บทที่ 2

ตรวจเอกสาร

ข้าวบาร์เลย์ (*Hordeum spp.*) เป็นพืชตระกูลหญ้าพวก Hordeae โดยมีดอกที่เรียงตัวกันแบบสลับ จัดอยู่ใน Genus Hordeum และ Section Cerealia ใน Section นี้แบ่งออกเป็น 2 species คือชนิดที่เป็นพืชปลูก (*H. vulgare*) จะมีก้านช่อดอกเหนียว และชนิดที่ไม่ได้นำมาเป็นพืชปลูกซึ่งมีก้านช่อดอกที่เปราะ (*H. agriocrithon* และ *H. spontaneum*) เป็น diploid species มีจำนวนโครโมโซม 2n = 14 ในชนิดที่เป็นพืชปลูกยังแบ่งออกตามการติดเมล็ดของดอกที่อยู่ส่วนล่าง ได้เป็น 3 ชนิดคือ ข้าวบาร์เลย์ชนิดหกแถว หรือ six-row barley (*H. vulgare*) ข้าวบาร์เลย์ชนิดสองแถว หรือ two-row barley (*H. distichum*) และข้าวบาร์เลย์ชนิดสี่แถว หรือ four-row barley หรือ irregular barley (*H. irregulare* หรือ *H. tetrastichum*) ชนิดนี้มีแหล่งกำเนิดที่ประเทศเอธิโอเปีย ข้าวบาร์เลย์เป็นพืชผสมตัวเอง (self-pollination) แต่ละช่อดอก (spike) มีดอกย่อย (spikelet) ซึ่งจะเกิดที่แต่ละข้อของแกนกลางช่อดอก (rachis node) และแต่ละดอกย่อยจะประกอบด้วย 3 ดอกเดี่ยว (single floret) โดยทั่วไปแต่ละช่อดอกจะมี 10-30 ข้อ (Martin *et al*., 2006) นอกจากนี้ ยังแบ่งเป็นกลุ่มพันธุ์ฤดูหนาวแท้จริง (winter type) ซึ่งต้องอาศัยอุณหภูมิต่ำมากและมีความยาวนานมากกว่า 6 เดือน เพื่อกระตุ้นการออกดอก และกลุ่มพันธุ์ฤดูใบไม้ผลิ (spring type) ต้องการช่วงเวลาอุณหภูมิต่ำประมาณ 6 สัปดาห์ ในการออกดอกข้าวบาร์เลย์มีความสามารถในการปรับตัวเข้ากับเขตอบอุ่นและเขตร้อนได้อย่างกว้างขวาง ดังนั้นพวกกลุ่มพันธุ์ฤดูใบไม้ผลิจึงเป็นกลุ่มธัญพืชเมืองหนาวที่สามารถปลูกได้ในประเทศไทย (อาคมและสุทัศน์, 2540)

ข้าวบาร์เลย์พันธุ์ป่า (*H. spontaneum* C. Koch) เป็นบรรพบุรุษของข้าวบาร์เลย์ที่ปลูกในปัจจุบัน (*H. vulgare*) โดยมีศูนย์กลางความหลากหลายทางพันธุกรรมอยู่ที่บริเวณ The Fertile Crescent of the Near Eastern ของประเทศอิสราเอล ตุรกี และอิหร่าน ซึ่งข้าวบาร์เลย์พันธุ์ป่านี้สามารถเจริญเติบโตได้ในสภาพแวดล้อมที่หลากหลาย (Ivandic *et al*., 2002) ซึ่งจะเป็นแบบชนิดสองแถวเท่านั้น Badr *et al.* (2000) ได้ใช้เครื่องหมายโมเลกุลศึกษาข้าวบาร์เลย์สายพันธุ์ป่า 317 สายพันธุ์ และสายพันธุ์ปลูก 57 สายพันธุ์ พบว่าประชากรสายพันธุ์ป่าจากประเทศอิสราเอล และจอร์แดนมีความเหมือนสายพันธุ์ปลูกมากกว่าประชากรจากแหล่งอื่น และพบว่ามีการเคลื่อนย้ายข้าวบาร์เลย์จากเอเชียตะวันออกกลางไปยังเอเชียใต้บริเวณหิมาลัย (Himalayas region) ด้วย สำหรับข้าวบาร์เลย์ชนิดหกแถวนั้น Tanno *et al.* (2002) พบว่าแบ่งออกได้เป็น 2 กลุ่ม คือ Type I และ Type II โดยข้าวบาร์เลย์ Type I นั้นมีการกระจายตัวอย่างกว้างขวาง ขณะที่ Type II พบเพียงบริเวณ

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

เมดิเตอร์เรเนียนเท่านั้น และทั้งสองชนิดเกิดมาจากข้าวบาร์เลย์ชนิดสองแถวชนิด Type I และ Type II ที่พบในข้าวบาร์เลย์พันธุ์ป่าจากประเทศเติร์กเมนิสถาน อาฟริกาเหนือ และโมร็อกโค

ข้าวบาร์เลย์เป็นทั้งธัญพืชหลักและพืชอาหารสัตว์ ปี 2000-2003 มีการปลูกข้าวบาร์เลย์ประมาณ 136 ล้านเอเคอร์ (55 ล้านเฮกแตร์) และให้ผลผลิต 2,500 กิโลกรัมต่อเฮกแตร์ ปี 2005 มีการปลูกข้าวบาร์เลย์ประมาณ 100 ประเทศทั่วโลก โดยมีประเทศรัสเซีย เยอรมัน แคนาดา ฝรั่งเศส และสเปนเป็นผู้นำการผลิต (Martin *et al*., 2006; Wikipedia, 2006) สำหรับประเทศไทยมีการเพาะปลูกข้าวบาร์เลย์เพียงเล็กน้อยและกระจัดกระจายทางตอนบนของประเทศ เช่น เชียงราย ลำพูน ลำปาง พะเยา น่าน และเชียงใหม่ เนื่องจากมีอุณหภูมิต่ำเหมาะแก่การเพาะปลูก ประโยชน์ของข้าวบาร์เลย์สามารถนำไปแปรรูปเป็นเมล็ดกลมๆเล็ก เรียกว่า peal barley ซึ่งสามารถนำใช้รับประทานแบบข้าวได้ ข้าวบาร์เลย์สามารถแปรรูปเป็นส่วนประกอบของอาหารเพื่อสุขภาพ ผลิตเป็นแป้งเพื่อทำขนม ผลิตเป็น barley flakes, barley grits และที่สำคัญคือข้าวมอลต์ (barley malt) เพื่อใช้ในอุตสาหกรรมผลิตเบียร์ซึ่งพบว่าข้าวบาร์เลย์ทั้ง 2 ชนิดมีคุณสมบัติในการผลิตมอลต์ที่แตกต่างกัน คือ ข้าวบาร์เลย์ชนิดหกแถว จะมีองค์ประกอบของเอนไซม์สูงกว่า มีปริมาณโปรตีนที่มากกว่า แต่มีปริมาณแป้งน้อย และเปลือกหนากว่าชนิดสองแถว ซึ่งปริมาณเอนไซม์ที่สูงนี้จะช่วยเพิ่มการเปลี่ยนแปลงระหว่างกระบวนการ mashing ส่วนข้าวบาร์เลย์ชนิดสองแถว จะมีองค์ประกอบโปรตีนที่ต่ำกว่าซึ่งจะช่วยลดปัญหาความขุ่น (haze) ในตอนท้ายของกระบวนการผลิตเบียร์ ประเทศไทยนอกจากจะนำเข้าข้าวบาร์เลย์มาเพื่อผลิตเบียร์แล้ว ยังใช้ในอุตสาหกรรมการผลิตเครื่องดื่มเพื่อสุขภาพ เช่น โอวัลติน ขนม อาหารเช้า เป็นต้น

การกระทำของยีน (Gene action)

พฤติกรรมของยีนมีความสำคัญในด้านปรับปรุงพันธุ์เป็นอย่างมาก การปรับปรุงพันธุ์หมายถึง การสร้างพันธุ์ที่มีความสามารถ (Vigor) เหนือกว่าเดิม ดังนั้นพฤติกรรมของยีนที่สร้างเสริมความสามารถที่เหนือกว่าจึงเป็น heterozygosis หรือ homozygosis หรือเป็นทั้ง heterozygosis และ homozygosis โดยลักษณะพฤติกรรมของยีนแบ่งออกเป็น 2 ชนิด (ดำเนิน, 2545) คือ

1. พฤติกรรมหรือการกระทำของคู่ยีน (Allelic gene action) มีอยู่ 4 แบบคือ

Dominance คือปรากฏการณ์เมื่อ allele หนึ่งของยีนที่สามารถแสดงความสามารถของตัวเองออกมาทั้งหมดจนบดบังความสามารถของอีก allele หนึ่งที่คู่กัน

Co-dominance คือปรากฏการณ์เมื่อ allele ที่คู่กัน ทั้งสองต่างแสดงความสามารถ โดยผลิตสารพันธุกรรมที่มีอิสระต่อกัน และสารนั้นสามารถอยู่ร่วมกันได้เมื่อทั้งคู่อยู่ในสภาพ heterozygous

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

Semi-dominance คือปรากฏการณ์เมื่อ allele ที่คู่กันทั้งสองต่างแสดงความสามารถโดยผลิตสารพันธุกรรมชนิดเดียวกันแต่ต่างปริมาณกัน

