



## โครงการ

# การเรียนการสอนเพื่อเสริมประสบการณ์

**ชื่อโครงการ** การสืบทอดทางพันธุกรรมของสารสีในใบและเปลือกเมล็ดของกลุ่มผสมพันธุ์ระหว่างข้าวสีม่วงและข้าวสีขาว  
Inheritance of leaf and pericarp pigment on crossing between purple rice and white rice

**ชื่อนิสิต** นางสาวพรรณฉนมน ทองอินทร์      **เลขประจําตัวนิสิต** 6032118423

**ภาควิชา** พฤกษศาสตร์

**ปีการศึกษา** 2563

คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

การสืบทอดทางพันธุกรรมของสารสีในใบและเปลือกเมล็ดของกลุ่มสมพันธุ์  
ระหว่างข้าวสีม่วงและข้าวสีขาว

นางสาวพรรณนมน ทองอินทร์

6032118423

โครงงานวิทยาศาสตร์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตร  
ปริญญาวิทยาศาสตรบัณฑิตสาขาวิชาพฤกษศาสตร์ ภาควิชาพฤกษศาสตร์

คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ปีการศึกษา 2563

Inheritance of leaf and pericarp pigment on crossing between  
purple rice and white rice

Miss Thatsamon Thong - In

6032118423

A Senior Project Submitted in Partial Fulfillment of the Requirements

For the Degree of Bachelor of Science

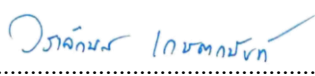
Botany program, Department of Botany

Faculty of Science, Chulalongkorn University

Academic Year 2020

ชื่อโครงการวิทยาศาสตร์ (ภาษาไทย)	การสืบทอดทางพันธุกรรมของสารสีในใบและเปลือกเมล็ดของคู่ผสมพันธุ์ระหว่างข้าวสีม่วงและข้าวสีขาว
ชื่อโครงการวิทยาศาสตร์ (ภาษาอังกฤษ)	Inheritance of leaf and pericarp pigment on crossing between purple rice and white rice
ชื่อนิสิต	นางสาวทรศน์มน ทองอินทร์
ภาควิชา	พฤกษศาสตร์
สาขาวิชา	พฤกษศาสตร์
อาจารย์ที่ปรึกษาโครงการ	อาจารย์ ดร. วราลักษณ์ เกษตรานันท์
อาจารย์ที่ปรึกษาร่วม	ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. ชนิตา ปาณิชวุฒติ
ปีการศึกษา	2563

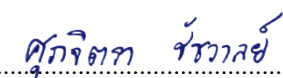
ภาควิชาพฤกษศาสตร์อนุมัติให้โครงการวิทยาศาสตร์เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตาม  
หลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรบัณฑิต สาขาวิชาพฤกษศาสตร์

.....อาจารย์ที่ปรึกษา

(อาจารย์ ดร. วราลักษณ์ เกษตรานันท์)

.....อาจารย์ที่ปรึกษาร่วม

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. ชนิตา ปาณิชวุฒติ)

.....กรรมการ

(ศาสตราจารย์ ดร. ศุภจิตรา ชัยवालย์)

ลิขสิทธิ์ภาควิชาพฤกษศาสตร์ คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ชื่อเรื่อง	การสืบทอดทางพันธุกรรมของสารสีในใบและเปลือกเมล็ดของ คู่ผสมพันธุ์ระหว่างข้าวสีม่วงและข้าวสีขาว
ชื่อนิสิต	นางสาวพรรณนมน ทองอินทร์
อาจารย์ที่ปรึกษา	อาจารย์ ดร. วราลักษณ์ เกษตรานันท์
อาจารย์ที่ปรึกษาร่วม	ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. ชนิตา ปาณิชวุฒิ
ปีการศึกษา	2563
สาขาวิชา	พฤกษศาสตร์
ภาควิชา	พฤกษศาสตร์

### บทคัดย่อ

ข้าวที่มีเปลือกเมล็ดสีม่วงเข้มหรือสีดำนั้นมีสารสีแอนโทไซยานิน ซึ่งเป็นสารสีที่มีสีม่วงและยังมีการแสดงออกในส่วนอื่นๆ ของข้าว เช่น แผ่นใบ กาบใบ และยอดเกสรเพศเมีย เป็นต้น งานวิจัยนี้จึงศึกษาการสืบทอดลักษณะทางพันธุกรรมของสารสีในใบและเปลือกเมล็ดข้าวในประชากรรุ่น  $F_3$  ของพันธุ์โรซเบอรี่ ซึ่งมีเปลือกเมล็ดสีม่วงเข้ม ผสมกับพันธุ์ กข41 ซึ่งมีเปลือกเมล็ดสีขาว โดยบันทึกข้อมูลสีของส่วนต่าง ๆ ได้แก่ แผ่นใบ กาบใบ เขี้ยวกันแมลง ยอดเกสรเพศเมียและเปลือกเมล็ด เมื่อทดสอบด้วยโคสแควร์พบว่าสีของแผ่นใบ กาบใบ และยอดเกสรเพศเมียในประชากรรุ่น  $F_2$  มีการกระจายตัวเป็น homozygous dominant: heterozygous: homozygous recessive ในอัตราส่วน 1: 2: 1 แสดงว่าลักษณะพันธุกรรมถูกควบคุมด้วยยีนเพียง 1 คู่ และมีความสัมพันธ์กันสูงโดยมีค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ระหว่าง 0.900 – 0.934 สีของเปลือกเมล็ดมีความสัมพันธ์กับเยื่อชั้นน้ำฝนและเขี้ยวกันแมลงโดยมีค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์เป็น 0.626 และ 0.616 ตามลำดับ และลักษณะที่ศึกษามีค่าอัตราพันธุกรรมแบบแคบอยู่ในช่วงระหว่าง 73.0% - 92.9% ซึ่งบอกความสามารถในการถ่ายทอดลักษณะพันธุกรรมจากรุ่นพ่อแม่ไปยังรุ่นลูกได้ ดังนั้นผลที่ได้สามารถนำไปเป็นตัวช่วยในการคัดเลือกเพื่อการปรับปรุงพันธุ์ข้าวให้มีประสิทธิภาพต่อไป

**คำสำคัญ** การสืบทอดพันธุกรรม, ข้าว, สีใบ, สีเปลือกเมล็ด

<b>Title</b>	Inheritance of leaf and pericarp pigment on crossing between purple rice and white rice
<b>Student name</b>	Thatsamon Thong-in
<b>Advisor</b>	Dr. Waraluk Kasettranan
<b>Co-advisor</b>	Assist. Prof. Dr. Chanita Paliyavuth
<b>Program</b>	Botany
<b>Department</b>	Botany
<b>Academic year</b>	2020

---

### Abstract

Rice with dark purple or black pericarp contains anthocyanin pigment. The purple color and is expressed in different parts of rice, such as leaf blade, leaf sheath, and stigma, etc. Thus, this research had to study the inheritance of the pigment in the leaf and pericarp in the  $F_3$  population of Riceberry which has dark purple pericarp crossed with RD 41, which has white pericarp. The color data were collected in the different parts, such as leaf blade, leaf sheath, ligule, auricle, stigma and pericarp. The Chi-square testing, the colors of the leaf blade, leaf sheath, and stigma, in the  $F_2$  population with segregate to homozygous dominant: heterozygous: homozygous recessive in ratio 1: 2: 1. This result indicated that the genetic of these traits were controlled by a single gene, and which have highly correlated with the correlation coefficients between 0.900 – 0.934. The color of pericarp was related to ligule and auricle with the correlation coefficients were 0.626 and 0.616 respectively. And the traits studied had the narrow-sense heritabilities in the range between 73.0% - 92.9%, which indicated the ability of genetic inheritance from parents to progeny. Therefore, these results will be applied for selection to increase the efficiency in rice breeding.

**Keywords:** inheritance, rice, leaf pigment, pericarp pigment

## กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบพระคุณ อาจารย์ ดร. วรลักษณ์ เกษตรานันท์ อาจารย์ที่ปรึกษาโครงการวิทยาศาสตร์ และ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. ชนิตา ปาณิชวุฒิ อาจารย์ที่ปรึกษาร่วมโครงการ ที่ช่วยให้คำปรึกษาและข้อคิดเห็นต่าง ๆ ตลอดจนการแก้ไขและตรวจทานโครงการวิทยาศาสตร์ฉบับนี้ให้ถูกต้องครบถ้วนและสำเร็จลุล่วงตามเป้าหมาย

ขอขอบพระคุณ ศาสตราจารย์ ดร. ศุภจิตรา ชัชวาลย์ กรรมการสอบที่กรุณาตรวจสอบและแก้ไขโครงการวิทยาศาสตร์ฉบับนี้ให้มีความสมบูรณ์ยิ่งขึ้น อีกทั้งให้ความอนุเคราะห์ยืมเครื่องสีข้าวเพื่อใช้ในการทดลอง

ขอขอบพระคุณ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. กนกวรรณ เสรีภาพ ที่ให้ความอนุเคราะห์ยืมเครื่องมือวัดสีเพื่อใช้ในการทดลอง

ขอขอบคุณ ฟิสิกส์ปริญาโทและปริญาเอก ห้อง 305 และห้อง 306 ที่ให้ความอนุเคราะห์สอนใช้เครื่องมือและคำแนะนำเพื่อใช้ในการทดลอง

ขอขอบคุณ เพื่อนนิสิตปริญาตรีที่ให้ความช่วยเหลือในการทำการทดลอง

ขอขอบคุณ ศูนย์วิจัยข้าวปทุมธานี ที่เอื้อเฟื้อสถานที่ในการปลูกข้าวเพื่อทำการทดลอง

ขอขอบคุณ ทุนอุดหนุนการเรียนการสอนเพื่อสร้างเสริมประสบการณ์ คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ที่ให้การสนับสนุนทุนวิจัย

สุดท้ายขอขอบพระคุณบิดา มารดาและพี่ชาย ที่ให้กำลังใจ สนับสนุนและช่วยเหลือในทุก ๆ ด้านอย่างเต็มที่

## สารบัญ

เรื่อง	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย.....	จ
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ.....	ฉ
กิตติกรรมประกาศ.....	ช
สารบัญ.....	ซ
สารบัญตาราง.....	ณ
สารบัญภาพ.....	ญ
บทที่ 1 บทนำ.....	1
1.1 ความเป็นมาและความสำคัญ.....	1
1.2 วัตถุประสงค์.....	2
1.3 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ.....	2
บทที่ 2 การตรวจสอบเอกสารที่เกี่ยวข้อง.....	3
2.1 ประวัติความเป็นมาข้าว.....	3
2.2 ลักษณะทางพฤกษศาสตร์ของข้าว.....	3
2.3 ความหลากหลายทางพันธุกรรมข้าว.....	6
2.4 ยีนและการถ่ายทอดลักษณะทางพันธุกรรมของสารสีในข้าว .....	6
บทที่ 3 อุปกรณ์และวิธีดำเนินการ.....	10
3.1 อุปกรณ์.....	10
3.2 วิธีการทดลอง.....	10
บทที่ 4 ผลการศึกษา.....	14
4.1 ลักษณะการสีบดของสารสีในข้าวรุ่น F3 ของคู่ผสมพันธุ์ไรซ์เบอร์รี่ และพันธุ์กข 41.....	14
4.2 สหสัมพันธ์ของลักษณะทางพันธุกรรม.....	26
บทที่ 5 อภิปรายผลการศึกษา.....	28
บทที่ 6 สรุปผลการศึกษา.....	30
เอกสารอ้างอิง.....	31
ภาคผนวก.....	34



## สารบัญญภาพ

ภาพที่		หน้า
1	ส่วนต่าง ๆ ของต้นข้าว.....	4
2	ส่วนต่าง ๆ ของดอกข้าว.....	5
3	การสร้างประชากร F <sub>3</sub> ของคู่ผสมพันธุ์กข 41 และพันธุ์ไรซ์เบอร์รี่ สำหรับการศึกษาค้างนี้.....	14
4	สีของแผ่นใบ .....	16
5	สีของกาบใบ.....	16
6	สีของเยื่อแก่น้ำฝน.....	18
7	สีของเขี้ยวกันแมลง.....	18
8	สีของยอดเกสรเพศเมีย.....	19
9	การวิเคราะห์ทางพันธุกรรมของกลุ่มสมระหว่างข้าว Heugnambyeo (เปลือกเมล็ดสีดำ; จีโนไทป์ PbPbPpPp) และข้าวที่มีเปลือกเมล็ดสีขาว 3 ชนิด Hwayongbyeo, Ishikar, และ Ilpoombyeo (จีโนไทป์ pbpbpppp) (Rahman et al., 2013).....	23
10	สีของเปลือกเมล็ด.....	23
11	กราฟแสดงการกระจายตัวของข้อมูลค่าความสว่าง (L*) ของเปลือกเมล็ดใน ประชากรข้าวรุ่น F <sub>3</sub> .....	25
12	กราฟแสดงการกระจายตัวของข้อมูลค่าความอิมตัวของสี (c*) ของเปลือกเมล็ดในประชากรข้าวรุ่น F <sub>3</sub> .....	25
13	กราฟแสดงการกระจายตัวของข้อมูลค่าเฉดสี (h*) ของเปลือกเมล็ดในประชากรข้าวรุ่น F <sub>3</sub> .....	26

## สารบัญตาราง

ตารางที่		หน้า
1	ผลการวิเคราะห์ความแปรปรวนโดยใช้ ANOVA ที่นำมาใช้ในการคำนวณองค์ประกอบของความแปรปรวน (Kearsey and Pooni, 1996) .....	13
2	Chi – square test ในอัตราส่วนประชากรรุ่น $F_2$ เป็น 1: 2: 1.....	20
3	ค่าความแปรปรวนจากพันธุกรรมแบบผลบวก ( $V_A$ ) ความแปรปรวนจากสิ่งแวดล้อม ( $V_E$ ) และอัตราพันธุกรรมแบบแคบ ( $h^2$ ) ของลักษณะต่าง ๆ ในข้าวประชากรรุ่น $F_3$ .....	21
4	การกระจายฟีโนไทป์ของลักษณะสีเปลือกเมล็ดข้าวรุ่น $F_3$ จากการผสมตัวเองของ $F_2$ (กข41 X ไรซ์เบอร์รี่).....	24
5	Chi – square test ของสีเปลือกเมล็ดในอัตราส่วนฟีโนไทป์ประชากรรุ่น $F_2$ เป็น 9: 3: 4.....	24
6	ค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ (correlation coefficient, r) ของทุกคู่ลักษณะที่ศึกษาในประชากรข้าวรุ่น $F_3$ .....	27
7	Chi – square test ของสีเปลือกเมล็ดในอัตราส่วนฟีโนไทป์ประชากรรุ่น $F_2$ เป็น 3: 1.....	29
8	จำนวนยีนที่ควบคุมลักษณะที่ศึกษาในประชากรข้าวรุ่น $F_3$ .....	30

## บทที่ 1

### บทนำ

#### 1.1 ความเป็นมาและความสำคัญ

ข้าวเป็นอาหารหลักของประชากรส่วนใหญ่ในประเทศต่าง ๆ ซึ่งข้าวที่มีเมล็ดสีม่วงและดำ เป็นข้าวที่ได้รับความนิยมเมื่อไม่นานมานี้ โดยมีการบริโภคข้าวที่มีเมล็ดสีดำเป็นอาหารเพื่อสุขภาพที่ ให้ประโยชน์ต่อร่างกาย (Ryu, Park and Ho, 1998) ข้าวที่มีเมล็ดสีม่วงเข้มมากจนทำให้เห็นเมล็ด เป็นสีดำรู้จักกันในชื่อว่า ข้าวสีม่วง, ข้าวดำ, ข้าวที่ถูกกลั่น และข้าวจักรพรรดิ (Kushwaha, 2016) ซึ่งเป็นข้าวที่มีการสะสมสารต้านอนุมูลอิสระ โพรตีน และกากใยอาหารสูงกว่าข้าวทุกชนิด (Gani et al., 2012) อีกทั้งยังมีงานวิจัยพบว่าข้าวที่มีเมล็ดสีดำมีปริมาณของสารสีแอนโทไซยานินโดยรวมสูงที่สุดในบรรดาธัญพืชสีทั้งหมดที่ได้ทำการศึกษา ได้แก่ ข้าวสาลี ข้าวบาร์เลย์ ข้าวโพด และข้าว โดยสารสีจะ สะสมมากที่เปลือกเมล็ด (pericarp) อ้างถึงใน Francavilla, A. and Joye, I. J. (2020)

แอนโทไซยานินเป็นสารสีในกลุ่มฟลาโวนอยด์ (flavonoid) ให้สีแดง ม่วง และน้ำเงินในส่วน ต่าง ๆ ของพืช (Khoo et al., 2017) โดยสารสีแอนโทไซยานินที่พบในข้าวที่มีเมล็ดสีดำส่วนใหญ่ คือ cyanidin-3-O-glucoside (C3G) และ peonidin-3-O-glucoside (P3G) (Lee, 2010; Rahman et al., 2013; Ryu, Park and Ho, 1998) แอนโทไซยานินทำหน้าที่เป็นสารต้านอนุมูลอิสระ มีฤทธิ์ช่วย ให้ร่างกายมนุษย์ต้านทานต่อการเป็นโรคต่าง ๆ อาทิเช่น ป้องกันโรคเรื้อรังจากอวัยวะเสื่อมสภาพ ด้านอวัยวะ ด้านมะเร็ง และช่วยลดระดับน้ำตาลในเลือด เป็นต้น (Hamid et al., 2010)

