Journal of Agri. Research & Extension 41(1): 29-41

# ปฏิสัมพันธ์ระหว่างพันธุกรรมกับสภาพแวดล้อมและเสถียรภาพในความหวานและผลผลิตของข้าวโพดหวาน 5 พันธุ์

# Genotype by Environment Interaction and Stability for Kernel Sweetness and Yield of 5 Sweet Corn Cultivars

**จิราพร วิทาโน[1] สุภาภรณ์ เอี่ยมเข่ง[2] รุศมา มฤบดี[2] และปราโมทย์ พรสุริยา[2*]**

**Jiraporn Withano[1], Supaporn Ieamkheng[2], Rusama Marubodee[2] and Pramote Pornsuriya[2*]**

[1]สำนักงานเกษตรอำเภอบางละมุง กรมส่งเสริมการเกษตร ชลบุรี 20150

[2]สาขาวิชาเทคโนโลยีการผลิตพืช คณะเกษตรศาสตร์และทรัพยากรธรรมชาติ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลตะวันออก ชลบุรี 20110

[1]Banglamung District Agriculture Office, Department of Agricultural Extension, Chonburi, Thailand 20150

[2]Department of Plant Production Technology, Faculty of Agriculture and Natural Resources

Rajamangala University of Technology Tawan-ok, Chonburi, Thailand 20110

*Corresponding author: pornsuriya@hotmail.com

**Received:** *December 14, 2022*

**Revised:** *June 15, 2023*

**Accepted:** *June 19, 2023*

## Abstract

Genetic and environmental factors and their interactions had effects on yield of crops, therefor this research was conducted to determine the genotype by environment interaction (GEI) effects on kernel sweetness and husked ear yield of 5 sweet corn cultivars grown in 4 environments using AMMI (additive main effects and multiplicative interaction) analysis. Five sweet corn hybrid cultivars were evaluated in a randomized complete block design with 3 replications for 2 seasons. Each season was composed of 2 environments: chemical and organic fertilizations. Analysis of variance showed significant effects attributable to the cultivars (G), environment (E) and their interaction (GEI) for both characters. AMMI analysis revealed that the first two multiplicative components of the interaction (IPCA1 and IPCA2) accounted for 92.1 and 99.8% of the variation of GEI for kernel sweetness and husked ear yield, respectively. The scores of the principal interaction components showed high variability for the environments relative to the cultivar effects. Wanburi (G5) was the most stable cultivar for kernel sweetness because of its lowest AMMI stability value (ASV) and high kernel sweetness. Whereas Hybrix3 (G2) was the most stable for husked ear yield because of its lowest ASV and high husked ear yield.

**Keywords:** AMMI analysis, biplot, yield trial, *Zea mays* var. *saccharata*

**บทคัดย่อ**

ปัจจัยทางพันธุกรรม สภาพแวดล้อมและปฏิสัมพันธ์ของพันธุกรรมกับสภาพแวดล้อมส่งผลต่อผลผลิตของพืชโดยตรง งานวิจัยนี้จึงมีวัตถุประสงค์เพื่อประเมินผลของปฏิสัมพันธ์ระหว่างพันธุกรรมกับสภาพแวดล้อม (GEI) ในลักษณะความหวานและผลผลิตฝักปอกเปลือกของข้าวโพดหวาน 5 พันธุ์ ที่ปลูกใน 4 สภาพแวดล้อม โดยใช้วิธีการวิเคราะห์ Additive main effects and multiplicative interaction (AMMI) ปลูกข้าวโพดหวาน 5 พันธุ์ ในแผนการทดลองสุ่มในบล็อกสมบูรณ์ จำนวน 3 ซ้ำ ใน 2 ฤดูปลูก แต่ละฤดูปลูกมี 2 สภาพแวดล้อม คือ การปลูกโดยให้ปุ๋ยเคมี และการปลูกโดยให้ปุ๋ยอินทรีย์ ผลจากการวิเคราะห์ความแปรปรวนพบว่าพันธุ์ (G) สภาพแวดล้อม (E) และปฏิสัมพันธ์ระหว่างพันธุ์กับสภาพแวดล้อม (GEI) ของทั้ง 2 ลักษณะ ผลจากการวิเคราะห์ AMMI พบว่า 2 องค์ประกอบแรก (IPCA1 และ IPCA2) มีความแปรปรวน 92.1 และ 99.8 เปอร์เซ็นต์ ของความแปรปรวนของ GEI ในลักษณะความหวานและผลผลิตฝักปอกเปลือกตามลำดับ จากคะแนนขององค์ประกอบ (IPCA score) แสดงให้เห็นถึงความแปรปรวนของสภาพแวดล้อมที่มีปฏิสัมพันธ์ต่อการแสดงออกของพันธุ์ พบว่าพันธุ์หวานบุรี (G5) เป็นพันธุ์ที่มีความเสถียรมากที่สุดในลักษณะความหวาน เนื่องจากมี AMMI stability value (ASV) น้อยที่สุด และมีค่าความหวานสูง ส่วนในลักษณะผลผลิตฝักปอกเปลือกพบว่าพันธุ์ไฮบริกซ์3 มีความเสถียรมากที่สุดจากการที่มี ASV น้อยที่สุด และให้ผลผลิตฝักปอกเปลือกสูง

**คำสำคัญ:** AMMI analysis ไบพล็อท การทดสอบผลผลิต *Zea mays* var. *saccharata*

**คำนำ**

ข้าวโพดหวาน (*Zea mays* var. *saccharata* Sturt) จัดเป็นพืชที่สำคัญชนิดหนึ่งที่นิยมรับประทานทั้งฝักสด และนำมาแปรรูป ประเทศที่เป็นผู้ผลิตและส่งออกผลิตภัณฑ์ข้าวโพดหวานรายใหญ่ ได้แก่ สหรัฐอเมริกา ฝรั่งเศส ฮังการี ญี่ปุ่น ไต้หวัน และไทย สำหรับประเทศไทยภูมิภาคที่มีการปลูกข้าวโพดหวานมากที่สุด คือ ภาคเหนือ ภาคกลาง ภาคตะวันออกเฉียงเหนือ และภาคใต้ ตามลำดับ จากพื้นที่เก็บเกี่ยวผลผลิตในปี พ.ศ. 2563 ประเทศไทยมีการปลูกข้าวโพดหวานทั้งสิ้น 232,423 ไร่ โดยมีพื้นที่ปลูกในภาคตะวันออก 2,723 ไร่ สำหรับพื้นที่จังหวัดชลบุรีมีการปลูกข้าวโพดหวาน 1,637 ไร่ (Office of Agricultural Economics, 2022)

