วารสารแก่นเกษตร THAIJO

Content List Available at ThaiJo

Khon Kaen Agriculture Journal

Journal Home Page : https://li01.tci-thaijo.org/index.php/agkasetkaj



การวิเคราะห์เสถียรภาพผลผลิตข้าวโพดไร่ลูกผสมก่อนการค้าที่พัฒนาโดยศูนย์วิจัยข้าวโพดและข้าวฟ่างแห่งชาติ

Stability analysis of pre-commercial hybrid corn developed by the National Corn and Sorghum Research Center

โรจนพงศ์ ไชยสิทธิ์[1]*, ณัฐนี จุติโรจน์ปกรณ์[1], น้ำหวาน สุขคงเจริญ[1], สรรเสริญ จำปาทอง[1] และ ชูศักดิ์ จอมพุก[2]

Rodchanapong Chaiyasit[1]*, Nattanee Jutirojpakorn[1], Namwan Sukongjarern[1], Sansern Jampatong[1] and Choosak Jompuk[2]

[1] ศูนย์วิจัยข้าวโพดและข้าวฟ่างแห่งชาติ คณะเกษตร มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ ต.กลางดง อ.ปากช่อง จ.นครราชสีมา 30320

[1] National Corn and Sorghum Research Center, Faculty of Agriculture Kasetsart University, Klang Dong, Pak Chong, Nakhon Ratchasima 30320

[2] ภาควิชาพืชไร่นา คณะเกษตร กำแพงแสน มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ วิทยาเขตกำแพงแสน จ. นครปฐม 73140

[2] Department of Agronomy, Faculty of Agriculture Kamphaeng Saen, Kasetsart University, Kamphaeng Saen Campus, Nakhon Pathom 73140

บทคัดย่อ: ในกระบวนการปรับปรุงพันธุ์ข้าวโพดและการคัดเลือกพันธุ์ข้าวโพดไร่ลูกผสมเดี่ยวจำเป็นต้องมีการทดลองในสภาพแวดล้อมที่หลากหลายก่อนที่จะส่งเสริมพันธุ์ใหม่ให้กับเกษตรกร วัตถุประสงค์ของการศึกษาครั้งนี้เพื่อวิเคราะห์เสถียรภาพของผลผลิตข้าวโพดไร่ลูกผสมเดี่ยวก่อนการค้าของศูนย์วิจัยข้าวโพดและข้าวฟ่างแห่งชาติ และคัดเลือกพันธุ์ข้าวโพดไร่ลูกผสมเดี่ยวที่มีศักยภาพการให้ผลผลิตสูงกว่าพันธุ์สุวรรณ 4452 โดยนำลูกผสมเดี่ยวก่อนการค้าทั้งหมด 23 พันธุ์ และพันธุ์การค้าปลูกร่วมทดสอบ 7 พันธุ์ ซึ่งเป็นพันธุ์การค้าจากภาครัฐและเอกชน โดยวางแผนการทดลองแบบสุ่มในบลอคสมบูรณ์ (RCBD) ทำ 3 ซ้ำ และปลูกใน 10 สภาพแวดล้อม ใน 8 จังหวัด (นครราชสีมา, สระบุรี, นครสวรรค์, สุโขทัย, ตาก, ลำพูน, เชียงใหม่ และ พะเยา) โดยใช้ GGE วิเคราะห์เสถียรภาพของผลผลิต ผลการทดลอง พบว่า พันธุกรรม (G) สภาพแวดล้อม (E) และปฏิสัมพันธ์ระหว่างพันธุกรรมกับสภาพแวดล้อม (GE) มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญยิ่ง (P≤0.01) โดยผลผลิตลูกผสมก่อนการค้ามีผลผลิตเฉลี่ยอยู่ระหว่าง 1,096 – 1,347 กก./ไร่ พันธุ์ที่ให้ผลผลิตสูงสุดคือ KSX5720 (1,347 กก./ไร่) รองลงมาคือ KSX5819 (1,336 กก./ไร่) และ KSX6108 (1,278 กก./ไร่) ตามลำดับ พันธุ์ลูกผสมการค้าร่วมทดสอบมีผลผลิตเฉลี่ยอยู่ระหว่าง 1,094 – 1,448 กก./ไร่ โดยพันธุ์ลูกผสมที่ให้ผลผลิตสูงสุด ได้แก่ พันธุ์ DK9979C (1,448 กก./ไร่) รองลงมาคือ P3875 (1,448 กก./ไร่) และ CP303 (1,360 กก./ไร่) ตามลำดับ ในขณะที่พันธุ์ Suwan 4452 (check) ซึ่งมีผลผลิต 1,197 กก./ไร่ ให้ผลผลิตต่ำกว่า KSX5720 และ KSX5918 คิดเป็น 17% และ 14% ตามลำดับ เมื่อพิจารณาเสถียรภาพตามวิธีการ Eberhart และ Russell พบว่าพันธุ์ข้าวโพดทั้ง 2 พันธุ์ มีค่าสัมประสิทธิ์ของรีเกรสชั่น (b) เท่ากับ 1.18 และ 1.16 ตามลำดับ ซึ่งไม่แตกต่างจาก 1 และ GGE biplot สามารถอธิบายความแปรปรวนทั้งหมดได้ 56.22% (PC1=38.32% และ PC2 =17.9%) พันธุ์ KSX5720 และ KSX5918 เป็นพันธุ์ที่มีเสถียรภาพของผลผลิตดีและให้ผลผลิตสูงกว่า Suwan4452 ดังนั้นสามารถใช้เป็นพันธุ์การค้าพันธุ์ใหม่ได้

คำสำคัญ: ลูกผสม; GGE; สภาพแวดล้อม; เสถียรภาพผลผลิต

* Corresponding author: ijsrpc@ku.ac.th

Received: date; October 21, 2024 Revised: date; March 19, 2025

Accepted: date; May 22, 2025 Published: date; July 16, 2025

ABSTRACT: In the process of maize improvement and selecting single-cross hybrid maize varieties, it is essential to conduct trials in multiple environments before promoting new varieties to farmers. This study aimed to analyze the yield stability of pre-commercial single-cross hybrid maize varieties from the National Corn and Sorghum Research Center and select those with higher yield potential than the Suwan 4452 variety. 23 pre-commercial hybrids and 7 commercial varieties from the public and private sectors were evaluated. The experiments were conducted in a randomized complete block design (RCBD) with three replications in 10 environments across 8 provinces, including Nakhon Ratchasima, Saraburi, Nakhon Sawan, Sukhothai, Tak, Lamphun, Chiang Mai, and Phayao. The genotype plus genotype by environment interaction (GGE) was used to analyze the yield stability. The results showed that there were highly significant differences ($P \leq 0.01$) in genotype (G), environment (E), and genotype-environment interaction (GE). The pre-commercial hybrids yielded between 1,096 and 1,347 kg/rai. The highest yield was observed in KSX5720 (1,347 kg/rai), followed by KSX5819 (1,336 kg/rai) and KSX6108 (1,278 kg/rai), respectively. The commercial hybrids yielded between 1,094 and 1,448 kg/rai, while the best yield was DK9979C and P3875, yielding 1,448 kg/rai, followed by CP303 at 1,360 kg/rai. The Suwan 4452 check variety yielded 1,197 kg/rai, 17% and 14% lower than KSX5720 and KSX5918, respectively. According to the Eberhart and Russell stability analysis, the regression coefficients (b) for the two hybrid varieties were 1.18 and 1.16, respectively, which did not differ significantly from 1. The GGE biplot explained 56.22% of the total variance (PC1=38.32% and PC2=17.9%). The KSX5720 and KSX5918 varieties demonstrated excellent yield stability and higher yields than Suwan 4452, indicating their potential as new commercial varieties.