การมีแอนโทไซยานินปริมาณมากในเปลือกเมล็ดข้าวทำให้ข้าวมีเมล็ดสีม่วงเข้ม (Ryu, Park and Ho, 1998; Ichikawa et al., 2001) มีการศึกษาคู่ผสมพันธุ์ระหว่างข้าวพันธุ์ Heugnambyeo (เปลือกเมล็ดสีม่วง) และพันธุ์ Hwayongbyeo (เปลือกเมล็ดสีขาว) พบว่าในรุ่น F<sub>2</sub> มีอัตราส่วนสีของ เมล็ดเป็น 9: 3: 4 (ม่วง: น้ำตาล: ขาว) (Rahman et al., 2013) ซึ่งคาดได้ว่ายีนที่ควบคุมการมีสีใน เปลือกเมล็ดมีประมาณ 2 ยีน และมีการวิจัยเกี่ยวกับการพัฒนาพันธุ์ข้าวสีดำท้องถิ่นในประเทศ อินโดนีเซีย เพื่อให้ได้พันธุ์ข้าวสีดำที่มีผลผลิตสูง มีปริมาณแอนโทไซยานินสูง และมีรสชาติที่ดีขึ้น ซึ่ง พันธุ์ข้าวสีดำท้องถิ่นแต่เดิมนั้นให้ผลผลิตต่ำ และมีรสชาติไม่เป็นที่ยอมรับ จากการศึกษาเพื่ออธิบาย รูปแบบการสืบทอดลักษณะทางพันธุกรรมของสารสีในเปลือกเมล็ดของประชากรข้าวรุ่น F<sub>2</sub> และ F<sub>3</sub> จากคู่ผสมพันธุ์ระหว่างพันธุ์ข้าวสีดำท้องถิ่นอินโดนีเซียและพันธุ์ข้าวสีขาว พบว่ารูปแบบการสืบทอด ลักษณะของสารสีในเปลือกเมล็ดข้าวมียีนเด่น 2 ยีนควบคุมการแสดงออกและทำงานร่วมกันแบบ

recessive epistasis ในอัตราส่วน 9 : 3 : 4 (เปลือกเมล็ดสีดำ : สีน้ำตาล : สีขาว) (Kristamtini et al., 2019) อีกทั้งยังมีงานวิจัยที่บ่งชี้ว่าสารสีแอนโทไซยานินจะพบในเปลือกเมล็ดข้าวที่มีสีม่วงเข้มหรือสีดำสูงที่สุดซึ่งเป็นผลมาจากคู่ยีนที่ควบคุมการสังเคราะห์แอนโทไซยานิน และไม่พบแอนโทไซยานินในข้าวที่มีเปลือกเมล็ดสีน้ำตาล และสีขาว (Rahman et al., 2013)

ข้าวไรซ์เบอร์รี่เป็นข้าวเจ้าที่มีการวิจัยและพัฒนาพันธุ์ในปี พ.ศ. 2548 โดยการผสมข้ามพันธุ์ระหว่างพันธุ์ข้าวเจ้าหอมนิล มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ ซึ่งมีเปลือกเมล็ดสีม่วงเข้ม - ดำ กับพันธุ์ข้าวขาวดอกมะลิ 105 ซึ่งมีเปลือกเมล็ดสีขาว ข้าวไรซ์เบอร์รี่มีลักษณะเป็นข้าวเจ้าสีม่วงเข้มเมล็ดเรียวยาว มีสารต้านอนุมูลอิสระสูงและมีคุณค่าทางโภชนาการสูง (Rice Science Center and Rice Gene Discovery, 2017: online) ซึ่งในต้นข้าวไรซ์เบอร์รี่มีการแสดงออกของสารสีแอนโทไซยานินในส่วนต่าง ๆ ของต้นได้หลายส่วนด้วยกัน อาทิเช่น แผ่นใบ, ลำต้น, ลิ้นใบ, ยอดเกสรเพศเมีย และเปลือกเมล็ด เป็นต้น (Hemaprabha et al., 2007) นอกจากข้าวไรซ์เบอร์รี่แล้ว ในประเทศไทยนั้นมีการพัฒนาปรับปรุงพันธุ์ข้าวเพื่อเพิ่มคุณค่าทางโภชนาการ โดยให้มีสารต้านอนุมูลอิสระในเมล็ดข้าวเพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่องแต่ยังไม่มีการศึกษาและทราบเป็นที่แน่ชัดว่า รูปแบบของการสืบทอดทางพันธุกรรมของสารสีในใบและเปลือกเมล็ดข้าวจากพันธุ์ข้าวในประเทศไทยนั้นเป็นอย่างไร จึงทำให้การทดลองนี้เล็งเห็นถึงความสำคัญของรูปแบบการสืบทอดลักษณะสารสีในใบและเปลือกเมล็ดข้าวเพื่อใช้ในการปรับปรุงพันธุ์ข้าวที่มีเมล็ดสีม่วงและดำต่อไป

การทดลองนี้จึงทำการศึกษาประชากรข้าวรุ่น  $F_3$  จากกลุ่มผสมพันธุ์ระหว่างพันธุ์ กข 41 ซึ่งมีเปลือกเมล็ดสีขาวและพันธุ์ไรซ์เบอร์รี่ ซึ่งมีเปลือกเมล็ดสีม่วงเข้ม จำนวน 100 สายพันธุ์ เพื่ออธิบายการสืบทอดทางพันธุกรรมของสารสีในใบและเปลือกเมล็ด ซึ่งจะเป็นประโยชน์ในการใช้เป็นข้อมูลพื้นฐานสำหรับการปรับปรุงพันธุ์ข้าวต่อไป

## 1.2 วัตถุประสงค์

เพื่อศึกษาการสืบทอดทางพันธุกรรมของสารสีในใบและเปลือกเมล็ดในประชากรข้าว  $F_3$  ของกลุ่มผสมข้าวพันธุ์กข 41 และพันธุ์ไรซ์เบอร์รี่

## 1.3 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

สามารถนำข้อมูลการสืบทอดทางพันธุกรรมของสารสีในใบและเปลือกเมล็ดข้าวไปใช้ในการปรับปรุงพันธุ์ข้าวได้

## บทที่ 2

### การตรวจสอบเอกสารที่เกี่ยวข้อง

#### 2.1 ประวัติความเป็นมาข้าว

ข้าว ถือเป็นพืชล้มลุกตระกูลหญ้า (annual grass) และถูกจัดอยู่ในสกุล (Genus) *Oryza* วงศ์ (Family) Poaceae หรือ Gramineae สามารถเจริญเติบโตได้ดีทั้งในเขตร้อนและเขตอบอุ่น ซึ่งข้าวที่จัดอยู่ในสกุล *Oryza* นั้นมีประมาณ 20 ชนิด (species) โดยส่วนใหญ่จะมีจำนวนโครโมโซมเป็น 2 ชุด (diploid,  $2n = 24$ ) และส่วนน้อยที่มีจำนวนโครโมโซม 4 ชุด (tetraploid,  $2n = 48$ ) เนื่องจากพันธุ์ข้าวที่ปลูกในบริเวณแถบเอเชียซึ่งจัดอยู่ในกลุ่ม *Oryza sativa* นั้นมีความแตกต่างทางสภาพพื้นที่และภูมิอากาศของแหล่งปลูกข้าว จึงเป็นสาเหตุให้มีการแบ่งข้าว *Oryza sativa* เป็น 3 ชนิดย่อย (subspecies) ได้แก่

- 1) อินดิกา (Indica) เป็นข้าวที่มีเมล็ดเรียวยาว และเจริญเติบโตได้ดีในบริเวณเขตร้อน เช่น ศรีลังกา จีนตอนใต้และตอนกลาง อินเดีย อินโดนีเซีย บังกลาเทศ ไทย ฟิลิปปินส์ เป็นต้น
- 2) จาโปนิกา (Japonica) เป็นข้าวที่มีเมล็ดสั้นป้อม และเจริญเติบโตได้ดีในเขตอบอุ่น เช่น จีนตอนเหนือและตะวันออก ญี่ปุ่น เกาหลี ยุโรปตอนใต้ รัสเซีย อเมริกาใต้ เป็นต้น
- 3) จาวานิกา (Javanica) เป็นข้าวที่มีเมล็ดใหญ่ป้อม ต้นสูง สันนิษฐานว่าเกิดขึ้นจากการคัดเลือกพันธุ์จากข้าวอินดิกา และนำมาปลูกในอินโดนีเซียต่อมานำไปปลูกในฟิลิปปินส์ ไต้หวัน และญี่ปุ่น แต่ส่วนใหญ่จะปลูกในอินโดนีเซีย (บุญหงษ์ จงคิด, 2557)

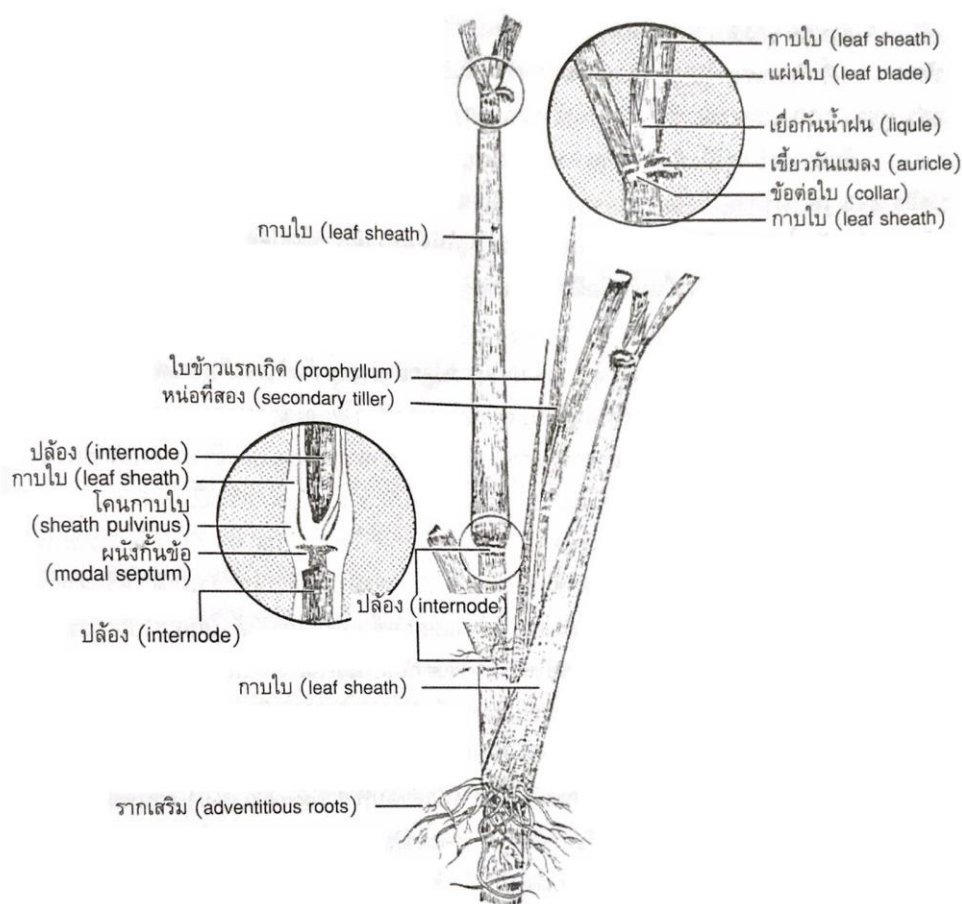
#### 2.2 ลักษณะทางพฤกษศาสตร์ของข้าว

ส่วนต่าง ๆ ของข้าวที่เกี่ยวข้องกับการเจริญเติบโตทางลำต้นและการสืบพันธุ์ ได้แก่ ราก ลำต้น ใบ ช่อดอกหรือรวงข้าว ดอกข้าว และเมล็ด มีลักษณะสำคัญดังแสดงในภาพที่ 1 ต่อไปนี้

- 1) ราก (Root) ข้าวมีระบบรากเป็นระบบรากฝอย (Fibrous root system) ประกอบด้วยราก 2 ชนิด ได้แก่ รากปฐมภูมิ (Primary root) หรือ รากแรกเกิด (Seminal root) จะงอกจากส่วนของเรดิเคิล (Radicle) เป็นรากชั่วคราวที่ทำหน้าที่รองรับส่วนต่าง ๆ ของต้นข้าวให้ทรงตัวอยู่ได้ และรากทุติยภูมิ (Secondary root) หรือ รากเสริม (Adventitious root) จะงอกจากส่วนของข้อล่าง ๆ ใต้ดินของลำต้นใหม่ในทิศทางขนานกับผิวดิน และมีการแตกแขนงอย่างอิสระเพื่อทดแทนรากแรกเกิดเมื่อข้าวเจริญเติบโตและมีอายุมากขึ้น

2) ลำต้น (stem / culm) ลำต้นของข้าวมีลักษณะทรงกลม ส่วนกลางกลวงตรงส่วนของปล้อง (internode) และต้นตรงส่วนของข้อ (node) โดยทั่วไปลำต้นจะมีลักษณะตั้งตรง เช่น ข้าวนาสวน (lowland rice) และข้าวไร่ (upland rice) เป็นต้น และในระยะเวลาการเจริญเติบโตทางลำต้นของข้าวอาจมองเห็นรูปร่างลำต้นไม่ชัดเพราะมีส่วนของกาบใบ (leaf sheath) หุ้มไว้

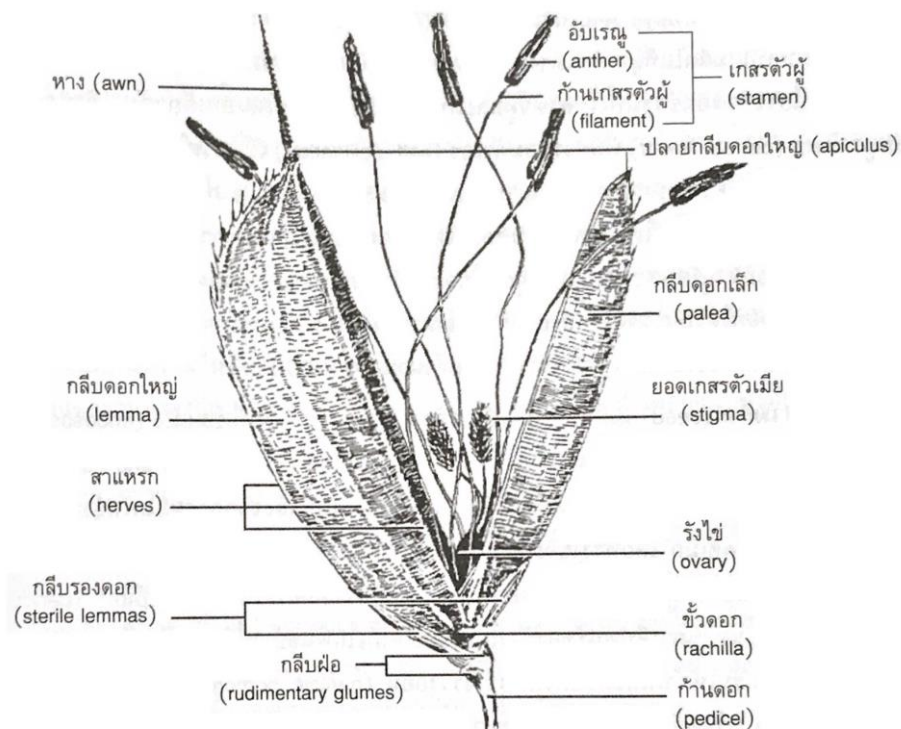
3) ใบ (leaf) ใบข้าวจัดเป็นใบเดี่ยว (simple leaf) ที่เป็นใบแท้ มีลักษณะแผ่นแบนบางค่อนข้างยาวรูปหอก ประกอบด้วย ตัวใบ (leaf blade) และกาบใบ (leaf sheath) โดยมีข้อต่อใบ (leaf collar) เป็นตัวแบ่งให้กาบใบแยกออกจากตัวใบชัดเจน ตัวใบมักจะมีขนอ่อน (pubescence) นอกจากนี้ตรงบริเวณด้านในข้อต่อใบจะปรากฏเยื่ออ่อนบาง ๆ รูปสามเหลี่ยมแนบติดกับส่วนของลำต้น เรียกว่า เยื่อกันน้ำฝน (ligule) และยังมีเขี้ยวกันแมลง (auricles) 2 อัน มีลักษณะเป็นขนรูปร่างโค้งคล้ายเคียวติดอยู่ข้างละอันของข้อต่อใบดังแสดงในภาพที่ 1 (บุญหงษ์ จงคิด, 2557) อย่างไรก็ตามในใบที่แก่แล้วอาจไม่ปรากฏเขี้ยวกันแมลงเพราะได้ร่วงหล่นไปก่อนแล้ว



ภาพที่ 1 ส่วนต่าง ๆ ของต้นข้าว (บุญหงษ์ จงคิด, 2557)

4) ช่อดอกหรือรวงข้าว (inflorescence / panicle) ช่อดอกที่มีดอกข้าว (spikelet) หลายดอกรวมกันเป็นช่อโดยติดอยู่บนระแง้ (rachis) หรือแขนง (branches) ที่แตกออกไปจากแกนกลางของช่อดอก เมื่อมีการผสมพันธุ์ในดอกข้าวและพัฒนาเป็นเมล็ดภายในแต่ละดอก จึงเรียกช่อดอกที่พัฒนาเป็นช่อเมล็ดว่า รวงข้าว

