

การวิเคราะห์ค่าเฉลี่ยประชากรของถั่วอะซูกิ โดยวิธีเมทริกซ์แอลจีบรา

Generation mean analysis in azuki bean using matrix algebra method

วีรพันธ์ กันแก้ว^{1*}, สุทัศน์ จุลศรีไกว², จักรี เส้นทอง² และ ดำเนิน กาละดี²

Weerapun Kunkaew^{1*}, Suthat Julsrigival², Chuckree Senthong² and Dumnern Karladee²

¹มูลนิธิโครงการหลวง 65 ถนนสุเทพ อำเภอเมือง จังหวัดเชียงใหม่ 50200

¹Royal Project Foundation, 65 Suthep Road, Chiang Mai 50200, Thailand

²ภาควิชาพืชไร่ คณะเกษตรศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่ จังหวัดเชียงใหม่ 50200

²Department of Agronomy, Faculty of Agriculture, Chiang Mai University, Chiang Mai 50200, Thailand

*Corresponding author: weerapun@hotmail.com

บทคัดย่อ

ปลูกประชากรถั่วอะซูกิชั่วต่างๆ จำนวน 6 ชั่ว ได้แก่ P_1 , P_2 , F_1 , F_2 , BC_1 และ BC_2 ที่ได้จากการผสมพันธุ์จำนวน 3 คู่ผสม ได้แก่ Hondawase x Akatsukidainagon (H x A), Hondawase x Erimo (H x E) และ Akatsukidainagon x Erimo (A x E) ที่สถานีเกษตรหลวงปางดะ อำเภอสะเมิง จังหวัดเชียงใหม่ ระหว่างเดือนสิงหาคม-ธันวาคม 2549 เพื่อวิเคราะห์ค่าเฉลี่ยประชากรของถั่วอะซูกิ โดยใช้เมทริกซ์แอลจีบรา (matrix algebra) ผลการศึกษาพบว่า การวิเคราะห์ค่าเฉลี่ยประชากร โดยใช้เมทริกซ์แอลจีบรา สามารถประเมินอิทธิพลของพันธุกรรม ควบคุม ลักษณะผลผลิตเมล็ดต่อต้นของถั่วอะซูกิทั้ง 6 พารามิเตอร์ ได้แก่ m, [d], [h], [i], [j] และ [l] คุณค่าของการใช้เมทริกซ์แอลจีบราวิเคราะห์นี้ ทำให้การวิเคราะห์ค่าเฉลี่ยประชากรมีความสะดวก และง่ายต่อการนำไปประยุกต์ใช้กับโปรแกรมสำเร็จรูปต่างๆ จึงหวังว่าวิธีการวิเคราะห์ค่าเฉลี่ยประชากรโดยวิธีเมทริกซ์แอลจีบรา จะเป็นประโยชน์ต่องานวิจัยทางด้านพันธุศาสตร์ปริมาณ ซึ่งเป็นข้อมูลพื้นฐานที่สำคัญของงานทางด้านการปรับปรุงพันธุ์พืชต่อไป

ABSTRACT

Six basic populations including P_1 , P_2 , F_1 , F_2 , BC_1 and BC_2 developed from three crosses of azuki bean; Hondawase x Akatsukidainagon (H x A), Hondawase x Erimo (H x E) and Akatsukidainagon x Erimo (A x E) were planted for generation mean analysis study at Pangda Royal Agricultural Station in Chiang Mai during August to December, 2006. Generation mean of these three azuki bean crosses were analysed by using matrix algebra method. Results of study indicated that matrix algebra method was able to analyse generation mean and obtained all six parameters of gene action; m , $[d]$, $[h]$, $[i]$, $[j]$ and $[l]$ for seed yield per plant. The values of matrix algebra method for analysing generation mean were convenient efficient and simply applied to use with some softwares. It is anticipated that this matrix algebra method would be an effective way to identify the gene action parameters which these parameters will provide important basic informations for yield improvement in plants.

คำสำคัญ: ถั่วอะซูกิ, การวิเคราะห์ค่าเฉลี่ยประชากร, เมทริกซ์แอลจีบรา

Keywords: Azuki bean, generation mean analysis, matrix algebra

บทนำ

งานทางด้านการปรับปรุงพันธุ์พืชนั้น นักปรับปรุงพันธุ์จะต้องมีความรู้พื้นฐานทางพันธุกรรม ซึ่งลักษณะทางพืชไร่ที่สำคัญ เช่น ผลผลิต ความสูง จำนวนฝักต่อต้น ขนาดเมล็ด และอื่นๆ จะเป็นลักษณะทางปริมาณ (quantitative traits) ที่ถูกควบคุมด้วยยีนหลายคู่ (multiple genes) การศึกษาพันธุกรรมควบคุมลักษณะทางปริมาณต่างๆ เหล่านี้มีหลายวิธี วิธีการหนึ่งที่นักปรับปรุงพันธุ์พืชนิยมนำมาใช้ศึกษา คือการวิเคราะห์ค่าเฉลี่ยประชากร (generation mean analysis) ที่เป็นการวิเคราะห์เพื่อประเมินอิทธิพลของพันธุกรรมที่ควบคุมลักษณะต่างๆ การวิเคราะห์ค่าเฉลี่ยประชากร ได้มีผู้เสนอวิธีการประมาณค่าเฉลี่ยของประชากรชั่วต่างๆ หลายวิธี เช่น เสนอโดย Anderson and Kempthorne (1954), Hayman (1958), Gamble (1962) และ Gardner and Eberhart (1966) ซึ่งวิธีการต่างๆ เหล่านี้จะประเมินอิทธิพลทางพันธุกรรม จากค่าเฉลี่ยของประชากรพื้นฐาน 6 ชั่ว ได้แก่ แม่ (P_1), พ่อ (P_2), ลูกผสมชั่วที่ 1 (F_1), ลูกผสมชั่วที่ 2 (F_2), ลูกผสมกลับไปหาแม่ (BC_1) และลูกผสมกลับไปหาพ่อ (BC_2) และทดสอบผลทางสถิติโดยใช้ค่าความแปรปรวน (variance) ของประชากรชั่วต่างๆ ดังกล่าว ตัวอย่างการวิเคราะห์ค่าเฉลี่ยประชากร ที่มีรายงานในพืชชนิดต่างๆ เช่น ถั่วเขียว (Chaitieng *et al.*, 2003) ถั่วลิสง (Jogloy *et al.*, 1999) ข้าวสาลี (Mullaney *et al.*, 1982; Snijders, 1990) ฝ้าย (Quisenberry, 1975) ข้าวโพด (Landi *et al.*, 1990) และมะเขือเทศ (Scott and Jones, 1990) เป็นต้น การวิเคราะห์ค่าเฉลี่ยประชากร โดยใช้เมทริกซ์แอลจีบรา (matrix algebra) นั้น Singh and Chaudhary (1979), Mather and Jinks (1982), Kearsey and Pooni (1996) ได้อธิบายวิธีการวิเคราะห์ additive-dominance model โดยใช้เมทริกซ์แอลจีบรา แต่ยังไม่พบว่ามีรายงานการประยุกต์ใช้การคำนวณค่าความคลาดเคลื่อนมาตรฐาน (standard error; SE) ของแต่ละพารามิเตอร์เพื่อทดสอบผลทางสถิติ ดังนั้นการรายงานครั้งนี้ ได้มีวัตถุประสงค์เพื่ออธิบายวิธีการวิเคราะห์ค่าเฉลี่ยประชากร โดยใช้เมทริกซ์แอลจีบราในการวิเคราะห์ ทั้ง additive-dominance model และ

non-allelic interaction model ตลอดจนถึงการคำนวณค่าความคลาดเคลื่อนมาตรฐาน (SE) ของพารามิเตอร์ต่างๆ เพื่อเป็นประโยชน์ต่องานทางด้านพันธุศาสตร์ปริมาณ และงานปรับปรุงพันธุ์พืชต่อไป

