บทที่ 4
ผลการทดลอง

ลักษณะทางการเกษตรของประชากรข้าวรุ่น F_2

การศึกษาลักษณะการเจริญเติบโตของข้าวในประชากร F_2 ของคู่ผสมระหว่าง P5 x กข11, P5 x R3 และ P5 x ปทุมธานี1 ในลักษณะการแตกกอ พบว่า P5 x ปทุมธานี1 มีลักษณะการแตกกอเฉลี่ยสูงที่สุดในทางสถิติ (*P-value* = 0.0001) มีค่าเท่ากับ 15.98 ต้น โดยมีต้นที่แตกกอมากที่สุด 51 ต้น ในขณะมีต้นที่แตกกอน้อยสุดจำนวน 2 ต้น (ตาราง 2) โดยมีค่าใกล้เคียงกับ P5 x กข11 ที่มี การแตกกอน้อยที่สุดมีเพียง 1 ต้น ซึ่งน้อยที่สุดโดยสอดคล้องกับค่าอื่นๆ ในคู่ผสมด้วย ส่วน P5 x R3 มีค่าต่างๆ อยู่ระหว่างค่าของ P5 x กข11 และ P5 x ปทุมธานี1 ยกเว้นมีต้นที่แตกกอน้อยที่สุดมีจำนวนมากกว่า P5 x ปทุมธานี1 ที่มีการแตกกอเฉลี่ยสูงที่สุด จำนวน 2 ต้น

ตาราง 2 ลักษณะทางการเกษตรของประชากรข้าวรุ่น F_2

ลักษณะ	คู่ผสม	ค่าเฉลี่ย	*se*	ค่าสูงสุด	ค่าต่ำสุด
การแตกกอ (ต้นต่อกอ)	P5 x กข11	6.95±3.81[b]	0.26	24.00	1.00
	P5 x R3	11.30±4.39[b]	0.39	26.00	4.00
	P5 x ปทุมธานี1	15.98±8.88[a]	0.54	51.00	2.00
ความสูง (เซนติเมตร)	P5 x กข11	87.39±16.20[b]	1.12	128.00	45.00
	P5 x R3	95.03±20.21[a]	1.81	147.00	16.00
	P5 x ปทุมธานี1	87.38±16.80[b]	1.02	135.00	45.00
วันออกดอก (วัน)	P5 x กข11	85.94±13.82[a]	0.96	129.00	55.00
	P5 x R3	82.82±13.95[a]	1.25	128.00	56.00
	P5 x ปทุมธานี1	83.44±11.92[a]	0.73	131.00	56.00

หมายเหตุ: ตัวอักษรที่ต่างกันในแนวตั้งมีความแตกต่างกันทางสถิติที่ระดับนัยสำคัญทางสถิติ 0.01 เมื่อเปรียบเทียบความแตกต่างของค่าเฉลี่ยโดยวิธี LSD

สำหรับในลักษณะความสูง พบว่า P5 x R3 มีความสูงเฉลี่ยสูงสุดในทางสถิติ (*P-value* = 0.0001) มีค่าเท่ากับ 95.03 เซนติเมตร โดยมีต้นสูงที่สุด 147 เซนติเมตร ส่วนต้นต่ำสุดสูงเพียง 16 เซนติเมตร ซึ่งต่ำกว่า P5 x กข11 และ P5 x ปทุมธานี1 ที่มีความสูงของต้นต่ำสุดเท่ากันโดยสูงกว่า P5 x R3 เท่ากับ 29 เซนติเมตร แต่มีความสูงเฉลี่ยต่ำกว่า P5 x R3 เท่ากับ 8 เซนติเมตร แต่พบว่า คู่ผสมระหว่าง P5 x กข11 มีต้นที่สูงที่สุดมีค่าน้อยที่สุดจากทั้ง 3 คู่ผสม โดยมีค่าเท่ากับ 128 เซนติเมตร (ตาราง 2) ส่วนจำนวนวันออกดอก พบว่า P5 x R3 โดยเฉลี่ยแล้วใช้เวลาเจริญเติบโตถึงออกดอกเร็วที่สุด คือ 82.82 วัน แต่ไม่แตกต่างกับ P5 x กข11 ที่ออกดอกช้าที่สุดที่ระดับนัยสำคัญทางสถิติ 0.01 ซึ่งโดยเฉลี่ยแล้วช้ากว่า P5 x R3 และ P5 x ปทุมธานี1 เป็นเวลา 3 และ 2 วัน ตามลำดับ แต่ P5 x กข11 ก็มีต้นที่ออกดอกเร็วที่สุดโดยเร็วกว่า P5 x R3 และ P5 x ปทุมธานี1 ที่ออกดอกเร็วที่สุดเท่ากันคือ 56 วัน เป็นเวลา 1 วัน ส่วน P5 x ปทุมธานี1 ถึงแม้ว่าโดยเฉลี่ยออกดอกเร็วกว่า P5 x กข11 แต่มีต้นที่ออกดอกช้าที่สุดจากทั้ง 3 คู่ผสม คือ 131 วัน ช้ากว่า P5 x R3 และ P5 x กข11 เป็นเวลา 3 และ 2 วัน ตามลำดับ

การถ่ายทอดลักษณะสีม่วงของต้นข้าวในประชากรรุ่น F_2

จากลักษณะของต้นข้าวพันธุ์ P5 คือ มีสีม่วงที่โคนต้น เขี้ยวใบ เยื่อกันน้ำฝน ขอบใบและปล้อง ส่วนต้นข้าวพันธุ์ กข11 R3 และปทุมธานี1 เป็นพันธุ์ที่มีโคนต้น เขี้ยวใบ ขอบใบ และปล้อง มีสีเขียว ส่วนเยื่อกันน้ำฝนมีสีขาว เมื่อผสมข้ามระหว่าง P5 x กข11, P5 x R3 และ P5 x ปทุมธานี1 พบว่า ประชากรรุ่น F_1 ทุกต้น แสดงลักษณะโคนต้นเป็นสีแดง ส่วนเขี้ยวใบ ขอบใบ เยื่อกันน้ำฝนและปล้อง มีสีม่วงและทำการคัดเลือกประชากรรุ่น F_1 จากทั้ง 3 คู่ผสม แล้วทำการผสมตัวเอง เพื่อศึกษาความแปรปรวนของการถ่ายทอดลักษณะสีในประชากรรุ่น F_2 ของการปรากฏสีม่วงและสีเขียวหรือสีขาวของโคนต้น ปล้อง เขี้ยวใบ เยื่อกันน้ำฝน ขอบใบ ซึ่งต้องทำการบันทึกข้อมูลลักษณะของสี (ภาพ 2)