5) ดอกข้าว (spikelet) ประกอบด้วยกลีบดอกใหญ่ (lemma) และกลีบดอกเล็ก (palea) 2 เปลือกประกบกัน ที่ปลายสุดของกลีบดอกใหญ่จะมีลักษณะแหลมยื่นออกมาเรียกว่า หาง (awn) และดอกข้าวจัดเป็นดอกสมบูรณ์เพศ (perfect flower) ที่มีการผสมตัวเอง (self - pollination) เป็นส่วนใหญ่ คือ มีทั้งเกสรเพศผู้และเกสรเพศเมียอยู่ในดอกเดียวกัน โดยแต่ละดอกจะมีเกสรเพศผู้ (stamen) จำนวน 6 อัน ส่วนบนสุดเป็นกระเปาะสีเหลืองเรียกว่า อับเรณู (anther) จะติดอยู่บนก้านเกสรเพศผู้ (filament) และเกสรเพศเมียจะอยู่ใกล้กับฐานดอกด้านใน ประกอบด้วยยอดเกสรเพศเมีย (stigma) ซึ่งอยู่บนก้านเกสรเพศเมีย (style) ลักษณะคล้ายขนนกขนาดเล็กจำนวน 2 อัน ทำหน้าที่รองรับละอองเกสรเพศผู้ และก้านเกสรเพศเมียติดอยู่กับรังไข่ (ovary) ดังภาพที่ 2 (บุญหงษ์ จงคิด, 2557)



ภาพที่ 2 ส่วนต่าง ๆ ของดอกข้าว (บุญหงษ์ จงคิด, 2557)

6) เมล็ด (seed) เมล็ดข้าวหรือข้าวกล้องประกอบด้วยส่วนที่เป็นแป้ง (endosperm) และคัพภะ ซึ่งถูกหุ้มไว้ด้วยเยื่อหุ้มชั้นนอก (pericarp) เยื่อหุ้มชั้นกลาง (seed coat and nucellus) และเยื่อหุ้มชั้นใน (aleurone layer) เรียกส่วนของเมล็ดข้าวที่ถูกหุ้มด้วยกลีบดอกใหญ่และกลีบดอกเล็กว่า เมล็ดข้าวเปลือก (paddy) (บุญหงษ์ จงคิด, 2557)

### 2.3 ความหลากหลายทางพันธุกรรมข้าว

ความหลากหลายทางพันธุกรรมข้าวเกิดจากปฏิสัมพันธ์ระหว่างประชากรข้าวต่างกลุ่ม ต่างท้องถิ่น การแลกเปลี่ยนยีน และการไหลเวียนของเชื้อพันธุข้าวจากการแลกเปลี่ยนเมล็ดพันธุ์ของเกษตรกร เชื้อพันธุข้าวพื้นเมืองต่าง ๆ รวมทั้งพันธุ์ป่าถูกนำไปใช้เป็นแหล่งพันธุกรรมลักษณะดีในการสร้างพันธุ์สมัยใหม่ที่ทำให้ผลผลิตสูงโดยนักปรับปรุงพันธุ์ และประชากรข้าวในท้องถิ่นที่มีความหลากหลายนี้ยังสามารถวิวัฒนาการความหลากหลายทางพันธุกรรมไปอย่างต่อเนื่อง ตามเงื่อนไขของสภาพแวดล้อม สภาพภูมิประเทศ ระบบการเพาะปลูกข้าว และการนำไปใช้ประโยชน์ จึงจำแนกกลุ่มเชื้อพันธุข้าวตามพันธุกรรม ได้แก่ กลุ่มสายพันธุ์แท้หรือสายพันธุ์บริสุทธิ์ เช่น พันธุ์ข้าวปลูกสมัยใหม่ พันธุ์ข้าวปรับปรุง เป็นต้น และกลุ่มที่มีความหลากหลายในสายพันธุ์หรือประชากร เช่น ข้าวพันธุ์พื้นเมือง ข้าวป่าสามัญ และลูกผสมระหว่างข้าวป่าสามัญกับข้าวปลูก เป็นต้น (ศันสนีย์ จำจด, 2551) นอกจากนี้ยังมีข้าวที่มีเปลือกเมล็ดสีม่วงเข้ม – ดำ โดยเกิดจากการสะสมสารแอนโทไซยานิน และสารแอนโทไซยานินส่วนใหญ่ที่พบ คือ cyanidin-3-O-glucoside (C3G) รองลงมา คือ peonidin-3-O-glucoside (P3G) ซึ่งมีความแตกต่างกับข้าวที่มีเปลือกเมล็ดสีขาวและสีน้ำตาลที่ไม่มีสารแอนโทไซยานิน ชนิด cyanidin-3-O-glucoside (C3G) สะสมอยู่ (Lee, 2010; Rahman et al., 2013; Ryu, Park and Ho, 1998)

### 2.4 ยีนและการถ่ายทอดลักษณะทางพันธุกรรมของสารสีในข้าว

ยีน (gene) คือ สารพันธุกรรมควบคุมลักษณะทางพันธุกรรมที่สามารถถ่ายทอดจากพ่อแม่ไปยังลูก โดยยีนจะปรากฏเป็นคู่ ๆ คู่ของยีนที่แสดงออกแตกต่างกัน แต่ควบคุมลักษณะเดียวกันเรียกว่า อัลลีล (allele) แบบของคู่ยีนที่ควบคุมลักษณะเรียกว่า จีโนไทป์ (genotype) ส่วนลักษณะที่ปรากฏให้เห็นจากการควบคุมของจีโนไทป์เรียกว่า ฟีนไทป์ (phenotype) (กิตติพัฒน์ อุโฆษกิจ, 2561)

การศึกษาเกี่ยวกับพันธุศาสตร์และการถ่ายทอดลักษณะต่าง ๆ ของพืชนั้นเป็นพื้นฐานสำหรับการปรับปรุงพันธุ์พืช เพราะจะช่วยให้การวางแผน การผสมพันธุ์ และการคัดเลือกพันธุ์ได้รับความสำเร็จเร็วขึ้น การถ่ายทอดลักษณะทางพันธุกรรม แบ่งออกเป็น 2 ลักษณะคือ



1) การถ่ายทอดลักษณะทางคุณภาพ (qualitative inheritance) คือ ลักษณะที่ถูกควบคุมโดยยีนหลัก (major gene) น้อยตัว ยีนแต่ละตัวแสดงลักษณะออกอย่างชัดเจน การกระจายตัว (segregation) ของยีนในรุ่นลูกหลานสามารถแยกได้เป็นกลุ่มชัดเจน ความแปรปรวนมีขอบเขตจำกัด (discontinuous variation) และสภาพแวดล้อมมีอิทธิพลต่อการแสดงออกลักษณะน้อยมาก

2) การถ่ายทอดลักษณะทางปริมาณ (quantitative inheritance) คือ ลักษณะที่ถูกควบคุมโดยยีนกลุ่มหนึ่ง อาจเป็น modify genes, multiple factors หรือ polygenes ได้ การแยกกลุ่มจากการกระจายตัวในชั่วลูกหลานไม่สามารถแยกออกให้เห็นชัดเจนและแยกความแตกต่างของฟีโนไทป์ออกเป็นกลุ่มได้ยากขึ้น เรียกว่า ลักษณะแบบบวกสะสม (additive effect) และความแปรปรวนมีการแสดงออกของลักษณะแบบต่อเนื่อง (continuous variation) และยังมีปัจจัยสิ่งแวดล้อมที่มีอิทธิพลต่อการแสดงออกร่วมด้วย (กิตติพัฒน์ อุโฆษกิจ, 2561; สุทัศน์ ศรีวัฒนพงศ์, 2552)

ยีนที่เกี่ยวข้องกับการสังเคราะห์สารแอนโทไซยานินของข้าวมีหลายชนิด โดยแบ่งเป็น 2 ประเภทคือ ยีนโครงสร้าง (structural gene) ซึ่งมีส่วนร่วมโดยตรงกับกระบวนการสังเคราะห์สารแอนโทไซยานิน สามารถ encode ให้เอนไซม์ในการเร่งปฏิกิริยาการสังเคราะห์สารแอนโทไซยานิน และยีนควบคุม (regulatory gene) ซึ่งควบคุมการแสดงออกของยีนโครงสร้างที่ระดับ transcription มีอิทธิพลต่อความเข้มและรูปแบบเฉพาะของเนื้อเยื่อในการสะสมแอนโทไซยานิน ยีนควบคุม แบ่งเป็น 2 กลุ่ม ได้แก่ *R/B* family gene จะ encode ให้ transcription factor ที่เป็น basic helix-loop-helix (bHLH) ในกลุ่ม myc type protein และ *C1/PI* family gene จะ encode ให้ transcription factor กลุ่ม myb type protein ซึ่งควบคุมการสังเคราะห์แอนโทไซยานิน การสร้างสารสีแอนโทไซยานินจำเป็นจะต้องมียีนจากแต่ละตระกูลอย่างน้อยหนึ่งยีน และปฏิกิริยาทางกายภาพระหว่าง *R/B* และ *C1/PI* มีความจำเป็นต่อการกระตุ้นการแสดงออกของยีนโครงสร้างในกระบวนการสังเคราะห์แอนโทไซยานิน

มียีน 2 ยีน คือ ยีน chromogen C และยีนกระตุ้น A (activator gene A) ที่ควบคุมการสร้างสารสีแอนโทไซยานิน และยังมียีนควบคุม P ที่ควบคุมการสะสมแอนโทไซยานินในเนื้อเยื่อส่วนต่าง ๆ ของพืช ซึ่งยีนที่กล่าวทั้งหมดข้างต้นถูกเรียกว่ายีนควบคุมของกระบวนการความจำเพาะของเนื้อเยื่อ (อ้างถึงใน Rahman, Lee and Kang, 2016)

การศึกษาทางพันธุกรรมของการสร้างสารสีแอนโทไซยานินของข้าวนั้น การศึกษาที่ผ่านมาเน้นที่เปลือกเมล็ด (pericarp) เป็นหลัก และผลการศึกษาพบว่าในประชากรรุ่น  $F_2$  ที่ได้จากการผสม

พันธุ์ระหว่างข้าวที่มีเปลือกเมล็ดสีดำกับข้าวที่มีเปลือกเมล็ดสีขาวมีฟีโนไทป์ที่แตกต่างกัน 3 รูปแบบ ได้แก่ เปลือกเมล็ดสีม่วง/ดำ เปลือกเมล็ดสีน้ำตาล และเปลือกเมล็ดสีขาว มีอัตราส่วนฟีโนไทป์ของการแสดงออกแบบ recessive epistasis เป็น 9: 3: 4 (Ham et al., 2015; Kyung et al., 2018; Rahman et al., 2013) โดยมียีน 2 ยีนที่ควบคุมสีเปลือกเมล็ด (pericarp) คือ PURPLE PERICARP P (ใช้สัญลักษณ์ *Pp* หรือ *Prp-a*) และ PURPLE PERICARP B (ใช้สัญลักษณ์ *Pb* หรือ *Prp-b*) ยีนทั้งสองอยู่บนโครโมโซมที่ 1 และ 4 ตามลำดับ (อ้างถึงใน Mackon et al., 2021) การมียีนเด่น 2 ยีนทั้ง *Pb* และ *Pp* จะส่งผลให้เปลือกเมล็ดมีสีม่วง กรณีที่มี *Pb* แต่ไม่มี *Pp* จะมีเปลือกเมล็ดสีน้ำตาล และกรณีไม่มียีน *Pb* (มีหรือไม่มี *Pp*) จะมีเปลือกเมล็ดสีขาว (Rahman et al., 2013) และเมื่อไม่นานมานี้มีการระบุตำแหน่ง (loci) 3 ตำแหน่งคือ *Kala1*, *Kala3* และ *Kala4* ว่าเกี่ยวข้องกับสารสังเคราะห์สารสีบริเวณเปลือกเมล็ดข้าวสีดำ และอาจสอดคล้องกับยีน *C*, *A* และ *P* ตามลำดับ *Kala4* มียีน *Pb* ที่ encode ให้โปรตีน bHLH ซึ่งจำเป็นในการพัฒนาสีในเปลือกเมล็ดข้าวสีดำ (อ้างถึงใน Rahman, Lee and Kang, 2016)

มีข้อมูลว่ายีน PURPLE LEAF (*PL*) ซึ่งอยู่บนโครโมโซมที่ 4 นั้นควบคุมการเกิดสีม่วงในใบข้าว มีอัลลีล *PL-w* และ *PL-i* ที่โลคัส *PL* โดย *PL-w* ทำให้แผ่นใบ กาบใบ เขียวเข้มแมลง เยื่อกันน้ำฝน และเปลือกเมล็ดมีสีม่วง และ *PL-i* ทำให้แผ่นใบ กาบใบ และเยื่อกันน้ำฝนมีสี (NBRP-Rice, 2020: online) โลคัส *PL-w* ประกอบด้วย 2 ยีนที่มีความคล้ายกันมาก (highly homologous) คือ *OSB1* และ *OSB2* ที่เข้ารหัสโปรตีน bHLH และทำให้ใบมีสีม่วงและเปลือกเมล็ดสีดำ (อ้างถึงใน Rahman, Lee and Kang, 2016) และการศึกษาแบบการถ่ายทอดของสารสีในแผ่นใบในประชากร  $F_2$  จากคู่ผสมพันธุ์ R714-2-9-3-2-2-2 x Dokaradokari มีอัตราส่วนฟีโนไทป์เป็นสีม่วง: สีเขียว เท่ากับ 3: 13 ซึ่งมียีนควบคุม 2 ยีน ผลของยีน *PL* จะถูกยับยั้งโดยยีนยับยั้ง *PL-I* (Sahu et al., 2011) เมื่ออยู่คู่กันและทำให้เกิดแผ่นใบสีเขียว และมีการแสดงออกของสารสีบนแผ่นใบที่เหมือนกันในคู่ผสมระหว่าง CR3001 x AC1225 เช่นกัน (Tomar et al., 2000)

การศึกษาทางพันธุกรรมของสารสีในข้าวที่มีกาบใบสีม่วง พบว่ายีนควบคุม *OSC1* มีความเกี่ยวข้องกับการควบคุมให้เกิดกาบใบสีม่วง ซึ่งมีความหลากหลายของอัลลีลในพันธุ์พื้นเมืองและพันธุ์ปลูก (cultivars) ที่แตกต่างกัน และจากคู่ผสมที่ศึกษาระหว่างพันธุ์ TNG72 (กาบใบสีม่วง) x TCS17 (กาบใบสีเขียว) ในประชากรรุ่น  $F_2$  มีฟีโนไทป์คือกาบใบสีม่วงและกาบใบสีเขียว อัตราส่วนเป็น 3: 1 ซึ่งเป็นไปตามการถ่ายทอดทางพันธุกรรมแบบยีนเดียวของเมนเดล และบ่งชี้ว่ากาบใบสีเขียวนั้นเป็นลักษณะด้อย (Chin et al., 2016) และการศึกษาสีของกาบใบระหว่างพันธุ์ R710-4-37-1-1-1-1 x

Ram-laxaman และ R710-4-37-1-1-1-1 × Dodana มีอัตราส่วนฟีโนไทป์ในประชากรรุ่น  $F_2$  เป็นสีม่วง: สีเขียว เท่ากับ 3: 1 เช่นกัน (Sahu et al., 2011)

### บทที่ 3 อุปกรณ์และวิธีดำเนินการ

#### 3.1 อุปกรณ์

3.1.1 พันธุ์ข้าวรุ่น  $F_3$  จากคู่ผสมข้าวพันธุ์ กข 41 (เปลือกเมล็ดสีขาว) และพันธุ์ไรซ์เบอร์รี่ (เปลือกเมล็ดสีม่วงเข้ม) จำนวน 100 สายพันธุ์

3.1.2 เครื่องสีเมล็ดข้าว

3.1.3 เครื่องวัดสี Konica Minolta รุ่น CR-10 (Japan)

#### 3.2 วิธีการทดลอง

##### 3.2.1 การศึกษาลักษณะของประชากรข้าวรุ่น $F_3$

3.2.1.1 ปลูกประชากรข้าวรุ่น  $F_3$  จากคู่ผสมข้าวพันธุ์ กข 41 (เปลือกเมล็ดสีขาว) และพันธุ์ไรซ์เบอร์รี่ (เปลือกเมล็ดสีม่วงเข้ม) จำนวน 100 สายพันธุ์ สายพันธุ์ละ 68 ต้น และทำเครื่องหมายต้นที่ใช้เก็บข้อมูล (ตัวอย่าง) 10 ต้น / สายพันธุ์ วางแผนการทดลองเพื่อวิเคราะห์สถิติแบบ CRD จำนวน 10 ซ้ำ ปลูกในแปลงนาข้าวที่ศูนย์วิจัยข้าวปทุมธานี ต.รังสิต อ.ธัญบุรี จ.ปทุมธานี ในเดือนสิงหาคม พ.ศ. 2563 ใช้ระยะเวลาในการปลูกเป็นเวลา 4 เดือน

##### 3.2.1.2 การบันทึกสีของส่วนต่าง ๆ ในประชากรข้าวรุ่น $F_3$

ทำการบันทึกสีของประชากรข้าวรุ่น  $F_3$  จำนวน 10 ต้น / สายพันธุ์ที่ได้ทำเครื่องหมายไว้ตามข้อมูลดังต่อไปนี้

1) สีของแผ่นใบ (leaf blade) มีการบันทึกสีแผ่นใบแก่ในช่วง late vegetative stage ของข้าวเป็นคะแนนโดยอ้างอิงจาก Descriptors for rice *Oryza sativa* L. (IBPGR-IRRI Rice Advisory Committee, International Rice Research Institute, 1980) และกำหนดหมายเลขเพื่อบันทึกลักษณะดังนี้

หมายเลข 1 คือสีเขียว

หมายเลข 2 คือสีเขียวขอบใบสีม่วง

2) สีของกาบใบ (leaf sheath) มีการบันทึกสีกาบใบก่อนช่วง late vegetative stage ของข้าวเป็นคะแนนโดยอ้างอิงจาก Descriptors for rice *Oryza sativa* L. (IBPGR-IRRI Rice Advisory

Committee, International Rice Research Institute, 1980) และกำหนดหมายเลขเพื่อบันทึกลักษณะดังนี้