การเจริญเติบโตและการให้ผลผลิตของข้าวโพดขึ้นอยู่กับพันธุกรรม (Genetic) และสภาพแวดล้อม (Environment) ในช่วงของการพัฒนาและการเจริญเติบโต รวมทั้งปฏิกิริยาสัมพันธ์ระหว่างพันธุกรรมกับสภาพแวดล้อมเป็นสำคัญ สภาพแวดล้อมที่เหมาะสมร่วมกับการจัดการด้านเขตกรรมจะช่วยให้พันธุกรรมของข้าวโพดมีการแสดงออกในลักษณะต่าง ๆ รวมทั้งลักษณะผลผลิตอย่างเต็มที่ (Wayupab, 2015) โดยมีงานวิจัยหลายเรื่องที่รายงานว่าพบปฏิสัมพันธ์ระหว่างพันธุกรรมกับสภาพแวดล้อมในผลผลิตและลักษณะต่าง ๆ ของข้าวโพด (Katsenios *et al*., 2021; Ruswandi *et al*., 2020)

ความเสถียรภาพในการแสดงออกของพันธุ์เป็นคุณสมบัติที่สำคัญในการปรับปรุงพันธุ์พืช ก่อนที่จะแนะนำพันธุ์สู่เกษตรกรในพื้นที่ต่าง ๆ ซึ่งมีสภาพแวดล้อมที่อาจจะแตกต่างกันไป โดยพันธุ์ควรได้รับการทดสอบในหลายพื้นที่หรือหลายสภาพแวดล้อม หรือในบางครั้งอาจมีการทดสอบในพื้นที่เดียวแต่จัดการทดลองให้มีหลาย

สภาพแวดล้อมได้ เช่น การใช้วันปลูกหรือฤดูปลูก ระยะปลูก หรืออัตราปุ๋ยที่แตกต่างกัน (Ottai *et al*., 2006) เป็นต้น แล้วนำข้อมูลจากการทดสอบพันธุ์ในหลายสภาพแวดล้อมดังกล่าวไปวิเคราะห์เพื่อหาความเสถียรภาพของพันธุ์ โดยทำการวิเคราะห์ผลรวมของทุกสภาพแวดล้อม (Combined analysis) หากพบว่าความแปรปรวนของปฏิสัมพันธ์ระหว่างพันธุ์กับสภาพแวดล้อม (Variety x Environmental interaction) มีนัยสำคัญ และดำเนินการวิเคราะห์เพื่อหาเสถียรภาพของพันธุ์ โดยมีวิธีการทางสถิติและพารามิเตอร์หลายรูปแบบที่ใช้ในการวิเคราะห์ความเสถียรภาพของพันธุ์ (Becker and Leon, 1988; Crossa, 1990; Lin *et al*., 1986)

ปฏิสัมพันธ์ระหว่างพันธุกรรมกับสภาพแวดล้อม (Genotype by environment interaction: GEI) จัดเป็นองค์ประกอบที่สำคัญของโปรแกรมการปรับปรุงพันธุ์พืช การประเมิน GEI มีความสำคัญเนื่องจากมันถูกนำมาใช้เพื่อการคัดเลือกจีโนไทป์ที่โดดเด่นที่ปรับตัวได้กว้างในหลาย ๆ สภาพแวดล้อม หรือใช้ในการให้คำแนะนำพันธุ์ที่ปรับตัวได้ดีกับสภาพแวดล้อมที่จำเพาะ (Balestre *et al*., 2009) พันธุ์ใหม่ ๆ ที่ประสบความสำเร็จ มักมีศักยภาพของผลผลิตและลักษณะอื่น ๆ ที่เกี่ยวข้องสูง นอกจากนั้นแล้ว พันธุ์ดีเหล่านี้ควรสามารถนำไปปลูกในสภาพแวดล้อมต่าง ๆ ได้กว้างโดยที่ยังคงให้ผลผลิตสูง การทดสอบพันธุ์ในหลายสภาพแวดล้อม (Multi-environments) มีความสำคัญต่อการศึกษา GEI และการคัดเลือกพันธุ์พืชที่มีความเสถียรภาพสำหรับการปลูกในสภาพแวดล้อมที่หลากหลาย หรือพันธุ์สำหรับการปลูกในสภาพแวดล้อมที่จำเพาะ ตัวอย่างเช่น การทดสอบพันธุ์ข้าวโพดหวานลูกผสมพันธุ์การค้า (Ruswande *et al*., 2020) และข้าวโพดไร่ลูกผสมพันธุ์การค้า (Adham *et al*., 2022) ในหลายสภาพแวดล้อม ทำให้สามารถคัดเลือกพันธุ์ที่เหมาะสมในพื้นที่ดังกล่าวได้