ลักษณะสีที่บันทึกเป็นสีเขียว ลักษณะสีที่บันทึกเป็นสีม่วง

ภาพ 2 ลักษณะสีของต้นข้าวที่ได้ทำการบันทึกข้อมูลในการวิเคราะห์ไดสแควร์

โดยการทดสอบค่าไคสแควร์ตามสมมติฐานของสีม่วงต่อสีเขียวหรือขาวที่อัตราส่วน 3 : 1, 15 :1 และ 9 : 7 โดยที่ 3 : 1 เป็นอัตราส่วนที่มียีนจำนวน 1 คู่ควบคุมลักษณะสี ส่วน 15 : 1 และ 9 : 7 เป็นอัตราส่วนที่มียีนจำนวน 2 คู่ควบคุมลักษณะสี จากการทดสอบไคสแควร์ของลักษณะสีของใบ พบว่า อัตราการกระจายตัวในประชากรรุ่น F_2 จากทั้ง 3 คู่ผสม โดยคู่ผสม P5 x กข11 มีสัดส่วนการกระจายตัวของสีม่วง : สีเขียวของประชากรรุ่น F_2 แตกต่างไปจากคู่ผสมอื่น พบว่า มีอัตราส่วนเท่ากับ 3 : 1 สอดคล้องกับทฤษฎีของเมนเดลที่มียีนจำนวน 1 คู่ ควบคุมลักษณะ มีปฏิกิริยายีนแบบข่มสมบูรณ์ เนื่องจากค่าไคสแควร์ที่ทดสอบไม่เบี่ยงเบนไปจากสัดส่วนที่คาดหมายในทางสถิติที่ระดับนัยสำคัญ 0.05 ($\chi^2_{0.05,\ 1}$ = 3.84) ส่วนคู่ผสม P5 x R3 และ P5 x ปทุมธานี1 มีสัดส่วนการกระจายตัวของสีม่วง : สีเขียวในประชากรรุ่น F_2 ที่อัตราส่วน เท่ากับ 9 : 7 (ตาราง 3) เนื่องจากลักษณะสีม่วงมียีนควบคุม 2 คู่ มีปฏิกิริยายีนแบบข่มไม่สมบูรณ์และสีเขียวเป็น homozygous recessive ยีนควบคุมสีม่วงเป็น semi-epistatic และค่าไคสแควร์ที่ทดสอบไม่เบี่ยงเบนไปจากสัดส่วนที่คาดหมายในทางสถิติที่ระดับนัยสำคัญ 0.05

ตาราง 3 ค่าไคสแควร์ที่ทดสอบสัดส่วนการแสดงออกของสีของใบในประชากรข้าวรุ่น F_2

คู่ผสม	สีที่บันทึกได้		สัดส่วนที่คาดหมาย	χ^2	*P*- Value
	ม่วง	เขียว			
P5 x กข11	148	61	3 : 1	1.950	0.1600
			15 : 1	187.650	0.0001
			9 : 7	18.010	0.0001
P5 x R3	70	55	3 : 1	24.070	0.0001
			15 : 1	304.010	0.0001
			9 : 7	0.003	0.9600
P5 x ปทุมธานี1	151	119	3 : 1	52.390	0.0001
			15 : 1	659.250	0.0001
			9 : 7	0.012	0.9200

ส่วนการทดสอบไคสแควร์ของลักษณะสีปล้อง สีเยื่อหุ้มน้ำฝนและสีเขี้ยวใบ โดยทั้ง 3 ลักษณะมีอัตราส่วนการกระจายตัวของลักษณะสีม่วง : สีเขียวหรือสีขาวในประชากรรุ่น F_2 มีสัดส่วนเช่นเดียวกัน โดยลักษณะสีปล้อง พบว่า P5 x กข11, P5 x R3 และ P5 xปทุมธานี1 มีอัตราการกระจายตัวของประชากรรุ่น F_2 ในอัตราส่วนสีม่วง : สีเขียว เท่ากับ 9 : 7 (ตาราง 4) เนื่องจากลักษณะสีม่วงมียีนควบคุม 2 คู่ มีปฏิกิริยายีนแบบข่มไม่สมบูรณ์และสีเขียวเป็น homozygous recessive ยีนควบคุมสีม่วงเป็น semi-epistatic และค่าไคสแควร์ที่ทดสอบไม่เบี่ยงเบนไปจากสัดส่วนที่คาดหมายในทางสถิติที่ระดับนัยสำคัญ 0.05

ตาราง 4 ค่าไคสแควร์ที่ทดสอบสัดส่วนการแสดงออกของสีปล้องในประชากรข้าวรุ่น F_2

คู่ผสม	สีที่บันทึกได้		สัดส่วนที่คาดหมาย	χ^2	*P*- Value
	ม่วง	เขียว			
P5 x กข11	125	84	3 : 1	25.740	0.0001
			15 : 1	410.920	0.0001
			9 : 7	1.075	0.3000
P5 x R3	70	55	3 : 1	24.070	0.0001
			15 : 1	304.010	0.0001
			9 : 7	0.003	0.9600
P5 x ปทุมธานี1	142	128	3 : 1	72.300	0.0001
			15 : 1	780.560	0.0001
			9 : 7	1.470	0.2210