หมายเลข 1 คือสีเขียว

หมายเลข 2 คือสีม่วง

3) สีของเยื่อเกี่ยวพันน้ำฝน (ligule) มีการบันทึกในช่วง late vegetative stage เป็นคะแนนโดยอ้างอิงจาก Descriptors for rice *Oryza sativa* L. (IBPGR-IRRI Rice Advisory Committee, International Rice Research Institute, 1980) และกำหนดหมายเลขเพื่อบันทึกลักษณะดังนี้

หมายเลข 1 คือสีขาว

หมายเลข 2 คือสีม่วง

4) สีของเขี้ยวกันแมลง (auricle) มีการบันทึกในช่วง late vegetative stage ของข้าวเป็นคะแนนโดยอ้างอิงจาก Descriptors for rice *Oryza sativa* L. (IBPGR-IRRI Rice Advisory Committee, International Rice Research Institute, 1980) และกำหนดหมายเลขเพื่อบันทึกลักษณะดังนี้

หมายเลข 1 คือสีขาว

หมายเลข 2 คือสีม่วง

5) สีของยอดเกสรเพศเมีย (stigma) มีการบันทึกในช่วงที่ข้าวกำลังออกดอกเป็นคะแนนโดยอ้างอิงจาก Descriptors for rice *Oryza sativa* L. (IBPGR-IRRI Rice Advisory Committee, International Rice Research Institute, 1980) และกำหนดหมายเลขเพื่อบันทึกลักษณะดังนี้

หมายเลข 1 คือสีขาว

หมายเลข 2 คือสีม่วง

6) สีของเปลือกเมล็ด (pericarp) มีการบันทึกหลังจากเก็บเกี่ยวและสีข้าวเพื่อเอาแกลบออกบันทึกสีโดยใช้เครื่องวัดสี Konica Minolta รุ่น CR-10 (Japan) ผลของการวัดสีที่ได้แสดงในรูป  $L^*$ ,  $c^*$  และ  $h^*$

โดย  $L^*$  คือ ค่าความสว่าง ( $L = 0$  มืดเป็นสีดำ,  $L = 100$  สว่างเป็นสีขาว)

$c^*$  คือ ค่าความอิ่มตัวของสีเทียบกับรัศมีของทรงกลม ( $c = 0$  สีขาวเทาดำไม่มีสีอื่นผสม)

$h^*$  คือ ค่าเฉลี่ย ระบุเป็นมุม 0 – 360 องศา (0 = สีแดง, 90 = สีเหลือง, 180 = สีเขียว และ 270 = สีน้ำเงิน)

### 3.2.2 การประมวลผลและการวิเคราะห์สถิติ

การประมวลผลสีของลักษณะต่าง ๆ ของประชากรข้าวรุ่น  $F_3$  ได้แก่ สีของแผ่นใบ, สีของกาบใบ, สีของเยื่อแก่น้ำฝน, สีของเขี้ยวกันแมลง, สีของยอดเกสรเพศเมีย และสีของเปลือกเมล็ดที่ได้จากการบันทึกและเครื่องวัดสีด้วยโปรแกรม SPSS

- ทดสอบอัตราส่วนของทั้ง 5 ลักษณะ ได้แก่ สีของแผ่นใบ, สีของกาบใบ, สีของเยื่อแก่น้ำฝน, สีของเขี้ยวกันแมลง และสีของยอดเกสรเพศเมีย ในประชากรรุ่น  $F_3$  ในอัตราส่วนจีโนไทป์ประชากรรุ่น  $F_2$  เป็น 1: 2: 1 โดยวิธี Chi – square test

- ทดสอบอัตราส่วนของสีเปลือกเมล็ดของข้าวในประชากรรุ่น  $F_3$  ในอัตราส่วนฟีโนไทป์ประชากรรุ่น  $F_2$  เป็น 9: 3: 4 โดยวิธี Chi – square test (Rahman et al., 2013)

- วิเคราะห์สถิติโดยใช้ ANOVA เพื่อเปรียบเทียบความแปรปรวนของค่าเฉลี่ยการแสดงออกของสารสีในประชากรข้าวรุ่น  $F_3$  ทั้ง 6 ลักษณะ ได้แก่ สีของแผ่นใบ, สีของกาบใบ, สีของเยื่อแก่น้ำฝน, สีของเขี้ยวกันแมลง สีของยอดเกสรเพศเมีย และสีของเปลือกเมล็ดของข้าว แล้วนำค่าองค์ประกอบของความแปรปรวนที่ได้จากตารางที่ 1 (Kearsey and Pooni, 1996) มาแทนในสมการเพื่อคำนวณค่าอัตราพันธุกรรมแบบแคบ (Narrow – sense heritability,  $h^2$ ) ซึ่งเป็นค่าที่มีประสิทธิภาพในการทำนายฟีโนไทป์ในรุ่นลูกได้ดีกว่าค่าอัตราพันธุกรรมแบบกว้าง (Broad – sense heritability,  $H^2$ ) (กิตติพัฒน์ อุโฆษกิจ, 2561) ดังนี้

$$h^2 = \frac{V_A}{V_P}$$

$$V_A = \frac{MS_1 - MS_2}{r}$$

$$V_P = V_A + V_E$$

$$V_E = MS_2 - \frac{1}{2} V_A$$

เมื่อ  $V_A$  คือ ความแปรปรวนจากพันธุกรรมแบบผลบวก

$V_P$  คือ ความแปรปรวนของฟีโนไทป์

$V_E$  คือ ความแปรปรวนจากสิ่งแวดล้อม และ

$r$  คือ จำนวนซ้ำของการทดลอง

- วิเคราะห์ค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ (correlation coefficient, r) เพื่อศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างลักษณะต่าง ๆ ทั้ง 6 ลักษณะ ได้แก่ สีของแผ่นใบ, สีของกาบใบ, สีของเยื่อแก่น้ำฝนน, สีของเขี้ยวกันแมลง สีของยอดเกสรเพศเมีย และสีของเปลือกเมล็ดของข้าว

**ตารางที่ 1** ผลการวิเคราะห์ความแปรปรวนโดยใช้ ANOVA ที่นำมาใช้ในการคำนวณองค์ประกอบของความแปรปรวน (Kearsey and Pooni, 1996)

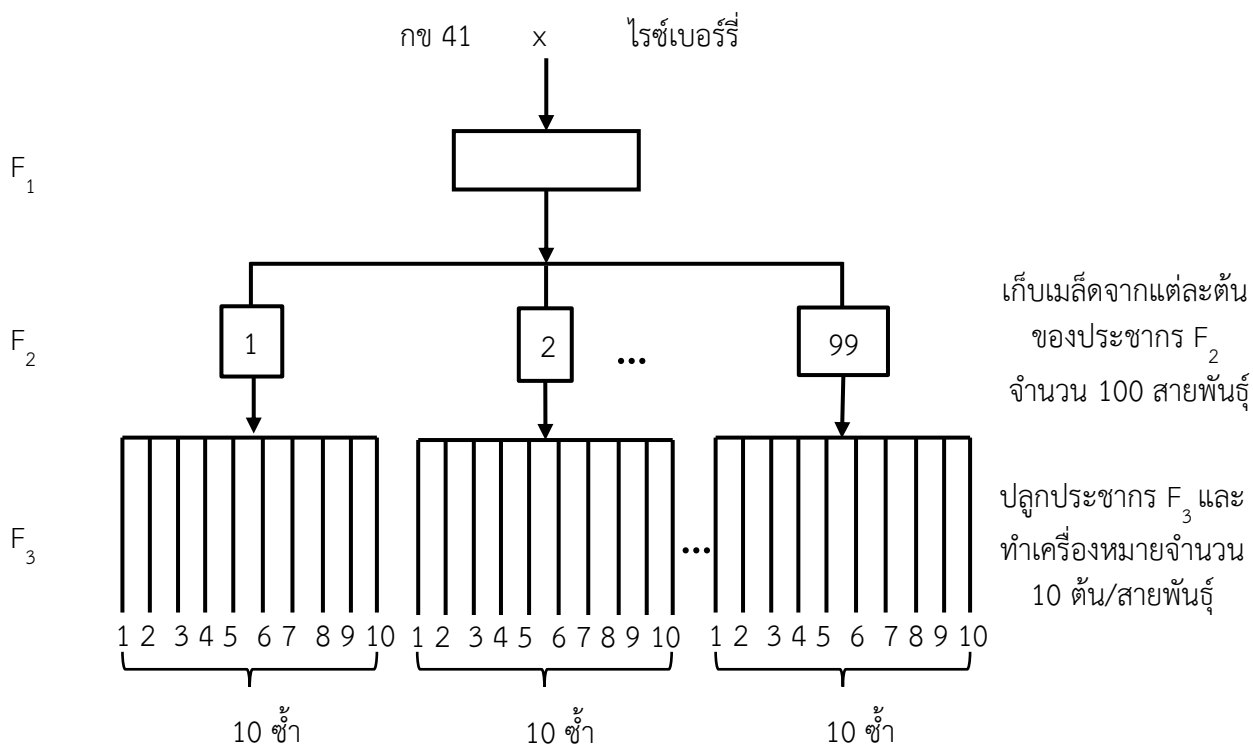
Source of variation	Degree of freedom	Mean square	Expected mean square
Between groups	98	$MS_1$	$r\sigma_A^2 + \sigma_W^2$
Within groups	887	$MS_2$	$\sigma_W^2$
Total	985		

## บทที่ 4

### ผลการศึกษา

#### 4.1 ลักษณะการสืบทอดของสารสีในส่วนต่าง ๆ ของต้นข้าว

การศึกษากการสืบทอดลักษณะของสารสีในส่วนต่าง ๆ ของต้นข้าว ได้ปลูกประชากรข้าวรุ่น  $F_3$  ของคู่ผสมพันธุ์กข 41 และไรซ์เบอร์รี่ เมื่อวันที่ 27 กรกฎาคม พ.ศ. 2563 จำนวน 100 สายพันธุ์ แต่ตายไป 1 สายพันธุ์ (LS-100) จึงเหลือ 99 สายพันธุ์ ซึ่งแต่ละสายพันธุ์ (line) ได้มาจากเมล็ดข้าว 1 รวงของประชากรรุ่น  $F_2$  ในการศึกษาครั้งนี้ได้ปลูกข้าวประชากรรุ่น  $F_3$  สายพันธุ์ละ 68 ต้น และได้ทำเครื่องหมายไว้สำหรับเก็บข้อมูลต่าง ๆ สายพันธุ์ละ 10 ต้น (ดังภาพที่ 3)



ภาพที่ 3 การสร้างประชากร  $F_3$  ของคู่ผสมพันธุ์กข 41 และพันธุ์ไรซ์เบอร์รี่ สำหรับการศึกษาครั้งนี้

##### 4.1.1 สีของแผ่นใบ (leaf blade)

การศึกษากการสืบทอดลักษณะของสารสีในแผ่นใบ ได้เก็บข้อมูลสีของแผ่นใบเมื่อข้าวอายุ 83 วัน จำนวน 10 ต้น/สายพันธุ์ โดยบันทึกว่าข้าวทั้ง 10 ต้นในสายพันธุ์แสดงออกแต่ละต้นเป็นสีเดียวกัน ทั้ง 10 ต้น หรือมีสีแตกต่างกัน (บางต้นสีเขียว บางต้นสีเขียวขอบใบสีม่วง) โดยลักษณะสีของแผ่นใบแสดงออก 2 สีคือ สีเขียวขอบใบสีม่วง และสีเขียว (ภาพที่ 4) จากการศึกษาพบว่ามีแผ่นใบสีเขียว



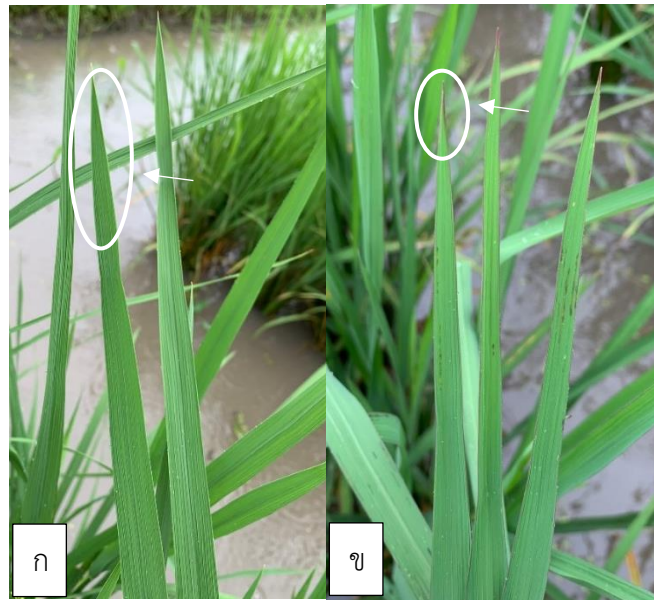
ขอบใบสีม่วงทั้ง 10 ต้นภายในสายพันธุ์ จำนวน 20 สายพันธุ์ มีบางต้นสีเขียวขอบใบสีม่วง และบางต้นสีเขียวภายในสายพันธุ์ จำนวน 48 สายพันธุ์ และมีจำนวน 31 สายพันธุ์ที่มีสีเขียวทั้ง 10 ต้นภายในสายพันธุ์ ดังนั้นจึงคิดเป็นอัตราส่วนจีโนไทป์ของการแสดงออกลักษณะสีของแผ่นใบในประชากร  $F_2$  เป็น 1: 2: 1 ( $X^2 = 2.535$ , Exact sig = 0.276) (ตารางที่ 2) จึงสรุปได้ว่าลักษณะสีของแผ่นใบน่าจะมียีนควบคุมเพียง 1 คู่ตามทฤษฎี

จากการวิเคราะห์ข้อมูลสีแผ่นใบด้วย ANOVA แล้วนำมาคำนวณสัดส่วนความแปรปรวนจากพันธุกรรมแบบผลบวก และความแปรปรวนจากสิ่งแวดล้อมมีค่า 0.158 และ 0.013 ตามลำดับ พบว่าค่าอัตราพันธุกรรมแบบแคบของลักษณะสีแผ่นใบมีค่า 0.924 (ตารางที่ 4) ซึ่งแสดงให้เห็นว่าพันธุกรรมที่ควบคุมลักษณะสีของแผ่นใบสามารถถ่ายทอดจากรุ่นพ่อ – แม่มายังรุ่นลูกได้ประมาณ 92.4 %

#### 4.1.2 สีของกาบใบ (leaf sheath)

การศึกษาการสืบทอดลักษณะของสารสีในกาบใบ ได้เก็บข้อมูลสีของกาบใบเมื่อข้าวอายุ 54 วัน โดยบันทึกเช่นเดียวกับลักษณะสีของแผ่นใบ ลักษณะสีของกาบใบแสดงออก 2 สีคือ ม่วง และเขียว (ภาพที่ 5) จากการศึกษาพบว่ามีกาบใบเป็นสีม่วงทั้ง 10 ต้นภายในสายพันธุ์ จำนวน 23 สายพันธุ์ มีบางต้นสีม่วง และบางต้นสีเขียวภายในสายพันธุ์ จำนวน 48 สายพันธุ์ และมีจำนวน 28 สายพันธุ์ที่มีสีเขียวทั้ง 10 ต้นภายในสายพันธุ์ ดังนั้นจึงคิดเป็นอัตราส่วนจีโนไทป์ของการแสดงออกลักษณะสีของกาบใบในประชากร  $F_2$  เป็น 1: 2: 1 ( $X^2 = 0.596$ , Exact sig = 0.735) (ตารางที่ 2) จึงสรุปได้ว่าลักษณะสีของกาบใบน่าจะมียีนควบคุมเพียง 1 คู่ตามทฤษฎี

จากการวิเคราะห์ข้อมูลสีกาบใบด้วย ANOVA แล้วนำมาคำนวณสัดส่วนความแปรปรวนจากพันธุกรรมแบบผลบวก และความแปรปรวนจากสิ่งแวดล้อมมีค่า 0.158 และ 0.012 ตามลำดับ พบว่าค่าอัตราพันธุกรรมแบบแคบของลักษณะสีกาบใบมีค่า 0.929 (ตารางที่ 4) ซึ่งแสดงให้เห็นว่าพันธุกรรมที่ควบคุมลักษณะสีของกาบใบสามารถถ่ายทอดจากรุ่นพ่อ – แม่มายังรุ่นลูกได้ประมาณ 92.9 %



ภาพที่ 4

สีของแผ่นใบ

ก. แผ่นใบสีเขียว ให้หมายเลข 1

ข. แผ่นใบสีเขียวขอบใบสีม่วง ให้หมายเลข 2



ภาพที่ 5

สีของกาบใบ

ก. กาบใบสีเขียว ให้หมายเลข 1

ข. กาบใบสีม่วง ให้หมายเลข 2

#### 4.1.3 สีของเยื่อกันน้ำฝน (ligule)

การศึกษาการสืบทอดลักษณะของสารสีในเยื่อกันน้ำฝน ได้เก็บข้อมูลสีของเยื่อกันน้ำฝนเมื่อข้าวอายุ 74 วัน โดยบันทึกข้อมูลเช่นเดียวกับลักษณะสีของแผ่นใบ ลักษณะสีของเยื่อกันน้ำฝนแสดงออก 2 สีคือ ม่วง และขาว (ภาพที่ 6) จากการศึกษาพบว่าเยื่อกันน้ำฝนเป็นสีม่วงทั้ง 10 ต้นภายในสายพันธุ์ จำนวน 4 สายพันธุ์ มีบางต้นสีม่วง และบางต้นสีขาวภายในสายพันธุ์ จำนวน 46 สายพันธุ์ และมีจำนวน 49 สายพันธุ์ที่มีสีขาวทั้ง 10 ต้นภายในสายพันธุ์ ดังนั้นจึงคิดเป็นอัตราส่วนจีโนไทป์ของการแสดงออกลักษณะสีของเยื่อกันน้ำฝนในประชากร  $F_2$  เป็น 1: 2: 1 ( $X^2 = 41.404$ , Exact sig = 0.000) (ตารางที่ 2) จึงสรุปได้ว่าอัตราส่วนจีโนไทป์ของการแสดงออกลักษณะสีของเยื่อกันน้ำฝนในประชากร  $F_2$  ไม่เป็น 1: 2: 1 นั่นคือลักษณะสีของเยื่อกันน้ำฝนน่าจะมียีนควบคุมลักษณะมากกว่า 1 คู่