อุปกรณ์และวิธีการ

สร้างประชากรข้าวต่างๆ ได้แก่ แม่ (P_1), พ่อ (P_2), ลูกผสมชั่วที่ 1 (F_1), ลูกผสมชั่วที่ 2 (F_2), ลูกผสมกลับไปหาแม่ (BC_1) และลูกผสมกลับไปหาพ่อ (BC_2) ของถั่วอะซูกิ 3 คู่ผสม ได้แก่ Hondawase x Akatsukidainagon ($H \times A$), Hondawase x Erimo ($H \times E$) และ Akatsukidainagon x Erimo ($A \times E$) แล้วปลูกประชากรข้าวต่างๆ ทั้ง 6 ชั่ว ที่แปลงทดลองสถานีเกษตรหลวงปางดะ อำเภอสะเมิง จังหวัดเชียงใหม่ ระหว่างเดือนสิงหาคม-ธันวาคม 2549 มีระยะห่างระหว่างแถว 50 เซนติเมตร และระหว่างหลุม 20 เซนติเมตร จำนวนหลุมละ 1 ต้น ปลูกพันธุ์พ่อ-แม่ (P_1 และ P_2) จำนวน 2 แถว ปลูก F_1 , BC_1 และ BC_2 จำนวน 1 แถว และปลูก F_2 จำนวน 3 แถว การดูแลรักษาโรคและแมลง และการให้น้ำ ได้ปฏิบัติตามปกติ หลังจากต้นข้าวได้เก็บเกี่ยวทุกต้น นำมาวัดค่าผลผลิตเมล็ดต่อต้น นำค่าผลผลิตเมล็ดต่อต้นที่วัดได้นี้ มาคำนวณหาค่าเฉลี่ย และความแปรปรวนของประชากรแต่ละชั่ว โดยวิธีวิเคราะห์ scaling test ตามวิธีการของ Mather and Jinks (1982) เพื่อพิจารณาความเหมาะสมของ Model ที่จะใช้วิเคราะห์ค่าเฉลี่ยประชากรซึ่ง scaling test มีสมการดังนี้

$$A = 2BC_1 - P_1 - F_1$$

$$V_A = 4V_{BC_1} + V_{P_1} + V_{F_1}$$

$$B = 2BC_2 - P_2 - F_1$$

$$V_B = 4V_{BC_2} + V_{P_2} + V_{F_1}$$

$$C = 4F_2 - 2F_1 - P_1 - P_2$$

$$V_C = 16V_{F_2} + 4V_{F_1} + V_{P_1} + V_{P_2}$$

เมื่อ	$\overline{P_1}$	เป็นค่าเฉลี่ยของพันธุ์แม่
	$\overline{P_2}$	เป็นค่าเฉลี่ยของพันธุ์พ่อ
	$\overline{F_1}$	เป็นค่าเฉลี่ยของลูกผสมชั่วที่ 1 (F_1)
	$\overline{F_2}$	เป็นค่าเฉลี่ยของลูกผสมชั่วที่ 2 (F_2)
	$\overline{BC_1}$	เป็นค่าเฉลี่ยของลูกผสมกลับไปหาพันธุ์แม่ (BC_1)
	$\overline{BC_2}$	เป็นค่าเฉลี่ยของลูกผสมกลับไปหาพันธุ์พ่อ (BC_2)
	$\overline{VP_1}$	เป็นค่าแปรปรวนของพันธุ์แม่
	$\overline{VP_2}$	เป็นค่าแปรปรวนของพันธุ์พ่อ
	$\overline{VF_1}$	เป็นค่าแปรปรวนของลูกผสมชั่วที่ 1 (F_1)
	$\overline{VF_2}$	เป็นค่าแปรปรวนของลูกผสมชั่วที่ 2 (F_2)
	$\overline{VBC_1}$	เป็นค่าแปรปรวนของลูกผสมกลับไปหาพันธุ์แม่ (BC_1)
	$\overline{VBC_2}$	เป็นค่าแปรปรวนของลูกผสมกลับไปหาพันธุ์พ่อ (BC_2)

ทดสอบความแตกต่างจากศูนย์ของค่า A, B และ C โดยใช้ t-test เมื่อพบว่าทุกค่าไม่ต่างจากศูนย์ ทางสถิติหมายความว่า ประชากรนั้นมีความเหมาะสมที่จะวิเคราะห์โดยใช้ additive-dominance model โดยวิธีเมทริกซ์แอลจีบรา ประยุกต์จากวิธีการของ Mather and Jinks (1982) มาวิเคราะห์ซึ่งมีรายละเอียดดังนี้

$$M = [B_1' \times B]^{-1} \times [B_1' \times C]$$

$$V = D \times V_1$$

$$SE = \sqrt{V}$$

- เมื่อ M เป็นเมทริกซ์ของพารามิเตอร์
 B เป็นเมทริกซ์ของโคเอฟิซิเอนของพารามิเตอร์
 B_1 เป็นเมทริกซ์ของเวท (weight)
 C เป็นเมทริกซ์ของค่าเฉลี่ยของประชากรทั้ง 6 ชั่ว
 V เป็นเมทริกซ์ของวาเรียนซ์ของพารามิเตอร์
 V_1 เป็นเมทริกซ์ของวาเรียนซ์ของประชากรทั้ง 6 ชั่ว
 D เป็นเมทริกซ์ของยกกำลังสองของแต่ละค่าในเมทริกซ์ $[(B_1' \times B)^{-1} \times B_1']$
 SE เป็นค่าความคลาดเคลื่อนมาตรฐานของพารามิเตอร์

เมื่อพบว่าค่า A, B หรือ C ค่าใดค่าหนึ่งตั้งแต่ 1 ค่าต่างจากศูนย์อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติโดย *t*-test แสดงว่าประชากรนั้นไม่เหมาะสมที่จะวิเคราะห์โดยใช้ additive-dominance model จึงต้องทำการวิเคราะห์แทนโดยใช้ non-allelic interaction model โดยวิธีเมทริกซ์แอลจีบรา โดยประยุกต์วิธีการประมาณค่าเฉลี่ยของประชากรชั่วต่างๆ ตามวิธีการของ Gamble (1962) ซึ่งมีรายละเอียดดังนี้

$$M = B^{-1} \times C$$

$$V = E \times V_1$$

$$SE = \sqrt{V}$$

- เมื่อ M เป็นเมทริกซ์ของพารามิเตอร์
 B เป็นเมทริกซ์ของโคเอฟิซิเอนของพารามิเตอร์
 C เป็นเมทริกซ์ของค่าเฉลี่ยของประชากรทั้ง 6 ชั่ว
 V เป็นเมทริกซ์ของวาเรียนซ์ของพารามิเตอร์
 V_1 เป็นเมทริกซ์ของวาเรียนซ์ของประชากรทั้ง 6 ชั่ว
 E เป็นเมทริกซ์ของยกกำลังสองของแต่ละค่าในเมทริกซ์ $[B^{-1}]$
 SE เป็นค่าความคลาดเคลื่อนมาตรฐานของพารามิเตอร์