Keywords: hybrid; GGE; environments; yield stability

บทนำ

ข้าวโพดเลี้ยงสัตว์เป็นพืชที่มีความสำคัญทางเศรษฐกิจของประเทศไทย ในปี พ.ศ. 2566 มีพื้นที่ปลูก 6.74 ล้านไร่ พื้นที่เก็บเกี่ยวผลผลิต 6.67 ล้านไร่ ได้ผลผลิต 4.87 ล้านตัน คิดเป็นผลผลิตเฉลี่ย 715 กก./ไร่ โดยในพื้นที่ภาคกลาง ภาคเหนือ และภาคตะวันออกเฉียงเหนือ (สำนักงานเศรษฐกิจการเกษตร, 2566) ปลูก ถึงแม้ว่าภาครัฐจะมีมาตรการกระตุ้นให้เกษตรกรเพิ่มพื้นที่ปลูกข้าวโพดในฤดูแล้งก็ตาม ผลผลิตข้าวโพดยังไม่เพียงพอต่อความต้องการใช้ในอุตสาหกรรมอาหารสัตว์ภายในประเทศที่มีมากถึง 8.37 ล้านตันต่อปี การเพิ่มผลผลิตข้าวโพดสามารถทำได้หลายวิธี เช่น การเพิ่มพื้นที่ปลูก และการเพิ่มผลผลิตต่อหน่วยพื้นที่ ปัจจุบันพันธุ์ข้าวโพดลูกผสมเดี่ยว (single cross hybrid) เป็นพันธุ์ที่มีความสม่ำเสมอ และมีศักยภาพในการให้ผลผลิตสูงสุด อย่างไรก็ตาม พื้นที่ปลูกข้าวโพดมีความแปรปรวนของสภาพแวดล้อมที่แตกต่างกัน ซึ่งประกอบด้วยอุณหภูมิ ปริมาณน้ำฝน ความอุดมสมบูรณ์ของดิน โรค และแมลงศัตรูพืช ดังนั้น พันธุ์ข้าวโพดลูกผสมเดี่ยวจำเป็นต้องมีการทดสอบพันธุ์ในหลายสภาพแวดล้อม (multi-environment trial, MTE) เพื่อให้ทราบผลผลิต และการปรับตัวของแต่ละพันธุ์ในสภาพแวดล้อมต่างๆ นอกเหนือจากสภาพแวดล้อมที่พัฒนาพันธุ์ขึ้นมา ก่อนการตัดสินใจคัดเลือกพันธุ์ที่มีศักยภาพเป็นพันธุ์แนะนำแก่เกษตรกร (Balestre et al., 2009; Mushayi et al., 2020) การวิเคราะห์เสถียรภาพของพันธุ์เป็นการระบุถึงความมีเสถียรภาพ หรือการแสดงออกของพันธุ์พืชที่ปลูกในสภาพแวดล้อมแตกต่างกันทั้งในเรื่องของฤดูกาลเพาะปลูก สภาพพื้นที่ ความอุดมสมบูรณ์ของดิน ภูมิอากาศ และสภาพความเครียดอันเนื่องมาจากสิ่งมีชีวิตและไม่มีชีวิต (Eberhart and Russell, 1966) นักปรับปรุงพันธุ์พืชต้องการพัฒนาพันธุ์ที่ปรับตัวได้หลากหลายสภาพแวดล้อม และมีผลผลิตสูงซึ่งทำได้ค่อนข้างยาก (Annicchiarico et al., 2005) โดยผลผลิตของพันธุ์จะเกี่ยวข้องกับพันธุกรรม (genotype, G) สภาพแวดล้อม (environment, E) และปฏิสัมพันธ์ระหว่างพันธุกรรมกับสภาพแวดล้อม (genotype by environment interaction, GEI) (Kang, 1998) พันธุ์ที่ปรับตัวได้หลากหลายคือมีประสิทธิภาพในการให้ผลผลิตไม่เปลี่ยนแปลงหรือเปลี่ยนแปลงน้อยที่สุด ภายใต้เงื่อนไขด้านสิ่งแวดล้อมที่เปลี่ยนแปลงไป (Yan et al., 2000) การประเมินผลผลิตภายใต้สภาพแวดล้อมที่หลากหลายเป็นแนวทางหนึ่งในหลายวิธีในการตรวจสอบความมีเสถียรภาพของพันธุกรรม (Changizi et al., 2014) การวิเคราะห์เสถียรภาพของพันธุ์มีหลากหลายวิธีการ อย่างไรก็ตาม อิทธิพลหลักของพันธุกรรมร่วมกับปฏิสัมพันธ์ระหว่างพันธุกรรมกับสภาพแวดล้อม (genotype main effect plus genotype by environment interaction, GGE) เป็นอีกวิธีการหนึ่งที่นำไปใช้อย่างกว้างขวาง โดยผลของการวิเคราะห์นำมาแสดงเป็นภาพเรียกว่า GGE biplot ที่ใช้อธิบายพืชพันธุ์ใดมีความเหมาะสมกับสภาพแวดล้อมที่ใช้ในการทดสอบในรูปแบบ "which-won-where" นอกจากนี้ ยังสามารถประเมินพันธุกรรมในอุดมคติ (ideal genotype) ที่ให้เสถียรภาพของผลผลิตสูง และประเมินสภาพแวดล้อมใน

อุดมคติ (ideal environment) ที่สามารถใช้อธิบายและเป็นตัวแทนของสภาพแวดล้อมในการคัดเลือกพันธุกรรมของพืชที่ปรับตัวได้กว้าง (Yan et al., 2007; Mushayi et al., 2020; Sharma et al., 2020; Ruswandi et al., 2021; Olanrewaju et al., 2021; McPherson, 2022) ศูนย์วิจัยข้าวโพดและข้าวฟ่างแห่งชาติ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ ได้ผลิตข้าวโพดเลี้ยงสัตว์ลูกผสมเดี่ยวพันธุ์สุวรรณ 4452 และส่งเสริมให้เกษตรกรปลูกมานานกว่า 10 ปี ปัจจุบันทางศูนย์วิจัยข้าวโพดและข้าวฟ่างแห่งชาติได้พัฒนาพันธุ์ข้าวโพดเลี้ยงสัตว์ชุดใหม่ที่มีศักยภาพในการให้ผลผลิตที่ดีกว่าพันธุ์เดิมเมื่อทดสอบผลผลิตในระดับสถานี (regional yield trial: RYT) ดังนั้นเพื่อจะคัดเลือกพันธุ์ใหม่ที่ให้ผลผลิตสูงและสามารถปรับตัวในสภาพแวดล้อมที่หลากหลาย การทดลองนี้จึงมีวัตถุประสงค์เพื่อวิเคราะห์เสถียรภาพของผลผลิตของพันธุ์ข้าวโพดเลี้ยงสัตว์ลูกผสมเดี่ยวพันธุ์ใหม่สำหรับเป็นพันธุ์ทดแทนพันธุ์เดิมโดยมีผลผลิตมากกว่าพันธุ์เดิมอย่างน้อย 5-10% และเพื่อใช้ประกอบการตัดสินใจคัดเลือกพันธุ์ที่มีศักยภาพเป็นพันธุ์แนะนำแก่เกษตรกรผู้ปลูกข้าวโพดไร่ต่อไป

วิธีการศึกษา

การปลูกทดสอบผลผลิต

นำข้าวโพดเลี้ยงสัตว์ลูกผสมเดี่ยวพันธุ์ใหม่ จำนวน 23 พันธุ์ ที่พัฒนาโดยศูนย์วิจัยข้าวโพดและข้าวฟ่างแห่งชาติ คณะเกษตร มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ และพันธุ์ข้าวโพดเลี้ยงสัตว์ลูกผสมเดี่ยวร่วมทดสอบจากหน่วยงานรัฐและเอกชน จำนวน 7 พันธุ์ **(Table 1)** มาปลูกทดสอบเสถียรภาพของพันธุ์ (ฤดูต้นฝน) ระหว่างเดือนมิถุนายน 2564 ถึงเดือนกันยายน 2564 ในพื้นที่จังหวัดนครราชสีมา สระบุรี นครสวรรค์ สุโขทัย เชียงใหม่ พะเยา ลำพูน และตาก ซึ่งใช้เป็นตัวแทนของพื้นที่ปลูกข้าวโพดในสภาพดินไร่ ทั้งหมด 10 สภาพแวดล้อม **(Table 2)** วางแผนการทดลองแบบสุ่มในบลอกสมบูรณ์ (randomized complete block design: RCBD) รวม 30 พันธุ์ จำนวน 3 ซ้ำ ขนาดแปลงย่อย (plot size) ปลูก 2 แถว แถวยาว 5 เมตร โดยใช้ระยะปลูก 0.75 × 0.20 ซม. (10,666 ต้น/ไร่) ใส่ปุ๋ยรองพื้นสูตร 15-15-15 อัตรา 40 กก./ไร่ พร้อมกับขั้นตอนการเตรียมดิน และใส่ยูเรีย (46-0-0) อัตรา 40 กก./ไร่ เมื่อข้าวโพดอายุ 21 วัน และเก็บเกี่ยวข้าวโพดที่อายุ 120 วัน และประเมินผลผลิตเป็นน้ำหนักเมล็ดที่ความชื้น 15%

การเก็บบันทึกข้อมูลผลการทดลอง

1. วันออกดอกตัวผู้ (days to anthesis) นับจากวันที่ให้น้ำครั้งแรกถึงวันที่ต้นข้าวโพดออกดอกตัวผู้ 50% ของจำนวนต้นทั้งหมดในแปลงย่อย

2. วันออกดอกตัวเมีย (days to silk) นับจากวันที่ให้น้ำครั้งแรกถึงวันที่ต้นข้าวโพดออกไหม 50% ของจำนวนต้นทั้งหมดในแปลงย่อย

3. ความสูงต้น (plant height) วัดจากพื้นผิวดินจนถึงข้อของใบธง โดยสุ่มวัดจำนวน 5 ต้นต่อหน่วยการทดลองในช่วงเวลาหลังวันออกไหมก่อนถึงวันเก็บเกี่ยวมีหน่วยเป็นเซนติเมตร แล้วหาค่าเฉลี่ย

4. ความสูงฝัก (ear height) วัดจากพื้นผิวดินจนถึงข้อของฝักบนสุด โดยสุ่มวัดจำนวน 5 ต้นต่อหน่วยการทดลองในช่วงเวลาหลังวันออกไหมก่อนถึงวันเก็บเกี่ยวมีหน่วยเป็นเซนติเมตร แล้วหาค่าเฉลี่ย

5. เปอร์เซ็นต์ความชื้นเมล็ด (grain moisture) โดยสุ่มวัดจากตัวอย่างของเมล็ดที่กะเทาะจากฝักที่เก็บเกี่ยวแล้ววัดโดยใช้เครื่องวัดความชื้นเมล็ด (Steinlite, SB 900)

6. เปอร์เซ็นต์กะเทาะ (shelling percentage) สัดส่วนของน้ำหนักเมล็ดต่อน้ำหนักทั้งฝัก มีหน่วยเป็นเปอร์เซ็นต์

7. ผลผลิต (yield) ชั่งน้ำหนักข้าวโพดทั้งฝักหลังปลอกเปลือกในหน่วยการทดลองทั้งหมดในแปลงแล้วปรับเป็นกิโลกรัมต่อไร่ที่ความชื้นของเมล็ด 15%

การวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติ

การวิเคราะห์ความแปรปรวนรวม (combine analysis of variance) ทำตามแผนการทดลองแบบสุ่มในบล็อกสมบูรณ์ ที่ปลูกหลายสภาพแวดล้อม (สุรพล, 2536; R Development Core Team, 2021) ที่ระดับความเชื่อมั่น 95% การวิเคราะห์ GGE ทำตามวิธีของ Yan et al. (2017) และการวิเคราะห์เสถียรภาพของพันธุ์ตามแบบของ Eberhart และ Russell (Eberhart and Russell, 1966) โดยใช้ Biometric.KPS (ชูศักดิ์, 2562; R Development Core Team, 2021)

Table 1 List the names of maize varieties

Entry	Varieties	Pedigree	Entry	Varieties	Pedigree
1	KSX5402	Ki48 x Ki60	16	KSX6103	Kei1803 x Ki48
2	KSX5720	Kei1420 x Ki60	17	KSX6108	Kei1808 x Ki48
3	KSX5731	Kei1421 x Ki48	18	KSX6109	Kei1809 x Ki48
4	KSX5819	Kei1519 x Ki60	19	KSX6110	Kei1810 x Ki48
5	KSX5821	Kei1521 x Ki60	20	KSX6112	Kei1812 x Ki60
6	KSX5918	Kei1618 x Ki60	21	KSX6201	Kei1901 x Ki48
7	KSX6007	Kei1707 x Ki60	22	KSX6202	Kei1902 x Ki48
8	KSX6009	Kei1709 x Ki48	23	KSX6204	Kei1904 x Ki60
9	KSX6010	Kei1710 x Ki48	24	CP303	Charoen Pokphand Produce
10	KSX6016	Kei1716 x Ki48	25	DK9979C	Monsanto thailand
11	KSX6017	Kei1717 x Ki48	26	P3875	Cortevar Agriscience
12	KSX6019	Kei1719 x Ki48	27	Pac789	Pacific Seed
13	KSX6021	Kei1721 x Ki48	28	S7328	Syngenta Seed
14	KSX6101	Kei1801 x Ki48	29	NS3	Department of Agriculture
15	KSX6102	Kei1802 x Ki48	30	Suwan4452	Kasetsart University

Table 2 List of the ten environments

Entry	Environments	Corp Seasons
E1	Pak Chong, Nakhon Ratchasima.	Early rainy season June 2021 – September 2021
E2	Sawankhalok, Sukhothai.	
E3	Wang Muang, Saraburi.	
E4	Tak Fa, Nakhon Sawan.	
E5	Phrao, Chiang Mai.	
E6	Muang Tak, Tak.	
E7	Mae Sot, Tak.	
E8	Phob Phra, Tak.	
E9	Muang Lamphun, Lamphun.	
E10	Muang Phayao, Phayao.	

ผลการศึกษาและวิจารณ์

ผลผลิตและเสถียรภาพของผลผลิต

จากการทดสอบความเป็นเอกภาพของความแปรปรวน (homogeneity of variance) ด้วยวิธี Bartlett's test โดยใช้ข้อมูลรวมจากทั้ง 10 สภาพแวดล้อม ที่ได้จากการปลูกทดสอบพันธุ์ลูกผสมก่อนการค้า จำนวน 23 พันธุ์ และพันธุ์ลูกผสมเปรียบเทียบ (check) จำนวน 7 พันธุ์ รวมเป็น 30 พันธุ์ พบว่า ข้อมูลความแปรปรวนมีความเป็นเอกภาพ มีค่าไคสแควร์เท่ากับ 67.1 ($P>0.05$) จึงนำข้อมูลของทั้ง 10 สภาพแวดล้อม มาวิเคราะห์ความแปรปรวนรวมของลักษณะผลผลิต โดยพบว่า สภาพแวดล้อม (E) พันธุกรรม (G) และ

ปฏิสัมพันธ์ระหว่างพันธุกรรมกับสภาพแวดล้อม (G x E) มีความแตกต่างทางสถิติอย่างมีนัยสำคัญยิ่ง (P<0.01) **(Table 3)** ซึ่งสอดคล้องกับหลายรายงานการทดลองที่ทดสอบผลผลิตพันธุ์ข้าวโพดในหลายสภาพแวดล้อม นอกจากนี้ ยังพบลักษณะทางการเกษตรอื่นๆ เช่น วันออกดอกตัวผู้ วันออกดอกตัวเมีย ความสูงต้น ความสูงฝัก เปอร์เซ็นต์ความชื้นเมล็ด เปอร์เซ็นต์กะเทาะ มีความแตกต่างทางสถิติอย่างมีนัยสำคัญ (Ratha et al., 2022; Ye et al., 2021; Kpotor et al., 2014)

Table 3 Mean square of combined ANOVA on grain yield and agronomic traits across ten environments

Source of variance	df	Grain yield (Kg/rai)	50% to tasseling (days)	50% to silking (days)	Plant height (cm)	Ear height (cm)	Grain moisture content (%)	Shelling percentage (%)
E	9	6551398**	112.6**	62.9**	149680**	135141**	2190.9**	1131.8**
Block./E	20	176101	9.81	11.33	702	412	10.3	14.5
G	29	304970**	23.662**	28.432**	1923.2**	1329.5**	20.781**	82.24**
G x E	261	73962**	3.055**	3.649**	297.8**	192.5**	4.185**	14.65**
Error	580	31165	1.755	1.845	147.6	101.3	1.004	7.56

**= Highly significant difference at P≤0.01

E = environments, G = genotype, G x E = genotype by environment interaction

ผลผลิตเฉลี่ยของพันธุ์ในแต่ละสภาพแวดล้อม **(Table 4)** มีค่าเฉลี่ยผลผลิตของการทดลอง 1,220 กก./ไร่ ผลผลิตเฉลี่ยของลูกผสมก่อนการค้า 23 พันธุ์ อยู่ระหว่าง 1,096-1,347 กก./ไร่ มีค่าเฉลี่ย 1,191 กก./ไร่ พันธุ์ลูกผสมก่อนการค้าที่ให้ผลผลิตเฉลี่ยสูง 4 ลำดับแรก ได้แก่ พันธุ์ KSX5720 (1,347 กก./ไร่), KSX5918 (1,336 กก./ไร่), KSX6108 (1,278 กก./ไร่) และพันธุ์ KSX5821 (1,269 กก./ไร่) ในขณะที่ผลผลิตเฉลี่ยของพันธุ์ลูกผสมร่วมทดสอบ 7 พันธุ์ มีผลผลิตเฉลี่ยอยู่ระหว่าง 1 ,094-1,448 กก./ไร่ และมีค่าเฉลี่ย 1,312 กก./ไร่ โดยพันธุ์ลูกผสมร่วมทดสอบที่ให้ผลผลิตเฉลี่ยสูงสุด 4 ลำดับแรก ได้แก่ พันธุ์ DK9979C (1,448 กก./ไร่), P3875 (1,413 กก./ไร่), CP303 (1,360 กก./ไร่) และ พันธุ์ PAC789 (1,357 กก./ไร่) ในขณะที่พันธุ์ Suwan4452 ที่ใช้เป็นพันธุ์เปรียบเทียบมาตรฐาน (check) ให้ผลผลิตเฉลี่ย 1,197 กก./ไร่

จากการวิเคราะห์เสถียรภาพของพันธุ์ด้วยวิธีของ Eberhart and Russell (1966) (Table 5) พบว่าค่าสัมประสิทธิ์รีเกรสชัน (regression coefficient, b) ของพันธุ์ส่วนใหญ่มีเสถียรภาพ (b = 1) ยกเว้นพันธุ์ KSX6102 (b=0.75*) และพันธุ์ KSX6110 (b=1.24*) โดยพันธุ์ที่มีค่า b มากกว่า 1 จะให้ผลผลิตดีในสภาพแวดล้อมที่เหมาะสมต่อการเจริญเติบโตและให้ผลผลิตต่ำกว่าค่าเฉลี่ยในสภาพแวดล้อมที่ไม่เหมาะสมต่อการเจริญเติบโต ในขณะที่ค่า b ที่น้อยกว่า 1 จะให้ผลในทางตรงกันข้าม (Eberhart and Russell, 1966)) พันธุ์ทดสอบที่ให้ผลผลิตสูง 4 พันธุ์ KSX5720 (b=1.18), KSX5821 (b=0.99), KSX5918 (b=1.16) และ KSX6108 (b=0.91) จัดเป็นพันธุ์ที่มีเสถียรภาพดีและมีศักยภาพในการให้ผลผลิตสูงตามเกณฑ์ของ Eberhart และ Russell (ชูศักดิ์, 2562) นอกจากนี้ยังมีผลผลิตเฉลี่ยอยู่ในระดับเดียวกับพันธุ์ลูกผสมการค้าจากภาคเอกชนที่ให้ผลผลิตดี เช่น CP303, PAC789 และ S7823

Table 4 Average grain yield of variety x environment, over 10 environments and regression coefficient (b)