ส่วนการทดสอบไคสแควร์ของลักษณะสีเยื่อกันน้ำฝนพบว่า คู่ผสมทั้ง P5 x กข11, P5 x R3 และ P5 x ปทุมธานี1 มีอัตราการกระจายตัวของประชากรรุ่น F_2 ในอัตราส่วนสีม่วง : สีขาว เท่ากับ 9 : 7 (ตาราง 5) เนื่องจากลักษณะสีม่วงมียีนควบคุม 2 คู่ มีปฏิกิริยายีนแบบข่มไม่สมบูรณ์ และสีเขียวเป็น homozygous recessive ยีนควบคุมสีม่วงเป็น semi-epistatic และค่าไคสแควร์ที่ทดสอบไม่เบี่ยงเบนไปจากสัดส่วนที่คาดหมายในทางสถิติที่ระดับนัยสำคัญ 0.05

ตาราง 5 ค่าไคสแควร์ที่ทดสอบสัดส่วนการแสดงออกของสีเยื่อกันน้ำฝนในประชากรข้าวรุ่น F_2

คู่ผสม	สีที่บันทึกได้		สัดส่วนที่คาดหมาย	χ^2	*P*- Value
	ม่วง	ขาว			
P5 x กข11	118	91	3 : 1	38.320	0.0001
			15 : 1	496.020	0.0001
			9 : 7	0.004	0.9510
P5 x R3	72	53	3 : 1	43.010	0.0001
			15 : 1	415.830	0.0001
			9 : 7	2.250	0.1300
P5 x ปทุมธานี1	157	113	3 : 1	40.890	0.0001
			15 : 1	584.060	0.0001
			9 : 7	0.395	0.5300

การทดสอบไคสแควร์ของลักษณะสีเขี้ยวใบ พบว่า คู่ผสมระหว่าง P5 x กข11, P5 x R3 และ P5 x ปทุมธานี1 มีอัตราการกระจายตัวของประชากรรุ่น F_2 ในอัตราส่วนสีม่วง : สีเขียวหรือขาว เท่ากับ 9 : 7 (ตาราง 6) เนื่องจากลักษณะสีม่วงมียีนควบคุม 2 คู่ มีปฏิกิริยายีนแบบข่มไม่สมบูรณ์และสีเขียวเป็น homozygous recessive ยีนควบคุมสีม่วงเป็น semi-epistatic และค่าไคสแควร์ที่ทดสอบไม่เบี่ยงเบนไปจากสัดส่วนที่คาดหมายในทางสถิติที่ระดับนัยสำคัญ 0.05

ตาราง 6 ค่าไคสแควร์ที่ทดสอบสัดส่วนการแสดงออกของสีเขี้ยวใบในข้าวลูกผสมรุ่น F_2

คู่ผสม	สีที่บันทึกได้		สัดส่วนที่คาดหมาย	χ^2	*P*- Value
	ม่วง	เขียว			
P5 x กข11	128	81	3 : 1	21.100	0.0001
			15 : 1	386.900	0.0001
			9 : 7	2.120	0.1500
P5 x R3	73	52	3 : 1	18.370	0.0001
			15 : 1	266.590	0.0001
			9 : 7	0.240	0.6300
P5 x ปทุมธานี1	181	89	3 : 1	48.400	0.0001
			15 : 1	633.680	0.0001
			9 : 7	0.020	0.8900

ส่วนการทดสอบไคสแควร์ของลักษณะสีโคนต้น พบว่า แต่ละคู่ผสมมีอัตราส่วนการกระจายตัวของสีม่วง : สีเขียว ทั้ง 3 คู่ผสมแตกต่างกัน (ตาราง 7) โดยคู่ผสม P5 x กข11 และ P5 x ปทุมธานี1 มีการกระจายตัวของสัดส่วนสีม่วง : สีเขียว ในประชากรรุ่น F_2 ในอัตราส่วน 3 : 1 สอดคล้องกับทฤษฎีของเมนเดลที่มียีนจำนวน 1 คู่ควบคุมลักษณะ โดยมีปฏิกิริยายีนแบบข่มสมบูรณ์ เนื่องจากค่าไคสแควร์ที่ทดสอบไม่เบี่ยงเบนไปจากสัดส่วนที่คาดหมายในทางสถิติที่ระดับนัยสำคัญ 0.05 ส่วนคู่ผสมระหว่าง P5 x R3 พบว่า การกระจายตัวของประชากรรุ่น F_2 ไม่สอดคล้องทั้งกับอัตราส่วน 3 : 1 ที่มียีน 1 คู่ควบคุมลักษณะและอัตราส่วน 15 : 1 และ 9 : 7 ซึ่งมียีนจำนวน 2 คู่ควบคุมลักษณะ เนื่องจากค่าไคสแควร์ที่ทดสอบเบี่ยงเบนไปจากสัดส่วนที่คาดหมายในทางสถิติที่ระดับนัยสำคัญ 0.05 (ตาราง 7)

ตาราง 7 ค่าไคสแควร์ที่ทดสอบสัดส่วนการแสดงออกของสีโคนต้นในข้าวลูกผสมรุ่น F_2

คู่ผสม	สีที่บันทึกได้		สัดส่วนที่คาดหมาย	χ^2	*P*- Value
	ม่วง	เขียว			
P5 x กข11	158	51	3 : 1	0.040	0.8420
			15 : 1	117.530	0.0001
			9 : 7	31.790	0.0001
P5 x R3	82	43	3 : 1	5.890	0.0150
			15 : 1	169.050	0.0001
			9 : 7	4.440	0.0350
P5 x ปทุมธานี1	201	69	3 : 1	0.044	0.8330
			15 : 1	36.320	0.0001
			9 : 7	7.360	0.0070

