

# การประเมินเสถียรภาพผลผลิตในอ้อยพันธุ์กำแพงแสน ชุดปี 2007 Evaluation of Yield Stability in Kamphaeng Saen Sugarcane Variety Series 2007

กานต์รวี ศรีพวงผกาพันธุ์<sup>1,\*</sup> และ เรวัต เลิศฤทัยโยธิน<sup>1,2</sup>  
Karnrawee Sripongpakapun<sup>1,\*</sup> and Rewat Lersrutaiyotin<sup>1,2</sup>

<sup>1</sup> ภาควิชาพืชไร่ฯ คณะเกษตร กำแพงแสน มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ วิทยาเขตกำแพงแสน นครปฐม 73140

<sup>2</sup> ศูนย์วิจัยและพัฒนาอ้อยและน้ำตาล ภาควิชาพืชไร่ฯ คณะเกษตร กำแพงแสน มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ วิทยาเขตกำแพงแสน นครปฐม 73140

<sup>1</sup> Department of Agronomy, Faculty of Agriculture at Kamphaeng Saen, Kasetsart University, Kamphaeng Saen Campus, Nakhon Pathom 73140

<sup>2</sup> Cane and Sugar Research and Development Center, Department of Agronomy, Faculty of Agriculture at Kamphaeng Saen, Kasetsart University, Kamphaeng Saen Campus, Nakhon Pathom 73140

รับเรื่อง: 24 มิถุนายน 2564 Received: 24 June 2021

ปรับแก้ไข: 28 กรกฎาคม 2564 Revised: 28 July 2021

รับตีพิมพ์: 29 กรกฎาคม 2564 Accepted: 29 July 2021

\* Corresponding author: kamrawee9@hotmail.com

**ABSTRACT:** Evaluation of yield stability of multi-environment yield trial is important to selection and investigation yield potential of superior variety in plant breeding programs for suitable promotion in various sugarcane planting areas. The purposes of this study were to evaluate the potential and yield stability in plant cane of 10 Kamphaeng Saen sugarcane varieties with Khon Kaen 3 as checked variety. Trials were conducted for 14 locations in sugarcane planting areas following randomized complete block design (RCBD) with 3 replications. The plot had 3 rows with 8 meters in row length 1.5 meters of row space and 36 square meters of harvested areas. Data were analyzed using the combined analysis of variance and GGE biplot. The results revealed that cane yield, commercial cane sugar (CCS) and sugar yield had the highest effect on environments (46.11%, 34.24% and 38.94%, respectively), and had the lowest effects of genetic (6.30%, 12.36% and 11.67%, respectively). Effects of interaction between genetic and environment were 22.35% for cane yield, 25.74% for CCS and 27.56% for sugar yield. The GGE biplot analysis revealed that Kamphaeng Saen 07-29-1 had the same levels of cane yield, sugar yield and CCS as Khon Kaen 3. Furthermore, the evaluation of the specific outstanding varieties and locations revealed that both Kamphaeng Saen 07-29-1 and Khon Kaen 3 had specific locations for sugar yield. However, Kamphaeng Saen 07-29-1 showed outstanding stability in cane yield than Khon Kaen 3.

**Keywords:** GGE biplot, sugarcane varietal trials, multi-environment yield trials

## บทคัดย่อ

การประเมินเสถียรภาพผลผลิตของพันธุ์อ้อยที่ปลูกทดสอบในหลายสภาพแวดล้อมเป็นสิ่งสำคัญสำหรับการปรับปรุงพันธุ์อ้อย เพื่อใช้ในการคัดเลือกและประเมินศักยภาพของอ้อยพันธุ์ดีสำหรับการส่งเสริมในพื้นที่ปลูกอ้อยต่าง ๆ อย่างเหมาะสม การศึกษาครั้งนี้จึงมีวัตถุประสงค์เพื่อการประเมินศักยภาพและเสถียรภาพผลผลิตของอ้อยปลูกพันธุ์ก้ำแพงแสน ชุดปี 2007 จำนวน 10 พันธุ์ และพันธุ์ขอนแก่น 3 เป็นพันธุ์เปรียบเทียบ ดำเนินการปลูกทดสอบในพื้นที่ปลูกอ้อย 14 สถานที่ทดสอบ แต่ละแปลงวางแผนการทดลองแบบ randomized complete block design จำนวน 3 ซ้ำ โดยแต่ละแปลงย่อยมี 3 แถว แต่ละแถวยาว 8 เมตร ระยะระหว่างแถว 1.5 เมตร และมีพื้นที่เก็บเกี่ยว 36 ตารางเมตร วิเคราะห์ข้อมูลด้วยการวิเคราะห์ความแปรปรวนรวมและวิธี GGE biplot จากผลการทดลองพบว่า ผลผลิตอ้อย ค่า commercial cane sugar (CCS) และผลผลิตน้ำตาลได้รับอิทธิพลจากสภาพแวดล้อมมาก (46.11%, 34.24% และ 38.94% ตามลำดับ) โดยได้รับอิทธิพลจากพันธุ์ต่ำ (6.30%, 12.36% และ 11.67% ตามลำดับ) และได้รับอิทธิพลจากปฏิสัมพันธ์ระหว่างพันธุ์กับสภาพแวดล้อมเท่ากับ 22.35%, 25.74% และ 27.56% ตามลำดับ จากผลการวิเคราะห์ด้วยวิธี GGE biplot แสดงให้เห็นว่า พันธุ์ก้ำแพงแสน 07-29-1 มีระดับความดีเด่นของผลผลิตอ้อย ผลผลิตน้ำตาล และ ค่า CCS ในระดับเดียวกับพันธุ์ขอนแก่น 3 การประเมินความจำเพาะของพันธุ์ดีเด่นกับแปลงทดสอบ พบว่า พันธุ์ก้ำแพงแสน 07-29-1 และขอนแก่น 3 มีความจำเพาะกับแปลงทดสอบสำหรับผลผลิตน้ำตาล อย่างไรก็ตาม พันธุ์ก้ำแพงแสน 07-29-1 มีเสถียรภาพผลผลิตสูงกว่าพันธุ์ขอนแก่น 3