Recessive คือปรากฏการณ์เมื่อ allele หนึ่งของยีนที่ขาดความสามารถในการแสดงตัวเองเมื่อมีคู่ allele ที่เป็น dominance ปรากฏอยู่ด้วย

2. พฤติกรรมของยีนที่ไม่ได้เป็นของคู่กัน (Non-allelic gene action) มีอยู่ 4 แบบคือ

Epistatsis คือปรากฏการณ์ที่ยีนหรือคู่ของยีนไปบดบังความสามารถของยีนอื่นที่ไม่ได้เป็นคู่ของตนเอง (non-allelic gene) ไม่ให้แสดงความสามารถออกมา ซึ่ง non-allelic gene ที่ถูกบดบังจะเรียกว่า Hypostatis gene

Co-epistatis คือปรากฏการณ์เมื่อคู่ยีนที่เป็น non-allelic กันต่างสามารถผลิตสารพันธุกรรมที่เป็นอิสระต่อกัน

Semi-epistatis คือปรากฏการณ์เมื่อคู่ยีนที่เป็น non-allelic กันต่างสามารถผลิตสารพันธุกรรมชนิดเดียวกันแต่ต่างปริมาณกัน

Hypostasis คือปรากฏการณ์ที่ถูกบดบังความสามารถจาก non-alleic gene

ความดีเด่นของลูกผสม (Heterosis)

Shull (1948) เป็นผู้ที่นำคำว่าความดีเด่นของลูกผสมชั่วที่หนึ่ง (heterosis) มาใช้เป็นบุคคลแรกเมื่อปี 1908 โดยให้คำจำกัดความว่าความดีเด่นของลูกผสมชั่วที่หนึ่งคือการผสมพันธุ์พ่อ-แม่ที่มีลักษณะที่แตกต่างกันทำให้ลูกผสมชั่วที่หนึ่งที่ได้มีความสามารถเหนือกว่าพันธุ์พ่อ-แม่ ซึ่งส่งผลให้มีขนาดที่เพิ่มขึ้น รวมทั้งความสูง ความอุดมสมบูรณ์ อัตราการเจริญเติบโต มีพลังงานจลน์มากขึ้น เพิ่มผลผลิต และความสามารถในการต้านทานโรคหรือแมลง ทั้งในสภาพแวดล้อมที่เหมาะสมและไม่เหมาะสม (Chahal and Gosal, 2002) และท้ายที่สุดความดีเด่นของลูกผสมชั่วที่หนึ่งของผลผลิตที่เก็บเกี่ยวได้นั้น เป็นสิ่งที่น่าสนใจของการผสมพันธุ์พืชโดยใช้ในการปรับปรุงการผลิตพืช มีพืชผสมข้ามหลายชนิดที่แสดงถึงความดีเด่นเหนือพ่อ-แม่ในระดับที่หลากหลายแต่มีความสัมพันธ์น้อยในพืชผสมตัวเอง ในทางพันธุศาสตร์ปริมาณ (quantitative genetics) ความดีเด่นของลูกผสมชั่วที่หนึ่งหมายถึงลูกผสมที่มีค่าเฉลี่ยสูงกว่าพันธุ์พ่อและพันธุ์แม่ ส่วนในทางเศรษฐศาสตร์นั้นหมายถึงลูกผสมที่มีความสามารถเหนือกว่าพันธุ์พ่อหรือแม่ที่ดีกว่า (better parent) (Kersey and Pooni, 1996) ก่อนหน้านั้น Koelreuter นักพฤกษศาสตร์ชาวเยอรมันได้นำคำว่า “hybrid vigor” มาใช้เป็นบุคคลแรกซึ่งหมายถึง ลูกผสมที่มีความแข็งแรงเพิ่มขึ้น มีการศึกษาเกี่ยวกับความดีเด่นในลูกผสมอย่างกว้างขวางหลังจากปี 1910 ซึ่ง Shull ได้ประสบความสำเร็จในการผลิตลูกผสมข้าวโพด

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

(hybrid corn) เพื่อการค้า ในปี 1926 Jones เป็นบุคคลแรกที่รายงานเรื่องความดีเด่นของข้าวหลังจากที่พบว่าลูกผสมชั่วที่หนึ่งมีการแตกหน่อ และให้ผลผลิตที่มากกว่าพันธุ์พ่อและแม่ (Lamps, 1994)

ความเสื่อมถอยของลูกผสม (Inbreeding depression)

Chahal and Gosal (2002); Allard (1960) กล่าวว่า ความเสื่อมถอยจะเกี่ยวข้องกับการลดลงของความแข็งแรง การสืบพันธุ์ และการให้ผลผลิต รวมถึงความอ่อนแอของต้นลูกที่ยากจะรักษาไว้ได้ ความเสื่อมถอยที่เกิดขึ้นจะมีผลแสดงออกมากใน 5-8 ชั่ว (generations) แรก หลังจากนั้นแล้วระดับการให้ผลผลิตโดยทั่วไปจะคงที่ โดย homozygosity จะเพิ่มขึ้นและจะมีความแตกต่างในแต่ละสายพันธุ์ (lines) แต่ความแตกต่างระหว่างต้นภายในสายพันธุ์เดียวกันจะลดลง พืชบางชนิดไม่มีความทนทานต่อความเสื่อมถอยที่เกิดขึ้น เช่น งา และแครอท โดยจะเกิดความเสียหายตั้งแต่ชั่วแรกๆ พืชบางชนิดต้นจะอ่อนแอและได้รับความเสียหาย หรืออาจตายตั้งแต่เมล็ดเริ่มงอก ความเสื่อมถอยจะเกิดขึ้นค่อนข้างสูงในพวกข้าวโพด โดยจะอ่อนแอและผลผลิตลดลงอย่างมากใน 4-5 ชั่ว พืชผสมข้ามบางชนิด เช่น ทานตะวัน rye timothy smooth bromegrass และ orchardgrass มีความทนทานต่อความเสื่อมถอยปานกลาง โดยทั่วไปความเสื่อมถอยจะเกิดขึ้นสูงในพืชผสมข้าม ในขณะที่พืชผสมตัวเองจะมีความทนทานต่อความเสื่อมถอยสูง ความแตกต่างของพฤติกรรมของพืชต่างๆ จะเกี่ยวข้องกับชนิดของความสมดุลทางพันธุกรรม

ชนิดของความดีเด่นมีดังต่อไปนี้

1. Relative heterosis คือความดีเด่นของลูกผสมเหนือกว่าค่าเฉลี่ยของพ่อและแม่ (mid-parent value)

Heterosis over mid-parent (H%) = $[(F_1 - MP) / MP] \times 100$

2. Heterobeltiosis คือความดีเด่นของลูกผสมที่มีค่าเหนือกว่าพันธุ์พ่อหรือแม่ที่ดีกว่าในคู่ผสมนั้น

Heterosis over better parent (HB%) = $[(F_1 - BP) / BP] \times 100$

MP = Mean mid-parent value

= $(P_1 + P_2) / 2$

BP = Mean of better-parent

3. Standard heterosis คือความดีเด่นของลูกผสมที่มีค่าเหนือกว่า commercial check variety (Banga and Banga, 1998)

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

นอกจากนั้น ดำเนิน (2545) ใช้วิธีการเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยของลูกผสมชั่วที่หนึ่งกับค่าเฉลี่ยของลูกผสมชั่วที่สองที่มาจากพ่อ-แม่เดียวกันนั้นๆ

$$\text{Heterosis (\%)} = [(F_1 - F_2) / F_2] X 100$$

ทฤษฎีความดีเด่นในลูกผสม (Theories of Heterosis)

1. ทฤษฎีข่มสมบูรณ์ (The Dominance Theories)

Davenport (1908 อ้างโดย Vermani, 1994; Banga and Banga, 1998) กล่าวว่า ความดีเด่นของลูกผสมเป็นผลมาจากการแสดงหรือปฏิกิริยาสัมพันธ์ของยีนเด่น (dominance gene) ที่ลูกผสมชั่วที่หนึ่งได้รับจากพ่อและแม่ โดยให้ยีนหนึ่งเป็นยีนเด่นจากพ่อหรือแม่ที่มีลักษณะดี แข็งแรง หรือการเจริญเติบโตดี และอีกยีนหนึ่งเป็นยีนด้อย (recessive genes) ที่ให้ลักษณะอ่อนแอหรือไม่ดี ลูกผสมที่ได้จากพ่อและแม่จะมีลักษณะที่ดีกว่าพ่อและแม่ เนื่องจากยีนเด่นจะข่มลักษณะด้อยไม่ให้แสดงออกมา เช่น ยีน ABCDEFG แสดงลักษณะผลผลิตดี

Parent *I*		Parent *II*
AABBccDDeeffGG	X	aaBBCCddEEFFgg

F1 hybrid

AaBBCcDdEeFfGg

ลูกผสมชั่วที่หนึ่งจะมีลักษณะผลผลิตที่ดีกว่าพ่อและแม่เนื่องจากได้รับยีนเด่นในทุกตำแหน่ง ส่วนความเสื่อมถอยจะเกิดขึ้นก็ต่อเมื่อมีการกระจายตัวของยีนและยีนด้อยในสภาพพันธุ์ทาง (heterozygous) ในลูกผสมชั่วที่หนึ่งกลายมาเป็นพันธุ์แท้ (homozygous) ในชั่วต่อมา