ความสัมพันธ์ระหว่างสีม่วงที่ปรากฏบนส่วนต่างๆ ในประชากรข้าวรุ่น F_2

จากการศึกษาลักษณะการปรากฏของสีม่วงที่โคนต้น ปล้อง เขี้ยวใบ เยื่อกันน้ำฝน และขอบใบ ในข้าวประชากร F_2 ของคู่ผสมระหว่าง P5 x กข11, P5 x R3 และ P5 x ปทุมธานี1 โดยการวิเคราะห์ความสัมพันธ์ระหว่างสีม่วงที่โคนต้น ปล้อง เขี้ยวใบ เยื่อกันน้ำฝนและขอบใบ เมื่อพิจารณาค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ (r) ของสีม่วงที่ส่วนต่างๆ ของต้นข้าว พบว่า ทุกลักษณะมีความสัมพันธ์กันในทางบวกทางสถิติ (*P-value* = 0.0001) ทั้ง 3 คู่ผสม (ตาราง 8) เนื่องจากเมื่อชิ้นส่วนของต้นข้าวส่วนใดส่วนหนึ่งมีสีม่วงปรากฏขึ้น เช่น สีม่วงปรากฏที่โคนต้นในขณะสีที่ส่วนอื่นๆ เช่น สีที่ขอบใบ สีที่ปล้อง สีที่เขี้ยวใบ และสีที่เยื่อกันน้ำฝนมีสีม่วงปรากฏขึ้นด้วย และมีความสอดคล้องดังนี้ในทุกลักษณะ โดยความสัมพันธ์ระหว่างสีโคนต้นกับสีที่ส่วนต่างๆ ของต้นข้าว มีความสัมพันธ์กันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ พบว่า ในคู่ผสมระหว่าง P5 x กข11 และ P5 x ปทุมธานี1 ลักษณะสีโคนต้น มีความสัมพันธ์กับสีขอบใบสูงสุดในทางสถิติ (*P-value* = 0.0001) มีค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์เท่ากับ 0.43 และ 0.38 ส่วนคู่ผสมระหว่าง P5 x R3 ลักษณะสีโคนต้นมีความสัมพันธ์กับสีเขี้ยวใบและสีปล้องสูงสุดในทางสถิติ (*P-value* = 0.0001) มีค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์เท่ากับ 0.35 ในทั้งสองลักษณะ ส่วนลักษณะสีที่ส่วนอื่นๆ พบว่า ส่วนใหญ่มีความสัมพันธ์

กับสีเขี้ยวใบทั้ง 3 คู่ผสม โดยเรียงจากมากไปน้อย คือ สีเยื่อกันน้ำฝน สีปล้องและสีขอบใบในคู่ผสมระหว่าง P5 x กข11 ซึ่งมีค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์เท่ากับ 0.83, 0.75 และ 0.59 ตามลำดับ ส่วนคู่ผสมระหว่าง P5 x R3 มีค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์เท่ากับ 0.84, 0.82 และ 0.56 ตามลำดับ แต่คู่ผสมระหว่าง P5 x ปทุมธานี1 พบว่า สีปล้องมีค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์สูงสุด รองลงมา คือ สีเยื่อกันน้ำฝนและสีขอบใบ มีค่าเท่ากับ 0.67, 0.63 และ 0.47 ตามลำดับ

ตาราง 8 ค่าสหสัมพันธ์ระหว่างสีม่วงที่ปรากฏในประชากรต้นข้าวลูกผสมรุ่น F_2

ลักษณะ	คู่ผสม ♣	สีโคนต้น	สีเขี้ยวใบ	สีเยื่อกันน้ำฝน	สีปล้อง
สีเขี้ยวใบ	P5 x กข11	0.36**			
	P5 x R3	0.35**			
	P5 x ปทุมธานี1	0.34**			
สีเยื่อกันน้ำฝน	P5 x กข11	0.29**	0.83**		
	P5 x R3	0.30**	0.84**		
	P5 x ปทุมธานี1	0.19**	0.63**		
สีปล้อง	P5 x กข11	0.34**	0.75**	0.74**	
	P5 x R3	0.35**	0.82**	0.72**	
	P5 x ปทุมธานี1	0.36**	0.67**	0.57**	
สีขอบใบ	P5 x กข11	0.43**	0.59**	0.56**	0.57**
	P5 x R3	0.28**	0.56**	0.49**	0.55**
	P5 x ปทุมธานี1	0.38**	0.47**	0.39**	0.42**

หมายเหตุ: ♣ คู่ผสม P5 x กข11 ทดสอบที่ระดับนัยสำคัญทางสถิติ 0.01 ($r_{0.01, 207} = 0.175$)
คู่ผสม P5 x R3 ทดสอบที่ระดับนัยสำคัญทางสถิติ 0.01 ($r_{0.01, 123} = 0.232$)
คู่ผสม P5 x ปทุมธานี1 ทดสอบที่ระดับนัยสำคัญทางสถิติ 0.01 ($r_{0.01, 268} = 0.166$)

ค่าสีของเมล็ดข้าวในประชากรรุ่น F_2 เมื่อคำนวณด้วยค่า L*, a*, b* และดัชนีสีต่างๆ

การศึกษาค่าสีม่วงของเมล็ดข้าวในประชากรรุ่น F_2 ของคู่ผสมระหว่าง P5 x กข11 จำนวน 114 ต้น (ตัวอย่าง) โดยวัดสีตัวอย่างละ 4 ซ้ำ (ครั้ง) ด้วยเครื่อง Tri-stimulus colorimeter แสดงค่าเป็น L*, a* และ b* และนำค่าที่ได้ไปคำนวณค่า H° และ C ตามสูตร นอกจากนั้นดำเนินการจัดกลุ่มสีของเมล็ดข้าว จากการประเมินด้วยสายตาโดยเทียบสีของตัวอย่างเมล็ดข้าวกับชุดเทียบสี Munsell book ซึ่งสามารถแยกได้ 5 สี ได้แก่ สีเหลือง สีเหลืองแดง สีแดง สีแดงม่วงและสีม่วง หลังจากนั้นนำค่า L*, a*, b*, H° และ C คำนวณค่าเฉลี่ยตามสีที่ได้จัดไว้ พบว่า เมื่อสีของเมล็ดข้าวเข้มขึ้น ค่า L*, b*, H° และ C จะมีค่าเฉลี่ยลดลง ซึ่งตรงข้ามกับค่า a* ที่มีค่าเฉลี่ยเพิ่มขึ้น และจากการวิเคราะห์ความแปรปรวน พบว่า สีเมล็ดข้าวมีผลทำให้ค่า L*, a*, b*, H° และ C แตกต่างกันในทางสถิติ (*P-value* = 0.0001) (ตาราง 9) เมื่อพิจารณาความแตกต่างของค่าสีที่ปรากฏ พบว่า ค่า L* ไม่สามารถแยกสีแดงออกจากสีเหลืองแดงและสีแดงม่วงได้ รวมทั้งสีแดงม่วงก็ไม่สามารถแยกออกจากสีม่วงได้เช่นเดียวกัน