**คำสำคัญ:** GGE biplot, การทดสอบพันธุ์อ้อย, การทดสอบในหลายสภาพแวดล้อม

## บทนำ

อ้อยเป็นพืชเศรษฐกิจที่สำคัญของประเทศไทย ซึ่งเป็นวัตถุดิบสำหรับอุตสาหกรรมอ้อยและน้ำตาล มีบทบาทสำคัญในการจ้างงาน กระจายรายได้ กระจายโอกาส และช่วยแก้ปัญหาด้านแรงงาน ในปัจจุบันประเทศไทยเป็นผู้ผลิตอ้อยที่สำคัญเป็นอันดับสามของโลก รองจากประเทศบราซิลและอินเดีย ในปีการผลิต 2563/64 มีพื้นที่ปลูกอ้อยทั่วประเทศประมาณ 10.71 ล้านไร่ ผลิตอ้อย 75.97 ล้านตัน ผลผลิตอ้อยเฉลี่ย 7.09 ตันต่อไร่ คิดเป็นมูลค่าการส่งออกน้ำตาลและผลิตภัณฑ์ประมาณ 7.04 หมื่นล้านบาท (Office of Agricultural Economics, 2021) อย่างไรก็ตาม เมื่อพิจารณาถึงด้านผลผลิตอ้อย พบว่าผลผลิตอ้อยในแต่ละปียังมีความแปรปรวนอย่างมาก แต่ผลผลิตค่อนข้างต่ำเมื่อเทียบกับประเทศผู้ผลิตที่สำคัญของโลก ซึ่งมีหลายสาเหตุที่ทำให้ผลผลิตอ้อยของไทยอยู่ในเกณฑ์ต่ำและผลผลิตไม่แน่นอน สาเหตุที่สำคัญประการหนึ่ง คือ การเลือกใช้พันธุ์อ้อยที่ไม่เหมาะสมกับสภาพพื้นที่ปลูก

ดังนั้น ในขั้นตอนการปรับปรุงพันธุ์อ้อยจึงต้องมีการทดสอบพันธุ์อ้อยในสภาพแวดล้อมที่เป็นแหล่งปลูกอ้อยที่สำคัญของประเทศ เพื่อให้ได้พันธุ์อ้อยที่มีเสถียรภาพสูง โดยมีการปรับตัวในการตอบสนองต่อสภาพแวดล้อมต่าง ๆ ได้ดีที่สุด ทั้งในลักษณะผลผลิตต่อไร่ ค่า CCS (Commercial cane sugar) และผลผลิตน้ำตาล และเพื่อแก้ปัญหาดังกล่าว ศูนย์วิจัยและพัฒนาอ้อยและน้ำตาล คณะเกษตร กำแพงแสน มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ วิทยาเขตกำแพงแสน จึงได้ดำเนินการผสมพันธุ์อ้อยตั้งแต่ปี ค.ศ. 2007 โดยคัดเลือกและทดสอบผลผลิตในพื้นที่ปลูกอ้อยของประเทศไทย ซึ่งมีความหลากหลายในเรื่องสภาพแวดล้อม เช่น ปริมาณน้ำฝน ลักษณะของเนื้อดิน ตลอดจนการจัดการไร่ของเกษตรกร เป็นต้น โดยมีพันธุ์ขอนแก่น 3 เป็นพันธุ์เปรียบเทียบ เนื่องจากเป็นพันธุ์อ้อยที่ได้รับการส่งเสริมและเป็นพันธุ์ที่เกษตรกรนิยม