2. ทฤษฎีข่มเกิน (The Overdominance Theories)

Shull (1908 อ้างโดย Vermani, 1994) เสนอว่าลูกผสมชั่วที่หนึ่งของยีน " a" จะมีความดีเด่นเหนือกว่าพันธุ์พ่อ-แม่ ทั้งสองที่ยีนตำแหน่งเดียวกัน เช่น allele A1 และ A2 ของยีนหนึ่งตำแหน่ง จะให้ลักษณะดีต่อพืชที่แตกต่างต่างกัน ดังนั้น พืชที่อยู่สภาพพันธุ์ทาง (A1A2) จะรวมเอาลักษณะดีทั้งสองลักษณะเข้าไว้ด้วยกัน ทำให้ลูกผสมชั่วที่ 1 ที่มีจำนวนของ heterozygous alleles จะมีความแข็งแรงมากกว่าเมื่อเปรียบเทียบกับพ่อและแม่ การข่มเกินที่แสดงในลักษณะต่างๆ นั้น จะถูกควบคุมด้วยยีนเพียงตำแหน่งเดียว (single gene) แต่จากหลักฐานที่แสดงออกมาสำหรับลักษณะที่ถูกควบคุมด้วยยีนจำนวนมาก (polygenic characters) เช่น ผลผลิต นั้นค่อนข้างหายาก

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

3. ทฤษฎีข่มข้ามคู่ (The Epistasis Hypothesis)

พิจารณาถึงอิทธิพลของยีนตำแหน่งหนึ่งที่มีผลต่อการแสดงออกของยีนอีกตำแหน่งที่มีต่อความดีเด่นในการปรับตัวของ heterozygotes ซึ่งผลมาจากการแสดงออกที่เพิ่มขึ้นอย่างทวีคูณระหว่างยีนที่ต่างตำแหน่งกัน ผลของการข่มข้ามคู่จะเป็น non-linear function ที่เกิดจาก one-locus effect และค่าเฉลี่ย ด้วยการแสดงออกอย่างเพิ่มทวีคูณที่ซับซ้อน ทำให้ค่าเฉลี่ยของ additive effects สร้างข้อจำกัดที่คล้ายๆ กันสำหรับส่วนที่เหลือ ดังนั้น ความดีเด่นสำหรับลักษณะที่ซับซ้อนจะถูกกำหนดโดยปฏิกิริยาสัมพันธ์ของปัจจัยทางพันธุกรรมมากมาย (Banga and Banga, 1998)

ค่าความดีเด่นของลูกผสมเหนือค่าเฉลี่ยของพันธุ์พ่อแม่ที่แสดงออกมานั้นเป็นได้ทั้งเพิ่ม (positive) หรือลด (negative) ค่าของลูกผสมชั่วที่ 1 และแสดงออกได้ในหลายลักษณะ ได้มีผู้ศึกษาเกี่ยวกับความดีเด่นในลูกผสมของพืชมากมาย Martinaz and Foster (1998) รายงานว่าค่าความดีเด่นของลูกผสมมีทั้งค่าบวกและลบ โดยค่าความดีเด่นเหนือค่าเฉลี่ยของพันธุ์พ่อและแม่ของลักษณะอายุออกดอกข้าวบาร์เลย์มีค่าระหว่าง 10.17-20.36% แต่ไม่พบค่าความดีเด่นเหนือกว่าพันธุ์พ่อหรือแม่ที่ดีของลักษณะนี้ ส่วนความดีเด่นเหนือค่าเฉลี่ยของพ่อและแม่ของลักษณะผลผลิตเมื่อปลูกที่เมือง Fargo จะมีค่าที่สูงกว่า (13.70-39.22%) เมื่อปลูกที่เมือง Prosper (6.05-9.52%) สำหรับค่าความเสื่อมถอยของลักษณะอายุออกดอกค่อนข้างคงที่ แต่ลักษณะผลผลิตมีความคงที่น้อยซึ่งแสดงว่ามีความสัมพันธ์กับสิ่งแวดล้อมและอิทธิพลของการกระทำของยีนควบคุม ส่วน El-Bawab (2003) ศึกษาค่าความดีเด่นของข้าวบาร์เลย์พบว่าให้ค่าที่เป็นลบของลักษณะอายุออกดอก และค่าความดีเด่นที่เป็นบวกของลูกผสมในลักษณะผลผลิตและองค์ประกอบผลผลิต Ozgen *et al.* (2005) ทำการศึกษาอิทธิพลของความแข็งแรงของลูกผสมในลักษณะต่างๆ ของเนื้อเยื่อ (callus) จาก mature embryo culture ของลูกผสมข้าวบาร์เลย์กลุ่มพันธุ์ฤดูหนาวแท้จริง พบว่าลูกผสมให้ค่าความดีเด่นที่เป็นบวกทุกลักษณะ ยกเว้นน้ำหนักเนื้อเยื่อ โดยพบค่าความดีเด่นเหนือค่าเฉลี่ยพันธุ์พ่อ-แม่และพันธุ์พ่อหรือพันธุ์แม่ที่ดีกว่าของลักษณะ callus induction (7.5%, 5.3%) regeneration capacity of callus (10.8%, 9.6%) culture efficiency (19.7%, 17.7%) และจำนวนของพืชที่เกิดขึ้นใหม่ (27.5%, 18.3%) แสดงให้เห็นว่าลูกผสมข้าวบาร์เลย์อาจจะประสบความสำเร็จในการเจริญเติบโตในดิน เมื่อมีค่า callus induction และ regenerated plants สูงจากการเพาะเลี้ยงเนื้อเยื่อ

ในพืชพวกข้าวสาลี Joshi *et al.* (2003) รายงานว่าในสภาพวันปลูกเร็ว วันปลูกปกติ และวันปลูกช้าลักษณะผลผลิตข้าวสาลีแสดงค่าความดีเด่นเหนือพ่อหรือแม่ที่ดีกว่าทุกสภาพแวดล้อมจำนวน 29 คู่ผสม ส่วนลักษณะองค์ประกอบโปรตีนพบว่ามีจำนวน 54 คู่ผสม ที่แสดงค่าความดีเด่นเหนือพ่อหรือแม่ที่ดีกว่า มีค่าระหว่าง 13.81-19.61% นอกจากนั้นในลูกชั่วที่ 2 เกิดความเสื่อมถอยที่เป็นลบของลักษณะผลผลิตและองค์ประกอบผลผลิต แสดงว่าลูกผสมชั่วที่ 2 มีค่าเฉลี่ยของลักษณะ

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

เหล่านี้มากกว่าลูกผสมชั่วที่ 1 ความดีเด่นของลูกผสมโดยเฉพาะความดีเด่นที่มากกว่าพันธุ์พ่อหรือแม่ที่ดีกว่ามีประโยชน์ในการตัดสินใจคัดเลือกพ่อ-แม่ที่สามารถทำให้ลูกผสมที่ได้เกิดการกระจายตัวสูงสุด เพื่อจะนำมาผลิตพันธุ์เพื่อการค้าต่อไป เช่นเดียวกับ Singh *et al.* (2004) ทำการศึกษาลูกผสมข้าวสาลี 83 คู่ พบว่าเกิดความดีเด่นของผลผลิตเมล็ดต่อต้นเหนือค่าเฉลี่ยของพันธุ์พ่อ-แม่ที่ดีกว่าแตกต่างกันทั้ง 3 วันปลูก แต่มีเพียง 20 คู่ ที่แสดงค่าคงที่ทั้ง 3 วันปลูก โดยให้ค่าความดีเด่นเหนือพ่อหรือแม่ที่ดีกว่าเฉลี่ยสูงสุดของลูกผสมพันธุ์ Raj3765 x HD2285 เท่ากับ 50.94% คู่ผสม PBW373 x HD2329 เท่ากับ 121.08% และคู่ผสม PBW373 x HD2329 เท่ากับ 93.96% และให้ค่าความดีเด่นเหนือค่าเฉลี่ยของพันธุ์พ่อและแม่เฉลี่ยสูงสุดเท่ากับ 72.00%, 125.82% และ 98.93% ของวันปลูกต่างๆ ตามลำดับ ค่าความดีเด่นของลักษณะผลผลิตเมล็ดต่อรวง จำนวนหน่อต่อต้น และน้ำหนัก 1,000 เมล็ดเกี่ยวข้องกับการเกิดค่าความดีเด่นของลักษณะผลผลิตในสภาพวันปลูกเร็วและวันปลูกปกติ นอกจากนั้น พบว่าความเสื่อมถอยที่เกิดขึ้นอย่างมีนัยสำคัญในลักษณะผลผลิตและองค์ประกอบผลผลิต Fabrizius *et al.* (1998) ศึกษาค่าความดีเด่นจากลูกผสมชั่วที่ 2 พบว่าค่าความดีเด่นเหนือค่าเฉลี่ยของพันธุ์พ่อและแม่ และพันธุ์พ่อหรือแม่ที่ดีกว่าของลักษณะผลผลิต มีค่าระหว่าง -18-28% และ -22-24% ตามลำดับ และพบว่าในสภาพแวดล้อมเดียวกันมีการแสดงออกของผลผลิตที่ดีที่สุดและต่ำที่สุดด้วย Solomon *et al.* (2006) รายงานว่าค่าความดีเด่นเหนือค่าเฉลี่ยของพันธุ์พ่อและแม่ของลักษณะผลผลิตมีค่าสูง 72 และ 127% ภายใต้สภาพการให้น้ำปกติและสภาพขาดน้ำ ค่าความดีเด่นที่สูงในสภาพขาดน้ำเนื่องจากสายพันธุ์พ่อ-แม่มีสมรรถนะของความเป็นพันธุ์แท้ต่ำ และค่าความดีเด่นของลักษณะผลผลิตภายใต้สภาพเครียดเนื่องจากค่าความดีเด่นที่สูงของลักษณะน้ำหนักเมล็ด นอกจากนั้น ลักษณะผลผลิตมีการกระทำของยีนแบบเป็นผลบวกและไม่เป็นผลบวกซึ่งมีความสำคัญในการถ่ายทอดลักษณะนี้ไปสู่ลูกหลาน ส่วนลักษณะทางสรีรวิทยามีความสำคัญต่อการแสดงออกของความดีเด่นของลูกผสมเช่นกันโดย วรรธนะพงศ์ (2547) รายงานว่าลักษณะอายุออกดอก ความสูง และจำนวนช่อดอกย่อยต่อรวง ถูกควบคุมด้วยยีนแบบผลบวก ขณะที่ขนาดเมล็ดและผลผลิตต่อต้นถูกควบคุมด้วยยีนทั้งแบบเป็นผลบวกและไม่เป็นผลบวก และพบว่าลูกผสมชั่วที่ 1 แสดงค่าความดีเด่นของลักษณะผลผลิตต่อต้นสูงกว่าพันธุ์พ่อและแม่ เนื่องจากมีอัตราการเจริญเติบโตรวม อัตราการเจริญเติบโตของรวง และประสิทธิภาพการถ่ายเทสารสังเคราะห์ไปสู่รากดีกว่าพันธุ์พ่อแม่ ดังนั้น ในการปรับปรุงพันธุ์ข้าวสาลีเพื่อให้ได้ผลผลิตสูงและได้ผลดีควรนำลักษณะทางด้านสรีรวิทยามาร่วมพิจารณาประกอบการคัดเลือกด้วย โดยเฉพาะลักษณะการถ่ายเทสารสังเคราะห์ไปสู่รวงเพื่อสร้างเมล็ดให้มีขนาดใหญ่และน้ำหนักเมล็ดที่สูง Dreisigacker *et al.* (2005) รายงานว่าค่าความดีเด่นเหนือค่าเฉลี่ยของพันธุ์พ่อและแม่สำหรับลักษณะผลผลิตมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ0.5% (ระหว่าง -15.33-14.13%) และให้ค่าที่เป็นลบของค่าเฉลี่ยของ