ในการประเมินผลของ GEI สามารถทำได้ทั้งในการวิเคราะห์แบบตัวแปรเดียว (Univariate) และการวิเคราะห์แบบหลายตัวแปร (Multivariate) โดยวิธีการแบบ Univariate ที่นิยมใช้กันมาก ได้แก่ วิธีการตามโมเดลของ Finlay and Wilkinson (1963) และโมเดลของ Eberhart and Russell (1966) ซึ่งทั้ง 2 โมเดลดังกล่าวไม่ได้คำนึงถึงผลส่วนใหญ่ของ GEI เนื่องจากเป็นการใช้วิธีการวิเคราะห์รีเกรสชัน (Regression analysis) ซึ่งเป็นวิธีการแบบ Univariate ในขณะที่ผลของ GEI นั้นมีลักษณะเป็น Multivariate (Akpan and Udoh, 2017) ดังนั้นวิธีการที่น่าเชื่อถือที่สุดในการวิเคราะห์ความเสถียรภาพของพันธุ์จึงควรเป็นวิธีการวิเคราะห์แบบหลายตัวแปร (Multivariate model) (Badu-Apraku *et al*., 2012) วิธีการวิเคราะห์ Additive main effects and multiplicative interaction (AMMI) เป็นวิธีการแบบ Multivariate ที่รวมเอาทั้งการวิเคราะห์ความแปรปรวน (ANOVA) และการวิเคราะห์องค์ประกอบ (Principal Component analysis: PCA) เข้าด้วยกัน จึงเป็นวิธีการที่มีประสิทธิภาพสูงในการอธิบายผลส่วนใหญ่ของ GEI (Ebdon and Gauch, 2002) และ AMMI biplot ยังช่วยให้เห็นและจำแนกทั้งจีโนไทป์และสภาพแวดล้อมได้ในกราฟเดียวกัน (Gauch, 2006) ทำให้สามารถวิเคราะห์การทดสอบผลผลิตพืชในหลายสภาพแวดล้อมได้ดี (Crossa *et al*., 1990; Gauch and Zobel, 1996; Zobel *et al*., 1988) วิธี AMMI จะใช้ ANOVA ในการทดสอบอิทธิพลหลักของพันธุ์และสภาพแวดล้อม และใช้ PCA ในการวิเคราะห์ Residual multiplicative interaction ระหว่างพันธุ์กับสภาพแวดล้อมจาก Sum of square ของ GEI โมเดล AMMI จึงเหมาะสมในการวิเคราะห์ GEI (Zobel *et al*., 1988) นอกจากนี้แล้ววิธีการ AMMI ยังสามารถวัดปริมาณของผลของแต่ละจีโนไทป์และแต่ละสภาพแวดล้อมจาก Sum of square ของ GEI แล้วนำมาแสดงให้เห็นเป็นกราฟ Biplot จึงทำให้สามารถจำแนกจีโนไทป์และสภาพแวดล้อมให้เห็นได้ดีขึ้น (Zobel *et al*., 1988) ดังนั้นเทคนิคนี้ทำให้สามารถจำแนกพันธุ์ที่ให้ผลผลิตสูงและปรับตัวได้กว้าง และพันธุ์

ที่จำเพาะต่อสภาพแวดล้อม ตลอดจนการจำแนกสภาพแวดล้อมที่ใช้ในการทดสอบได้ (Ferreira *et al*., 2006; Gauch and Zobel, 1996; Kempton, 1984)

จากการที่ผู้วิจัยทำงานด้านส่งเสริมการเกษตรในพื้นที่รับผิดชอบ และพบว่าเกษตรกรส่วนใหญ่ที่ปลูกข้าวโพดหวานนิยมปลูกพันธุ์การค้าลูกผสม ดังนั้นการนำพันธุ์ข้าวโพดหวานลูกผสมมาปลูกทดสอบพันธุ์ใน 4 สภาพแวดล้อม เพื่อศึกษาปฏิสัมพันธ์ระหว่างพันธุกรรมกับสภาพแวดล้อมและเสถียรภาพของพันธุ์ในลักษณะความหวานและผลผลิตฝักปอกเปลือกของข้าวโพดหวานลูกผสม 5 พันธุ์ โดยใช้วิธีการ AMMI analysis ซึ่งจะทำให้ได้ข้อมูลที่เป็นประโยชน์ทั้งในทางด้านวิชาการ และการแนะนำส่งเสริมเกษตรกรในพื้นที่ต่อไป

## อุปกรณ์และวิธีการ

วางแผนการทดลองแบบสุ่มในบล็อกสมบูรณ์จำนวน 3 ซ้ำ มี 5 ทรีตเมนต์ ประกอบด้วยพันธุ์ข้าวโพดหวานลูกผสม 5 พันธุ์ ได้แก่ ชัยนาท2 (G1) ไฮบริกซ์3 (G2) จัมโบ้สวีท (G3) เจียไต๋ (G4) และหวานบุรี (G5) ทำการทดลองซ้ำ 4 การทดลอง ในสภาพแวดล้อมที่แตกต่างกัน 4 สภาพแวดล้อม ดังนี้ E1: การทดลองที่ 1 ในฤดูปลูกที่ 1 (กุมภาพันธ์–เมษายน พ.ศ. 2564) ปลูกโดยการให้ปุ๋ยเคมีร่วมกับปุ๋ยอินทรีย์ E2: การทดลองที่ 2 ในฤดูปลูกที่ 1 (กุมภาพันธ์–เมษายน พ.ศ. 2564) ปลูกโดยการให้เฉพาะปุ๋ยอินทรีย์ E3: การทดลองที่ 3 ในฤดูปลูกที่ 2 (พฤษภาคม–กรกฎาคม พ.ศ. 2564) ปลูกโดยการให้ปุ๋ยเคมีร่วมกับปุ๋ยอินทรีย์ และ E4: การทดลองที่ 4 ในฤดูปลูกที่ 2 (พฤษภาคม–กรกฎาคม พ.ศ. 2564) ปลูกโดยการให้เฉพาะปุ๋ยอินทรีย์

ทำการทดลองที่แปลงทดลองแผนกพืชผัก สาขาวิชาเทคโนโลยีการผลิตพืช คณะเกษตรศาสตร์และทรัพยากรธรรมชาติ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลตะวันออก แปลงทดลองประกอบด้วยแปลงย่อยขนาด 1x5 ตร.ม. 15 แปลงย่อยต่อการทดลอง ระยะระหว่างแปลงย่อย 50 ซม. ปลูกแบบแถวคู่ ระยะปลูก 50x75 ซม. (ระยะหลุม x ระยะแถว) โดยหยอดเมล็ดและถอนแยกให้เหลือ 2 ต้น/หลุม จำนวน 20 หลุม (40 ต้น/แปลงย่อย) โดยที่การทดลองที่ 2 และ 4 ใส่ปุ๋ยคอกมูลวัวอัตรา 3 ตันต่อไร่ โดยคลุกดินขณะเตรียมแปลง ส่วนการทดลองที่ 1 และ 3 ใส่ปุ๋ยคอกมูลวัวอัตรา 3 ตันต่อไร่ และปุ๋ยเคมี โดยใส่ปุ๋ยครั้งที่ 1 รองก้นหลุมสูตร 46-0-0 อัตรา 19 กก./ไร่ สูตร 18-46-0 อัตรา 7 กก./ไร่ สูตร 0-0-60 อัตรา 13 กก./ไร่ ใส่ปุ๋ยครั้งที่ 2 สูตร 46-0-0 อัตรา 22 กก./ไร่ ที่อายุ 30 วันหลังปลูก ทั้งนี้การให้ปุ๋ยที่แตกต่างกันของการทดลองเพื่อเป็นการจำลองให้ได้รับสภาพแวดล้อมที่แตกต่างกัน (Ottai *et al*., 2006)