ปลูกในพื้นที่ปลูกอ้อยของประเทศไทย เพราะให้ผลผลิตสูง มีเปอร์เซ็นต์การงอกดี ลำต้นสูง ขนาดลำค่อนข้างใหญ่ และน้ำหนักต่อลำสูง (Ponragdee *et al.*, 2011; Thongviang *et al.*, 2014) ทั้งนี้ อ้อยพันธุ์ดีต้องมีการปรับตัวได้ดีในหลายพื้นที่หรือหลายสภาพแวดล้อม กล่าวคือ ต้องมีผลผลิตสูงและมีเสถียรภาพของผลผลิตที่ดี แต่เนื่องจากความแตกต่างของการตอบสนองของพันธุ์ต่อสภาพแวดล้อมหรือปฏิสัมพันธ์ระหว่างพันธุกรรมกับสภาพแวดล้อม (Genotype x environment interaction: GEI) เป็นอุปสรรคอย่างมากในการประเมินเสถียรภาพผลผลิตของพันธุ์ ซึ่งความสำคัญของการตอบสนองของพันธุ์ต่อสภาพแวดล้อมในการคัดเลือกพันธุ์อ้อยของนักปรับปรุงพันธุ์ได้รับการยอมรับอย่างกว้างขวาง (Kang and Miller, 1984; Milligan *et al.*, 1990; Bull *et al.*, 1992; Jackson *et al.*, 2007; Luo *et al.*, 2012; Set-tow *et al.*, 2019) เนื่องจากสภาพแวดล้อมที่แตกต่างกันของแต่ละสถานที่ทดสอบส่งผลต่อการเจริญเติบโตของพันธุ์อ้อยทั้งด้านคุณภาพและผลผลิต ซึ่งแนวทางที่สามารถแก้ไขปัญหานี้ได้ คือการเลือกใช้พันธุ์ที่ดีและเทคโนโลยีการผลิตที่เหมาะสมกับศักยภาพของแต่ละพื้นที่ปลูก (Ponragdee *et al.*, 2011)

การวิเคราะห์เสถียรภาพ (Stability analysis) เป็นวิธีการที่นักปรับปรุงพันธุ์ใช้ในการหาพันธุ์พืชที่มีความสามารถในการปรับตัวเข้ากับสภาพแวดล้อมแบบกว้าง (Widely adapted) ซึ่งหมายถึงพันธุ์พืชเหล่านี้จะต้องมีเสถียรภาพของพันธุ์ในด้านผลผลิตเมื่อปลูกในหลายสภาพแวดล้อม เป็นสิ่งที่ระบุถึงความมีเสถียรภาพหรือการแสดงออกของพันธุ์นั้นที่ปลูกในสภาพแวดล้อมที่แตกต่างกัน เช่น ฤดูกาลเพาะปลูก สภาพพื้นที่ ความอุดมสมบูรณ์ของดิน ภูมิอากาศ และสภาพความเครียด อันเนื่องมาจากสิ่งมีชีวิตและไม่มีชีวิต เป็นต้น โดยพันธุ์ที่มีเสถียรภาพผลผลิตสูง คือ พันธุ์ที่สามารถรักษาระดับการแสดงออกของผลผลิตที่คงที่ ไม่เปลี่ยนแปลงตามสภาพแวดล้อม (Eberhart and Russell, 1966; Jompuk, 2012; Authrapun *et al.*, 2016)

การประเมินเพื่อคัดเลือกพันธุ์อ้อยที่มีความดีเด่นและมีศักยภาพจึงควรปลูกทดสอบผลผลิตในหลายสภาพแวดล้อม (Multi-environment yield trials) เนื่องจากเป็นขั้นตอนสำคัญในการปรับปรุงพันธุ์พืชก่อนการตัดสินใจคัดเลือกพันธุ์ที่มีศักยภาพเพื่อใช้ส่งเสริมให้แก่เกษตรกรต่อไป โดยวิธีการประเมินเสถียรภาพผลผลิตจากค่าเฉลี่ยผลผลิตในหลายสถานที่ปลูกทดสอบมีหลายวิธี ซึ่งวิธี GGE biplot ได้รับการพัฒนาโดย Yan *et al.* (2000) เป็นวิธีหนึ่งที่มีประสิทธิภาพในการวิเคราะห์ศักยภาพการให้ผลผลิตของพันธุ์ในหลายสภาพแวดล้อมในรูปแบบกราฟิก (Yan, 2001; Yan and Kang, 2003; Suriharn and Lertrat, 2007; Authrapun *et al.*, 2016; Nuttaro and Lersrutaiyotin, 2020) ดังนั้น งานวิจัยนี้จึงมีวัตถุประสงค์เพื่อประเมินศักยภาพและวิเคราะห์เสถียรภาพผลผลิตของอ้อยปลูกพันธุ์กำแพงแสน ชุดปี 2007 ที่ได้ปลูกทดสอบในพื้นที่ปลูกอ้อยหลายสภาพแวดล้อม สำหรับใช้เป็นข้อมูลในการคัดเลือกพันธุ์ที่ให้ผลผลิตสูงและมีเสถียรภาพของผลผลิตที่ดีในการส่งเสริมอ้อยพันธุ์ใหม่ให้แก่เกษตรกรต่อไป