ผลการทดลอง

การวิเคราะห์ค่าเฉลี่ยประชากรโดย additive-dominance model วิธีเมทริกซ์แอลจีบรา

ตัวอย่างลักษณะผลผลิตเมล็ดต่อต้น ของถั่วอะซูกิคู่ผสม Akatsukidainagon $\times$ Erimo (A $\times$ E) ปลูกทดลองที่สถานีเกษตรหลวงปางดะ อ.สะเมิง จ.เชียงใหม่ ฤดูปลูก ปี 2549 ได้แสดงไว้ใน ตารางที่ 1-3

ตารางที่ 1 ค่าเฉลี่ย ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน (SD) จำนวนต้น (N) วาเรียนซ์ของเฉลี่ย (Variance of mean) และความคลาดเคลื่อนมาตรฐาน (SE) ของลักษณะผลผลิตเมล็ดต่อต้น ของประชากรข้าวต่างๆ ของถั่วอะซูกิ กลุ่มผสม Akatsukidainagon x Erimo (A x E) ปลูกที่สถานีเกษตรหลวงปางดะ ฤดูปลูก ปี พ.ศ. 2549

Generation	Mean	SD	N	Variance of mean	SE
P1	12.94	5.75	68	0.48701	0.70
P2	11.30	4.73	78	0.28638	0.54
F1	17.53	6.87	17	2.77812	1.67
F2	15.06	7.25	113	0.46521	0.68
BC1	16.85	6.48	14	2.99642	1.73
BC2	13.78	6.87	25	1.88744	1.37

ตารางที่ 2 Scaling test ของลักษณะผลผลิตเมล็ดต่อต้น ของถั่วอะซูกิกลุ่มผสม Akatsukidainagon x Erimo (A x E) ปลูกที่สถานีเกษตรหลวงปางดะ ฤดูปลูก ปี พ.ศ. 2549

Scaling test	df	Variance	SE	t-value	Probability
$A = 2\overline{BC1} - \overline{P1} - \overline{F1} = 3.2258$	96	15.2508	3.9052	0.8260	0.41085
$B = 2\overline{BC2} - \overline{P2} - \overline{F1} = -1.2718$	117	10.6142	3.2580	-0.3904	0.69695
$C = 4\overline{F2} - 2\overline{F1} - \overline{P1} - \overline{P2} = 0.9226$	273	19.3293	4.3965	0.2099	0.83390

เมื่อพิจารณาค่า A, B และ C จาก scaling test แล้วพบว่าทั้ง 3 ค่าไม่ต่างจากศูนย์ในทางสถิติ ($P > 0.05$) จึงใช้ additive-dominance model วิเคราะห์หาค่าของพารามิเตอร์ต่างๆ ของลักษณะผลผลิตเมล็ดต่อต้นของกลุ่มผสมนี้ โดยใช้วิธีเมทริกซ์แอลจีบราที่พัฒนาขึ้น ดังนี้

$$M = [B_1' \times B]^{-1} \times [B_1' \times C]$$

$$V = D \times V_1$$

$$SE = \sqrt{V}$$

$$B = \begin{vmatrix} 1 & 1 & 0 \\ 1 & -1 & 0 \\ 1 & 0 & 1 \\ 1 & 0 & 0.5 \\ 1 & 0.5 & 0.5 \\ 1 & -0.5 & 0.5 \end{vmatrix}; B_1 = \begin{vmatrix} 2.05 & 2.05 & 0.00 \\ 3.49 & -3.49 & 0.00 \\ 0.36 & 0.00 & 0.36 \\ 2.15 & 0.00 & 1.07 \\ 0.33 & 0.17 & 0.17 \\ 0.53 & -0.26 & 0.26 \end{vmatrix}; B_1' = \begin{vmatrix} 2.05 & 3.49 & 0.36 & 2.15 & 0.33 & 0.53 \\ 2.05 & -3.49 & 0.00 & 0.00 & 0.17 & -0.26 \\ 0.00 & 0.00 & 0.36 & 1.07 & 0.17 & 0.26 \end{vmatrix}$$

$$B_1' \times B = \begin{vmatrix} 2.05 & 3.49 & 0.36 & 2.15 & 0.33 & 0.53 \\ 2.05 & -3.49 & 0.00 & 0.00 & 0.17 & -0.26 \\ 0.00 & 0.00 & 0.36 & 1.07 & 0.17 & 0.26 \end{vmatrix} \times \begin{vmatrix} 1 & 1 & 0 \\ 1 & -1 & 0 \\ 1 & 0 & 1 \\ 1 & 0 & 0.5 \\ 1 & 0.5 & 0.5 \\ 1 & -0.5 & 0.5 \end{vmatrix} = \begin{vmatrix} 8.91 & -1.54 & 1.87 \\ -1.53 & 5.76 & -0.05 \\ 1.86 & -0.05 & 1.11 \end{vmatrix}$$

$$[B_1' \times B]^{-1} = \begin{vmatrix} 0.18 & 0.05 & -0.31 \\ 0.05 & 0.19 & -0.07 \\ -0.31 & -0.07 & 1.41 \end{vmatrix}$$

$$C = \begin{vmatrix} 12.94 \\ 11.30 \\ 17.53 \\ 15.06 \\ 16.85 \\ 13.78 \end{vmatrix}$$

$$B_1' \times C = \begin{vmatrix} 2.05 & 3.49 & 0.36 & 2.15 & 0.33 & 0.53 \\ 2.05 & -3.49 & 0.00 & 0.00 & 0.17 & -0.26 \\ 0.00 & 0.00 & 0.36 & 1.07 & 0.17 & 0.26 \end{vmatrix} \times \begin{vmatrix} 12.94 \\ 11.30 \\ 17.53 \\ 15.06 \\ 16.85 \\ 13.78 \end{vmatrix} = \begin{vmatrix} 117.52 \\ -13.63 \\ 28.87 \end{vmatrix}$$

$$M = [B_1' \times B]^{-1} \times [B_1' \times C] = \begin{vmatrix} 0.18 & 0.05 & -0.31 \\ 0.05 & 0.19 & -0.07 \\ -0.31 & -0.07 & 1.41 \end{vmatrix} \times \begin{vmatrix} 117.52 \\ -13.63 \\ 28.87 \end{vmatrix} = \begin{vmatrix} 12.16 \\ 0.91 \\ 5.67 \end{vmatrix}$$