การบันทึกและการวิเคราะห์ข้อมูล บันทึกข้อมูลค่าความหวานของเมล็ดจากฝักสดจากการวัดด้วย Digital refractometer (10 ฝักต่อแปลงย่อย) และผลผลิตฝักสดปอกเปลือกต่อไร่ (คำนวณเทียบจากน้ำหนักฝักสดต่อแปลงย่อย โดยเก็บบันทึกทุกต้นของทุกแปลงย่อย) วิเคราะห์ความแปรปรวนตามแผนการทดลอง RCBD ของแต่ละสภาพแวดล้อม จากนั้นทำการวิเคราะห์ความแปรปรวนรวม (Combined analysis of variance) ของ 4 สภาพแวดล้อม (Oupadissakoon, 1994) โดยก่อนการวิเคราะห์ผลรวมมีการทดสอบความเป็นเอกภาพของความแปรปรวน (Test of homogeneity of variance) ของทั้ง 4 สภาพแวดล้อมด้วยวิธี Bartlett's test for homogeneity of variance (Little and Hills, 1978; Puddhanon, 2005) และเปรียบเทียบความแตกต่างของค่าเฉลี่ยด้วยวิธี Least Significant Difference (LSD) การวิเคราะห์ AMMI ตามวิธีการที่อธิบายไว้โดย Gauch and Zobel (1996) คำนวณค่า AMMI Stability value (ASV) ตามสูตรของ Purchase *et al*. (2000) ส่วนค่า stability index ซึ่งเป็นวิธีการแบบ Nonparametric ได้จากการนำค่าลำดับจากน้อยไปมากของค่า ASV บวกกับค่าลำดับจากมากไปน้อยของค่าเฉลี่ยของข้อมูลที่ศึกษา (Oliveira, *et al*., 2014)

## ผลการวิจัยและวิจารณ์

### การวิเคราะห์ความแปรปรวนรวมของ 4 สภาพแวดล้อม

จากการวิเคราะห์ความแปรปรวนรวมของ 4 สภาพแวดล้อม ในลักษณะความหวานพบว่ามีความแปรปรวนอย่างมีนัยสำคัญในส่วนของพันธุ์ (G) สภาพแวดล้อม (E) และปฏิสัมพันธ์ระหว่างพันธุ์กับสภาพแวดล้อม (GEI) ในขณะที่ผลผลิตฝักปอกเปลือกมีนัยสำคัญของ E และ GEI (Table 1) โดยจากการปลูกใน 4 สภาพแวดล้อม (2 ฤดูปลูก และการให้ปุ๋ยที่แตกต่างกัน 2 แบบ) ทำให้มีความแตกต่างกันของสภาพแวดล้อม ซึ่งแสดงออกในลักษณะของข้าวโพดหวานทั้ง 2 ลักษณะ (Figure 1, 2) โดยเมื่อพิจารณาจากค่า Sum of square ซึ่งแยกความแปรปรวนเป็นส่วนต่าง ๆ พบว่าในลักษณะความหวานมีสัดส่วนของความแปรปรวนเนื่องจาก G, E และ GEI เท่ากับ 13.80, 58.56 และ 9.56 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ และในลักษณะผลผลิตมีสัดส่วนของความแปรปรวนเนื่องจาก G, E และ GEI เท่ากับ 14.30, 54.67 และ 15.81 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ การมีสัดส่วนความแปรปรวนที่สูงของสภาพแวดล้อมส่งผลให้มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญของค่าเฉลี่ยของสภาพแวดล้อมในทั้ง 2 ลักษณะ โดยในลักษณะผลผลิตสอดคล้องกับการทดลองในข้าวโพดหวานของ Syafi'i *et al*. (2013) และ Ruswandi *et al*. (2020) ที่พบว่ามีสัดส่วนความแปรปรวนของ E สูงกว่า G และ GEI ซึ่งการมีนัยสำคัญของ GEI แสดงว่าพันธุ์มีความผันแปรแตกต่างกันไปในแต่ละสภาพแวดล้อม และจากการที่ GEI มีนัยสำคัญดังกล่าว ดังนั้นได้ทำการวิเคราะห์ประเมินค่าความเสถียรภาพของพันธุ์ตามวิธีการ AMMI ต่อไป (Farshadfar and Sutka, 2006)

**Table 1** Analysis of variance for kernel sweetness and husked ear yield, including the G×E interaction partition according to the AMMI analysis

| Source | | Kernel sweetness | | | Husked ear yield | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | | % | % | | % | % |
| | df | MS | Explained | Accumulated | MS | Explained | Accumulated |
| Env. (E) | 3 | 41.015** | | | 1.007** | | |
| Block/Env. | 8 | 1.673 | | | 0.044 | | |
| Genotypes (G)[Z] | 4 | 7.250* | | | 0.198$^{ns}$ | | |
| G x E | 12 | 1.674* | | | 0.073** | | |
| IPCA1 | 6 | 2.251* | 67.2 | 67.2 | 0.128** | 87.8 | 87.8 |
| IPCA2 | 4 | 1.249$^{ns}$ | 24.9 | 92.1 | 0.026$^{ns}$ | 12.0 | 99.8 |
| IPCA3 | 2 | 0.797$^{ns}$ | 7.9 | 100.0 | 0.001$^{ns}$ | 0.2 | 100.0 |
| Pooled error | 32 | 0.769 | | | 0.015 | | |
| **Total** | **59** | | | | | | |
| **CV (%)** | | **6.46** | | | **8.22** | | |

IPCA = Interaction Principal Component Axis

[Z]Genotypes were tested using GxE interaction MS as an error term.