## อุปกรณ์และวิธีการ

### พันธุ์อ้อยที่ใช้ในการทดสอบ

พันธุ์อ้อยกำแพงแสนชุดปี 2007 จำนวน 10 พันธุ์ ได้แก่ กำแพงแสน 07-10-6 (G1) กำแพงแสน 07-5-4 (G2) กำแพงแสน 07-14-2 (G3) กำแพงแสน 07-30-3 (G4) กำแพงแสน 07-6-2 (G5) กำแพงแสน 07-24-2 (G6) กำแพงแสน 07-10-3 (G7) กำแพงแสน 07-1-3 (G8) กำแพงแสน 07-30-2 (G9) และ กำแพงแสน 07-29-1 (G10) จากศูนย์วิจัยและพัฒนาอ้อยและน้ำตาล มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ วิทยาเขตกำแพงแสน และพันธุ์อ้อยตรวจสอบ จำนวน 1 พันธุ์ คือ ขอนแก่น 3 (G11) จากศูนย์วิจัยพืชไร่ขอนแก่น กรมวิชาการเกษตร

## วิธีการ

นำพันธุ์อ้อยจากศูนย์วิจัยและพัฒนาอ้อยและน้ำตาล มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ วิทยาเขตกำแพงแสน ชุดปี 2007 ที่ผ่านการคัดเลือกและประเมินพันธุ์อ้อยเบื้องต้นมาปลูกเปรียบเทียบพันธุ์ โดยวางแผนการทดลองแบบสุ่มภายในบล็อกสมบูรณ์ (Randomized complete block design, RCBD) จำนวน 3 ซ้ำ แต่ละแปลงย่อยมีจำนวน 3 แถว ระยะระหว่างแถว 1.5 เมตร แต่ละแถวยาว 8 เมตร มีพื้นที่เก็บเกี่ยวเท่ากับ 36 ตารางเมตร ปลูกโดยการวางลำลงในร่องแบบต่อเนื่องกัน ให้ส่วนปลายและส่วนโคนของลำอ้อยแต่ละลำเหลื่อมกัน สับฟ่อนอ้อยให้ฟ่อนอ้อยแต่ละฟ่อนมีจำนวน 2-3 ตา

ใช้ลำอ้อย 10 ลำ แต่ละแปลงทดสอบพันธุ์ ประกอบด้วยอ้อยพันธุ์ก้าแพงแสน ชุดปี 2007 เป็นพันธุ์ทดสอบจำนวน 10 พันธุ์ และพันธุ์ขอนแก่น 3 เป็นพันธุ์เปรียบเทียบ ปลูกทดสอบในพื้นที่ปลูกอ้อยทั่วประเทศ จำนวน 14 สถานที่ทดสอบ ดำเนินการเก็บข้อมูลต่าง ๆ เมื่ออ้อยถึงอายุเก็บเกี่ยวในแต่ละแปลงทดสอบ (Table 1) และวิเคราะห์เนื้อดิน (Soil texture) ของแปลงทดสอบ โดยภาควิชาปฐพีวิทยา คณะเกษตร กำแพงแสน มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ วิทยาเขตกำแพงแสน จังหวัดนครปฐม ดำเนินการทดลองตั้งแต่เดือนตุลาคม พ.ศ. 2556 ถึงเดือนมีนาคม พ.ศ. 2558

**Table 1** Locations of planting to environment of planting areas, planting date, harvesting date and harvesting age of sugarcane varieties