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

ค่าความดีเด่นเหนือพ่อหรือแม่ที่ดี และพบว่าอายุออกดอกและอายุสุกแก่แสดงค่าความดีเด่นที่เป็นลบ ซึ่งเป็นลักษณะที่ต้องการของงานปรับปรุงพันธุ์เพื่อให้ได้พันธุ์เบา ส่วนค่าความดีเด่นของลักษณะความสูงมีค่าเฉลี่ยเพียง 0.9% Sharma and Sain (2004) ทำการศึกษาค่าความดีเด่นเหนือพันธุ์พ่อหรือแม่ที่ดีกว่าของลักษณะความยาวหางในลูกผสมของคู่ผสม Raj911 x DWL 5002 มีค่าเท่ากับ 8.27% ในสภาพวันปลูกปกตินั้น เกิดมาจากการกระทำของยีนแบบ additive x additive x dominance และแบบ dominance x dominance แสดงว่าลูกผสมชั่วที่ 1 มีหางที่ยาวกว่าพันธุ์พ่อหรือแม่ที่ดีกว่า ซึ่งความยาวหางของข้าวสาลีที่เพิ่มขึ้นจะช่วยเพิ่มพื้นที่ในการรับแสงและดูดซับคาร์บอนไดออกไซด์ ซึ่งจะช่วยเพิ่มอัตราการสังเคราะห์แสงสุทธิ (net photosynthetic rate) ของรวง ทำให้ผลผลิตเพิ่มขึ้นโดยเฉพาะในสภาพแล้ง และพบความเสื่อมถอยในคู่ผสม HI 8062 x JNK-4W-128 และคู่ผสม Raj 911 x DWL 5002 ในวันปลูกปกติที่แสดงลักษณะของลูกชั่วที่ 2 มีความยาวหางที่สั้นกว่าลูกผสมชั่วที่ 1 แสดงว่าได้รับผลกระทบจากการกระจายตัวของการกระทำของยีนแบบไม่เป็นผลบวก หรือแบบข่มข้ามคู่รวมถึงแบบข่ม นอกจากนั้น de Oliveira Camergo and Filo (2005) รายงานว่าพบค่าความดีเด่นที่เป็นลบเหนือค่าเฉลี่ยของพันธุ์พ่อและพันธุ์แม่และพันธุ์พ่อหรือพันธุ์แม่ที่ดีกว่าในลูกผสมชั่วที่ 2 ของข้าวสาลีพันธุ์ BH-1146 (strong primary root growth) และพันธุ์ Kauz "S"/LAC-24M_4 (reduced primary root growth) ซึ่งเป็นพันธุ์ที่มีความทนทานต่อการเป็นพิษของธาตุอะลูมินัมนั้น มีลักษณะการเจริญเติบโตของรากมีค่าเฉลี่ยของลูกผสมมีค่าต่ำกว่าค่าเฉลี่ยของพ่อแม่ที่ใช้ และต่ำกว่าค่าเฉลี่ยของพ่อ-แม่ที่มีลักษณะรากยาวกว่า แสดงว่าหากต้องการปรับปรุงข้าวสาลีให้มีรากยาวเพื่อการตั้งตัวที่ดีในสภาพขาดน้ำนั้น จะมีประสิทธิภาพหากมีการคัดเลือกในชั่วแรกที่มีการกระจายตัวหลังจากการผสม

สำหรับธัญพืชทริติเคลี (Triticale) นั้น Oettler *et al.* (2005) รายงานว่าค่าความดีเด่นเหนือค่าเฉลี่ยของพันธุ์พ่อและแม่ของลักษณะผลผลิต 10.3% ในขณะที่ค่าความดีเด่นเหนือพันธุ์พ่อหรือแม่ที่ดีกว่านั้นมีค่าเฉลี่ย 5.0% ค่าความดีเด่นเหนือค่าเฉลี่ยของพันธุ์พ่อและแม่ที่เป็นบวกของลักษณะน้ำหนัก 1,000 เมล็ด (9.3%) จำนวนเมล็ดต่อรวง (4.4%) test weight (2.1%) และความสูง (5.7%) แต่มีค่าที่ลบของลักษณะจำนวนรวงต่อพื้นที่ (-3.3%) จำนวนเมล็ดร่วง (-10.6%) และองค์ประกอบโปรตีน (-3.4%) เช่นเดียวกับ Oettler *et al.* (2003) ที่พบความดีเด่นที่เป็นบวกของทุกลักษณะยกเว้นลักษณะจำนวนเมล็ดต่อตารางเมตร จำนวนเมล็ดร่วง และอายุออกดอกที่มีค่าทางลบ

ธัญพืชพวกข้าว Yu *et al.* (1997) ทำการศึกษาค่าความดีเด่นของผลผลิตและองค์ประกอบผลผลิตได้แก่ จำนวนหน่อต่อต้น จำนวนเมล็ดต่อรวง และน้ำหนักเมล็ด พบว่ามีค่าใกล้เคียงกันทั้ง 2 ปี ลักษณะผลผลิตมีค่าความดีเด่นมากที่สุดเมื่อเทียบกับลูกผสมชั่วที่ 1 (50.4%, 66.0%) และลูกผสมชั่วที่ 3 (30.8%, 23.3%) Li *et al.* (1998) รายงานว่าค่าความดีเด่นของลักษณะผลผลิตข้าว indica x