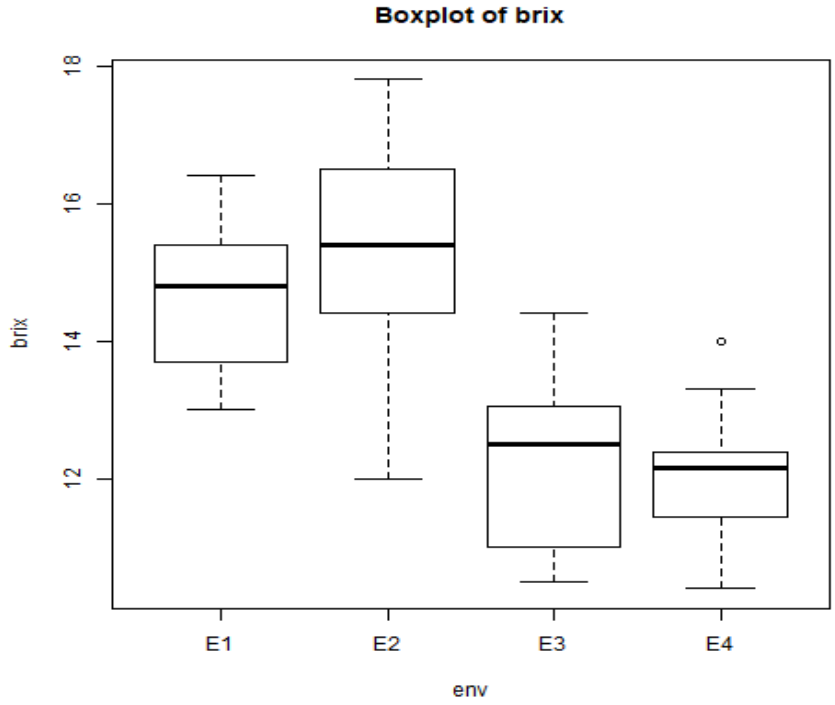


**Figure 1** Boxplot showing variations for kernel sweetness (Brix) of sweet corn cultivars in 4 environments

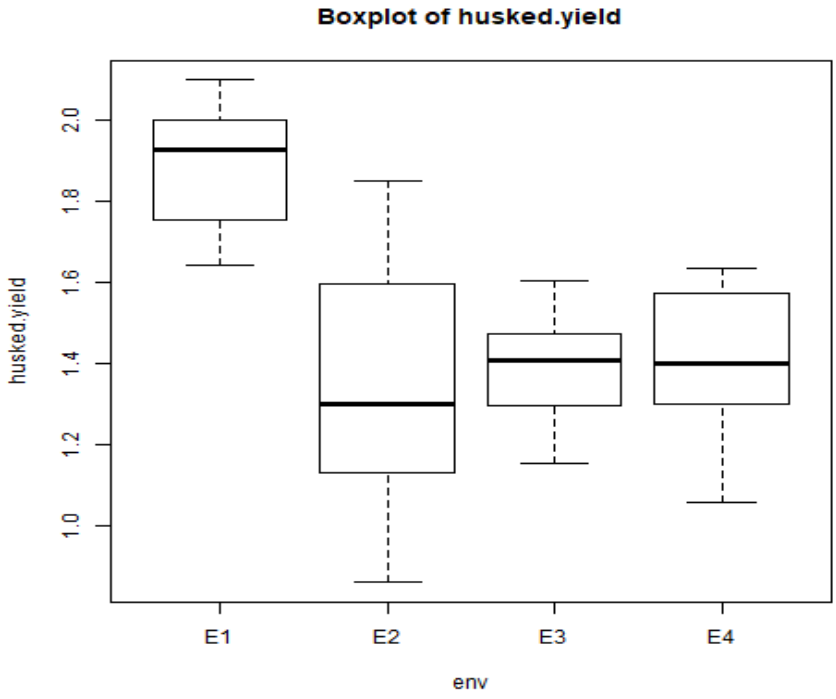


**Figure 2** Boxplot showing variations for husked ear yield (tons/rai) of sweet corn cultivars in 4 environments

**การวิเคราะห์ AMMI ของ GEI**

จากผลการวิเคราะห์ AMMI ในลักษณะความหวานพบว่า IPCA1 และ IPCA2 อธิบายความแปรปรวนของ GEI ได้ 67.2 และ 24.9 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ และในลักษณะผลผลิตพบว่า IPCA1 และ IPCA2 อธิบายความแปรปรวนของ GEI ได้ 87.8 และ 12.0 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ แต่จากการที่ IPCA2 ของทั้ง 2 ลักษณะไม่มีนัยสำคัญ (Table 1) ดังนั้นจึงควรพิจารณา IPCA1 เป็นหลักในการอธิบายความแปรปรวนของ GEI

ความเสถียรภาพของพันธุ์ในลักษณะความหวานเมื่อพิจารณาจากกราฟ AMMI1 ซึ่งเป็นกราฟ Biplot ระหว่าง IPCA1 กับค่าเฉลี่ยความหวาน (Figure 3) พันธุ์หวานบุรี (G5) อยู่ในตำแหน่งที่ใกล้กับแกน 0 ของ IPCA1 มากที่สุด และมีความหวานมากกว่าแกนค่าเฉลี่ย ดังนั้นจัดเป็นพันธุ์ที่มีความเสถียรของลักษณะความหวานมากที่สุด ซึ่งสอดคล้องกับค่า IPCA1 และค่าความหวานใน Table 2 นอกจากนี้แล้วเมื่อพิจารณาจาก AMMI Stability value (ASV) แล้วพบว่าพันธุ์หวานบุรีมีค่า ASV ต่ำสุด จึงเป็นพันธุ์ที่มีความเสถียรเป็นลำดับที่ 1 นั่นคือมีผลจาก GEI น้อยสุดนั่นเอง และเมื่อพิจารณาร่วมกับลำดับของความหวานซึ่งเป็นลำดับที่ 2 ดังนั้นจึงได้ค่า Stability index น้อยที่สุด เมื่อนำมาเรียงลำดับความเสถียรของพันธุ์ในลักษณะความหวานซึ่งแสดงโดยค่า Stability rank (Table 2) พันธุ์หวานบุรีจึงอยู่ในลำดับที่ 1 และเมื่อพิจารณากราฟ AMMI2 ซึ่งเป็นกราฟ Biplot ระหว่าง IPCA1 กับ IPCA2 ได้ผลสอดคล้องกันโดยพบว่าพันธุ์หวานบุรี (G5) อยู่ใกล้จุดกึ่งกลางมากที่สุด และใกล้กับแกน IPCA1 มากที่สุด จึงจัดเป็นพันธุ์ที่มีความเสถียรมากที่สุด (Figure 4)

**Table 2** The first and second Interaction Principal Component Axis (IPCA), average kernel sweetness (Brix), AMMI stability value (ASV), stability index (SI) and stability rank of 5 sweet corn cultivars

| Cultivars | IPCA1 | IPCA2 | Kernel sweetness (Brix) | ASV | ASV rank | Sweetness rank | SI | Stability rank |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Chainat2 (G1) | -0.470 | -0.442 | 12.57 c | 1.344 | 2 | 5 | 7 | 3 |
| Hybrix3 (G2) | 1.067 | -0.517 | 13.19 bc | 2.930 | 5 | 4 | 9 | 5 |
| Jumbosweet (G3) | 0.436 | 0.903 | 14.47 a | 1.484 | 3 | 1 | 4 | 2 |
| Chiatai (G4) | -0.656 | 0.100 | 13.43 abc | 1.775 | 4 | 3 | 7 | 3 |
| Wanburi (G5) | -0.378 | -0.044 | 14.24 ab | 1.022 | 1 | 2 | 3 | 1 |

Means with the same letter in a column are not significantly different at $LSD_{0.05}$.