Location (Code)	Position in Thailand	Rainfall (mm)	Longitude and latitude	Soil texture	Planting date	Harvesting date	Harvesting age (day)
KU	Northeastern	1,241.27	N 17° 00.708' E 103° 30.182'	Sandy Loam	22 Oct 2013	11 Oct 2014	355
MM	Northeastern	1,378.26	N 16° 35.945' E 104° 41.944'	Loamy Sand	15 Oct 2013	30 Nov 2014	412
DM	Northeastern	989.14	N 16° 21.487' E 104° 46.034'	Sandy Loam	24 Oct 2013	10 Jan 2015	444
BF	Northeastern	1,185.32	N 16° 29.802' E 102° 38.285'	Loamy Sand	5 Nov 2013	31 Oct 2014	361
KK	Northern	1,205.99	N 16° 15.551' E 99° 35.755'	Loamy Sand	3 Dec 2013	14 Jan 2015	408
TU	Northern	958.70	N 17° 30.036' E 100° 12.565'	Sandy Clay Loam	12 Dec 2013	11 Nov 2014	335
PS	Northeastern	1,367.48	N 14° 35.823' E 103° 19.552'	Sandy Loam	19 Nov 2013	17 Dec 2014	394
CR	Central	939.91	N 13° 44.816' E 99° 31.601'	Loam	24 Dec 2013	15 Dec 2014	357
SS	Central	952.80	N 14° 58.325' E 101° 25.706'	Silty Clay Loam	21 Jan 2014	18 Jan 2015	363
KS	Central	820.46	N 14° 39.620' E 101° 00.141'	Loam	25 Dec 2013	29 Jan 2015	401
WS	Central	761.30	N 14° 50.317' E 101° 05.239'	Clay	26 Feb 2014	12 Jan 2015	321
TK	Western	901.24	N 13° 49.869' E 99° 35.571'	Silt Loam	11 Mar 2014	29 Jan 2015	325
DK	Western	888.69	N 13° 49.887' E 99° 24.567'	Silt Loam	18 Jan 2014	27 Jan 2015	375
BK	Western	1,165.30	N 14° 26.575' E 99° 30.775'	Sandy Loam	28 Dec 2013	12 Mar 2015	440

KU = Kumpawapi, Udon Thani; MM = Mueang, Mukdahan; DM = Dontan, Mukdahan; BF = Ban Fang, Khon Kaen; KK = Klong Klung, Kamphaeng Phet; TU = Tron, Uttaradit; PS = Prasat, Surin; CR = Chom Bueng, Ratchaburi; SS = Sap Sanun, Saraburi; KS = Kaeng Khoi, Saraburi; WS = Wang Muang, Saraburi; TK = Tha Maka, Kanchanaburi; DK = Dan Makham Tia, Kanchanaburi; BK = Bo Phloi, Kanchanaburi

## การบันทึกข้อมูล

### ผลผลิตอ้อย

ชั่งน้ำหนักอ้อยทั้งหมดของแต่ละแปลงย่อย แล้วคำนวณเป็นผลผลิตอ้อย (ตันต่อไร่) ตามสมการดังนี้

$$\text{ผลผลิตอ้อย (ตันต่อไร่)} = \frac{\text{น้ำหนักอ้อยในพื้นที่เก็บเกี่ยว (กิโลกรัม)} \times \text{พื้นที่ 1 ไร่ (1,600 ตารางเมตร)}}{\text{พื้นที่เก็บเกี่ยว (ตารางเมตร)} \times 1,000}$$

### ค่า CCS

เก็บตัวอย่างอ้อยเมื่อถึงอายุเก็บเกี่ยวในแต่ละแปลงทดสอบ จำนวน 3 ลำ โดยเลือกลำที่แก่ที่สุดของแต่ละกอ ซึ่งสังเกตได้จากลำที่มีใบส่วนยอดชิดกันมาก ปล้องที่ส่วนยอดจะสั้นลง และใบมีสีเหลืองปนเขียว (Sooksathan, 1997) ดำเนินการเก็บตัวอย่าง โดยตัด

อ้อยเป็นท่อนสำหรับบรรจุถุงพลาสติกพร้อมปิดถุงให้สนิทและบรรจุในกล่องเก็บความเย็น พร้อมนำส่งตัวอย่างเพื่อวิเคราะห์ค่า CCS ด้วยเครื่อง Digital Automatic Saccharomat รุ่น NIR WII ณ ศูนย์วิจัยและพัฒนาอ้อยและน้ำตาล ภายใน 48 ชั่วโมงหลังเก็บเกี่ยว

### ผลผลิตน้ำตาล

คำนวณผลผลิตน้ำตาลจากสมการ (Putkao, 2005)

$$\text{ผลผลิตน้ำตาล (ตันต่อไร่)} = [\text{ผลผลิตอ้อย (ตันต่อไร่)} \times \text{ค่า CCS}] \times 100$$

## การวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติ

วิเคราะห์ความแปรปรวนรวม (Combined analysis of variance) ตามแผนการทดลองแบบ RCBD โดยใช้โปรแกรม Statistical Tool for Agricultural Research, STAR Version 2.0.1 (International Rice Research Institute, 2014) และเปรียบเทียบความแตกต่างของค่าเฉลี่ยด้วยวิธีของดันแคน (Duncan's new multiple range test) และวิเคราะห์เสถียรภาพของพันธุ์ ด้วยวิธี GGE biplot ตามวิธีของ Jompuk (2016) โดยการวิเคราะห์ผลทางสถิติทั้งหมดใช้โปรแกรม R version 3.0.1 (R Core Team, 2012)