$$[B_1' \times B]^{-1} \times B_1' = \begin{vmatrix} 0.18 & 0.05 & -0.31 \\ 0.05 & 0.19 & -0.07 \\ -0.31 & -0.07 & 1.41 \end{vmatrix} \times \begin{vmatrix} 2.05 & 3.49 & 0.36 & 2.15 & 0.33 & 0.53 \\ 2.05 & -3.49 & 0.00 & 0.00 & 0.17 & -0.26 \\ 0.00 & 0.00 & 0.36 & 1.07 & 0.17 & 0.26 \end{vmatrix}$$

$$= \begin{vmatrix} 0.47 & 0.45 & -0.05 & 0.06 & 0.02 & 0.00 \\ 0.49 & -0.49 & -0.01 & 0.03 & 0.04 & -0.04 \\ -0.78 & -0.84 & 0.40 & 0.84 & 0.13 & 0.22 \end{vmatrix}$$

$$D = \begin{vmatrix} 0.2223 & 0.2058 & 0.0022 & 0.0031 & 0.0002 & 0.0000 \\ 0.2421 & 0.2387 & 0.0001 & 0.0011 & 0.0014 & 0.0017 \\ 0.6068 & 0.7016 & 0.1568 & 0.7093 & 0.0158 & 0.0486 \end{vmatrix}$$

$$V_1 = \begin{vmatrix} 0.48701 \\ 0.28638 \\ 2.77812 \\ 0.46521 \\ 2.99642 \\ 1.88744 \end{vmatrix}$$

$$V = D \times V_1 = \begin{vmatrix} 0.2223 & 0.2058 & 0.0022 & 0.0031 & 0.0002 & 0.0000 \\ 0.2421 & 0.2387 & 0.0001 & 0.0011 & 0.0014 & 0.0017 \\ 0.6068 & 0.7016 & 0.1568 & 0.7093 & 0.0158 & 0.0486 \end{vmatrix} \times \begin{vmatrix} 0.48701 \\ 0.28638 \\ 2.77812 \\ 0.46521 \\ 2.99642 \\ 1.88744 \end{vmatrix} = \begin{vmatrix} 0.18 \\ 0.19 \\ 1.40 \end{vmatrix}$$

ตารางที่ 3 ผลการวิเคราะห์ค่าเฉลี่ยประชากรโดยใช้ additive-dominance model ของลักษณะผลผลิตเมล็ดต่อต้น ของถั่วอะซูกิคู่ผสม Akatsukidainagon x Erimo (A x E) ปลูกที่สถานีเกษตรหลวงปางดะ ฤดูปลูก ปี พ.ศ. 2549

	Parameters	Variance	SE	t-value	Probability
m	12.16 (12.16)	0.18 (0.18)	0.43 (0.43)	29.03	0.00000
[d]	0.91 (0.91)	0.19 (0.19)	0.43 (0.43)	2.06	0.04083
[h]	5.67 (5.66)	1.40 (1.41)	1.19 (1.19)	4.79	0.00000

ตัวเลขในวงเล็บคือผลการวิเคราะห์ค่าเฉลี่ยประชากรตามวิธีการของ Mather and Jinks (1982)

สำหรับการวิเคราะห์ค่าเฉลี่ยประชากรตามวิธีการของ Mather and Jinks (1982) ของลักษณะผลผลิตเมล็ดต่อต้นของกลุ่มผสมนี้เป็นดังนี้

ตารางที่ 4 Scaling test ของถั่วอะซูกิกลุ่มผสม Akatsukidainagon x Erimo (A x E) ปลูกที่สถานีเกษตรหลวงปางดะ ฤดูปลูก ปี พ.ศ. 2549 วิเคราะห์โดยใช้วิธีการของ Mather and Jinks (1982)

Generation	Weight	m	[d]	[h]		Observed generation Mean	Expected generation mean
P1	2.0533	1	1	0	=	12.94	13.07
BC1	0.3337	1	0.5	0.5	=	16.85	15.45
F1	0.3600	1	0	1	=	17.53	17.82
F2	2.1496	1	0	0.5	=	15.06	14.99
BC2	0.5298	1	-0.5	0.5	=	13.78	14.54
P2	3.4919	1	-1	0	=	11.30	11.25
m		[d]		[h]			
2.0533	+	2.0533			=	26.5703	
0.3337	+	0.1669	+	0.1669	=	5.6234	
0.3600			+	0.3600	=	6.3100	
2.1496			+	1.0748	=	32.3725	
0.5298	-	0.2649	+	0.2649	=	7.3009	
3.4919	-	3.4919			=	39.4581	
8.9183	-	1.5366		1.8665	=	117.6351	

8.9183	-1.5366	1.8665	x	m	=	117.6351
-1.5366	5.7611	-0.0490		[d]		-13.7265
1.8665	-0.0490	1.1132		[h]		28.9584
J				M		S

$$M = J^{-1} S$$

m	=	0.1845	0.0466	-0.3072	x	117.6351
[d]		0.0466	0.1854	-0.0699		-13.7265
[h]		-0.3072	-0.0699	1.4103		28.9584

การวิเคราะห์ค่าเฉลี่ยประชากรตามวิธีการของ Mather and Jinks (1982) ได้ผลดังนี้

$$m = (0.1845)(117.6351) - (0.0466)(13.7265) - (0.3072)(28.9584) = 12.1622$$

$$SE \text{ of } m = \sqrt{0.1845} = \pm 0.4295$$

$$[d] = (0.0466)(117.6351) - (0.1854)(13.7265) - (0.0699)(28.9584) = 0.9094$$

$$SE \text{ of } [d] = \sqrt{0.1854} = \pm 0.4306$$

$$[h] = (-0.3072)(117.6351) + (0.0699)(13.7265) + (1.4103)(28.9584) = 5.6610$$

$$SE \text{ of } [h] = \sqrt{1.4103} \cdot 1.4103 = \pm 1.1876$$

Expected generation mean

$$P_1 = m + [d] = 12.1622 + 0.9094 = 13.0716$$

$$BC_1 = m + 0.5 [d] + 0.5 [h] = 12.1622 + (0.5)(0.9194) + (0.5)(5.6610) = 15.4474$$

$$F_1 = m + [h] = 12.1622 + 5.6610 = 17.8232$$

$$F_2 = m + 0.5 [h] = 12.1622 + (0.5)(5.6610) = 14.9927$$

$$BC_2 = m - 0.5 [d] + 0.5 [h] = 12.1622 - (0.5)(0.9094) + (0.5)(5.6610) = 14.5380$$

$$P_2 = m - [d] = 12.1622 - 0.9094 = 11.2528$$

ผลการวิเคราะห์ค่าเฉลี่ยประชากรโดยใช้วิธีเมทริกต์แอลจีบรา และวิธีการของ Mather and Jinks (1982) โดยใช้วิธีการประมาณค่าเฉลี่ยของประชากรชั่วต่างๆ ของ Hayman (1958) ได้แสดงไว้ใน ตารางที่ 3 ซึ่งพบว่าผลจากการวิเคราะห์โดยทั้งสองวิธีการมีค่า m และ $[d]$ เท่ากันคือมีค่าเท่ากับ 12.16 และ 0.91 กรัมต่อต้น ตามลำดับ และยังพบอีกว่าทั้งค่า m และ $[d]$ นี้มีค่าความแปรปรวน (variance) และค่าความคลาดเคลื่อนมาตรฐาน (SE) จากการวิเคราะห์ของสองวิธีการเท่ากันอีกด้วย สำหรับค่า $[h]$ พบว่ามีค่าที่ใกล้เคียงกัน คือ วิเคราะห์โดยใช้เมทริกต์แอลจีบรามีค่าเท่ากับ 5.67 กรัม ส่วนวิธีการของ Mather and Jinks (1982) มีค่าเท่ากับ 5.66 กรัมต่อต้น