จากการวิเคราะห์ข้อมูลสีเยื่อกันน้ำฝนด้วย ANOVA แล้วนำมาคำนวณสัดส่วนความแปรปรวนจากพันธุกรรมแบบผลบวก และความแปรปรวนจากสิ่งแวดล้อมมีค่า 0.121 และ 0.038 ตามลำดับ ซึ่งพบว่าค่าอัตราพันธุกรรมแบบแคบของลักษณะสีเยื่อกันน้ำฝนมีค่า 0.760 (ตารางที่ 4) ซึ่งแสดงให้เห็นว่าพันธุกรรมที่ควบคุมลักษณะสีเยื่อกันน้ำฝนสามารถถ่ายทอดจากรุ่นพ่อ – แม่มายังรุ่นลูกได้ประมาณ 76.0 %

#### 4.1.4 สีของเขี้ยวกันแมลง (auricle)

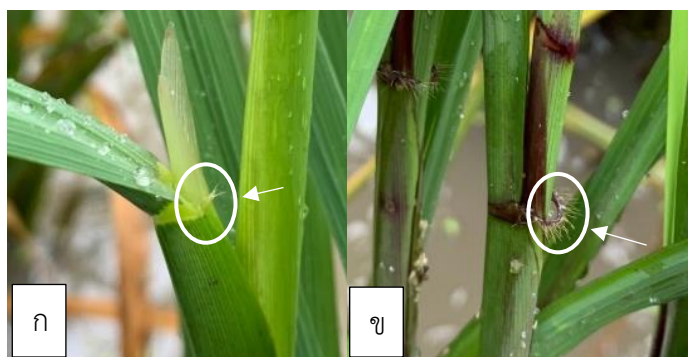
การศึกษาการสืบทอดลักษณะของสารสีในเขี้ยวกันแมลง ได้เก็บข้อมูลสีของเขี้ยวกันแมลงเมื่อข้าวอายุ 74 วัน โดยลักษณะสีของเขี้ยวกันแมลงแสดงออก 2 สีคือ ม่วง และขาว (ภาพที่ 7) จากการศึกษาพบว่าเยื่อกันน้ำฝน เป็นสีม่วงทั้ง 10 ต้นภายในสายพันธุ์ จำนวน 5 สายพันธุ์ มีบางต้นสีม่วง และบางต้นสีขาวภายในสายพันธุ์ จำนวน 46 สายพันธุ์ และมีจำนวน 48 สายพันธุ์ที่มีสีขาวทั้ง 10 ต้นภายในสายพันธุ์ ดังนั้นจึงคิดเป็นอัตราส่วนจีโนไทป์ของการแสดงออกลักษณะสีของเขี้ยวกันแมลงในประชากร  $F_2$  เป็น 1: 2: 1 ( $X^2 = 37.848$ , Exact sig = 0.000) (ตารางที่ 2) จึงสรุปได้ว่าอัตราส่วนจีโนไทป์ของการแสดงออกลักษณะสีของเขี้ยวกันแมลงในประชากร  $F_2$  ไม่เป็น 1: 2: 1 นั่นคือลักษณะสีของเขี้ยวกันแมลงน่าจะมียีนควบคุมลักษณะมากกว่า 1 คู่

จากการวิเคราะห์ข้อมูลสีเขี้ยวกันแมลงด้วย ANOVA แล้วนำมาคำนวณสัดส่วนความแปรปรวนจากพันธุกรรมแบบผลบวก และความแปรปรวนจากสิ่งแวดล้อมมีค่า 0.124 และ 0.036 ตามลำดับ ซึ่งพบว่าค่าอัตราพันธุกรรมแบบแคบของลักษณะสีเขี้ยวกันแมลงมีค่า 0.774 (ตารางที่ 4)

ซึ่งแสดงให้เห็นว่าพันธุกรรมที่ควบคุมลักษณะสีของเขี้ยวกันแมลงสามารถถ่ายทอดจากรุ่นพ่อ-แม่มายังรุ่นลูกได้ประมาณ 77.4 %



ภาพที่ 6 สีของเยื่อกันน้ำฝน  
 ก. เยื่อกันน้ำฝนสีขาว ให้หมายเลข 1  
 ข. เยื่อกันน้ำฝนสีม่วง ให้หมายเลข 2



ภาพที่ 7 สีของเขี้ยวกันแมลง  
 ก. เขี้ยวกันแมลงสีขาว ให้หมายเลข 1  
 ข. เขี้ยวกันแมลงสีม่วง ให้หมายเลข 2

#### 4.1.5 สีของยอดเกสรเพศเมีย (stigma)

การศึกษาการสืบทอดลักษณะของสารสีในยอดเกสรเพศเมีย ได้เก็บข้อมูลสีของยอดเกสรเพศเมียเมื่อข้าวอายุ 90 – 115 วัน โดยลักษณะสีของยอดเกสรเพศเมียแสดงออก 2 สีคือ ม่วง และขาว (ภาพที่ 8) จากการศึกษาพบว่ามียอดเกสรเพศเมียเป็นสีม่วงทั้ง 10 ต้นภายในสายพันธุ์ จำนวน 20 สายพันธุ์ มีบางต้นสีม่วง และบางต้นสีขาวภายในสายพันธุ์ จำนวน 58 สายพันธุ์ และมีจำนวน 21 สายพันธุ์ที่มีสีขาวทั้ง 10 ต้นภายในสายพันธุ์ นอกจากนั้นมี 1 สายพันธุ์ที่ตายทุกต้น (LS-100) ดังนั้นจึงคิดเป็นอัตราส่วนจีโนไทป์ของการแสดงออกลักษณะสีของยอดเกสรเพศเมียในประชากร  $F_2$  เป็น

1: 2: 1 ( $X^2 = 2.939$ , Exact sig = 0.236) (ตารางที่ 2) จึงสรุปได้ว่าลักษณะสีของยอดเกสรเพศเมีย น่าจะมียีนควบคุมเพียง 1 คู่ตามทฤษฎี

จากการวิเคราะห์ข้อมูลสียอดเกสรเพศเมียด้วย ANOVA แล้วนำมาคำนวณสัดส่วนความแปรปรวนจากพันธุกรรมแบบผลบวก และความแปรปรวนจากสิ่งแวดล้อมมีค่า 0.133 และ 0.049 ตามลำดับ ซึ่งพบว่าค่าอัตราพันธุกรรมแบบแคบของลักษณะสียอดเกสรเพศเมียมีค่า 0.730 (ตารางที่ 3) ซึ่งแสดงให้เห็นว่าพันธุกรรมที่ควบคุมลักษณะสียอดเกสรเพศเมียสามารถถ่ายทอดจากรุ่นพ่อ - แม่มายังรุ่นลูกได้ประมาณ 73.0 %



ภาพที่ 8

สีของยอดเกสรเพศเมีย

ก. ยอดเกสรเพศเมียสีขาว ให้หมายเลข 1

ข. ยอดเกสรเพศเมียสีม่วง ให้หมายเลข 2

ตารางที่ 2 Chi – square test เพื่อทดสอบอัตราส่วนจีโนไทป์ของลักษณะต่าง ๆ ในประชากรรุ่น F<sub>2</sub> เป็น 1: 2: 1

ลักษณะ	สี	จำนวนพันธุ์		Test statistics	
		ค่าสังเกต	ค่าคาดหวัง	Chi-Square	Exact Sig.
แผ่นใบ (Leaf blade)	เขียวขอบใบม่วง	20	25	2.535	0.276
	เขียวขอบใบม่วง/เขียว	48	49		
	เขียว	31	25		
	Total	99			
กาบใบ (Leaf sheath)	ม่วง	23	25	0.596	0.735
	ม่วง/เขียว	48	49		
	เขียว	28	25		
	Total	99			
เยื่อถิ่นน้ำฝน (Ligule)	ม่วง	6	25	41.404	0.000
	ม่วง/ขาว	45	49		
	ขาว	48	25		
	Total	99			
เขี้ยวถิ่นแมลง (Auricle)	ม่วง	5	25	37.848	0.000
	ม่วง/ขาว	46	49		
	ขาว	48	25		
	Total	99			
ยอดเกสรเพศ เมีย (Stigma)	ม่วง	20	25	2.939	0.236
	ม่วง/ขาว	58	49		
	ขาว	21	25		
	Total	99			

ตารางที่ 3 ค่าความแปรปรวนจากพันธุกรรมแบบผลบวก ( $V_A$ ) ความแปรปรวนจากสิ่งแวดล้อม ( $V_E$ ) และอัตราพันธุกรรมแบบแคบ ( $h^2$ ) ของลักษณะต่าง ๆ ในข้าวประชากรรุ่น  $F_3$

ลักษณะ	$V_A$	$V_E$	$h^2$
แผ่นใบ (Leaf blade)	0.158	0.013	0.924
กาบใบ (Leaf sheath)	0.158	0.012	0.929
เยื่อเกี่ยวพันน้ำฝน (Ligule)	0.121	0.038	0.760
เขี้ยวเกี่ยวพันแมลง (Auricle)	0.124	0.036	0.774
ยอดเกสรเพศเมีย (Stigma)	0.133	0.049	0.730
เปลือกเมล็ด (pericarp)	0.530	0.061	0.897

#### 4.1.6 สีของเปลือกเมล็ด (pericarp)

การศึกษาการสืบทอดของสารสีของเปลือกเมล็ด จากการศึกษาของ Rahman et al. (2013) พบว่ามียีน  $Pb$  และ  $Pp$  ควบคุมการแสดงออก ซึ่งอยู่บนโครโมโซมที่ 1 และ 4 ตามลำดับ ซึ่งยีนทั้งสองแสดงการข่มร่วมกันแบบ recessive epistasis อัตราส่วนเป็น 9: 3: 4 (ม่วง: น้ำตาล: ขาว) ในประชากร  $F_2$  โดยฟีโนไทป์ของข้าวที่มีเปลือกเมล็ดสีขาว ได้จากการรวมกันของยีน  $Pb$  และ  $Pp$  มีจีโนไทป์ได้ 3 แบบดังนี้  $pbpbPpPp$   $pbpbPppp$  หรือ  $pbpbpppp$  ดังภาพที่ 9 Rahman et al. (2013) พบว่าในประชากรข้าวรุ่น  $F_2$  ทั้ง 3 คู่ผสมได้แก่ 1) ข้าวพันธุ์ Heugnambyeo (เปลือกเมล็ดสีดำ) X พันธุ์ Hwayongbyeo (เปลือกเมล็ดสีขาว) 2) ข้าวพันธุ์ Heugnambyeo (เปลือกเมล็ดสีดำ) X พันธุ์ Ishikari (เปลือกเมล็ดสีขาว) และ 3) ข้าวพันธุ์ Heugnambyeo (เปลือกเมล็ดสีดำ) X พันธุ์ Ilpoombyeo (เปลือกเมล็ดสีขาว) มีอัตราส่วนฟีโนไทป์ของการแสดงออกแบบ recessive epistasis เป็น 9: 3: 4 (ม่วง: น้ำตาล: ขาว) ทุกคู่ผสม โดยฟีโนไทป์สีม่วงนั้นประกอบด้วยสีม่วงเข้มและสีม่วงปานกลาง ดังนั้นจึงนำมาตั้งสมมติฐานในการศึกษาครั้งนี้ โดยการศึกษาในประชากรข้าวรุ่น  $F_3$  ของคู่ผสมพันธุ์ไรซ์เบอร์รี่ X พันธุ์กข 41 ได้เก็บข้อมูลสีของเปลือกเมล็ดเมื่อข้าวอายุ 146 – 168 วัน

จำนวน 10 ต้น/สายพันธุ์ โดยลักษณะสีของเปลือกเมล็ดแสดงออก 4 สีคือ ม่วงเข้ม ม่วงกลาง น้ำตาล และขาว (ภาพที่ 10) และบันทึกว่าข้าวทั้ง 10 ต้นในสายพันธุ์มีการแสดงออกของสีเปลือกเมล็ดที่แสดงถึงฟีโนไทป์ของประชากรรุ่น  $F_2$  อย่างไร ได้แก่ 1) กรณี  $F_2$  มีฟีโนไทป์เป็นสีม่วง ( $Pb\_Pp\_$ ) ดังนั้นเปลือกเมล็ดของประชากร  $F_3$  ทั้ง 10 ต้นในสายพันธุ์จะมีสีม่วงเข้มทุกต้น, บางต้นสีม่วงเข้ม บางต้นสีขาว, บางต้นสีม่วงเข้ม บางต้นสีม่วงกลาง บางต้นสีน้ำตาล หรือ มีทุกสีในสายพันธุ์ 2) กรณี  $F_2$  มีฟีโนไทป์เป็นสีน้ำตาล ( $Pb\_pppp$ ) ดังนั้นเปลือกเมล็ดของประชากร  $F_3$  ทั้ง 10 ต้นในสายพันธุ์จะมีสีน้ำตาล หรือบางต้นสีน้ำตาล บางต้นสีขาว และ 3) กรณี  $F_2$  มีฟีโนไทป์เป็นสีขาว ( $pbpb Pp\_$  และ  $pbpb pppp$ ) ดังนั้นเปลือกเมล็ดของประชากร  $F_3$  ทั้ง 10 ต้นในสายพันธุ์จะมีสีขาว (ภาพที่ 11) พบว่ามีเปลือกเมล็ดที่แสดงถึงฟีโนไทป์แต่ละสายพันธุ์ในประชากรรุ่น  $F_2$  ว่าเป็นสีม่วงจำนวน 67 สายพันธุ์ มีเปลือกเมล็ดเป็นสีน้ำตาลจำนวน 3 สายพันธุ์ และมีเปลือกเมล็ดเป็นสีขาวจำนวน 29 สายพันธุ์ ดังนั้นจึงคิดเป็นอัตราส่วนฟีโนไทป์ของการแสดงออกลักษณะสีของเปลือกเมล็ดในประชากร  $F_2$  เป็น 9: 3: 4 (ม่วง: น้ำตาล: ขาว) ( $X^2 = 16.075$ , Exact sig = 0.000) (ตารางที่ 4) จึงสรุปได้ว่าอัตราส่วนฟีโนไทป์ของการแสดงออกลักษณะสีของเปลือกเมล็ดในประชากร  $F_2$  ไม่เป็น 9: 3: 4

จากการวิเคราะห์ข้อมูลสีเปลือกเมล็ดด้วย ANOVA แล้วนำมาคำนวณสัดส่วนความแปรปรวนจากพันธุกรรมแบบผลบวก และความแปรปรวนจากสิ่งแวดล้อมมีค่า 0.530 และ 0.061 ตามลำดับ ซึ่งพบว่าค่าอัตราพันธุกรรมแบบแคบของลักษณะสีเปลือกเมล็ดมีค่า 0.897 (ตารางที่ 3) ซึ่งแสดงให้เห็นว่าพันธุกรรมที่ควบคุมลักษณะสีเปลือกเมล็ดสามารถถ่ายทอดจากรุ่นพ่อ - แม่มายังรุ่นลูกได้ประมาณ 89.7 %

ค่าการกระจายตัวของข้อมูลสีเปลือกเมล็ดโดยรายงานเป็นค่า  $L^*$   $c^*$  และ  $h^*$  ดังภาพที่ 11 12 และ 13 ตามลำดับ พบว่าทั้ง 3 ค่าไม่มีการกระจายตัวแบบปกติ โดยมีลักษณะเบ้ซ้าย นั่นคือข้อมูลที่มีค่ามากมีจำนวนมาก โดยค่า  $L^*$  มาก แสดงว่าสว่างมาก สีอ่อน ค่า  $c^*$  มาก แสดงว่ามีความอิ่มตัวของสีมาก และค่า  $h^*$  มีค่าใกล้ 90 องศาแสดงว่าเปลือกเมล็ดมีสีไปทางสีเหลือง



Cross		Hwayongbyeo ( <i>pbpbpppp</i> ) White			
Heugnambyeo ( <i>PbPbPpPp</i> ) Dark Purple		X	Ishikari ( <i>pbpbpppp</i> ) White		
			Ilpoombyeo ( <i>pbpbpppp</i> ) White		
Gamets		<i>PbPp</i>	<i>pbpp</i>		
F <sub>1</sub>		<i>PbpbPppp</i> (Medium Purple)			
F <sub>2</sub>		↓			
Gamets	<i>PbPp</i>	<i>pbPp</i>	<i>Pbpp</i>	<i>pbpp</i>	
<i>PbPp</i>	<i>PbPbPpPp</i> Dark Purple	<i>PbpbPpPp</i> Dark Purple	<i>PbPbPppp</i> Medium Purple	<i>PbpbPppp</i> Medium Purple	
<i>pbPp</i>	<i>PbpbPpPp</i> Dark Purple	<i>pbpbPpPp</i> White	<i>PbpbPppp</i> Medium Purple	<i>pbpbPppp</i> White	
<i>Pbpp</i>	<i>PbPbPppp</i> Medium Purple	<i>PbpbPppp</i> Medium Purple	<i>PbPbpppp</i> Brown	<i>Pbpbpppp</i> Brown	
<i>pbpp</i>	<i>PbpbPppp</i> Medium Purple	<i>pbpbPppp</i> White	<i>Pbpbpppp</i> Brown	<i>pbpbpppp</i> White	