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

japonica ที่เกิดขึ้นแต่ละในคู่ผสมมีความสัมพันธ์กับ fertility parameters เช่น จำนวนเมล็ดเต็มต่อต้นและการติดเมล็ด มากกว่าน้ำหนักเมล็ดหรือจำนวนรวง ซึ่งเป็นปัจจัยสำคัญที่ได้รับอิทธิพลจากความหลากหลายทางพันธุกรรมของพันธุ์พ่อ-แม่ สุรางค์ศรี (2537) รายงานว่าลูกผสมระหว่างข้าว Japonica และ Indica จะเกิดความดีเด่นขึ้นในทุกคู่ผสมเพียงลักษณะเดียวคือ ลักษณะจำนวนรวงต่อกอ แสดงว่าลูกผสมชั่วที่ 1 มีการแตกกอมากจึงมีโอกาสเกิดจำนวนรวงมากตามไปด้วย แต่ลักษณะผลผลิตเมล็ดต่อกอ จำนวนเมล็ดต่อรวงและดัชนีการเก็บเกี่ยวจะไม่เกิดความดีเด่นเหนือพ่อและแม่ เนื่องจากการผสมข้ามระหว่างข้าว Japonica x Indica นั้น จะเกิดความเป็นหมัน (sterility) และ/หรือเป็นหมันเพียงบางส่วน (semi-sterility) จึงทำให้ผลผลิตเมล็ดต่ำซึ่งความเป็นหมันนี้เกิดจากยีนหรือ cryptic structural hybridity ระหว่างโครโมโซมของข้าว Japonica และ Indica Alam *et al*. (2004) รายงานว่าค่าความดีเด่นที่เป็นลบของลักษณะอายุออกดอกและอายุสุกแก่มีค่าสูงในคู่ผสมข้าวคือ 17A x 43R, 17A x 45R, 27A x 39R และคู่ผสม 33A x 39R จาก 10 คู่ผสม แสดงให้เห็นว่ามีความเป็นไปได้ที่จะนำมาพัฒนาเป็นสายพันธุ์เบา และคู่ผสม 17A x 43R, 25A x 37R, 31A x 47R และคู่ผสม 35A x 47R สามารถที่จะนำไปพัฒนาข้าวลูกผสมเพื่อให้ได้ผลผลิตสูงได้ เนื่องจากมีค่าความดีเด่นของลักษณะผลผลิตต่อ 10 ต้น น้ำหนัก 1,000 เมล็ด จำนวนเมล็ดสมบูรณ์ต่อรวง และจำนวนหน่อดีต่อต้นให้ค่าสูง นอกจากนั้นยังพบว่าบางคู่ผสมมีความดีเด่นที่เป็นบวกของความยาวใบธงซึ่งเป็นลักษณะที่ดีที่จะนำไปพัฒนาเพื่อให้ได้ผลผลิตสูงเช่นกัน ที่สำคัญในปัจจุบันอีกประการคือ ข้าวซึ่งเป็นพืชผสมตัวเอง ในปี 1970 จีนเป็นประเทศแรกที่นำ cytoplasmic male-sterile (CMS) ของแหล่งพันธุกรรมข้าวป่ามาพัฒนาเทคโนโลยีข้าวลูกผสม (hybrid rice) โดยประยุกต์ใช้พื้นฐานของความดีเด่นในลูกผสม ในการที่จะสร้างพันธุ์ข้าวในอุดมคติ โดยการผสมพันธุ์ระหว่างข้าว indica และ japonica เพื่อให้ได้ผลผลิตสูงสุดคือ 12 ตัน/เฮกแตร์ ในปี 2004 และปัจจุบันมีการเพาะปลูกข้าวลูกผสมมากกว่าครึ่งหนึ่งของประเทศ และงานที่จะพัฒนาต่อไปคือผลผลิต 13.5 ตัน/เฮกแตร์ (Wang *et al.,* 2005) Luo *et al.* (2001) ได้ทำการศึกษา recombinant inbred lines (RILs) ของข้าว พบว่าเกิดความเสื่อมถอยและความล้มเหลวในลูกผสมของลักษณะองค์ประกอบผลผลิตคือ ลักษณะรวงต่อต้น เมล็ดต่อรวง และน้ำหนัก 1,000 เมล็ด ส่วนประชากรลูกผสมกลับและ testcross จะมีระดับความดีเด่นของลูกผสมเหนือค่าเฉลี่ยของพ่อและแม่สูง นอกจากนั้นยังพบว่าเกิดการข่มข้ามคู่ระหว่าง complementary loci แสดงว่าองค์ประกอบผลผลิตจะเกี่ยวข้องกับหลายจีโนไทป์มากกว่า specific allele ที่โครโมโซมตำแหน่งเดียว การข่มเกินยังเป็นคุณสมบัติที่สำคัญที่เกี่ยวข้องกับความดีเด่นที่เกิดขึ้น โดยเฉพาะลักษณะรวงต่อต้นและเมล็ดต่อรวง ดังนั้น การข่มเกินจะเป็นผลมาจากการข่มข้ามคู่ของยีน ซึ่งเป็นการแสดงออกของ multilocus genotypes และยังมีงานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับความดีเด่นลักษณะต่างๆในข้าวอีกมากมาย (Zhang *et al.,* 2004)

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

การศึกษาความดีเด่นที่เกิดขึ้นของลูกผสมในพืชอีกมากมายหลายชนิดเช่น faba-bean (Toker, 2004), ถั่วเขียว (Khattak *et al*., 2001; Khattak *et al*., 2002 ; Chen *et al*., 2003; Soehendi and Srinives, 2005; Abdelmula *et al*., 1999), ถั่วอะซูกิ (วีระพันธ์, 2548), ข้าวโพด (Mehta and Sarkar, 1992; Ahmadzadeh *et al*., 2004; Betran *et al*., 2003), ทานตะวัน (Cheres *et al*., 2000) เป็นต้น

อัตราพันธุกรรม (Heritability)

ความสามารถในการถ่ายทอดลักษณะพันธุกรรมหรืออัตราพันธุกรรม (heritability) ของลักษณะทางปริมาณ (quantitative traits) จากพ่อ-แม่ไปสู่รุ่นลูกในชั่วต่อๆไป หมายถึงส่วนของความแปรปรวนอันเนื่องมาจากพันธุกรรมเทียบกับความแปรปรวนทั้งหมดที่เกิดขึ้น ซึ่งเป็นตัวกำหนดความสำเร็จในการปรับปรุงลักษณะนั้นๆ ว่ามีโอกาสเพิ่มหรือลดลักษณะนั้นได้มากน้อยเพียงใด แบ่งได้เป็น 2 แบบคือ

1. ค่าอัตราพันธุกรรมแบบกว้าง (broad-sense heritability : h^2_{bs}) เป็นการวัดสัดส่วนความแปรปรวนของลักษณะที่เกิดจากพันธุกรรมต่อความแปรปรวนของลักษณะที่เกิดจากพันธุกรรมและสิ่งแวดล้อม

$$h_{bs}^{\ 2} = \left(\frac{V_A + V_D}{V_A + V_D + V_E} \right)$$

2. ค่าอัตราพันธุกรรมแบบแคบ (narrow-sense heritability : h^2_{ns}) เป็นการวัดสัดส่วนความแปรปรวนที่เกิดจากการกระทำของยีนแบบเป็นผลบวก (additive gene) ต่อความแปรปรวนที่เกิดขึ้นทั้งหมดของลักษณะที่แสดงออกมาภายนอก ซึ่งเป็นผลรวมของการกระทำของความแปรปรวนที่เกิดจากสิ่งแวดล้อม การกระทำของยีนแบบเป็นผลบวก และการกระทำของยีนแบบข่ม (dominance gene)

$$h_{ns}^{\ 2} = \frac{V_A}{(V_A + V_D + V_E)}$$

(Kearsey and Pooni, 1996; Willium and Comming, 2002; พีระศักดิ์, 2525)

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

อัตราพันธุกรรมจะเป็นตัวบอกปริมาณความแปรปรวนทางพันธุกรรมเทียบกับความแปรปรวนทั้งหมดที่เกิดขึ้น ซึ่งใช้ทำนายความก้าวหน้าในการคัดเลือกลักษณะ หรือการตอบสนองต่อการคัดเลือก (response from selection) ว่าจะปรับปรุงไปได้แค่ไหน ในเวลาและวิธีการคัดเลือกที่ใช้ และจะได้นำไปเป็นหลักการในการเลือกใช้วิธีการปรับปรุงพันธุ์ให้เหมาะสม (พีระศักดิ์, 2525)

จากการศึกษาของ Martinez and Foster (1998) รายงานว่าวันออกรวงของข้าวบาร์เลย์มีอัตราพันธุกรรมแบบกว้างสูงและสม่ำเสมอ 42-86% และสูงกว่าอัตราพันธุกรรมแบบแคบ แสดงว่าลักษณะวันออกรวงค่อนข้างจะสม่ำเสมอจากชั่วหนึ่งไปยังอีกชั่วหนึ่งและมีสิ่งแวดล้อม เช่น อุณหภูมิ ความชื้น เป็นตัวเร่งหรือทำให้วันออกรวงเร็วหรือช้าไปจากปกติ และเป็นการกระทำของยีนเป็นแบบผลบวกเป็นส่วนใหญ่ ส่วนค่าอัตราพันธุกรรมแบบแคบมีค่าน้อยเนื่องมาจากการกระทำของยีนแบบข่มและแบบข่มข้ามคู่ Madidi *et al.* (2005) รายงานว่าอัตราพันธุกรรมแบบกว้างของลักษณะความสูง น้ำหนักต้น จำนวนหน่อต่อต้น จำนวนรวงต่อต้น จำนวนเมล็ดต่อรวง น้ำหนักรวง จำนวนข้อของแกนกลางช่อดอก ความยาวข้อสุดท้ายของแกนกลางช่อดอก และความยาวรวงของข้าวบาร์เลย์ มีค่าระหว่าง 0.12-0.64 ในสภาพการชลประทานปกติ และระหว่าง 0.10-0.46 ในสภาพการชลประทานจำกัด แสดงว่าสิ่งแวดล้อมมีผลต่อความสามารถในการถ่ายทอดลักษณะพันธุกรรมของผลผลิต องค์ประกอบผลผลิต และลักษณะทางพืชไร่ที่สำคัญต่างๆ El-Bawab (2003) รายงานว่าพบการกระทำของยีนแบบข่มเกินที่มีค่าเป็นบวก (positive overdominance) ของลักษณะความยาวรวง ความสูง ผลผลิตและองค์ประกอบผลผลิต ส่วนลักษณะอายุออกดอกเป็นแบบข่มเกินที่มีค่าเป็นลบ (negative overdominance) และการกระทำของยีนแบบข่มสมบูรณ์ (complete dominance) ควบคุมลักษณะอายุสุกแก่ ซึ่งทำให้มีค่าอัตราพันธุกรรมแบบกว้างสูงในทุกลักษณะ อย่างไรก็ตามค่าอัตราพันธุกรรมแบบแคบให้ค่าสูงสำหรับลักษณะน้ำหนัก 1,000 เมล็ด (70%) เมล็ดต่อต้น (67.16%) ความยาวรวง (66.67%) และน้ำหนักรวง (63.73%) ส่วนลักษณะอื่นๆจะให้ค่าที่กลางๆ Al-Yassin *et al.* (2005) ศึกษาการประมาณค่าอัตราพันธุกรรมแบบกว้างของผลผลิตของ recombinant inbred lines (RILs) ของข้าวบาร์เลย์พบว่าให้ค่าที่หลากหลายตั้งแต่ 0.173-0.758 แสดงให้เห็นว่าเกิดจากความแตกต่างของชนิดพันธุกรรมพันธุ์พ่อ-แม่และสิ่งแวดล้อม Taleei *et al.* (2004) ทำการศึกษาลักษณะความสูง ความยาวรวง ผลผลิตและองค์ประกอบผลผลิตซึ่งเป็นลักษณะทางปริมาณของข้าวบาร์เลย์ พบว่าเกิดจากการกระทำของยีนแบบเป็นผลบวก แบบข่ม และแบบข่มข้ามคู่ทุกลักษณะ แต่การกระทำของยีนแบบข่มมีความสำคัญในการถ่ายทอดลักษณะมากที่สุด ซึ่งทำให้อัตราพันธุกรรมแบบกว้างมีค่าระหว่าง 55-89% ทุกลักษณะและมียีนควบคุม 2-5 คู่ อรรฆพล (2547) ได้ศึกษาการประเมินอัตราพันธุกรรมแบบกว้างและแบบแคบในสภาพน้ำขัง พบว่าอัตราพันธุกรรมแบบแคบของลักษณะจำนวนหน่อที่ให้รวงต่อต้น จำนวนหน่อต่อต้น ความสูง และอายุ