### ผลการทดลองและวิจารณ์

จากการวิเคราะห์ความแปรปรวนรวมของพันธุ์อ้อย 11 พันธุ์ ในพื้นที่ปลูกอ้อย 14 สถานที่

(Table 2) พบว่า พันธุ์ (Genotype) สภาพแวดล้อม (Environment) และปฏิสัมพันธ์ระหว่างพันธุ์กับสภาพแวดล้อม (G × E interaction) ส่งผลต่อผลผลิตอ้อย ค่า CCS และผลผลิตน้ำตาลอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $P < 0.01$ ) โดยความแปรปรวนของผลผลิตอ้อย ค่า CCS และผลผลิตน้ำตาล ได้รับอิทธิพลส่วนใหญ่มาจากสภาพแวดล้อม ซึ่งสามารถคิดเป็นเปอร์เซ็นต์ของค่า sum of squares (%SS) เท่ากับ 46.11%, 34.24% และ 38.94% ตามลำดับ ส่วนอิทธิพลของพันธุ์มีค่า %SS ต่ำที่สุด เท่ากับ 6.30%, 12.36% และ 11.67% ตามลำดับ และอิทธิพลปฏิสัมพันธ์ระหว่างพันธุ์กับสภาพแวดล้อมมีค่า %SS เท่ากับ 22.35%, 25.74% และ 27.56% ตามลำดับ ซึ่งสอดคล้องกับ Gauch and Zoble (1997) และ Authrapun *et al.* (2016) ที่พบว่า ความแปรปรวนของผลผลิตที่เกิดขึ้นจากการทดสอบพันธุ์ในพื้นที่ปลูกที่หลายสภาพแวดล้อมเป็นผลมาจากอิทธิพลของสภาพแวดล้อมเป็นส่วนใหญ่

นอกจากนี้ ยังสอดคล้องกับรายงานการศึกษาของ Buacheng and Lersrutaiyotin (2019) ที่ประเมินเสถียรภาพของอ้อยต่อพันธุ์กำแพงแสน พบว่า

ผลผลิตอ้อย ค่า CCS และผลผลิตน้ำตาลได้รับอิทธิพลจากสภาพแวดล้อมที่สูงมากเช่นกัน

**Table 2** Sum of squares and sum of square percentages of combined analysis of variance for cane yield, commercial cane sugar (CCS) and sugar yield of 11 sugarcane varieties from 14 locations

Source of variation	df	Cane yield		CCS		Sugar yield	
		SS	%SS	SS	%SS	SS	%SS
Environments (E)	13	3,953.03	46.11**	888.92	34.24**	67.32	38.94**
Replication within E	28	601.01		184.32		9.35	
Genotype (G)	10	540.25	6.30**	321.00	12.36**	20.18	11.67**
G x E interaction	130	1,915.65	22.35**	668.45	25.74**	47.65	27.56**
Pooled error	280	2,163.48	25.24	718.09	27.66	37.72	21.82
Total	461	9,170.41		2,780.78		182.21	
CV (%)		22.76		14.33		26.70	

\* Significant difference at  $P < 0.05$ , \*\* Significant difference at  $P < 0.01$

df = degrees of freedom, SS = sum of squares, %SS = sum of squares percentages,

CV = coefficient of variation

### ผลผลิตอ้อย

เมื่อพิจารณาผลผลิตอ้อยของพันธุ์อ้อยในแปลงทดสอบทั้ง 14 สถานที่ (Table 3) พบว่า มีแปลงทดสอบที่พบความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติด้านผลผลิตอ้อยของพันธุ์อ้อย ( $P < 0.05$  และ  $P < 0.01$ ) จำนวน 7 แปลง และแปลงทดสอบที่ไม่พบความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติด้านผลผลิตอ้อยของพันธุ์อ้อย จำนวน 7 แปลง เช่นกัน ทั้งนี้ พบว่าพันธุ์ขอนแก่น 3 ซึ่งเป็นพันธุ์ตรวจสอบให้ผลผลิตอ้อยสูงที่สุดในหลายแปลงทดสอบ ได้แก่ แปลงปราสาท (PS) แปลงตรอน (TU) แปลงชัยสนุ่น (SS) แปลงแก่งคอย (KS) และแปลงจอมบึง (CR) โดยแปลงทดสอบทั้ง 5 แปลง ที่พันธุ์ขอนแก่น 3 ให้ผลผลิตอ้อยสูงนั้นมีเนื้อดินเป็นดินร่วนประกอบอยู่ด้วย มีปริมาณน้ำฝนรวมตลอดฤดูปลูกอยู่ในช่วง 820–1,367 มิลลิเมตร และ