ภาพที่ 9 การวิเคราะห์ทางพันธุกรรมของกลุ่มสมระหว่างข้าว Heugnambyeo (เปลือกเมล็ดสีดำ; จีโนไทป์ *PbPbPpPp*) และข้าวที่มีเปลือกเมล็ดสีขาว 3 ชนิด Hwayongbyeo, Ishikari, และ Ilpoombyeo (จีโนไทป์ *pbpbpppp*) (Rahman et al., 2013)



ภาพที่ 10 สีของเปลือกเมล็ด

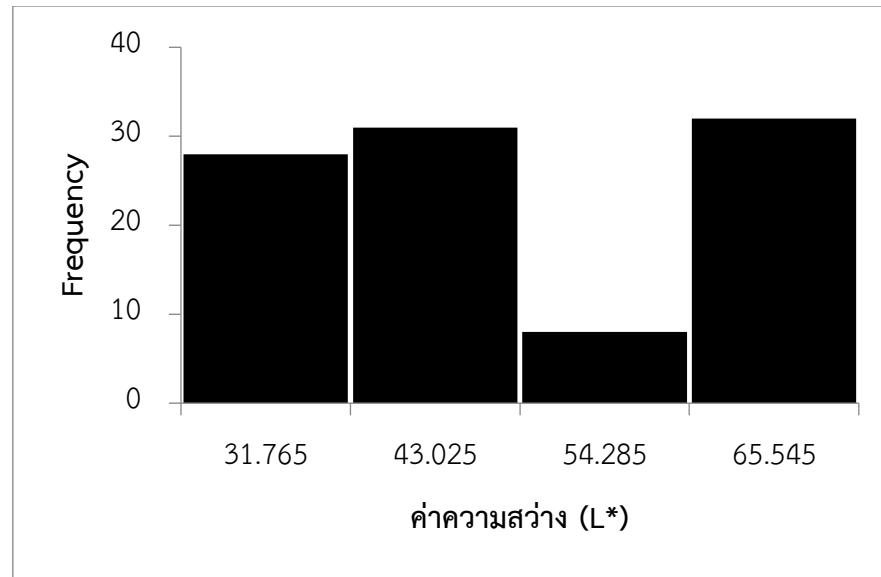
- ก. เปลือกเมล็ดสีม่วงเข้ม
- ข. เปลือกเมล็ดสีม่วงกลาง
- ค. เปลือกเมล็ดสีน้ำตาล
- ง. เปลือกเมล็ดสีขาว

ตารางที่ 4 การกระจายฟีโนไทป์ของลักษณะสีเปลือกเมล็ดข้าวรุ่น F<sub>3</sub> จากการผสมตัวเองของ F<sub>2</sub> (กข41 X โรซเบอร์รี่)

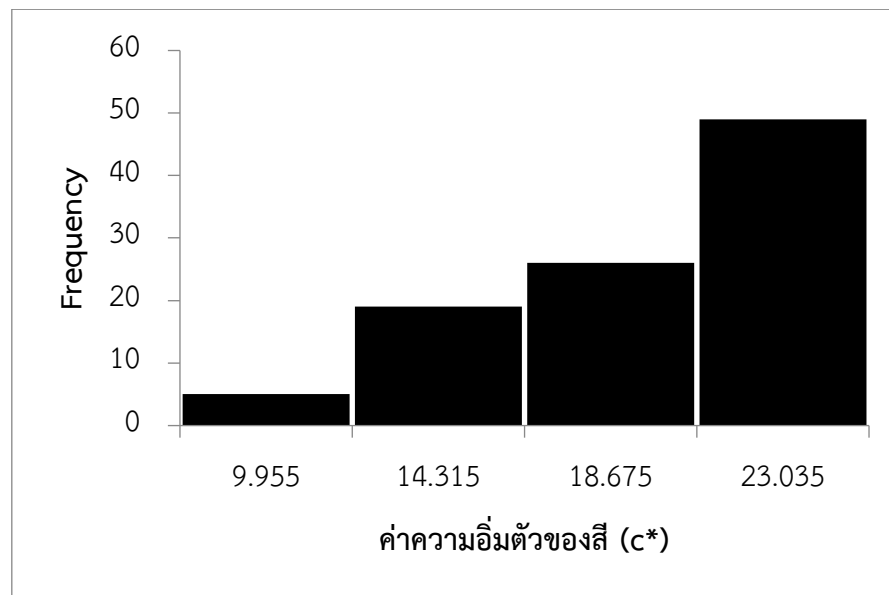
ฟีโนไทป์ F <sub>2</sub>	จีโนไทป์ F <sub>2</sub>	ฟีโนไทป์ F <sub>3</sub>
	<i>PbPbPpPp</i>	ม่วงเข้ม
	<i>PbpbPpPp</i>	ม่วงเข้ม และขาว
	<i>PbPbPppp</i>	ม่วงเข้ม, ม่วงกลาง และน้ำตาล
	<i>PbpbPppp</i>	ม่วงเข้ม, ม่วงกลาง, น้ำตาล และขาว
สีม่วง	<i>PbpbPpPp</i>	ม่วงเข้ม และขาว
	<i>PbpbPppp</i>	ม่วงเข้ม, ม่วงกลาง, น้ำตาล และขาว
	<i>PbPbPppp</i>	ม่วงเข้ม, ม่วงกลาง และน้ำตาล
	<i>PbpbPppp</i>	ม่วงเข้ม, ม่วงกลาง, น้ำตาล และขาว
	<i>PbpbPppp</i>	ม่วงเข้ม, ม่วงกลาง, น้ำตาล และขาว
	<i>PbPbpppp</i>	น้ำตาล
สีน้ำตาล	<i>Pbpbpppp</i>	น้ำตาล และขาว
	<i>Pbpbpppp</i>	น้ำตาล และขาว
	<i>pbpbPpPp</i>	ขาว
	<i>pbpbPppp</i>	ขาว
สีขาว	<i>pbpbPppp</i>	ขาว
	<i>pbpbpppp</i>	ขาว

ตารางที่ 5 Chi - square test ของสีเปลือกเมล็ดในอัตราส่วนฟีโนไทป์ประชากรรุ่น F<sub>2</sub> เป็น 9: 3: 4

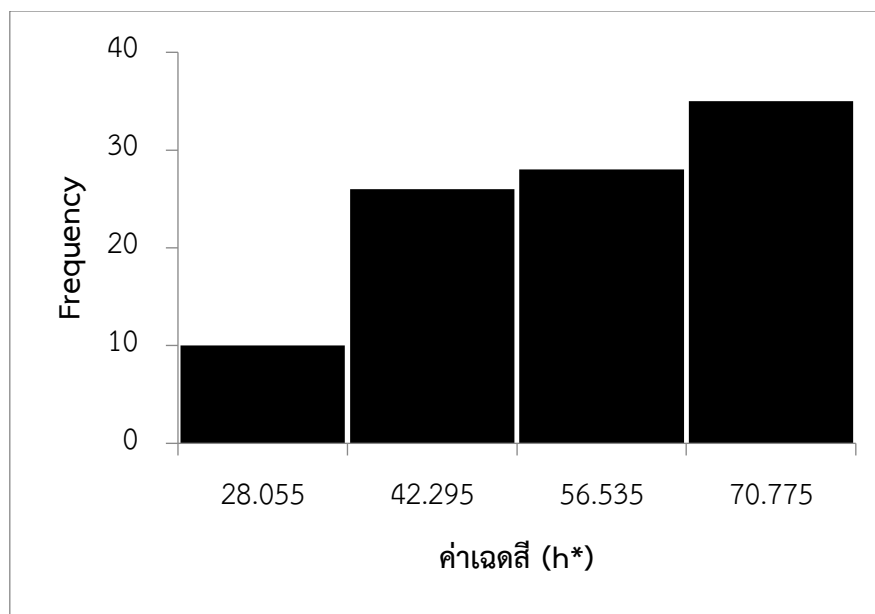
สีเปลือกเมล็ด (pericarp color)	จำนวนพันธุ์		สัดส่วน	Test statistics	
	ค่าสังเกต	ค่าคาดหวัง		Chi-Square	Exact Sig.
ม่วงเข้ม/ม่วงกลาง	67	56			
น้ำตาล	3	18	ฟีโนไทป์	16.075	0.000
ขาว	29	25	9: 3: 4		
Total	99				



ภาพที่ 11 กราฟแสดงการกระจายตัวของข้อมูลค่าความสว่าง (L\*) ของเปลือกเมล็ด  
ในประชากรข้าวรุ่น F<sub>3</sub>



ภาพที่ 12 กราฟแสดงการกระจายตัวของข้อมูลค่าความอิมตัวของสี (c\*) ของ  
เปลือกเมล็ดในประชากรข้าวรุ่น F<sub>3</sub>



ภาพที่ 13 กราฟแสดงการกระจายตัวของข้อมูลค่าเฉลี่ย ( $h^*$ ) ของเปลือกเมล็ด  
ในประชากรข้าวรุ่น  $F_3$

#### 4.2 สหสัมพันธ์ของลักษณะทางพันธุกรรม

เมื่อวิเคราะห์สหสัมพันธ์ ( $r$ ) ของทุกคู่ลักษณะ พบว่ามี 3 คู่ลักษณะ ได้แก่ สีของแผ่นใบกับเปลือกเมล็ด, สีของกาบใบกับเปลือกเมล็ด และสีของยอดเกสรเพศเมียกับเปลือกเมล็ด ไม่มีความสัมพันธ์ซึ่งกันและกัน (Sig. (2-tailed) มากกว่า 0.05) ในขณะที่สีของเปลือกเมล็ดมีความสัมพันธ์กับสีของเยื่อชั้นน้ำฝน ( $r = 0.626$ , Sig. (2-tailed) = 0.000) และเขียวกันแมลง ( $r = 0.616$  Sig. (2-tailed) = 0.000)

ลักษณะที่มีความสัมพันธ์กันสูง ได้แก่ สีของแผ่นใบกับกาบใบ สีของแผ่นใบกับยอดเกสรเพศเมีย สีของกาบใบกับยอดเกสรเพศเมีย และสีของเยื่อชั้นน้ำฝนกับเขียวกันแมลง มีค่าสหสัมพันธ์  $r$  (Pearson Correlation) เป็น 0.934, 0.900, 0.921 และ 0.994 ตามลำดับ (ตารางที่ 5)

ตารางที่ 6 ค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ (correlation coefficient, r) ของทุกคู่ลักษณะที่ศึกษาในประชากรข้าวรุ่น F<sub>3</sub>

ลักษณะ	Pearson Correlation	Sig. (2-tailed)
แผ่นใบกับกาบใบ	0.934**	0.000
แผ่นใบกับเยื่อแก่น้ำฝน	0.655**	0.000
แผ่นใบกับเขี้ยวกันแมลง	0.660**	0.000
แผ่นใบกับยอดเกสรเพศเมีย	0.900**	0.000
แผ่นใบกับเปลือกเมล็ด	0.122	0.229
กาบใบกับเยื่อแก่น้ำฝน	0.694**	0.000
กาบใบกับเขี้ยวกันแมลง	0.700**	0.000
กาบใบกับยอดเกสรเพศเมีย	0.921**	0.000
กาบใบกับเปลือกเมล็ด	0.177	0.080
เยื่อแก่น้ำฝนกับเขี้ยวกันแมลง	0.994**	0.000
เยื่อแก่น้ำฝนกับยอดเกสรเพศเมีย	0.649**	0.000
เยื่อแก่น้ำฝนกับเปลือกเมล็ด	0.626**	0.000
เขี้ยวกันแมลงกับยอดเกสรเพศเมีย	0.650**	0.000
เขี้ยวกันแมลงกับเปลือกเมล็ด	0.616**	0.000
ยอดเกสรเพศเมียกับเปลือกเมล็ด	0.158	0.118

\*\* Correlation is significant at the 0.01 level (2-tailed).

## บทที่ 5

### อภิปรายผลการศึกษา

จากการศึกษาการสืบทอดลักษณะของสารสีในส่วนต่าง ๆ ของต้นข้าวจากประชากรข้าวรุ่น  $F_3$  ของคู่ผสมพันธุ์กข 41 และไรซ์เบอร์รี่ โดยการวิเคราะห์  $\chi^2$  ของลักษณะสีแผ่นใบและ กาบใบในประชากร  $F_2$  พบว่าเป็นไปตามอัตราส่วนของจีโนไทป์เป็น homozygous dominant : heterozygous : homozygous recessive เท่ากับ 1: 2: 1 ซึ่งสรุปได้ว่าพันธุกรรมของลักษณะทั้งสองควบคุมด้วยยีนเพียง 1 คู่ นั้น แต่ลักษณะสีของแผ่นใบในการทดลองของ Sahu et al. (2011) ศึกษาในประชากร  $F_2$  จากคู่ผสมพันธุ์ R714-2-9-3-2-2-2 x Dokaradokari และ Tomar et al. (2000) ที่ศึกษาในประชากรรุ่น  $F_2$  จากคู่ผสมพันธุ์ CR3001 x AC1225 พบอัตราส่วนฟีโนไทป์เป็นสีม่วง: สีเขียว เท่ากับ 3: 13 เช่นเดียวกัน ซึ่งอธิบายได้ว่ามียีนควบคุม 2 คู่ โดยอาจเป็นเพราะยีนอีกคู่ที่เป็น epistasis ของลักษณะสีแผ่นใบในพันธุ์กข 41 และไรซ์เบอร์รี่นั้นเหมือนกันจึงไม่เห็นอิทธิพลของยีนคู่นี้ ทำให้เห็นอิทธิพลของยีนเพียงคู่เดียวที่เป็น complete dominant ในอัตราส่วนจีโนไทป์เป็น 1: 2: 1

ส่วนลักษณะสีของกาบใบนั้นสอดคล้องกับ Sahu et al. (2011) ที่พบว่าสีกาบใบในประชากร  $F_2$  จากคู่ผสมพันธุ์ R710-4-37-1-1-1-1 x Ram-laxaman และ R710-4-37-1-1-1-1 x Dodana มีอัตราส่วนฟีโนไทป์เป็นสีม่วง: สีเขียว เท่ากับ 3: 1 รวมทั้งการทดลองของ Chin et al. (2016) ที่พบว่าสีกาบใบในประชากร  $F_2$  จากคู่ผสมพันธุ์ TNG72 x TCS17 มีอัตราส่วนฟีโนไทป์เป็นสีม่วง: สีเขียวใกล้เคียงกับ 3: 1 ซึ่งอธิบายได้ว่าลักษณะนี้มียีนควบคุม 1 คู่ และอัลลีลที่ควบคุมลักษณะสีเขียวเป็นอัลลีลด้อย

สีเปลือกเมล็ดในประชากร  $F_3$  ของคู่ผสมพันธุ์ไรซ์เบอร์รี่ x กข 41 พบว่าแสดงออก 4 สีคือ ม่วงเข้ม ม่วงกลาง น้ำตาล และขาว และวัดค่าการกระจายตัวของสีเปลือกเมล็ดเป็นค่า  $L^*$   $c^*$  และ  $h^*$  แสดงให้เห็นว่าข้อมูลที่ได้มีการกระจายตัวแบบต่อเนื่อง (continuous variation) คาดว่าพันธุกรรมที่ควบคุมลักษณะนี้น่าจะมียีนเกี่ยวข้องมากกว่า 1 ยีน ซึ่งจากรายงานที่เคยศึกษา Rahman et al. (2013) พบว่าสีเปลือกเมล็ดในประชากร  $F_2$  จากคู่ผสมพันธุ์ Heugnambyeo (เปลือกเมล็ดสีดำ) กับ พันธุ์ที่มีเปลือกเมล็ดสีขาว 3 พันธุ์คือ Hwayongbyeo, Ishikari และ Ilpoombyeo มีอัตราส่วนฟีโนไทป์ของการแสดงออกแบบ recessive epistasis เป็น 9: 3: 4 (ม่วง: น้ำตาล: ขาว) เช่นเดียวกับการศึกษาของ Ham et al. (2015) ในประชากร  $F_2$  จากคู่ผสมที่มีเปลือกเมล็ดสีดำ/ขาว Heugjinju/Hwacheong-ges และ No2/Heugbal และการทดลองของ Kyung et al. (2018) ใน

ประชากรรุ่น  $F_2$  จากคู่ผสมพันธุ์ YUC020 (เปลือกเมล็ดสีดำ) x YUC044 (เปลือกเมล็ดสีขาว) พบว่าสีเปลือกเมล็ดมีการแสดงออกแบบ recessive epistasis อัตราส่วน 9: 3: 4 (ม่วง: น้ำตาล: ขาว) เช่นเดียวกัน โดยฟีโนไทป์เปลือกเมล็ดสีม่วงนั้นประกอบด้วยเปลือกเมล็ดสีม่วงเข้มและสีม่วงปานกลาง แต่ในการทดลองนี้ผลการทดลองการวิเคราะห์ chi – square ของสีเปลือกเมล็ดในประชากร  $F_2$  ไม่เป็นไปตามอัตราส่วนเท่ากับ 9: 3: 4 และเมื่อแยกข้อมูลเป็นการมีสีของเปลือกเมล็ด (สีม่วงและสีน้ำตาล) และการไม่มีสีของเปลือกเมล็ด (สีขาว) พบว่ามี 70 สายพันธุ์ที่เปลือกเมล็ดมีสี และมี 29 สายพันธุ์ที่เปลือกเมล็ดไม่มีสี จึงคิดอัตราส่วนฟีโนไทป์เป็น 3: 1 (การมีสีของเปลือกเมล็ด: การไม่มีสีของเปลือกเมล็ด) พบว่าเป็นไปตามอัตราส่วน 3: 1 ควบคุมด้วยยีนเพียงคู่เดียว ( $X^2 = 0.973$ , Exact sig = 0.353) (ตารางที่ 7) ซึ่งแท้จริงแล้วสีของเปลือกเมล็ดน่าจะมียีนควบคุม 2 คู่ แต่อาจเป็นเพราะยีนอีกคู่ที่เป็น epistasis ของลักษณะสีเปลือกเมล็ดในพันธุ์กข 41 และไรซ์เบอร์รี่นั้นเหมือนกันจึงไม่เห็นอิทธิพลของยีนคู่นี้ ทำให้เห็นอิทธิพลของยีนเพียงคู่เดียวในอัตราส่วนฟีโนไทป์เป็น 3: 1