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

ออกดอก มีค่าค่อนข้างสูง ถ้ามีการคัดเลือกสายพันธุ์ให้ทนน้ำขังควรคัดเลือกจากสายพันธุ์ดังกล่าว และพบว่าลักษณะเหล่านี้มีการควบคุมด้วยยีนแบบผลบวกมากกว่าแบบไม่เป็นบวก โดยคู่ผสม FNBLS#140 x CMU96-9 ให้ค่าอัตราพันธุกรรมแบบแคบของน้ำหนักแห้งรากดี คู่ผสม FNBLS#140 x BRB9 มีการแตกหน่อดี และคู่ผสม SMG-1 x CMU96-9 ให้ความสูงดี ซึ่งลักษณะของคู่ผสมต่างๆนี้จะมีความสามารถในการทนน้ำขังได้ต่างกัน เปรมฤดี (2540) รายงานว่าค่าอัตราพันธุกรรมแบบกว้างของลักษณะอายุออกดอก อายุสุกแก่ ช่วงระยะเวลาการสะสมน้ำหนักเมล็ด ความสูง จำนวนรวงต่อกอ และน้ำหนัก 1,000 เมล็ดมีค่าค่อนข้างสูง ส่วนค่าอัตราพันธุกรรมแบบแคบของลักษณะอายุออกดอก อายุสุกแก่ ช่วงระยะเวลาการสะสมน้ำหนักเมล็ด และความสูงมีค่าค่อนข้างสูง แต่ลักษณะจำนวนรวงต่อกอ จำนวนเมล็ดต่อกอ น้ำหนัก 1,000 เมล็ดและผลผลิตต่อกอมีค่าค่อนข้างต่ำ

นอกจากลักษณะทางพืชไร่ที่สำคัญแล้ว Abdel-Ghani *et al.* (2005) รายงานว่าการถ่ายทอดของลักษณะดอกข้าวบาร์เลย์ในสภาพแห้งแล้งถูกควบคุมด้วยยีนหลายตัว (polygenic) โดยในประชากรชั่วที่ 3 ของข้าวบาร์เลย์เกิดความแปรปรวนแบบต่อเนื่อง และเกิดกระจายตัวที่อยู่นอกขอบเขตของพ่อแม่ (transgressive segregation) ของลักษณะการโผล่ของเกสรตัวผู้ (anther extrusion) ในบางประชากร ประชากรส่วนใหญ่มีอัตราพันธุกรรมแบบกว้างของลักษณะการโผล่และความยาวของเกสรตัวผู้ให้ค่าตั้งแต่กลางถึงสูง (0.36-0.70 และ 0.37-0.47) ส่วนลักษณะของดอกอื่นๆ เช่น ความยาวและความกว้างของเกสรตัวเมีย มีค่าอัตราพันธุกรรมต่ำถึงกลาง Gory and Sodkiewicz (2001) รายงานว่าเมื่อพืชเจริญเติบโตภายใต้สภาพแวดล้อมที่เหมาะสมจะมีอัตราพันธุกรรมแบบแคบของลักษณะประสิทธิภาพธาตุไนโตรเจนและฟอสฟอรัส (efficiency ratios) และประสิทธิภาพการใช้ธาตุไนโตรเจนและฟอสฟอรัส (utilization efficiency indices) ที่มีค่าสูง (0.33-0.81) แต่จะให้ค่าที่ลดลงเมื่อปลูกภายใต้สภาพไนโตรเจน ฟอสฟอรัส และโพแทสเซียมต่ำและแห้งแล้ง ซึ่งจะลดลงเหลือประมาณ 0.00-0.36 นั่นหมายถึงหากมีการคัดเลือกในสภาพที่ไม่เหมาะสมเช่นนี้ การคัดเลือกจะมีประสิทธิภาพต่ำ เนื่องจากความเครียดที่เกิดขึ้นจะกระตุ้นให้ลดความสามารถในการถ่ายทอดลักษณะทางพันธุกรรมและเพิ่มการแสดงออกของการกระทำของยีนที่ไม่เป็นผลบวก ในแปลงซึ่งจะมีผลต่ออัตราการผสมพันธุ์และระยะการเจริญเติบโตต่างๆ Arabi (2005) ศึกษาอัตราพันธุกรรมของลักษณะความต้านทานต่อโรคใบไหม้ในข้าวบาร์เลย์ (Barley leaf stripe, BLS) พบว่ามีค่าอัตราพันธุกรรมแบบแคบเท่ากับ 58% และค่าอัตราพันธุกรรมแบบกว้างเท่ากับ 99%

สำหรับลักษณะที่สำคัญต่อการผลิตมอลต์ Therrien (2005) ทำการศึกษาข้าวบาร์เลย์ 120 สายพันธุ์ เพื่อประเมินลักษณะทางคุณภาพของข้าวบาร์เลย์ที่ใช้ทำมอลต์ 32 แห่ง ในสภาพ Western

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

Canadian เป็นระยะเวลา 5 ปี พบว่าลักษณะคุณภาพของมอลต์ส่วนมากจะให้ค่าเฉลี่ยอัตราพันธุกรรมที่สูงมากกว่า 62% โดยลักษณะน้ำหนัก 1,000 เมล็ด test weight alpha-amylase และ beta-glucans จะให้ค่าอัตราพันธุกรรมแบบกว้างค่อนข้างคงที่ในแต่ละปี และมีค่าเฉลี่ยสูง (70%) ของลักษณะ test weight และ alpha-amylase สำหรับ crude protein จะให้ค่าเฉลี่ยที่สูง (77.5%) แต่ไม่คงที่ในแต่ละปี Yan *et al.* (1998) ทำการศึกษาเกี่ยวกับลักษณะ Malt Kolbach index (KI), alpha-amylase activity (∝AA) และ wort soluble nitrogen (Wort-N) เป็นองค์ประกอบที่สำคัญของปัจจัยทางคุณภาพในการทำมอลต์ ซึ่งสารเหล่านี้จะผลิตขึ้นมาระหว่างกระบวนการทำมอลต์ โดยลักษณะทางคุณภาพของมอลต์นี้ถูกควบคุมโดย germinating embryo genes และ endosperm genes ซึ่งมีปฏิกิริยาสัมพันธ์กับสิ่งแวดล้อม พบว่า endosperm general heritability (h^2_o) ของ ∝AA, KI และ Wort-N มีค่าเท่ากับ 4.6%, 29.2% และ 21.9% ตามลำดับซึ่งมากกว่าค่า embryo general heritability (h^2_{en}) ซึ่งมีค่าเท่ากับ 0.9%, 5.8% และ 4.3% ตามลำดับ ผลของ embryo genes จะเป็นการกระทำของยีนแบบข่มและปฏิกิริยาสัมพันธ์ระหว่างยีนแบบข่มและสิ่งแวดล้อม ส่วนยีนแบบเป็นผลบวกก็มีผลบ้างแต่ไม่มาก

