

องค์ประกอบทางพันธุกรรมของลูกผสมดีเด่นในข้าวลูกผสมชั่วที่ 1
Genetic Composition of Heterosis in F₁ Rice Hybrid

ดำเนิน กาละดี^{1/}

จिरพันธุ์ พูลพิพัฒน์^{1/}

คันสนีย์ จำจด^{1/}

Dumnern Karladee^{1/}

Jirapan Pulpipat^{1/}

Sansanee Jamjod^{1/}

ABSTRACT

Utilization of heterosis in rice has contributed tremendously to the increase in rice productivity. There have been ranges of studies in many aspects of heterosis. But the key of genetic component of heterotic performance in crop hybrid is still uncharacterized. In this study, dissection of genetic composition of F₁ rice hybrid in traits has been made : for culm length, yield components, grain amylose and grain anthocyanin. CRD comparative data was used between F₁ populations derived from 2 combinations: (elite F₈ non-glutinous purple rice lines combined x PPT1) and elite F₈ non-glutinous purple rice lines x KDML 105 with their 2 male-parents. The experiment was conducted with replicated pot yield trial at the Faculty of Agriculture, Chiang Mai University during 2010. Heterotic percentage was calculated as the relative of F₁ mean to the mid-parent value. The results showed that the genetic component varied among traits. Additive gene effect was achieved for culm length and 1,000 grain weight. Number of tiller and panicle per hill were negative dominance. Percent of filled grain was overdominance for lower parent. While both additive and positive dominant effects were the genetic component of grain amylose and anthocyanin contents. This results provided adequate genetic basis of hybrid heterosis in rice regarding selection for improving the traits.

Key-words: additive effect, positive or negative dominance, overdominance for lower parent, overdominance for higher parent, mid-parent value

^{1/} ภาควิชาพืชศาสตร์และทรัพยากรธรรมชาติ คณะเกษตรศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่ จ.เชียงใหม่ 50200

^{1/} Department of Plant Science and Natural Resources, Faculty of Agriculture, Chiang Mai University, Chiang Mai province 50200

บทคัดย่อ

การใช้ประโยชน์จากความดีเด่นของลูกผสม(heterosis)ในข้าว ทำให้ผลผลิตของข้าวเพิ่มขึ้นอย่างมาก ในงานวิจัยนี้เพื่อจำแนกรูปแบบองค์ประกอบทางพันธุกรรมของยีนที่ควบคุมความดีเด่นลูกผสม F_1 ในลักษณะความยาวลำต้นขององค์ประกอบของผลผลิต ปริมาณอะไมโลสในเมล็ด และปริมาณแอนโทไซยานินในรายละเอียด โดยปลูกข้าวลูกผสม F_1 ของ 2 คู่ผสมคือ ข้าวเจ้าก่ำสายพันธุ์เด่น $F_8 \times$ พันธุ์ปทุมธานี 1 และข้าวเจ้าก่ำสายพันธุ์เด่น $F_8 \times$ พันธุ์ขาวดอกมะลิ 105 เปรียบเทียบกับพันธุ์พ่อปทุมธานี 1 และขาวดอกมะลิ 105 ในกระถางขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 12 ซม สูง 10 ซม ปลูก 4 ต้น/กระถาง วางแผนการทดลองแบบ CRD ประกอบด้วย 3 ซ้ำๆละ 5 กระถาง โดยมีพันธุ์พ่อ 2 พันธุ์เป็นพันธุ์เปรียบเทียบ ดำเนินการทดลองที่คณะเกษตรศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่ ในฤดูปลูกข้าวปี พ.ศ. 2554 การวิเคราะห์ปฏิกิริยาทางพันธุกรรมโดยจำแนกองค์ประกอบทางพันธุกรรม ความดีเด่นของลูกผสมของลักษณะต่างๆ โดยคำนวณเปอร์เซ็นต์ความดีเด่นเป็นค่าแตกต่าง ระหว่างค่าเฉลี่ยของ F_1 (F_1 mean) กับค่ากึ่งกลางระหว่างพ่อกับแม่ (mid-parent value) ผลการวิจัยพบว่าลักษณะความยาวลำต้นและน้ำหนัก 1,000 เมล็ด มีการแสดงออกของยีนแบบบวกสะสม (additive gene effect) จำนวนหน่อและจำนวนรวง/กอแสดงออกของยีนแบบข่มทางลบ (negative dominance) เปอร์เซ็นต์เมล็ดดีแสดงของยีน

แบบข่มเกินกว่าพ่อแม่ค่าต่ำ (overdominance for lower parent effect) ในขณะที่ลักษณะปริมาณอะไมโลสในเมล็ด และปริมาณแอนโทไซยานินในรายละเอียด แสดงออกของยีนเป็นทั้งแบบบวกสะสม และแบบข่มเกินกว่าพ่อแม่ค่าสูง (overdominance for higher parent gene effect) ผลงานวิจัยนี้น่าจะเพียงพอสำหรับการพิจารณา เพื่อวางแผนการคัดเลือกเพื่อปรับปรุงพันธุ์ลักษณะดังกล่าวของข้าวต่อไป

คำหลัก: ยีนแบบบวกสะสม ยีนแบบข่มทางบวก หรือทางลบ ยีนแบบข่มเกินกว่าพ่อแม่ค่าต่ำ หรือพ่อแม่ค่าสูง ค่ากึ่งกลางระหว่างพ่อและแม่

คำนำ

ลักษณะลูกผสมดีเด่น (heterosis หรือ hybrid vigor) หมายถึงการแสดงออกของลักษณะต่างๆในลูกผสมชั่วที่ 1 (F_1) ที่มีค่าของลักษณะนั้นๆ สูง เมื่อเทียบกับพ่อหรือแม่ของลูกผสมนั้น ในหลายพืชใช้การแสดงออกแบบนี้เพื่อประโยชน์ในการปรับปรุงพันธุ์เพื่อเพิ่มผลผลิต สมมุติฐานทางพันธุกรรมที่น่าเสนอเพื่อใช้เป็นพื้นฐานอธิบาย ปฏิกิริยาทางพันธุกรรมของลูกผสมดีเด่นคือ การแสดงออกของยีนแบบยีนข่มของอัลลีล (alleles) ในยีนเดียวกัน (dominance) แบบข่มเกินกว่าพ่อแม่ (overdominance) และแบบข่มของอัลลีลต่างยีน (epistasis) (Zhou et al., 2012) อย่างไรก็ตามสมมุติฐานพันธุกรรมนี้เป็นการอธิบายในรูปแบบของยีน (gene หรือ genes) เท่านั้น (ดำนิน, 2545) แต่หากต้องการ

ใช้การแสดงออกของยีนแบบนี้ให้ตรงประเด็นของการผลิตพืชที่ปลูก (crop production) เพื่อการเก็บเกี่ยว การอธิบายสมรรถนะของลูกผสมดีเด่น ที่วิเคราะห์จากข้อมูลในรูปแบบของกลุ่มพืชทดลอง (hybrids crop designed) ยังคงจำเป็น ดังนั้นงานวิจัยนี้ได้สร้างลูกผสม F_1 ของสายพันธุ์ข้าวเจ้าก่ำสายพันธุ์เด่น F_8 (non-glutinous purple rice elite F_8 lines: *Oryza sativa*, indica) ซึ่งเป็นสายพันธุ์สีบเนื่อง F_8 ของคู่ผสมเบื้องต้น (ข้าวเจ้าพันธุ์ KDML 105 กับข้าวเหนียวก่ำพันธุ์ก่ำดอยสะเก็ด) โดยมีเป้าหมายเพื่อสร้างสายพันธุ์ข้าวเจ้าก่ำ (non-glutinous purple rice lines) ที่เมล็ดมีแป้งข้าวเจ้า แต่มีเยื่อหุ้มเมล็ดสีม่วง โดยนำ F_8 สายพันธุ์สีบเนื่องนั้นใช้ผสมเป็นพันธุ์แม่ (female parent) และมีข้าวพันธุ์ PPT1 และ KDML 105 เป็นพันธุ์พ่อ ได้ 2 คู่ผสมคือ (F_8 elite line x PPT1) ซึ่งมีวัตถุประสงค์เพื่อคัดเลือกหา (ในชั่วต่อไป) พันธุ์ข้าวเจ้าสายพันธุ์ที่ไม่ไวต่อช่วงแสง สามารถปลูกนอกฤดูได้ และอีกคู่ผสมคือ (F_8 elite line x KDML 105) เป็นการผสมกลับ (backcross) มีวัตถุประสงค์เพื่อเพิ่มความหอมในสายพันธุ์ข้าวเจ้า สำหรับงานวิจัยนี้ได้นำข้อมูล F_1 ของทั้ง 2 คู่ผสมมาวิเคราะห์องค์ประกอบทางพันธุกรรมคือ additive หรือ dominance ที่ทำให้เกิดลูกผสมดีเด่นในลักษณะคัดเลือกลักษณะตามศัพท์ลักษณะที่อ้างอิงในเอกสารของ Chang และ Bardenas (1965) ได้แก่ความสูงต้น จำนวนรวง/กอ (panicle per hill) จำนวนเมล็ด/รวง (filled grain per panicle) น้ำหนัก 1,000

เมล็ด (1,000 seed weight) ปริมาณอะไมโลส (amylose) ในเมล็ด และปริมาณแอนโทไซยานิน (anthocyanin) ในรำละเอียด โดยประเมินค่าความดีเด่นกับค่ากึ่งกลางของพ่อ-แม่ (mid-parent value) เป็น mid-parent heterosis วัตถุประสงค์เพื่อนำผลการวิเคราะห์องค์ประกอบทางพันธุกรรมไปใช้ เพื่อเป็นข้อมูลอธิบายพฤติกรรมของยีนที่ควบคุมลักษณะเหล่านั้น สำหรับวางแผนการคัดเลือกพันธุ์ข้าวเจ้าก่ำไม่ไวแสงของโครงการนี้ และนำไปใช้วางแผนการคัดเลือกในโครงการปรับปรุงพันธุ์ข้าวอื่นๆ ต่อไป

อุปกรณ์และวิธีการ

สร้างลูกผสม F_1 ของทั้ง 2 คู่ผสม ในฤดูปลูกปี พ.ศ.2553 (โดยไม่มีคู่ reciprocal) นำเมล็ด F_1 ที่ได้มาปลูกในฤดูปลูกปี พ.ศ. 2554 ที่แปลงทดลองภาควิชาพืชศาสตร์และทรัพยากรธรรมชาติ คณะเกษตรศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่ ค่าของ F_1 คำนวณจากค่าเฉลี่ยจำนวน 10 ต้น (10 กระจ่าง) ปลูกในกระจ่างขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 12 ซม. สูง 10 ซม. (4 ต้น/กระจ่าง) วางแผนการทดลองแบบ CRD ประกอบด้วย 3 ซ้ำๆละ 5 กระจ่าง โดยมีพันธุ์พ่อ (PPT1 และ KDML 105) อีก 2 กระจ่างเป็นพันธุ์เปรียบเทียบ บันทึกลักษณะความยาวของลำต้น จำนวนรวง/กอ จำนวนเมล็ดดี/รวง น้ำหนัก 1,000 เมล็ด ปริมาณอะไมโลสในเมล็ด และปริมาณโปรแอนโทไซยานิน (proanthocyanin) ในรำละเอียด จากนั้นเปรียบเทียบความแตกต่างของค่า F_1

mean กับค่ากึ่งกลางระหว่างพ่อ-แม่ (MP) โดยใช้ t-test วิเคราะห์หึ่งค์ประกอบทางพันธุกรรมต่างๆของยีนควบคุมที่ส่งผลให้เกิด mid parent heterosis คือ 1) แบบยีนบวกสะสม 2) แบบยีนข่มของอัลลีลในยีนเดียวกัน เป็นได้ทั้งข่มไปทางบวก หรือทางลบ (positive dominance or negative dominance) และ 3) แบบยีนข่มเกินค่าของพ่อหรือแม่ และเกินกว่าได้ทั้งพ่อแม่ค่าต่ำ (overdominance for lower parent) หรือพ่อแม่ค่าสูง (overdominance for higher parent) โดยค่า mid parent heterosis (%) คำนวณจากการเปรียบเทียบ

$$F_1 \text{ mean กับค่า MP ตามสมการ}$$

$$\text{Mid - parent heterosis (\%)} = \frac{F_1 - MP}{MP} \times 100$$

เมื่อ F_1 = mean of mid parent

MP = mean of mid parent หรือ $\frac{\text{parent 1} + \text{parent 2}}{2}$ for a trait ดำเนินปี พ.ศ. 2545 (Admad *et al.*, 2005)

ปริมาณอะไมโลส สกัดจากเมล็ดข้าวกล้องบดละเอียด 0.1 ก. ใน 8 มล. ของ NaO (2N) รวมทั้ง 95% ethyl alcohol อีก 1 มล. เข้าเครื่องเขย่า 10 นาที ย้าย 5 มล. ของสารละลายสกัดนั้นใส่ขวดวัดปริมาตร (volumetric flask) ผสมกับ iodine 2 มล. และ acetic acid (1N) 2 มล. จากนั้น dilute ด้วยน้ำกลั่น 100 มล. จากนั้นนำไปอ่านค่าใน spectrophotometer ที่ wavelength 620 นาโนเมตร และปริมาณโปรแอนโทไซยานินในรำละเอียด ใช้สารสกัดคือ

0.5%TFA ใน 95% ethanol และตรวจวัดปริมาณใน spectrophotometer ที่ wavelength 535 นาโนเมตร

ผลการทดลองและวิจารณ์

การตรวจสอบความแตกต่างของลักษณะต่างๆที่ปรากฏ (phenotype) ในประชากรพืช ย่อมชี้ถึงความแตกต่างทางพันธุกรรม (genotype) ที่ควบคุมลักษณะนั้นเช่นกัน ผลการทดลองที่เกี่ยวข้องกับการเปรียบเทียบค่าของ F_1 กับค่ากึ่งกลางระหว่างพ่อและแม่ เปอร์เซ็นต์ความดีเด่นของ F_1 เมื่อเทียบกับค่ากึ่งกลางระหว่างพ่อและแม่ และผลกระทบทางพันธุกรรม (genetic effect) ของลักษณะทางสัณฐานวิทยา โดยนำเสนอเป็นลำดับดังนี้