สีเยื่อขนน้ำฝนกับสีเขี้ยวกันแมลงในประชากร  $F_2$  ไม่เป็นไปตามอัตราส่วนเท่ากับ 1: 2: 1 แต่มีความสัมพันธ์กับสีเปลือกเมล็ด โดยมีค่าสหสัมพันธ์  $r$  เป็น 0.626 และ 0.616 ตามลำดับ และจากความเป็นที่คาดว่าสีเปลือกเมล็ดน่าจะมียีนควบคุมมากกว่า 1 คู่ จึงสรุปว่าเยื่อขนน้ำฝนและเขี้ยวกันแมลงน่าจะมียีนควบคุมมากกว่า 1 คู่

ตารางที่ 7 Chi – square test ของสีเปลือกเมล็ดในอัตราส่วนฟีโนไทป์ประชากรรุ่น  $F_2$  เป็น 3: 1

สีเปลือกเมล็ด (pericarp color)	จำนวนพันธุ์		สัดส่วน	Test statistics	
	ค่าสังเกต	ค่าคาดหวัง		Chi-Square	Exact Sig.
มีสี	70	74.3	ฟีโนไทป์ 3: 1	0.973	0.353
ไม่มีสี	29	24.8			
Total	99				

## บทที่ 6

### สรุปผลการศึกษา

จากผลการทดลองสรุปได้ว่าลักษณะการเกิดสีม่วงของแผ่นใบ กาบใบ และยอดเกสรเพศเมีย มียีนที่ควบคุมลักษณะเพียง 1 คู่ และมีอัตราส่วนของจีโนไทป์เป็น homozygous dominant : heterozygous : homozygous recessive เป็น 1 : 2 : 1 นอกจากนี้ความสัมพันธ์ของลักษณะทั้งสามจากค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ (correlation coefficient, r) สรุปได้ว่าสีของแผ่นใบ กาบใบ และยอดเกสรเพศเมียนั้นมีความสัมพันธ์กันสูง (r มากกว่าหรือเท่ากับ 0.900) นั่นคือมียีนที่ควบคุมการแสดงออกของสารสีม่วง ทำให้เกิดสีม่วงของแผ่นใบ กาบใบ และยอดเกสรเพศเมียได้ด้วย (NBRP-Rice, 2020: online)

ส่วนความสามารถในการถ่ายทอดลักษณะแบบแคบ (Narrow-sense heritability) ในคู่ผสมพันธุ์ไรซ์เบอร์รี่ × พันธุ์กข 41 ของลักษณะสีกาบใบ สีแผ่นใบ สีเยื่อแก่น้ำฝน สีเขี้ยวกันแมลง สียอดเกสรเพศเมีย และสีเปลือกเมล็ด มีค่าระหว่าง 0.730 – 0.929 ดังนั้นจึงมีความสามารถในการถ่ายทอดลักษณะพันธุกรรมจากรุ่นพ่อแม่ไปยังรุ่นลูกได้มากกว่า 70 เปอร์เซ็นต์ และผลการศึกษากจากหลาย ๆ การทดลองจึงสามารถสรุปได้ว่าสีของแผ่นใบ กาบใบ และเปลือกเมล็ดอาจจะมียีนที่ควบคุมลักษณะไม่เยอะเพียง 1 – 2 คู่ (ตารางที่ 8) ซึ่งขึ้นอยู่กับชนิดพันธุ์ ดังนั้นการปรับปรุงพันธุ์ข้าวที่คาดหวังคัดพันธุ์ข้าวที่มีปริมาณแอนโทไซยานินสูง โดยพิจารณาจากสารสีในลักษณะต่าง ๆ เหล่านี้เป็นเกณฑ์ในการคัดเลือกพันธุ์อาจจะช่วยเพิ่มความสำเร็จในการคัดเลือกพันธุ์ข้าวในอนาคต

**ตารางที่ 8** จำนวนยีนที่ควบคุมลักษณะที่ศึกษาในประชากรข้าวรุ่น F<sub>3</sub>

ลักษณะ	จำนวนยีนที่ควบคุมลักษณะ
แผ่นใบ	1 คู่
กาบใบ	1 คู่
เยื่อแก่น้ำฝน	มากกว่า 1 คู่
เขี้ยวกันแมลง	มากกว่า 1 คู่
ยอดเกสรเพศเมีย	1 คู่
เปลือกเมล็ด	1 คู่



### เอกสารอ้างอิง

- กิตติพัฒน์ อุโฆษกิจ. 2561. พันธุศาสตร์. พิมพ์ครั้งที่ 3. กรุงเทพมหานคร: มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์.
- บุญหงษ์ จงคิด. 2557. ข้าวและเทคโนโลยีการผลิต. พิมพ์ครั้งที่ 2. กรุงเทพมหานคร: มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์.
- คันสนีย์ จำจด. 2551. ความหลากหลายของสายพันธุ์ข้าวไทย. ประชาคมวิจัย 80 (กรกฎาคม – สิงหาคม) : 12 – 15.
- สุทัศน์ ศรีวัฒนพงศ์. 2552. การปรับปรุงพันธุ์พืช. พิมพ์ครั้งที่ 2. กรุงเทพมหานคร: มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์.
- FrancaVilla, A. and Joye, I. J. 2020. Anthocyanins in Whole Grain Cereals and Their Potential Effect on Health. Nutrients 12: 2922.
- Gani, A., Wani, S., Masoodi, F., and Hameed, G. 2012. Whole-grain cereal bio-active compounds and their health benefits: a review. Journal of Food Process Technology 3: 146-156.
- Ham, T. H., Kwon, S. W., Ryu, S. N., and Koh, H. J. 2015. Correlation analysis between grain color and cyanidin-3-glucoside content of rice grain in segregate population. Plant Breeding and Biotechnology 3: 160–166.
- Hamid, A. A., Aiyelaagbe, O. O., Usman, L. A., Ameen, O. M., and Lawal, A. 2010. Antioxidants: its medicinal and pharmacological applications. African Journal of Pure and Applied Chemistry 4: 142-151.
- Hemaprabha, E., Thiruvengadam, V., Maheswaran, M., and Shanmugasundaram, P. 2007. Inheritance of anthocyanin pigmentation in rice (*Oryza sativa* L.). Plant Archives 7: 549-552.
- Ichikawa, H. et al. 2001. Antioxidant activity of anthocyanin extract from purple black rice. Journal of Medicinal Food 4: 211-218.

- IBPGR-IRRI Rice Advisory Committee. 1980. Descriptors for Rice, *Oryza Sativa* L. Manila: The International Rice Research Institute.
- Kearsey, M. J. and Pooni, H. S. 1996. The Genetical Analysis of Quantitative Traits. UK: Chapman & Hall.
- Khoo, H. E., Azlan, A., Tang, S. T., and Lim, S. M. 2017. Anthocyanidins and anthocyanins: colored pigments as food, pharmaceutical ingredients, and the potential health benefits. Food and Nutrition Research 61: 1-21
- Kristamtini, Taryono, Basunanda, P., and Murti, R. H. 2019. Inheritance of pericarp pigment on crossing between black rice and white rice. Songklanakarin Journal of Science and Technology 41: 383-388.
- Kushwaha, U. K. S. 2016. Black Rice Research, History and Development. Switzerland: Springer International Publishing.
- Kyung, E. L., Rahman, M. M., Kim J. B. and Kang, S. G. 2018. Genetic analysis of complementary gene interaction of Pb and Pp genes for the purple pericarp trait in rice. Journal of Life Science. 4: 398-407.
- Lee, J. H. 2010. Identification and quantification of anthocyanins from the grains of black rice (*Oryza sativa* L.) varieties. Food Science and Biotechnology 19: 391-397.
- Mackon, E., Mackon, G. J. D. E., Ma, Y., Kashif, M. H., Ali, N., Usman, B. and Liu, P. 2021. Recent insights into Anthocyanin Pigmentation, Synthesis, Trafficking, and Regulatory Mechanisms in Rice (*Oryza sativa* L.) Caryopsis. Biomolecules 11: 394.
- NBRP-Rice. 2020. PURPLE LEAF gene. [Online]. Available from: <https://shigen.nig.ac.jp/rice/oryzabase/gene/detail/632> [2021, June 2]
- Rahman, M. M., Lee, K. E. and Kang, S. G. 2016. Allelic gene interaction and anthocyanin biosynthesis of purple pericarp trait for yield improvement in black rice. Journal of Life Science 26: 727-736.

- Rahman, M. M. et al. 2013. The genetic constitutions of complementary genes *Pp* and *Pb* determine the purple color variation in pericarps with cyanidin-3-O-glucoside depositions in black rice. Journal of Plant Biology 56: 24-31.
- Rice Science Center and Rice Gene Discovery. 2017. ข้าวไรซ์เบอร์รี่ Riceberry. [Online]. Available from: <https://dna.kps.ku.ac.th/index.php/news-articles-rice-rscrgdu-knowledge/rice-breeding-lab/riceberry-variety> [2020, April 9]
- Ryu, S. N., Park, S. Z., and Ho, C. T. 1998. High performance liquid chromatographic determination of anthocyanin pigments in some varieties of black rice. Journal of Food and Drug Analysis 6: 729-736.

ภาคผนวก

ตารางที่ 1 สีของแผ่นใบ (leaf blade) ของประชากรรุ่น  $F_3$  จำนวน 100 สายพันธุ์

No.	No. sample	จำนวนต้น		No.	No. sample	จำนวนต้น	
		เขียว	เขียวขอบ ใบม่วง			เขียว	เขียวขอบ ใบม่วง
1	LS-042	10	-	27	LS-099	-	10
2	LS-050	10	-	28	LS-100	ตายหมด	
3	LS-056	-	10	29	LS-102	-	10
4	LS-062	1	9	30	LS-104	8	2
5	LS-065	10	-	31	LS-105	10	-
6	LS-066	1	9	32	LS-106	6	-
7	LS-070	2	8	33	LS-107	10	-
8	LS-074	-	10	34	LS-108	9	1
9	LS-075	5	5	35	LS-110	8	2
10	LS-077	10	-	36	LS-111	2	8
11	LS-078	10	-	37	LS-112	1	9
12	LS-081	10	-	38	LS-113	-	10
13	LS-082	10	-	39	LS-114	10	-
14	LS-083	10	-	40	LS-116	10	-
15	LS-084	1	9	41	LS-117	2	8
16	LS-086	1	9	42	LS-118	10	-
17	LS-087	3	7	43	LS-120	8	2
18	LS-088	6	8	44	LS-122	10	-
19	LS-089	10	-	45	LS-123	2	8
20	LS-090	1	9	46	LS-125	2	8
21	LS-092	10	-	47	LS-129	-	10
22	LS-093	-	10	48	LS-132	-	10
23	LS-094	1	9	49	LS-135	10	-
24	LS-095	-	10	50	LS-136	10	-
25	LS-096	-	10	51	LS-138	4	6
26	LS-098	-	10	52	LS-145	10	-

ตารางที่ 1 สีของแผ่นใบ (leaf blade) ของประชากรรุ่น  $F_3$  จำนวน 100 สายพันธุ์ (ต่อ)

No.	No. sample	จำนวนต้น		No.	No. sample	จำนวนต้น	
		เขียว	เขียวขอบใบม่วง			เขียว	เขียวขอบใบม่วง
53	LS-146	3	7	79	LS-186	3	7
54	LS-147	2	8	80	LS-187	10	-
55	LS-148	2	8	81	LS-190	7	3
56	LS-151	3	7	82	LS-191	1	9
57	LS-153	-	10	83	LS-192	-	10
58	LS-155	3	7	84	LS-194	10	-
59	LS-156	4	6	85	LS-196	10	-
60	LS-157	10	-	86	LS-198	-	10
61	LS-159	3	7	87	LS-204	3	7
62	LS-160	2	8	88	LS-206	10	-
63	LS-161	1	9	89	LS-207	2	8
64	LS-162	5	5	90	LS-209	-	10
65	LS-164	10	-	91	LS-210	10	-
66	LS-166	3	7	92	LS-211	10	-
67	LS-169	10	-	93	LS-217	10	-
68	LS-170	2	8	94	LS-218	10	-
69	LS-171	-	10	95	LS-220	-	10
70	LS-173	3	7	96	LS-221	1	9
71	LS-174	8	2	97	LS-222	-	10
72	LS-175	-	10	98	LS-224	1	9
73	LS-176	5	5	99	LS-227	5	5
74	LS-177	4	6	100	LS-229	1	9
75	LS-180	2	8				
76	LS-182	5	5				
77	LS-183	-	10				
78	LS-185	5	5				

ตารางที่ 2 สีของกาบใบ (leaf sheath) ของประชากรรุ่น F<sub>3</sub> จำนวน 100 สายพันธุ์

No.	No. sample	จำนวนต้น		No.	No. sample	จำนวนต้น	
		เขียว	ม่วง			เขียว	ม่วง
1	LS-042	10	-	27	LS-099	-	10
2	LS-050	10	-	28	LS-100	ตายหมด	
3	LS-056	-	10	29	LS-102	-	10
4	LS-062	10	-	30	LS-104	2	8
5	LS-065	10	-	31	LS-105	9	1
6	LS-066	1	9	32	LS-106	6	-
7	LS-070	-	10	33	LS-107	10	-
8	LS-074	-	10	34	LS-108	7	3
9	LS-075	5	5	35	LS-110	9	1
10	LS-077	10	-	36	LS-111	1	9
11	LS-078	10	-	37	LS-112	1	9
12	LS-081	8	2	38	LS-113	-	10
13	LS-082	10	-	39	LS-114	10	-
14	LS-083	10	-	40	LS-116	10	-
15	LS-084	2	8	41	LS-117	1	9
16	LS-086	2	8	42	LS-118	8	2
17	LS-087	2	8	43	LS-120	2	8
18	LS-088	2	8	44	LS-122	9	1
19	LS-089	10	-	45	LS-123	-	10
20	LS-090	1	9	46	LS-125	3	7
21	LS-092	10	-	47	LS-129	-	10
22	LS-093	-	10	48	LS-132	-	10
23	LS-094	1	9	49	LS-135	10	-
24	LS-095	-	10	50	LS-136	10	-
25	LS-096	-	10	51	LS-138	3	7
26	LS-098	-	10	52	LS-145	10	-

ตารางที่ 2 สีของกาบใบ (leaf sheath) ของประชากรรุ่น F<sub>3</sub> จำนวน 100 สายพันธุ์ (ต่อ)

No.	No. sample	จำนวนต้น		No.	No. sample	จำนวนต้น	
		เขียว	ม่วง			เขียว	ม่วง
53	LS-146	3	7	79	LS-186	2	8
54	LS-147	1	9	80	LS-187	10	-
55	LS-148	3	7	81	LS-190	7	3
56	LS-151	3	7	82	LS-191	1	9
57	LS-153	-	10	83	LS-192	-	10
58	LS-155	3	7	84	LS-194	10	-
59	LS-156	4	6	85	LS-196	10	-
60	LS-157	10	-	86	LS-198	-	10
61	LS-159	4	6	87	LS-204	3	7
62	LS-160	2	8	88	LS-206	10	-
63	LS-161	3	7	89	LS-207	4	6
64	LS-162	5	5	90	LS-209	-	10
65	LS-164	10	-	91	LS-210	10	-
66	LS-166	3	7	92	LS-211	10	-
67	LS-169	10	-	93	LS-217	10	-
68	LS-170	1	9	94	LS-218	10	-
69	LS-171	-	10	95	LS-220	-	10
70	LS-173	2	8	96	LS-221	2	8
71	LS-174	9	1	97	LS-222	-	10
72	LS-175	-	10	98	LS-224	-	10
73	LS-176	5	5	99	LS-227	5	5
74	LS-177	4	6	100	LS-229	1	9
75	LS-180	2	8				
76	LS-182	5	5				
77	LS-183	-	10				
78	LS-185	5	5				



ตารางที่ 3 สีของเยื่อเกี่ยวพันน้ำฝน (ligule) ของประชากรรุ่น  $F_3$  จำนวน 100 สายพันธุ์

No.	No. sample	จำนวนต้น		No.	No. sample	จำนวนต้น	
		ขาว	ม่วง			ขาว	ม่วง
1	LS-042	10	-	27	LS-099	10	-
2	LS-050	10	-	28	LS-100	ตายหมด	
3	LS-056	2	8	29	LS-102	1	9
4	LS-062	10	-	30	LS-104	2	8
5	LS-065	10	-	31	LS-105	9	1
6	LS-066	4	6	32	LS-106	6	-
7	LS-070	10	-	33	LS-107	10	-
8	LS-074	-	10	34	LS-108	10	-
9	LS-075	5	5	35	LS-110	10	-
10	LS-077	10	-	36	LS-111	4	6
11	LS-078	10	-	37	LS-112	1	9
12	LS-081	9	1	38	LS-113	10	-
13	LS-082	10	-	39	LS-114	10	-
14	LS-083	10	-	40	LS-116	10	-
15	LS-084	3	7	41	LS-117	7	3
16	LS-086	5	5	42	LS-118	10	-
17	LS-087	4	6	43	LS-120	3	7
18	LS-088	10	-	44	LS-122	10	-
19	LS-089	10	-	45	LS-123	2	8
20	LS-090	2	8	46	LS-125	10	-
21	LS-092	10	-	47	LS-129	-	10
22	LS-093	2	8	48	LS-132	1	9
23	LS-094	4	6	49	LS-135	10	-
24	LS-095	10	-	50	LS-136	10	-
25	LS-096	3	7	51	LS-138	6	4
26	LS-098	2	8	52	LS-145	10	-

ตารางที่ 3 สีของเยื่อเกี่ยวพันน้ำฝน (ligule) ของประชากรรุ่น  $F_3$  จำนวน 100 สายพันธุ์ (ต่อ)

No.	No. sample	จำนวนต้น		No.	No. sample	จำนวนต้น	
		ขาว	ม่วง			ขาว	ม่วง
53	LS-146	10	-	79	LS-186	10	-
54	LS-147	9	1	80	LS-187	10	-
55	LS-148	10	-	81	LS-190	10	-
56	LS-151	5	5	82	LS-191	4	6
57	LS-153	1	9	83	LS-192	3	7
58	LS-155	4	6	84	LS-194	10	-
59	LS-156	5	5	85	LS-196	10	-
60	LS-157	10	-	86	LS-198	-	10
61	LS-159	4	6	87	LS-204	5	5
62	LS-160	10	-	88	LS-206	10	-
63	LS-161	4	6	89	LS-207	10	-
64	LS-162	7	3	90	LS-209	2	8
65	LS-164	10	-	91	LS-210	10	-
66	LS-166	3	7	92	LS-211	10	-
67	LS-169	10	-	93	LS-217	10	-
68	LS-170	2	8	94	LS-218	10	-
69	LS-171	2	8	95	LS-220	10	-
70	LS-173	10	-	96	LS-221	2	8
71	LS-174	10	-	97	LS-222	-	10
72	LS-175	10	-	98	LS-224	3	7
73	LS-176	5	5	99	LS-227	5	5
74	LS-177	7	3	100	LS-229	10	-
75	LS-180	2	8				
76	LS-182	10	-				
77	LS-183	3	7				
78	LS-185	6	4				

ตารางที่ 4 สีของเขี้ยวกันแมลง (auricle) ของประชากรรุ่น F<sub>3</sub> จำนวน 100 สายพันธุ์

No.	No. sample	จำนวนต้น		No.	No. sample	จำนวนต้น	
		ขาว	ม่วง			ขาว	ม่วง
1	LS-042	10	-	27	LS-099	10	-
2	LS-050	10	-	28	LS-100	ตายหมด	
3	LS-056	2	8	29	LS-102	1	9
4	LS-062	10	-	30	LS-104	2	8
5	LS-065	10	-	31	LS-105	9	1
6	LS-066	4	6	32	LS-106	6	-
7	LS-070	10	-	33	LS-107	10	-
8	LS-074	-	10	34	LS-108	10	-
9	LS-075	5	5	35	LS-110	10	-
10	LS-077	10	-	36	LS-111	4	6
11	LS-078	10	-	37	LS-112	1	9
12	LS-081	9	1	38	LS-113	10	-
13	LS-082	10	-	39	LS-114	10	-
14	LS-083	10	-	40	LS-116	10	-
15	LS-084	3	7	41	LS-117	7	3
16	LS-086	4	6	42	LS-118	10	-
17	LS-087	4	6	43	LS-120	2	8
18	LS-088	10	-	44	LS-122	10	-
19	LS-089	10	-	45	LS-123	2	8
20	LS-090	2	8	46	LS-125	9	1
21	LS-092	10	-	47	LS-129	-	10
22	LS-093	-	10	48	LS-132	1	9
23	LS-094	4	6	49	LS-135	10	-
24	LS-095	10	-	50	LS-136	10	-
25	LS-096	3	7	51	LS-138	6	4
26	LS-098	2	8	52	LS-145	10	-

ตารางที่ 4 สีของเขี้ยวกันแมลง (auricle) ของประชากรรุ่น F<sub>3</sub> จำนวน 100 สายพันธุ์ (ต่อ)

No.	No. sample	จำนวนต้น		No.	No. sample	จำนวนต้น	
		ขาว	ม่วง			ขาว	ม่วง
53	LS-146	10	-	79	LS-186	10	-
54	LS-147	9	1	80	LS-187	10	-
55	LS-148	7	3	81	LS-190	10	-
56	LS-151	5	5	82	LS-191	4	6
57	LS-153	1	9	83	LS-192	3	7
58	LS-155	4	6	84	LS-194	10	-
59	LS-156	4	6	85	LS-196	10	-
60	LS-157	10	-	86	LS-198	-	10
61	LS-159	4	6	87	LS-204	5	5
62	LS-160	10	-	88	LS-206	10	-
63	LS-161	4	6	89	LS-207	10	-
64	LS-162	7	3	90	LS-209	2	8
65	LS-164	10	-	91	LS-210	10	-
66	LS-166	3	7	92	LS-211	10	-
67	LS-169	10	-	93	LS-217	10	-
68	LS-170	2	8	94	LS-218	10	-
69	LS-171	2	8	95	LS-220	10	-
70	LS-173	10	-	96	LS-221	2	8
71	LS-174	10	-	97	LS-222	-	10
72	LS-175	10	-	98	LS-224	3	7
73	LS-176	5	5	99	LS-227	5	5
74	LS-177	7	3	100	LS-229	10	-
75	LS-180	2	8				
76	LS-182	10	-				
77	LS-183	3	7				
78	LS-185	6	4				

ตารางที่ 5 สีของยอดเกสรเพศเมีย (stigma) ของประชากรรุ่น  $F_3$  จำนวน 100 สายพันธุ์

No.	No. sample	จำนวนต้น		No.	No. sample	จำนวนต้น	
		ขาว	ม่วง			ขาว	ม่วง
1	LS-042	9	1	27	LS-099	2	8
2	LS-050	10	-	28	LS-100	ตายหมด	
3	LS-056		10	29	LS-102	-	10
4	LS-062	5	5	30	LS-104	3	7
5	LS-065	10	-	31	LS-105	10	-
6	LS-066	1	9	32	LS-106	6	-
7	LS-070	-	10	33	LS-107	10	-
8	LS-074	-	10	34	LS-108	9	1
9	LS-075	4	6	35	LS-110	5	5
10	LS-077	10	-	36	LS-111	2	8
11	LS-078	3	7	37	LS-112	2	8
12	LS-081	1	9	38	LS-113	-	10
13	LS-082	10	-	39	LS-114	9	1
14	LS-083	8	2	40	LS-116	10	-
15	LS-084	2	8	41	LS-117	3	7
16	LS-086	4	6	42	LS-118	10	-
17	LS-087	2	8	43	LS-120	3	7
18	LS-088	5	5	44	LS-122	10	-
19	LS-089	10	-	45	LS-123	2	8
20	LS-090	2	8	46	LS-125	3	7
21	LS-092	10	-	47	LS-129	-	10
22	LS-093	-	10	48	LS-132	-	10
23	LS-094	2	8	49	LS-135	10	-
24	LS-095	-	10	50	LS-136	10	-
25	LS-096	-	10	51	LS-138	2	8
26	LS-098	-	10	52	LS-145	10	-

ตารางที่ 5 สีของยอดเกสรเพศเมีย (stigma) ของประชากรรุ่น  $F_3$  จำนวน 100 สายพันธุ์ (ต่อ)

No.	No. sample	จำนวนต้น		No.	No. sample	จำนวนต้น	
		ขาว	ม่วง			ขาว	ม่วง
53	LS-146	3	7	79	LS-186	1	9
54	LS-147	1	9	80	LS-187	7	3
55	LS-148	4	6	81	LS-190	8	2
56	LS-151	5	5	82	LS-191	1	9
57	LS-153	-	10	83	LS-192	-	10
58	LS-155	-	10	84	LS-194	10	-
59	LS-156	5	5	85	LS-196	7	3
60	LS-157	8	2	86	LS-198	1	9
61	LS-159	4	6	87	LS-204	2	8
62	LS-160	2	8	88	LS-206	9	1
63	LS-161	3	7	89	LS-207	3	7
64	LS-162	4	6	90	LS-209	-	10
65	LS-164	9	1	91	LS-210	10	-
66	LS-166	3	7	92	LS-211	10	-
67	LS-169	10	-	93	LS-217	8	2
68	LS-170	1	9	94	LS-218	10	-
69	LS-171	-	10	95	LS-220	-	10
70	LS-173	2	8	96	LS-221	1	9
71	LS-174	10	-	97	LS-222	-	10
72	LS-175	-	10	98	LS-224	2	8
73	LS-176	4	6	99	LS-227	5	5
74	LS-177	6	4	100	LS-229	-	10
75	LS-180	2	8				
76	LS-182	5	5				
77	LS-183	2	8				
78	LS-185	7	3				

ตารางที่ 6 สีของเปลือกเมล็ด (stigma) ของประชากรรุ่น F<sub>3</sub> จำนวน 100 สายพันธุ์

No.	No. Sample	จำนวนต้น			No.	No. Sample	จำนวนต้น		
		ขาว	น้ำตาล	ม่วง			ขาว	น้ำตาล	ม่วง
1	LS-042	4	1	4	27	LS-099	10	-	-
2	LS-050	10	-	-	28	LS-100	ตายหมด		
3	LS-056	3	-	7	29	LS-102	-	1	8
4	LS-062	9	-	1	30	LS-104	-	-	10
5	LS-065	2	2	6	31	LS-105	-	-	10
6	LS-066	3	1	6	32	LS-106	2	2	2
7	LS-070	10	-	-	33	LS-107	10	-	-
8	LS-074	-	-	8	34	LS-108	8	-	1
9	LS-075	-	-	10	35	LS-110	10	-	-
10	LS-077	3	5	2	36	LS-111	3	1	4
11	LS-078	-	10	-	37	LS-112	-	1	9
12	LS-081	-	2	7	38	LS-113	10	-	-
13	LS-082	10	-	-	39	LS-114	-	-	10
14	LS-083	10	-	-	40	LS-116	10	-	-
15	LS-084	1	4	5	41	LS-117	3	-	5
16	LS-086	3	-	6	42	LS-118	2	-	7
17	LS-087	3	2	5	43	LS-120	-	2	8
18	LS-088	10	-	-	44	LS-122	3	2	4
19	LS-089	2	2	6	45	LS-123	-	-	10
20	LS-090	-	2	8	46	LS-125	9	-	-
21	LS-092	10	-	-	47	LS-129	-	-	10
22	LS-093	-	2	7	48	LS-132	2	4	1
23	LS-094	2	2	6	49	LS-135	10	-	-
24	LS-095	10	-	-	50	LS-136	-	-	10
25	LS-096	3	1	6	51	LS-138	3	5	1
26	LS-098	2	-	7	52	LS-145	9	-	-

ตารางที่ 6 สีของเปลือกเมล็ด (stigma) ของประชากรรุ่น  $F_3$  จำนวน 100 สายพันธุ์ (ต่อ)

No.	No. Sample	จำนวนต้น			No.	No. Sample	จำนวนต้น		
		ขาว	น้ำตาล	ม่วง			ขาว	น้ำตาล	ม่วง
53	LS-146	10	-	-	79	LS-186	10	-	-
54	LS-147	9	1	-	80	LS-187	10	-	-
55	LS-148	10	-	-	81	LS-190	1	3	6
56	LS-151	1	1	7	82	LS-191	4	-	5
57	LS-153	1	1	7	83	LS-192	3	-	6
58	LS-155	1	1	7	84	LS-194	1	-	9
59	LS-156	1	6	3	85	LS-196	1	1	8
60	LS-157	-	4	6	86	LS-198	-	-	10
61	LS-159	1	4	5	87	LS-204	3	-	4
62	LS-160	10	-	-	88	LS-206	-	-	10
63	LS-161	3	-	7	89	LS-207	10	-	-
64	LS-162	3	2	4	90	LS-209	-	1	7
65	LS-164	10	-	-	91	LS-210	10	-	-
66	LS-166	-	-	10	92	LS-211	1	-	7
67	LS-169	9	-	1	93	LS-217	4	-	5
68	LS-170	-	1	9	94	LS-218	10	-	-
69	LS-171	2	-	7	95	LS-220	9	-	-
70	LS-173	10	-	-	96	LS-221	-	2	7
71	LS-174	3	2	4	97	LS-222	-	8	-
72	LS-175	10	-	-	98	LS-224	1	4	3
73	LS-176	-	-	10	99	LS-227	-	2	8
74	LS-177	2	2	3	100	LS-229	10	-	-
75	LS-180	-	2	5					
76	LS-182	1	5	3					
77	LS-183	3	1	5					
78	LS-185	-	3	6					



ตารางที่ 7 ค่าเฉลี่ย L\* c\* และ h\* ของสีเปลือกเมล็ด (stigma) ในประชากรรุ่น F<sub>3</sub> จำนวน 100 สายพันธุ์

No.	No. Sample	ค่าเฉลี่ย			No.	No. Sample	ค่าเฉลี่ย		
		L*	c*	h*			L*	c*	h*
1	LS-042	46.1	20.0	56.1	27	LS-099	63.9	21.8	69.2
2	LS-050	62.6	23.0	68.5	28	LS-100	ตายหมด		
3	LS-056	38.5	16.5	45.0	29	LS-102	28.1	14.6	36.9
4	LS-062	58.8	20.9	62.5	30	LS-104	34.5	19.5	48.9
5	LS-065	40.3	20.9	52.8	31	LS-105	29.9	16.4	42.2
6	LS-066	38.6	17.0	47.6	32	LS-106	44.1	20.9	53.6
7	LS-070	62.4	21.8	68.5	33	LS-107	64.1	22.2	68.9
8	LS-074	24.7	12.7	29.3	34	LS-108	57.3	20.5	63.0
9	LS-075	25.8	12.6	27.5	35	LS-110	61.9	22.1	68.8
10	LS-077	48.4	20.7	58.7	36	LS-111	41.1	16.4	48.5
11	LS-078	37.7	20.9	50.1	37	LS-112	29.8	16.4	44.2
12	LS-081	29.6	15.7	36.2	38	LS-113	62.8	21.6	69.3
13	LS-082	62.2	22.8	69.2	39	LS-114	20.5	5.6	13.8
14	LS-083	63.3	22.2	68.8	40	LS-116	63.1	22.8	69.8
15	LS-084	34.9	17.7	43.0	41	LS-117	36.2	13.1	37.8
16	LS-086	34.5	12.4	33.3	42	LS-118	34.1	14.8	39.2
17	LS-087	43.7	20.9	54.7	43	LS-120	24.0	10.5	25.0
18	LS-088	63.9	21.4	67.1	44	LS-122	39.7	16.3	46.2
19	LS-089	37.4	17.3	41.0	45	LS-123	24.8	11.6	30.8
20	LS-090	25.9	10.8	26.7	46	LS-125	60.9	22.2	69.1
21	LS-092	62.2	22.6	69.4	47	LS-129	20.5	7.4	19.2
22	LS-093	31.4	11.7	34.6	48	LS-132	42.2	20.2	54.7
23	LS-094	42.3	21.1	51.8	49	LS-135	62.4	21.5	70.0
24	LS-095	63.9	21.8	69.5	50	LS-136	21.2	8.0	19.9
25	LS-096	36.0	14.7	43.3	51	LS-138	47.6	21.5	60.5
26	LS-098	34.6	15.1	39.0	52	LS-145	61.9	21.6	69.2

ตารางที่ 7 ค่าเฉลี่ย L\* c\* และ h\* ของสีเปลือกเมล็ด (stigma) ในประชากรรุ่น F<sub>3</sub> จำนวน 100 สายพันธุ์ (ต่อ)

No.	No. Sample	ค่าเฉลี่ย			No.	No. Sample	ค่าเฉลี่ย		
		L*	c*	h*			L*	c*	h*
53	LS-146	62.2	21.7	70.0	79	LS-186	62.0	21.3	69.8
54	LS-147	60.3	21.7	67.0	80	LS-187	65.2	22.8	66.6
55	LS-148	62.2	21.7	70.2	81	LS-190	39.3	22.0	53.3
56	LS-151	30.9	14.0	37.2	82	LS-191	41.8	14.6	41.9
57	LS-153	30.0	11.9	34.5	83	LS-192	38.6	14.5	44.2
58	LS-155	28.9	11.9	30.9	84	LS-194	29.7	13.4	32.9
59	LS-156	39.9	18.1	52.1	85	LS-196	31.6	14.5	38.6
60	LS-157	28.6	14.4	34.4	86	LS-198	25.9	12.0	33.0
61	LS-159	37.3	18.0	47.7	87	LS-204	39.3	15.0	44.8
62	LS-160	63.6	21.7	70.2	88	LS-206	22.7	8.6	17.8
63	LS-161	35.3	13.1	36.5	89	LS-207	63.4	21.0	70.4
64	LS-162	44.5	20.4	56.9	90	LS-209	25.7	11.8	31.7
65	LS-164	62.0	21.7	68.2	91	LS-210	65.5	21.5	70.7
66	LS-166	22.5	9.3	21.5	92	LS-211	27.6	11.4	27.6
67	LS-169	59.5	21.1	66.1	93	LS-217	40.2	13.3	41.0
68	LS-170	34.5	20.5	49.4	94	LS-218	63.2	21.8	69.3
69	LS-171	35.4	15.7	39.8	95	LS-220	63.5	21.9	69.9
70	LS-173	62.8	21.5	68.4	96	LS-221	30.1	15.4	39.2
71	LS-174	44.2	20.9	55.0	97	LS-222	38.0	21.6	53.5
72	LS-175	62.9	20.9	67.8	98	LS-224	39.4	18.0	49.0
73	LS-176	26.2	13.2	29.9	99	LS-227	25.4	11.9	27.8
74	LS-177	43.1	18.9	49.2	100	LS-229	63.5	20.7	70.6
75	LS-180	29.8	16.3	38.1					
76	LS-182	37.7	20.3	51.1					
77	LS-183	40.1	17.3	47.7					
78	LS-185	32.9	17.7	45.3					