Entry No.	Variety	Grain Yield										Average (kg/rai)	b
		E1	E2	E3	E4	E5	E6	E7	E8	E9	E10		
		kg/rai											
1	KSX5402	1,468	1,526	1,105	1,269	1,767	585	1,033	1,645	1,176	822	1,239	1.23^{ns}
2	KSX5720	1,618	1,461	1,289	1,498	1,772	706	1,093	1,483	1,598	952	1,347	1.18^{ns}
3	KSX5731	1,539	1,066	916	1,222	1,330	537	969	1,256	1,643	673	1,115	1.15^{ns}
4	KSX5819	1,247	1,215	1,091	1,431	1,610	433	1,400	1,610	1,376	806	1,222	1.09^{ns}
5	KSX5821	1,534	1,328	1,122	1,185	1,485	821	1,207	1,652	1,541	814	1,269	0.99^{ns}
6	KSX5918	1,821	1,266	1,132	1,275	1,658	818	1,119	1,571	1,761	943	1,336	1.16^{ns}
7	KSX6007	1,343	1,286	1,192	1,146	1,517	876	1,281	1,646	1,311	835	1,243	0.78^{ns}
8	KSX6009	1,184	962	1,087	1,271	1,651	916	761	1,306	1,260	770	1,117	0.93^{ns}
9	KSX6010	1,397	1,018	1,063	1,173	1,363	977	757	1,355	1,344	686	1,113	0.90^{ns}
10	KSX6016	1,394	1,063	987	1,318	1,492	948	853	1,328	1,148	662	1,119	0.92^{ns}
11	KSX6017	1,201	1,148	968	1,213	1,570	987	622	1,365	1,254	702	1,103	0.99^{ns}
12	KSX6019	1,255	1,096	1,129	1,161	1,355	857	662	1,437	1,391	612	1,096	1.06^{ns}
13	KSX6021	1,090	1,185	1,066	1,388	1,457	1,326	747	1,207	1,531	676	1,167	0.71^{ns}
14	KSX6101	1,274	875	1,048	1,331	1,551	1,113	875	1,367	1,258	642	1,133	0.86^{ns}
15	KSX6102	1,306	1,148	1,025	1,269	1,492	932	1,043	1,335	1,275	805	1,163	0.75*
16	KSX6103	1,225	1,191	1,109	1,251	1,585	877	614	1,462	1,468	860	1,164	1.08^{ns}
17	KSX6108	1,586	1,362	1,040	1,284	1,803	1,154	1,054	1,246	1,505	747	1,278	0.91^{ns}
18	KSX6109	1,157	1,327	1,110	1,382	1,635	852	679	1,491	1,377	889	1,190	1.07^{ns}
19	KSX6110	1,410	1,011	1,040	1,415	1,633	766	911	1,576	1,520	772	1,205	1.24*
20	KSX6112	1,075	1,138	991	1,452	1,579	534	930	1,146	1,224	924	1,099	0.88^{ns}
21	KSX6201	1,040	1,470	1,203	1,616	1,604	723	871	1,616	1,212	735	1,209	1.16^{ns}

Table 4 Average grain yield of variety x environment, over 10 environments and regression coefficient (b) (continued)

Entry No.	Variety	Grain Yield										Average (kg/rai)	b
		E1	E2	E3	E4	E5	E6	E7	E8	E9	E10		
		kg/rai											
22	KSX6202	1,418	932	1,019	1,475	1,743	799	1,199	1,722	1,481	633	1,242	1.28^{ns}
23	KSX6204	1,367	1,451	1,064	1,348	1,539	493	1,096	1,691	1,272	968	1,229	1.11^{ns}
24	CP303	1,516	1,400	1,239	1,690	1,671	1,109	1,041	1,551	1,532	855	1,360	1.02^{ns}
25	DK9979C	1,699	1,573	1,210	1,814	1,544	934	1,060	1,755	1,672	1,220	1,448	1.07^{ns}
26	P3875	1,497	1,510	1,362	1,522	1,765	1,130	840	1,820	1,346	1,339	1,413	0.88^{ns}
27	PAC789	1,667	1,548	1,383	1,739	1,419	776	918	1,759	1,425	939	1,357	1.21^{ns}
28	S7328	1,687	1,421	1,350	1,555	1,444	716	867	1,711	1,377	1,016	1,314	1.16^{ns}
29	NS3	1,463	1,041	1,122	1,298	1,043	658	768	1,504	1,240	806	1,094	0.94^{ns}
30	Suwan4452 (check)	1,226	1,163	1,032	1,480	1,363	1,147	726	1,487	1,455	891	1,197	0.83^{ns}
Mean of Checks		**1,536**	**1,379**	**1,243**	**1,585**	**1,464**	**924**	**889**	**1,655**	**1,435**	**1,009**	**1,312**	-
Over all Mean		**1,390**	**1,239**	**1,116**	**1,382**	**1,548**	**850**	**933**	**1,503**	**1,399**	**833**	**1,220**	-
F-test (V)		**	**	**	**	**	**	**	**	**	**	**	-
F-test (E)		-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	**	
F-test (V x E)		-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	**	
C.V. (%)		**12.7**	**14.2**	**15.8**	**12.8**	**11.4**	**20.8**	**18.9**	**11.7**	**12.6**	**21.2**	**14.5**	-

*= Significant difference at P≤0.05, **= Highly significant difference at P≤0.01

การวิเคราะห์เสถียรภาพจากค่าอิทธิพลหลักของพันธุกรรมบวกปฏิสัมพันธ์ระหว่างพันธุกรรมกับสภาพแวดล้อม (GGE) จากกราฟไบพลอท which-won-where **(Figure 1)** อธิบายความแปรปรวนทั้งหมดได้ 56.22% (PC1 = 38.32% และ PC2 = 17.9%) โดยเปอร์เซ็นต์ยิ่งสูงเป็นสิ่งที่ดี ซึ่งมีความแตกต่างกันไปในแต่ละรายงาน เช่น 76.42 (Ratha et al., 2022), 80% (Olanrewaju et al., 2021), 67.86% (Naggar et al., 2020), 62.40% (Mitrović et al., 2012) และ 73.5% (Apraku et al., 2012) โดยความแตกต่างเหล่านี้สามารถอธิบายได้จากการปฏิสัมพันธ์ระหว่างพันธุกรรมและสภาพแวดล้อมที่แตกต่างกันในแต่ละการทดลอง กล่าวคือ พันธุกรรมของข้าวโพดในแต่ละพันธุ์จะตอบสนองต่อสภาพแวดล้อมที่แตกต่างกัน ซึ่งจะมีผลต่อผลลัพธ์ขององค์ประกอบหลัก PC1 และ PC2 (principal components, PC) ที่สะท้อนถึงการปรับตัวและเสถียรภาพในสภาพแวดล้อมต่างๆ (Ratha et al., 2022) นอกจากนี้ ความแตกต่างในค่าความแปรปรวนขององค์ประกอบหลัก (PC1 และ PC2) ยังสามารถเกิดจากหลายปัจจัย เช่น ความหลากหลายทางพันธุกรรมของพันธุ์ที่ใช้ในการทดลอง ซึ่งอาจแตกต่างกันในแต่ละการศึกษา ส่งผลให้ความสามารถในการอธิบายความแปรปรวนจาก PC1 และ PC2 แตกต่างกัน (Olanrewaju et al., 2021) และอีกหนึ่งปัจจัยที่มีผลต่อค่าความแปรปรวนคือ ขนาดตัวอย่างและวิธีการศึกษาที่ใช้ในการเก็บข้อมูล ซึ่งสามารถส่งผลต่อความแม่นยำในการคำนวณค่า PC (Naggar et al., 2020) ดังนั้นจากกราฟพันธุกรรมที่อยู่บนจุดยอดของรูปหลายเหลี่ยม (polygon) แสดงถึงผลผลิตผลผลิตดีที่สุดในแต่ละกลุ่มของสภาพแวดล้อม พันธุกรรมที่อยู่จุดยอดของแต่ละสภาพแวดล้อมคือพันธุ์ที่ให้ผลผลิตดีที่สุดในสภาพแวดล้อมนั้นๆ โดยมีเส้นตั้งฉากที่ลากจากจุดกำเนิด (0,0) และตั้งฉากกับเส้นที่ลากระหว่างจุดยอด 2 จุดแบ่งออกเป็นส่วนๆ (sector) (Kang, 1998; Yan et al., 2000) จาก 10 สภาพแวดล้อมที่ใช้ทดสอบ กราฟไบพลอทสามารถแบ่งสภาพแวดล้อมออกเป็น 3 ส่วน คือ ส่วนที่ 1 ประกอบด้วย E1, E2, E3, E4, E5, E8, E9 และ E10 จัดเป็นสภาพแวดล้อมส่วนใหญ่ของการทดลอง โดยพันธุ์ DK9979C (25) เป็นพันธุ์ที่อยู่จุดยอดมุม และมี 5 พันธุ์ คือ พันธุ์ KSX5720 (2), KSX5918 (6), PAC789 (27), S7328 (28), และ KSX6201 (21) อยู่ในส่วนนี้ ชี้ให้เห็นว่าพันธุ์ดังกล่าวนี้ให้ผลผลิตดีในสภาพแวดล้อมที่อยู่ในส่วนนี้ ส่วนที่ 2 มีสภาพแวดล้อม E7 (อ.แม่สอด จ.ตาก) พันธุ์ที่ให้ผลผลิตสูงสุดในสภาพแวดล้อมนี้ได้แก่พันธุ์ KSX5819 (4) และมีพันธุ์ที่อยู่ในส่วนนี้ 7 พันธุ์ และส่วนที่ 3 มีสภาพแวดล้อม E6 (อ.เมือง จ.ตาก) โดยมีพันธุ์ที่ให้ผลผลิตสูงสุดได้แก่พันธุ์ KSX6201 (13) และมีพันธุ์ที่อยู่ในส่วนนี้ 7 พันธุ์