ธัญพืชเมืองหนาวพวกข้าวสาลีมีการศึกษาเกี่ยวกับความสามารถในการถ่ายลักษณะต่างๆที่สำคัญ Callaku and Harrison (2005) รายงานว่าปลูกข้าวสาลีภายใต้สภาพน้ำขังลักษณะน้ำหนักเมล็ด องค์ประกอบคลอโรฟิลล์ และความสูงมีการกระทำของยีนแบบเป็นผลบวก ส่วนลักษณะอื่นโดยเฉพาะอย่างยิ่งผลผลิตและจำนวนเมล็ดมีการกระทำของยีนแบบข่มมากกว่าแบบเป็นผลบวก ทำให้ลักษณะผลผลิตมีค่าอัตราพันธุกรรมแบบแคบต่ำที่สุด (0.25) สำหรับค่าอัตราพันธุกรรมแบบแคบที่มีค่าสูงสุดนั้นพบของลักษณะน้ำหนักเมล็ด (0.47) องค์ประกอบคลอโรฟิลล์ (0.37) และจำนวนหน่อต่อกอ (0.31) de Oliveira Camargo and Filho (2005) ทำการคาดคะเนค่าอัตราพันธุกรรมแบบกว้างของการเจริญเติบโตของรากข้าวสาลีมีค่าระหว่าง 50.4-72.6% แสดงว่าความแปรปรวนส่วนใหญ่ในประชากรเกิดมาจากแหล่งพันธุกรรมและถูกควบคุมด้วยยีนจำนวนน้อยคู่ และคู่ผสมที่มีอัตราพันธุกรรม 68.6-72.6%, 62.5-62.4%, 56.7% และ 50.9-50.4% จะถูกควบคุมด้วยยีน 2 , 3, 4 และ 5 คู่ ตามลำดับ ดังนั้นสิ่งแวดล้อมจึงมีอิทธิพลต่อการแสดงออกของลักษณะนี้น้อย Sharma *et al.* (2003) รายงานว่าลักษณะความยาวรวงในข้าวสาลีถูกควบคุมด้วยการกระทำของยีนแบบไม่เป็นผลบวก

ข้าวเป็นธัญพืชหลักของประเทศไทยได้มีการศึกษาเกี่ยวการถ่ายทอดลักษณะทางพันธุกรรมต่างๆไว้มากมายเช่นกัน โดย ศิริธร (2538) รายงานว่าลูกผสมข้าวของลักษณะอายุเก็บเกี่ยว ความสูง และเปอร์เซ็นเมล็ดดีมีความสามารถในการถ่ายทอดลักษณะสูง ส่วนจำนวนเมล็ดต่อรวงของแต่ละคู่ผสมมีความสามารถแตกต่างกันไป ลักษณะเปอร์เซ็นเมล็ดดีพบว่ามีเมล็ดลีบสูงซึ่ง

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

เกิดจากความเป็นหมันของดอก และมีการกระทำของยีนแบบข่มควบคุมอยู่ ส่วนลักษณะทางกายภาพที่มีผลต่อคุณภาพการสีของเมล็ดนั้นพบว่า ความยาว ความกว้าง และความหนาของเมล็ดทุกลักษณะมีความสามารถในการถ่ายทอดทางพันธุกรรมสูง เช่น ความกว้างเมล็ดมีอัตราพันธุกรรมแบบกว้าง 96-99% และแบบแคบ 80-98% แต่ลักษณะความแข็งแกร่งของเมล็ดยังมีค่าต่ำ (21-68%) และแตกต่างกันของแต่ละคู่ผสม เป็นผลมาจากอิทธิพลของสิ่งแวดล้อม ซึ่งจะส่งผลดีต่อการคัดเลือกพันธุ์ข้าวและทำให้การตัดสินใจของนักปรับปรุงพันธุ์ทำได้ง่ายขึ้น สุรางค์ศรี (2537) รายงานว่าลูกผสมระหว่างข้าว Japonica x Indica ให้ค่าอัตราพันธุกรรมแบบกว้างและแบบแคบสูงในลักษณะพันธุ์เบา ผลผลิตและองค์ประกอบผลผลิต ยกเว้นลักษณะผลผลิตเมล็ดต่อกอ เนื่องจากการผสมข้ามระหว่างชนิดของข้าวของลักษณะนี้ เป็นลักษณะปริมาณที่ถูกควบคุมด้วยยีนและมีการกระทำร่วมกับยีนหลายคู่ นอกจากนั้นยังได้รับผลกระทบจากสิ่งแวดล้อมค่อนข้างสูง Yu *et al.* (1997) รายงานว่าสัดส่วนของความแปรปรวนทางพันธุกรรมต่อสัดส่วนของความแปรปรวนทั้งหมดมีค่าเท่ากับ 50% ของลักษณะหน่อต่อต้น และมากกว่า 80% ของลักษณะน้ำหนักเมล็ด Wu *et al.* (2004) รายงานว่าค่าอัตราพันธุกรรมแบบแคบของกรดอะมิโนชนิดไม่จำเป็น (non-essential amino acid) ในข้าวมีค่าสูงระหว่าง 70.9-85.9% งานปรับปรุงพันธุ์ข้าวควรมีการคัดเลือกภายใต้สภาพแวดล้อมที่หลากหลาย Ali *et al.* (2003) ทำการศึกษาในพืชพวก rapeseed พบว่าอัตราพันธุกรรมแบบกว้างมีค่าตั้งแต่ต่ำมากไปถึงสูงมาก ค่าอัตราพันธุกรรมสูงสุดคือ 0.903 ของลักษณะวันสุกแก่ รองลงมาคือช่วงเวลาในการออกดอก (0.662) น้ำหนักเมล็ด (0.548) และผลผลิตเมล็ด (0.477) ความสามารถในการถ่ายทอดทางพันธุกรรมที่สูงของลักษณะดังกล่าว จะมีความก้าวหน้าทางพันธุกรรมสูง สามารถปรับปรุงได้โดยการคัดเลือกแบบง่ายๆ เช่นใช้วิธีคัดเลือกรวม (mass selection)

สมรรถนะในการผสม (Combining ability)

สมรรถนะในการรวมตัวเป็นองค์ประกอบหนึ่งในการตัดสินใจพิจารณาคัดเลือกพันธุ์ที่จะนำมาใช้เป็นพันธุ์พ่อ-แม่ในงานปรับปรุงพันธุ์พืชต่างๆ ซึ่งแบ่งออกได้เป็น 2 ชนิด ได้แก่ สมรรถนะการผสมทั่วไป (general combining ability: g.c.a.) ซึ่งหมายถึงความสามารถของพันธุ์หนึ่งเมื่อนำไปผสมกับพันธุ์อื่นแล้วค่าเฉลี่ยของลูกผสมที่ได้มีความเป็นได้ดีทุกคู่ผสม ซึ่งเป็นผลมาจากการกระทำของยีนแบบเป็นผลบวก (additive gene action) ส่วนสมรรถนะการผสมเฉพาะ (specific combining ability: s.c.a.) หมายถึงความสามารถของพันธุ์หนึ่งเมื่อผสมกับอีกพันธุ์หนึ่งแล้วลูกผสมที่ได้มีความสามารถดีกว่าหรือเลวกว่าพันธุ์พ่อ-แม่ และเป็นผลมาจากการกระทำของยีนแบบไม่เป็นผลบวก (non-additive gene action) (Falconer and Mackay, 1996; ดำเนิน, 2545)