1. ความยาวของลำต้น (culm length) และน้ำหนัก 1,000 เมล็ด แสดงองค์ประกอบทางพันธุกรรมเป็นยีนแบบบวกสะสม (additive effect) โดย F_1 ของทั้ง 2 คู่ โดยความยาวของลำต้นมีค่าไม่แตกต่างจากค่า MP (t-value 1.42NS และ 1.43NS) (Table 1) เช่นเดียวกับน้ำหนัก 1,000 เมล็ด ที่ F_1 มีค่าเท่ากับค่า MP (t-value -0.66 และ -1.95)(Table 2) แสดงว่าพันธุกรรมของ 2 ลักษณะนี้ได้รับการถ่ายทอดสะสมมาจากพ่อและแม่อย่างละครึ่ง และอิทธิพลร่วมระหว่างอัลลีล (allelic interaction) มีผลกระทบน้อยในการควบคุมการแสดงออกของลักษณะนี้สอดคล้องกับ Sharma และ Ahmad (1980) Awaad (1996) และ Akhtar กับ Chowdhry (2006) ในข้าวสาลีและดอกคำฝอย

(safflower) รายงานเช่นกันว่าลักษณะความสูง และน้ำหนัก 1,000 เมล็ด เป็น additive gene effect (Abel,1976) นอกจากนี้ Futsuhara (1986) และ Kikuchi (1986) รายงานว่า incomplete dominance gene ของลักษณะความสูง (tallness) ควบคุมลักษณะความยาวของลำต้น และ gene ควบคุมลักษณะความเตี้ย (dwarf) เป็น recessive gene ของความสูง Chang และ Li (1980) รายงานว่า

semidwarfism ใน indica rice เกิดจากการแสดงของ incomplete dominance ของ gene ควบคุมความสูง ซึ่งในการปรับปรุงพันธุ์เพื่อลักษณะเหล่านี้จะสามารถกำหนดได้ในชั่ว F_2 หรือชั่วหลังๆต่อไปอย่างไรก็ตาม Tsenov (1996) และ Chowdhry กับคณะ (1999) พบว่าการถ่ายทอดทางพันธุกรรมของน้ำหนัก 1,000 เมล็ดในข้าวสาลีเป็นแบบ dominance และ overdominance

Table 1. F_1 - heterosis in comparison to mid-parent value for culm length (cm)

Combination	F_1 mean	Female parent	Male parent	Mid-parent value (MP)	t-test F_1 mean vs MP	Heterosis (%)	Genetic effect
EF ₈ lines x PPT1	121.5	144.6	106.2	125.4	1.42NS	-3.11	Additive
EF ₈ lines x KDML 105	129.8	144.6	129.2	136.9	1.43NS	-5.19	Additive

NS = non statistically significant difference

Table 2. F_1 - heterosis in comparison to mid-parent value for 1000 grain weight (g)

Combination	F_1 mean	Female parent	Male parent	Mid-parent value (MP)	t-test F_1 mean vs MP	Heterosis (%)	Genetic effect
EF ₈ lines x PPT1	27.3	27.3	26.2	27.0	-0.66NS	1.22	Additive
EF ₈ lines x KDML 105	27.4	27.3	25.7	26.7	-1.95NS	2.45	Additive

NS = non statistically significant difference

2. จำนวนหน่อ/กอ (number of tiller per hill) และ จำนวนรวง/กอ (number of panicle per hill) ลูก F_1 ของทั้ง 2 คู่แสดงค่าน้อยกว่าพ่อและแม่มากโดยเฉพาะน้อยกว่า EF_8 lines ซึ่งเป็น lower parent มีองค์ประกอบทางพันธุกรรมเป็นแบบยีนซ่มเกินพ่อแม่ค่าต่ำ โดยมีค่า percent heterosis ของจำนวน

หน่อ/กอ ของทั้ง 2 คู่เป็น -15.72 และ -8.66% (t-value 5.73 และ 3.52) (Table 3) และ จำนวนรวง/กอเป็น -16.36 และ -8.66% (t-value 5.29 และ 4.82) ตามลำดับ (Table 4)

3. เปอร์เซนต์เมล็ดเต็ม (percent of filled grain) แสดงองค์ประกอบทางพันธุกรรมเป็น แบบยีนซ่มของอัลลีลในยีนเดียวกันทางลบ

Table 3. F_1 - heterosis in comparison to mid-parent value for number of tiller per hill

Combination	F_1 mean	Female parent	Male parent	Mid-parent value (MP)	t-test F_1 mean vs MP	Heterosis (%)	Genetic effect
EF_8 lines x PPT1	10	11	14	12	5.73**	-15.72	Overdominance for lower parent
EF_8 lines x KDML 105	10	11	12	11	3.52*	-8.66	Overdominance for lower parent

* = statistically significant difference

** = highly statistically significant difference

Table 4. F_1 - heterosis in comparison to mid-parent value for no. of panicle per hill

Combination	F_1 mean	Female parent	Male parent	Mid-parent value (MP)	t-test F_1 mean vs MP	Heterosis (%)	Genetic effect
EF_8 lines x PPT1	10	10	14	12	5.29**	-16.36	Overdominance for lower parent
EF_8 lines x KDML 105	10	10	11	11	4.82*	-8.38	Overdominance for lower parent

NS = non statistically significant difference

* = statistically significant difference

** = highly statistically difference

ในทั้ง 2 คู่ โดย F_1 มีค่า 85.19% และ 81.32% น้อยกว่า MP (90.89% และ 91.32%) ค่อนข้างทาง พ่อแม่ค่าต่ำ (EF_8 lines) มีค่าความดีเด่น - 6.27% และ -10.95% (Table 5)

องค์ประกอบทางพันธุกรรมของจำนวนหน่อ/กอและจำนวนรวง/กอ และเปอร์เซ็นต์เมล็ดดี แสดงผลกระทบในทางเบี่ยงเบนไปในทางใดทางหนึ่งเช่นนี้แสดงว่าในการปรับปรุงพันธุ์ มีความเป็นไปได้ที่จะกำหนดค่าความดีเด่นแน่นอนของลักษณะพันธุกรรมนี้ได้ ใน F_1 อย่างไรก็ตาม ลักษณะใดก็ตามที่แสดงปฏิกิริยาทางพันธุกรรม

แบบนี้ จะทำให้การถ่ายทอดทางพันธุกรรม (inheritance) ในชั่วต่อไปมีรูปแบบการถ่ายทอดเป็น polygenic ทำให้ยุ่งยากต่อการค้นหาพันธุกรรมกำหนด Chowdhry และคณะ (1999) รายงานว่าลักษณะนี้มีองค์ประกอบทางพันธุกรรมเป็นทั้ง additive และ dominance effect อย่างไรก็ตาม Chowdhry และคณะ (1992) พบ non-additive effect ของลักษณะจำนวนหน่อ/กอในข้าวสาลี การแสดงองค์ประกอบทางพันธุกรรมเช่นนี้จะเกิดขึ้นได้หาก parental lines มีการกระจายตัว (variation) ของ

Table 5. F_1 - heterosis in comparison to mid-parent value for percent filled grain

Combination	F_1 mean	Female parent	Male parent	Mid-parent value (MP)	t-test F_1 mean vs MP	Heterosis (%)	Genetic effect
EF_8 lines x PPT1	85.19	89.39	92.39	90.89	3.26*	-6.27	Negative dominance
EF_8 lines x KDML 105	81.32	89.50	93.14	91.32	6.25**	-10.95	Negative dominance

* = statistically significant difference

** = highly statistically significant difference

Table 6. F_1 - heterosis (%) in comparison to mid-parent value for amylose content (%)

Combination	F_1 mean	Female parent	Male parent	Mid-parent value (MP)	t-test F_1 mean vs MP	Heterosis (%)	Genetic effect
EF_8 lines x PPT1	18.03	16.01	20.28	18.15	0.18 NS	-0.63	Additive
EF_8 lines x KDML 105	16.72	15.50	17.23	16.36	-0.73 NS	2.21	Additive

NS = non statistically significant difference

gene ความคุมลักษณะนั้นๆ

4. ปริมาณอะไมโลสในเมล็ด (grain amylose content) องค์กรประกอบทางพันธุกรรมของปริมาณอะไมโลสในเมล็ดเป็นยีนแบบบวกสะสมทั้ง 2 คู่ ค่า F_1 (18.03 และ 16.72%) เท่ากับค่า MP (18.15 และ 16.36%) ซึ่งใกล้เคียงกับพันธุ์พ่อ PPT1 (18.15%) และ KDML 105 (17.23%)(Table 6) Anon (1975,1986) จาก IRRI รายงานว่าแม้อยีนเด่น (Wx-) ควบคุมการสังเคราะห์อะไมโลส แต่พฤติกรรมของยีนเด่นนี้เมื่ออยู่ในสภาพ heterozygous (Wxwx) เป็นแบบ additive effect ในทาง partial dominance สอดคล้องกับ Kumar และ Khush (1988) กับ Karalee และคณะ (2012) ซึ่งพบว่าเป็นแบบยีนสะสมเช่นกัน และแนะนำต่อว่าในการคัดเลือกเพื่อปริมาณอะไมโลส ในเมล็ดควรเริ่มจากพ่อแม่พันธุ์ที่มีค่าดังกล่าวแตกต่างกันมากๆ ดังนั้นในการคัดเลือกพ่อและแม่พันธุ์ควรพิจารณาเป็นพิเศษ

ปริมาณอะไมโลสในเมล็ด สารมีความสำคัญกับคุณภาพเฉพาะของข้าวสุกเพราะจะเป็นปัจจัยกำหนดขบวนการหุงต้ม ข้าวสารชนิดปริมาณอะไมโลสในเมล็ดต่ำ ลักษณะข้าวสุกจะเป็นแบบเหนียวและอ่อนนุ่ม แต่หากมีปริมาณอะไมโลสในเมล็ดปานกลาง ลักษณะข้าวสุกจะเป็นแบบอ่อนนิ่มและเบา