ตาราง 9 ค่าเฉลี่ยของสีที่ปรากฏบนเมล็ดข้าวในประชากรรุ่น F_2 ด้วยค่าสีต่างๆ ที่วัดและคำนวณได้

สีของเมล็ดข้าว	L*	a*	b*	H°	C
สีเหลือง	61.61 ± 4.71^{a}	6.00 ± 1.45^{b}	16.82 ± 1.68^{a}	1.23 ± 0.09^{a}	17.92 ± 1.61^{a}
สีเหลืองแดง	48.78 ± 7.00^{bc}	8.93 ± 1.54^{a}	15.19 ± 2.56^{b}	1.03 ± 0.11^{b}	17.72 ± 2.29^{a}
สีแดง	44.22 ± 5.81^{c}	9.46 ± 1.11^{a}	13.79 ± 2.17^{b}	0.97 ± 0.08^{b}	16.75 ± 1.57^{a}
สีแดงม่วง	39.63 ± 4.20^{cd}	9.59 ± 1.16^{a}	10.60 ± 1.52^{c}	0.83 ± 0.07^{c}	14.33 ± 1.57^{b}
สีม่วง	35.85 ± 5.16^{d}	8.96 ± 1.45^{a}	8.83 ± 2.96^{d}	0.75 ± 0.15^{d}	12.68 ± 2.84^{c}
C.V. (%)	12.00	17.25	16.21	10.38	12.76

หมายเหตุ: ตัวอักษรที่ต่างกันในแนวตั้งมีความแตกต่างกันทางสถิติที่ระดับนัยสำคัญทางสถิติ 0.01 เมื่อเปรียบเทียบความแตกต่างของค่าเฉลี่ยโดยวิธี LSD

สำหรับค่า b* และ H° นั้นไม่สามารถแยกสีเหลืองออกจากสีแดงได้ ส่วนค่า C พบว่า สีเหลือง สีเหลืองแดงและสีแดงไม่แตกต่างกันในทางสถิติที่ระดับนัยสำคัญ 0.01 แต่ค่า a* พบว่าจากทั้งหมด 5 สีมีสีเหลืองเท่านั้นที่สามารถแยกออกจากสีอื่นๆ ได้ เมื่อพิจารณาจากค่าสีทั้งหมด พบว่าโดยทั่วไปแล้วไม่สามารถแยกสีเหลืองแดงออกจากสีแดงได้ แต่ทุกค่าสีสามารถแยกสีเหลืองออกจากสีอื่นได้ยกเว้นค่า C ซึ่งเป็นค่าที่สามารถแยกสีแดงม่วงออกจากสีม่วงได้ เช่นเดียวกับค่า b* และ H° ยกเว้นค่า L* และ a* ที่ไม่สามารถแยกสีดังกล่าวได้

นอกจากนั้นได้ดำเนินการศึกษาประยุกต์ใช้สูตรดัชนีสีที่มีผู้ศึกษาผ่านมาแล้ว เพื่อศึกษาสีของเมล็ดข้าว คือ a*/b*, (1000 x a*)/(L* x b*), (2000 x a*)/(L* x C), (180- H°)/(L* x C) และ (180- H°)/(L* + C) เมื่อนำค่าต่างๆ คือ ค่า L*, a*, b*, H° และ C คำนวณตามสูตรดังกล่าวและคำนวณหาค่าเฉลี่ยตามสีที่ได้จัดไว้ พบว่า เมื่อสีของเมล็ดข้าวเพิ่มขึ้น ส่งผลให้ค่าเฉลี่ยจากสูตรดัชนีสีสูตรต่างๆ เพิ่มขึ้น และจากการวิเคราะห์ความแปรปรวน พบว่า สีของเมล็ดข้าวมีผลทำให้ค่าที่คำนวณได้จากดัชนีสีสูตรต่างๆ ที่ศึกษามีความแตกต่างกันในทางสถิติ (*P-value* = 0.0001) (ตาราง 10)

ตาราง 10 ค่าเฉลี่ยของสีที่ปรากฏบนเมล็ดข้าวในประชากรรุ่น F_2 เมื่อคำนวณด้วยดัชนีสีต่างๆ

สีของเมล็ดข้าว	a*/b*	(1000 x a*)/ (L* x b*)	(2000 x a*)/ (L* x C)	(180-H°)/ (L* x C)	(180-H°)/ (L* + C)
สีเหลือง	0.36±0.95^{b}	5.91±1.71^{d}	10.99±2.93^{d}	0.16±0.03^{d}	2.26±0.17^{d}
สีเหลืองแดง	0.61±0.15^{b}	13.03±4.89^{c}	21.65±6.68^{c}	0.22±0.06^{c}	2.74±0.37^{c}
สีแดง	0.70±0.11^{ab}	16.18±4.56^{bc}	26.27±6.11^{bc}	0.25±0.05^{bcd}	2.97±0.35^{bc}
สีแดงม่วง	1.23±1.43^{a}	23.58±5.23^{b}	34.39±5.75^{b}	0.32±0.06^{b}	3.35±0.32^{b}
สีม่วง	1.13±0.43^{a}	33.37±17.86^{a}	41.57±10.59^{a}	0.44±0.19^{a}	3.78±0.61^{a}
C.V. (%)	84.83	47.12	27.14	33.33	12.67