จากผลการวิเคราะห์นี้ยังพบว่าอิทธิพลของยีนแบบข่ม (dominance, $[h]$) มีอิทธิพลมากกว่าแบบผลบวก (additive, $[d]$) ควบคุมลักษณะผลผลิตเมล็ดต่อต้นของกลุ่มผสม $A \times E$ เมื่อปลูกที่สถานีเกษตรหลวงปางดะ ในปี 2549 ผลที่ได้นี้สอดคล้องกับค่าเฉลี่ยของประชากรชั่วต่างๆ (ตารางที่ 1) ซึ่งพบว่าลูกผสม F_1 , F_2 , BC_1 และ BC_2 ต่างให้ค่าเฉลี่ยที่สูงกว่าค่าเฉลี่ยของพ่อ-แม่ (P_1 และ P_2)

การวิเคราะห์ค่าเฉลี่ยประชากรโดยใช้ non-allelic interaction model

วิเคราะห์พารามิเตอร์ทั้ง 6 ค่า คือ m , $[d]$, $[h]$, $[i]$, $[j]$ และ $[l]$ ใช้วิธีเมทริกต์แอลจีบรา ตัวอย่างของ ลักษณะผลผลิตเมล็ดต่อต้น ของถั่วอะซูกิกลุ่มผสม Hondawase $\times$ Erimo ($H \times E$) ปลูกที่สถานีเกษตรหลวงปางดะ อ.สะเมิง จ.เชียงใหม่ ฤดูปลูก ปี 2549 (ตารางที่ 5-7)

ตารางที่ 5 ค่าเฉลี่ย ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน (SD) จำนวนต้น (N) วาเรียนซ์ของเฉลี่ย (Variance of mean) และความคลาดเคลื่อนมาตรฐาน (SE) ของลักษณะผลผลิตเมล็ดต่อต้น ของประชากรข้าวต่างๆ ของถั่วอะซูกิกลุ่มผสม Hondawase x Erimo (H x E) ปลูกที่สถานีเกษตรหลวงปางดะ ฤดูปลูก ปี พ.ศ. 2549

Generation	Mean	SD	N	Variance of mean	SE
P1	8.81	3.67	70	0.19191	0.44
P2	9.28	4.41	73	0.26595	0.52
F1	17.71	4.47	22	0.90637	0.95
F2	11.51	5.24	103	0.26691	0.52
BC1	18.06	4.73	20	1.11728	1.06
BC2	13.02	4.91	18	1.34091	1.16

ตารางที่ 6 Scaling test ของลักษณะผลผลิตเมล็ดต่อต้น ของถั่วอะซูกิกลุ่มผสม Hondawase x Erimo (H x E) ปลูกที่สถานีเกษตรหลวงปางดะ ฤดูปลูก ปี พ.ศ. 2549

Scaling test	df	Variance	SE	t-value	Probability
A = $2\overline{BC1} - \overline{P1} - \overline{F1} = 9.6041$	109	5.5674	2.3595	4.0704	0.00009
B = $2\overline{BC2} - \overline{P2} - \overline{F1} = -0.9497$	110	6.5360	2.5566	-0.3715	0.71098
C = $4\overline{F2} - 2\overline{F1} - \overline{P1} - \overline{P2} = -7.4694$	265	8.3538	2.8903	-2.5843	0.01029

เมื่อพิจารณา scaling test พบว่าค่า A และ C ต่างจากศูนย์อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P < 0.05$ และ/หรือ $P < 0.01$) ค่าเฉลี่ยประชากรของลักษณะผลผลิตเมล็ดต่อต้นของกลุ่มผสมนี้จึงไม่เหมาะสมที่จะใช้ additive-dominance model จึงทำการวิเคราะห์โดยใช้ non-allelic interaction model และใช้วิธีเมทริกซ์แอลจีบราที่พัฒนาขึ้น ดังนี้

$$M = B^{-1} \times C$$

$$V = E \times V_1$$

$$SE = \sqrt{V}$$

$$B = \begin{vmatrix} 1 & 1 & -0.5 & 1 & -1 & 0.25 \\ 1 & -1 & -0.5 & 1 & 1 & 0.25 \\ 1 & 0 & 0.5 & 0 & 0 & 0.25 \\ 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 1 & 0.5 & 0 & 0.25 & 0 & 0 \\ 1 & -0.5 & 0 & 0.25 & 0 & 0 \end{vmatrix}; B^{-1} = \begin{vmatrix} 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & -1 \\ -0.5 & -0.5 & 1 & -4 & 2 & 2 \\ 0 & 0 & 0 & -4 & 2 & 2 \\ -0.5 & 0.5 & 0 & 0 & 1 & -1 \\ 1 & 1 & 2 & 4 & -4 & -4 \end{vmatrix}$$

$$C = \begin{vmatrix} 8.81 \\ 9.28 \\ 17.71 \\ 11.51 \\ 18.06 \\ 13.02 \end{vmatrix}$$

$$M = B^{-1} \times C = \begin{vmatrix} 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & -1 \\ -0.5 & -0.5 & 1 & -4 & 2 & 2 \\ 0 & 0 & 0 & -4 & 2 & 2 \\ -0.5 & 0.5 & 0 & 0 & 1 & -1 \\ 1 & 1 & 2 & 4 & -4 & -4 \end{vmatrix} \times \begin{vmatrix} 8.81 \\ 9.28 \\ 17.71 \\ 11.51 \\ 18.06 \\ 13.02 \end{vmatrix} = \begin{vmatrix} 11.51 \\ 5.04 \\ 24.79 \\ 16.12 \\ 5.28 \\ -24.78 \end{vmatrix}$$

$$V_1 = \begin{vmatrix} 0.19191 \\ 0.26595 \\ 0.90637 \\ 0.26691 \\ 1.11728 \\ 1.34091 \end{vmatrix}$$

$$E = \begin{vmatrix} 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 1 \\ 0.25 & 0.25 & 1 & 16 & 4 & 4 \\ 0 & 0 & 0 & 16 & 4 & 4 \\ 0.25 & 0.25 & 0 & 0 & 1 & 1 \\ 1 & 1 & 4 & 16 & 16 & 16 \end{vmatrix}$$

$$V = E \times V_1 = \begin{vmatrix} 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 1 \\ 0.25 & 0.25 & 1 & 16 & 4 & 4 \\ 0 & 0 & 0 & 16 & 4 & 4 \\ 0.25 & 0.25 & 0 & 0 & 1 & 1 \\ 1 & 1 & 4 & 16 & 16 & 16 \end{vmatrix} \times \begin{vmatrix} 0.19191 \\ 0.26595 \\ 0.90637 \\ 0.26691 \\ 1.11728 \\ 1.34091 \end{vmatrix} = \begin{vmatrix} 0.27 \\ 2.46 \\ 15.12 \\ 14.10 \\ 2.57 \\ 47.68 \end{vmatrix}$$