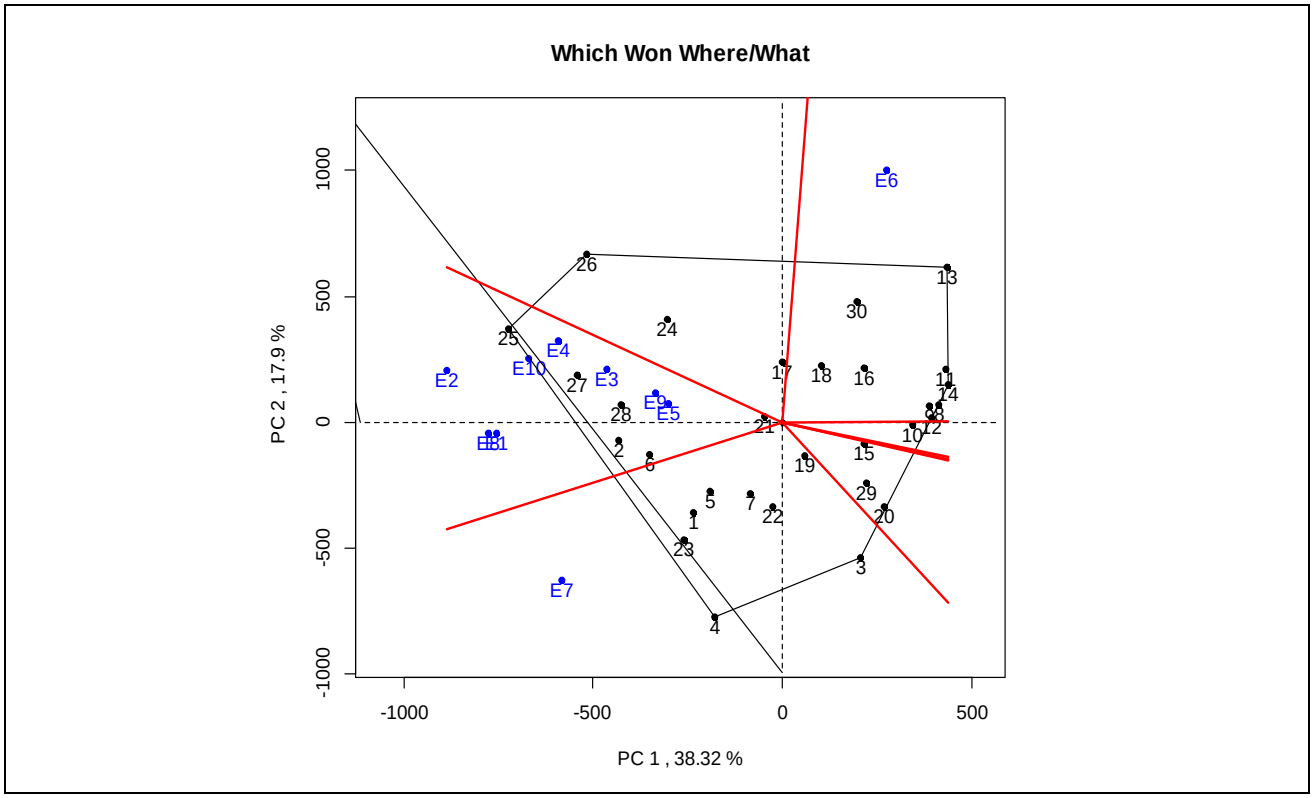


Figure 1 Which won where biplot for the grain yield of maize (kg/rai) with 30 varieties and the 10 environments

พันธุ์พืชในอุดมคติจะต้องเป็นพันธุ์ที่มีเสถียรภาพของพันธุ์สูง และให้ค่าเฉลี่ยผลผลิตสูงด้วยเมื่อปลูกทดสอบผลผลิตในหลายสภาพแวดล้อม กราฟไบพลอทค่าเฉลี่ยเปรียบเทียบกับเสถียรภาพ (mean vs. stability biplot) **(Figure 2)** ใช้ตรวจสอบการแสดงออกของพันธุกรรมและเสถียรภาพของพันธุ์ ถ้าพิจารณาจากกราฟไบพลอทค่าเฉลี่ยเปรียบเทียบกับเสถียรภาพ พันธุ์ในอุดมคติคือพันธุ์ที่อยู่ด้านเดียวกับศูนย์กลางวงกลม (concentric circle) ที่อยู่บนแกนสภาพแวดล้อมเฉลี่ย (average environment axis, AEA) (Yan et al., 2000; Yan et al., 2007; Mushayi et al., 2020) คู่ผสมหรือพันธุกรรมที่อยู่ใกล้กับเส้น AEA จะเป็นพันธุ์ที่มีเสถียรภาพสูง เส้นทึบในแนวดิ่งที่ตั้งฉากกับเส้น AEA และผ่านจุดกำเนิด (0, 0) แสดงถึงค่าเฉลี่ยผลผลิตของพันธุกรรมที่ใช้ในการทดสอบพันธุ์ ผลการทดลองชี้ให้เห็นว่า พันธุ์ DK9979 (25) เป็นพันธุ์ในอุดมคติที่ต้องการ เนื่องจากมีตำแหน่งอยู่ด้านเดียวกับศูนย์กลางวงกลม และอยู่ไกลจากจุดกำเนิดมากที่สุด (มีผลผลิตสูงสุด) และลำดับของคู่ผสมที่ให้ผลผลิตรองลงมาคือ P3875 (26), PAC789 (27), S7328 (28), CP303 (24), KSX5720 (2) และ KSX5918 (6) เป็นต้น ส่วนพันธุ์ที่อยู่ทางด้านตรงกันข้ามกับศูนย์กลางวงกลมเป็นพันธุ์ที่ให้ผลผลิตต่ำกว่าค่าเฉลี่ย โดยพันธุ์นครสวรรค์ 3 (29), KSX6019 (12) และ KSX6112 (20) เป็นพันธุ์ที่ให้ผลผลิตต่ำที่สุด นอกจากนี้ ความยาวของเส้นประที่ลากจากพันธุกรรมมาตั้งฉากกับเส้น AEA เส้นที่ยาวกว่าหมายถึงมีความแปรปรวนมากกว่าและมีเสถียรภาพต่ำกว่าเมื่อปลูกในหลายสภาพแวดล้อมที่ทำการทดสอบ ดังนั้น เสถียรภาพของผลผลิตจากสูงมาต่ำเป็นดังนี้ PAC789 (27), S7328 (28), DK9979 (25), KSX5720 (2), KSX5918 (6), CP303 (24) และ P3875 (26) เป็นต้น และพันธุ์ที่มีเสถียรภาพของผลผลิตต่ำสุดคือคู่ผสม SW 5819 (4) เนื่องจากมีเส้นประที่ยาวที่สุด ความมีเสถียรภาพของพันธุ์ขึ้นอยู่กับระยะทางของเส้นตั้งฉาก (เส้นประ) ที่ลากตั้งฉากจากพันธุ์มายังเส้น AEA พันธุกรรมที่มีเส้นประที่สั้นกว่ามีเสถียรภาพของผลผลิตสูงกว่าพันธุ์อื่นๆ ที่มีเส้นประที่ยาวกว่า (Yan et al., 2007; Mushayi et al., 2020) อย่างไรก็ตาม พันธุ์ที่ดีที่สุดควรจะมีทั้งผลผลิตที่สูง และมีเสถียรภาพของผลผลิตที่ดีด้วย ดังนั้นพันธุ์ลูกผสมก่อนการค้า KSX5720 (2) และ KSX5918 (6) เป็นพันธุ์ที่มีศักยภาพของการให้ผลผลิตดี และมีเสถียรภาพดีเมื่อเปรียบเทียบกับพันธุ์เปรียบเทียบจากภาคเอกชนที่ให้ผลผลิตดี และมีเสถียรภาพของผลผลิตดี เช่น PAC789 (27), S7328 (28) และ DK9979 (25) ในขณะที่พันธุ์ KSX6102 (15) และพันธุ์ KSX6201 (21) เป็นพันธุ์ที่มีเสถียรภาพของผลผลิตสูงสุด แต่ผลิตเฉลี่ยค่อนข้างต่ำ

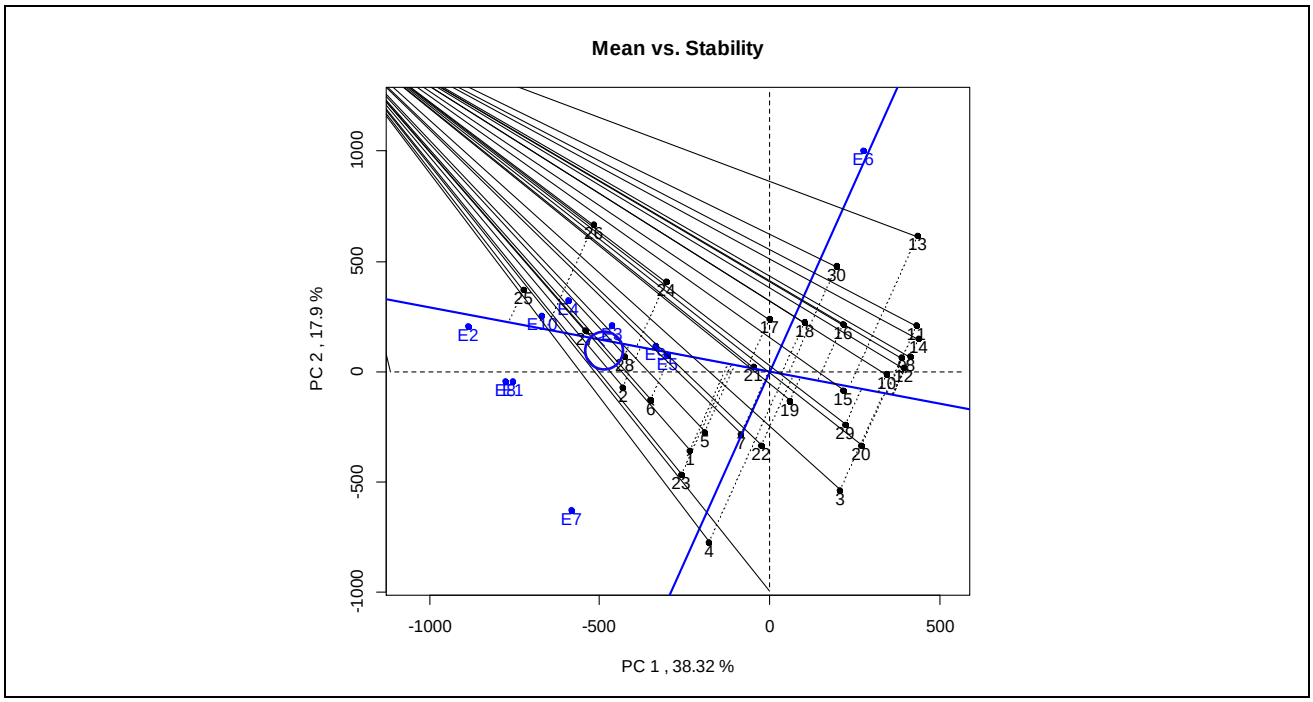
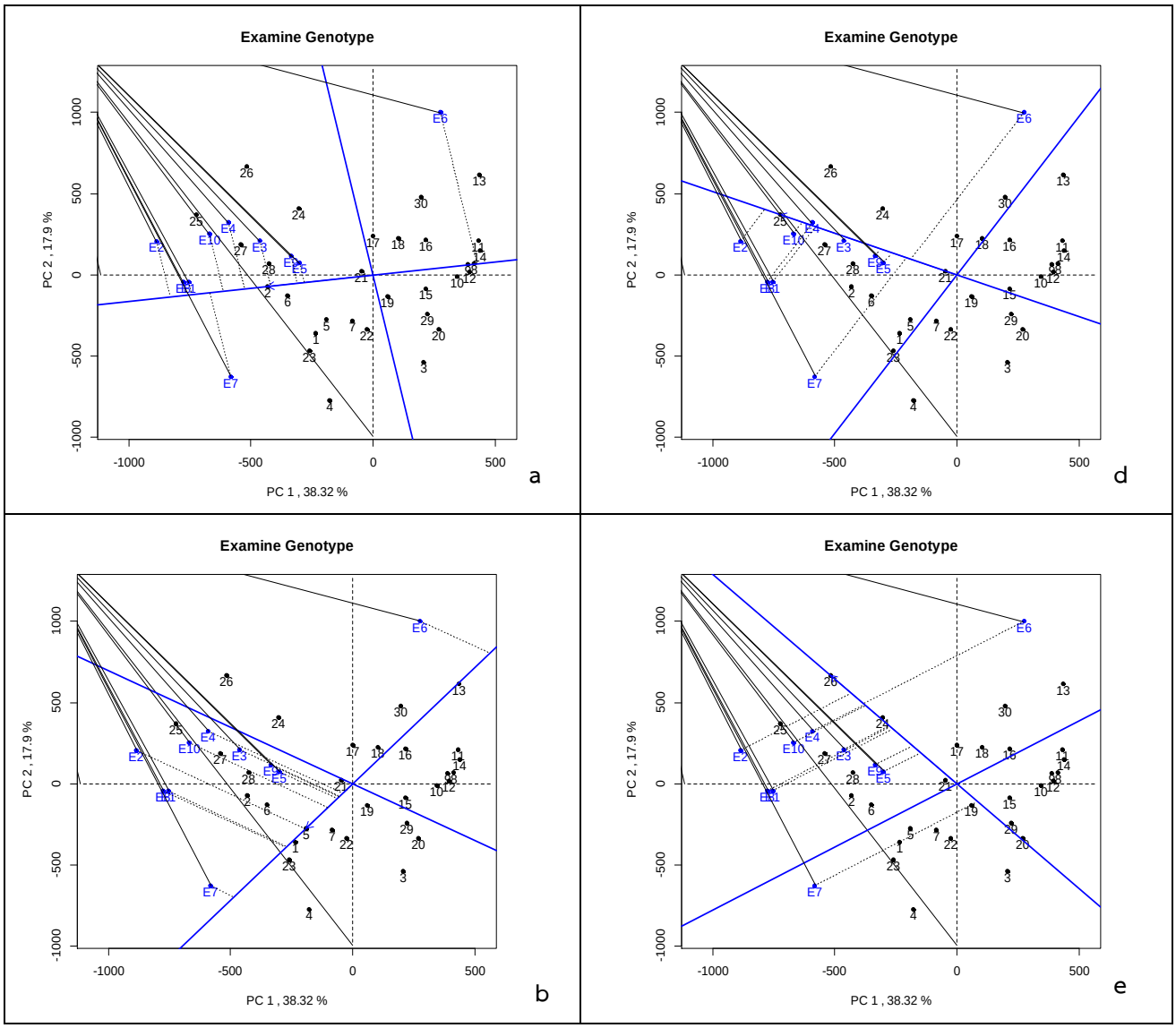


Figure 2 Evaluation of ten maize hybrids based on both grain yield and stability performance across nine environments.

การจัดลำดับของสภาพแปลงปลูกด้วยพันธุ์ทดสอบ (ranking the field conditions based on the genotype performance) กราฟ GGE biplot สามารถใช้จัดลำดับของสภาพแวดล้อมเพื่อประเมินความสามารถในการปรับตัวเฉพาะของพืชที่ปลูกทดสอบในแต่ละสภาพแวดล้อม ความเหมาะสมของสภาพแวดล้อมที่จำเพาะต่อพันธุกรรมหมายถึงตำแหน่งของสภาพแวดล้อมที่อยู่ด้านเดียวกับเวคเตอร์ของพันธุกรรมและไกลจากจุดกำเนิดของกราฟไบพลอท (Yan et al., 2000; Yan et al., 2007) ผลการทดลองชี้ให้เห็นว่า พันธุ์ KSX5720 (2) มีผลผลิตสูงที่สภาพแวดล้อม E2, E8, E1, E7, E10, E4, E3, E9 และ E5 ตามลำดับ แต่ที่สภาพแวดล้อม E6 พันธุ์ดังกล่าวนี้จะให้ผลผลิตต่ำกว่าผลผลิตเฉลี่ย **(Figure 3 a)** พันธุ์ KSX5821 (5), **(Figure 3 b)** มีผลผลิตสูงที่สภาพแวดล้อม E7, E8, E1, E2, E10, E5, E9, E3 และ E4 ตามลำดับ และพันธุ์ KSX5918 (6) **(Figure 3 c)** มีผลผลิตสูงที่สภาพแวดล้อม E7, E2, E8, E1, E10, E4, E3, E9 และ E5 ตามลำดับ ในขณะที่พันธุ์ DK9979C (25) **(Figure 3 d)** มีผลผลิตสูงที่สภาพแวดล้อม E2, E10, E4, E8, E1, E3, E9, E5, E7 และ E6 ตามลำดับ และพันธุ์ P3875 (26) **(Figure 3 e)** มีผลผลิตสูงที่สภาพแวดล้อม E2, E6, E4, E10, E3, E8, E1, E9, และ E5 ตามลำดับ ในขณะที่พันธุ์เปรียบเทียบ Suwan4452 (30) **(Figure 3 f)** มีผลผลิตสูงที่สภาพแวดล้อม E7, E8, E1, E2, E5, E3 และ E10 ตามลำดับ แต่ที่สภาพแวดล้อม E3, E4 และ E6 พันธุ์ดังกล่าวนี้จะให้ผลผลิตต่ำกว่าผลผลิตเฉลี่ย



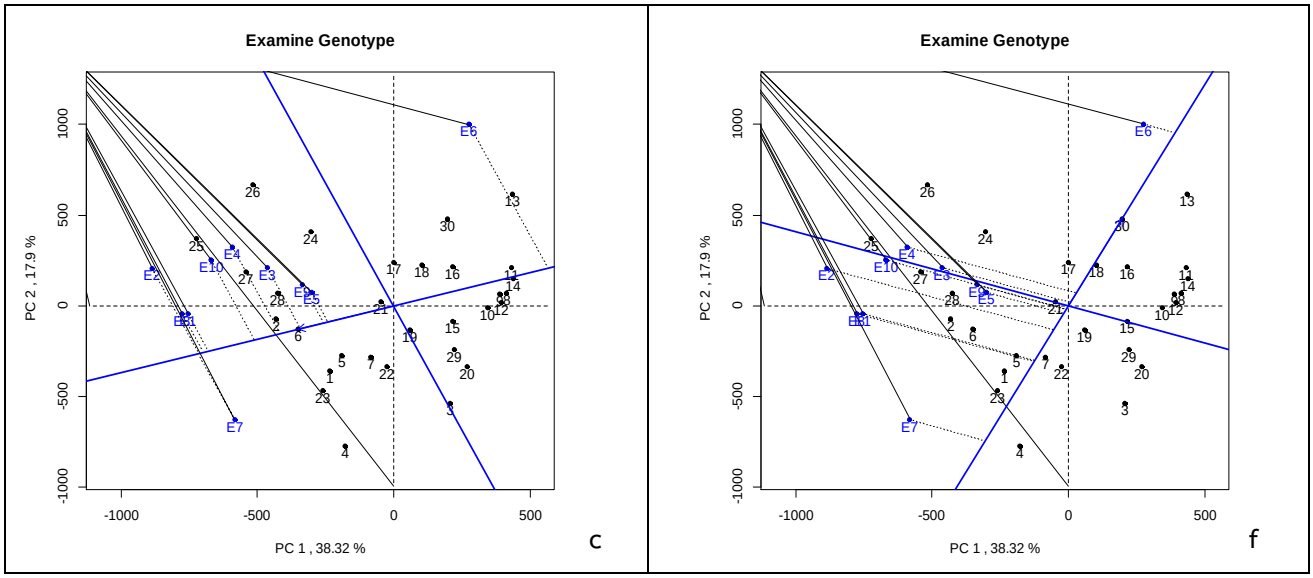


Figure 3 The ranks of the test environments based on the relative performance; (a) KSX5720 (2), (b) KSX5821 (5), (c) KSX5918 (6), (d) DK9979C (25), (e) P3875 (26) and (f) Suwan4452 (30)

ลำดับของสภาพแวดล้อมทดสอบเมื่อเทียบกับสภาพแวดล้อมในอุดมคติและพันธุกรรม (ranking test environments relative to the ideal environment and genotype) จากภาพแกนสภาพแวดล้อมเฉลี่ย (AEA) **(Figure 4)** หรืออาจเรียกว่า แกนตัวทดสอบเฉลี่ย (average tester axis) (Ye, et al., 2021) แกนสภาพแวดล้อมเฉลี่ยเป็นเส้นที่ลากผ่านจุดกำเนิด (0, 0) ไปยังมีวงกลมขนาดเล็กที่มีหัวลูกศรอยู่ตรงกลาง (ค่าเฉลี่ยพิกัดของ PC1 และ PC2 ของทุกสภาพแวดล้อมที่ใช้ในการทดสอบพันธุ์ หรือเป็นสภาพแวดล้อมในอุดมคติ) สภาพแวดล้อมที่อยู่ใกล้กับสภาพแวดล้อมในอุดมคติเป็นสภาพแวดล้อมที่ต้องการ (Yan et al., 2000) ดังนั้น สภาพแวดล้อมทดสอบ (test environment) ที่ทำมุมแคบกับแกน AEA จะเป็นตัวแทนของสภาพแวดล้อมที่ดี ดังนั้น สภาพแวดล้อม E9, E5, E2 และ E10 **(Table 2)** เป็นตัวแทนของการทดสอบผลผลิตที่ดีกว่าสภาพแวดล้อม E6 และ E7 อย่างไรก็ตาม สภาพแวดล้อมที่มีทั้งความสามารถในการจำแนก (discriminating) พันธุกรรม และเป็นตัวแทน (representative) สภาพแวดล้อมที่ดีคือสภาพแวดล้อม E2 เนื่องจากทำมุมแคบกับเส้น AEA และอยู่ห่างจากจุดกำเนิดมากที่สุด เป็นสภาพแวดล้อมที่ใช้สำหรับคัดเลือกพันธุกรรมที่ปรับตัวเข้ากับสภาพแวดล้อมทั่วไป (general adapted genotype) ส่วนสภาพแวดล้อมที่มีความสามารถในการจำแนก แต่ไม่ใช่ตัวแทนสภาพแวดล้อมทดสอบที่ดี (longer vector and larger angle with the AEA axis) คือ E6 และ E7 สภาพแวดล้อมเหล่านี้จะมีประโยชน์สำหรับการคัดเลือกพันธุกรรมที่ปรับตัวเฉพาะกับสภาพแวดล้อมนั้นๆ ไม่สามารถใช้คัดเลือกพันธุกรรมที่ดีในหลายสภาพแวดล้อม (Apraku et al., 2012) และจะถือว่าเป็นสภาพแวดล้อมที่ไม่ดีสำหรับคัดเลือกพันธุกรรมที่มีความสามารถในการปรับตัวสูง (Kumar et al., 2014)

สภาพแวดล้อมในอุดมคติ หมายถึงสภาพแวดล้อมที่สามารถจำแนกพันธุกรรม และเป็นตัวแทนของสภาพแวดล้อมทดสอบมากที่สุด สภาพแวดล้อมในอุดมคติเป็นศูนย์กลางของวงกลมที่อยู่บนเส้น AEA ดังนั้น สภาพแวดล้อม E2 (อ.สวรรคโลก จ.สุโขทัย) อยู่ใกล้จุดนี้มากที่สุด **(Figure 5)** แสดงว่าเป็นสภาพแวดล้อมที่ดีที่สุดสำหรับการคัดเลือกพันธุ์ที่ปรับตัวเข้ากับพื้นที่ปลูกทั้งหมด ส่วนสภาพแวดล้อม E6 และ E7 เป็นสภาพแวดล้อมที่แย่ที่สุด ถ้าพิจารณาจากพื้นที่ปลูกและสภาพแวดล้อมที่เกิดขึ้นจริงในระหว่างการปลูกพืชทดลอง สภาพแวดล้อม E6 และ E7 เป็นสภาพแวดล้อมที่ให้ผลผลิตเฉลี่ยต่ำสุดเมื่อเปรียบเทียบกับสภาพแวดล้อมอื่นๆ ดังนั้น อาจทำให้สภาพแวดล้อมดังกล่าวนี้ไม่ได้สะท้อนถึงผลผลิตเฉลี่ยที่เกิดขึ้นจากสภาพแวดล้อมทั้งหมด และเป็นสภาพแวดล้อมที่ไม่เหมาะสมสำหรับปลูกข้าวโพด

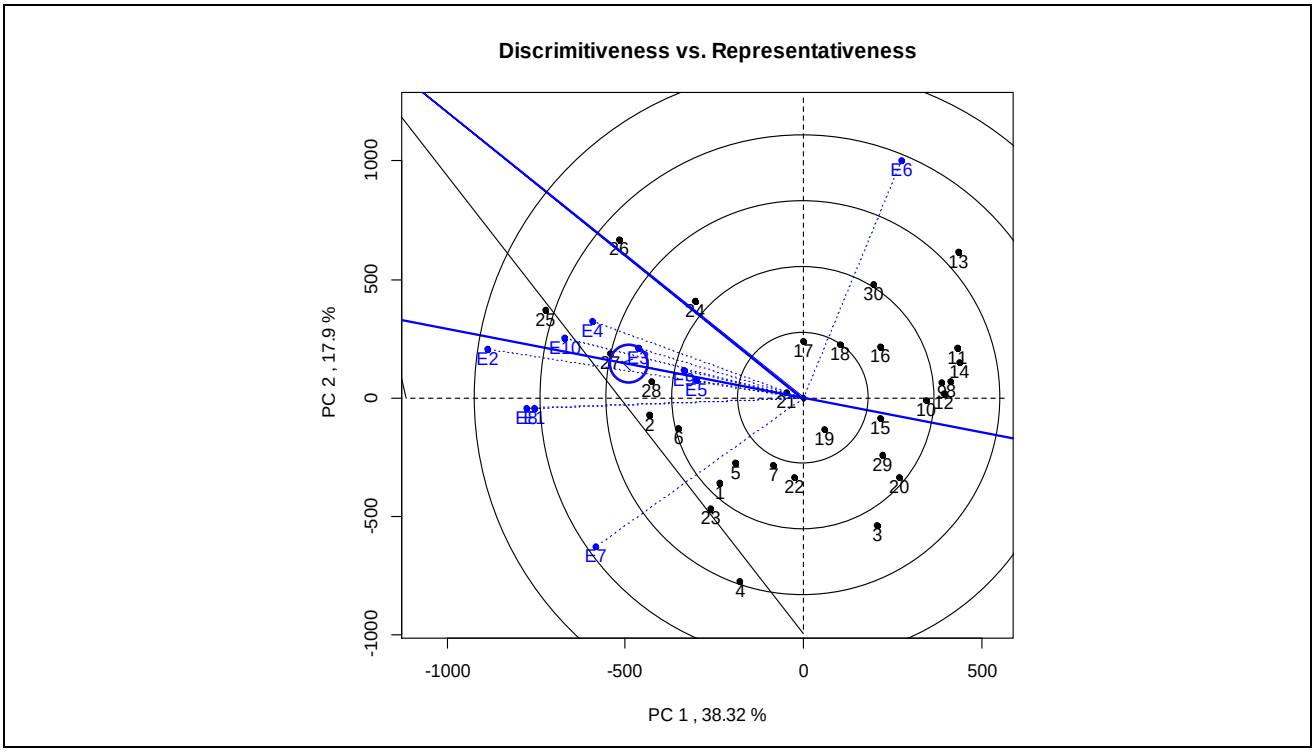


Figure 4 GGE biplot of the discriminating and representativeness ability of the test environments.

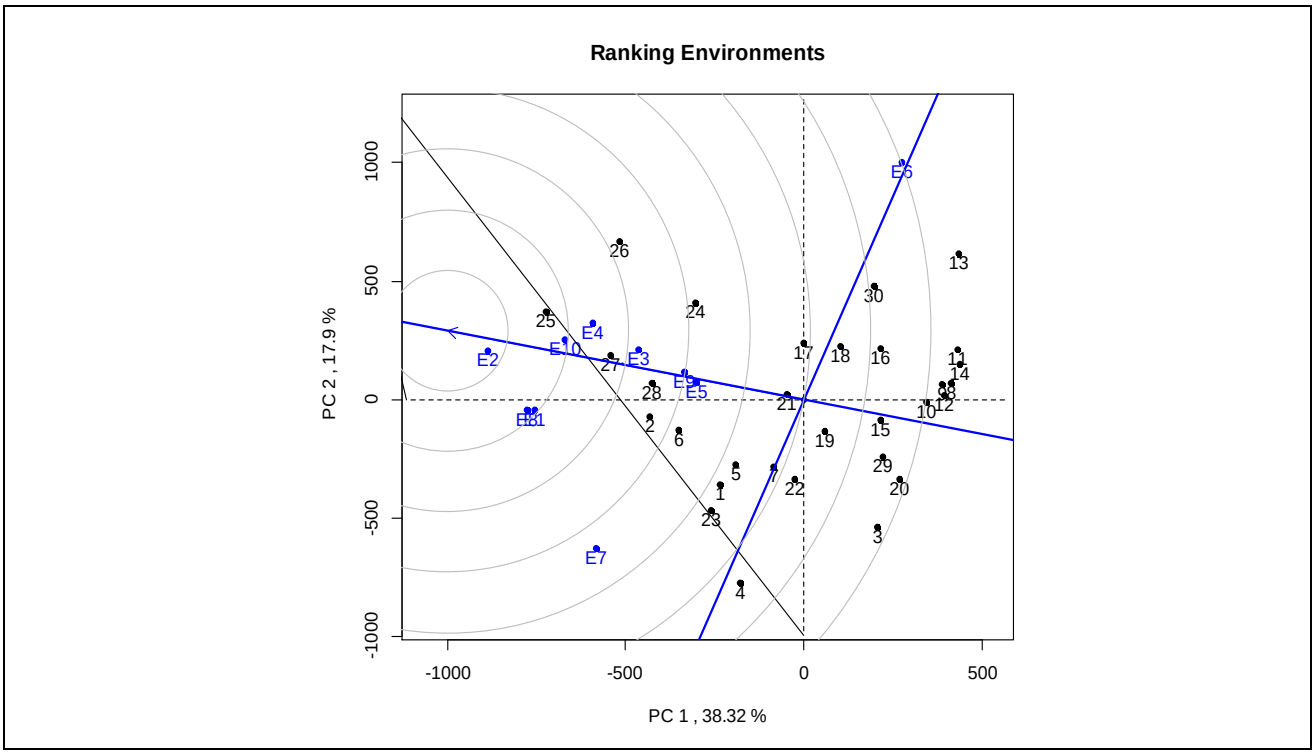


Figure 5 GGE biplot of the ranks test environments relative to an ideal test environment.

สรุป

ผลผลิตของการปลูกพืชขึ้นอยู่กับพันธุกรรม (G) สภาพแวดล้อม (E) และปฏิสัมพันธ์ระหว่างพันธุกรรมกับสภาพแวดล้อม (GE) ดังนั้น การวิเคราะห์ GGE biplot เป็นวิธีที่มีประสิทธิภาพในการประเมินเสถียรภาพผลผลิตของพันธุ์ข้าวโพดลูกผสมก่อนการค้าของศูนย์วิจัยข้าวโพดและแล้วฟ่างแห่งชาติ โดยพันธุ์ KSX5720 และ KSX5918 เป็นพันธุ์ที่มีเสถียรภาพดีและให้ผลผลิตสูงใกล้เคียงกับพันธุ์การค้าของบริษัทเอกชน และให้ผลผลิตดีกว่าพันธุ์สุวรรณ 4452 ประมาณ 10% และสามารถใช้เป็นพันธุ์การค้าพันธุ์ใหม่ได้

คำขอบคุณ

ขอขอบคุณ สถาบันวิจัยและพัฒนาแห่งมหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ ที่สนับสนุนงบวิจัยแก่โครงการ การประเมินศักยภาพและเสถียรภาพการให้ผลผลิตของข้าวโพดลูกผสมก่อนการค้าของศูนย์วิจัยข้าวโพดและข้าวฟ่างแห่งชาติ

เอกสารอ้างอิง

ชูศักดิ์ จอมพุก. 2562. วิธีวิเคราะห์ทางพันธุศาสตร์ปริมาณในการปรับปรุงพันธุ์พืช. สำนักพิมพ์มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, กรุงเทพฯ.

สำนักงานเศรษฐกิจการเกษตร 2566. สถานการณ์สินค้าเกษตรที่สำคัญและแนวโน้ม ปี 2566. สำนักวิจัยเศรษฐกิจการเกษตร สำนักงานเศรษฐกิจการเกษตร กระทรวงเกษตรและสหกรณ์ .

สุรพล อุปดิสสกุล. 2536. สถิติการวางแผนการทดลอง เล่ม 1. มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, กรุงเทพฯ.

Al-Naggar, A., M. Shafik, and R. Musa. 2020. Ammi and gge biplot analyses for yield stability of nineteen maize genotypes under different nitrogen and irrigation levels. Plant Arch. 20: 4431-4443.

Annicchiarico, P., F. Bellah, and T. Chiari. 2005. Defining subregions and estimating benefits for a specific-adaptation strategy by breeding programs: A case study. Crop Science. 45: article ID 1741-9.

Badu-Apraku, B., M. Oyekunle, K. Obeng-Antwi, A. Osuman, S. Ado, N. Coulibay, and A. Didjeira. 2012. Performance of extra-early maize cultivars based on GGE biplot and AMMI analysis. The Journal of Agricultural Science. 150: 473-483.

Balestre, M., J. C. de Souza, R. G. Von Pinho, R. L. de Oliveira, and J. M. Paes. 2009. Yield stability and adaptability of maize hybrids based on GGE biplot analysis characteristics. Crop Breeding and Applied Biotechnology. 9: 219-28.

Changizi, M., R. Choukan, E. M. Heravan, M. R. Bihamta, and F. Darvish. 2014. Evaluation of genotype × environment interaction and stability of corn hybrids and relationship among univariate parametric methods. Canadian Journal of Plant Science. 94: 1255-1267.

Eberhart, S.t. and W. Russell. 1966. Stability Parameters for Comparing Varieties 1. Crop science. 6: 36-40.

Gauch, J. H., and R. Zobel. 1996. AMMI analysis of yield trails. Genotype by Environment Interaction (Kang M and Gauch Junior HG, eds.). CRC Press, Boca Raton.

Kang, M. 1998. Using genotype-by-environment interaction for crop cultivar development. Advances in Agronomy. 62: 199-252.

Kpotor, P., R. Akromah, M. B. Ewool, A. W. Kena, E. Owusu-Adjei, and H. O. Tuffour. 2014. Assessment of the relative yielding abilities and stability of maize (*Zea mays* L.) genotypes under different levels of nitrogen fertilization across two agro-ecological zones in Ghana. International Journal of Scientific Research in Agricultural Sciences. 1: 128-141.

Kumar, V., A. Rathore, A. Kharub, D. Kumar, and I. Sharma. 2014. GGE biplot analysis of multi-locational yield trials and identification of representative environments for barley (Hordeum vulgare L.) in India. Research on Crops. 15: 871-875.

McPherson, M. 2022. An application of GGE biplot to cotton variety development. Crop Breeding, Genetics and Genomics. 4: article ID e220001.

Mitrović, B., D. Stanisavljević, S. Treskić, M. Stojaković, M. Ivanović, G. Bekavac, and M. Rajković. 2012. Evaluation of experimental maize hybrids tested in multi-location trials using AMMI and GGE biplot analyses. Turkish Journal of Field Crops. 17: 35-40.

Mushayi, M., H. Shimelis, J. Derera, A. I. T. Shayanowako, and I. Mathew. 2020. Multi-environmental evaluation of maize hybrids developed from tropical and temperate lines. Euphytica. 216: 1-14.

Olanrewaju, O. S., O. Oyatomi, O. O. Babalola, and M. Abberton. 2021. GGE biplot analysis of genotype× environment interaction and yield stability in Bambara groundnut. Agronomy. 11: article ID 1839.

Ruswandi, D., M. Syafii, H. Maulana, M. Ariyanti, N. P. Indriani, and Y. Yuwariah. 2021. GGE biplot analysis for stability and adaptability of maize hybrids in western region of Indonesia. International Journal of Agronomy. 2021: article ID 2166022.

Sharma, S. P., D. I. Leskovar, K. M. Crosby, and A. Ibrahim. 2020. GGE biplot analysis of genotype-by-environment interactions for melon fruit yield and quality traits. HortScience. 55: 533-542.

Snedecor, G., and W. G. Cochran. 1980. One way classifications; analysis of variance In Statistical methods. Ames, IA: The Iowa State University Press. Iowa.

Troyer, A., S. Openshaw, and K. Knittle. 1988. Measurement of genetic diversity among popular commercial corn hybrids. Crop Science. 28: 481-485.

Yan, W., L. A. Hunt, Q. Sheng, and Z. Szlavnics. 2000. Cultivar evaluation and mega-environment investigation based on the GGE biplot. Crop Science. 40: 597-605.

Yan, W., and L. A. Hunt. 2002. In: Kang MS, editor. Biplot Analysis of multi-environment trial data. Quantitative genetics, genomics, and plant breeding. 2nd edition. USA: Kansas State University.

Yan, W., M. S. Kang, B. Ma, S. Woods, and P. L. Cornelius. 2007. GGE biplot vs. AMMI analysis of genotype-by-environment data. Crop Science. 47: 643-653.

Yan, W., and N. A. Tinker. 2006. Biplot analysis of multi-environment trial data: principles and applications. Canadian Journal of Plant Science. 86: 623-645.

Yan, W. 2011. GGE biplot vs. AMMI graphs for genotype-by-environment data analysis. Journal of the Indian Society of Agricultural Statistics. 65: 181-193.

Ye, M., Z. Chen, B. Liu, and H. Yue. 2021. Stability analysis of agronomic traits for maize (*Zea mays* L.) genotypes based on ammi model. Bangladesh Journal of Botany. 50: 343-350.