5. ปริมาณโปรแอนโทไซยานินในรำละเอียด (proanthocyanin content) แม้ว่าจะพบเฉพาะในรำละเอียดของ EF₈ lines (พันธุ์แม่) และไม่ตรวจพบในรำละเอียดของข้าวขาวพันธุ์

พ่อ (PPT1และ KDML 105) แต่ใน F_1 ก็ยังตรวจพบสารอาหาร โปรแอนโทไซยานิน มีปริมาณมากกว่าค่า MP โดย F_1 ของคู่ EF₈ lines x PPT1 มีปริมาณ 136.1 มก./100 ก. ตัวอย่าง (sample) (EF₈ lines มีปริมาณ 198.2 มก./100 ก.ตัวอย่าง sample) และแสดงผลกระทบเป็นแบบยีนข่มของอัลลีลในยีนเดียวกันทางลบ (positive dominance effect) ส่วนคู่ EF₈ lines x KDML 105 มีปริมาณ 164.1 มก./100 ก. ตัวอย่าง sample ในขณะที่ พันธุ์แม่ (EF₈ lines มีปริมาณ 215.8 มก./100 ตัวอย่าง sample) และแสดงเป็นแบบยีนบวกสะสม (Table 7)

องค์กรประกอบทางพันธุกรรมของการสังเคราะห์ปริมาณโปรแอนโทไซยานินในรำละเอียด เป็นได้ทั้งแบบยีนข่มของอัลลีลในยีนเดียวกันทางบวก และยีนบวกสะสมนั้นเป็นไปได้ เพราะการสังเคราะห์แอนโทไซยานินนั้นเป็นขบวนการแบบ secondary process มียีนกระตุ้นการสังเคราะห์เกี่ยวข้องเป็น multiple gene control อีกด้วย Jaakola และคณะ (2002) พบว่าการสังเคราะห์สารอาหารกลุ่ม flavonoids มียีนเกี่ยวข้องเป็น path way ของขบวนการ และการสะสมสารอาหารแอนโทไซยานินเป็นการพัฒนาต่อเนื่อง ในขบวนการพัฒนาการของเมล็ดมียีนถึง 2 กลุ่ม และยังมียีนควบคุมการแสดงออก (regulatory gene) อีกด้วย Oziegbe และคณะ (2012) รายงานในโสมเกาหลี่ว่าการกระจายตัวของ gene ในลักษณะขมพูเข้มเป็น incomplete dominance ต่อสีขาว Goose และ Palmer,(1991) รายงานว่า

Table 7. F_1 - heterosis in comparison to mid-parent value for proanthocyanin content (mg/100 g sample)

Combination	F_1 mean	Female parent	Male parent	Mid-parent value (MP)	t-test F_1 mean vs MP	Heterosis (%)	Genetic effect
EF ₈ lines x PPT1	136.1	198.2	Not detected	99.1	-4.03*	37.34	Positive dominance
EF ₈ lines x KDML 105	164.4	215.8	Not detected	107.9	-3.10NS	52.34	Additive

สีของเมล็ดถั่วเหลืองเป็นได้ทั้ง complete หรือ incomplete dominance ส่วนในข้าว Butany และคณะ(1959) รายงานว่ามี gene 1-4 complementary genes ควบคุมการเกิดแอนโทไซยานิน และ Sahu กับคณะ (2011) พบว่าสีแดงของเยื่อหุ้มเมล็ดข้าวใน F_1 แสดง dominant และใน F_2 แสดงอัตราส่วนเป็น 2 dominant complementary genes และ 1 recessive gene นอกจากนี้ Tomar และคณะ (2000) รายงานว่ามี gene 3 gene ที่เป็น dominant complementary genes ควบคุมการเกิดสีแดงสีในเปลือกเมล็ดและเยื่อหุ้มเมล็ดข้าว นอกจากสีเทาแล้วยังมีสีแดงและสีม่วง ซึ่งในประเทศเกาหลี ญี่ปุ่นและจีน นับว่าข้าวมีสารสีเป็นอาหารข้าวสุขภาพ (Ryu *et al.*, 2000; Kowalczyk *et al.*, 2003; Han *et al.*, 2004) สารสีหรือแอนโทไซยานินในข้าวเป็นสีแดงและสีม่วง โดยธรรมชาติแล้วมีหน้าที่ในการป้องกันแสง UV เป็นการป้องกันภัย และการล่อให้สัตว์