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

งานวิจัยศึกษาเกี่ยวกับสมรรถนะในการผสมของข้าวบาร์เลย์มีรายงานมาก่อนหลายลักษณะ เช่น Madic *et al.* (2003) ศึกษาการถ่ายทอดลักษณะต้นเตี้ยในข้าวบาร์เลย์เพื่อลดปัญหาต้นล้ม พบว่าลักษณะความสูงของต้นข้าวบาร์เลย์นั้นมีสมรรถนะการผสมทั่วไปสำคัญมากกว่าสมรรถนะการผสมเฉพาะแสดงว่าถูกควบคุมด้วยยีนแบบเป็นผลบวกมากกว่า และคู่ผสมที่มีสมรรถนะการผสมเฉพาะของลักษณะต้นเตี้ยที่ดีนั้นจะต้องประกอบด้วยพันธุ์พ่อ-แม่ที่พันธุ์หนึ่งมีสมรรถนะการผสมทั่วไปที่ดีของลักษณะต้นสูงและอีกพันธุ์หนึ่งเป็นลักษณะต้นเตี้ย เปรมฤดี (2540) รายงานว่าลักษณะอายุออกดอก อายุสุกแก่ ช่วงระยะเวลาการสะสมน้ำหนักเมล็ด ความสูง น้ำหนัก 100 เมล็ด ถูกควบคุมด้วยอิทธิพลองยีนทั้งแบบเป็นผลบวกและไม่เป็นผลบวก แต่ลักษณะน้ำหนัก 100 เมล็ด เท่านั้นที่มีการกระทำของยีนแบบไม่เป็นผลบวกมากกว่าแบบเป็นผลบวก ส่วนลักษณะจำนวนเมล็ดต่อกอและผลผลิตเมล็ดต่อกอถูกควบคุมด้วยยีนแบบเป็นผลบวกเพียงอย่างเดียว Sharma *et al.* (2004) รายงานว่าสมรรถนะการผสมทั่วไปและสมรรถนะการผสมเฉพาะของลักษณะผลผลิตและลักษณะทางพืชไร่อื่นๆ เช่น อายุออกดอก ความยาวรวง และพื้นที่ใบธง เป็นต้น มีความแตกต่างทางสถิติแสดงว่าลักษณะเหล่านี้เกิดจากการกระทำร่วมกันของยีนแบบเป็นผลบวกและแบบไม่เป็นผลบวก ซึ่งมีการกระทำของยีนแบบไม่เป็นผลบวกมากกว่า และพบว่าสิ่งแวดล้อมมีอิทธิพลต่อสมรรถนะในการรวมตัวทั่วไปและสมรรถนะการผสมเฉพาะมาก ซึ่งคู่ผสมที่มีผลผลิตสูงนั้นส่วนใหญ่จะมีพันธุ์พ่อแม่ที่มีสมรรถนะในการผสมทั่วไปสูงด้วย แสดงให้เห็นว่าเราสามารถทำให้เกิดการกระจายตัวที่อยู่นอกขอบเขตของพ่อ-แม่ในลักษณะที่ต้องการได้ Saad *et al.* (2005) รายงานว่าสมรรถนะการผสมทั่วไปและสมรรถนะการผสมเฉพาะมีความแตกต่างกันทางสถิติทุกลักษณะที่ทำการศึกษา โดยข้าวบาร์เลย์พันธุ์ Aland มีสมรรถนะการรวมตัวทั่วไปที่ดีของลักษณะต้นเตี้ย จำนวนรวงที่มาก และผลผลิตสูง และพันธุ์ G2000 มีสมรรถนะการผสมที่ดีของลักษณะน้ำหนักเมล็ดสูง El-Baweb (2003) รายงานว่าลักษณะผลผลิตและองค์ประกอบผลผลิตส่วนใหญ่ของข้าวบาร์เลย์มีสัดส่วนสมรรถนะการผสมทั่วไปและการผสมเฉพาะ (g.c.a. : s.c.a.) มากกว่า 1.0 แสดงว่ามีการกระทำของยีนแบบเป็นผลบวกอย่างเด่นชัด Joshi *et al.* (2003) ทำการศึกษาสมรรถนะการผสมของลักษณะผลผลิตและองค์ประกอบผลผลิตของประชากรลูกผสมชั่วที่ 1 และ 2 ของข้าวบาร์เลย์พบว่าสมรรถนะการผสมทั่วไปมีค่าสูงกว่าสมรรถนะการผสมเฉพาะทั้งสองประชากร ชี้ให้เห็นว่าการถ่ายทอดลักษณะต่างๆ มีการกระทำของยีนแบบเป็นผลบวกมากกว่าการกระทำของยีนแบบไม่เป็นผลบวก นอกจากนั้น Arabi *et al.* (2005) รายงานว่าการกระทำของยีนแบบเป็นผลบวกและไม่เป็นผลบวกเกี่ยวข้องกับความต้านทานต่อโรคใบไหม้ในข้าวบาร์เลย์ โดยสมรรถนะการผสมทั่วไปมีความสำคัญมากกว่าสมรรถนะการผสมเฉพาะ และพันธุ์พ่อ-แม่ที่มีความสามารถในการต้านทานโรคนี้จะมีค่าสมรรถนะการผสมทั่วไปในทางลบที่สูง แสดงว่าการกระทำของยีน

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

แบบเป็นผลบวกอย่างเด่นชัด Gorny and Sodkiewicz (2001) ได้ศึกษาเกี่ยวกับสมรรถนะการผสมของลักษณะประสิทธิภาพธาตุไนโตรเจนและฟอสฟอรัส และประสิทธิภาพการใช้ธาตุทั้งสอง พบว่าลักษณะดังกล่าวถูกควบคุมด้วยยีนแบบเป็นผลบวก Zhou *et al.* (2007) ทำการศึกษาเกี่ยวกับความสามารถในการทนน้ำขัง พบว่าสมรรถนะในการผสมทั่วไปของข้าวบาร์เลย์ (Chinese cultivars) ที่มีความทนทานต่อสภาพน้ำขังนั้นถูกควบคุมด้วยยีนแบบเป็นผลบวก

จากการศึกษาสมรรถนะในข้าวสาลี Solomon *et al.* (2006) รายงานว่าลักษณะผลผลิตได้รับอิทธิพลจากสมรรถนะการผสมทั่วไปและสมรรถนะการผสมเฉพาะ แสดงว่ามีการกระทำของยีนทั้งแบบเป็นผลบวกและไม่เป็นผลบวก อย่างไรก็ตาม สมรรถนะการผสมเฉพาะมีค่าที่ต่ำกว่าสมรรถนะการผสมทั่วไป และแนะนำว่าสมรรถนะการผสมเฉพาะจะมีค่าสูงเมื่อพันธุ์พ่อ-แม่มีความแตกต่างของลักษณะทนทานต่อสภาพแห้งแล้ง วรรธนะพงศ์ (2549) รายงานว่าพันธุ์ CMU94-9 และพันธุ์ฝาง 60 มีแนวโน้มที่จะถ่ายทอดลักษณะผลผลิตต่อต้นให้แก่ลูกผสมได้ดี ส่วนความสามารถในการผสมเฉพาะพบว่าคู่ผสมสะเมิง 2 x ฝาง 60 และคู่ผสม CMU94-9 x ฝาง 60 มีความสามารถในการผสมเฉพาะที่ดีของลักษณะผลผลิตต่อต้นที่สูง Dreisigacker *et al.* (2005) พบว่าลักษณะผลผลิต อายุออกดอก อายุสุกแก่ และความสูง มีความแปรปรวนของสมรรถนะการผสมทั่วไปมากกว่าสมรรถนะการผสมเฉพาะ แสดงให้เห็นว่าการกระทำของยีนแบบเป็นผลบวกอย่างเด่นชัด เช่นเดียวกับ Kamaluddin *et al.* (2007) รายงานว่าอิทธิพลของสมรรถนะในการผสมทั่วไปมีความสำคัญมากกว่าสมรรถนะการผสมเฉพาะ แสดงว่าการกระทำของยีนแบบผลบวกอย่างเด่นชัด และคู่ผสมที่มีสมรรถนะการรวมตัวเฉพาะสูงนั้นของลักษณะช่วงระยะเวลาการสะสมน้ำหนักเมล็ด น้ำหนักเมล็ด และผลผลิตนั้น เนื่องจากมีพันธุ์พ่อ-แม่ที่มีความแตกต่างของสมรรถนะการผสมทั่วไป (สูง x สูง สูง x ต่ำ ต่ำ x ต่ำ และ ปานกลาง x ต่ำ) ถึงแม้ว่าการแสดงออกของลักษณะจะเป็นการกระทำของยีนแบบเป็นผลบวกเป็นส่วนใหญ่ แต่พบว่ามีการกระทำของยีนแบบข่มและแบบข่มข้ามคู่ด้วยรวมอยู่ด้วย El-Maghraby *et al.* (2005) ทำการศึกษาภายใต้สภาวะแล้งพบว่าสมรรถนะการผสมทั่วไปและการผสมเฉพาะแตกต่างกันทางสถิติ แต่สมรรถนะการผสมเฉพาะมีความสำคัญน้อยกว่า และพบว่าระดับของสมรรถนะการผสมทั่วไปและความดีเด่นของลูกผสมขึ้นอยู่กับความแตกต่างทางพันธุกรรมของพันธุ์พ่อ-แม่ Singh *et al.* (2004) รายงานว่าลักษณะผลผลิตและองค์ประกอบผลผลิตเป็นการกระทำของยีนแบบไม่เป็นผลบวกอย่างเด่นชัด ยกเว้นลักษณะอายุออกดอก พันธุ์ PBW373 และพันธุ์ UP2425 มีสมรรถนะการผสมที่ดีของลักษณะผลผลิตและองค์ประกอบผลผลิตอื่นๆที่สำคัญ และพบว่าลูกผสมชั่วที่ 1 ที่มีค่าสมรรถนะการผสมเฉพาะสูงจะมีพันธุ์พ่อ-แม่ที่มีสมรรถนะการผสมทั่วไปที่สูงด้วย

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

สำหรับการศึกษาในทริติเคลี โดย Oettler *et al.* (2005) รายงานว่าความแปรปรวนของสมรรถนะการผสมทั่วไปมีค่ามากกว่าความแปรปรวนของสมมรรถนะการผสมเฉพาะทุกลักษณะองค์ประกอบผลผลิต ยกเว้น ลักษณะผลผลิต และองค์ประกอบโปรตีน และลักษณะส่วนใหญ่พบว่ามีความแปรปรวนทางพันธุกรรมของลูกผสมมีค่าแค่ครึ่งหนึ่งของพันธุ์พ่อ-แม่ แสดงว่ามีการกระทำของยีนแบบเป็นผลบวกมากกว่า สำหรับลักษณะผลผลิตนั้นมีการกระทำของยีนแบบไม่เป็นผลบวกอย่างเด่นชัด และ Zhang *et al.* (1999) ทำการศึกษาการเจริญเติบโตของรากและความยาวรากที่เกี่ยวกับความทนทานต่อธาตุอะลูมินัม พบว่าการกระทำของยีนแบบเป็นผลบวกและไม่เป็นผลบวกควบคุมลักษณะดังกล่าวนี้ การกระทำของยีนแบบไม่เป็นผลบวก และความหลากหลายของลักษณะที่เกิดขึ้นในแต่ละคู่ผสม แสดงว่าเป็นการแสดงออกของปฏิกิริยาสัมพันธ์ของยีนแบบ allelic หรือ non-allelic นอกจากนี้ยังมีรายงานการศึกษาสมรรถนะการผสมในพืชอีกหลายชนิด เช่น ถั่วอะซูกิ (วีระพันธ์, 2548) ข้าวโพด (Srivastava *et al*., 2004; Betran *et al*., 2003; Nass *et al*., 2000; Ahmadzadeh *et al*., 2004) มะเขือเทศ (Weerasinghe *et al*., 2004)

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved