สมรรถนะการรวมตัวและการจัดกลุ่มเฮทเทอโรซีส ของข้าวโพดเทียน 10 พันธุ์

Combining ability and heterotic grouping of 10 thein corn varieties

กิตติ บุญเลิศนิรันดร์[1*]

Kitti Boonlertnirun[1*]

บทคัดย่อ: เชื้อพันธุกรรมมีความสำคัญและเป็นปัจจัยที่กำหนดความสำเร็จของการปรับปรุงพันธุ์พืช การจัดการเชื้อพันธุกรรม โดยจัดกลุ่มพันธุ์ตามความสามารถในการรวมตัว ช่วยให้การปรับปรุงพันธุ์พืชมีประสิทธิภาพเพิ่มขึ้น การวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์ เพื่อจัดกลุ่มพันธุ์ข้าวโพดเทียนตามสมรรถนะการรวมตัวเฉพาะ ดำเนินการโดยผสมพันธุ์ข้าวโพดเทียนพันธุ์ผสมเปิด 10 พันธุ์แบบพบกันหมด ได้ลูกผสมจำนวน 45 คู่ผสม นำมาปลูกทดสอบผลผลิตร่วมกับพันธุ์พ่อแม่ใน 2 ฤดูปลูก (ฤดูแล้งและฤดูฝน) ในแต่ละฤดูปลูก ปลูกทดสอบด้วยอัตราปลูกต่างกัน 2 อัตรา คือ 8,533 (1 ต้น/หลุม) และ 17,066 ต้น/ไร่ (2 ต้น/หลุม) ในแต่ละการทดลองวางแผนแบบสุ่มในบล๊อคสมบูรณ์ ทำ 2 ซ้ำ พบว่า ปัจจัยจากฤดูปลูก อัตราปลูก และจีโนไทป์มีอิทธิพลต่อผลผลิต และปฏิสัมพันธ์ระหว่างจีโนไทป์กับฤดูปลูกมีนัยสำคัญทางสถิติ (P<0.05) แต่จีโนไทป์กับอัตราปลูกไม่มีนัยสำคัญทางสถิติ (P>0.05) เมื่อนำค่าเฉลี่ยผลผลิตจาก 4 การทดลองมาวิเคราะห์หาสมรรถนะการรวมตัวของพันธุ์ โดยวิธีของ Gardner and Eberhart (1966) พบว่า พันธุ์ TKKU1 และ TKKU3 ซึ่งเป็นพันธุ์ที่มีฝักดก มีอิทธิพลของพันธุ์และสมรรถนะการรวมตัวทั่วไปเป็นบวกในลักษณะจำนวนฝัก/ไร่ จึงเหมาะสำหรับใช้เป็นเชื้อพันธุกรรมเพื่อเพิ่มผลผลิต พันธุ์ TPTR มีสมรรถนะการรวมตัวทั่วไปเป็นบวกในลักษณะความยาวฝัก จึงเหมาะสำหรับใช้เป็นเชื้อพันธุกรรมเพื่อเพิ่มความยาวฝัก เฮทเทอโรซีสของลูกผสมหรือสมรรถนะการรวมตัวเฉพาะ (SCA) ในลักษณะจำนวนฝักมีความแตกต่างทางสถิติอย่างมีนัยสำคัญ (P<0.05) โดยลูกผสมมีค่า SCA อยู่ระหว่าง -2,146 ถึง 2,082 ฝัก/ไร่ เมื่อจัดกลุ่มเฮทเทอโรซีสด้วยค่า SCA ตามลักษณะจำนวนฝัก สามารถแยกได้เป็น 3 กลุ่ม คือ กลุ่มที่ 1 ประกอบด้วย TNO, TNW และ THT กลุ่มที่ 2 ประกอบด้วย TSW, TLO และ TMP และกลุ่มที่ 3 ประกอบด้วย TKKU3, TSNP, TKKU1 และ TPTR

คำสำคัญ: เชื้อพันธุกรรม, สมรรถนะการรวมตัวทั่วไป, สมรรถนะการรวมตัวเฉพาะ, ข้าวโพดเทียน

ABSTRACT: Germplasm is an important role and major limiting factor to plant breeding success. Management of germplasm by grouping varieties according to their combining ability can increase the efficiency of plant breeding program. This project aimed to group thein corn varieties using their combining ability. Ten populations of pollinated thein corn varieties were grown for diallel crosses which resulted in obtainng 45 crosses. Yield trials were grown with their parents in two seasons (dry and rainy). In each season, yield trials were performed with two different plant densities including 8,533 (1 plant/hole) and 17,066 plants/rai (2 plants/hole). Each experiment was laid out in RCBD with two replications. The results revealed that yield was affected by genotype, season and plant density, interaction between genotype and season was significantly different (P<0.05) but genotype and plant density interaction was not significantly different in terms of ear number/rai. In regard to general combining ability (GCA), indicated that TKKU1 and TKKU3, prolific genotypes, which had positive varietal effect and positive GCA on ear number/rai, so it appropriated to be parent for increasing yield. TPTR variety showed positive GCA on ear length, therefore it was appropriate to be parent for increasing ear length. Heterosis and specific combining ability (SCA) for ear number were significantly different (P<0.05). SCA values were ranged from -2,146 to 2,082 ears/rai. Three distinct clusters were identified based on SCA. Cluster I comprised three varieties (TNO, TNW and THT) while cluster II had three varieties (TSW, TLO and TMP) and cluster III had four varieties (TKKU3, TSNP, TKKU1 andTPTR)

Keywords: Germplasm, General combining ability (GCA), Specific combining ability (SCA), Thein Corn, Glutinous corn

[1] คณะเทคโนโลยีการเกษตรและอุตสาหกรรมเกษตร มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลสุวรรณภูมิ พระนครศรีอยุธยา 13000
Faculty of Agricultural Technology and Agro-industry, Rajamangala University of Technology Suvarnabhumi, Pranakhon Si Ayutthaya Province, 13000, THAILAND

* Corresponding author: kitti.b@rmutsb.ac.th

บทนำ

ข้าวโพดเทียน เป็นข้าวโพดข้าวเหนียวชนิดหนึ่งที่มีฝักขนาดเล็ก เมล็ดมีหลายสี เช่น เหลือง ขาว และม่วง นำมาบริโภคในรูปฝักสดเป็นที่นิยมกันในประเทศไทยและหลายประเทศในเอเชีย ข้าวโพดเทียนเป็นพืชที่ปลูกได้ตลอดปีในพื้นที่ที่มีน้ำเพียงพอ พันธุ์ที่ปลูกส่วนใหญ่เป็นพันธุ์พื้นเมืองที่มีลักษณะแตกต่างกันตามความนิยมในแต่ละท้องถิ่น พันธุ์พื้นเมืองมักมีความอ่อนแอ ผลผลิตต่ำ เนื่องจากความเสื่อมถอยทางพันธุกรรม สาเหตุจากการเก็บเมล็ดพันธุ์ที่ได้จากการผสมข้ามในประชากรขนาดเล็กติดต่อกัน อย่างไรก็ตามเมื่อความนิยมบริโภคข้าวโพดเทียนเพิ่มขึ้น คุณภาพและมาตรฐานของผลผลิตจะเป็นปัจจัยสำคัญทางการตลาด จึงมีความจำเป็นต้องพัฒนาสายพันธุ์ข้าวโพดเทียนให้ได้ผลผลิตสูงและมีคุณภาพได้มาตรฐาน

การเลือกเชื้อพันธุกรรมอย่างเหมาะสมเป็นปัจจัยสำคัญที่กำหนดความสำเร็จ และเป็นขั้นตอนแรกของการปรับปรุงพันธุ์พืช ข้าวโพดเทียนพื้นเมืองเป็นแหล่งพันธุกรรมที่สำคัญ แต่พันธุ์พื้นเมืองมักมีฐานพันธุกรรมแคบ เนื่องจากเกษตรกรในแต่ละท้องถิ่นปลูกข้าวโพดเทียนในพื้นที่ขนาดเล็ก และเก็บเมล็ดพันธุ์ไว้ปลูกต่อเนื่องกันมายาวนาน การสร้างประชากรพื้นฐานเพื่อใช้เริ่มต้นสำหรับการปรับปรุงพันธุ์จึงมีความจำเป็น และเป้าหมายสุดท้ายของการปรับปรุงพันธุ์ข้าวโพด คือ พันธุ์ลูกผสม เพื่อใช้ประโยชน์จากเฮทเทอโรซีส (Hallauer and Miranda, 1988) การเลือกพันธุ์พื้นเมืองเพื่อใช้ประกอบเป็นประชากรพื้นฐาน จึงควรพิจารณาพื้นฐานทางพันธุกรรมของพันธุ์ เพื่อพัฒนาให้ประชากรมีฐานพันธุกรรมกว้าง และมีความถี่ของยีนที่ต้องการจำนวนมาก (Hallauer and Miranda, 1988) การพัฒนาประชากรพื้นฐานสำหรับการปรับปรุงพันธุ์ลูกผสม ต้องรักษาความหลากหลายทางพันธุกรรมในประชากร และจัดกลุ่มพันธุ์เพื่อให้มีระดับเฮทเทอโรซีสสูงเมื่อต้องการสร้างพันธุ์ลูกผสม (Taba et al., 1998, Balestre et al., 2008) ซึ่งระดับเฮทเทอโรซีสในลูกผสมมีความสัมพันธ์กับความแตกต่างกันทางพันธุกรรมของพันธุ์พ่อ-แม่ (Moll et al., 1965) ที่ส่งผลต่อจำนวนของเฮทเทอโรไซกัสยีนในลูกผสม (Melani and Carena, 2005) การทดสอบสมรรถนะการรวมตัวของพันธุ์ เป็นวิธีการหนึ่งที่ทำให้เข้าใจสภาพการจัดกลุ่มและการทำงานของยีนในประชากร และใช้เป็นข้อมูลประกอบการตัดสินใจในการคัดเลือกและจัดกลุ่มพันธุ์ตามเฮทเทอโรซีส (Reif et al., 2003) การทดลองนี้จึงมีวัตถุประสงค์เพื่อทดสอบสมรรถนะการรวมตัวของพันธุ์ข้าวโพดเทียน และจัดกลุ่มพันธุ์ตามเฮทเทอโรซีสเพื่อคัดเลือกเป็นประชากรพื้นฐานในงานปรับปรุงพันธุ์ข้าวโพดเทียนในอนาคต

วิธีการศึกษา

พันธุ์ข้าวโพดเทียนที่ใช้ศึกษา

1. พันธุ์ข้าวโพดเทียนที่ใช้ศึกษา จำนวน 10 พันธุ์ ได้แก่

1.1 พันธุ์พื้นเมือง ซึ่งรวบรวมได้จากแหล่งปลูกต่างๆ ดังนี้ พันธุ์เทียนบ้านเกาะ (TBK) พันธุ์เทียนน้ำอ้อม (TNO) จากจังหวัดพระนครศรีอยุธยา พันธุ์เทียนเหลืองอ่อน (TLO) จังหวัดชัยนาท พันธุ์แปดแถวราชบุรี (TPTR) จังหวัดราชบุรี และ พันธุ์มันปู (TMP) จังหวัดพิจิตร

1.2 พันธุ์ปรับปรุง จากมหาวิทยาลัยขอนแก่น ได้แก่ พันธุ์เทียนเหลืองขอนแก่น (TKKU1) และพันธุ์เทียนลายขอนแก่น (TKKU3)

1.3 พันธุ์ผสมเปิดการค้า ได้แก่ พันธุ์เทียนน้ำวัง (TNW) จากบริษัท ฉั่วย่งเซ้งพันธุ์พืช จำกัด พันธุ์เทียนสายน้ำผึ้ง (TSNP) จากบริษัทนำไทยเชียงเกษตรกิจ จำกัด และพันธุ์เทียนสวรรค์ โอพี (TSW) ประชากรชั่วที่ 2 ที่เก็บจากพันธุ์ลูกผสมของบริษัทกรุงเทพอุตสาหกรรมเมล็ดพันธุ์

2. ลูกผสมชั่วที่ 1 ที่ได้จากการ ผสมแบบพบกันหมด (diallel cross) ไม่สลับพ่อ-แม่ ระหว่างพันธุ์ข้าวโพดเทียน 10พันธุ์ ได้ลูกผสมจำนวน 45 คู่ผสม

การปลูกทดสอบลูกผสมร่วมกับพันธุ์พ่อแม่

ดำเนินการทดสอบในฤดูแล้งและฤดูฝน รวม 2 ฤดูปลูก ในแต่ละฤดูปลูกทดสอบลูกผสมร่วมกับพันธุ์พ่อแม่ ด้วยอัตราปลูกต่างกัน 2 อัตราปลูก โดยในแต่ละฤดูปลูก แยกเป็น 2 การทดลองที่เป็นอิสระต่อกัน การทดลองที่ 1 ใช้อัตราปลูก 8,533 ต้น/ไร่ (1ต้น/หลุม) และ การทดลองที่ 2 อัตราปลูก 17,066 ต้น/ไร่ (2 ต้น/หลุม) รวมการทดลองที่ใช้ในการศึกษา ทั้งสิ้น 4 การทดลอง แต่ละการทดลองปลูกลูกผสม 45 สายพันธุ์ ร่วมกับพันธุ์พ่อ-แม่ 10 พันธุ์ วางแผนการทดลองแบบ Randomized complete block design (RCB) ทำ 2 ซ้ำ แต่ละหน่วยทดลองปลูกข้าวโพด 2 แถว แถวยาว 5 ม. ระยะระหว่างแถว 75 ซม. ระยะระหว่างต้น 25 ซม. คลุกเมล็ดด้วยไดเมทโธมอร์ฟ 10 ก./เมล็ด 1 กก. ก่อนปลูกใส่ปุ๋ยรองพื้น ด้วยปุ๋ยเคมีสูตร 15-15-15 อัตรา 50 กก./ไร่ เมื่อข้าวโพดอายุ 2 สัปดาห์หลังปลูกถอนแยกจัดระยะปลูกให้เหลือต้น 1 และ 2 ต้น/หลุม สำหรับการทดลองที่ 1 และ 2 ตามลำดับ ใส่ปุ๋ยแต่งหน้าด้วยปุ๋ยเคมีสูตร 46-0-0 อัตรา 25กก./ไร่ แล้วพรวนดินกลบโคน ควบคุมวัชพืชก่อนงอกโดยใช้สารเคมีอาทราซีน

ดำเนินการในเดือนพฤศจิกายน 2553 - มกราคม 2554 (ฤดูแล้ง) และเดือนมิถุนายน 2554 - สิงหาคม 2554 (ฤดูฝน) ในแปลงพืชไร่ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลสุวรรณภูมิ จังหวัดพระนครศรีอยุธยา

การบันทึกข้อมูล

1. อายุออกไหม นับวันตั้งแต่วันให้น้ำครั้งแรกถึงวันที่มีต้นข้าวโพดไหมโผล่พ้นฝักเกิน 1 ซม. เป็นจำนวนครึ่งหนึ่งของจำนวนต้นทั้งหมดในแปลง

2. ผลผลิตเก็บเกี่ยวในระยะ 20 วันหลังผสมเกสร ปอกเปลือกและเลือกเฉพาะฝักที่ดี นับจำนวนฝักต่อแปลง และชั่งน้ำหนักฝักต่อแปลง แล้วคำนวณเป็นผลผลิต/ไร่

3. ขนาดฝักหลังปอกเปลือก สุ่มวัดขนาดฝักสดที่เก็บเกี่ยวได้จำนวน 10 ฝักต่อแปลง ดังนี้

3.1 ความกว้างฝัก วัดบริเวณกึ่งกลางฝักด้วยเวอร์เนีย หน่วยเป็นเซนติเมตร (ซม.)

3.2 ความยาวฝัก วัดความยาวจากโคนฝักถึงปลายฝักที่ติดเมล็ด หน่วยเป็นเซนติเมตร (ซม.)

การวิเคราะห์ผลทางสถิติ

วิเคราะห์ผลทางสถิติด้วยโปรแกรม MSTAT C โดยทดสอบความเป็นเอกภาพความแปรปรวนของการทดลอง ด้วย Bartlett's test of homogeneity วิเคราะห์ความแปรปรวนรวม (combined analysis) เมื่อความแปรปรวนมีเอกภาพ และเปรียบเทียบความแตกต่างของค่าเฉลี่ยระหว่างพันธุ์พ่อ-แม่และลูกผสมด้วยวิธี Least significant difference (LSD)

วิเคราะห์อิทธิพลทางพันธุกรรมด้วยโปรแกรม R (R Core Team, 2012) วิเคราะห์ 2 โมเดล คือ

1. โมเดลของ Gardner and Eberhart analysis III. (Gardner and Eberhart, 1966) โดยแยกอิทธิพลของคู่ผสมเป็นอิทธิพลสมรรถนะการรวมตัวทั่วไป (GCA) และสมรรถนะการรวมตัวเฉพาะ (SCA) ซึ่งมีโมเดลทางสถิติ คือ $Y_{ij} = \mu_c + g_i + g_j + s_{ij}$ เมื่อ Y_{ij} คือ ค่าเฉลี่ยของลักษณะระหว่างคู่ผสมของพันธุ์ที่ i และ j μ_c คือ ค่าเฉลี่ยลักษณะของทุกคู่ผสม และ g_i , g_j คือ GCA ของพันธุ์ที่ i และ j และ s_{ij} คือ SCA ของคู่ผสม i และ j คำนวณค่าอิทธิพล GCA ของแต่ละพันธุ์ และ SCA ของแต่ละคู่ผสม เมื่อมีนัยสำคัญทางสถิติ ทดสอบสมมติฐาน ค่า GCA และ SCA แตกต่างจากศูนย์ด้วย t- test โดย Critical differences = $t_{\mu=0.05}$ (S.E. of experiment)

2. โมเดลของ Gardner and Eberhart analysis II (Gardner and Eberhart, 1966) โดยแยกอิทธิพลของ จีโนไทป์ เป็นอิทธิพลของค่าเฉลี่ยระหว่างพันธุ์พันธุ์พ่อ-แม่ และอิทธิพลของเฮทเทอโรซีส ซึ่งประกอบด้วยค่าเฉลี่ยของเฮทเทอโรซีส เฮทเทอโรซีสของพันธุ์พ่อ-แม่ และเฮทเทอโรซีสเฉพาะระหว่างคู่ผสม ซึ่งมีโมเดลทางสถิติ คือ $Y_{ij} = m_v + ½ (v_i + v_j) + \gamma(h + h_i + h_j + s_{ij})$ เมื่อ Y_{ij} คือ ค่าเฉลี่ยของลักษณะของจีโนไทป์ μ_v คือ ค่าลักษณะที่เฉลี่ยจากการทดลอง v_i และ v_j คือ

ค่าประมาณอิทธิพลของพันธุ์ i และพันธุ์ j ที่เป็นพ่อ-แม่ของลูกผสม *h* คือ ค่าเฉลี่ยเฮทเทอโรซีสของการทดลอง h_i และ h_j คือ ค่าอิทธิพลของเฮทเทอโรซีสสำหรับพันธุ์ที่ i และพันธุ์ที่ j ตามลำดับ และ s_{ij} คือ ค่าเฮทเทอโรซีสเฉพาะที่เกิดจากพันธุ์ i ผสมกับพันธุ์ j $\gamma = 0$ เมื่อ $i = j$ และ $\gamma = 1$ เมื่อ $i \neq j$

จัดกลุ่มเฮทเทอโรซีสของพันธุ์ข้าวโพดเทียนจากค่า SCA และสร้าง dendrogram ด้วยวิธี unweighted pair group method using arithmatic average (UPGMA) ด้วยโปรแกรม R (R Core Team, 2012)

ผลการศึกษาและวิจารณ์

พบว่า ความแปรปรวนของการทดลองเป็นเอกภาพในทุกลักษณะที่ศึกษา เมื่อวิเคราะห์ความแปรปรวนรวม พบว่า อิทธิพลของฤดูปลูก อัตราปลูก และจีโนไทป์ มีนัยสำคัญยิ่งทางสถิติ ($P<0.01$) และปฏิสัมพันธ์ระหว่างฤดูปลูกกับจีโนไทป์มีนัยสำคัญ ($P<0.05$) แต่ปฏิสัมพันธ์ระหว่างอัตราปลูกกับจีโนไทป์ไม่มีนัยสำคัญ ($P>0.05$) ในทุกลักษณะที่ศึกษา (**Table 1**) โดยการปลูกในฤดูฝน ข้าวโพดเทียนมีจำนวนฝักมากกว่าในฤดูหนาว แต่ฝักมีขนาดเล็กกว่าและอายุออกไหมเร็วกว่าในฤดูหนาว การแสดงออกของแต่ละจีโนไทป์ในแต่ละฤดูปลูกมีความแตกต่างกัน เนื่องจากปฏิสัมพันธ์ระหว่างฤดูปลูกกับจีโนไทป์มีนัยสำคัญ อัตราปลูกมีอิทธิพลต่อจำนวนฝักและขนาดฝักข้าวโพด โดยการปลูกด้วยอัตรา 2 ต้น/หลุม มีจำนวนฝักและน้ำหนักฝักมากกว่าการปลูกด้วยอัตรา 1 ต้น/หลุม แต่ฝักมีขนาดฝักเล็กกว่า ซึ่งทุกจีโนไทป์มีการตอบสนองต่ออัตราปลูกไปในทิศทางเดียวกัน (ไม่แสดงข้อมูล)

Table 1 Mean squares from combined analysis of variance and varietal diallel analysis (Gardner and Eberhart, 1966) for yield, ear size and silking date of 10 parental varieties and 45 varietal crosses tested in 2 plant densities and 2 seasons.

SOV	df	Mean square									
		MEN [1/]		MEW [2/]		EW [3/]		SEL [4/]		SID [5/]	
Season (S)	1	2902.05	**	2.61	ns	202.23	**	10.63	**	442.00	**
Density within season (D/S)	2	34062.73	**	164.23	**	28.85	**	35.47	**	2.65	Ns
Rep within density	4	160.10	ns	1.82	ns	7.85	ns	0.72	ns	4.31	*
Genotypes(G)	54	739.90	**	10.74	**	68.86	**	5.56	**	43.04	**
Varieties (v_j)	9	2781.16	**	32.39	**	310.87	**	13.91	**	199.85	**
GCA (g_j)	9	1144.88	**	29.33	**	242.47	**	8.44	**	24.85	**
Heterosis (h_{ij})	45	331.65	**	6.41	**	20.45	**	3.89	**	11.68	**
Average (*h.bar*)	1	1566.22	**	133.21	**	192.52	**	99.16	**	222.34	**
Variety (h_j)	9	710.68	**	7.73	**	22.21	**	2.40	**	20.88	**
SCA (s_{ij})	35	198.91	*	2.44	ns	15.09	**	1.56	*	111.44	**
S x G	54	254.29	**	3.21	**	11.09	**	1.33	*	9.88	**
D x G/S	108	161.84	ns	1.797	ns	5.93	ns	1.11	ns	1.89	ns
Error	216	132.38		1.74		4.69		0.91		1.71	
Total	439										
C.V. (%)		18.93		23.25		5.93		6.64		3.14	

[1/]Marketable ear number (ear/rai) [2/]Marketable ear weight(ton/rai)[3/] Ear diameter (cm)[4/]Ear length (cm)
[5/]Silking date (days after the first irrigation)
ns = non significant; *,** = significant at $P \leq 0.05$ and $P \leq 0.01$, respectively

อิทธิพลของพันธุ์และสมรรถนะการรวมตัวทั่วไป

เมื่อแยกองค์ประกอบความแปรปรวนจากจีโนไทป์ พบว่า ความแปรปรวนจากอิทธิพลของพันธุ์ (varieties effect) สมรรถนะการรวมตัวทั่วไป (general combining ability: GCA) และเฮทเทอโรซีส (heterosis effect) มีความแตกต่างทางสถิติอย่างมีนัยสำคัญยิ่ง (P<0.01) ในทุกลักษณะที่ศึกษา (**Table 1**) แสดงว่าพันธุ์ที่ใช้ในการทดลองมีความแตกต่างกันทางพันธุกรรม และลูกผสมที่ได้มีเฮทเทอโรซีสในระดับที่ต่างกัน ซึ่งเกิดจากระดับของอิทธิพลของยีนแบบผลบวกและแบบข่มที่ต่างกัน (Murray et al., 2003)

ความแตกต่างกันของพันธุกรรมในลักษณะสำคัญของพันธุ์ พบว่า พันธุ์ TKKU1 และ TKKU3 มีค่าอิทธิพลของพันธุ์เป็นบวกในลักษณะผลผลิต โดยมีค่าอิทธิพลของพันธุ์ในลักษณะน้ำหนักฝัก คือ 0.42 และ 0.30 ตัน/ไร่ ตามลำดับ มีความแตกต่างจากค่าเฉลี่ยอย่างมีนัยสำคัญยิ่ง (P<0.01) (**Table 2**) และค่าอิทธิพลของพันธุ์ในลักษณะจำนวนฝัก คือ 7541 และ 5515 ฝัก/ไร่ (**Table 3**) จึงจัดได้ว่าพันธุ์ TKKU1 และ TKKU3 เป็นพันธุ์ที่ให้ผลผลิตสูง ขณะที่พันธุ์ TMP และ TPTR มีค่าอิทธิพลของพันธุ์ในลักษณะจำนวนฝักเป็นลบ คือ -3552 และ -3153 ฝัก/ไร่ (**Table 3**) หรือน้อยกว่าค่าเฉลี่ยของพันธุ์อย่างมีนัยสำคัญยิ่ง (P<0.01) สำหรับลักษณะขนาดฝัก พบว่า พันธุ์ THT, TNO, และ TKKU1 มีความกว้างฝักต่ำกว่าค่าเฉลี่ย (**Table 2**) ขณะที่พันธุ์ TNW และ TMP มีความกว้างฝักมากกว่าค่าเฉลี่ยอย่างมีนัยสำคัญ พันธุ์ TPTR มีฝักยาวกว่าพันธุ์อื่นๆ แตกต่างจากค่าเฉลี่ยอย่างมีนัยสำคัญยิ่ง (P<0.01) และถ้าจัดกลุ่มพันธุ์ตามอายุออกดอกสามารถจัดได้เป็น 3 กลุ่ม คือ กลุ่มพันธุ์ที่อายุออกดอกเร็ว มีค่าอิทธิพลของพันธุ์เป็นลบ ได้แก่ พันธุ์ THT, TNO, TMP, และ TPTR กลุ่มพันธุ์ที่ออกดอกช้า มีค่าอิทธิพลของพันธุ์เป็นบวก ได้แก่ พันธุ์ TNW, TSW, TLO, และ TSNP และกลุ่มสุดท้ายมีค่าอิทธิพลของพันธุ์ไม่แตกต่างจากค่าเฉลี่ย คือ พันธุ์ TKKU1 และ TKKU3 จึงจัดเป็นกลุ่มพันธุ์ที่มีอายุออกดอกปานกลาง (**Table 2**)

Table 2 Variety effect and general combining ability (GCA) for yield, ear size and silking date of 10 thein corn varieties

Varieties	Yield (ton/rai)		Ear width (cm)		Ear length (cm)		Silking date (days after the first irrigation)	
	v_i [1/]	g_i [2/]	v_i	g_i	v_i	g_i	v_i	g_i
THT	-0.35 *	-0.24 **	-0.45 **	-0.27 **	0.07	-0.28 *	-4.81 **	-1.40 **
TNO	-0.18	-0.14 **	-0.43 **	-0.23 **	0.54	0.22 *	-4.19 **	-1.06 **
TKKU1	0.42 **	-0.01	-0.23 *	-0.21 **	0.31	-0.18	-0.31	0.07
TLO	0.03	0.09 **	0.11	0.19 **	-1.30 **	-0.31 **	3.31 **	1.14 **
TNW	0.14	0.10 **	0.58 **	0.18 **	0.00	-0.06	2.06 **	1.10 **
TSNP	0.13	0.20 **	0.19	0.25 **	0.54	-0.18	6.81 **	1.43 **
TSW	-0.09	0.17 **	-0.03	0.10 **	-0.07	0.17	2.81 **	1.60 **
TPTR	-0.15	-0.09 *	-0.04	-0.08 **	1.61 **	0.88 **	-2.94 **	-0.97 **
TMP	-0.25	-0.11 **	0.42 **	0.13 **	-1.95 **	-0.32 **	-1.69 *	-2.12 **
TKKU3	0.30 *	0.02	-0.13	-0.05 *	0.26	0.04	-1.06	0.22
Mean	0.96	1.27	3.51	3.68	13.38	14.61	43.19	41.34

[1/] v_i = variety effect [2/] g_i = general combining ability (GCA)

*, ** = different values from zero are significant at 0.05 and 0.01 probability level, respectively

พันธุ์ TSNP,TSW,TNW, และ TLO มีค่า GCA ในลักษณะผลผลิตเป็นบวก คือ 0.20, 0.17, 0.10และ 0.09 ตัน/ไร่ ตามลำดับ แตกต่างจากศูนย์อย่างมีนัยสำคัญยิ่ง (P<0.01) (**Table 2**) ส่วนลักษณะจำนวนฝัก/ไร่ พบว่า พันธุ์ TKKU1, TSW , และ TKKU3 มีค่า GCA เป็นบวกและแตกต่างจากศูนย์อย่างมีนัยสำคัญยิ่ง (P<0.01) ซึ่งมีค่า 1361, 1033, และ 668 ฝัก/ไร่ ตามลำดับ (**Table 3**) พันธุ์ที่มีค่า GCA ในลักษณะผลผลิตเป็นบวก เมื่อนำไปผสมกับพันธุ์อื่นๆ จะให้ลูกผสมที่มีผลผลิตสูงกว่าค่าเฉลี่ยของลูกผสม ในลักษณะจำนวนฝัก/ไร่ ซึ่งเป็นลักษณะสำคัญ พบว่า พันธุ์ TKKU1 และ TKKU3 ซึ่งเป็นพันธุ์ที่ผ่านการปรับปรุงพันธุ์มาแล้ว มีค่าอิทธิพลของพันธุ์ และค่า GCA เป็นบวกมากกว่าพันธุ์อื่นๆ แสดงว่าพันธุกรรมในลักษณะจำนวนฝัก/ไร่ของทั้งสองพันธุ์เกิดจากการสะสมของยีนแบบผลบวก (additive gene action) และมีปฏิสัมพันธ์ร่วมกันของยีนแบบบวก (additive x additive gene actions) (Griffing, 1956)

พันธุ์ TSNP, TLO, และ TNW มีค่า GCA ในลักษณะความกว้างฝักสูง 3 อันดับแรก คือ 0.25, 0.19, และ 0.18 ซม. ตามลำดับ พันธุ์ดังกล่าวเมื่อใช้ผสมกับพันธุ์อื่นๆ มีแนวโน้มทำให้ลูกผสมมีความกว้างฝักเพิ่มขึ้น ขณะที่พันธุ์ THT, TNO, และ TKKU1 ค่า GCA ในลักษณะความกว้างฝักเป็นลบ จึงมีแนวโน้มให้ลูกผสมที่มีความกว้างฝักลดลง พันธุ์ TPTR มีค่า GCA ในลักษณะความยาวฝักสูงที่สุด คือ 0.88 ซม. จึงเหมาะสำหรับใช้เป็นพันธุ์เพื่อปรับปรุงลักษณะความยาวฝักโดยความกว้างฝักเล็กลงเล็กน้อย (**Table 2**)

อิทธิพลของเฮทเทอโรซีส

เมื่อแยกองค์ประกอบความแปรปรวนจากอิทธิพลของเฮทเทอโรซีส พบว่า ค่าเฮทเทอโรซีสเฉลี่ย (average heterosis) ของการทดลอง และเฮทเทอโรซีสของพันธุ์ (variety heterosis) มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญยิ่ง (P<0.01)ในทุกลักษณะที่ศึกษา แสดงว่าค่าเฉลี่ยของลักษณะต่างๆ ของลูกผสมที่ได้จากการผสมแบบพบกันหมดของพันธุ์ต่างๆ มีความแตกต่างจากค่าเฉลี่ยของพันธุ์พ่อแม่ พันธุกรรมของลูกผสมจึงเกิดจากปฏิสัมพันธ์ของยีนแบบข่ม (dominance gene action) และพันธุ์พ่อ-แม่มีความถี่ของยีนข่มที่ต่างกัน (Murray et al., 2003)

การปรับปรุงพันธุ์ข้าวโพด มักใช้ประโยชน์จากเฮทเทอโรซีส เพื่อพัฒนาพันธุ์ให้ผลผลิตสูงขึ้น การทดลองนี้ พบว่าเฮทเทอโรซีสของลูกผสม หรือสมรรถนะการรวมตัวเฉพาะ (SCA) ในลักษณะผลผลิตมีความแตกต่างทางสถิติอย่างมีนัยสำคัญ (P<0.05) เฉพาะลักษณะจำนวนฝัก (Table1) โดยลูกผสมทั้งหมดมีค่า SCA อยู่ระหว่าง -2,146 ถึง 2,082 ฝัก/ไร่ (**Table 3**) เฮทเทอโรซีสของลูกผสมที่แตกต่างกันนั้นเกิดขึ้นเนื่องจากพันธุ์พ่อ-แม่ของลูกผสมมีพันธุกรรมที่ต่างกันดังที่ Falconer and Mackay (1996) กล่าวว่าระดับของเฮทเทอโรซีสขึ้นกับความถี่ของยีนที่แตกต่างกันของพันธุ์พ่อแม่ และความผันแปรของอิทธิพลจากยีนข่ม ซึ่งผลการศึกษาในข้าวโพดส่วนใหญ่เกิดจากการข่มบางส่วนถึงข่มสมบูรณ์ (Hallauer and Miranda, 1988) ลูกผสม TSW/TSNP, TNO/TSNP, และ TNO/TKKU1 มีค่า SCA สูงสุด 3 อันดับแรก คือ 2,082, 2,054, และ 1,623 ฝัก/ไร่ ซึ่งทั้ง 3 สายพันธุ์มีจำนวนฝัก 16,384, 15,531, และ 16,341 ฝัก/ไร่ (**Table 3**) เมื่อพิจารณาเฮทเทอโรซีสของพันธุ์ พบว่าพันธุ์ TSW มีเฮทเทอโรซีสเป็นบวกและมีค่าสูงสุดในลักษณะจำนวนฝัก คือ 1,276 ฝัก/ไร่ (**Table 3**) ส่วนพันธุ์ TKKU1 และ TKKU3 ซึ่งมีอิทธิพลของพันธุ์เป็นบวก แต่มีเฮทเทอโรซีสเป็นลบในลักษณะจำนวนฝัก (**Table 3**) เนื่องจากพันธุกรรมในลักษณะจำนวนฝักของพันธุ์ TKKU1 และ TKKU3 มีความแตกต่างจากพันธุ์อื่นๆ มาก ซึ่งพันธุกรรมของพ่อ-แม่ที่ต่างกันมากเกินระดับเหมาะสมทำให้เฮทเทอโรซีสลดลงได้ (Moll et al., 1965)

Table 3 Marketable ear number (ears/rai) averaged from four environments of 10 thein corn varieties (diagonal), 45 varietal crosses (below diagonal), and specific combining ability (s_{ij}) for marketable ear number (above diagonal).

	THT	TNO	TKKU1	TLO	TNW	TSNP	TSW	TPTR	TMP	TKKU3
	----------ear number/rai----------									
THT	**10731**	-1058	-638	1058	-226	911	329	-83	-346	55
TNO	11904	**12288**	1623*	-119	-1135	2054**	32	-753	798	-1442
TKKU1	13461	16341	**19648**	-205	512	-1152	503	-333	-36	-275
TLO	13952	13397	14464	**10944**	608	-363	-2146**	1444	-418	141
TNW	12053	11755	14571	13440	**9792**	87	-815	749	-501	725
TSNP	13760	15531	13461	13035	12885	**10965**	2082**	-943	-1233	-1446
TSW	14101	14421	16064	12181	12907	16384	**11627**	-672	798	-109
TPTR	11477	11413	12992	13547	12245	11115	12331	**8960**	-412	1001
TMP	10965	12715	13035	11435	10752	10581	13547	10112	**8555**	1350
TKKU3	13461	12587	14912	14101	14080	12480	14741	13632	13739	**17621**
v_j	-1393	181	7541**	-1180	-2325	-1152	-486	-3153**	-3552**	5515**
g_j	-410	207	1361**	143	-467	102	1033**	-1197**	-1440**	668*
h_j	286	115	-2411**	732	695	678	1276*	380	337	-2091**

*, ** different s_{ij} mean from zero are significant at 0.05 and 0.01 probability level, respectively.

$LSD_{0.05}$ and $LSD_{0.01}$ for ear number of varietal hybrids and parental varieties are 2419 and 3189 ears/rai, respectively

v_j = variety effect g_j = general combining ability (GCA) h_j = variety heterosis

S.E. (g_j) = 291 ears/rai S.E. (g_j-g_j) = 434 ears/rai

S.E. (s_{ij}) = 765 ears/rai S.E. (s_{ij}-s_{ik}) = 1148 ears/rai S.E. (s_{ij}-s_{kl}) = 1063 ears/rai

การจัดกลุ่มเฮทเทอโรซีส

ความแตกต่างทางพันธุกรรมของพันธุ์พ่อ-แม่มีความสำคัญต่อระดับของเฮทเทอโรซีส ดังนั้นการจัดกลุ่มเฮทเทอโรซีสจึงเป็นแนวทางหนึ่งที่ช่วยจัดการเชื้อพันธุกรรม โดยแยกกลุ่มให้พันธุ์ที่อยู่ต่างกลุ่มกันมีพื้นฐานทางพันธุกรรมและความถี่ของยีนที่ต่างกัน (Virmani et al., 2004) ค่า GCA และ SCA มีความเหมาะสมและนิยมใช้จัดกลุ่มพันธุ์ เรียกว่า กลุ่มเฮทเทอโรซีส (heterotic groups) (Melchinger and Gumber, 1988) พันธุ์ที่อยู่ในกลุ่มเดียวกัน ลูกผสมมักมีค่า SCA ต่ำ และเกิดเฮทเทอโรซีสต่ำ ขณะที่พันธุ์ที่อยู่ต่างกลุ่มกัน ลูกผสมจะมีค่า SCA สูง และเกิดเฮทเทอโรซีสสูง (Revilla et al., 2002; Pswarayi and Vivek, 2008)

เมื่อจัดกลุ่มเฮทเทอโรซีส โดยใช้ค่า SCA ของลูกผสมในลักษณะจำนวนฝักและสร้าง dendrogram ด้วยวิธีunweighted pair group method using arithmatic average (UPGMA) โดยให้แต่ละกลุ่มมีค่า SCA เฉลี่ยจากทุกคู่ผสมภายในกลุ่มต่ำที่สุด สามารถแยกได้เป็น 3 กลุ่ม (**Figure 1**) ดังนี้ กลุ่มที่ 1 (G1) ประกอบด้วย TNO, TNW, และ THT กลุ่มที่ 2 (G2) ประกอบด้วย TSW, TLO, และ TMP และกลุ่มที่ 3 (G3) ประกอบด้วย TKKU3, TSNP, TKKU1, และ TPTR โดยมีค่า SCA เฉลี่ยจากทุกคู่ผสมภายในกลุ่ม คือ -806, -589, และ -525 ฝัก/ไร่ ตามลำดับ (**Table 4**) และเมื่อมีการผสมข้ามระหว่างพันธุ์ที่อยู่ต่างกลุ่มกัน ลูกผสมส่วนใหญ่จะมีค่า SCA เป็นบวก และมีค่าเฉลี่ย SCA สูงสุด โดยการผสมระหว่างกลุ่ม

G1xG2, G1xG3 และ G2xG3 มีค่า SCA เฉลี่ยจากทุกคู่ผสม เท่ากับ 116, 317, และ 208 ฝัก/ไร่ ตามลำดับ (**Table 4**)

อย่างไรก็ตามเมื่อพิจารณาค่า SCA ของลูกผสมที่ได้จากพันธุ์ TKKU1 และ TSW ซึ่งมีค่า GCA สูง พบว่า TKKU1 มีค่า SCA เป็นบวกเมื่อผสมกับ TNO, TNW, และ TSW แต่มี SCA เป็นลบกับ THT, TLO, TSNP, TPTR, และ TKKU3 ส่วนพันธุ์ TSW มีค่า SCA เป็นบวกเมื่อผสมกับ THT, TKKU1, TSNP, และ TMP แต่มีค่าเป็นลบกับ TLO, TNW, และ TPTR (**Table 3**) แสดงว่าพันธุ์ที่อยู่ภายในกลุ่มเดียวกัน ค่า SCA ของลูกผสมอาจมีโอกาสเป็นบวกได้ เช่น ค่า SCA ของ TSW/TMP

Table 4 Specific combining ability (SCA) for marketable ear number of intra-group and inter-group of varietal crosses among 10 thein corn varieties.

Intra-group					
G1		G2		G3	
Varietal crosses	SCA (ear number /rai)	Varietal crosses	SCA (ear number /rai)	Varietal crosses	SCA (ear number /rai)
TNO/TNW	-1135	TSW/TLO	-2146	TKKU3/TSNP	-1446
TNO/THT	-1058	TSW/TMP	798	TKKU3/TPTR	1001
TNW/THT	-226	TLO/TMP	-418	TSNP/TPTR	-943
				TKKU3/TKKU1	-275
				TSNP/TKKU1	-1152
				TPTR/TKKU1	-333
Average G1	-806	Average G2	-589	Average G3	-525
Inter-group					
G1xG2		G1xG3		G2xG3	
Varietal crosses	SCA (ear number /rai)	Varietal crosses	SCA (ear number /rai)	Varietal crosses	SCA (ear number /rai)
TNO/TSW	32	TNO/TKKU3	-1442	TSW/TKKU3	-109
TNO/TLO	-119	TNO/TSNP	2054	TSW/TSNP	2082
TNO/TMP	798	TNO/TPTR	-753	TSW/TPTR	-672
TNW/TSW	-815	TNO/TKKU1	1623	TSW/TKKU1	503
TNW/TLO	608	TNW/TKKU3	725	TLO/TKKU3	141
TNW/TMP	-501	TNW/TSNP	87	TLO/TSNP	-363
THT/TSW	329	TNW/TPTR	749	TLO/TPTR	1444
THT/TLO	1058	TNW/TKKU1	512	TLO/TKKU1	-205
THT/TMP	-346	THT/TKKU3	55	TMP/TKKU3	1350
		THT/TSNP	911	TMP/TSNP	-1233
		THT/TPTR	-83	TMP/TPTR	-412
		THT/TKKU1	-638	TMP/TKKU1	-36
Average G1xG2	116	Average G1xG3	317	Average G2xG3	208

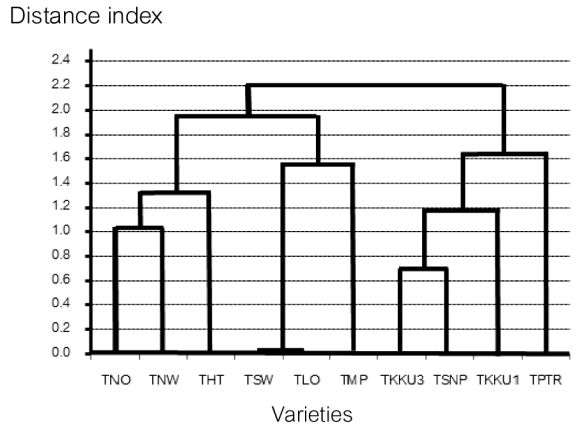

Figure 1 UPGMA dendogram of 10 thein corn varieties based on SCA for ear number

สรุป

1. พันธุ์ TKKU1 และ TKKU3 เป็นพันธุ์ที่มีฝักดก ให้ผลผลิตสูง มีค่าอิทธิพลของพันธุ์ในลักษณะน้ำหนักฝัก คือ 0.42 และ 0.30 ตัน/ไร่ และในลักษณะจำนวนฝัก/ไร่ คือ 7,541 และ 5,515 ฝัก/ไร่ ตามลำดับ พันธุ์ TKKU1และ TKKU3 มีค่า GCA ในลักษณะจำนวนฝัก/ไร่ 1,361 และ 668 ฝัก/ไร่ จึงเหมาะสำหรับใช้เป็นพันธุ์เพื่อปรับปรุงพันธุ์ให้มีจำนวนฝัก/ไร่ เพิ่มขึ้น

2. การจัดกลุ่มเฮทเทอโรซีส โดยใช้ค่า SCA ของลูกผสมในลักษณะจำนวนฝัก/ไร่ สามารถจัดกลุ่มได้ 3 กลุ่ม ดังนี้ กลุ่มที่ 1 ประกอบด้วย TNO, TNW, และ THT กลุ่มที่ 2 ประกอบด้วย TSW, TLO, และ TMP และกลุ่มที่ 3 ประกอบด้วย TKKU3, TSNP, TKKU1, และ TPTR การจัดกลุ่มพันธุ์ทำให้สามารถเลือกใช้พันธุ์เป็นประชากรพื้นฐานที่มีความหลากหลาย แต่ละกลุ่มมีฐานทางพันธุกรรมที่แตกต่างกัน และมีเฮทเทอโรซีสต่อกันสูง สำหรับใช้เป็นประชากรพื้นฐานสำหรับการพัฒนาพันธุ์ลูกผสมในอนาคต

คำขอบคุณ

ขอขอบคุณมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลสุวรรณภูมิ ที่ให้การสนับสนุนทุนวิจัย ขอขอบคุณ นายศักดา เวียงนนท์ นายเช้า เข้มแข็ง เจ้าหน้าที่ประจำงานฟาร์มพืช และนักศึกษาสาขาวิชาพืชศาสตร์ที่มีส่วนช่วยในการปลูก ดูแลรักษา ตลอดจนเก็บข้อมูลจนงานสำเร็จลุล่วงด้วยดี

เอกสารอ้างอิง

Balestre, M., J.C. Machado, J.L. Lima, J.C. Souza, and L. NóbregaFilho. 2008. Genetic distance estimates among single cross hybrids and correlation with specific combining ability and yield in corn double cross hybrids. Genet. Mol. Res. 7: 65-73.

Falconer, D.S., and T.F.C. Mackay. 1996. Introduction to Quantitative Genetics. 4th ed. Longman, London, UK.

Gardner, C.O., and S. A. Eberhart. 1966. Analysis and interpretation of the variety cross diallel and related populations. Biometrics. 22: 439–452.

Griffing, B. 1956. Concepts of general and specific combining ability in relation to diallel crossing systems. Austral. J. Biol. Sci. 9: 463–493.

Hallauer, A.R., and J.B. Miranda, Fo. 1988. Quantitative Genetics in Maize Breeding. 2nd ed. Iowa State Univ. Press. Amers., Iowa, USA.

Melani, M.D. and M.J. Carena. 2005. Alternative maize heterotic patterns for the northern corn belt. Crop Sci. 45: 2186-2194.

Melchinger, A.E, and R.K. Gumber. 1998. Overview of heterosis and heterotic groups in agronomic crops, P. 29-44. In: K.R. Lamkey and J.E. Staub, eds. Concepts and Breeding of Heterosis in Crop Plants. CSSA special publication no. 25, Madison, Wisconsin.

Moll, R.H., J.H. Lonnquist, J.V. Fortuna and E.C. Johnson. 1965. The relationship of heterosis and genetic divergence in maize. Genetics 52: 139–144.

Murray, L.W., I.M. Ray, H. Dong, and A. Segovia-Lerma. 2003. Clarification and reevaluation of population based diallel analyses: Gardner and Eberhart analyses II and III revisited. Crop Sci. 43: 1930-1937.

Pswarayi, A., and B. Vivek. 2008. Combining ability amongst CIMMYT's early maturing maize (*Zea mays* L.) germplasm under stress and non-stress conditions and identification of testers. Euphytica. 162: 353–362.

R CoreTeam. 2012. R: A Language and Environment for Statistical Computing. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria. Available: http://www.R-project.org/.

Reif, J.C., A.E. Melchinger, X.C. Xia, M.L. Warburton, D.A. Hoisington, S.K. Vasal, D. Beck, M. Bohn, and M. Frisch. 2003. Use of SSRs for establishing heterotic groups in subtropical maize. Theo. Appl. Genet. 107: 947–957.

Revilla, P., R.A. Malvar, M.E. Cartea, P. Soengas, and A. Ordas. 2002. Heterotic relationships among European maize inbreds. Euphytica. 126: 259–264.

Taba, S., J. Diaz, J. Franco, and J. Crossa. 1998. Evaluation of Caribbean maize accessions to develop a core subset. Crop Sci. 38: 1378-1386.

Virmani, S.S., M.P. Pandey, I.S. Singh, and W. J. Xu. 2004. Classical and Molecular Concepts of Heterosis. P. 407-418. In: H.K. Jain and M.C. Kharkwal, *eds*. Plant Breeding Mendelian to Molecular Approaches. Narosa Publishing House, New Delhi, India.