มีอายุการเก็บเกี่ยวอยู่ในช่วง 335–401 วัน (Table 1) แสดงให้เห็นถึงความสามารถในการปรับตัวที่ดีของพันธุ์ในสภาพแวดล้อมต่าง ๆ หรือเป็นพันธุ์ที่มีความสามารถในการปรับตัวเข้ากับสภาพแวดล้อมแบบกว้างได้ดี (Authrapun *et al.*, 2016) ซึ่งสามารถให้ผลผลิตอ้อยที่คงที่ไม่เปลี่ยนแปลงตามสภาพแวดล้อม นอกจากนี้พันธุ์กำแพงแสน 07-29-1 กำแพงแสน 07-30-3 และพันธุ์กำแพงแสน 07-24-2 ให้ผลผลิตอ้อยสูงในหลายสภาพแวดล้อมเช่นเดียวกัน โดยพันธุ์ที่มีค่าเฉลี่ยผลผลิตอ้อยสูงที่สุดของทั้ง 14 แปลงทดสอบ คือ พันธุ์ขอนแก่น 3 ที่มีผลผลิตอ้อยสูงที่สุดเท่ากับ 13.68 ตันต่อไร่ รองลงมา ได้แก่ พันธุ์กำแพงแสน 07-29-1 กำแพงแสน 07-30-3 และพันธุ์กำแพงแสน 07-1-3 ซึ่งมีผลผลิตอ้อยเฉลี่ยเท่ากับ 13.46, 13.06 และ 13.00 ตันต่อไร่ตามลำดับ

**Table 3** Mean for cane yield of 11 sugarcane varieties from 14 locations

Variety <sup>1</sup>	Cane yield (t/rai)													Mean	
	KU	MM	DM	BF	PS	KK	TU	SS	KS	WS	CR	TK	DK		BK
Kps. 07-10-6	16.16	10.90 <sup>a-c</sup>	12.70	15.92 <sup>a</sup>	5.02	18.99 <sup>a</sup>	11.25 <sup>b-d</sup>	13.24 <sup>de</sup>	8.41	12.99	8.12 <sup>a-e</sup>	10.60	12.62 <sup>a-c</sup>	12.21	12.08
Kps. 07-5-4	16.79	9.16 <sup>bc</sup>	9.24	8.82 <sup>d</sup>	6.56	11.73 <sup>bc</sup>	12.67 <sup>bc</sup>	14.47 <sup>b-e</sup>	7.26	13.70	7.47 <sup>b-e</sup>	10.47	9.27 <sup>c</sup>	13.92	10.82
Kps. 07-14-2	11.42	8.20 <sup>c</sup>	8.37	13.11 <sup>bc</sup>	8.11	14.12 <sup>a-c</sup>	12.16 <sup>bc</sup>	13.31 <sup>de</sup>	2.86	7.74	5.53 <sup>e</sup>	13.11	14.07 <sup>ab</sup>	11.84	10.28
Kps. 07-30-3	15.92	11.45 <sup>a-c</sup>	8.96	15.75 <sup>a</sup>	6.66	13.45 <sup>a-c</sup>	13.10 <sup>bc</sup>	17.97 <sup>ab</sup>	4.78	16.09	7.41 <sup>c-e</sup>	15.51	17.53 <sup>a</sup>	18.21	13.06
Kps. 07-6-2	16.99	9.91 <sup>bc</sup>	9.29	7.83 <sup>d</sup>	7.20	9.33 <sup>c</sup>	9.85 <sup>cd</sup>	13.52 <sup>c-e</sup>	7.89	14.36	9.10 <sup>a-d</sup>	11.78	16.52 <sup>a</sup>	14.80	11.31
Kps. 07-24-2	19.58	9.96 <sup>bc</sup>	12.26	12.42 <sup>bc</sup>	7.55	13.44 <sup>a-c</sup>	13.60 <sup>bc</sup>	17.58 <sup>a-c</sup>	8.59	11.35	10.04 <sup>a-c</sup>	16.48	10.86 <sup>bc</sup>	14.73	12.75
Kps. 07-10-3	15.98	12.29 <sup>a-c</sup>	8.60	13.12 <sup>bc</sup>	5.68	15.44 <sup>a-c</sup>	13.98 <sup>ab</sup>	16.89 <sup>a-d</sup>	10.24	15.85	9.48 <sup>a-d</sup>	11.67	15.16 <sup>ab</sup>	12.37	12.63
Kps. 07-1-3	18.29	10.26 <sup>bc</sup>	9.30	11.36 <sup>c</sup>	7.75	19.47 <sup>a</sup>	11.48 <sup>bc</sup>	16.80 <sup>a-d</sup>	6.91	15.73	10.78 <sup>ab</sup>	13.40	14.70 <sup>ab</sup>	15.82	13.00
Kps. 07-30-2	20.31	12.98 <sup>ab</sup>	11.18	13.10 <sup>bc</sup>	6.03	16.93 <sup>ab</sup>	7.65 <sup>d</sup>	11.67 <sup>e</sup>	8.49	8.44	6.55 <sup>de</sup>	11.60	14.25 <sup>ab</sup>	8.60	11.27
Kps. 07-29-1	16.16	15.02 <sup>a</sup>	13.14	13.04 <sup>bc</sup>	5.56	16.67 <sup>ab</sup>	15.00 <sup>ab</sup>	19.44 <sup>a</sup>	7.19	15.58	9.56 <sup>a-d</sup>	11.31	14.85 <sup>ab</sup>	15.86	13.46
KK 3	18.86	8.12 <sup>c</sup>	12.11	14.30 <sup>ab</sup>	8.50	17.58 <sup>ab</sup>	17.50 <sup>a</sup>	19.62 <sup>a</sup>	11.25	15.93	11.08 <sup>a</sup>	13.49	15.13 <sup>ab</sup>	8.01	13.68
Mean	16.95	10.75	10.47	12.62	6.78	15.20	12.57	15.86	7.62	13.43	8.65	12.67	14.09	13.31	12.21
F-test	ns	*	ns	**	ns	*	**	**	ns	ns	*	ns	*	ns	ns
CV (%)	16.69	21.28	23.12	11.34	38.69	23.03	16.44	13.96	44.28	29.60	19.96	20.91	18.34	28.94	