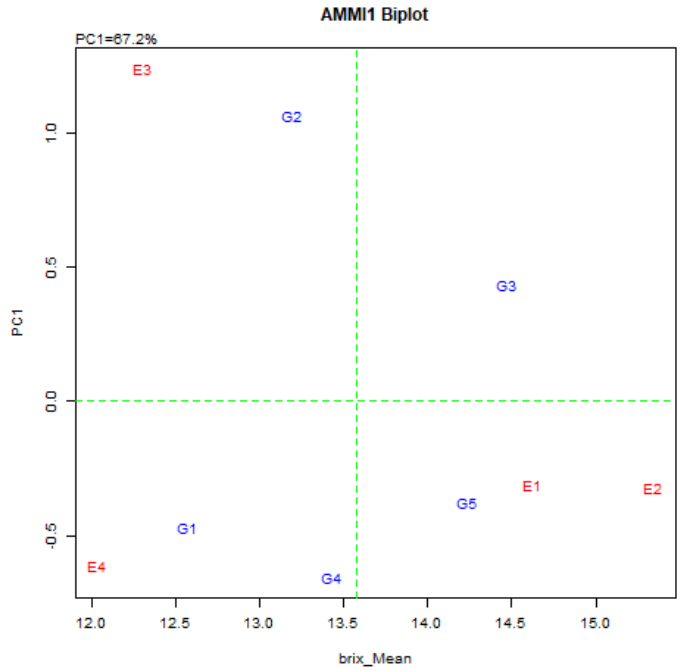


**Figure 3** AMMI1 biplot showing the IPCA1 vs. means for kernel sweetness (Brix) of 5 sweet corn cultivars evaluated in 4 environments

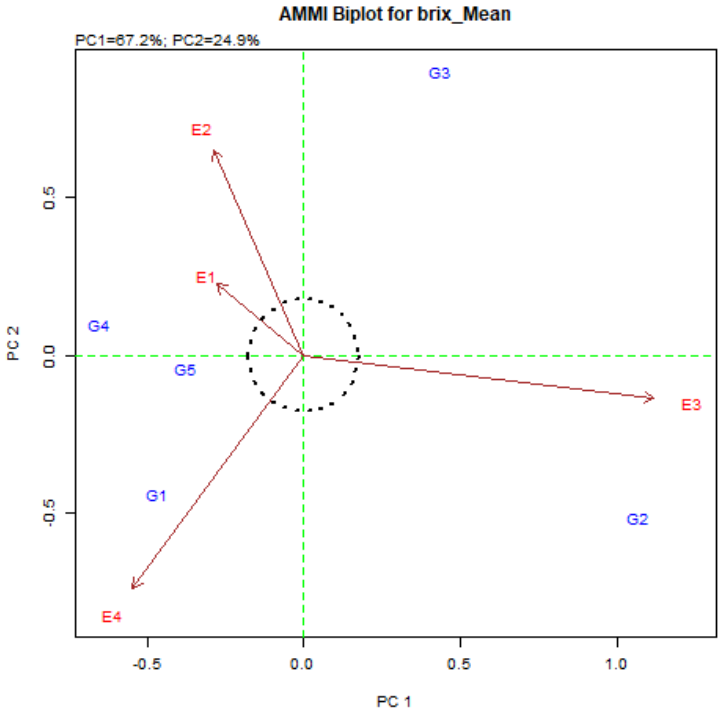


**Figure 4** AMMI2 biplot showing the first two principal axes of interaction (IPCA1 vs. IPCA2) for kernel sweetness (Brix) of 5 sweet corn cultivars evaluated in 4 environments

ความเสถียรภาพของพันธุ์ในลักษณะผลผลิตฝักปอกเปลือก จากกราฟ Biplot ระหว่าง IPCA1 กับค่าเฉลี่ยผลผลิต (AMMI1) (Figure 5) พบว่าพันธุ์ไฮบริกซ์3 (G2) จัดเป็นพันธุ์ที่มีความเสถียรมากที่สุด โดยอยู่ในตำแหน่งที่ใกล้กับแกน 0 ของ IPCA1 มากที่สุด และให้ผลผลิตมากกว่าแกนค่าเฉลี่ย โดยสอดคล้องกับค่า IPCA1 และผลผลิตที่แสดงใน Table 3 และสอดคล้องกับค่า AMMI stability value (ASV) ซึ่งพันธุ์ไฮบริกซ์3 มีค่า ASV ต่ำสุด นั่นคือมีความแปรปรวนจาก GEI น้อยที่สุด และเมื่อพิจารณาร่วมกับลำดับของผลผลิต พันธุ์ไฮบริกซ์3 จึงมีความเสถียรของผลผลิตเป็นลำดับ 1 รองลงมาคือ พันธุ์หวานบุรี และชัยนาท2 ดังแสดงโดยค่า Stability rank (Table 3) ส่วนกราฟ Biplot ระหว่าง IPCA1 กับ IPCA2 ของผลผลิต (AMMI2) (Figure 6) เมื่อพิจารณาตำแหน่งของพันธุ์พบว่าไม่มีพันธุ์ใดอยู่ใกล้จุดกึ่งกลาง อย่างไรก็ตาม จากการที่ IPCA1 อธิบายความแปรปรวนของ GEI ของผลผลิตได้สูงถึง 87.8 เปอร์เซ็นต์ ในขณะที่ IPCA2 อธิบายได้เพียง 12.0 เปอร์เซ็นต์ และไม่มีนัยสำคัญของ IPCA2 ดังนั้นการพิจารณากราฟ Biplot นี้จึงให้พิจารณาตำแหน่งของพันธุ์ที่อยู่ใกล้แกน 0 ของ IPCA1 มากที่สุดว่าเป็นพันธุ์ที่เสถียรมากที่สุด ซึ่งก็คือ พันธุ์ไฮบริกซ์3 (G2) รองลงมาคือพันธุ์จัมโบสวีท (G3) (Figure 6) ซึ่งในลักษณะผลผลิตของข้าวโพดหวาน Ruswandi *et al*. (2020) รายงานว่าพันธุ์ที่เสถียรเป็นพันธุ์ที่ให้ค่า ASV ต่ำ และให้ผลผลิตสูง

**Table 3** The first and second Interaction Principal Component Axis (IPCA), average husked ear yield (tons/rai), AMMI stability value (ASV), stability index (SI) and stability rank of 5 sweet corn cultivars

| Cultivars | IPCA1 | IPCA2 | Husked ear yield (tons/rai) | ASV | ASV rank | Yield rank | SI | Stability rank |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Chainat2 (G1) | -0.288 | 0.184 | 1.54 | 2.110 | 3 | 2 | 5 | 2 |
| Hybrix3 (G2) | 0.090 | -0.263 | 1.51 | 0.706 | 1 | 3 | 4 | 1 |
| Jumbosweet (G3) | 0.099 | 0.247 | 1.43 | 0.760 | 2 | 4 | 6 | 4 |
| Chiatai (G4) | 0.497 | -0.016 | 1.33 | 3.622 | 5 | 5 | 10 | 5 |
| Wanburi (G5) | -0.397 | -0.152 | 1.68 | 2.898 | 4 | 1 | 5 | 2 |

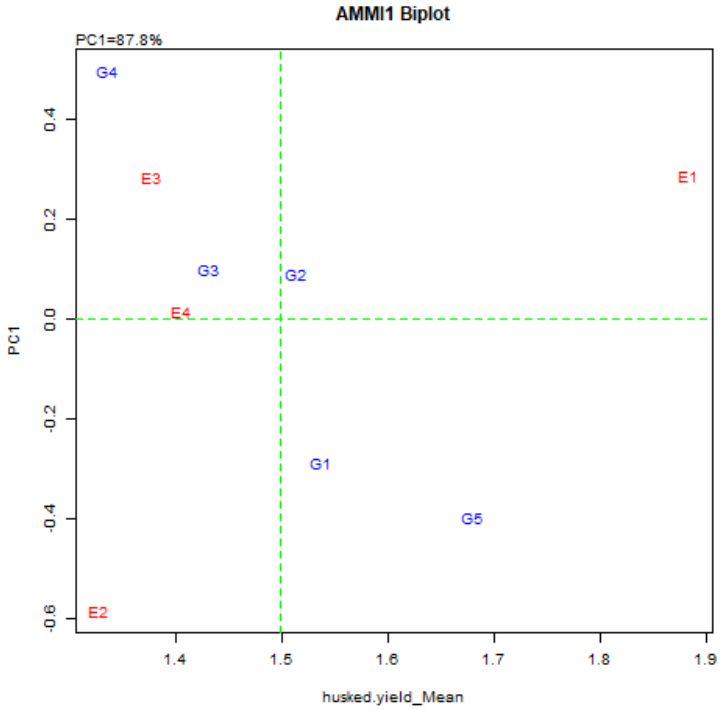


**Figure 5** AMMI1 biplot showing the IPCA1 vs. means for husked ear yield of 5 sweet corn cultivars evaluated in 4 environments

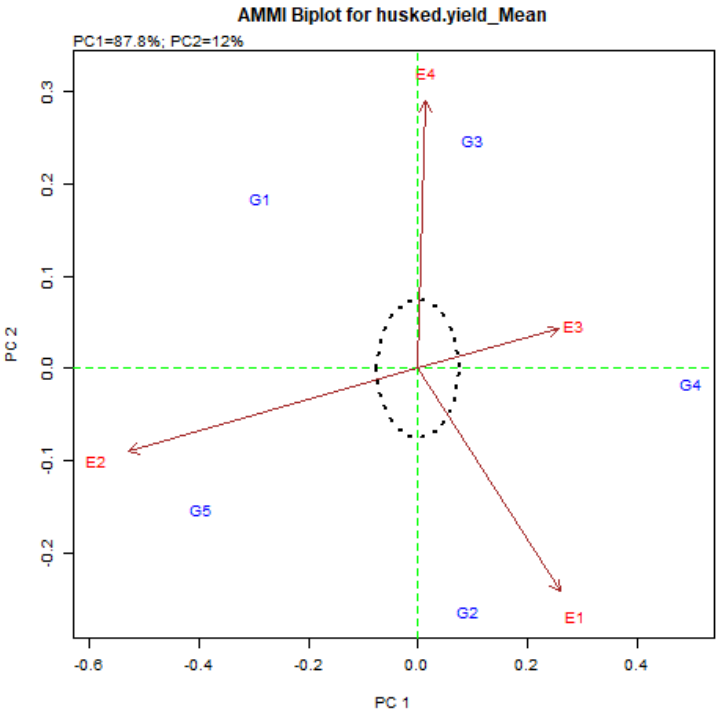


**Figure 6** AMMI2 biplot showing the first two principal axes of interaction (IPCA1 vs. IPCA2) for husked ear yield of 5 sweet corn cultivars evaluated in 4 environments

## สรุปผลการวิจัย

จากการวิเคราะห์ความแปรปรวนรวมของ 4 สภาพแวดล้อม ในลักษณะความหวานและผลผลิตฝักปอกเปลือก พบความแปรปรวนอย่างมีนัยสำคัญในส่วนของพันธุ์ (G) สภาพแวดล้อม (E) และปฏิสัมพันธ์ระหว่างพันธุ์กับสภาพแวดล้อม (GEI) ในทั้ง 2 ลักษณะ จากผลการวิเคราะห์ AMMI ในลักษณะความหวานพบว่าพันธุ์หวานบุรีความเสถียรภาพของลักษณะความหวานมากที่สุด โดยมี AMMI stability value (ASV) ต่ำสุด และให้ความหวานสูง (14.24 บริกซ์) ส่วนในลักษณะผลผลิตฝักปอกเปลือกพันธุ์ไฮบริกซ์3 เป็นพันธุ์ที่มีความเสถียรภาพของผลผลิตมากที่สุด เนื่องจากมี AMMI stability value (ASV) ต่ำสุด และให้ผลผลิตฝักปอกเปลือกสูง (1.51 ตันต่อไร่) จากผลการทดสอบดังกล่าว 2 พันธุ์นี้เป็นพันธุ์ที่ควรให้คำแนะนำให้กับเกษตรกรรายย่อยในภาคตะวันออกต่อไป

## กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณ ผู้อำนวยการศูนย์วิจัยพืชไร่ชัยนาท ที่ได้ให้การสนับสนุนเมล็ดพันธุ์ข้าวโพดพันธุ์ชัยนาท 2 สำหรับการทำงานวิจัยในครั้งนี้

## เอกสารอ้างอิง

Adham, A., M.B.A. Ghaffar, A.M., Ikmal and N.A.A. Shamsudin. 2022. Genotype × environment interaction and stability analysis of commercial hybrid grain corn genotypes in different environments. **Life** 12(11): 1773.

Akpan, E.A. and V.S. Udoh. 2017. Evaluation of cassava (*Manihot esculenta* crantz) genotype for yield and yield component, tuber bulking, early maturity in cross river basin flood plains. **Canadian Journal of Agriculture and Crops** 2(2): 68-73.

Badu-Apraku, B., M. Oyekunle, K. Obeng-Antwi, A.S. Osuman, S.G. Ado, N. Coulibay, C.G. Yallou, M. Abdulai, G.A. Boakyewaa and A. Didjeira. 2012. Performance of extra-early maize cultivars based on GGE biplots and AMMI analysis. **Journal Agricultural Sciences** 150: 473-483.

Balestre, M., R.G. Von Pinho, J.C. Souza and R.L. Oliveira. 2009. Genotypic stability and adaptability in tropical maize based on AMMI and GGE biplot analysis. **Genetics and Molecular Research** 8(4): 1311-1322.

Becker, H.C. and J. Leon. 1988. Stability analysis in Plant Breeding. **Plant Breeding** 101: 1-23.

Crossa, H.M. 1990. Statistical analyses of multilocation trials. **Advances in Agronomy** 44: 55-85.

Crossa, J., H.G. Gauch and R.W. Zobel. 1990. Additive main effect and multiplicative interaction analysis of two international maize cultivar trials. **Crop Science** 30: 493-500.

Ebdon, J.S. and H.G. Gauch. 2002. Additive main effects and multiplicative interaction analysis of national turfgrass performance trials. **Crop Science** 42: 497-506.

Eberhart, S.A. and W.L. Russell. 1966. Stability parameters for comparing varieties. **Crop Science** 6: 36-40.

Farshadfar, E. and J. Sutka. 2006. Biplot analysis of genotype-environment interaction in durum wheat using the AMMI model. **Acta Agronomica Hungarica** 54(4): 459-467.

Ferreira, D.F., C.G.B. Demétrio, B.F.J. Manly, A.A. Machado and R. Vencovsky. 2006. Statistical models in agriculture: biometrical methods for evaluating phenotypic stability in plant breeding. **Cerne** 12: 373-388.

Finlay, K.W. and G.N. Wilkinson. 1963. The analysis of adaptation in a plant breeding program. **Australian Journal of Agricultural Research** 14: 742-754.

Gauch, H.G. 2006. Statistical analysis of yield trials by AMMI and GGE. **Crop Science** 46: 1488-1500.

Gauch, H.G. and R.W. Zobel. 1996. AMMI analysis of yield trials. pp. 85-122. *In* Kang, M.S. and H.G. Gauch (eds.). **Genotype by Environment Interaction**. Boca Raton, FL: CRC Press.

Katsenios, N., P. Sparangis, S. Chanioti, M. Giannoglou, D. Leonidakis, M.V. Christopoulos, G. Katsaros and A. Efthimiadou. 2021. Genotype x environment interaction of yield and grain quality traits of maize hybrids in Greece. **Agronomy** 2021(11): 1-17.

Kempton, R.A. 1984. The use of biplots in interpreting variety by environment interactions. **Journal of Agricultural Science** 103: 123-135.

Lin, C.S., M.R. Binns and L.P. Lafkovitch. 1986. Stability analysis: where do we stand?. **Crop Science** 26: 894-900.

Little, T.M. and F.J. Hills. 1978. **Agricultural Experimentation: Design and Analysis**. Hoboken: John Wiley & Sons, Inc. 350 p.

Office of Agricultural Economics. 2022. **Sweet corn: area cultivated and yield**. [Online]. Available https://www.oae.go.th/assets/portals/1/fileups/prcaidata/files/sweet%20corn63.pdf (November 24, 2022). [in Thai]

Oliveira, E.J.D., J.P.X.D. Freitas and O.N.D. Jesus. 2014. AMMI analysis of the adaptability and yield stability of yellow passion fruit varieties. **Scientia Agricola** 71: 139-145.

Ottai, M.E.S., K.A. Aboud, I.M. Mahmoud and D.M. El-Hariri. 2006. Stability analysis of cultivars (*Hibiscus sabdariffa* L.) under different nitrogen fertilizer environments. **World Journal of Agricultural Sciences** 2(3): 333-339.

Oupadissakoon, S. 1994. **Statistics, Experimental Design: Volume 2**. Bangkok: Sahamit Offset Press. 492 p. [in Thai]

Puddhanon, P. 2005. **Biometrics for Plant Breeding**. Chiang Mai: Agronomy Department, Faculty of Agricultural Production, Maejo University. 243 p. [in Thai]

Purchase, J.L. H. Hatting and C.S. Vandeventer. 2000. Genotype × environment interaction of winter wheat (*Triticum aestivum* L.) in South Africa. II. stability analysis of yield performance. **South African Journal of Plant and Soil** 17: 101-107.

Ruswandi, D., Y. Yuwariah, M. Ariyanti, M. Syafii and A. Nuraini. 2020. Stability and adaptability of yield among earliness sweet corn hybrids in West Java, Indonesia. **International Journal of Agronomy** 2020: 1-9. DOI.org/10.1155/2020/4341906.

Syafi'i, M., R. Melati, B. Waluyo and D. Ruswandi. 2013. GxE interaction assessment of sr sweet corn yield based on additive main effect and multiplicative interaction (AMMI) and biplot in West Java. pp. 147-154. *In* **Proceedings of International Conference on Sustainable Rural Development 2013 August 25-26, 2013.** Jawa Tengah: Jenderal Soedirman University.

Wayupab, K. 2015. **Report on Research and Development Projects of Fresh Corn**. 124 p. *In* Research Report. Bangkok.: Department of Agriculture. [in Thai]

Zobel, R.W., M.J. Wright and H.G. Gauch. 1988. Statistical analysis of a yield trial. **Agronomy Journal** 80: 388-393.