ช่วยการผสมเกสร (pollination) และการกระจายพันธุ์ (dispersal) ซึ่งสำคัญในระบบของวิวัฒนาการร่วมกันของพืชและสัตว์ (co-evolution of plant-animal interaction) (Winkel-Shirley 1996; Bohm 1998; Harborne and Williams 2000; Han *et al.*, 2006) สามารถใช้เป็นสมุนไพรรักษาโรคได้ เช่น โรคเกี่ยวกับหัวใจและหลอดเลือด (cardiovascular diseases) anthocyanins ที่สกัดจากข้าวจะมีปฏิกิริยาเป็นสารต้านอนุมูลอิสระ (reactive oxygen species) (Kowalczyk *et al.*, 2003) anthocyanins ในข้าวมีองค์ประกอบ 95% เป็น cyanidin -3-O-glucoside และอีก 5% เป็น peonidin -3-O-glucoside (Park *et al.*, 2008) การเกิดสีในต้นพืชในส่วนของลักษณะทางพฤกษศาสตร์พืชไร่ อาจถูกพิจารณาว่าเป็นลักษณะรองที่ไม่น่าสนใจ แต่สำหรับในแง่การปรับปรุงพันธุ์พืชจะมีความสำคัญมากกับการคัดเลือก linkage gene ในข้าวการคัดเลือกต่างๆ

ทั้งนี้เพราะสามารถมองเห็นได้อย่างชัดเจน

สรุปผลการทดลอง

1. ลักษณะที่แสดงองค์ประกอบทางพันธุกรรมเป็นแบบบวกสะสม ได้แก่ ความยาวของลำต้น น้ำหนัก 1,000 เมล็ด และปริมาณอะไมโลสในเมล็ด

2. แบบยีนซ่มเกินพ่อแม่ค่าต่ำ คือจำนวนหน่อ/กอและจำนวนรวง/กอ

3. แบบยีนซ่มกันทางลบ คือเปอร์เซ็นต์เมล็ดดี

4. เป็นได้ทั้งแบบยีนซ่มของอัลลิลในยีนเดียวกันทางลบ หรือแบบบวกสะสม คือปริมาณโปรแอนโทไซยานินในรำละเอียด

5. ไม่พบองค์ประกอบทางพันธุกรรมของ F_1 แบบยีนซ่มเกินพ่อแม่ค่าสูง ของลักษณะที่เกี่ยวข้องกับผลผลิต ดังนั้นการสร้างลูกผสม F_1 ดีเด่นด้านผลผลิต อาจจำเป็นต้องสร้างในลักษณะที่เป็นการสะสม ความดีเด่นแบบบวกสะสมของหลายๆลักษณะที่เกี่ยวข้องกับผลผลิต ซึ่งหมายถึงความสำคัญของการคัดเลือกพันธุ์พ่อแม่และแม่ที่เหมาะสมจากแหล่งพันธุกรรมข้าว เพื่อใช้ในโครงการปรับปรุงพันธุ์ข้าวลูกผสมเพื่อผลผลิต

คำขอบคุณ

งานวิจัยนี้ได้รับการสนับสนุนจากโครงการส่งเสริมการวิจัยในอุดมศึกษาและการพัฒนามหาวิทยาลัยวิจัยแห่งชาติ (NRU) ของสำนักงานคณะกรรมการการอุดมศึกษา

เอกสารอ้างอิง

ดำเนิน กาละดี. 2545. เทคโนโลยีการปรับปรุงพันธุ์พืช. คณะเกษตรศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่ โรงพิมพ์มิ่งเมือง เชียงใหม่ 201. หน้า.

Abel, G.H.1976. Inheritance of stem length and its components in safflower. *Crop Sci* 16: 374-376.

Admad, S., M.S. Khan, M.S. Swati, G.S. Shah and I.H. Khalil 2005. A study on heterosis and inbreeding depression in sunflower (*Helianthus annuus* L.). *Songklanakarin J. of Sci. Technol.* 27 (1): 1-8.

Akhtar, N. and M.A. Chowdhry 2006. Genetic analysis of yield and some other quantitative traits in bread wheat int. *J. Agri. Biol.* 8 (4): 523-527.

Anon.1975. Inheritance studies. Pages 85-86. In: *Annual Report 1975*. International Rice Research Institute, Los Banos. Philippines.

Anon.1986. Inheritance of amylose content. Page 49 In: *Annual Report 1986*. International Rice Research Institute, Los Banos, Philippines.

