลส (%)	ประเภท	อมิโลส (%)	ประเภท	อมิโลส (%)	ประเภท
DS24-Inter-1	22.63±0.40	ปานกลาง	20.23±1.06	ต่ำ	19.57±1.20	ต่ำ
DS24-Inter-2	21.30±0.63	ปานกลาง	19.57±1.07	ต่ำ	22.04±0.32	ปานกลาง
DS24-Inter-3	23.96±2.65	ปานกลาง	21.30±0.96	ปานกลาง	21.97±2.05	ปานกลาง
DS24-Inter-4	26.72±1.08	สูง	25.13±2.20	สูง	27.30±2.36	สูง
DS24-Inter-5	16.00±0.87	ต่ำ	13.42±1.44	ต่ำ	17.14±0.89	ต่ำ
DS24-Inter-6	16.93±0.76	ต่ำ	15.50±0.83	ต่ำ	18.21±0.70	ต่ำ
DS24-Inter-7	25.10±1.13	สูง	25.33±1.30	สูง	25.46±1.55	สูง
DS24-Inter-8	19.48±0.58	ต่ำ	19.83±1.11	ต่ำ	18.12±0.93	ต่ำ
DS24-Inter-9	25.16±1.27	สูง	25.31±2.74	สูง	26.31±1.03	สูง
DS24-Inter-10	14.77±0.68	ต่ำ	15.48±0.56	ต่ำ	15.04±0.52	ต่ำ
RD85	28.35±1.56	สูง	27.50±2.10	สูง	28.59±0.13	สูง
RJP233088	18.36±1.09	ต่ำ	16.48±0.15	ต่ำ	18.93±0.89	ต่ำ

หมายเหตุ: ข้าวเหนียว (ปริมาณอมิโลส 0-2%), ข้าวเจ้าอมิโลสต่ำ (ปริมาณอมิโลส 10-19%), ข้าวเจ้าอมิโลสปานกลาง (ปริมาณอมิโลส 20-24%) และข้าวเจ้าอมิโลสสูง (ปริมาณอมิโลส 25-34%)

4.6.2 อุณหภูมิแป้งสุก

การสลายเมล็ดในด่างของข้าว 12 สายพันธุ์/พันธุ์มีความแตกต่างกันระหว่างแต่ละสายพันธุ์และสถานที่ทดสอบ (ตารางที่ 4.15 และภาพผนวก ค.3) โดยสายพันธุ์ DS24-Inter-7 แสดงอุณหภูมิแป้งสุกสูง (ค่าการสลายเมล็ดในด่าง 1–3) ในทุกสถานที่ทดสอบ เช่นเดียวกับพันธุ์เปรียบเทียบ RJP233088 ส่วนสายพันธุ์ที่มีอุณหภูมิแป้งสุกปานกลาง (ค่าการสลายเมล็ดในด่าง 4–5) ได้แก่ สายพันธุ์ DS24-Inter-1, DS24-Inter-2, DS24-Inter-5, DS24-Inter-9 และ DS24-Inter-10 เช่นเดียวกับพันธุ์เปรียบเทียบ กข85 และสายพันธุ์ที่มีอุณหภูมิแป้งสุกต่ำ (ค่าการสลายเมล็ดในด่าง 6–7) ได้แก่ สายพันธุ์ DS24-Inter-4 และ DS24-Inter-8 ขณะที่สายพันธุ์ DS24-Inter-3 และ DS24-Inter-6 มีอุณหภูมิแป้งสุกผันแปรไปตามสถานที่ทดสอบ

Ref. code: 25676509032568NOH

ตารางที่ 4.15 อุณหภูมิแป้งสุกของข้าวเจ้าสายพันธุ์ก้าวหน้า 10 สายพันธุ์ และพันธุ์เปรียบเทียบ 2 พันธุ์ ที่ปลูกทดสอบจำนวน 3 สถานที่

สายพันธุ์/พันธุ์	ปทุมธานี		ชัยนาท		สุพรรณบุรี	
	คะแนน	ระดับ	คะแนน	ระดับ	คะแนน	ระดับ
DS24-Inter-1	5.13±0.12	ปานกลาง	5.03±0.06	ปานกลาง	5.00±0.00	ปานกลาง
DS24-Inter-2	5.97±0.06	ปานกลาง	5.30±0.00	ปานกลาง	5.87±0.12	ปานกลาง
DS24-Inter-3	6.97±0.06	ต่ำ	5.27±0.06	ปานกลาง	6.77±0.21	ต่ำ
DS24-Inter-4	7.00±0.00	ต่ำ	7.00±0.00	ต่ำ	7.00±0.00	ต่ำ
DS24-Inter-5	5.27±0.23	ปานกลาง	5.07±0.06	ปานกลาง	5.07±0.06	ปานกลาง
DS24-Inter-6	5.80±0.10	ปานกลาง	5.00±0.00	ปานกลาง	6.17±0.06	ต่ำ
DS24-Inter-7	3.00±0.00	สูง	3.00±0.00	สูง	3.00±0.00	สูง
DS24-Inter-8	7.00±0.00	ต่ำ	6.00±0.00	ต่ำ	7.00±0.00	ต่ำ
DS24-Inter-9	4.00±0.00	ปานกลาง	4.00±0.06	ปานกลาง	4.00±0.00	ปานกลาง
DS24-Inter-10	5.23±0.12	ปานกลาง	5.00±0.00	ปานกลาง	5.00±0.00	ปานกลาง
RD85	4.00±0.00	ปานกลาง	4.00±0.00	ปานกลาง	4.00±0.00	ปานกลาง
RJP233088	2.93±0.06	สูง	2.27±0.12	สูง	2.67±0.29	สูง

หมายเหตุ: อุณหภูมิแป้งสุกสูง (ค่าการสลายเมล็ดในด่าง 1-3), อุณหภูมิแป้งสุกปานกลาง (ค่าการสลายเมล็ดในด่าง 4-5) และอุณหภูมิแป้งสุกต่ำ (ค่าการสลายเมล็ดในด่าง 6-7)

4.6.3 ความคงตัวแป้งสุก

ระยะทางที่แป้งไหลของข้าว 12 สายพันธุ์/พันธุ์มีความแตกต่างกันระหว่างแต่ละสายพันธุ์และสถานที่ทดสอบ (ตารางที่ 4.16 และภาพผนวก ค.2) โดยการปลูกทดสอบที่ปทุมธานี พบว่า สายพันธุ์ DS24-Inter-1 DS24-Inter-2 และ DS24-Inter-3 จัดอยู่ในกลุ่มแป้งสุกแข็ง สายพันธุ์ DS24-Inter-5 และ DS24-Inter-6 จัดอยู่ในกลุ่มแป้งสุกปานกลาง ขณะที่อีก 4 สายพันธุ์จัดอยู่ในกลุ่มแป้งสุกอ่อน เช่นเดียวกับพันธุ์เปรียบเทียบทั้งสองพันธุ์ ส่วนการปลูกทดสอบที่ชัยนาท พบว่า สายพันธุ์ DS24-Inter-1 จัดอยู่ในกลุ่มแป้งสุกแข็ง และสายพันธุ์ DS24-Inter-3 จัดอยู่ในกลุ่มแป้งสุกปานกลาง ขณะที่อีก 8 สายพันธุ์ จัดอยู่ในกลุ่มแป้งสุกอ่อน เช่นเดียวกับพันธุ์เปรียบเทียบทั้งสองพันธุ์ ขณะที่การปลูกทดสอบที่สุพรรณบุรี พบว่า สายพันธุ์ DS24-Inter-2 และ DS24-Inter-3 จัดอยู่ในกลุ่มแป้งสุกปานกลาง ขณะที่อีก 8 สายพันธุ์ จัดอยู่ในกลุ่มแป้งสุกอ่อน เช่นเดียวกับพันธุ์เปรียบเทียบทั้งสองพันธุ์

Ref. code: 25676509032568NOH

ตารางที่ 4.16 ความคงตัวแป้งสุกของข้าวเจ้าสายพันธุ์ก้าวหน้า 10 สายพันธุ์ และพันธุ์เปรียบเทียบ 2 พันธุ์ ที่ปลูกทดสอบจำนวน 3 สถานที่

สายพันธุ์/พันธุ์	ปทุมธานี		ชัยนาท		สุพรรณบุรี	
	ระยะแป้งไหล (มม.)	ประเภท	ระยะแป้งไหล (มม.)	ประเภท	ระยะแป้งไหล (มม.)	ประเภท
DS24-Inter-1	28.67±2.08	แข็ง	32.00±2.00	แข็ง	65.00±3.46	อ่อน
DS24-Inter-2	28.00±1.73	แข็ง	69.67±8.50	อ่อน	60.33±0.58	ปานกลาง
DS24-Inter-3	33.00±2.65	แข็ง	43.00±0.00	ปานกลาง	52.33±8.96	ปานกลาง
DS24-Inter-4	93.33±6.51	อ่อน	100.00±0.00	อ่อน	100.00±0.00	อ่อน
DS24-Inter-5	45.00±4.36	ปานกลาง	100.00±0.00	อ่อน	63.67±3.51	อ่อน
DS24-Inter-6	43.00±1.00	ปานกลาง	83.67±5.51	อ่อน	71.67±2.52	อ่อน
DS24-Inter-7	100.00±0.00	อ่อน	100.00±0.00	อ่อน	100.00±0.00	อ่อน
DS24-Inter-8	86.67±1.53	อ่อน	100.00±0.00	อ่อน	91.33±8.50	อ่อน
DS24-Inter-9	100.00±0.00	อ่อน	100.00±0.00	อ่อน	100.00±0.00	อ่อน
DS24-Inter-10	83.00±3.00	อ่อน	100.00±0.00	อ่อน	100.00±0.00	อ่อน
RD85	100.00±0.00	อ่อน	100.00±0.00	อ่อน	100.00±0.00	อ่อน
RJP233088	100.00±0.00	อ่อน	100.00±0.00	อ่อน	100.00±0.00	อ่อน

หมายเหตุ: แป้งสุกแข็ง (ระยะทางที่แป้งไหล 26-40 มม.), แป้งสุกปานกลาง (ระยะทางที่แป้งไหล 41-60 มม.) และแป้งสุกอ่อน (ระยะทางที่แป้งไหล 61-100)

4.6.4 การยืดตัวของเมล็ดข้าวสุก

จากการศึกษาการยืดตัวของเมล็ดข้าวสุกของข้าว 12 สายพันธุ์/พันธุ์ จำนวน 3 สถานที่ทดสอบ พบว่า ทุกสายพันธุ์มีอัตราการยืดตัวปกติ (ความยาวของข้าวสุก/ความยาวของข้าวสาร < 1.9 มม.) (ตารางที่ 4.17)

Ref. code: 25676509032568NOH

ตารางที่ 4.17 การยืดตัวของเมล็ดข้าวเจ้าสายพันธุ์ก้าวหน้า 10 สายพันธุ์ และพันธุ์เปรียบเทียบ 2 พันธุ์ ที่ปลูกทดสอบจำนวน 3 สถานที่

สายพันธุ์/พันธุ์	ปทุมธานี		ชัยนาท		สุพรรณบุรี	
	การยืดตัว	อัตราการยืดตัว	การยืดตัว	อัตราการยืดตัว	การยืดตัว	อัตราการยืดตัว
DS24-Inter-1	1.49±0.02	ยืดตัวปกติ	1.50±0.04	ยืดตัวปกติ	1.41±0.00	ยืดตัวปกติ
DS24-Inter-2	1.52±0.02	ยืดตัวปกติ	1.55±0.06	ยืดตัวปกติ	1.41±0.06	ยืดตัวปกติ
DS24-Inter-3	1.50±0.02	ยืดตัวปกติ	1.48±0.03	ยืดตัวปกติ	1.41±0.02	ยืดตัวปกติ
DS24-Inter-4	1.54±0.02	ยืดตัวปกติ	1.55±0.08	ยืดตัวปกติ	1.39±0.02	ยืดตัวปกติ
DS24-Inter-5	1.48±0.01	ยืดตัวปกติ	1.52±0.07	ยืดตัวปกติ	1.37±0.04	ยืดตัวปกติ
DS24-Inter-6	1.53±0.09	ยืดตัวปกติ	1.55±0.02	ยืดตัวปกติ	1.24±0.05	ยืดตัวปกติ
DS24-Inter-7	1.43±0.03	ยืดตัวปกติ	1.46±0.04	ยืดตัวปกติ	1.41±0.00	ยืดตัวปกติ
DS24-Inter-8	1.45±0.04	ยืดตัวปกติ	1.47±0.04	ยืดตัวปกติ	1.40±0.05	ยืดตัวปกติ
DS24-Inter-9	1.48±0.03	ยืดตัวปกติ	1.46±0.04	ยืดตัวปกติ	1.45±0.03	ยืดตัวปกติ
DS24-Inter-10	1.56±0.07	ยืดตัวปกติ	1.54±0.05	ยืดตัวปกติ	1.40±0.03	ยืดตัวปกติ
RD85	1.49±0.03	ยืดตัวปกติ	1.49±0.03	ยืดตัวปกติ	1.2±0.02	ยืดตัวปกติ
RJP233088	1.45±0.04	ยืดตัวปกติ	1.66±0.03	ยืดตัวปกติ	1.42±0.06	ยืดตัวปกติ
ค่าเฉลี่ย	1.49		1.52		1.38	

4.6.5 คุณสมบัติความหนืด

ในปัจจุบันยังไม่มีเกณฑ์ที่ชัดเจนในการจัดแบ่งลักษณะความหนืดของข้าว เพื่อให้เข้าใจผลของปริมาณอมิโลสที่มีต่อคุณภาพการหุงต้มและรับประทาน รวมถึงคุณสมบัติของ RVA ได้ดียิ่งขึ้น วิธีหนึ่งที่มีประสิทธิภาพ คือ การจำแนกสายพันธุ์ข้าวออกเป็นหมวดหมู่ตามระดับอมิโลสก่อนแล้วจึงศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างคุณสมบัติความหนืดกับคุณภาพการหุงต้มและรับประทาน งานวิจัยนี้ได้เลือกใช้ข้าวพันธุ์ กข85 ที่มีปริมาณอมิโลสสูงและจัดเป็นข้าวพื้นแข็ง และพันธุ์ RJP233088 ที่มีปริมาณอมิโลสต่ำและจัดเป็นข้าวพื้นนุ่ม เป็นพันธุ์อ้างอิงเพื่อเปรียบเทียบคุณสมบัติความหนืดของ RVA โดยข้อมูลที่ได้จากการวิเคราะห์ดังกล่าว แสดงถึงการเปลี่ยนแปลงของค่าความหนืดของแป้งในแต่ละช่วงเวลา รวมถึงค่าความหนืดสูงสุด ความหนืดต่ำสุด และค่าความหนืดสุดท้าย โดยข้าวที่มีค่าความหนืดต่ำจะมีค่าความหนืดสูงสุดและต่ำสุดแตกต่างกันเพียงเล็กน้อย เช่น สายพันธุ์ DS24-Inter-4 เป็นข้าวที่มีปริมาณอมิโลสสูง เช่นเดียวกับพันธุ์เปรียบเทียบ กข85 (ภาพที่ 4.4a และ b) ในขณะที่ข้าวที่มีค่าความหนืดสูงจะมีค่าความหนืดสูงสุดและต่ำสุดแตกต่างกันเพิ่มขึ้น เช่น สายพันธุ์ DS24-Inter-8 เป็นข้าวที่มีปริมาณอมิโลสต่ำ เช่นเดียวกับพันธุ์เปรียบเทียบ RJP233088 (ภาพที่ 4.4c และ

Ref. code: 25676509032568NOH

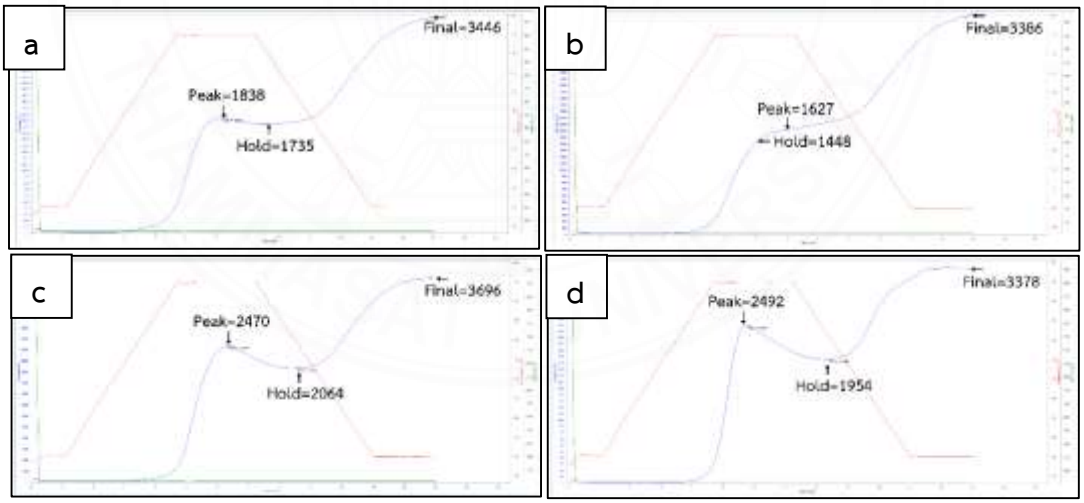
d) นอกจากนี้ ผลจากการวิเคราะห์คุณสมบัติความหนืดของข้าว 12 สายพันธุ์/พันธุ์มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติทั้ง 3 สถานที่ โดยมีรายละเอียดดังนี้

การปลูกทดสอบที่ปทุมธานี (ตารางที่ 4.18) พบกลุ่มอมิโลสต่ำ (10-19%) ได้แก่ สายพันธุ์ DS24-Inter-5, DS24-Inter-6, DS24-Inter-8, DS24-Inter-10 และพันธุ์เปรียบเทียบ RJP233088 มีค่าความหนืดสูงสุดค่อนข้างสูงระหว่าง 190.92-333.73 RVU โดยสายพันธุ์ DS24-Inter-6 มีค่าสูงสุดถึง 333.73 RVU ค่าการแตกตัวสูงในหลายสายพันธุ์ (เช่น สายพันธุ์ DS24-Inter-6 = 151.92 RVU และ DS24-Inter-10 = 109.48 RVU) ค่าความหนืดสุดท้ายและค่าการคืนตัวอยู่ในระดับต่ำถึงปานกลาง โดยสายพันธุ์ DS24-Inter-6 มีค่าการคืนตัวต่ำสุดเท่ากับ 78.75 RVU และ Pasting temperature ของกลุ่มนี้ค่อนข้างต่ำถึงปานกลาง (84.83-92.43°C) ส่วนกลุ่มอมิโลสปานกลาง (20-24%) ได้แก่ สายพันธุ์ DS24-Inter-1, DS24-Inter-2 และ DS24-Inter-3 มีค่าความหนืดสูงสุดระหว่าง 223.03-267.23 RVU ค่าการแตกตัวอยู่ในระดับปานกลาง (54.75-76.97 RVU) ค่าการคืนตัวอยู่ในช่วง 134.17-148.20 RVU และ Pasting temperature อยู่ในช่วง 88.38-90.05°C และกลุ่มอมิโลสสูง (25-34%) ได้แก่ สายพันธุ์ DS24-Inter-4, DS24-Inter-7, DS24-Inter-9 และพันธุ์เปรียบเทียบ กข85 มีค่าความหนืดสูงสุดต่ำ โดยเฉพาะพันธุ์ กข85 (137.17 RVU) และสายพันธุ์ DS24-Inter-4 (152.64 RVU) ค่าการแตกตัวต่ำมากในบางสายพันธุ์ (เช่น สายพันธุ์ DS24-Inter-4 = 7.83 RVU) ค่าการคืนตัวสูงมากโดยเฉพาะ สายพันธุ์ DS24-Inter-9 และพันธุ์เปรียบเทียบ กข85 (169.08 และ 159.64 RVU ตามลำดับ) และค่า Pasting temperature อยู่ในช่วง 88.80-91.63°C

การปลูกทดสอบที่ชัยนาท (ตารางที่ 4.19) พบกลุ่มอมิโลสต่ำ ได้แก่ สายพันธุ์ DS24-Inter-2, DS24-Inter-5, DS24-Inter-6, DS24-Inter-8, DS24-Inter-10 และพันธุ์เปรียบเทียบ RJP233088 มีค่าความหนืดสูงสุดสูงระหว่าง 240.67-364.58 RVU โดยสายพันธุ์ DS24-Inter-5 มีค่าสูงสุดถึง 364.58 RVU ค่าการแตกตัวสูง โดยเฉพาะ สายพันธุ์ DS24-Inter-5 (147.25 RVU) และ DS24-Inter-6 (123.89 RVU) ค่าการคืนตัวต่ำ โดยเฉพาะสายพันธุ์ DS24-Inter-6 (63.97 RVU) และ DS24-Inter-10 (75.58 RVU) และค่า Pasting temperature อยู่ในช่วง 84.83-89.68°C ส่วนกลุ่มอมิโลสปานกลาง ได้แก่ สายพันธุ์ DS24-Inter-1 และ DS24-Inter-3 มีค่าความหนืดสูงสุดระหว่าง 305.14-316.31 RVU ค่าการแตกตัวอยู่ในระดับปานกลาง (99.73-100.36 RVU) ค่าการคืนตัวอยู่ในช่วง 113.08-114.58 RVU และ Pasting temperature อยู่ในช่วง 84.43-86.83°C และกลุ่มอมิโลสสูง ได้แก่ สายพันธุ์ DS24-Inter-4, DS24-Inter-7, DS24-Inter-9 และพันธุ์เปรียบเทียบ กข85 มีค่าความหนืดสูงสุดต่ำระหว่าง 141.00-296.39 RVU ค่าการแตกตัวต่ำมาก โดยเฉพาะพันธุ์ กข85 (6.33 RVU) และสายพันธุ์ DS24-Inter-4 (15.89 RVU) ค่าการคืนตัวสูง โดยเฉพาะ สายพันธุ์ DS24-Inter-9 (175.42 RVU) และพันธุ์เปรียบเทียบ กข85 (151.58 RVU) และค่า Pasting temperature สูง อยู่ในช่วง 85.55-89.68°C