หมายเหตุ: ตัวอักษรที่ต่างกันในแนวตั้งมีความแตกต่างกันทางสถิติที่ระดับนัยสำคัญทางสถิติ 0.01 เมื่อเปรียบเทียบความแตกต่างของค่าเฉลี่ยโดยวิธี LSD

เมื่อพิจารณาความแตกต่างของสีจากสูตรดัชนีสีเหล่านี้ พบว่า a*/b* สามารถแยกสีได้เพียง 2 กลุ่มสีที่เหมือนกันในทางสถิติ คือ กลุ่มที่ 1 มีสีเหลือง สีเหลืองแดงและสีแดง และ กลุ่มที่ 2 มีสีแดง สีแดงม่วงและสีม่วง โดยที่สีแดงไม่สามารถแยกออกจากกลุ่มสีทั้ง 2 กลุ่มได้ในทางสถิติที่ระดับนัยสำคัญ 0.01 เมื่อพิจารณาจากสูตร (1000 x a*)/(L* x b*), (2000 x a*)/(L* x C), (180- H°)/(L* x C) และ (180- H°)/(L* + C) พบว่า ไม่สามารถแยกสีแดงออกจากสีเหลืองแดงและสีแดงม่วงได้ นอกจากนั้นยังพบว่า (180- H°)/(L* x C) ไม่สามารถแยกสีแดงออกจากสีเหลืองได้ในทางสถิติที่ระดับนัยสำคัญ 0.01

ความสัมพันธ์ระหว่างดัชนีสีกับสีของเมล็ดข้าวในประชากรรุ่น F_2

จากการศึกษาความสัมพันธ์ของค่าสีที่วัดและสูตรดัชนีสีกับสีของเมล็ดข้าวในประชากรรุ่น F_2 ของคู่ผสมระหว่าง P5 x กข11 โดยการวิเคราะห์ความสัมพันธ์ระหว่างค่าสีที่วัดและสูตรดัชนีสีกับสีของเมล็ดข้าว เมื่อพิจารณาจากค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ (r) พบว่า ค่าสีที่วัดและดัชนีสีทุกค่ามีความสัมพันธ์กับสีเมล็ดในทางสถิติ (*P-value* = 0.0001) ทั้งทางบวกและทางลบ (ตาราง 11) โดยค่า L*, b* H° และ C มีความสัมพันธ์กับสีของเมล็ดในทางลบอย่างสูง มีค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์เท่ากับ -0.76, -0.74 -0.79 และ -0.61 ตามลำดับ แสดงว่า ความสัมพันธ์ระหว่างค่าดังกล่าวกับสีของเมล็ดข้าวมีความสัมพันธ์กันในทิศทางตรงกันข้าม ดังนั้นเมื่อค่า L*, b*, H° และ C มีค่าเพิ่มขึ้นในขณะที่สีที่ปรากฏบนเมล็ดข้าวจะมีสีอ่อนลงตามลำดับ แต่พบว่า (1000 x a*)/(L* x b*), (2000 x a*)/(L* x C), (180- H°)/(L*+ C) และ (180-H°)/(L*x C) มีความสัมพันธ์กับสีของเมล็ดข้าวในทางบวกอย่างสูงมีค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ เท่ากับ 0.69, 0.79, 0.75 และ 0.64 ตามลำดับ แสดงว่า ความสัมพันธ์ระหว่างค่าสีที่วัดได้กับสีของเมล็ดข้าวมีความสัมพันธ์ไปในทิศทางเดียวกัน ดังนั้นเมื่อ (1000 x a*)/(L* x b*) (2000 x a*)/(L* x C), (180-H°)/(L*+ C) และ (180- H°)/(L*x C) มีค่าเพิ่มมากขึ้น ในขณะที่ลักษณะสีที่ปรากฏบนเมล็ดข้าวมีสีเข้มมากขึ้นตามลำดับ

ตาราง 11 ค่าสหสัมพันธ์ระหว่างดัชนีสีกับสีที่ปรากฏบนเมล็ดข้าวในประชากรรุ่น F_2

ดัชนีสี	สีของเมล็ดข้าว	L*	a*	b*	H°	C
L*	-0.76**					
a*	0.50**	-0.58**				
b*	-0.74**	0.84**	-0.32**			
H°	-0.79**	0.89**	-0.68**	0.88**		
C	-0.61**	0.70**	-0.04^{ns}	0.96**	0.71**	
a*/b*	0.48**	-0.50**	0.32**	-0.50**	-0.56**	-0.41**
(1000xa*)/(L*x b*)	0.69**	-0.82**	0.40**	-0.86**	-0.91**	-0.76**
(2000xa*)/(L*x C)	0.79**	-0.93**	0.57**	-0.91**	-0.97**	-0.77**
(180-H°)/(L*x C)	0.64**	-0.80**	0.17^{ns}	-0.90**	-0.82**	-0.88**
(180-H°)/(L*+ C)	0.75**	-0.94**	0.38**	-0.93**	-0.90**	-0.85**

หมายเหตุ: ** มีสหสัมพันธ์ทางสถิติที่ระดับนัยสำคัญทางสถิติ 0.01 ($r_{0.01, 112} = 0.241$)
ns ไม่มีสหสัมพันธ์ทางสถิติที่ระดับนัยสำคัญทางสถิติ 0.01