ตารางที่ 7 ผลการวิเคราะห์ค่าเฉลี่ยประชากรโดยใช้ non-allelic interaction model ของลักษณะผลผลิตเมล็ดต่อต้น ของถั่วอะซูกิผู้ผสม Hondawase x Erimo (H x E) ปลูกที่สถานีเกษตรหลวงปางดะ ฤดูปลูก ปี พ.ศ. 2549

	Parameters	Variance	SE	t-value	Probability
m	11.51	0.27	0.52	22.273	0.00000
[d]	5.04	2.46	1.57	3.216	0.00155
[h]	24.79	15.12	3.89	6.373	0.00000
[i]	16.12	14.10	3.76	4.293	0.00003
[j]	5.28	2.57	1.60	3.290	0.00127
[l]	-24.78	47.68	6.91	-3.588	0.00044

การวิเคราะห์ค่าเฉลี่ยประชากรโดยใช้ non-allelic interaction model นี้พบว่า ยังไม่เคยมีรายงานผลการวิเคราะห์ โดยวิธีการของเมทริกซ์แอลจีบรามา ก่อน ซึ่งจากการทดลองนี้ได้ใช้วิธีการประมาณค่าเฉลี่ยของประชากรชั่วคราวของ Gamble (1962) โดยใช้เมทริกซ์แอลจีบรา ของกลุ่มผสม H x E ปลูกทดลองที่สถานีเกษตรหลวงปางดะ ในปี 2549 พบว่าพารามิเตอร์ทั้งหมด (m, [d], [h], [i], [j] และ [l]) มีค่าที่ต่างจากศูนย์อย่างมีนัยสำคัญยิ่งในทางสถิติ ($P < 0.01$) (ตารางที่ 7) ซึ่งแสดงว่าทุกพารามิเตอร์มีความสำคัญหมด

เมื่อพิจารณาค่าพารามิเตอร์แต่ละค่า พบว่าผลผลิตเมล็ดต่อต้นของถั่วอะซูกิผู้ผสมนี้ ถูกควบคุมโดยอิทธิพลของยีนแบบไม่เป็นผลบวก (non-additive) ซึ่งได้แก่ แบบข่ม ([h]) และแบบข่มข้ามคู่ ([i] และ [l]) มีอิทธิพลมากกว่าแบบเป็นผลบวก ([d])

การวิเคราะห์ค่าเฉลี่ยประชากรโดยใช้ non-allelic interaction model

วิธีการนี้ทำโดยตัดพารามิเตอร์ [i] และ [l] ซึ่งไม่มีความสำคัญออก วิเคราะห์เฉพาะพารามิเตอร์ m, [d], [h] และ [j] โดยวิธีเมทริกซ์แอลจีบรา ตัวอย่างของลักษณะผลผลิตเมล็ดต่อต้น ของถั่วอะซูกิผู้ผสม Hondawase x Akatsukidainagon (H x A) ปลูกที่สถานีเกษตรหลวงปางดะ อ.สะเมิง จ.เชียงใหม่ ฤดูปลูก ปี 2549 (ตารางที่ 8-11)

ตารางที่ 8 ค่าเฉลี่ย ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน (SD) จำนวนต้น (N) วาเรียนซ์ของเฉลี่ย (Variance of mean) และความคลาดเคลื่อนมาตรฐาน (SE) ของลักษณะผลผลิตเมล็ดต่อต้น ของประชากรข้าวต่างๆ ของถั่วอะซูกิกลุ่มผสม Hondawase x Akatsukidainagon (H x A) ปลูกที่สถานีเกษตรหลวงปางดะ ฤดูปลูก ปี พ.ศ. 2549

Generation	Mean	SD	N	Variance of mean	SE
P1	10.92	5.18	68	0.39519	0.63
P2	12.75	4.96	66	0.37237	0.61
F1	20.23	5.67	22	1.46136	1.21
F2	12.88	7.17	111	0.46286	0.68
BC1	10.19	5.51	21	1.44798	1.20
BC2	17.24	7.03	11	4.49797	2.12

ตารางที่ 9 Scaling test ของลักษณะผลผลิตเมล็ดต่อต้น ของถั่วอะซูกิกลุ่มผสม Hondawase x Akatsukidainagon (H x A) ปลูกที่สถานีเกษตรหลวงปางดะ ฤดูปลูก ปี พ.ศ. 2549

Scaling test	df	Variance	SE	t-value	Probability
$A = 2\overline{BC1} - \overline{P1} - \overline{F1} = -10.7618$	108	7.6485	2.7656	-3.8913	0.00017
$B = 2\overline{BC2} - \overline{P2} - \overline{F1} = 1.4918$	96	19.8256	4.4526	0.3350	0.73836
$C = 4\overline{F2} - 2\overline{F1} - \overline{P1} - \overline{P2} = -12.6050$	264	14.0188	3.7442	-3.3666	0.00087

เมื่อพิจารณา scaling test พบว่าค่า A และ C ต่างจากศูนย์อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P < 0.01$) การวิเคราะห์ค่าเฉลี่ยประชากรของลักษณะผลผลิตเมล็ดต่อต้นของกลุ่มผสมนี้ จึงไม่เหมาะสมที่จะใช้ additive-dominance model จึงวิเคราะห์โดยใช้ non-allelic interaction model และใช้วิธีการเมทริกซ์แอลจีบราดังนี้

$$M = B^{-1} \times C$$

$$V = E \times V_1$$

$$SE = \sqrt{V}$$

$$B = \begin{vmatrix} 1 & 1 & -0.5 & 1 & -1 & 0.25 \\ 1 & -1 & -0.5 & 1 & 1 & 0.25 \\ 1 & 0 & 0.5 & 0 & 0 & 0.25 \\ 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 1 & 0.5 & 0 & 0.25 & 0 & 0 \\ 1 & -0.5 & 0 & 0.25 & 0 & 0 \end{vmatrix}; B^{-1} = \begin{vmatrix} 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & -1 \\ -0.5 & -0.5 & 1 & -4 & 2 & 2 \\ 0 & 0 & 0 & -4 & 2 & 2 \\ -0.5 & 0.5 & 0 & 0 & 1 & -1 \\ 1 & 1 & 2 & 4 & -4 & -4 \end{vmatrix}$$

$$C = \begin{vmatrix} 10.92 \\ 12.75 \\ 20.23 \\ 12.88 \\ 10.19 \\ 17.24 \end{vmatrix}$$

$$M = B^{-1} \times C = \begin{vmatrix} 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & -1 \\ -0.5 & -0.5 & 1 & -4 & 2 & 2 \\ 0 & 0 & 0 & -4 & 2 & 2 \\ -0.5 & 0.5 & 0 & 0 & 1 & -1 \\ 1 & 1 & 2 & 4 & -4 & -4 \end{vmatrix} \times \begin{vmatrix} 10.92 \\ 12.75 \\ 20.23 \\ 12.88 \\ 10.19 \\ 17.24 \end{vmatrix} = \begin{vmatrix} 12.88 \\ -7.04 \\ 11.73 \\ 3.33 \\ -6.13 \\ 5.94 \end{vmatrix}$$

$$V_l = \begin{vmatrix} 0.39519 \\ 0.37237 \\ 1.46136 \\ 0.46286 \\ 1.44798 \\ 4.49797 \end{vmatrix}$$

$$E = \begin{vmatrix} 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 1 \\ 0.25 & 0.25 & 1 & 16 & 4 & 4 \\ 0 & 0 & 0 & 16 & 4 & 4 \\ 0.25 & 0.25 & 0 & 0 & 1 & 1 \\ 1 & 1 & 4 & 16 & 16 & 16 \end{vmatrix}$$

$$V = E \times V_1 = \begin{vmatrix} 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 1 \\ 0.25 & 0.25 & 1 & 16 & 4 & 4 \\ 0 & 0 & 0 & 16 & 4 & 4 \\ 0.25 & 0.25 & 0 & 0 & 1 & 1 \\ 1 & 1 & 4 & 16 & 16 & 16 \end{vmatrix} \times \begin{vmatrix} 0.39519 \\ 0.37237 \\ 1.46136 \\ 0.46286 \\ 1.44798 \\ 4.49797 \end{vmatrix} = \begin{vmatrix} 0.46 \\ 5.95 \\ 32.84 \\ 31.19 \\ 6.14 \\ 109.15 \end{vmatrix}$$

ตารางที่ 10 ผลการวิเคราะห์ค่าเฉลี่ยประชากรโดยใช้ non-allelic interaction model ของลักษณะผลผลิตเมล็ด ต่อต้นของถั่วอะซูกิคู่ผสม Hondawase x Akatsukidainagon (H x A) ปลูกที่สถานีเกษตรหลวงปางดะ ฤดูปลูก ปี พ.ศ. 2549

	Parameters	Variance	SE	t-value	Probability
m	12.88	0.46	0.68	18.933	0.00000
[d]	-7.04	5.95	2.44	-2.889	0.00439
[h]	11.73	32.84	5.73	2.046	0.04247
[i]	3.33	31.19	5.58	0.597	0.55134
[j]	-6.13	6.14	2.48	-2.473	0.01467
[l]	5.94	109.15	10.45	0.568	0.57087

เมื่อทดสอบความแตกต่างจากศูนย์ของพารามิเตอร์ต่างๆ พบว่าพารามิเตอร์ m, [d], [h] และ [j] ต่างจากศูนย์อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ จึงได้วิเคราะห์พารามิเตอร์ที่มีความสำคัญนี้ใหม่ เพื่อให้มีการทดสอบ Chi-square test (X^2) ใน perfect fit estimate ได้ ซึ่งจะทำให้การประเมินพารามิเตอร์มีความแม่นยำขึ้น (พีระศักดิ์, 2525) โดยใช้เมทริกซ์แอลจีบราดังนี้

$$M = (B' \times B)^{-1} \times (B' \times C)$$

$$V = F \times V_1$$

$$SE = \sqrt{V}$$

เมื่อ M เป็นเมทริกซ์ของพารามิเตอร์

B เป็นเมทริกซ์ของโคเอฟิเซียนของพารามิเตอร์

C เป็นเมทริกซ์ของค่าเฉลี่ยของประชากรทั้ง 6 ชั่ว

V เป็นเมทริกซ์ของวาเรียนซ์ของพารามิเตอร์

V_1 เป็นเมทริกซ์ของวาเรียนซ์ของประชากรทั้ง 6 ชั่ว

F เป็นเมทริกซ์ของยกกำลังสองของแต่ละค่าในเมทริกซ์ $[(B \times B)^{-1} \times (B \times C)]$

SE เป็นค่าความคลาดเคลื่อนมาตรฐานของพารามิเตอร์

$$B = \begin{vmatrix} 1 & 1 & -0.5 & -1 \\ 1 & -1 & -0.5 & 1 \\ 1 & 0 & 0.5 & 0 \\ 1 & 0 & 0 & 0 \\ 1 & 0.5 & 0 & 0 \\ 1 & -0.5 & 0 & 0 \end{vmatrix} ; B' = \begin{vmatrix} 1.0 & 1.0 & 1.0 & 1.0 & 1.0 & 1.0 \\ 1.0 & -1.0 & 0.0 & 0.0 & 0.5 & -0.5 \\ -0.5 & -0.5 & 0.5 & 0.0 & 0.0 & 0.0 \\ -1.0 & 1.0 & 0.0 & 0.0 & 0.0 & 0.0 \end{vmatrix}$$

$$B' \times B = \begin{vmatrix} 6.00 & 0.00 & -0.50 & 0.00 \\ 0.00 & 2.50 & 0.00 & -2.00 \\ -0.50 & 0.00 & 0.75 & 0.00 \\ 0.00 & -2.00 & 0.00 & 2.00 \end{vmatrix}$$

$$[B' \times B]^{-1} = \begin{vmatrix} 0.18 & 0.00 & 0.12 & 0.00 \\ 0.00 & 2.00 & 0.00 & 2.00 \\ 0.12 & 0.00 & 1.41 & 0.00 \\ 0.00 & 2.00 & 0.00 & 2.50 \end{vmatrix}$$

$$B' \times C = \begin{vmatrix} 84.21 \\ -5.36 \\ -1.72 \\ 1.83 \end{vmatrix}$$

$$[B' \times B]^{-1} \times B' = \begin{vmatrix} 0.12 & 0.12 & 0.24 & 0.18 & 0.18 & 0.18 \\ 0.00 & 0.00 & 0.00 & 0.00 & 1.00 & -1.00 \\ -0.59 & -0.59 & 0.82 & 0.12 & 0.12 & 0.12 \\ -0.50 & 0.50 & 0.00 & 0.00 & 1.00 & -1.00 \end{vmatrix}$$

$$F = \begin{vmatrix} 0.01 & 0.01 & 0.06 & 0.03 & 0.03 & 0.03 \\ 0.00 & 0.00 & 0.00 & 0.00 & 1.00 & 1.00 \\ 0.35 & 0.35 & 0.68 & 0.01 & 0.01 & 0.01 \\ 0.25 & 0.25 & 0.00 & 0.00 & 1.00 & 1.00 \end{vmatrix}$$

V =	0.29	; SE =	0.54
	5.95		2.44
	1.35		1.16
	6.14		2.48

ตารางที่ 11 ผลการวิเคราะห์ค่าเฉลี่ยประชากรโดยใช้ non-allelic interaction model และตัดพารามิเตอร์ [i] และ [I] ออก ของลักษณะผลผลิตเมล็ดต่อต้น ของถั่วอะซูกิดูผสม Hondawase x Akatsukidainagon (H x A) ปลูกลงที่สถานีเกษตรหลวงปางดะ ฤดูปลูก ปี พ.ศ. 2549

	Parameters	Variance	SE	t-value	Probability
m	14.66	0.29	0.54	27.17	0.00000
[d]	-7.05	5.95	2.44	-2.89	0.00438
[h]	7.48	1.35	1.16	6.45	0.00000
[j]	-6.14	6.14	2.48	-2.48	0.01440

จากการวิเคราะห์ค่าเฉลี่ยประชากรของกลุ่มผสม H x A ปลูกลงที่สถานีเกษตรหลวงปางดะ ในปี 2549 โดยใช้ non-allelic interaction model ทำการวิเคราะห์เฉพาะพารามิเตอร์ที่มีความสำคัญ ได้แก่ m, [d], [h] และ [j] ใช้วิธีการประมาณค่าเฉลี่ยของประชากรชั่วต่างๆ โดยวิธีของ Gamble (1962) และใช้เมทริกซ์แอลจีบราวิเคราะห์ พบว่าพารามิเตอร์ m, [d], [h] และ [j] มีค่าที่แตกต่างจากศูนย์อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P < 0.05$ และ/หรือ $P < 0.01$) และยังพบอีกว่าอิทธิพลของยีนแบบข่ม ([h]) มีอิทธิพลมากกว่าแบบผลบวก ([d]) และพบอิทธิพลของยีนแบบข่มข้ามคู่แบบ [j] (additive x dominance) มีอิทธิพลต่อการแสดงออกของลักษณะผลผลิตเมล็ดต่อต้นของกลุ่มผสมนี้ด้วย

วิจารณ์และสรุปผลการทดลอง

จากการวิเคราะห์ค่าเฉลี่ยของประชากรโดยใช้วิธีเมทริกซ์แอลจีบรา พบว่าสามารถประเมินอิทธิพลของพันธุกรรม ควบคุมลักษณะผลผลิตเมล็ดต่อต้นของถั่วอะซูกิดูทั้ง 3 กลุ่มผสม ได้แก่ Hondawase x Akatsukidainagon (H x A), Hondawase x Erimo (H x E) และ Akatsukidainagon x Erimo (A x E) โดยแต่ละกลุ่มผสมใช้โมเดลในการวิเคราะห์ที่แตกต่างกัน ขึ้นอยู่กับผลของ scaling test ซึ่งพบว่ากลุ่มผสม A x E มีความเหมาะสมที่จะวิเคราะห์โดยใช้ additive-dominance model ตามวิธีการของ Hayman (1958) และเมื่อเปรียบเทียบผลการวิเคราะห์ ค่าเฉลี่ยประชากรของลักษณะผลผลิตเมล็ดต่อต้นของกลุ่มผสม A x E นี้โดยใช้วิธีเมทริกซ์แอลจีบรากับวิธีการของ Mather and Jinks (1982) นั้นพบว่าให้ค่าที่ใกล้เคียงกันมาก แต่ข้อดีของวิธีเมทริกซ์แอลจีบราคือมีความสะดวกและง่ายต่อการวิเคราะห์ ซึ่งได้เปรียบหรือต่างจากวิธีปกติของ Mather and Jinks (1982) ที่มีความยุ่งยากโดยเฉพาะในการคำนวณค่า SE ส่วนอีกสองกลุ่มผสมคือ H x A และ H x E ไม่เหมาะสมที่จะวิเคราะห์โดยใช้ additive-dominance model เพราะไม่ผ่านการตรวจสอบโดยวิธี scaling test ซึ่งแสดงว่าลักษณะผลผลิตเมล็ดต่อต้นของทั้งสองกลุ่มผสมนี้มีอิทธิพลของยีนที่แสดงออกนอกเหนือจากแบบผลบวก (additive) และแบบข่ม (dominance) ซึ่งอาจเกิดจากอิทธิพลของยีนต่างคู่หรือต่างตำแหน่ง (epistasis) เป็นต้น จึงทำการ

วิเคราะห์โดยใช้ non-allelic interaction model โดยใช้วิธีเมทริกซ์แอลจีบรา พบว่าสามารถประเมินอิทธิพลของค่าพารามิเตอร์ต่างๆ ได้ทั้งหมด การวิเคราะห์ non-allelic interaction model นี้ Mather and Jinks (1982) ไม่ได้อธิบายรายละเอียดของวิธีการวิเคราะห์ไว้จึงไม่มีตัวอย่างการวิเคราะห์ในส่วนนี้

จากการวิเคราะห์ค่าเฉลี่ยของประชากรโดยใช้เมทริกซ์แอลจีบรา จึงสรุปได้ว่าสามารถใช้วิเคราะห์เพื่อประเมินอิทธิพลของยีนแบบต่างๆ ต่อลักษณะทางปริมาณที่มียีนควบคุมหลายคู่ได้อย่างถูกต้อง แม่นยำ สะดวก และยังสามารถนำไปประยุกต์ใช้กับโปรแกรมสำเร็จรูปต่างๆ เช่น Microsoft Excel ได้อย่างง่ายโดยใช้คอมพิวเตอร์ช่วยในการคำนวณอีกด้วย

เอกสารอ้างอิง

- พิระศักดิ์ ศรีนิเวศน์. 2525. พันธุศาสตร์ปริมาณที่ใช้ในการปรับปรุงพันธุ์พืช. มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.
- Anderson, V.L. and Kempthorne, O. 1954. A model for the study of quantitative inheritance. *Genetics* 39: 883-898.
- Chaitieng, B., Laosuwan P. and Wongkaew, S. 2003. Inheritance of powdery mildew resistance in mungbean [*Vigna radiata* (L.) Wilczek]. *Thai J. Agri Sci* 36: 73-78.
- Gamble, E.E. 1962. Gene effects in corn (*Zea mays* L.) I. Separation and relative importance of gene effects for yield. *Can J Pl Sci* 42: 339-348.
- Gardner, C.O. and Eberhart, S.A. 1966. Analysis and interpretation of the variety cross diallel and related population. *Biometrics* 22: 439-452.
- Hayman, B.I. 1958. The separation of epistatic from additive and dominance variation in generation mean. *Heredity* 12: 371-390.
- Jogloy, S., Pensuk, V., Patanothai, A. and Wongkaew, S. 1999. Generation mean analyses of late leafspot and rust resistance in peanut (*Arachis hypogaea* L.). *Thai J Agric Sci* 32: 423-433.
- Kearsey, M.J. and Pooni, H.S. 1996. *The Genetical Analysis of Quantitative Traits*. Chapman and Hall. London, U.K.
- Landi, P., Frascaroli, E. and Vicari, A. 1990. Inheritance of chlorsulfuron tolerance in a maize population. *J Genet & Breed* 44 : 27-32.
- Mather, S.K. and Jinks, J.L. 1982. *Biometrical Genetics*. Chapman and Hall, London, U.K.
- Mullaney, E.J., Martin, J.M. and Scharen, A.L. 1982. Generation mean analysis to identify and partition the components of genetic resistance to *Septoria nodorum* in wheat. *Euphytica* 31: 539-545.
- Quisenberry, J.E. 1975. Inheritance of plant height in cotton. I. A cross between Lubbock Dwarf and Texas Marker-1. *Crop Sci* 15: 197-199.
- Scott, S.J. and Jones, R.A. 1990. Generation means analysis of right-censored response-time traits: Low temperature seed germination in tomato. *Euphytica* 48: 239-244.
- Singh, R.K. and Chaudhary, B.D. 1979. *Biometrical Method in Quantitative Genetic Analysis*. Kalayani Publishers, New Delhi, India.
- Snijders, C.H.A. 1990. Response to selection in F2 generations of winter wheat for resistance to head blight caused by *Fusarium culmorum*. *Euphytica* 50: 163-169.