Ref. code: 25676509032568NOH

การปลูกทดสอบที่สุพรรณบุรี (ตารางที่ 4.20) พบกลุ่มอมิโลสต่ำ ได้แก่ สายพันธุ์ DS24-Inter-1, DS24-Inter-5, DS24-Inter-6, DS24-Inter-8, DS24-Inter-10 และพันธุ์เปรียบเทียบ RJP233088 มีค่าความหนืดสูงสุดสูงระหว่าง 220.58-309.00 RVU โดย DS24-Inter-10 มีค่าสูงสุดถึง 309.00 RVU ค่าการแตกตัวสูงในบางสายพันธุ์ เช่น สายพันธุ์ DS24-Inter-10 (151.08 RVU) และ DS24-Inter-5 (140.64 RVU) ค่าการคืนตัวค่อนข้างต่ำถึงปานกลางอยู่ในช่วง 84.75-134.73 RVU และค่า Pasting temperature อยู่ในช่วง 86.08–90.88°C ส่วนกลุ่มอมิโลสปานกลาง ได้แก่ สายพันธุ์ DS24-Inter-2 และ DS24-Inter-3 มีค่าความหนืดสูงสุดระหว่าง 269.42-277.98 RVU ค่าการแตกตัวอยู่ในช่วง 82.14-89.39 RVU ค่าการคืนตัวอยู่ในช่วง 130.83-131.83 RVU และค่า Pasting temperature อยู่ในช่วง 87.20-87.25°C และกลุ่มอมิโลสสูง ได้แก่ สายพันธุ์ DS24-Inter-4, DS24-Inter-7, DS24-Inter-9 และพันธุ์เปรียบเทียบ กข85 ค่าความหนืดสูงสุดต่ำระหว่าง 147.31-250.56 RVU โดยเฉพาะพันธุ์เปรียบเทียบ กข85 (194.50 RVU) และสายพันธุ์ DS24-Inter-4 (147.31 RVU) ค่าการแตกตัวต่ำมากในบางสายพันธุ์ เช่น สายพันธุ์ DS24-Inter-4 (2.75 RVU) และพันธุ์เปรียบเทียบ กข85 (30.97 RVU) ค่าการคืนตัวสูงมากอยู่ในช่วง 129.08-181.31 RVU โดยเฉพาะพันธุ์เปรียบเทียบ กข85 (181.31 RVU) และสายพันธุ์ DS24-Inter-9 (147.42 RVU) และค่า Pasting temperature อยู่ในช่วง 83.60-89.60°C



ภาพที่ 4.4 คุณสมบัติความหนืดของแป้งข้าวเมื่อวิเคราะห์ด้วยเครื่อง RVA สำหรับสายพันธุ์ DS24-Inter-4 (a) พันธุ์ กข85 (b) สายพันธุ์ DS24-Inter-8 (c) และพันธุ์ RJP233088 (d)

Ref. code: 25676509032568NOH

ตารางที่ 4.18 คุณสมบัติความหนืดของข้าวเจ้าสายพันธุ์ก้าวหน้า 10 สายพันธุ์ และพันธุ์เปรียบเทียบ 2 พันธุ์ ที่ปลูกทดสอบที่ปทุมธานี

สายพันธุ์/พันธุ์	Amylose content	Peak viscosity (RVU)	Trough viscosity (RVU)	Breakdown (RVU)	Final viscosity (RVU)	Setback (RVU)	Peak time (min)	Pasting temperature (°C)
DS24-Inter-1	22.63 ± 0.40	267.23 ± 0.13$^{c1/}$	190.25 ± 2.67^{b}	76.97 ± 2.79 ^{d}	335.64 ± 2.96^{b}	148.20 ± 2.79^{d}	6.00 ± 0.07^{f}	88.88 ± 0.83^{ef}
DS24-Inter-2	21.30 ± 0.63	223.03 ± 5.29^{f}	179.08 ± 5.50^{c}	54.75 ± 0.50^{f}	302.91 ± 4.83^{e}	134.17 ± 1.42^{f}	6.20 ± 0.07^{c}	90.05 ± 0.40^{cd}
DS24-Inter-3	23.96 ± 2.65	240.83 ± 5.50^{e}	180.25 ± 1.50^{c}	61.31 ± 4.75^{e}	317.48 ± 5.71^{d}	137.23 ± 4.21^{ef}	6.10 ± 0.10^{e}	88.38 ± 1.18^{fg}
DS24-Inter-4	26.72 ± 1.08	152.64 ± 0.54^{i}	144.81 ± 0.21^{e}	7.83 ± 0.75^{k}	290.58 ± 3.42^{f}	145.81 ± 3.21^{d}	6.13 ± 0.00^{de}	88.80 ± 0.00^{ef}
DS24-Inter-5	16.00 ± 0.87	259.67 ± 1.25^{d}	166.42 ± 0.75^{d}	93.25 ± 0.50^{c}	276.56 ± 1.46^{h}	110.14 ± 0.71^{h}	5.64 ± 0.04^{h}	89.55 ± 0.00^{de}
DS24-Inter-6	16.93 ± 0.76	333.73 ± 0.88^{a}	181.81 ± 3.79^{c}	151.92 ± 2.92^{a}	260.56 ± 2.96^{i}	78.75 ± 0.83^{j}	5.60 ± 0.07^{h}	84.83 ± 0.03^{h}
DS24-Inter-7	25.10 ± 1.13	191.23 ± 0.79^{h}	176.56 ± 3.04^{c}	14.67 ± 2.25^{j}	324.39 ± 4.29^{c}	151.50 ± 3.67^{c}	7.00 ± 0.00^{a}	91.63 ± 0.43^{ab}
DS24-Inter-8	19.48 ± 0.58	190.92 ± 5.00^{h}	165.14 ± 6.71^{d}	30.75 ± 3.25^{h}	304.50 ± 3.50^{e}	139.39 ± 3.21^{e}	6.30 ± 0.03^{b}	92.43 ± 0.33^{a}
DS24-Inter-9	25.16 ± 1.27	241.28 ± 3.54^{e}	214.56 ± 3.38^{a}	23.17 ± 3.75^{i}	383.64 ± 6.04^{a}	169.08 ± 2.67^{a}	6.17 ± 0.04^{cd}	88.83 ± 0.78^{ef}
DS24-Inter-10	14.77 ± 0.68	273.58 ± 6.17^{b}	164.81 ± 1.38^{d}	109.48 ± 5.46^{b}	263.67 ± 2.33^{i}	98.89 ± 0.96^{i}	5.50 ± 0.03^{i}	87.63 ± 1.23^{g}
RD85	28.35 ± 1.56	137.17 ± 1.58^{j}	124.31 ± 3.63^{f}	12.89 ± 2.04^{j}	283.92 ± 1.75^{g}	159.64 ± 1.88^{b}	6.97 ± 0.04^{a}	91.28 ± 0.78^{ab}
RJP233088	18.36 ± 1.09	216.61 ± 2.96^{g}	162.06 ± 0.79^{d}	48.22 ± 3.38^{g}	282.89 ± 1.38^{g}	120.83 ± 2.17^{g}	5.70 ± 0.03^{g}	90.93 ± 0.38^{bc}
ค่าเฉลี่ย	21.71	227.33	170.83	57.10	302.23	132.80	6.11	89.43
C.V. (%)	5.26	1.52	1.99	4.96	1.13	1.45	0.61	0.76

[1/]ค่าเฉลี่ยตามแนวตั้งที่ตามหลังด้วยอักษรที่แตกต่างกันมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$) โดยวิธี LSD

Ref. code: 25676509032568NOH

ตารางที่ 4.19 คุณสมบัติความหนืดของข้าวเจ้าสายพันธุ์ก้าวหน้า 10 สายพันธุ์ และพันธุ์เปรียบเทียบ 2 พันธุ์ ที่ปลูกทดสอบที่ชัยนาท

สายพันธุ์/พันธุ์	Amylose content	Peak viscosity (RVU)	Trough viscosity (RVU)	Breakdown (RVU)	Final viscosity (RVU)	Setback (RVU)	Peak time (min)	Pasting temperature (°C)
DS24-Inter-1	20.23 ± 1.06	305.14 ± 1.38$^{d1/}$	205.42 ± 0.58^{ef}	99.73 ± 1.96^{c}	320.00 ± 1.58^{de}	114.58 ± 1.00^{e}	5.97 ± 0.04^{bc}	86.83 ± 0.38^{c}
DS24-Inter-2	19.57 ± 1.07	319.67 ± 1.83^{bc}	215.33 ± 7.33^{cd}	99.75 ± 4.58^{c}	329.48 ± 5.79^{c}	114.14 ± 1.54^{e}	6.00 ± 0.07^{bc}	84.83 ± 0.78^{de}
DS24-Inter-3	21.30 ± 0.96	316.31 ± 9.96^{c}	210.50 ± 0.92^{de}	100.36 ± 5.46^{c}	323.58 ± 0.24^{d}	113.08 ± 1.17^{e}	6.00 ± 0.07^{bc}	84.43 ± 1.18^{e}
DS24-Inter-4	25.13 ± 2.20	199.58 ± 1.42^{h}	183.73 ± 0.21^{g}	15.89 ± 1.21^{g}	314.39 ± 1.21^{ef}	130.67 ± 1.42^{d}	6.13 ± 0.00^{b}	85.55 ± 0.00^{cde}
DS24-Inter-5	13.42 ± 1.44	364.58 ± 3.58^{a}	217.33 ± 0.42^{bc}	147.25 ± 4.00^{a}	302.64 ± 1.38^{g}	85.31 ± 1.79^{f}	5.54 ± 0.07^{e}	85.18 ± 0.38^{de}
DS24-Inter-6	15.50 ± 0.83	325.58 ± 3.58^{b}	201.73 ± 1.96^{f}	123.89 ± 5.54^{b}	265.67 ± 2.17^{i}	63.97 ± 0.21^{h}	5.60 ± 0.00^{e}	86.03 ± 0.38^{cd}
DS24-Inter-7	25.33 ± 1.30	227.67 ± 11.50^{g}	222.94 ± 4.79^{ab}	27.67 ± 6.67^{f}	348.48 ± 6.21^{b}	136.56 ± 2.79^{c}	6.47 ± 0.40^{a}	88.40 ± 2.05^{b}
DS24-Inter-8	19.83 ± 1.11	240.67 ± 2.75^{f}	180.58 ± 3.75^{g}	60.08 ± 1.00^{e}	313.58 ±6.00^{f}	133.00 ± 2.25^{d}	6.07 ± 0.07^{b}	90.03 ± 0.43^{a}
DS24-Inter-9	25.31 ± 2.74	296.39 ± 1.38^{d}	225.33 ± 0.33^{a}	71.06 ± 1.71^{d}	400.75 ± 3.00^{a}	175.42 ± 3.33^{a}	5.84 ± 0.04^{cd}	85.15 ± 0.40^{de}
DS24-Inter-10	15.48 ± 0.56	324.81 ± 4.04^{bc}	202.56 ± 2.21^{f}	122.25 ± 1.83^{b}	278.14 ± 1.54^{h}	75.58 ± 0.67^{g}	5.53 ± 0.00^{e}	85.98 ± 0.43^{cd}
RD85	27.50 ± 2.10	141.00 ± 6.50^{i}	134.56 ± 6.63^{h}	6.33 ± 0.42^{h}	269.36 ± 6.21^{i}	151.58 ± 5.75^{b}	6.67 ± 0.27^{a}	90.45 ± 0.80^{a}
RJP233088	16.48 ± 0.15	251.83 ± 2.58^{e}	185.73 ± 0.46^{g}	66.14 ± 3.04^{de}	269.33 ± 1.17^{i}	83.64 ± 0.71^{f}	5.67 ± 0.00^{de}	89.68 ± 0.03^{ab}
ค่าเฉลี่ย	20.23	276.10	198.81	78.37	311.28	114.79	5.96	86.88
C.V. (%)	7.11	1.87	1.82	4.91	1.11	1.44	2.19	0.88

[1/]ค่าเฉลี่ยตามแนวตั้งที่ตามหลังด้วยอักษรที่แตกต่างกันมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$) โดยวิธี LSD

Ref. code: 25676509032568NOH

ตารางที่ 4.20 คุณสมบัติความหนืดของข้าวเจ้าสายพันธุ์ก้าวหน้า 10 สายพันธุ์ และพันธุ์เปรียบเทียบ 2 พันธุ์ ที่ปลูกทดสอบที่สุพรรณบุรี

สายพันธุ์/พันธุ์	Amylose content	Peak viscosity (RVU)	Trough viscosity (RVU)	Breakdown (RVU)	Final viscosity (RVU)	Setback (RVU)	Peak time (min)	Pasting temperature (°C)
DS24-Inter-1	19.57 ± 1.20	282.83± 4.75$^{c1/}$	189.33 ± 0.50^{c}	93.50 ± 4.25^{d}	311.33 ± 1.58^{f}	122.00 ± 1.08^{f}	5.87 ± 0.07^{e}	88.47 ± 0.38^{c}
DS24-Inter-2	22.04 ± 0.32	269.42 ± 3.50^{d}	187.31± 4.13^{c}	82.14 ± 0.63^{e}	318.14 ± 3.29^{c}	130.83 ± 0.83^{de}	6.00 ± 0.13^{cd}	87.25 ± 0.00^{de}
DS24-Inter-3	21.97 ± 2.05	277.98 ± 3.79^{c}	189.42 ± 1.67^{c}	89.39 ± 4.63^{d}	321.25 ± 1.58^{c}	131.83 ± 3.25^{d}	6.03 ± 0.10^{cd}	87.20 ± 0.75^{de}
DS24-Inter-4	27.30 ± 2.36	147.31 ± 0.63^{j}	144.56 ± 1.13^{g}	2.75 ± 0.50^{k}	273.64 ± 6.63^{g}	129.08 ± 5.50^{e}	6.44 ± 0.04^{a}	89.60 ± 0.05^{b}
DS24-Inter-5	17.14 ± 0.89	294.14 ± 4.88^{b}	179.75 ± 4.00^{d}	140.64 ± 3.88^{b}	289.58 ± 3.08^{f}	109.83 ± 0.92^{g}	5.54 ± 0.07^{g}	86.83 ± 1.28^{ef}
DS24-Inter-6	18.21 ± 0.70	291.64 ± 0.46^{b}	178.73 ± 2.29^{d}	112.92 ± 1.83^{c}	263.48 ± 2.63^{h}	84.75 ± 0.33^{i}	5.64 ± 0.04^{f}	86.80 ± 0.45^{ef}
DS24-Inter-7	25.46 ± 1.55	234.56 ± 2.29^{f}	219.17 ± 1.42^{a}	15.39 ± 3.71^{j}	356.50 ± 3.33^{a}	137.33 ± 1.92^{c}	6.24 ± 0.04^{b}	88.00 ± 0.05^{cd}
DS24-Inter-8	18.12 ± 0.93	220.58 ± 1.42^{h}	169.48 ± 0.63^{e}	51.14 ± 2.04^{g}	304.17 ± 1.50^{e}	134.73 ± 2.13^{c}	6.07 ± 0.07^{c}	90.88 ± 0.38^{a}
DS24-Inter-9	26.31 ± 1.03	250.56 ± 2.88^{e}	212.81 ± 1.96^{b}	37.75 ± 0.92^{h}	360.23 ± 4.71^{a}	147.42 ± 2.75^{b}	5.97 ± 0.04^{d}	84.80 ± 0.05^{g}
DS24-Inter-10	15.04 ± 0.52	309.00 ± 8.17^{a}	171.89 ± 4.83^{e}	151.08 ± 5.83^{a}	266.08 ± 3.00^{h}	94.23 ± 1.63^{h}	5.50 ± 0.03^{g}	86.08 ± 1.28^{f}
RD85	28.59 ± 0.13	194.50± 5.25^{i}	163.56 ± 2.21^{f}	30.97 ± 3.04^{i}	344.83 ± 4.58^{b}	181.31 ± 2.38^{a}	5.80 ± 0.00^{e}	83.60 ± 0.45^{h}
RJP233088	18.93 ± 0.89	227.50 ± 0.08^{g}	164.64 ± 0.21^{f}	62.89 ± 0.13^{f}	272.83 ± 2.92^{g}	108.23 ± 2.71^{g}	5.64 ± 0.04^{f}	88.88 ± 0.025^{bc}
ค่าเฉลี่ย	21.55	250.00	180.88	72.55	306.84	125.97	5.89	87.37
C.V. (%)	5.86	1.57	1.44	4.33	1.13	1.28	0.73	0.72

[1/]ค่าเฉลี่ยตามแนวตั้งที่ตามหลังด้วยอักษรที่แตกต่างกันมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$) โดยวิธี LSD

Ref. code: 25676509032568NOH

4.6.6 ความแข็งและความเหนียวของข้าวสุก

ค่าความแข็ง (hardness) และความเหนียว (stickiness) ของข้าว 12 สายพันธุ์/พันธุ์มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติทั้ง 3 สถานที่ (ตารางที่ 4.20) โดยพันธุ์ กข85 (ข้าวพื้นแข็ง) มีค่าความแข็งสูง และค่าความเหนียวต่ำ ขณะที่พันธุ์ RJP233088 (ข้าวพื้นนุ่ม) มีค่าความแข็งต่ำ และค่าความเหนียวสูง ทั้ง 3 สถานที่ทดสอบ การปลูกทดสอบที่ปทุมธานี พบว่า ข้าวเจ้าสายพันธุ์ก้าวหน้าทุกสายพันธุ์ มีค่าความแข็งไม่แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติกับพันธุ์เปรียบเทียบ RJP233088 ในขณะที่ สายพันธุ์ก้าวหน้า 9 สายพันธุ์ มีค่าความเหนียวสูงกว่าพันธุ์เปรียบเทียบ กข85 การปลูกทดสอบที่ชัยนาท พบว่า สายพันธุ์ก้าวหน้า 8 สายพันธุ์ มีค่าความแข็งไม่แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติกับพันธุ์เปรียบเทียบ RJP233088 โดยสายพันธุ์ DS24-Inter-4 มีค่าความแข็งสูงสุด แต่ไม่แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติกับพันธุ์เปรียบเทียบ กข85 นอกจากนี้ สายพันธุ์ DS24-Inter-4 มีค่าความเหนียวต่ำสุด แต่ไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติกับพันธุ์เปรียบเทียบ กข85 และสายพันธุ์ก้าวหน้า 3 ได้แก่ สายพันธุ์ DS24-Inter-5 DS24-Inter-6 และ DS24-Inter-10 มีค่าความเหนียวสูงกว่าพันธุ์เปรียบเทียบ RJP233088 ขณะที่การปลูกทดสอบที่สุพรรณบุรี พบว่า สายพันธุ์ DS24-Inter-4 มีค่าความแข็งสูงสุด แต่ไม่แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติกับพันธุ์เปรียบเทียบ กข85 และสายพันธุ์ DS24-Inter-10 มีค่าความแข็งต่ำสุด แต่ไม่แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติกับพันธุ์เปรียบเทียบ RJP233088 นอกจากนี้ สายพันธุ์ DS24-Inter-4 มีค่าความเหนียวต่ำสุด แต่ไม่แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติกับพันธุ์เปรียบเทียบ กข85 และมี 4 สายพันธุ์ ได้แก่ สายพันธุ์ DS24-Inter-1 DS24-Inter-5 DS24-Inter-8 และ DS24-Inter-10 มีค่าความเหนียวสูงกว่าพันธุ์เปรียบเทียบ RJP233088

4.7 ความสัมพันธ์ของลักษณะทางเคมีกายภาพที่เกี่ยวข้องกับคุณภาพการหุงต้มและรับประทาน

เมื่อศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างลักษณะทางเคมีกายภาพของข้าว 12 สายพันธุ์/พันธุ์ (ตารางที่ 4.21) พบว่า ปริมาณอมิโลสไม่มีความสัมพันธ์กับอุณหภูมิแป้งสุก แต่มีความสัมพันธ์ในระดับต่ำกับความคงตัวแป้งสุก (r= 0.23**) ขณะเดียวกัน ปริมาณอมิโลสมีความสัมพันธ์ในเชิงลบกับค่าความหนืดสูงสุด (r= -0.44**) ค่าการแตกตัว (r= -0.62**) และความเหนียว (r= -0.77**) แต่มีความสัมพันธ์เชิงบวกกับความแข็ง (r= 0.65**) นอกจากนี้ ค่าความหนืดสูงสุดมีความสัมพันธ์ในเชิงบวกกับค่าการแตกตัวและความเหนียว (r= 0.89** และ 0.52** ตามลำดับ) อย่างไรก็ตาม ค่าความหนืดสูงสุดและค่าการแตกตัวมีความสัมพันธ์ในเชิงลบกับค่าการคืนตัวของแป้ง (r= -0.54** และ r= -0.70** ตามลำดับ) ในขณะที่ ค่าความแข็งมีความสัมพันธ์ในทางลบกับความเหนียว (r= -0.56**)

Ref. code: 25676509032568NOH

ตารางที่ 4.21 ความแข็งและความเหนียวของข้าวสุกของข้าวเจ้าสายพันธุ์ก้าวหน้า 10 สายพันธุ์ และพันธุ์เปรียบเทียบ 2 พันธุ์ ที่ปลูกทดสอบจำนวน 3 สถานที่

สายพันธุ์/พันธุ์	ปทุมธานี		ชัยนาท		สุพรรณบุรี	
	Hardness (N)	Stickiness (N.s)	Hardness (N)	Stickiness (N.s)	Hardness (N)	Stickiness (N.s)
DS24-Inter-1	52.61 ± 5.92$^{cd1/}$	22.34 ± 1.80^{de}	55.44 ± 7.05^{bc}	22.45 ± 1.90^{d}	62.99 ± 0.12^{bc}	28.48 ± 1.32^{ab}
DS24-Inter-2	56.01 ± 5.54^{bcd}	21.37 ± 0.77^{def}	51.32 ± 5.88^{cd}	21.96 ± 1.14^{de}	65.18 ± 3.50^{bc}	23.67 ± 1.40^{de}
DS24-Inter-3	50.70 ± 4.24^{d}	20.55 ± 1.01^{ef}	48.41 ± 11.30^{cd}	25.10 ± 1.49^{bc}	62.14 ± 4.69^{bc}	26.27 ± 1.48^{bcd}
DS24-Inter-4	65.37 ± 5.05^{b}	13.22 ± 0.50^{h}	72.39 ± 1.13^{a}	13.58 ± 0.42^{g}	91.18 ± 3.42^{a}	15.94 ± 1.62^{f}
DS24-Inter-5	63.89 ± 7.90^{bc}	26.85 ± 0.53^{ab}	54.86 ± 0.90^{bc}	27.83 ± 0.41^{a}	53.31 ± 2.72^{de}	28.92 ± 2.20^{ab}
DS24-Inter-6	49.93 ± 2.13^{d}	28.25 ± 1.43^{ab}	44.71 ± 2.07^{d}	26.42 ± 0.34^{ab}	51.35 ± 7.18^{de}	26.25 ± 0.17^{bcd}
DS24-Inter-7	65.93 ± 4.56^{b}	19.87 ± 1.53^{f}	52.84 ± 4.56^{cd}	17.35 ± 3.14^{f}	68.48 ± 3.44^{b}	21.03 ± 3.07^{e}
DS24-Inter-8	61.14 ± 4.02^{bcd}	25.13 ± 1.80^{bc}	51.11 ± 5.29^{cd}	19.55 ± 1.54^{ef}	62.02 ± 3.48^{bc}	27.03 ± 0.90^{bc}
DS24-Inter-9	67.06 ± 2.05^{b}	21.83 ± 2.05^{def}	62.23 ± 5.17^{b}	18.98 ± 1.71^{f}	58.64 ± 1.69^{cd}	24.40 ± 1.63^{cd}
DS24-Inter-10	55.72 ± 4.93^{bcd}	25.94 ± 2.17^{abc}	49.20 ± 0.98^{cd}	26.83 ± 0.47^{ab}	45.47 ± 2.97^{ef}	30.56 ± 1.51^{a}
RD85	88.83 ± 17.90^{a}	15.93 ± 1.50^{g}	73.90 ± 3.52^{a}	14.32 ± 2.44^{g}	90.43 ± 8.35^{a}	15.15 ± 3.23^{f}
RJP233088	5.37 ± 5.01^{bcd}	23.69 ± 0.98^{cd}	47.80 ± 3.34^{cd}	22.93 ± 0.40^{cd}	41.36 ± 6.41^{f}	23.72 ± 1.69^{de}
ค่าเฉลี่ย	61.18	22.08	55.35	21.44	62.71	24.29
C.V. (%)	11.64	6.52	9.28	6.79	7.60	8.01

[1/]ค่าเฉลี่ยตามแนวตั้งที่ตามหลังด้วยอักษรที่แตกต่างกันมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$) โดยวิธี LSD

Ref. code: 25676509032568NOH

ตารางที่ 4.22 การวิเคราะห์ความสัมพันธ์เชิงเส้นของเพียร์สันระหว่างคุณภาพทางเคมีกายภาพของข้าวเจ้าสายพันธุ์ก้าวหน้า 10 สายพันธุ์ ที่ปลูกทดสอบร่วมกับพันธุ์เปรียบเทียบ 2 พันธุ์ จำนวน 3 สถานที่ทดสอบ

	AC[1/]	GC	GT	El	PV	TV	BD	FV	Setback	PeT	PaT	Hardness
GC	0.23**	1										
GT	-0.05	-0.39**	1									
El	-0.22**	-0.07	-0.03	1								
PV	-0.44**	-0.35**	0.12	-0.02	1							
TV	0.05	-0.10	-0.09	0.04	0.70**	1						
BD	-0.62**	-0.39**	0.21*	-0.02	0.89**	0.33**	1					
FV	0.35**	0.08	-0.31**	0.05	-0.04	0.57**	-0.39**	1				
Setback	0.37**	0.28**	-0.29**	-0.09	-0.54**	-0.01	-0.70**	0.77**	1			
PeT	0.30**	0.12	-0.22*	0.11	-0.70**	-0.26**	-0.76**	0.32**	0.59**	1		
PaT	0.24*	0.11	0.00	-0.03	-0.62**	-0.53**	-0.51**	-0.18	0.11	0.54**	1	
Hardness	0.65**	0.26**	0.06	-0.28**	-0.38**	-0.20*	-0.40**	-0.07	0.05	0.11	0.38**	1
Stickiness	-0.77**	-0.30**	0.05	-0.02	0.52**	0.11	0.63**	-0.17	-0.25**	-0.32**	-0.27**	-0.56**

*, ** มีความสัมพันธ์กันทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น $p \leq 0.05$ และ 0.01 ตามลำดับ

[1/] AC (amylose content); GC (gel consistency); GT (gelatinization temperature); El (Elongation); PV (peak viscosity); TV (trough Viscosity); BD (breakdown); FV (final viscosity); PeT (peak time) และ PaT (pasting temperature)

Ref. code: 25676509032568NOH

จากการวิเคราะห์ความแปรปรวนรวม (ตารางที่ 4.3) พบว่า คุณสมบัติทางเคมีกายภาพของข้าวส่วนใหญ่ได้รับอิทธิพลหลักจากพันธุกรรม โดยมีสัดส่วนความแปรปรวนอยู่ในช่วง 41.13 - 94.30% ขณะที่อิทธิพลจากสถานที่ปลูกค่อนข้างต่ำ (2.11 - 22.21%) แสดงให้เห็นถึงความสม่ำเสมอของการแสดงออกของลักษณะทางเคมีกายภาพระหว่างพื้นที่ปลูก ซึ่งเป็นประโยชน์อย่างยิ่งต่อการพัฒนาพันธุ์ข้าวที่มีคุณภาพคงที่ และตอบสนองต่อความต้องการของตลาด (Abdelsalam et al., 2025) โดยเฉพาะคุณสมบัติทางเคมีกายภาพของข้าวที่เป็นปัจจัยกำหนดคุณภาพการหุงต้มและการรับประทาน สามารถพิจารณาได้จากสามลักษณะหลัก ได้แก่ ปริมาณอมิโลส อุณหภูมิแป้งสุก และความคงตัวแป้งสุก (Allahgholipour et al., 2006; Kong et al., 2015) ซึ่งได้รับอิทธิพลจากพันธุกรรมในระดับสูง สอดคล้องรายงานของ M et al. 2023 พบว่า ยีน *Wx* ที่ควบคุมการสร้างเอนไซม์ GBSSI มีบทบาทสำคัญในการกำหนดปริมาณอมิโลส ความคงตัวแป้งสุก และมีบทบาทรองในการควบคุมอุณหภูมิแป้งสุก เพื่อควบคุมคุณภาพการหุงต้มและรับประทาน และยังเป็นตัวกำหนดความสัมพันธ์ระหว่างลักษณะทั้งสามดังกล่าว (Tian et al., 2009) ชี้ให้เห็นว่า การแสดงออกของลักษณะเหล่านี้มีแนวโน้มถ่ายทอดทางพันธุกรรมได้ดี และแสดงออกอย่างเสถียรแม้ปลูกในสภาพแวดล้อมที่ต่างกัน ซึ่งถือเป็นข้อได้เปรียบสำหรับการคัดเลือกพันธุ์ อย่างไรก็ตาม แม้ว่าลักษณะเหล่านี้จะมีความแปรปรวนจากพันธุกรรมเป็นหลัก แต่ผลการศึกษายังพบปฏิสัมพันธ์ระหว่างพันธุกรรมและสถานที่ปลูก ซึ่งส่งผลต่อการเปลี่ยนแปลงลักษณะทางเคมีกายภาพ โดยเฉพาะในช่วงระยะการสะสมแป้งของเมล็ด ซึ่งไวต่ออุณหภูมิสูง (>36°C) ที่ส่งผลต่อกระบวนการสังเคราะห์และการจัดเรียงของแป้งในเอนโดสเปิร์ม ซึ่งมีผลต่อคุณภาพการหุงต้มและรับประทานของข้าวโดยตรง (Fan et al., 2019) การเปลี่ยนแปลงดังกล่าวสังเกตได้ชัดในลักษณะปริมาณอมิโลส อุณหภูมิแป้งสุก และความคงตัวแป้งสุก ตัวอย่างเช่น สายพันธุ์ DS24-Inter-1 มีปริมาณอมิโลส เพิ่มขึ้นเมื่อปลูกที่ปทุมธานี ขณะที่ DS24-Inter-2 มีปริมาณอมิโลสลดลงเมื่อปลูกที่ชัยนาท (ตารางที่ 14) เนื่องจาก การตอบสนองของเอนไซม์ GBSS ต่ออุณหภูมิสูงนั้นแตกต่างกันในแต่ละสายพันธุ์ โดย Cheng et al. (2005) รายงานว่า อุณหภูมิสูงอาจกระตุ้นกิจกรรมของ GBSS ในบางสายพันธุ์ ส่งผลให้ปริมาณอมิโลสเพิ่มขึ้น ขณะที่ Liu et al. (2021) พบว่าในบางสายพันธุ์กิจกรรม GBSS ลดลงภายใต้อุณหภูมิสูง ทำให้ปริมาณอมิโลสลดลง นอกจากนี้ การสังเคราะห์อมิโลสยังได้รับอิทธิพลจากเอนไซม์อื่นที่เกี่ยวข้อง ได้แก่ SDBE, SBE, ADPG-Ppase และ SuSy ซึ่งแสดงระดับกิจกรรมแตกต่างกันระหว่างสายพันธุ์ (Cheng et al., 2005) สำหรับอุณหภูมิแป้งสุก พบว่า สายพันธุ์ DS24-Inter-3 มีอุณหภูมิแป้งสุกเพิ่มขึ้นเมื่อปลูกที่ชัยนาท ขณะที่ DS24-Inter-6 มีอุณหภูมิแป้งสุกลดลงที่สุพรรณบุรี (ตารางที่ 15) โดยลักษณะนี้ขึ้นอยู่กับโครงสร้างของอมิโลเพคติน โดยเฉพาะความยาวของสายโซ่กิ่ง ซึ่งสายโซ่ยาวมากจะต้องใช้ความร้อนมากขึ้นในการเจลาติไนซ์ ซึ่งอุณหภูมิสูงสามารถลดกิจกรรมของเอนไซม์ branching enzyme isozymes IIb (BEIIb) ซึ่งทำหน้าที่ตัดสายโซ่ยาวให้สั้น ทำให้เกิดการสะสมของ

Ref. code: 25676509032568NOH

สายโซ่ยาว และส่งผลให้อุณหภูมิแป้งสุกเพิ่มขึ้น (Kobayashi et al., 2022) ตรงกันข้าม หากเอนไซม์ BEIIb ยังคงทำงานได้ดีภายใต้อุณหภูมิสูงจะเกิดการสร้างสายโซ่สั้นมากขึ้น ทำให้อุณหภูมิแป้งสุกลดลง ในส่วนของความคงตัวแป้งสุก พบว่า สายพันธุ์ DS24-Inter-1, DS24-Inter-3, DS24-Inter-5 และ DS24-Inter-6 มีความแปรปรวนเมื่อปลูกในพื้นที่ต่างกัน (ตารางที่ 16) โดยในบางสายพันธุ์มีความคงตัวแป้งสุกเพิ่มขึ้น ซึ่งอาจเกิดจากการสะสมของโปรตีนที่เร็วกว่าการสะสมแป้งในระยะสะสมแป้ง เนื่องจากเอนไซม์ SuSy และ AGPase ซึ่งเกี่ยวข้องกับการสังเคราะห์แป้งถูกยับยั้ง ทำให้มีการสะสมแป้งน้อยลง ส่งผลให้แป้งสุกเมื่อเย็นตัวลงสามารถเกิดผลึกได้ง่ายและมีเนื้อแข็งขึ้น (Ahmed et al., 2014) ขณะที่ บางสายพันธุ์มีความคงตัวแป้งสุกลดลง เนื่องจาก ขนาดของเม็ดแป้ง และปริมาณไขมันที่สะสมในเมล็ดมีความซับซ้อนและแปรผันไปตามสายพันธุ์ ส่งผลให้แป้งไม่สามารถกลับมาสร้างผลึกได้อีกหลังจากการเจลาติไนซ์จึงทำให้แป้งสุกยังคงนุ่มอยู่ จากผลการศึกษาทั้งหมด แสดงให้เห็นถึงปฏิสัมพันธ์ที่เกิดจากความแปรปรวนภายในพันธุกรรม และความไม่สม่ำเสมอของอุณหภูมิระหว่างพัฒนาเมล็ดที่มีความเฉพาะเจาะจงกับสายพันธุ์ข้าว ส่งผลให้ลักษณะทางเคมีกายภาพของข้าวมีการเปลี่ยนแปลงในแต่ละสิ่งแวดล้อม (Li and Liu, 2019)

โดยทั่วไปปริมาณอมิโลสมีความสัมพันธ์กับอุณหภูมิแป้งสุก และความคงตัวแป้งสุก กล่าวคือ ข้าวที่มีปริมาณอมิโลสสูงมักมีอุณหภูมิแป้งสุกสูงและความคงตัวของแป้งสุกแข็ง ในขณะที่ข้าวที่มีปริมาณอมิโลสต่ำมักมีอุณหภูมิแป้งสุกต่ำ และความคงตัวของแป้งสุกอ่อน (Odenigbo et al., 2013; Anjum and Hossain, 2019; Nawaz et al., 2020) อย่างไรก็ตาม จากการศึกษาครั้งนี้ พบว่า ปริมาณอมิโลสไม่มีความสัมพันธ์กับอุณหภูมิแป้งสุก และความคงตัวแป้งสุก (ตารางที่ 4.21) ซึ่งสอดคล้องกับ Lapitan et al. (2009) พบว่า ปริมาณอมิโลสมีความสัมพันธ์ในระดับต่ำกับอุณหภูมิแป้งสุก (r=0.208) และ Zhang et al. (2020) ที่ไม่พบความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณอมิโลสกับทั้งอุณหภูมิแป้งสุกและความคงตัวแป้งสุก เช่นเดียวกับ Pang et al. (2016) ที่รายงานว่า ข้าวที่มีอมิโลสสูงอาจมีอุณหภูมิแป้งสุกระดับปานกลางหรือต่ำ ขณะที่ข้าวที่มีอมิโลสต่ำกลับแสดงอุณหภูมิแป้งสุกทั้งในระดับต่ำและสูง สาเหตุที่ปริมาณอมิโลสไม่แสดงความสัมพันธ์อย่างชัดเจนกับอุณหภูมิแป้งสุกและความคงตัวแป้งสุก อาจเนื่องมาจากองค์ประกอบภายในเมล็ดข้าวที่มีอิทธิพลร่วมกันต่อคุณสมบัติดังกล่าว โดยเฉพาะองค์ประกอบของแป้งที่มีทั้งอมิโลสและอมิโลเพคติน แม้ว่าอมิโลสซึ่งเป็นโพลิเมอร์เชิงเส้นจะมีผลต่อความแข็งหรือความแน่นของเจลหลังการหุงต้ม แต่โครงสร้างของอมิโลเพคตินซึ่งเป็นโพลิเมอร์แบบกิ่งก้านมีบทบาทสำคัญในการกำหนดอุณหภูมิแป้งสุกและลักษณะการสลายตัวของแป้งระหว่างการให้ความร้อน โดยโซ่กิ่งที่ยาวกว่าต้องใช้ความร้อนที่สูงเพื่อแยกตัวออกจากกันอย่างสมบูรณ์ (Bao et al., 2009) นอกจากนี้ รายงานของ Shekhar et al. (2019) และ Prasad et al. (2021) ยังพบว่าความคงตัวแป้งสุกไม่ได้ขึ้นอยู่กับระดับอมิโลสโดยตรง โดยข้าวที่มีอมิโลสสูงหรือปานกลางอาจแสดงความคงตัวแป้งสุกอ่อนได้ ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับคุณสมบัติการคืนตัวของแป้ง

Ref. code: 25676509032568NOH

หลังการหุงของข้าวแต่ละสายพันธุ์ เมื่อแป้งเย็นตัวลงหลังจากการแตกตัว โมเลกุลที่อยู่ใกล้กันจะพยายามกลับมาจัดเรียงตัวกันใหม่ทั้งอมิโลสและอมิโลเพคติน แต่หากสัดส่วนของเม็ดแป้งที่แตกมีมาก โมเลกุลของแป้งจะกระจายตัวไปทั่วในสารละลายแป้ง ทำให้อมิโลสกลับมาจัดเรียงตัวกันใหม่ได้ยาก แป้งจึงคืนตัวช้า ส่งผลให้ข้าวที่มีปริมาณอมิโลสสูงสามารถมีความคงตัวแป้งสุกอ่อนได้เช่นเดียวกัน (รวิศ, 2565) นอกจากนี้ ปริมาณไขมันและโปรตีนในเมล็ดข้าวยังมีผลต่อปฏิสัมพันธ์ระหว่างโมเลกุลของแป้ง โดยไขมันสามารถเกิดพันธะกับอมิโลส เกิดเป็นสารประกอบแป้ง-ไขมัน (amylose–lipid complex) ซึ่งมีผลต่อการดูดน้ำ การพองตัว และการเกิดเจลของแป้ง ทำให้กระบวนการเจลาติไนซ์เปลี่ยนแปลงไป (Alcázar-Alay and Meireles, 2015) ดังนั้น แม้ปริมาณอมิโลสจะมีบทบาทในการกำหนดคุณสมบัติของแป้งที่ผ่านการหุงต้ม แต่อุณหภูมิแป้งสุกและความคงตัวแป้งสุกยังได้รับอิทธิพลจากปัจจัยอื่น เช่น อมิโลเพคติน ไขมัน และโปรตีน ส่งผลให้ความสัมพันธ์ระหว่างอมิโลสกับคุณสมบัติดังกล่าวไม่แน่นอน และแตกต่างกันไปตามสายพันธุ์ข้าว

คุณภาพการหุงต้มและรับประทานของข้าวมีความสำคัญต่อการกำหนดมูลค่าทางเศรษฐกิจในตลาดส่งออกและการยอมรับจากผู้บริโภค (Pingali, 1997) โดยความชอบในด้านดังกล่าวนั้นแตกต่างกันไปในแต่ละภูมิภาคหรือวัฒนธรรม (Suwannaporn and Linnemann, 2007) ข้าวที่มีคุณภาพการหุงต้มและรับประทานที่ดีควรมีองค์ประกอบสำคัญ ได้แก่ ปริมาณอมิโลสอยู่ในระดับต่ำถึงปานกลาง อุณหภูมิแป้งสุกอยู่ในระดับปานกลาง และมีความคงตัวแป้งสุกอ่อน ซึ่งลักษณะเหล่านี้ล้วนมีผลโดยตรงต่อเนื้อสัมผัสและความนุ่มของข้าวหลังการหุง (Odenigbo et al., 2013; Anjum and Hossain, 2019) โดยข้าวที่มีอุณหภูมิแป้งสุกต่ำถึงปานกลางจะใช้เวลาในการหุงสั้นกว่า และเมื่อมีความคงตัวแป้งสุกอ่อน ข้าวที่ได้จะมีลักษณะนุ่ม และยังคงความนุ่มได้ดีแม้หลังจากเย็นตัวลง ซึ่งเป็นคุณลักษณะที่ผู้บริโภคส่วนใหญ่นิยม จากการศึกษานี้ พบว่าสายพันธุ์ DS24-Inter-5, DS24-Inter-6, DS24-Inter-8 และ DS24-Inter-10 มีลักษณะตรงตามเกณฑ์ดังกล่าว กล่าวคือ มีปริมาณอมิโลสในระดับต่ำ อุณหภูมิแป้งสุกอยู่ในช่วงต่ำถึงปานกลาง และความคงตัวแป้งสุกอยู่ในระดับอ่อนจึงจัดเป็นสายพันธุ์ที่มีศักยภาพในด้านคุณภาพการหุงต้มและรับประทานที่ดี และสามารถพัฒนาเป็นพันธุ์ข้าวที่เน้นคุณภาพการบริโภคได้ในอนาคต

การวิเคราะห์คุณสมบัติของแป้งข้าวด้วยเครื่อง RVA เป็นวิธีที่มีประสิทธิภาพในการศึกษาพฤติกรรมของแป้งระหว่างกระบวนการให้ความร้อนและเย็นตัว โดยสามารถอธิบายการเปลี่ยนแปลงทางกายภาพของแป้งข้าวระหว่างการหุงได้อย่างชัดเจน (Srichuwong and Jane, 2007) ค่าความหนืดที่ได้จาก RVA จึงเป็นตัวชี้วัดสำคัญในการประเมินความเหนียวนุ่มและความแข็งตัวของข้าวสุก ซึ่งการคัดเลือกสายพันธุ์ข้าวที่มีคุณภาพการหุงต้มและรับประทานที่ดี สามารถพิจารณาได้จากค่าความหนืดสูงสุด (peak viscosity) ค่าการแตกตัว (breakdown) และค่าการคืนตัว (setback) ซึ่งสะท้อนถึงลักษณะเนื้อสัมผัสของข้าวหลังการหุง (Hori et al., 2016) จากผลการศึกษา

Ref. code: 25676509032568NOH

พบว่า ปริมาณอมิโลสมีความสัมพันธ์เชิงลบกับค่าความหนืดสูงสุด กล่าวคือแป้งข้าวที่มีปริมาณอมิโลสต่ำมักแสดงค่าความหนืดสูงสุดสูง ในขณะที่ค่าความหนืดสูงสุดนั้นมีความสัมพันธ์เชิงบวกกับค่าการแตกตัวและค่าความเหนียว และสัมพันธ์เชิงลบกับค่าการคืนตัว (ตารางที่ 4.21) โดยสายพันธุ์ข้าวที่มีอมิโลสต่ำ ได้แก่ สายพันธุ์ DS24-Inter-5, DS24-Inter-6, DS24-Inter-8, DS24-Inter-10 และพันธุ์เปรียบเทียบ RJP233088 มีค่าความหนืดสูงสุดและค่าการแตกตัวสูง และค่าการคืนตัวต่ำ ส่งผลให้ข้าวที่ได้มีเนื้อสัมผัสเหนียวนุ่ม เนื่องจากข้าวอมิโลสต่ำจะมีสัดส่วนของอมิโลเพคตินสูง ซึ่งมีโครงสร้างที่มีกิ่งก้านสามารถกักเก็บน้ำได้ดีและช่วยให้แป้งเกิดการพองตัวมากขึ้นในระหว่างให้ความร้อน ส่งผลให้ความหนืดเพิ่มขึ้น ข้าวสุกจึงมีลักษณะเหนียวนุ่ม เมื่อเย็นตัวลงปริมาณอมิโลสที่สามารถตกผลึกซ้ำมีน้อย ส่งผลให้กระบวนการคืนตัวเกิดขึ้นช้าหรือแทบไม่เกิด ส่งผลให้เนื้อข้าวยังคงนุ่มหลังเย็นตัวลง เหมาะสำหรับการนำไปบริโภคโดยตรง ซึ่งเป็นลักษณะที่ผู้บริโภคส่วนใหญ่ชื่นชอบ (Wei et al., 2011; Zhu et al., 2023b; Gu et al., 2024) ในทางตรงกันข้าม ข้าวที่มีอมิโลสสูง ได้แก่ สายพันธุ์ DS24-Inter-4, DS24-Inter-7, DS24-Inter-9 และพันธุ์เปรียบเทียบ กข85 แสดงค่าความหนืดสูงสุดและค่าการแตกตัวต่ำ แต่มีค่าการคืนตัวสูง เนื่องจาก โครงสร้างสายตรงของอมิโลสสามารถเกิดพันธะกับไขมันได้ง่าย เกิดเป็นสารเชิงซ้อนที่ไม่ละลายน้ำ ซึ่งลดการพองตัวและการดูดซับน้ำ ส่งผลให้ค่าความหนืดลดลง อีกทั้งอมิโลสที่ไม่จับกับไขมันยังสามารถตกผลึกได้ดีในช่วงเย็นตัว จึงทำให้ข้าวแข็งตัวเร็วและเนื้อสัมผัสแข็งขึ้น (Sang et al., 2008; Wang et al., 2016) อย่างไรก็ตาม การที่แป้งแสดงค่าการคืนตัวสูงสามารถช่วยเสริมโครงสร้างของอาหารให้แน่นและคงตัวมากขึ้น ซึ่งเหมาะสำหรับการใช้ในผลิตภัณฑ์อาหารที่ต้องการโครงสร้าง เช่น เส้นก๋วยเตี๋ยว และเส้นพาสต้า (Hung et al., 2008; Suklaew et al., 2020) ดังนั้น แป้งข้าวจากสายพันธุ์ที่มีปริมาณอมิโลสสูง อาจมีศักยภาพในการช่วยเสริมโครงสร้างผลิตภัณฑ์อาหารได้ดีกว่าแป้งข้าวจากสายพันธุ์ที่มีอมิโลสต่ำ ซึ่งผลจากการศึกษาในครั้งนี้แสดงให้เห็นว่า การวิเคราะห์ด้วย RVA ร่วมกับลักษณะทางเคมีกายภาพอื่น ๆ สามารถช่วยในการประเมินคุณภาพการหุงต้มและรับประทานของข้าวได้ละเอียดและแม่นยำมากขึ้น ทำให้สามารถคัดเลือกพันธุ์ข้าวที่มีคุณสมบัติการหุงและการรับประทานที่เหมาะสมตามความต้องการ

Ref. code: 25676509032568NOH

บทที่ 5
สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ

5.1 สรุปผลการวิจัย

1. อิทธิพลของสถานที่ปลูก สายพันธุ์ และปฏิสัมพันธ์ระหว่างสถานที่ปลูกและสายพันธุ์มีอิทธิพลต่อทุกลักษณะที่ทำการศึกษา ยกเว้น สถานที่ปลูกไม่มีอิทธิพลต่อจำนวนรวงต่อกอ โดยลักษณะทางการเกษตร องค์ประกอบผลผลิต ลักษณะทางกายภาพและเคมีกายภาพเกิดความแปรปรวนอันเนื่องมากจากสายพันธุ์สูงสุด (คิดเป็น 32.55-94.30% ของความแปรปรวนทั้งหมด) ขณะที่ ความแปรปรวนอันเนื่องมากจากสถานที่ปลูกมีอิทธิพลต่อผลผลิตและการยืดตัวของเมล็ดสูงสุด (คิดเป็น 53.02 และ 46.59% ของความแปรปรวนทั้งหมด)

2. สายพันธุ์ก้าวหน้า DS24-Inter-8 ให้ผลผลิต จำนวนเมล็ดต่อรวง และน้ำหนักเมล็ดสูงเมื่อทดสอบที่ปทุมธานีและชัยนาท จากการวิเคราะห์ GGE-biplot แสดงให้เห็นว่าสายพันธุ์ DS24-Inter-1 และ DS24-Inter-8 ให้ผลผลิตสม่ำเสมอในทุกสถานที่ทดสอบ นอกจากนี้สายพันธุ์ DS24-Inter-9, DS24-Inter-2 และ DS24-Inter-5 ให้ผลผลิตสูงเมื่อทดสอบที่ปทุมธานี ชัยนาท และสุพรรณบุรี ตามลำดับ

3. ปริมาณอมิโลส ไม่มีความสัมพันธ์กับอุณหภูมิแป้งสุก แต่มีความสัมพันธ์กับความคงตัวแป้งสุกในระดับต่ำ และปริมาณอมิโลสมีความสัมพันธ์ในเชิงลบกับค่าความหนืดสูงสุด ค่าการแตกตัว และความเหนียวของข้าวสุก ทั้งนี้ ข้าวเจ้าสายพันธุ์ก้าวหน้า DS24-Inter-5, DS24-Inter-6, DS24-Inter-8 และ DS24-Inter-10 แสดงคุณภาพด้านการหุงต้มและรับประทานที่ดี โดยมีอมิโลสต่ำ อุณหภูมิแป้งสุกอยู่ในช่วงปานกลางถึงต่ำ ความคงตัวแป้งสุกอ่อน และมีค่าความหนืดสูงสุดรวมถึงค่าการแตกตัวสูงกว่าพันธุ์เปรียบเทียบ

Ref. code: 25676509032568NOH

5.2 ข้อเสนอแนะ

1. สายพันธุ์ DS24-Inter-8 มีผลผลิตสูง องค์ประกอบผลผลิตดี และมีคุณภาพการหุงต้มและรับประทานที่ดี ตอบสนองได้ดีในหลายสภาพแวดล้อม เหมาะสำหรับปลูกทดสอบพันธุ์ขั้นสูงในพื้นที่นาชลประทานภาคกลางต่อไป

2. การวิเคราะห์คุณสมบัติความหนืดด้วยเครื่อง RVA ช่วยในการประเมินคุณภาพการหุงต้มและเนื้อสัมผัสของข้าวได้อย่างแม่นยำ และสามารถนำมาประยุกต์ใช้ในการคัดเลือกพันธุ์ข้าวเพื่อเพิ่มคุณภาพการบริโภคได้

3. สายพันธุ์ที่มีอมิโลสสูง ได้แก่ สายพันธุ์ DS24-Inter-4, DS24-Inter-7 และ DS24-Inter-9 เป็นสายพันธุ์ข้าวที่มีศักยภาพสูงในการนำไปใช้ในอุตสาหกรรมอาหารเส้นที่ต้องการเนื้อสัมผัสแน่น มีความคงตัว และไม่เละหลังการปรุงสุก

Ref. code: 25676509032568NOH

รายการอ้างอิง

กรมการข้าว. 2565. ข้าวพื้นแข็งต่างจากข้าวพื้นนุ่มอย่างไร. แหล่งที่มา: https://brpd.ricethailand.go.th/page/11228, 17 กุมภาพันธ์ 2568.

กรมการข้าว. 2567. รายงานสถานการณ์ด้านข้าว รายสัปดาห์ ณ วันที่ 19 สิงหาคม 2567. แหล่งข้อมูล: bit.ly/4iPGnHo, 17 กุมภาพันธ์ 2568.

กระทรวงเกษตรและสหกรณ์. 2551. การปฏิบัติทางการเกษตรที่ดีสำหรับข้าว. สำนักงานมาตรฐานสินค้าเกษตรและอาหาร, กรุงเทพฯ. 58 หน้า

กองวิจัยและพัฒนาข้าว. 2559. องค์ความรู้เรื่องข้าว วิทยาการก่อนและหลังการเก็บเกี่ยว. แหล่งที่มา: https://newwebs2.ricethailand.go.th/webmain/rkb3/title-index.php-file=content, 22 กรกฎาคม 2566.

กิติยา กิจควรดี. 2547. การเก็บเกี่ยวและปฏิบัติหลังการเก็บเกี่ยวเพื่อให้ได้คุณภาพดี, หน้า 1-15. ใน: งามชื่น คงเสรี (ผู้รวบรวม). คุณภาพและการตรวจสอบข้าวหอมมะลิไทย. กระทรวงเกษตรและสหกรณ์, กรุงเทพฯ.

ครุปกรณ์ ละเอียดอ่อน และอรุณรัศมี แสงศิลา. 2562. คุณสมบัติทางกายภาพของเมล็ดข้าวพันธุ์พื้นเมืองในจังหวัดบุรีรัมย์. วารสารวิจัยมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลศรีวิชัย. 11(3): 556-567.

งามชื่น คงเสรี. 2547. คุณภาพขาวสวย, หน้า 41-62. *ใน:* งามชื่น คงเสรี (ผู้รวบรวม). คุณภาพและการตรวจสอบข้าวหอมมะลิไทย. กระทรวงเกษตรและสหกรณ์, กรุงเทพฯ.

จักรชัยวัฒน์ กาวีวงศ์. 2563. การจัดการธาตุไนโตรเจนเพื่อการผลิตข้าวหอมนิลในชุดดินแม่ทะ. วารสารแก่นเกษตร. 48(1): 189-200.

จันทร์จิรา โรหิตเสถียร ธานี ศรีวงศ์ชัย ประภา ศรีพิจิตต์ และรังสฤษดิ์ กาวีต๊ะ. 2557. การใช้เครื่องหมายดีเอ็นเอช่วยคัดเลือกลักษณะความหอมและปริมาณอมิโลสต่ำในการปรับปรุงพันธุ์ข้าวแบบบันทึกประวัติ. วารสารวิจัย มข. 14(2): 15-22.

จารุวรรณ ชื่นมาธูรไพจิตร ชเนษฎ์ ม้าลำพอง ชัยสิทธิ์ ทองจู คัทลียา ฉัตร์เที่ยง และจุฑามาศ ร่มแก้ว. 2564. ผลของอุณหภูมิสูงในระยะเจริญพันธุ์ที่มีต่อการติดเมล็ด ผลผลิต และองค์ประกอบผลผลิตของข้าว. วารสารวิชาการ มทร. สุวรรณภูมิ (มนุษยศาสตร์และสังคมศาสตร์). 9(1): 1-13.

Ref. code: 25676509032568NOH

จุฑาพร หยาดไธสง และสมชาย ชวนอุดม. 2556. ผลของอุณหภูมิและเวลาในการอบต่อคุณภาพข้าวที่มีปริมาณอมิโลสต่ำ, หน้า. 578-583. *ใน:* การประชุมทางวิชาการสมาคมวิศวกรรมเกษตรแห่งประเทศไทยระดับชาติ ครั้งที่ 14 และระดับนานาชาติ ครั้งที่ 6. มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี, ปทุมธานี.

ฉันทมาศ เชื้อแก้ว พัชรี ลาโคตร นพมาศ นามแดง วชิราพรรณ บุญญาพุทธิพงศ์ และสุรีพร เกตุงาม. 2560. ความผันแปรของยีน *Waxy* ที่มีผลต่อปริมาณอมิโลสในข้าวพื้นเมืองอุบลราชธานี. แก่นเกษตร. 45(1): 1142-1148.

ชวนชม ดีรัศมี ดวงกมล บุญช่วย ชัยรัตน์ จันทร์หนู ดวงพร วิธูรจิตต์ ปรารถนา สุขศิริ โสพิต บุญธรรม อำนวย รอดเกษม วัชรีย์ อยู่สิงห์ นรินทร์ คันทจักร์ นิตยา ขุนบรรเทา เบญจวรรณ พลโคตร สอาง ไชยรินทร์ บุษกร มงคลพิทยาธร ภมร ปัตตาวะตัง เจตน์ คชฤกษ์ ชโลทร หลิมเจริญ มณฑิชา ถุงเงิน เกษศิณี พรโสภณ อาทิตย์ กุคำอู สุรเดช ปาละวิสุทธิ์ อัจฉราพร ณ ลำปาง เนินพลับ วรรณกรณ์ อินทรสถิตย์ ดวงอร อริยพฤกษ์ บังอร เฉยบาง ประดิษฐ์ อุ่นถิ่น ชัชชัย ทิพย์เคลือ วิภาวดี ทองเอก นัยกร สงวนแก้ว ปวิตร จันทร์หอม จัตุรงค์ พิพัฒน์พิริยานนท์ ณัฏฐนิช ถาวรแก้ว มุ่งมาตร วังกะ คคนางค์ ปัญญาลือ สุภาพร จันทร์บัวทอง วัชรี สุขวิวัฒน์ ปราณี มณีนิล กันต์ธณวิชญ์ ใจสงฆ์ และบังอร ธรรมสามิสรณ์. 2565. ข้าวเจ้าพันธุ์ กข95 (ดกเจ้าพระยา). วารสารวิชาการข้าว. 13(2): 29-49.

ณพัฐอร บัวฉุน. 2564. องค์ประกอบทางเคมี และฤทธิ์การต้านอนุมูลอิสระจากข้าวพันธุ์พื้นเมือง. วารสารวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มรย. 6: 190-199.

ดลตภร โพธิ์ศิริ เสรี พลายด้วง สมบูรณ์ สุวรรณโณ ชนสิริน กลิ่นมณี โอรักษ์ ทองเด็จ เพชรี เซ่งซิ้ม เอกราช แก้วนางโอ สิทธ์ ใจสงฆ์ พัชราภรณ์ รักชุม พีรพล รัตนะ บุษยรัตน์ หมอกมัว กฤษณะ ศิริรัตน์ วัชรี สุขวิวัฒน์ ปราณี มณีนิล และธารารัตน์ มณีน่วม. 2564. ข้าวเหนียวพันธุ์ดำดาษ 20. วารสารวิชาการข้าว. 12(2): 43-61.

นเรศศักดิ์ เชื้อคนแข็ง นิภาภรณ์ สีทาพุฒ ธนพร ขจรผล และชลธิชา แสงศิริ. 2560. การประเมินสายพันธุ์ข้าวพื้นเมืองในพื้นที่อำเภอนาคู จังหวัดกาฬสินธุ์, หน้า. 65-71. *ใน*: รายงานการประชุมทางวิชาการของมหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ ครั้งที่ 55. มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, กรุงเทพฯ.

นุจรี ชดาการ ณัฐพล จันทร์สว่าง และวัชรินทร์ ซุ้นสุวรรณ. 2564. การวิเคราะห์สหสัมพันธ์และสัมประสิทธิ์เส้นทางในข้าวไร่กลายพันธุ์ชั่วที่ 3. วารสารวิจัยและส่งเสริมวิชาการเกษตร 39(2): 17-25.

บุญหงษ์ จงคิด วุฒิชัย แตงทอง และเอกชัย ราชแสง. 2558. คุณภาพทางกายภาพและเคมีของเมล็ดพันธุ์ข้าวหอมธรรมศาสตร์. TJST. 5(1): 37–42.

Ref. code: 25676509032568NOH

บุญหงษ์ จงคิด. 2557. ข้าวและเทคโนโลยีการผลิต. พิมพ์ครั้งที่ 2. สำนักพิมพ์มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์, กรุงเทพฯ. 184 หน้า.

ประทีป อูปแก้ว และกิตติพงษ์ วรรณวิจิตร์. 2559. ความแปรปรวนของข้าวท้องไข่ในข้าวขาวดอกมะลิ 105 ของเกษตรกรในจังหวัดสระแก้ว. วารสารแก่นเกษตร. 4(1): 1098-1103.

ปรางค์นัดดา ประกอบนา ปภพ สินชยกุล วิชัย สรพงษ์ไพศาล คณิตา เกิดสุข และอารยา บุญศักดิ์. 2563. พันธุ์ข้าวที่นิยมปลูกของเกษตรกรในเขตภาคกลาง และความสัมพันธ์ต่อคุณสมบัติประจำพันธุ์. วารสารวิทยาศาสตร์เกษตรและการจัดการ. 3(1): 29-38

ปวีณา เตจาคำ ศรันย์ ขำโท ศันสนีย์ จำจด นริศ ยิ้มแย้ม และต่อนภา ผุสดี. 2562. ผลผลิต คุณภาพเมล็ด และความหอมของข้าวหอมพื้นเมืองที่สูงพันธุ์บือเนอมู. วารสารแก่นเกษตร. 47(2): 317-326.

เปรมกมล มูลนิลตา อลิษา เสนานุสย์ และจิรพงศ์ ใจรินทร์. 2566. การพัฒนาข้าว กข47 และ กข49 ให้มีความหอมและปริมาณอมิโลสต่ำโดยใช้เครื่องหมายโมเลกุลในการคัดเลือก. วารสารวิชาการข้าว. 14(2): 32-45.

เปรมกมล มูลนิลตา อาทิตย์ กุคำอู พงศา สุขเสริม อัจฉราพร ณ ลำปาง เนินพลับ เกษศิณี พรโสภณ ภมร ปัตตาวะตัง ชโลทร หลิมเจริญ เจตน์ คชฤกษ์ สุพัตรา สุวรรณธาดา สอาง ไชยรินทร์ พูลเศรษฐ์ พรโสภณ มณฑิชา ถุงเงิน สุมาลี สังข์เปรม ควพร พุ่มเชย ดวงอร อริยพฤกษ์ พรสุรี กาญจนา นุชนาถ ขุนทอง กฤษฎา ชูช่วย อนรรฆพล บุญช่วย ดวงกมล บุญช่วย ชัยรัตน์ จันทร์หนู ดวงพร วิธูรจิตต์ สมพงษ์ เฉยพันธ์ วิภาวดี ทองเอก เกสินี ทบด้าน นัยกร สงวนแก้ว จัตุรงค์ พิพัฒน์พิริยานนท์ วัชรี สุขวิวัฒน์ ปราณี มณีนิล และอภิชาติ เนินพลับ. 2565. ข้าวเจ้าพันธุ์ กข93 (พุ่มพวงเมืองสองแคว). วารสารวิชาการข้าว. 13(2): 6-28.

พิรสิทธิ์ ทวยนาค มณฑล ชูโชนาค มุสตาฟา ยะภา และประชา บุณยวานิชกุล. 2557. การทบทวนพัฒนาการของการลดความชื้นข้าวเปลือกในทางอุตสาหกรรม. วารสารวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ. 9(1): 68-74.

พิสิฐ พรหมนารท. 2544. มุมมองที่แตกต่างของการใช้ปุ๋ยเพื่อการผลิตข้าว. วารสารวิชาการเกษตร. 19(3): 236-245.

พีระดุง สูงเนิน อุดมพรรณ กลาสี มาลินี จันวรรณ์ นิลา ราซิดี เบญจมาส รสโสภา กิตติพงษ์ ศรีม่วง สุมิตรา จันเนียม ณัฐธภา เสนานันท์สกุล โอภาส วรวาท ขวัญชนก ปฏิสนธิ์ ปริชาติ คงสุวรรณ ธัญวราภรณ์ ปรุงฆ้อง วัชรี สุขวิวัฒน์ ธารารัตน์ มณีน่วม และปราณี มณีนิล. 2565. ข้าวเจ้าพันธุ์ กข89 (นุ่มบ้านสร้าง). วารสารวิชาการข้าว. 13(1): 67-85.

Ref. code: 25676509032568NOH

ภาณุมาศ กองพันธ์ นพมาศ นามแดง ฉันทมาศ เชื้อแก้ว ธีรยุทธ ตู้จินดา และ สุรีพร เกตุงาม. 2565. อิทธิพลของปุ๋ยไนโตรเจนต่อองค์ประกอบผลผลิตและผลผลิตของข้าวหอมวารินที่ปลูกในดินที่มีความอุดมสมบูรณ์ต่ำ. วารสารวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยอุบลราชธานี. 24(2): 19-28.

ยงยุทธ โอสถสภา. 2558. ไนโตรเจนของข้าว, หน้า 241-260. *ใน*: ยงยุทธ โอสถสภา, บรรณาธิการ. ดิน ธาตุอาหารและปุ๋ยข้าว. มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, กรุงเทพฯ.

ยุพเยาว์ คบพิมาย ช่อทิพา สกูลสิงหาโรจน์ วราภรณ์ แสงทอง และศรัณย์ จีนะเจริญ. 2561. การพัฒนาเครื่องหมายดีเอ็นเอเพื่อใช้ตรวจสอบสนิปส์ของยีน *SSIIa* ที่สัมพันธ์กับอุณหภูมิแป้งสุกในข้าวไทย. วารสารวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี. 7(3): 282-292.

รวิศ ทัศคร. 2565. วิทยาศาสตร์ของแป้ง. แหล่งที่มา: bit.ly/3E39kQl, 2 เมษายน 2568.

ละมุล วิเศษ. 2555. ปัจจัยที่ส่งผลกระทบต่อคุณภาพด้านการหุงต้มของข้าว. วารสารวิทยาศาสตร์บูรพา. 17: 172-180.

ลัดดาวัลย์ กรรณนุช. 2551. การใช้ประโยชน์จากข้าวเพื่อสร้างผลิตภัณฑ์ข้าวในเชิงพาณิชย์. วารสารวิชาการข้าว. 2(1): 75-81.

ลิลลี่ กาวีต๊ะ มาลี ณ นคร ศรีสม สุวรรณวงศ์ สุริยา ตันติวิวัฒน์ และณรงค์ วงศ์กันทรากร. 2556. สรีรวิทยาของพืช. สำนักพิมพ์มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์: กรุงเทพฯ.

ไวพจน์ กันจู ศิริพร กออินทร์ศักดิ์ สุรีพร เกตุงาม และธีรยุทธ ตู้จินดา. 2558. การทดสอบผลผลิตและการยอมรับของเกษตรกรต่อข้าวนาน้ำฝนสายพันธุ์ปรับปรุงใหม่ในพื้นที่ภาคเหนือตอนบน. Thai Agric. Res. J. 33(3): 275–292.

ศันสนีย์ อุดมระติ กีรตินาฏ พูลเกษร สุพัตรา โพธิเศษ และสงวนศรี เจริญเหรียญ. 2546. ผลของปริมาณน้ำต่อการเกิดเจลาติไนเซชันของแป้งข้าวชนิดต่างๆ, หน้า. 407-412. *ใน:* การประชุมทางวิชาการของมหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ ครั้งที่ 41 (สาขาอุตสาหกรรมเกษตร). มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, กรุงเทพฯ.

ศิลป์ศุภา พูลละม้าย ชนากานต์ เทโบลต์ พรมอุทัย ต่อนภา ผุสดี และศันสนีย์ จำจด. 2565. การคัดเลือกข้าวก่ำเพื่อธาตุเหล็กในเมล็ดและผลผลิตสูงในลูกผสมชั่วที่ 4 ถึงชั่วที่ 5 ระหว่างข้าวพันธุ์ก่ำหอม มช. และข้าวปทุมธานี 1. วารสารเกษตร. 38(1): 51 -61.

สวนีย์ หอรังสิวัฒน์ และนันทวัน เทิดไทย. 2558. ผลของวิธีการหุงสุกต่อคุณภาพของข้าวหอมมะลิ, หน้า. 1019-1026. *ใน:* การประชุมทางวิชาการของมหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ ครั้งที่ 53 (สาขาอุตสาหกรรมเกษตร). มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, กรุงเทพฯ.

สำนักงานมาตรฐานสินค้าเกษตรและอาหารแห่งชาติ. 2560. มาตรฐานสินค้าเกษตรข้าวไทย. กระทรวงเกษตรและสหกรณ์, กรุงเทพฯ.

Ref. code: 25676509032568NOH

สำนักงานเศรษฐกิจการเกษตร. 2567. สถานการณ์การผลิตและการตลาดรายสัปดาห์ 25 พฤศจิกายน-1 ธันวาคม 2567. แหล่งที่มา: bit.ly/41Plh4q, 17 กุมภาพันธ์ 2568.

สำนักวิจัยและพัฒนาพันธุ์ข้าว. 2552. คำแนะนำการใช้ปุ๋ยตามค่าวิเคราะห์ดิน. กรมการข้าว, กรุงเทพฯ. 90 หน้า

สำนักวิทยาศาสตร์เพื่อการพัฒนาที่ดิน. 2550. บัญชีธาตุอาหารในดินตามชุดดินของประเทศไทย. กรมพัฒนาที่ดิน กระทรวงเกษตรและสหกรณ์, กรุงเทพฯ.

สุชาวดี นาคะทัต. 2555. การเก็บข้อมูลองค์ประกอบผลผลิต. เอกสารประกอบการฝึกอบรม ศูนย์วิจัยข้าวปทุมธานี วันที่ 25-29 มิถุนายน.

สุทธิรัตน์ ขาวปากรอ และปิยวรรณ ไกรนรา. 2561. ลักษณะทางกายภาพของเมล็ดข้าวและคุณค่าทางโภชนาการของข้าวพันธุ์พื้นเมืองจังหวัดนราธิวาสและยะลา 8 สายพันธุ์. วารสารวิทยาศาสตร์บูรพา. 23(1): 1123-1134.

สุภาพร จันทร์บัวทอง วัลภา ทองรักษ์ กนกอร เยาว์ดำ วัชรี สุขวิวัฒน์ ปราณี มณีนิล ธารารัตน์ มณีน่วม อดุลย์ กฤษวะดี กนกอร วุฒิวงศ์ บังอร ธรรมสามิสรณ์ กิตติมา รักโสภา ประจักษ์ เหล็งบำรุง ชวนชม ดีรัศมี ดวงกมล บุญช่วย ชัยรัตน์ จันทร์หนู เบญจวรรณ พลโคตร เกษศิณี พรโสภณ กัลย์ฐิตา สวงโท และภัทรมน คงสมยุติ. 2564. ข้าวเจ้าพันธุ์ กข91. วารสารวิชาการข้าว. 12(2): 5-19.

สุภาพร จันทร์บัวทอง วัลภา ทองรักษ์ กนกอร เยาว์ดำ วัชรี สุขวิวัฒน์ ปราณี มณีนิล ธารารัตน์ มณีน่วม อดุลย์ กฤษวะดี กุลชนา ดาร์เวล กนกอร วุฒิวงศ์ บังอร ธรรมสามิสรณ์ อมรรัตน์ อินทร์มั่น ประจักษ์ เหล็งบำรุง ชวนชม ดีรัศมี ดวงกมล บุญช่วย ดวงพร วิธูรจิตต์ ชัยรัตน์ จันทร์หนู เบญจวรรณ พลโคตร บุษกร มงคลพิทยาธร และนิตยา รื่นสุข. 2565. กข97 (หอมรังสิต). วารสารวิชาการข้าว. 13(2): 50-66.

อภิวัฒน์ อินทร์นก พักตร์เพ็ญ ภูมิพันธ์ และ อรประภา เทพศิลปวิสุทธิ์. 2559. ผลของระยะเวลาการเก็บรักษาต่อคุณภาพข้าวขาวดอกมะลิ 105 ที่ปลูกโดยใช้ปุ๋ยอินทรีย์และปุ๋ยเคมี. Thai Journal of Science and Technology. 5(3): 233-245.

อรอนงค์ นัยวิกุล. 2550. ข้าว: วิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี. พิมพ์ครั้งที่ 2. สำนักพิมพ์มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, กรุงเทพฯ. 366 หน้า.

อัญชลี ประเสริฐศักดิ์ สุนันทา วงศ์ปิยชน กฤษณา สุดทะสาร รานี เมตตาจิตร ศิริลักษณ์ ใจบุญทา ปราณี มณีนิล และ วัชรี สุขวิวัฒน์. 2564. การสูญเสียคุณภาพและความหอมของข้าวหอมมะลิในห่วงโซ่การผลิต. วารสารวิชาการข้าว. 12(2): 62-77.

Ref. code: 25676509032568NOH

อาทิตย์ ผาภุมมา ธิดารัตน์ มอญขาม จิรวัฒน์ สนิทชน และสมพงศ์ จันทร์แก้ว. 2563. การประเมินปริมาณอไมโลส เนื้อสัมผัส และคุณภาพการหุงต้มของข้าวเหนียวพันธุ์คัดเลือกบางสายพันธุ์. วารสารแก่นเกษตร. 48(3): 597-606.

อุไรวรรณ วัฒนกุล นพรัตน์ มะเห และ พีรพงษ์ พึ่งแย้ม. 2560. ผลผลิตและอายุเก็บเกี่ยวที่เหมาะสมต่อคุณค่าทางโภชนาการ สารออกฤทธิ์ทางชีวภาพของข้าวสังข์หยดที่ปลูกแบบธรรมชาติในพื้นที่นาดอน. มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลศรีวิชัย, ตรัง. 149 หน้า.

Adi, A. C., Haryana, N. R., Adhika, D. R., Suwandi, A. and Rachmawati, H. 2020. Chemical and physical characterizations of cooked rice using different cooking methods. J. Food Nutr. Res. 8(11): 638-645.

Agbo, C. U. and Obi, I. U. 2005. Yield and yield component analysis of twelve upland rice genotypes. J. Agric. Food Environ. Ext. 4(1): 29-33.

Ahmed, F., Abro, T. F., Kabir, Md. S. and Latif, M. A. 2020. Rice quality: biochemical composition, eating quality, and cooking quality, pp. 3-24. *In*: Oliveira, A. C., Pegoraro, C. and Viana, V. E. (eds.). The Future of Rice Demand: Quality Beyond Productivity. Springer, Cham.

Ahmed, N., Tetlow, I. J., Nawaz, S., Iqbal, A., Mubin, M., Nawaz ul Rehman, M. S., Butt, A., Lightfoot, D. A. and Maekawa, M. 2014. Effect of high temperature on grain filling period, yield, amylose content and activity of starch biosynthesis enzymes in endosperm of basmati rice. J. Sci. Food Agric. 95(11): 2237-2243.

Akter, A., Hasan, M. J., Kulsum, U., Rahman, M. H., Khatun, M. and Islam, M. R. 2015. GGE biplot analysis for yield stability in multi-environment trials of promising hybrid rice (*Oryza sativa* L.). Bangladesh Rice J. 19(1): 1-8.

Allahgholipour, M., Ali, A. J., Alinia, F., Nagamine, T. and Kojima, Y. 2006. Relationship between rice grain amylose and pasting properties for breeding better quality rice varieties. Plant Breeding. 125(4): 357-362.

An, L., Tao, Y., Chen, H., He, M., Xiao, F., Li, G., Ding, Y. and Liu, Z. 2020. Embryo-endosperm interaction and its agronomic relevance to rice quality. Front. Plant Sci. 11: 1-11.

Anjum, K. I. and Hossain, M. A. 2019. Nutritional and cooking properties of some rice varieties in Noakhali region of Bangladesh. Res. Agric. Livest. Fish. 6(2): 235-243.

Ref. code: 25676509032568NOH

Armengaud, P., Sulpice, R., Miller, A. J., Stitt, M., Amtmann, A. and Gibon, Y. 2009. Multilevel analysis of primary metabolism provides new insights into the role of potassium nutrition for glycolysis and nitrogen assimilation in Arabidopsis roots. Plant Physiol. 150: 772-785.

Armstrong, P. R., McClung, A. M., Maghirang, E. B., Chen, M. H., Brabec, D. L., Yaptenco, K. F., Famoso, A. N. and Addison, C. K. 2019. Detection of chalk in single kernels of long grain milled rice using imaging and visible/near infrared instruments. Cereal Chem. 96(1): 1103-1111.

Attanandana, T., P. Verapattananirund and R.S. Yost. 2005. Capacity building of the farmers to improve soil resources and economic conditions in Thailand. *In*: Paper presented at the 20th International Symposium of RRIAP on Prospects for Food Production, Rural Communities and Bio-resources under Globalization 2005, December 2. Nihon University, Shonan Campus, Kanagawa, Japan.

Bao, J., Xiao, P. Hiratsuka, M., Sun, M. and Umemoto, T. 2009. Granule-bound SSIIa protein content and its relationship with amylopectin structure and gelatinization temperature of rice starch. Starch – Stärke. 61(8): 431-437.

Bassinello, P. Z., Pereira de Castro, A. and Borba, T. C. de O. 2020. Conventional breeding for rice grain quality, pp. 333-348. *In*: Oliveira, A. C., Pegoraro, C. and Viana, V. E. (eds.). The Future of Rice Demand: Quality Beyond Productivity. Springer, Cham.

Bijttebier, A., Goesaert, H. and Delcour, J. A. 2008. Amylase action pattern on starch polymers. Biologia. 63(6): 989-999.

Birla, D. S., Malik, K., Sainger, M., Chaudhary, D., Jaiwal, R. and Jaiwal, P. K. 2017. Progress and challenges in improving the nutritional quality of rice (*Oryza sativa* L.). Crit. Rev. Food Sci. Nutr. 57(11): 2455-2481.

Boonmeejoy, J., Wichaphon, J. and Jiamyangyuen, S. 2019. Classification of rice cultivars by using chemical, physicochemical, thermal, hydration properties, and cooking quality. Food Appl. Biosci. J. 7(2): 42–62.

Breseghello, F. and Coelho, A. S. G. 2013. Traditional and modern plant breeding methods with examples in rice (*Oryza sativa* L.). J. Agric Food Chem. 61(1): 8277–8286.

Ref. code: 25676509032568NOH

Cao, C., Shen, M., Hu, J., Qi, J., Xie, P., and Zhou, Y. 2020. Comparative study on the structure-properties relationships of native and debranched rice starch. CYTA - J. Food. 18(1): 84–93.

Chandra, B. S., Reddy, T. D., Ansari, N. A. and Kumar, S. S. 2009. Correlation and path analysis for yield and yield components in rice (*Oryza Sativa* L.). Agric. Sci. Digest. 29(1): 45-47.

Chen, J., Zhang, R., Cao, F., Yin, X., Zou, Y., Huang, M., and Abou-Elwafa, S. F. 2020. Evaluation of late-season short- and long-duration rice cultivars for potential yield under mechanical transplanting conditions. Agronomy. 10(9): 1-15.

Chen, K., Wang, Y., Zhang, R., Zhang, H. and Gao, C. 2019. CRISPR/Cas genome editing and precision plant breeding in agriculture. Annu. Rev. Plant Biol. 70(1): 667-697.

Cheng, C., Ali, A., Shi, Q., Zeng, Y., Tan, X., Shang, Q., Huang, S., Xie, X. and Zeng, Y. 2019. Response of chalkiness in high-quality rice (*Oryza sativa* L.) to temperature across different ecological regions. J. Cereal Sci. 87: 39-45.

Cheng, F., Zhong, L., Zhao, N., Liu, Y. and Zhang, G. 2005. Temperature induced changes in the starch components and biosynthetic enzymes of two rice varieties. Plant Growth Regul. 46: 87-95.

Chun, A., Kim, D. J., Yoon, M. R., Oh, S. K., Choi, I. S., Hong, H. C. and Kim, Y. G. 2012. Effect of milling degree on the physicochemical and sensory quality of Sogokju. J. Korean Soc. Food Sci. Nutr. 41(1): 136-142.

Cruz, N. D. and Khush, G. S. 2000. Rice grain quality evaluation procedures, pp. 15-28. *In*: Singh, R. K., Singh, U. S. and Khush, G. S. (eds.). Aromatic Rices. Mohan Primlani for Oxford & IBH Publishing Co. Pvt. Ltd., New Delhi.

Custodio, M. P., Cuevas, R. P., Ynion, J., Laborte, A. G., Velasco, M. L. and Demont, M. 2019. Rice quality: How is it defined by consumers, industry, food scientists, and geneticists. Trends Food Sci. Technol. 92(1): 122-137.

Du, L., Xu, F., Fang, J., Gao, S. P., Tang, J. Y., Fang, S., Wang, H., Tong, H., Zhang, F., Chu, J., Wang, G. and Chu, C. 2018. Endosperm sugar accumulation caused by mutation of *PHS8/ISA1* leads to pre-harvest sprouting in rice. Plant J. 95(3): 545–556.

Ref. code: 25676509032568NOH

Dunna, V. and Roy, B. 2013. Rice (*Oryza sativa* L.), pp. 71-122. *In*: Roy, B. (ed.). Breeding Biotechnology and Seed Production of Field Crops. New India Publishing Agency, New Delhi.

Fan, X., Li, Y., Zhang, C., Li, E., Chen, Z., Li, Q., Zhang, Z., Zhu, Y., Sun, X. and Liu, Q. 2019. Effects of high temperature on the fine structure of starch during the grain-filling stages in rice: Mathematical modeling and integrated enzymatic analysis. J. Sci. Food Agric. 99(6): 2865-2873.

Fu, J., Xu, Y. J., Chen, L., Yuan, L. M., Wang, Z. Q., and Yang, J. C. 2013. Changes in enzyme activities involved in starch synthesis and hormone concentrations in superior and inferior spikelets and their association with grain filling of super rice. Rice Sci. 20: 120–128.

Gomez, K. A. and Gomez, A. A. 1984. Statistical Procedures for Agricultural Research. 2nd Edition. John Wiley & Sons, New York. 704 p.

Gong, D., Zhang, X., He, F., Chen, Y., Li, R., Yao, J., Zhang, M., Zheng, W. and Yu, G. 2023. Genetic improvements in rice grain quality: A review of elite genes and their applications in molecular breeding. J. Agron. 13(5): 1-26.

Gu, X., Wang, P., Huang, J., Chen, S., Li, D., Pu, S., Li, J. and Wen, J. 2024. Structural and physicochemical properties of rice starch from a variety with high resistant starch and low amylose content. Front. Nutr. 11: 1-11.

Guo, C., Zhang, L., Jiang, P., Yang, Z., Chen, Z., Xu, F., Guo, X., Sun, Y. and Ma, J. 2024. Grain chalkiness is decreased by balancing the synthesis of protein and starch in hybrid indica rice grains under nitrogen fertilization. Foods. 13(6): 1-20.

Guo-hui, M. and Long-ping, Y. 2015. Hybrid rice achievements, development and prospect in China. J. Integr. Agric. 14(2): 197-205.

He, H., Song, L., Wang, W., Zheng, H. and Tang, Q. 2024. Critical yield components for achieving high annual grain yield in ratoon rice. Sci. Rep. 14: 1-8.

Hori, K., Suzuki, K., Iijima, K., and Ebana, K. 2016. Variation in cooking and eating quality traits in Japanese rice germplasm accessions. Breed. Sci. 66(2): 309-318.

Hori, K. and Sun, J. 2022. Rice grain size and quality. J. Rice. 15(1): 1-3.

Ref. code: 25676509032568NOH

Hsu, Y. C., Tseng, M. C., Wu, Y. P., Lin, M. Y., Wei, F. J., Hwu, K. K., Hsing, T. I. and Lin, Y. R. 2014. Genetic factors responsible for eating and cooking qualities of rice grains in a recombinant inbred population of an inter-subspecific cross. Mol. Breeding. 34(1): 655–673.

Hu, Y., Zhang, Y., Yu, S., Deng, G., Dai, G. and Bao, J. 2023. Combined effects of *BEIIb* and *SSIIa* alleles on amylose contents, starch fine structures and physicochemical properties of indica rice. Foods. 12(1): 1-15.

Huang, J., Pan, Y., Chen, H., Zhang, Z., Fang, C., Shao, C., Amjad, H., Lin, W. and Lin, W. 2020. Physiochemical mechanisms involved in the improvement of grain-filling, rice quality mediated by related enzyme activities in the ratoon cultivation system. Field Crops Res. 258: 1-13.

Hung, P. V., Maeda, T., Miskelly, D., Tsumori R. and Morita, N. 2008. Physicochemical characteristics and fine structure of high-amylose wheat starches isolated from Australian wheat cultivars. Carbohydr. Polym. 71: 656-663.

Imran, M., Shafiq, S., Ashraf, U., Qi, J., Mo, Z. and Tang, X. 2023. Biosynthesis of 2-acetyl-1-pyrroline in fragrant rice: recent insights into agro-management, environmental factors, and functional genomics. J. Agric. Food Chem. 71(1): 4201–4215.

International Rice Research Institute. 2006. Grain quality - IRRI Rice Knowledge Bank. Available Source: bit.ly/4iQfP8j, July 22, 2023.

Itoh, J. I., Nonomura, K. I., Ikeda, K., Yamaki, S., Inukai, Y., Yamagishi, H., Kitano, H. and Nagato, Y. 2005. Rice plant development: From zygote to spikelet. Plant Cell Physiol. 46(1): 23–47.

Jaruchai, W., Monkham, T., Chankaew, S., Suriharn, B. and Sanitchon, J. 2018. Evaluation of stability and yield potential of upland rice genotypes in North and Northeast Thailand. J. Integr. Agric. 17(1): 28-36.

Jiang, L., Wang, Y. P., Liu, H. P., Xie, F. T., Zhong, X. Y., Zhang, P., Ouyang, C. R., Li, D. Y., Xie, J. P., Zhang, P., Zhang, J. J., Ouyang, Z. C., Yang, F. Q., Xi, J. C. and Zhang, H. L. 2020. Screening and yield component analysis of hybrid rice combination for ratooning rice in southern Jiangxi Province. Acta Agric. Jiangxi. 32(12): 16-20.

Ref. code: 25676509032568NOH

Jiang, Z. W., Zhuo, C. Y., Lin, W., Zheng, J. S. and Li, Y. Z. 2021. Analysis of yield component factors in ratoon rice. Fujian Sci. Techn Rice Wheat. 2: 8-9.

Juliano, B. O. 1998. Varietal impact on rice quality. CFW. 43(4): 207-211.

Juliano, B. O., Onate, L. U. and Del Mundo, A. M. 1972. Amylose and protein contents of milled rice as eating quality factors. Philippine Agriculturist. 56: 44-47.

Kaewmungkun, K., Tongmark, K., Chakhonkaen, S., Sangarwut, N., Wasinanon, T., Panyawut, N., Ditthab, K. Sikaewtung, K., Yong-bin, Q., Dapha, S., Panya, A., Phonsatta, N. and Muangprom, A. 2023. Development of new aromatic rice lines with high eating and cooking qualities. J. Integr. Agric. 22(3): 679-690.

Kaya, Y., Akçura, M., and Taner, S. 2006. GGE-biplot analysis of multi-environment yield trials in bread wheat. Turk. J. Agric. For. 30(5): 325-337.

Kesarwani, A., Chiang, P. Y. and Chen, S. S. 2016. Rapid Visco analyzer measurements of japonica rice cultivars to study interrelationship between pasting properties and farming system. Int. J. Agron. 2016(1): 1-6.

Khalil, A. M. 2020. The genome editing revolution: Review. J. Genet. Eng. Biotechnol. 18(68): 1-16.

Khan, M., Dar, Z. and Dar, S. 2015. Breeding strategies for improving rice yield-A review. Agric. Sci. 6(1): 467-478.

Khush, G. S. 1997. Origin, dispersal, cultivation and variation of rice. Plant Mol Biol. 35(1): 25-34.

Kim, S. Y. and Lee, H. 2013. Effect of quality characteristics on brown rice produced from paddy rice with different moisture contents. J. Korean Soc. Appl. Biol. Chem. 56: 289-293.

Kobayashi, A., Machida, Y., Watanabe, S., Morozumi, Y., Nakaoka, F., Hayashi, T. and Tomita, K. 2022. Effects of temperature during ripening on amylopectin chain-length distribution of ‘Koshihikari’ and ‘Ichihomare.’ Plant Prot. Sci. 25(2): 250-259.

Kong, X., Zhu, P., Sui, Z. and Bao, J. 2015. Physicochemical properties of starches from diverse rice cultivars varying in apparent amylose content and gelatinization temperature combinations. Food Chem. 172(1): 433-440.

Ref. code: 25676509032568NOH

Kumar, G., Basak, N., Priyadarsani, S., Bagchi, T. B., Kumar, A., Pradhan, S. K. and Sanghamitra, P. 2023. Alteration in the physico-chemical traits and nutritional quality of rice under anticipated rise in atmospheric CO_2 concentration: A review. J. Food Compos. Anal. 121(1): 2-12.

Lakew, T., Tariku, S., Alem, T. and Bitew, M. 2014. Agronomic performances and stability analysis of upland rice genotypes in North West Ethiopia. IIJSRP. 4: 1–9.

Lan, D., Cao, L., Liu, M., Ma, F., Yan, P., Zhang, X., Hu, J., Niu, F., He, S., Cui, J., Yuan, X., Yang, J., Wang, Y. and Luo, X. 2023. The identification and characterization of a plant height and grain length related gene *hfr131* in rice. Front. Plant Sci. 14: 1-14.

Lanning, S. B., Siebenmorgen, T. J., Counce P. A., Ambardekar, A. A., and Mauromoustakos A. 2011. Extreme nighttime air temperatures in 2010 impact rice chalkiness and milling quality. Field Crops Res. 124(1): 132–136.

Li, H. and Liu, Y. 2019. Effects of variety and growth location on the chain-length distribution of rice starches. J. Cereal Sci. 85: 77-83.

Li, H., Prakash, P., Nicholson, T. M., Fitzgerald, M. A. and Gilbert, R. G. 2015. The importance of amylose and amylopectin fine structure for textural properties of cooked rice grains. Food Chem. 196(1): 1-22.

Li, P., Chen, Y. H., Lu, J., Zhang, C. Q., Liu, Q. Q. and Li, Q. F. 2022. Genes and their molecular functions determining seed structure, components, and quality of rice. Rice. 15(1): 1-27.

Li, S., Ren, X., Zhang, M., Asimi, S., Lv, Q., Wang, Z., Liang, S., Wang, Z. and Meng, L. 2021. New perspective to guide rice breeding: Evaluating the eating quality of japonica rice. Cereal Chem. 99(3): 1-12.

Li, X., Wu, L., Geng, X., Xia, X., Wang, X., Xu, Z. and Xu, Q. 2018. Deciphering the environmental impacts on rice quality for different rice cultivated areas. Rice. 11(7): 1-10.

Lin, Q., Jiang, Z. W., Lin, Q., Wang, Y. H., Zhang, C. Z., Zhuo, C. Y., Xie, G., Jiang, J. H., Xie, H. A. and Zhang, J. F. 2019. Indexing and recommended combinations of rice varieties for new breeds with strong ratooning ability. Fujian Agric. Sci. 34(8): 873-882.

Ref. code: 25676509032568NOH

Liu, W., Yin, T., Zhao, Y., Wang, X., Wang, K., Shen Y., Ding, Y. and Tang, S. 2021. Effects of high temperature on rice grain development and quality formation based on proteomics comparative analysis under field warming. Front. Plant Sci. 12: 1-14.

M, F., John, D. and Raman, M. 2023. Physicochemical properties, eating and cooking quality and genetic variability: a comparative analysis in selected rice varieties of South India. Food Prod Process and Nutr. 5(49): 1-12.

Masniawati, A., Asrul, N. A. M., Johannes, E. and Asnady, M. 2018. Characterization of rice physicochemical properties local rice germplasm from Tana Toraja regency of South Sulawesi. J. Phys. Conf. Ser. 979(1): 1-6.

Müller, A., Nunes, M. T., Maldaner, V., Coradi, P. C., Moraes, R. S., Martens, S., Leal, A. F., Pereira, V. F. and Marin, C. K. 2022. Rice drying, storage and processing: effects of post-harvest operations on grain quality. Rice Sci. 29(1): 16-30.

Nawaz, H., Waheed, R., Nawaz, M. and Shahwar, D. 2020. Physical and chemical modifications in starch structure and reactivity, pp. 1-21. *In*: Emeje, M. O. (ed.). Chemical Properties of Starch. IntechOpen, London.

Odenigbo, A. M., Ngadi, M., Ejebe, C., Nwankpa, C., Danbaba, N., Ndindeng, S. and Manful, J. 2013. Study on the gelatinization properties and amylose content of rice varieties from Nigeria and Cameroun. Int. J. Food Sci. Nutr. 2(4): 181-186.

Okpala, N. E., Potcho, M. P., An, T., Ahator, S. D., Duan, L. and Tang, X. 2020. Low temperature increased the biosynthesis of 2-AP, cooked rice elongation percentage and amylose content percentage in rice. J. Cereal Sci. 93(1): 1-6.

Oladosu, Y., Rafii, M.Y., Samuel, C., Fatai, A., Magaji, U., Kareem, I., Kamarudin, Z.S., Muhammad, I. and Kolapo, K. 2019. Drought resistance in rice from conventional to molecular breeding: A review. Int. J. Mol. Sci. 20(14): 1-21.

Pingali, P. L., Hossain M, Gerpacio RV. 1997. Asian rice bowls: the returning crisis. CAB International, Wallinford, UK. 341 p.

Pan, S. 2024. Pedigree method-procedure, applications, advantages, disadvantages. Available Source: https://biologynotesonline.com/pedigree-method-procedure-applications-advantages-disadvantages/, March 20, 2025.

Ref. code: 25676509032568NOH

Pang, Y., Ali, J., Wang, X., Franje, N. J., Revilleza, J. E., Xu, J. and Li, Z. 2016. Relationship of rice grain amylose, gelatinization temperature and pasting properties for breeding better eating and cooking quality of rice varieties. PLoS ONE. 11(12): 1-14.

Peng, Y., Mao, B., Zhang, C., Shao, Y., Wu, T., Hu, L., Hu, Y., Tang, L., Li, Y., Tang, W., Xiao, Y. and Zhao, B. 2021. Influence of physicochemical properties and starch fine structure on the eating quality of hybrid rice with similar apparent amylose content. Food Chem. 353(1): 1-8.

Perdon, A. A., Siebenmorgen, T. J., Mauromoustakos, A., Griffin, V. K. and Johnson, E. R. 2001. Degree of milling effects on rice pasting properties. Cereal Chem. 78(2): 205–209.

Phuseerit, O and Siriamornpun, S. 2020. Quality variations of Khao Dawk Mali 105 (KDML 105) rice in the Tung Kula Rong Hai region of Thailand. Int. J. Eng. Sci. Technol. 6(2): 12-26.

Prasad, T., Banumathy, S., Sassikumar, D., Ramalingam, J. and Ilamaran, M. 2021. Study on physicochemical properties of rice landraces for amylose, gel consistency and gelatinization temperature. EJPB. 12(3): 723-731.

Puri, S., Dhillon, B. and Sodhi, N. S. 2014. Effect of degree of milling (Dom) on overall quality of rice - A review. Int. J. Adv. Biotechnol. Res. 5(3): 474-489.

Rather, T. A., Malik, A. and Dar, A. H. 2016. Physical, milling, cooking, and pasting characteristics of different rice varieties grown in the valley of Kashmir India. Cogent Food Agri. 2(1): 1-8.

Sadimantara, G. R., Nuraida, W., Suliartini, N. W. S. and Muhidin, M. 2018. Evaluation of some new plant type of upland rice (*Oryza sativa* L.) lines derived from cross breeding for the growth and yield characteristics. IOP Conf. Ser.: Earth Environ. Sci. 157: 1-6.

Sandhu, R. S., Singh, N., Kaler, R. S. S., Kaur, A. and Shevkani, K. 2018. Effect of degree of milling on physicochemical, structural, pasting and cooking properties of short and long grain Indica rice cultivars. Food Chem. 260(1): 231-238.

Ref. code: 25676509032568NOH

Sang, Y., Bean, S., Seib, P. A., Pedersen, J. and Shi, Y-C. 2008. Structure and functional properties of sorghum starches differing in amylose content. J. Agric. Food Chem. 56(15): 6680-6685.

Sangwongchai, W., Tananuwong, K., Krusong, K., Natee, S. and Thitisaksakul, M. 2023. Starch chemical composition and molecular structure in relation to physicochemical characteristics and resistant starch content of four Thai commercial rice cultivars differing in pasting properties. Polymers. 15(1): 1-21.

Sarkar, S. K., Sarkar, M. A. R., Islam, N. and Paul, S. K. 2014. Yield and quality of aromatic fine rice as affected by variety and nutrient management. J. Bangladesh Agric. Univ. 12(2): 279–284.

Sattari, A., Mahdinezhad, N., Fakheri, B., Norooz, M. and Beheshtizadeh, H. 2015. Improvement of the eating and cooking qualities of rice: A review. Intl. J. Farm & Alli Sci. 4(2): 153-160.

Savadi, S., Mangalassery, S. and Sandesh, M. S. 2021. Advances in genomics and genome editing for breeding next generation of fruit and nut crops. J. Genomics. 113(1): 3718-3734.

Shekhar, H. U., Islam, M. M. T. and Hossen, M. S. 2019. Comparative analysis of physicochemical and pasting properties between traditional and high yielding rice varieties of Bangladesh. Am. J. Food Technol. 7(6): 182-188.

Shen, S., Xu, S., Wang, M., Ma, T., Chen, N., Wang, J., Zheng, H., Yang, L., Zou, D., Xin, W. and Liu, H. 2023. BSA-Seq for the identification of major genes for EPN in rice. Int. J. Mol. Sci. 24(19): 1-13

Shimoyanagi, R., Abo, M. and Shiotsu, F. 2021. Higher temperatures during grain filling affect grain chalkiness and rice nutrient contents. Agronomy. 11(1): 1-9.

Shrestha, J., Subedi, S., Kushwaha, U. K. S. and Maharjan, B. 2021. Evaluation of growth and yield traits in rice genotypes using multivariate analysis. Heliyon. 7(9): 1-6.

Siebenmorgen, T. J., Grigg, B. C. and Lanning S. B. 2013. Impacts of Preharvest factors during kernel development on rice quality and functionality. Annu. Rev. Food Sci. Technol. 4(1): 101–115.

Ref. code: 25676509032568NOH

Singh, A., Singh, A. and Mahama, A. A. 2023a. Chapter 6: Breeding Methods. Available Source: https://iastate.pressbooks.pub/cropimprovement/chapter/breeding-methods/, 27 September 2023.

Singh, B., Singh, Y., Imas, P. and Xie, J. C. 2004. Potassium nutrition of the rice-wheat cropping system. Adv. Agron. 81: 203-259.

Singh, P., Sevanthi, A. M., Rudra, S. G., Singh, A. K. and Singh, N. K. 2023b. Effect of heat stress on grain quality of different rice varieties. Biological Forum. 15(5): 662-668.

Sreenivasulu, N., Zhang, C., Tiozon, R. N. and Liu, Q. 2022. Post-genomics revolution in the design of premium quality rice in a high-yielding background to meet consumer demands in the 21st century. Plant Commun. 3(3): 1-16.

Srichuwong, S. and Jane, J. I. 2007. Physicochemical properties of starch affected by molecular composition and structures: A review. Food Sci. Biotechnol. 16(5): 663-674.

Sridevi, V. and Chellamuthu, V. 2015. Impact of weather on rice – A review. Int. J. Appl. Res. 1(9): 825-831.

Suismono, Djali, M., Setiasih, I. S., Munarso, S. J. and Darniadi, S. 2022. Changes of physical and chemical properties of rice (cv. Mentikwangi) as affected by storage conditions. E3S Web Conf. 344: 1-8.

Suklaew, P. O., Chusak, C. and Adisakwattana, S. 2020. Physicochemical and functional characteristics of RD43 rice flour and its food application. Foods. 9(12): 1-15.

Sultana, S., Faruque, M. and Islam, R. 2022. Rice grain quality parameters and determination tools: a review on the current developments and future prospects. Int. J. Food Prop. 25(1): 1063–1078.

Suwannaporn, P. and Linnemann, A. 2007. Rice-eating quality among consumers in different rice grain preference countries. J Sens Stud. 23: 1–13.

Syafutri, M. I., Pratama, F., Syaiful, F. and Faizal, A. 2016. Effects of varieties and cooking methods on physical and chemical characteristics of cooked rice. Rice Sci. 23(5): 282-286.

Ref. code: 25676509032568NOH

Tabassum, J., Ahmed, S., Hussain, B., Mawia, A. M., Zeb, A. and Ju, L. 2021. Applications and potential of genome-editing systems in rice improvement: current and future perspectives. Agronomy. 11(1): 1-24.

Tao, K., Yu, W., Prakash, S. and Gilbert, R. G. 2020. Investigating cooked rice textural properties by instrumental measurements. Food Sci. Hum. Wellness. 9(1): 130-135.

Tian, Z., Qian, Q., Liu, Q., Yan, M., Liu, X., Yan, C., Liu, G., Gao, Z., Tang, S., Zeng, D., Wang, Y., Yu, J., Gu, M. and Li, J. 2009. Allelic diversities in rice starch biosynthesis lead to a diverse array of rice eating and cooking qualities. Proc Natl Acad Sci U S A. 106(51): 21,760-21,765.

Tong, C., Gao, H., Luo, S., Liu, L. and Bao, J. 2019. Impact of postharvest operations on rice grain quality: A review. Compr. Rev. Food Sci. Food Saf. 18(3): 626-640.

Tsukaguchi, T. and Iida, Y. 2008. Effects of assimilate supply and high temperature during grain-filling period on the occurrence of various types of chalky kernels in rice plants (*Oryza sativa* L.). Plant Prod. Sci. 11(2): 203-210.

Verma, D. K. and Srivastav, P. P. 2017. Proximate composition, mineral content and fatty acids analyses of aromatic and non-aromatic Indian rice. Rice Sci. 24(1): 21-31.

Wang, E., Wang, J., Zhu, X. Hao, W., Wang, L., Li, Q., Zhang, L., He, W., Lu, B., Lin, H., Ma, H., Zhang, G. and He, Z. 2008. Control of rice grain-filling and yield by a gene with a potential signature of domestication. Nat. Genet. 40: 1370–1374.

Wang, L., Guo, J., Wang, R., Shen, C., Li, Y., Luo, X., Li, Y. and Chen, Z. 2016. Studies on quality of potato flour blends with rice flour for making extruded noodles. Cereal Chem. 93: 593–598.

Wang, L., Xie, B., Shi, J., Xue, S., Deng, Q., Deng, Y. and Tian, B. 2010. Physicochemical properties and structure of starches from Chinese rice cultivars. Food Hydrocoll. 24(2): 208-216.

Wang, Q., Zhen, R., Ding, Y., Ji, Z., Cao, W. and Hiang, P. 2004. Effects of potassium fertilizer application rates on plant potassium accumulation and grain quality of japonica rice. Sci. Agric. Sin. 37: 1444-1450.

Ref. code: 25676509032568NOH

Wei, C., Qin, F., Zhou, W., Xu, B., Chen, C., Chen, Y., Wang, Y., Gu, M. And Liu, Q. 2011. Comparison of the crystalline properties and structural changes of starches from high-amylose transgenic rice and its wild type during heating. Food Chem. 128(1): 645-652.

Xiao, R. P., Liu, Q. M., Zhang, X. W., Wen, M., Yao, X., Zhang, W. J., Duan, J., Tang, Y. Q. and Li, J. Y. 2021. Screening for ratooning rice of direct seeding medium rice varieties suitable in Chongqing area and their high-yield abilities. J. South. Agric. 52: 104-114.

Xu, Q., Chen, W. and Xu, Z. 2015. Relationship between grain yield and quality in rice germplasms grown across different growing areas. Breed Sci. 65(3): 226–232.

Yadav, R. B., Malik, S., and Yadav, B.S. 2016. Physicochemical, pasting, cooking and textural quality characteristics of some basmati and non-basmati rice varieties grown in India. Int. J. Agric. Technol. 12(1): 675-692.

Yan, W. 2001. GGE-biplot a bindows application for graphical analysis of multi environment trial data and other types of two-way data. Agronomy. 93(5): 1111-1118.

Yan, W. and Kang, M. S. 2002. GGE biplot analysis: A graphical tool for breeders, geneticists, and agronomists. CRC Press, Boca Raton.

Yan, W., Kang, M. S., Woods, S. and Cornelius, P. L. 2007. GGE biplot vs. AMMI analysis of genotype-by-environment data. Crop Sci. 47: 643–653.

Yanjie, X., Yining, Y., Shuhong, O., Xiaoliang, D., Hui, S., Shukun, J., Shichen, S. and Jinsong, B. 2018. Factors affecting sensory quality of cooked japonica rice. Rice Sci. 25(6): 330-339.

Zhang, H., Su, J., Wang, Q., Yuan, M., & Li, C. 2022. Structure, gelatinization, and digestion characteristics of starch from Chinese wild rice. Int. J. Food Prop. 25(1): 2589–2603.

Zhang, J., Zhang, H., Botella, J. R. and Zhu, J. K. 2018. Generation of new glutinous rice by CRISPR/Cas9-targeted mutagenesis of the Waxy gene in elite rice varieties. J. Integr. Plant Biol. 60(5): 369-375.

Ref. code: 25676509032568NOH

Zhang, X., Li, Y., Dong, J., Sun, Y. and Fu, H. 2025. Split application of potassium reduces rice chalkiness by regulating starch accumulation process under high temperatures. Agronomy. 15(1): 1-21.

Zhao, C., Zhao, L., Zhao, Q., Chen, T., Yao, S., Zhu, Z., Zhou, L., Nadaf, A. B., Liang, W., Lu, K., Zhang, Y. and Wang, C. 2020. Genetic dissection of eating and cooking qualities in different subpopulations of cultivated rice (*Oryza sativa* L.) through association mapping. BMC Genetics. 21(1): 1-13.

Zhao, D., Zhang, C., Li, Q. and Liu, Q. 2022. Genetic control of grain appearance quality in rice. Biotechnol. Adv. 60(1): 1-21.

Zhao, S., Shi, J., Cai, S., Xiong, T. Cai, F., Li, S., Chen, X., Fan, C., Mei, X. and Sui, Y. 2023. Effects of milling degree on nutritional, sensory, gelatinization and taste quality of different rice varieties. LWT. 186(1): 1-11.

Zhu, D., Shao, Y., Fang, C., Li, M., Yu, Y. and Qin, Y. 2023a. Effect of storage time on chemical compositions, physiological and cooking quality characteristics of different rice types. J. Sci Food Agric. 103: 2077–2087.

Zhu, D., Zheng, X., Yu, J., Chen, M., Li, M. and Shao, Y. 2023b. Effects of starch molecular structure and physicochemical properties on eating quality of indica rice with similar apparent amylose and protein contents. Foods. 12(19): 1-15.

Zhu, G. H., Ye, N. H., Yang, J. C., Peng, X. X., and Zhang, J. H. 2011. Regulation of expression of starch synthesis genes by ethylene and ABA in relation to the development of rice inferior and superior spikelets. J. Exp. Bot. 62: 3907–391.

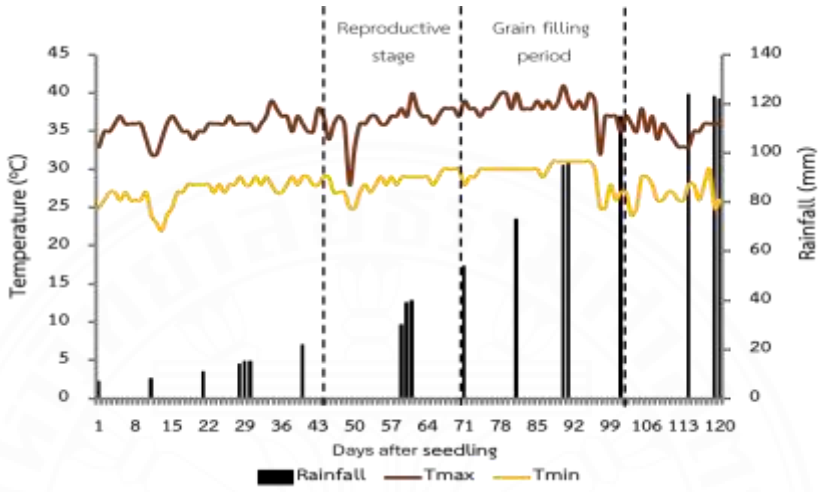
Zou, Y., Zhang, Y., Cui, J., Gao, J., Guo, L. and Zhang, Q. 2023. Nitrogen fertilization application strategies improve yield of the rice cultivars with different yield types by regulating phytohormones. Sci. Rep. 13: 1-1.

Ref. code: 25676509032568NOH

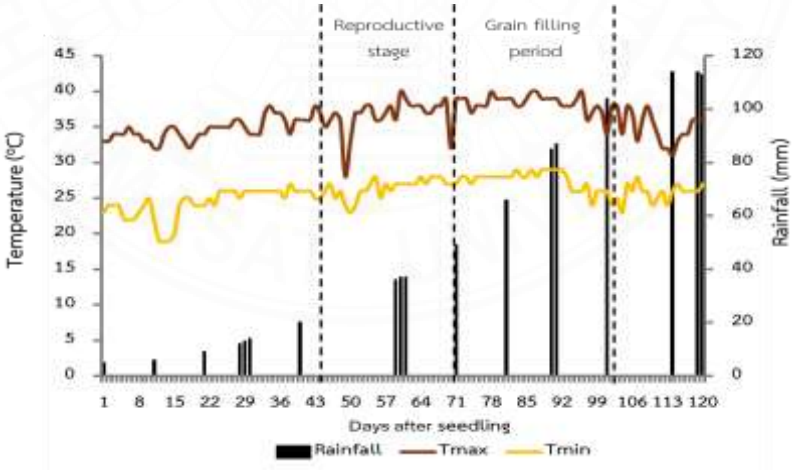
ภาคผนวก

Ref. code: 25676509032568NOH

ภาคผนวก ก
อุณหภูมิและปริมาณน้ำฝน ระหว่างเดือนกุมภาพันธ์-มิถุนายน พ.ศ. 2567 ของพื้นที่ปลูกทดสอบ 3 จังหวัด

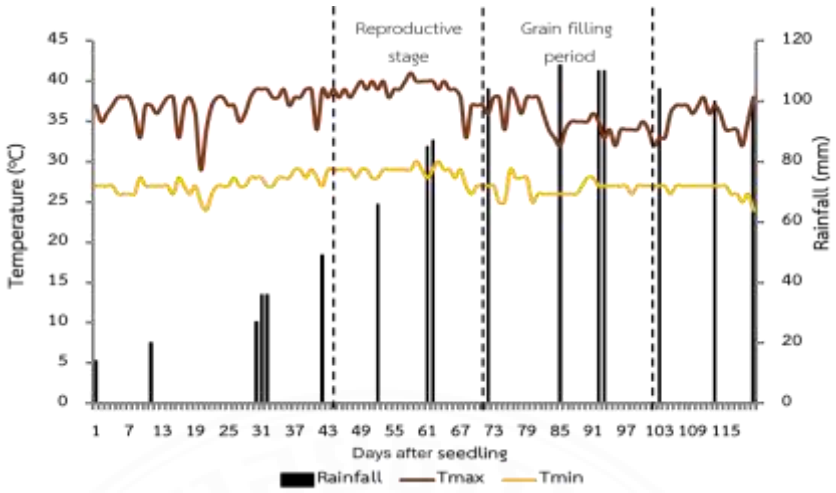


ภาพผนวกที่ ก.1 อุณหภูมิและปริมาณน้ำฝน ระหว่างเดือนกุมภาพันธ์-พฤษภาคม พ.ศ.2567 ในพื้นที่อำเภอคลองหลวง จังหวัดปทุมธานี



ภาพผนวกที่ ก.2 อุณหภูมิและปริมาณน้ำฝน ระหว่างเดือนกุมภาพันธ์-พฤษภาคม พ.ศ.2567 ในพื้นที่อำเภอเมืองชัยนาท จังหวัดชัยนาท

Ref. code: 25676509032568NOH



ภาพผนวกที่ ก.3 อุณหภูมิและปริมาณน้ำฝน ระหว่างเดือนมีนาคม-มิถุนายน พ.ศ.2567 ในพื้นที่อำเภอหนองหญ้าไซ จังหวัดสุพรรณบุรี

Ref. code: 25676509032568NOH

ภาคผนวก ข

ตารางผนวกที่ ข.1 ค่ามาตรฐานที่ใช้ในการประเมินสมบัติทางเคมีของดิน และระดับของธาตุอาหารในดิน

รายการ	ระดับ				
	ต่ำมาก	ต่ำ	ปานกลาง	สูง	สูงมาก
pH	< 4.5	4.5-6.0	6.0-7.5	7.5-8.5	> 8.5
N (%)	< 0.025	0.025-0.075	0.075-0.125	0.125-0.225	> 0.225
P (mg kg^{-1})	< 3.0	3.0-10.0	10.0-15.0	15.0-25.0	> 25.0
K (mg kg^{-1})	< 30.0	30.0-60.0	60.0-90.0	90.0-120.0	> 120.0
Ca (mg kg^{-1})	< 400	400-1,000	1,000-2,000	2,000-4,000	> 4,000
Mg (mg kg^{-1})	< 36.5	36.5-120.0	120.0-365.0	365.0-975.0	> 975.0

ที่มา: สำนักวิทยาศาสตร์เพื่อการพัฒนาที่ดิน (2550)

ตางรางผนวกที่ ข.2 ค่ามาตรฐานที่ใช้ในการประเมินระดับความเค็มของดิน

รายการ	ระดับ				
	ต่ำมาก	ต่ำ	ปานกลาง	สูง	สูงมาก
EC	< 2	2 - 4	4 - 8	8 - 16	> 16

ที่มา: สำนักวิทยาศาสตร์เพื่อการพัฒนาที่ดิน (2550)

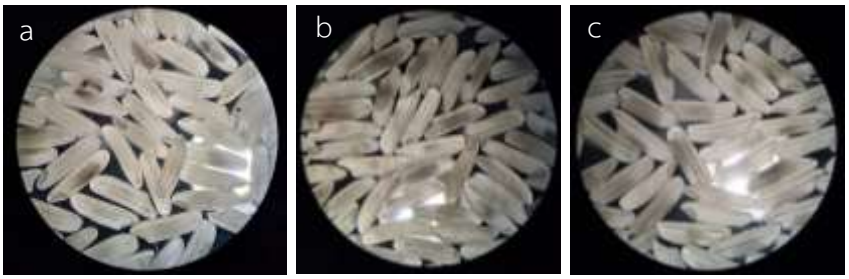
Ref. code: 25676509032568NOH

ตารางผนวกที่ ข.3 การวิเคราะห์ความสัมพันธ์เชิงเส้นของเพียร์สันของลักษณะทางการเกษตร องค์ประกอบผลผลิต และผลิต ของข้าวเจ้าสายพันธุ์ก้าวหน้า 10 สายพันธุ์ ที่ปลูกทดสอบร่วมกับพันธุ์เปรียบเทียบ 2 พันธุ์ จำนวน 3 สถานที่ทดสอบ

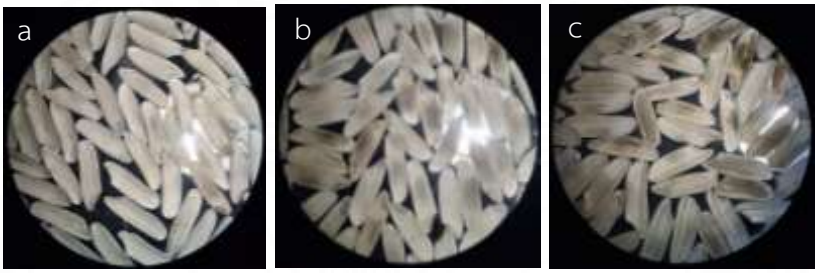
	ความสูงต้น	จำนวนรวงต่อกอ	จำนวนเมล็ดต่อรวง	จำนวนเมล็ดดีต่อรวง	น้ำหนัก 100 เมล็ด
จำนวนรวงต่อกอ	-0.22*	1			
จำนวนเมล็ดต่อรวง	0.50**	-0.31**	1		
จำนวนข้าวเมล็ดดี	-0.28**	0.11 ns	-0.45**	1	
น้ำหนัก 100 เมล็ด	0.25**	-0.27**	0.79**	-0.48**	1
ผลผลิต	0.36**	-0.02 ns	0.50**	0.02 ns	0.28**

Ref. code: 25676509032568NOH

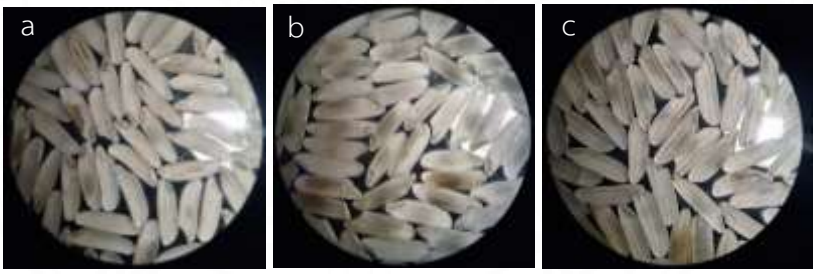
ภาคผนวก ค



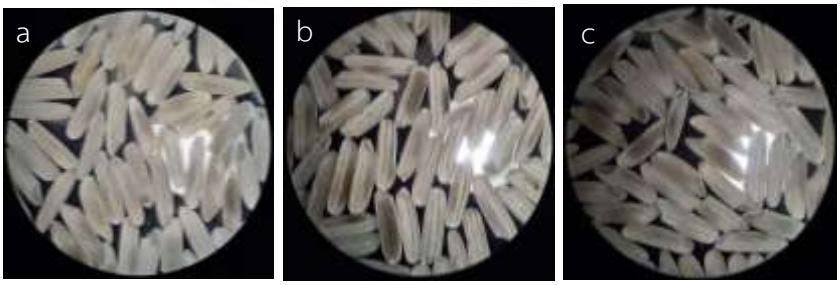
สายพันธุ์ DS24-Inter-1 ในพื้นที่ทดสอบจังหวัดปทุมธานี (a) ชัยนาท (b) และสุพรรณบุรี (c)



สายพันธุ์ DS24-Inter-2 ในพื้นที่ทดสอบจังหวัดปทุมธานี (a) ชัยนาท (b) และสุพรรณบุรี (c)

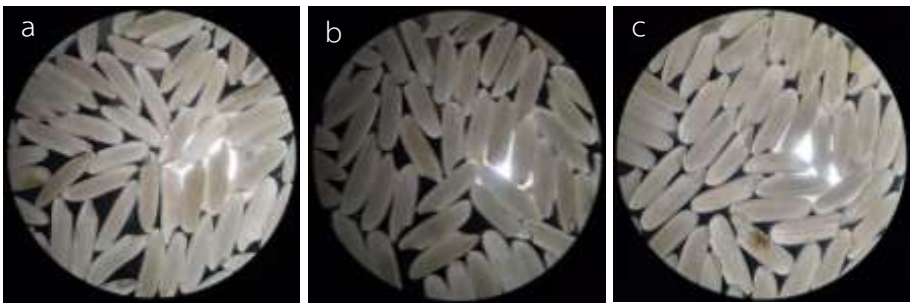


สายพันธุ์ DS24-Inter-3 ในพื้นที่ทดสอบจังหวัดปทุมธานี (a) ชัยนาท (b) และสุพรรณบุรี (c)

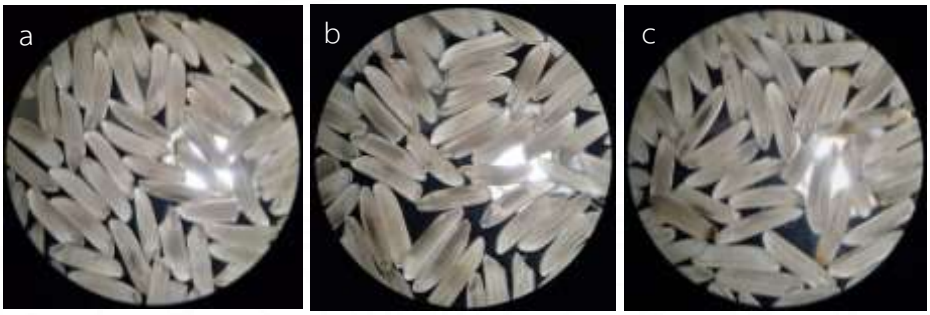


สายพันธุ์ DS24-Inter-4 ในพื้นที่ทดสอบจังหวัดปทุมธานี (a) ชัยนาท (b) และสุพรรณบุรี (c)

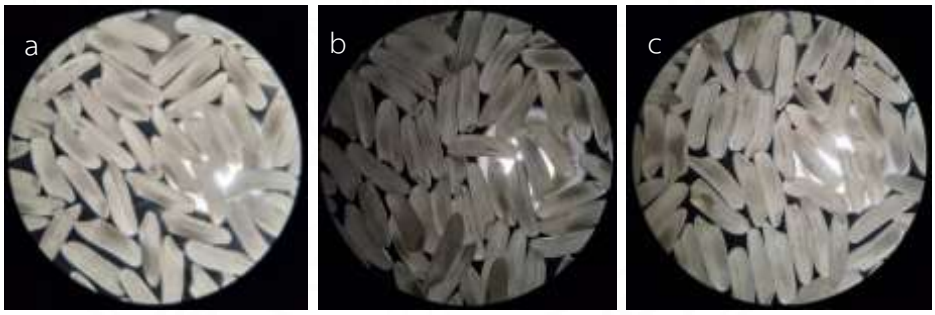
Ref. code: 25676509032568NOH



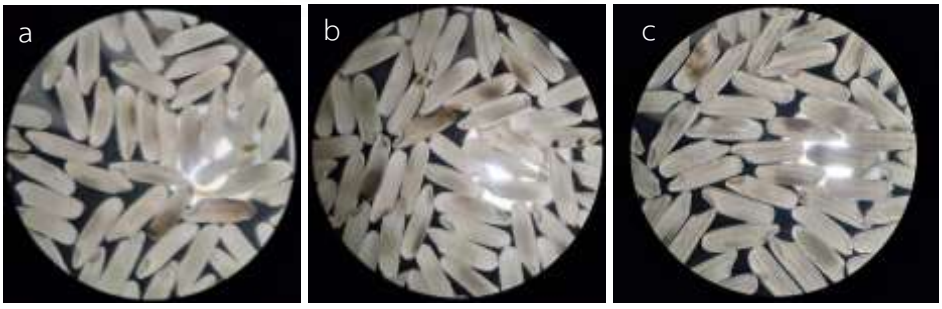
สายพันธุ์ DS24-Inter-5 ในพื้นที่ทดสอบจังหวัดปทุมธานี (a) ชัยนาท (b) และสุพรรณบุรี (c)



สายพันธุ์ DS24-Inter-6 ในพื้นที่ทดสอบจังหวัดปทุมธานี (a) ชัยนาท (b) และสุพรรณบุรี (c)

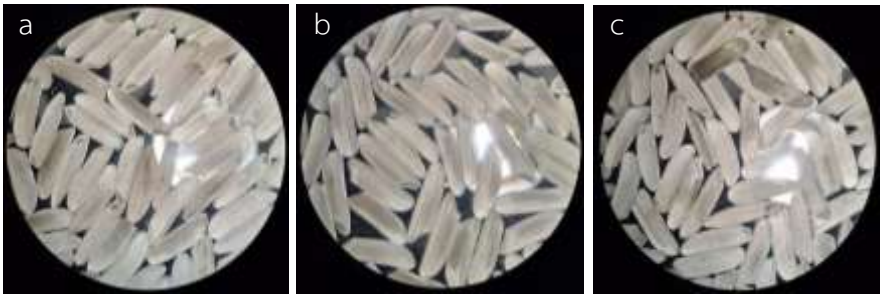


สายพันธุ์ DS24-Inter-7 ในพื้นที่ทดสอบจังหวัดปทุมธานี (a) ชัยนาท (b) และสุพรรณบุรี (c)

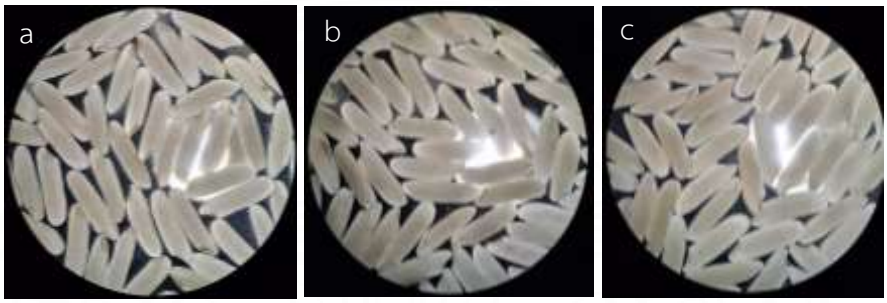


สายพันธุ์ DS24-Inter-8 ในพื้นที่ทดสอบจังหวัดปทุมธานี (a) ชัยนาท (b) และสุพรรณบุรี (c)

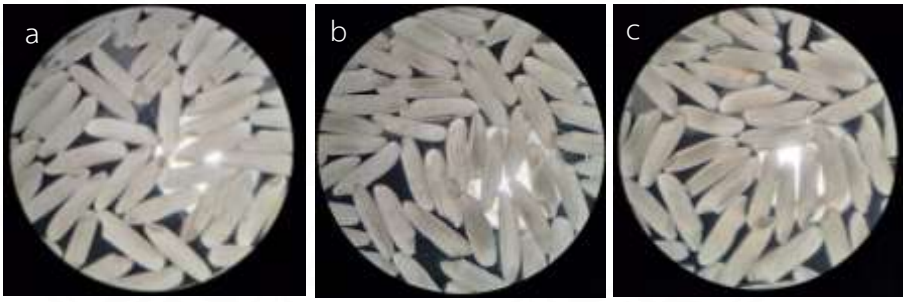
Ref. code: 25676509032568NOH



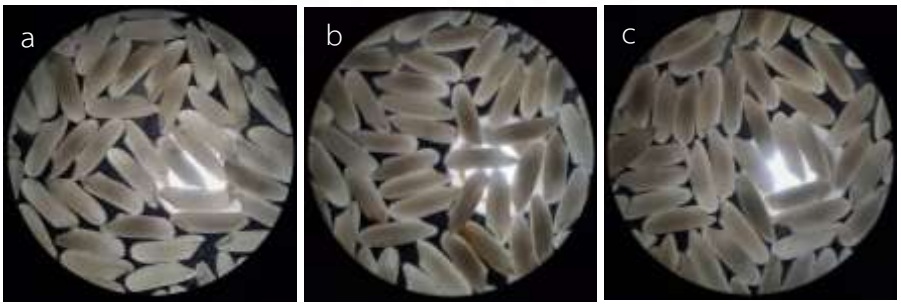
สายพันธุ์ DS24-Inter-9 ในพื้นที่ทดสอบจังหวัดปทุมธานี (a) ชัยนาท (b) และสุพรรณบุรี (c)



สายพันธุ์ DS24-Inter-10 ในพื้นที่ทดสอบจังหวัดปทุมธานี (a) ชัยนาท (b) และสุพรรณบุรี (c)



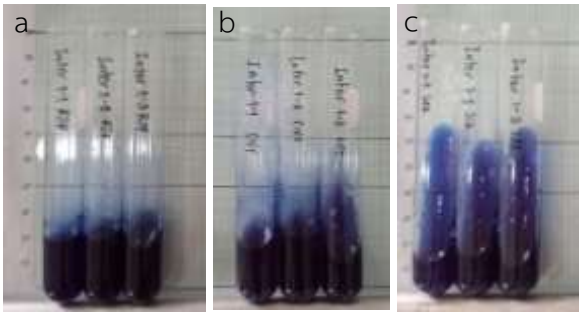
พันธุ์ กข85 ในพื้นที่ทดสอบจังหวัดปทุมธานี (a) ชัยนาท (b) และสุพรรณบุรี (c)



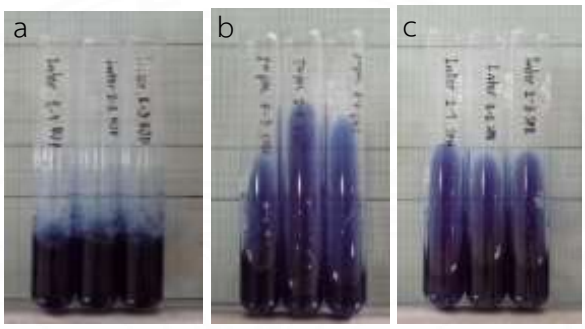
พันธุ์ RJP233088 ในพื้นที่ทดสอบจังหวัดปทุมธานี (a) ชัยนาท (b) และสุพรรณบุรี (c)

ภาพผนวกที่ ค.1 ลักษณะท้องไข่ของข้าวเจ้าสายพันธุ์ก้าวหน้า 10 สายพันธุ์ ที่ปลูกทดสอบร่วมกับพันธุ์เปรียบเทียบ 2 พันธุ์ จำนวน 3 สถานที่

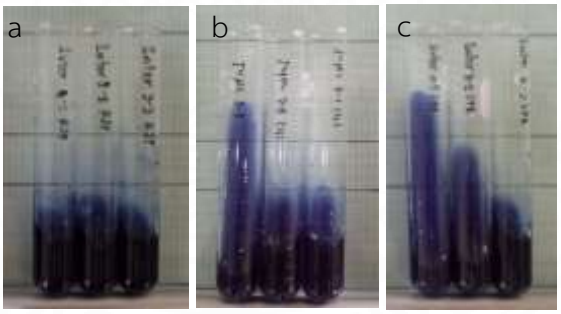
Ref. code: 25676509032568NOH



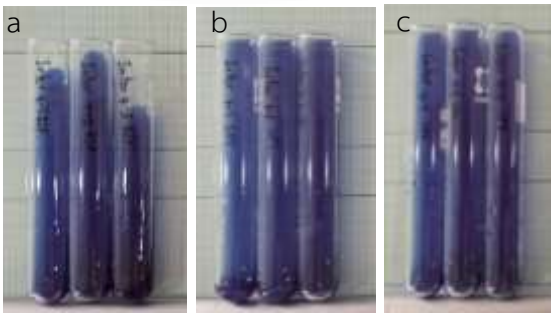
สายพันธุ์ DS24-Inter-1 ในพื้นที่ทดสอบจังหวัดปทุมธานี (a) ชัยนาท (b) และสุพรรณบุรี (c)



สายพันธุ์ DS24-Inter-2 ในพื้นที่ทดสอบจังหวัดปทุมธานี (a) ชัยนาท (b) และสุพรรณบุรี (c)

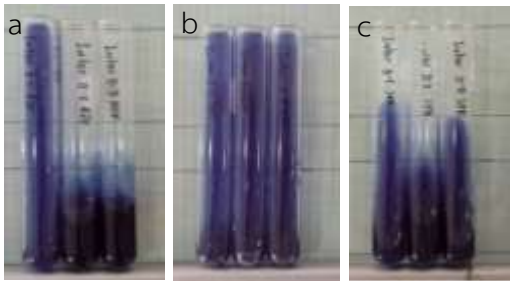


สายพันธุ์ DS24-Inter-3 ในพื้นที่ทดสอบจังหวัดปทุมธานี (a) ชัยนาท (b) และสุพรรณบุรี (c)

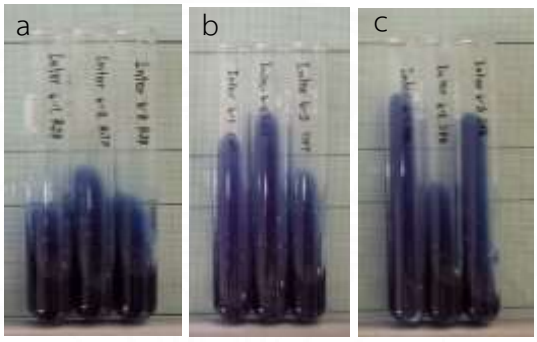


สายพันธุ์ DS24-Inter-4 ในพื้นที่ทดสอบจังหวัดปทุมธานี (a) ชัยนาท (b) และสุพรรณบุรี (c)

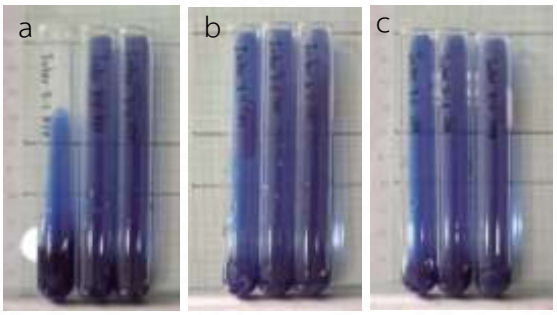
Ref. code: 25676509032568NOH



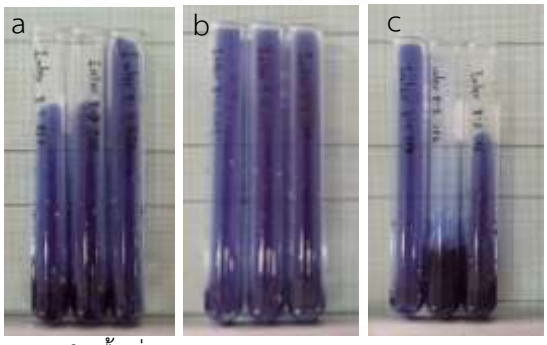
สายพันธุ์ DS24-Inter-5 ในพื้นที่ทดสอบจังหวัดปทุมธานี (a) ชัยนาท (b) และสุพรรณบุรี (c)



สายพันธุ์ DS24-Inter-6 ในพื้นที่ทดสอบจังหวัดปทุมธานี (a) ชัยนาท (b) และสุพรรณบุรี (c)

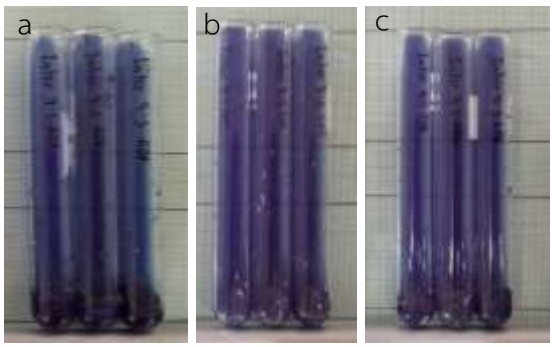


สายพันธุ์ DS24-Inter-7 ในพื้นที่ทดสอบจังหวัดปทุมธานี (a) ชัยนาท (b) และสุพรรณบุรี (c)

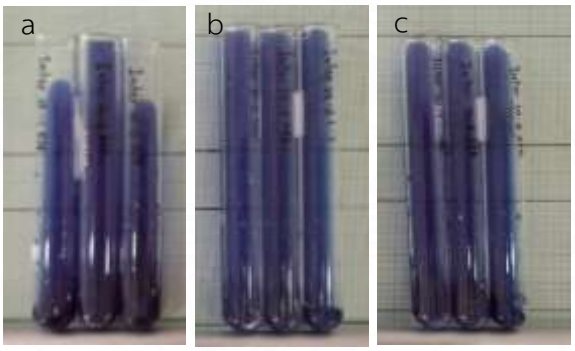


สายพันธุ์ DS24-Inter-8 ในพื้นที่ทดสอบจังหวัดปทุมธานี (a) ชัยนาท (b) และสุพรรณบุรี (c)

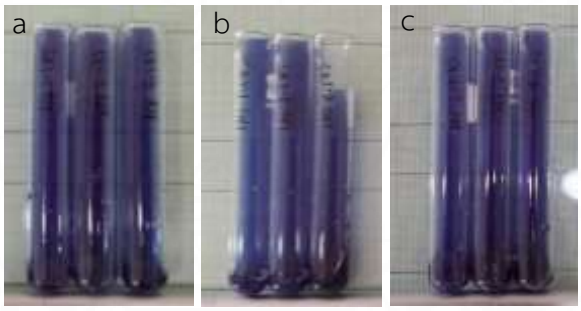
Ref. code: 25676509032568NOH



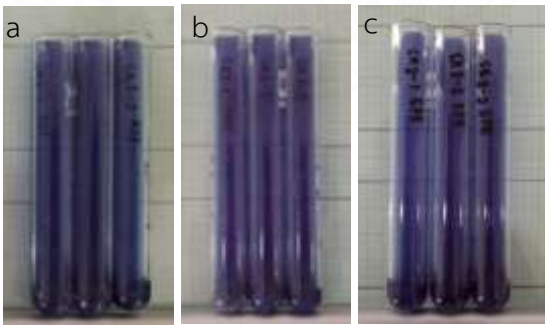
สายพันธุ์ DS24-Inter-9 ในพื้นที่ทดสอบจังหวัดปทุมธานี (a) ชัยนาท (b) และสุพรรณบุรี (c)



สายพันธุ์ DS24-Inter-10 ในพื้นที่ทดสอบจังหวัดปทุมธานี (a) ชัยนาท (b) และสุพรรณบุรี (c)



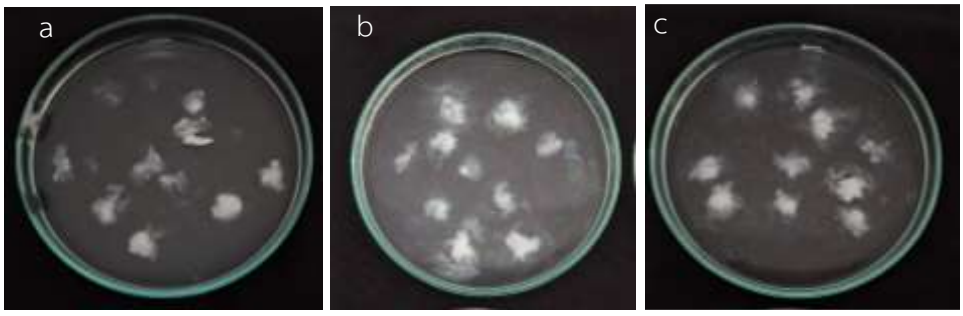
พันธุ์ กข85 ในพื้นที่ทดสอบจังหวัดปทุมธานี (a) ชัยนาท (b) และสุพรรณบุรี (c)



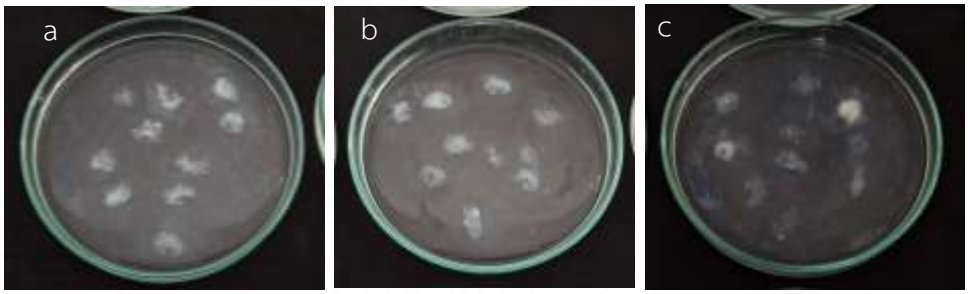
พันธุ์ RJP233088 ในพื้นที่ทดสอบจังหวัดปทุมธานี (a) ชัยนาท (b) และสุพรรณบุรี (c)

ภาพผนวกที่ ค.2 ระยะทางที่แป้งไหลของข้าวเจ้าสายพันธุ์ก้าวหน้า 10 สายพันธุ์ ที่ปลูกทดสอบร่วมกับพันธุ์เปรียบเทียบ 2 พันธุ์ จำนวน 3 สถานที่

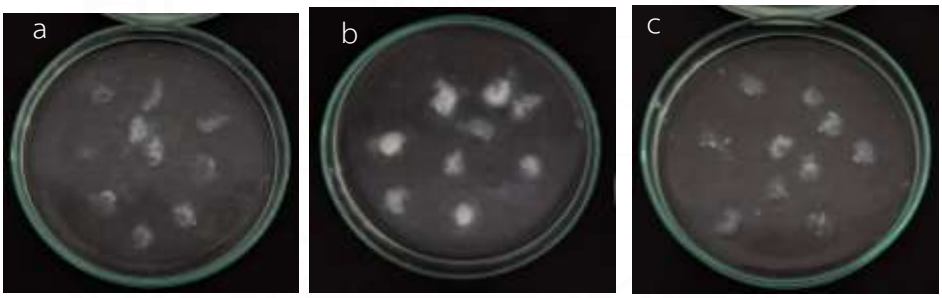
Ref. code: 25676509032568NOH



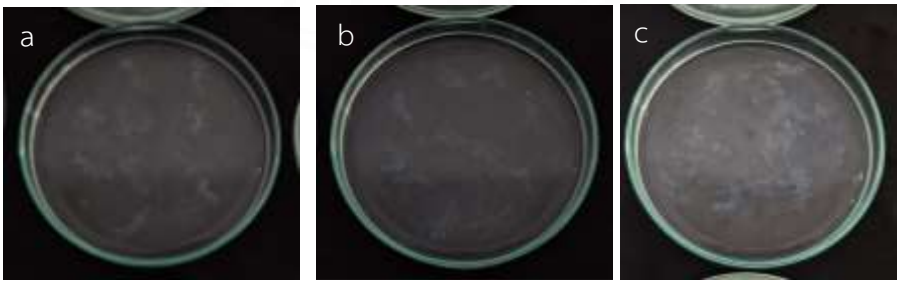
สายพันธุ์ DS24-Inter-1 ในพื้นที่ทดสอบจังหวัดปทุมธานี (a) ชัยนาท (b) และสุพรรณบุรี (c)



สายพันธุ์ DS24-Inter-2 ในพื้นที่ทดสอบจังหวัดปทุมธานี (a) ชัยนาท (b) และสุพรรณบุรี (c)

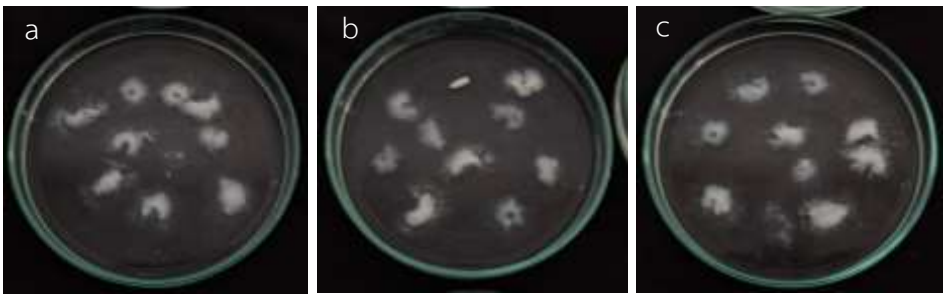


สายพันธุ์ DS24-Inter-3 ในพื้นที่ทดสอบจังหวัดปทุมธานี (a) ชัยนาท (b) และสุพรรณบุรี (c)

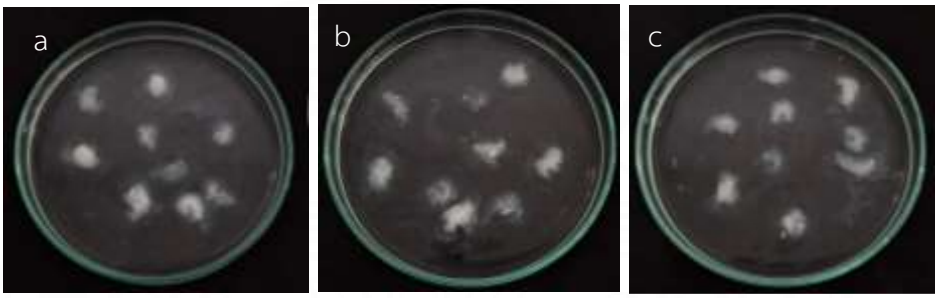


สายพันธุ์ DS24-Inter-4 ในพื้นที่ทดสอบจังหวัดปทุมธานี (a) ชัยนาท (b) และสุพรรณบุรี (c)

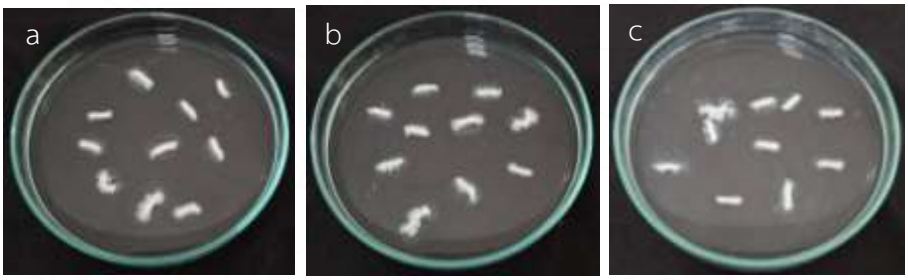
Ref. code: 25676509032568NOH



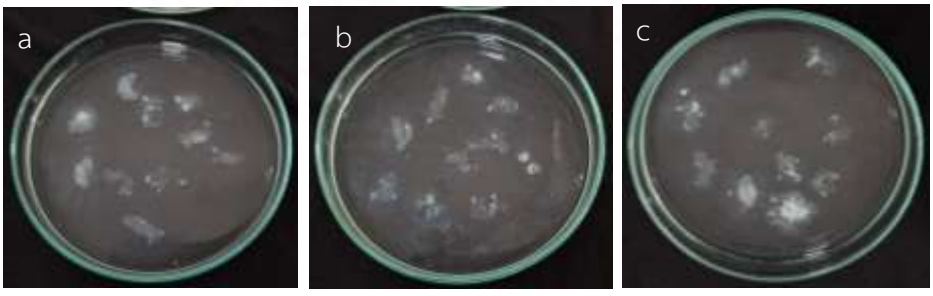
สายพันธุ์ DS24-Inter-5 ในพื้นที่ทดสอบจังหวัดปทุมธานี (a) ชัยนาท (b) และสุพรรณบุรี (c)



สายพันธุ์ DS24-Inter-6 ในพื้นที่ทดสอบจังหวัดปทุมธานี (a) ชัยนาท (b) และสุพรรณบุรี (c)

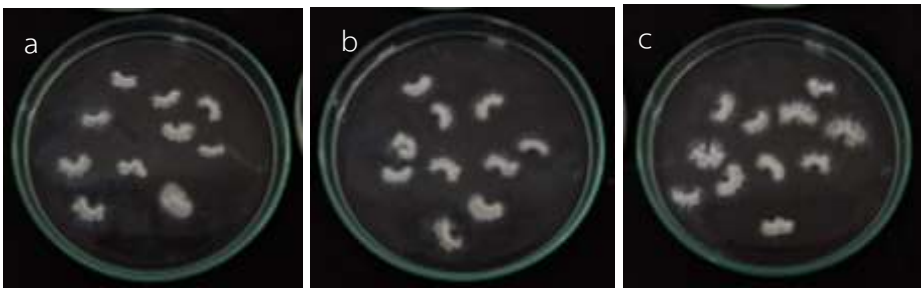


สายพันธุ์ DS24-Inter-7 ในพื้นที่ทดสอบจังหวัดปทุมธานี (a) ชัยนาท (b) และสุพรรณบุรี (c)

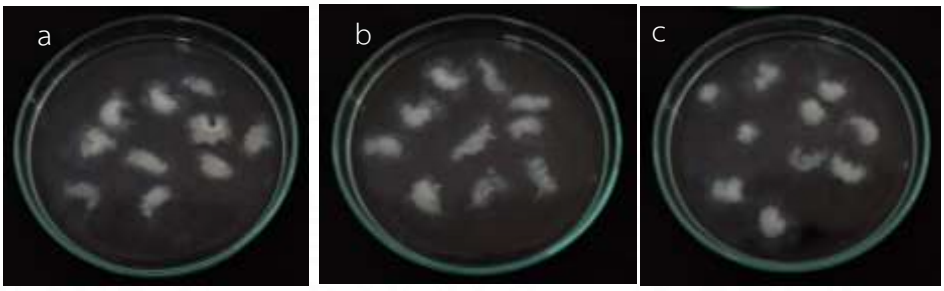


สายพันธุ์ DS24-Inter-8 ในพื้นที่ทดสอบจังหวัดปทุมธานี (a) ชัยนาท (b) และสุพรรณบุรี (c)

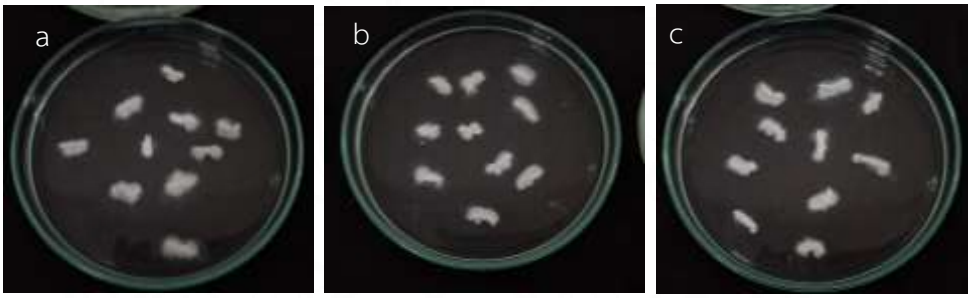
Ref. code: 25676509032568NOH



สายพันธุ์ DS24-Inter-9 ในพื้นที่ทดสอบจังหวัดปทุมธานี (a) ชัยนาท (b) และสุพรรณบุรี (c)



สายพันธุ์ DS24-Inter-10 ในพื้นที่ทดสอบจังหวัดปทุมธานี (a) ชัยนาท (b) และสุพรรณบุรี (c)



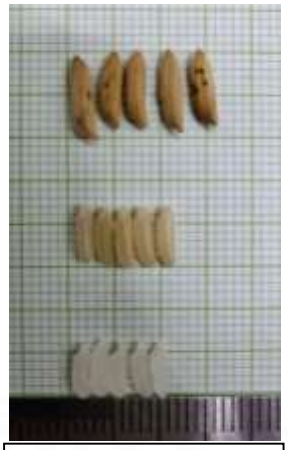
พันธุ์ กข85 ในพื้นที่ทดสอบจังหวัดปทุมธานี (a) ชัยนาท (b) และสุพรรณบุรี (c)

พันธุ์ RJP233088 ในพื้นที่ทดสอบจังหวัดปทุมธานี (a) ชัยนาท (b) และสุพรรณบุรี (c)

ภาพผนวกที่ ค.3 การสลายตัวในสารละลายด่างของข้าวเจ้าสายพันธุ์ก้าวหน้า 10 สายพันธุ์ ที่ปลูกทดสอบร่วมกับพันธุ์เปรียบเทียบ 2 พันธุ์ จำนวน 3 สถานที่

Ref. code: 25676509032568NOH

สายพันธุ์ DS24-Inter-1



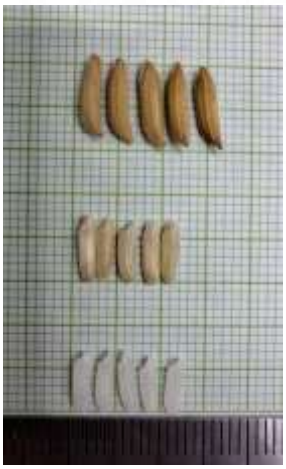
สายพันธุ์ DS24-Inter-2

สายพันธุ์ DS24-Inter-3

สายพันธุ์ DS24-Inter-4

สายพันธุ์ DS24-Inter-5

สายพันธุ์ DS24-Inter-6

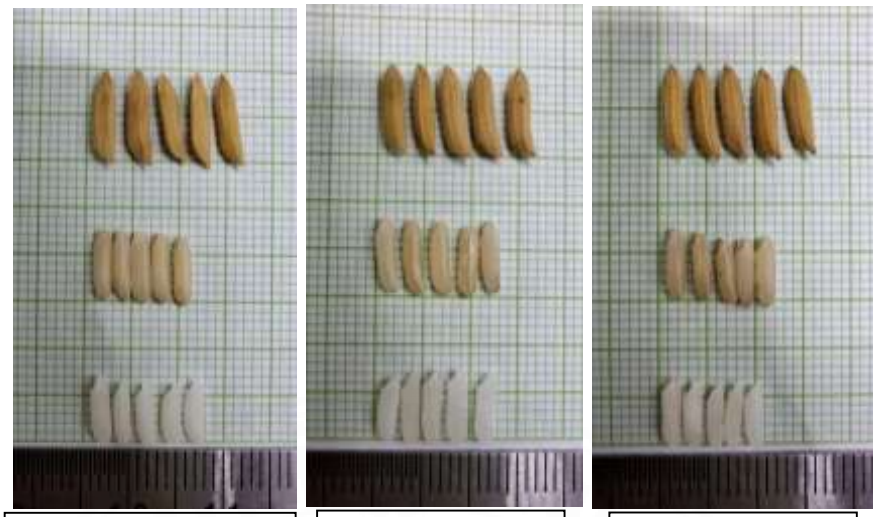


สายพันธุ์ DS24-Inter-7

สายพันธุ์ DS24-Inter-8

สายพันธุ์ DS24-Inter-9

Ref. code: 25676509032568NOH



สายพันธุ์ DS24-Inter-10 | พันธุ์ กข85 | พันธุ์ RJP233088

ภาพผนวกที่ ค.4 สีข้าวเปลือก ข้าวกล้อง และข้าวสารของข้าวเจ้าสายพันธุ์ก้าวหน้า 10 สายพันธุ์ ที่ปลูกทดสอบร่วมกับพันธุ์เปรียบเทียบ 2 พันธุ์ จำนวน 3 สถานที่

Ref. code: 25676509032568NOH

ประวัติผู้เขียน

ชื่อ	ทิพย์สุดา เทียนทอง
วุฒิการศึกษา	ปีการศึกษา 2565: วิทยาศาสตรบัณฑิต (เทคโนโลยีการเกษตร) มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์
ทุนการศึกษา	ปีงบประมาณ 2565: ทุนบัณฑิตเรียนดีเพื่อศึกษาต่อระดับบัณฑิตศึกษา คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์ (ตามสัญญาเลขที่ ทบ. 15/2565)

ผลงานทางวิชาการ

ทิพย์สุดา เทียนทอง เยาวพา จิระเกียรติกุล และพรชัย หาระโคตร. 2568. การประเมินผลผลิตของข้าวเจ้าสายพันธุ์ก้าวหน้าที่เพาะปลูกในพื้นที่ชลประทานภาคกลางของประเทศไทย. *ใน* งานประชุมวิชาการการเกษตร ครั้งที่ 26 ระหว่างวันที่ 27-28 มกราคม พ.ศ. 2568 ณ คณะเกษตรศาสตร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น.หน้า 136-141.

Ref. code: 25676509032568NOH