ส่วนค่า L*, b*, H° และ C พบว่า ทุกค่ามีความสัมพันธ์กันทางลบกับ a*/b*, (1000xa*)/(L*x b*), (2000xa*)/(L*x C), (180-H°)/(L*x C), (180-H°)/(L*+ C) ซึ่งตรงกันข้ามกับค่า a* ที่มีความสัมพันธ์กันทางบวกกับดัชนีสีสูตรดังกล่าว ยกเว้นไม่มีความสัมพันธ์กับ (180-H°)/(L*x C) และค่า C แต่มีความสัมพันธ์กันทางลบกับค่า L*, b* และ H° ในทางสถิติ (*P-value* = 0.0001) นอกจากนี้ความสัมพันธ์ระหว่างสูตรดัชนีสีต่างๆ พบว่า ทุกสูตรดัชนีสีมีความสัมพันธ์กันทางบวกในทางสถิติ (*P-value* = 0.0001) (ตาราง 12) โดยดัชนีสีสูตร (2000 x a*)/(L* x C) มีความสัมพันธ์กับดัชนีสีสูตร (1000 x a*)/(L* x b*), (180-H°)/(L* + C) และ (180-H°)/(L* x C) ในทางสถิติ (*P-value* = 0.0001) มีค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์เท่ากับ 0.95, 0.96 และ 0.89 ตามลำดับ ใกล้เคียงกับความสัมพันธ์ระหว่างดัชนีสีสูตร (180-H°)/(L* x C) กับ (180-H°)/(L* + C) มีค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์เท่ากับ 0.95 ส่วน a*/b* มีความสัมพันธ์กับดัชนีสีทุกสูตรในระดับไม่สูงมาก โดยมีความสัมพันธ์กันสูงสุดกับ (2000 x a*)/(L* x C) มีค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์เท่ากับ 0.58

ตาราง 12 ค่าสหสัมพันธ์ระหว่างดัชนีสีต่างๆ ที่คำนวณจากสีของเมล็ดข้าวในประชากรรุ่น F_2

ดัชนีสี	สีของเมล็ดข้าว	a*/b*	(1000 x a*)/ (L* x b*)	(2000 a*)/ (L* x C)	(180-H°)/ (L* x C)
L*	-0.76**				
a*	0.50**				
b*	-0.74**				
H°	-0.79**				
C	-0.61**				
a*/b*	0.48**				
(1000xa*)/(L*x b*)	0.69**	0.57**			
(2000xa*)/(L*x C)	0.79**	0.58**	0.95**		
(180-H°)/(_*x C)	0.64**	0.50**	0.94**	0.89**	
(180-H°)/(_*+ C)	0.75**	0.54**	0.93**	0.96**	0.95**

หมายเหตุ: ** มีสหสัมพันธ์ทางสถิติที่ระดับนัยสำคัญทางสถิติ 0.01 ($r_{0.01, 112} = 0.241$)

ค่าสีของเมล็ดข้าวในประชากรรุ่น F_2 ที่คำนวณจากสูตรดัชนีสี (2000 x a*)/(L* x C)

จากการศึกษาดัชนีสีสูตรต่างๆ เพื่อคำนวณค่าสีของเมล็ดข้าวในประชากร F_2 ของคู่ผสม P5 x กข11 โดยวัดค่าสีจากเครื่อง Tri-stimulus colorimeter จำนวน 114 ตัวอย่าง ได้ค่าเป็น L*, a* และ b* และคำนวณหาค่า H° และ C จากนั้นคำนวณในสูตรดัชนีสีต่างๆ เพื่อศึกษาหาดัชนีสีที่เหมาะสมในการประเมินลักษณะสีม่วงของเมล็ดข้าวในทางสถิติ โดยพบว่า (2000 x a*)/(L* x C) สามารถประเมินลักษณะสีม่วงของเมล็ดข้าวในทางสถิติได้ เนื่องจากมีความสัมพันธ์กับสีเมล็ดข้าวสูงที่สุดและจากการวิเคราะห์ความแปรปรวน พบว่า สีเมล็ดข้าวจากแต่ละต้นมีผลทำให้ค่าสีที่คำนวณได้จากสูตร (2000 x a*)/(L* x C) มีความแตกต่างกันในทางสถิติ (*P-value* = 0.0001) โดยมีค่าเฉลี่ยจากจำนวนทั้งหมด 114 ต้น เท่ากับ 23.79 ซึ่งมีค่าสูงสุดเท่ากับ 66.64 และมีค่าต่ำสุดเท่ากับ 4.70 ขณะที่มีจำนวน 52 ต้นที่มีค่าสูงกว่าค่าเฉลี่ย และมีจำนวน 62 ต้นที่มีค่าต่ำกว่าค่าเฉลี่ย โดยค่าสีม่วงของเมล็ดข้าวที่คำนวณจากสูตร (2000 x a*)/(L* x C) มีค่าเฉลี่ยของสีม่วงที่ประเมินด้วยสายตา เท่ากับ 41.57±10.59 และมีต้นข้าวที่มีสีเมล็ดม่วงอยู่ในกลุ่มนี้จำนวน 30 ต้น (ตาราง 13)

โดยกลุ่ม A7 มีต้นข้าวที่เมล็ดมีสีม่วงมีจำนวน 15 ต้น ส่วนกลุ่ม A3 มี 8 ต้น ซึ่งมากกว่ากลุ่ม A1 จำนวน 1 ต้น แต่เนื่องจากสีของเมล็ดข้าวในบางต้นจำแนกให้อยู่ได้ในทั้ง 2 กลุ่มสี ดังนั้นผลรวมทั้งหมดจาก ในแต่ละกลุ่มสีจึงมากกว่าจำนวนทั้งหมดที่ใช้ในการทดลอง (114 ต้น)

ตาราง 13 จำนวนต้นที่อยู่ในช่วงสีต่างๆ โดยแยกตามกลุ่ม A1, A3 และ A7

สีของเมล็ดข้าว	(2000 x a*)/(L* x C)	จำนวนต้น	จำนวน A1	จำนวนA3	จำนวนA7
สีเหลือง	10.99±2.93[d]	30	10	4	16
สีเหลืองแดง	21.65±6.68[c]	48	8	23	27
สีแดง	26.27±6.11[bc]	36	7	11	18
สีแดงม่วง	34.39±5.75[b]	22	7	4	11
สีม่วง	41.57±10.59[a]	30	7	8	15
รวม	26.97±6.41	166[+]	39	50	87

หมายเหตุ: ตัวอักษรที่ต่างกันในแนวตั้งมีความแตกต่างกันทางสถิติที่ระดับนัยสำคัญทางสถิติ 0.01 เมื่อเปรียบเทียบความแตกต่างโดยวิธี LSD