Awaad H.A. 1996. Genetic system and prediction for yield and its attributes in four wheat crosses

- (*Triticum aestivum* L.). *Ann. Agric. Sci.* 34: 869–90.
- Bohm, B. 1998. *Introduction of Flavonoids*. Harwood Academic Publishers, Singapore. 503 p.
- Butany, W. T, R.K. Bhattacharyya and L.R. Daiya 1959. Inheritance of dwarf character in rice and its interrelationship with the occurrence of anthocyanin pigment in various plant parts. *Indian of Genetics and Plant Breeding* 19 (1): 64-72.
- Chang, T. T. and E. A. Bardenas.1965. The morphology and varietal characteristics of the rice plant. *Tech. Bull., IRRI, Philippines* 4:40.
- Chang, T. T. and C.C Li 1980. *Genetics and Breeding in Rice: Production and Utilization*. Luh B.S. (ed.) AVI Publish Company, Inc., Westport, Connecticut. 147p.
- Chowdhry, M. A., M.S. Akhtar and M. T. Ahmad 1992. Combining ability analysis for flag leaf area, yield and its components in spring wheat. *J. Agric. Res.* 30: 17–23.
- Chowdhry, M. A., I. Rasool, I. Khaliq, T. Mahmood and M. M. Gilani. 1999. Genetics of some metric traits in spring wheat under normal and drought environments. *Rachis* 18: 34–9.
- Futsuhara, F .1986. Developmental genetics studies on induced dwarf mutants in rice. Pages 273-283. *In: Rice Genetics: Proceedings of the International Rice Genetic Symposium, 27-31 May 1985*. International Rice Research Institute, Los Banos, Laguna, Philippines.
- Groose, R. W. and R. G. Palmer. 1991. Gene action governing anthocyanin pigmentation in soybean. *J. of Heredity* 82 (6): 498-501.
- Han, K. H., M. Sekikawa, K. I. Shimada, M. Hashimoto, N. Hashimoto, T. Noda, H.Tanaka and M. Fukushima, 2006. Anthocyanin-rich purple potato flake extract has antioxidant, capacity and improves antioxidant potential in rats. *British J. of Nutrition* 96: 1125-1133.
- Han S. J., S. N. Ryu and S.S. Kang 2004. A new 2-arylbenzofuran with antioxidant activity from the black coloured rice (*Oryza sativa* L.) Bran. *Chem. Pharm. Bull.* 52 : 1365-1366.
- Harborne, J. B. and C. A. Williams 2000. Advances in avonoid research since

1992. *Phytochemistry* 55: 481–504.
- Jaakola, L., K. Maatta, A. M. Pirttila, R. Torronen, S. Karenlampi and A. Hohtola 2002. Proanthocyanidin and flavonol levels during bilberry fruit development. *Plant Physiology* 130 (2): 729-739.
- Karladee, D., A. Gavilo and Jamjod. 2012. Amylose content in rice grain: heritability and rate of response to selection. *CMU J. Nat.Sci.* 11 (1): 87-95.
- Kikuchi, F.1986. Genetic of morphological traits. rice genetics: Pages 273-283. *In : Proceedings of the International Rice Genetic Symposium.* 27-31 May 1985. International Rice Research Institute, Los Banos, Laguna. Philippines.
- Kowalczyk, E, P. Krzesinski M. Kura, B. Szmigiel and J. Blaszczyk 2003. Anthocyanins in medicine. *Pol. J. Pharmacol.* 55: 699-702.
- Kumar, I. and G. S. Khush 1988. Inheritance of amylose content in rice (*Oryza sativa* L.). *Euphytica* 38: 261-269.
- Oziegbe, M., J. O. Faluyi and J. A. Idowuet. 2012. Inheritance of pigmentation pattern in *Talinum traingulare* (JACQ) wild. *J. of Sci.* 14 (2): 363-367.
- Park, Y. S, S. J. Kim and H. I. Chang. 2008. Isolation of anthocyanin from black rice (Heugjinjubyeo) and screening of its antioxidant activities. *Korean J. Microbiol. Biotechnol.* 36 (1): 55-60.
- Ryu, S. N., S. Z. Park, S. S. Kang, E. B. Lee and S. J. Han 2000. Food safety of pigment in black rice cv. Heugjinjubyeo. *Korean J. Crop Sci.* 45: 370-373.
- Sahu, G. R., A. K. Sarawgi, B. Sharma and M. Parkh .2011. Inheritance of anthocyanin pigmentation in rice. *J. of Rice Res.* 3 (1): 19-23.
- Sharma, J. C. and Z. Ahmad. 1980. Genetic architecture of some traits in spring wheat. *Indian J. Agric. Sci.* 50: 547–61.
- Tomar, J.B., S.C. Prasad and K. Madhu. 2000. Genetics of morphological characters in rice (*O. sativa* L.). *Indian. J. of Agric. Sci.* 7(11): 736-740.
- Tsenov N .1996. Inheritance and gene action for yield and some yield components in bread wheat crosses (*Triticum aestivum* L.). II. A 1000-kernel weight and grain yield

- per plant. *Bulgarian J. Agric. Sci.* 2: 319–25.
- Winkel-Shirley B. 1996. Flavonoid biosynthesis: 'new' functions for an 'old' pathway. *Trends Plant Sci.* 1: 377-382.
- Zhou, G., Y. Chen, W. Yao, C. Zhan, W. Xie, J. Hua, Y. Xing, J. Xiao and Q. Zhang. 2012. Genetic composition of yield heterosis in an elite rice hybrid. *Proceeding of the National Academy of Sci.* 109(39): 15847-15852.