[+] ผลรวมมากกว่าผลรวมจากทั้งหมด เนื่องจากบางต้นจำแนกให้อยู่ได้ทั้ง 2 กลุ่มสี

สำหรับต้นข้าวในกลุ่ม A7 ต้น A7 – 11 – 3 (ต้นที่ได้จากต้น F_1 กอที่ 7 รวงที่ 11 และเมล็ดที่ 3) มีค่าเฉลี่ยต่ำกว่ากลุ่มสีม่วงเล็กน้อย แต่ไม่แตกต่างกับต้นอื่นๆ ที่อยู่ในกลุ่มสีม่วงในทางสถิติที่ระดับนัยสำคัญ 0.01 ในขณะที่ต้น A7 - 11 – 11 ซึ่งอยู่ในกลุ่มเดียวกันกลับมีค่าสูงกว่ากลุ่มสีม่วงและมีค่าสูงสุด เท่ากับ 66.64 ซึ่งแตกต่างจากต้นอื่นในทางสถิติ (*P-value* = 0.0001) รองลงมาคือ ต้น A1-11-12 และ A3-15-8 ที่อยู่ในกลุ่ม A1 และ A3 มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 51.88 และ 51.50 ตามลำดับ ซึ่งไม่แตกต่างกันทางสถิติที่ระดับนัยสำคัญ 0.01 (ตาราง 14)

ตาราง 14 ค่าเฉลี่ยของค่าที่อยู่ในกลุ่มสีม่วงเมื่อคำนวณจากดัชนีสีสูตร (2000 x a*)/(L* x C) จากต้นข้าวในแต่ละกลุ่ม (A1, A3 และ A7) จากสีของเมล็ดข้าวในประชากรรุ่น F_2

ต้นข้าวกลุ่ม A1		ต้นข้าวกลุ่ม A3		ต้นข้าวกลุ่ม A7	
ต้น	ค่าเฉลี่ย	ต้น	ค่าเฉลี่ย	ต้น	ค่าเฉลี่ย
A1- 11 - 13	31.08^{d}	A3- 17 - 3	33.91^{f}	A7-11 - 3	30.88^{i}
A1- 11 - 8	32.74^{dc}	A3- 13 - 1	36.79^{ef}	A7- 6 - 71	33.06^{hi}
A1- 11 - 3	33.41^{bcd}	A3- 9 - 9	37.59^{d}	A7- 6 - 58	33.93^{ghi}
A1- 18 - 6	36.21^{bcd}	A3- 9 - 11	39.99^{cde}	A7- 6 - 75	35.59^{fgh}
A1- 11 - 10	38.53^{bc}	A3- 4 - 2	40.93^{cd}	A7- 6 - 16	37.00^{cg}
A1- 19 - 19	40.17^{b}	A3- 14 - 5	41.53^{bc}	A7- 6 - 65	37.72^{def}
A1- 11 - 12	51.88^{a}	A3- 9 - 5	44.48^{b}	A7- 6 - 15	37.84^{def}
		A3- 15 - 8	51.50^{a}	A7- 6 - 74	39.90^{ce}
				A7- 11 - 12	39.94^{ce}
				A7- 6 - 60	40.40^{ce}
				A7- 6 - 29	41.09^{cd}
				A7- 11 - 20	43.05^{bc}
				A7- 6 - 33	43.45^{bc}
				A7- 6 - 18	45.02^{b}
				A7- 11 - 11	66.64^{a}
เฉลี่ย	37.72	เฉลี่ย	41.30	เฉลี่ย	40.37

หมายเหตุ: ตัวอักษรที่ต่างกันในแนวตั้งมีความแตกต่างกันทางสถิติที่ระดับนัยสำคัญทางสถิติ 0.01 มื่อเปรียบเทียบความแตกต่างโดยวิธี LSD

เมื่อพิจารณาจาก Line A (คู่ผสม P5 x กข11) ในกลุ่ม A1, A3 และ A7 พบว่า ทั้ง 3 กลุ่ม ที่อยู่ในกลุ่มของสีม่วง เมื่อคำนวณด้วยสูตร (2000 x a*)/(L* x C) พบว่า แต่ละกลุ่ม (A1, A3 และ A7) มีค่าเฉลี่ยของเมล็ดสีม่วงไม่แตกต่างกันทางสถิติที่ระดับนัยสำคัญ 0.01 แต่พบว่า ต้นข้าวที่อยู่ภายในกลุ่มเดียวกันมีค่าเฉลี่ยของข้าวเมล็ดสีม่วงแตกต่างกันในทางสถิต (*P-value* = 0.0001) เมื่อพิจารณาค่าสีต่างๆ ที่คำนวณจากสูตรดัชนีสีกับค่าที่ประเมินด้วยสายตา (Munsell book) พบว่า ค่าที่อยู่

ในกลุ่มของสีม่วง เมื่อประเมินลักษณะสีด้วยสายตาจะไม่สามารถแยกความแตกต่างของสีเมล็ดข้าวที่มีขอบเขต ของสี (ความอ่อน-เข้ม) ที่ใกล้เคียงกันมากๆ จากแต่ละต้นได้ แต่จะสามารถแยกความแตกต่างได้ก็ต่อเมื่อ สีที่ปรากฏบนเมล็ดข้าวในแต่ละต้นมีความแตกต่างกันอย่างชัดเจน ตรงกันข้ามกับการใช้วิธีการคำนวณโดยใช้สูตรดัชนีที่เหมาะสม พบว่า สามารถแยกความแตกต่างของสีเมล็ดข้าวแต่ละต้นได้ ไม่ว่าสีที่ปรากฏจะมีความใกล้เคียงกันมากๆ หรือแตกต่างกันอย่างชัดเจนก็ตาม นอกจากนั้นยังได้ค่าที่เป็นตัวเลข สามารถนำไปเปรียบเทียบความแตกต่างระหว่างค่าเฉลี่ยของลักษณะสีในทางสถิติได้