Mean within a column followed by the same letter do not significant difference according to F-test at P < 0.05

ns = not significant, \* Significant difference at P < 0.05, \*\* Significant difference at P < 0.01

<sup>1</sup>Kps. = Kamphaeng Saen sugarcane varieties, KK 3 = Khon Kaen 3 (Checked variety)

KU = Kumpawapi, Udon Thani; MM = Muang, Mukdahan; DM = Dontan, Mukdahan; BF = Ban Fang, Khon Kaen; KK = Klong Klung, Kamphaeng Phet; TU = Tron, Uttaradit; PS = Prasat, Surin; CR = Chom Bueng, Ratchaburi; SS = Sap Sanun, Saraburi; KS = Kaeng Khoi, Saraburi; WS = Wang Muang, Saraburi; TK = Tha Maka, Kanchanaburi; DK = Dan Makham Tia, Kanchanaburi; BK = Bo Phloi, Kanchanaburi

### เสถียรภาพของพันธุ์

จากการวิเคราะห์เสถียรภาพของพันธุ์ (Figure 1) พบว่า พันธุ์ในอุดมคติควรจะมีอิทธิพลหลักที่ 1 (AXIS 1) มีค่าสูง คือ มีความสามารถในการให้ผลผลิตสูง และอิทธิพลหลักที่ 2 (AXIS 2) ใกล้กับค่าศูนย์ แสดงว่ามีเสถียรภาพของพันธุ์สูง (Yan *et al.*, 2001; Crossa *et al.*, 2002; Jompuk, 2016) โดยพันธุ์ที่มีเสถียรภาพสูงในลักษณะผลผลิตอ้อย ได้แก่ พันธุ์กำแพงแสน 07-29-1 (G10) ที่มีผลผลิตอ้อยค่อนข้างสูง และพันธุ์กำแพงแสน 07-1-3 (G8) กำแพงแสน 07-10-3 (G7) และพันธุ์กำแพงแสน 07-24-2 (G6) ที่มีผลผลิตอ้อยระดับปานกลาง ส่วนพันธุ์ขอนแก่น 3 (G11) มีเสถียรภาพของพันธุ์ระดับปานกลาง แต่มีผลผลิตอ้อยสูงที่สุด โดยพันธุ์กำแพงแสน 07-14-2 (G3) มีเสถียรภาพสูง แต่มีผลผลิตอ้อยที่ต่ำ ขณะที่ พันธุ์กำแพงแสน 07-30-2 (G9) เป็นพันธุ์ที่มีเสถียรภาพต่ำ และมีผลผลิตอ้อยที่ต่ำ ดังนั้น พันธุ์กำแพงแสน 07-29-1 (G10) และพันธุ์ขอนแก่น 3 (G11) จึงเหมาะสมที่สุดในการแนะนำให้ปลูกในสภาพแวดล้อมทั่วไป รองลงมา คือ พันธุ์กำแพงแสน 07-1-3 (G8) กำแพงแสน 07-10-3 (G7) และพันธุ์กำแพงแสน 07-24-2 (G6) ตามลำดับ

### การประเมินความจำเพาะของพันธุ์ดีเด่นกับแปลงทดสอบ

จากการวิเคราะห์ศักยภาพการให้ผลผลิตอ้อยของพันธุ์ดีเด่นในแต่ละสภาพแวดล้อม (Figure 2) พบว่า กราฟ GGE biplot ที่สร้างเป็นรูปหลายเหลี่ยม (Polygon) และแบ่งรูปหลายเหลี่ยมออกเป็น ส่วน ๆ ซึ่งพันธุ์ที่อยู่มุมสุด (Vertex) ในแต่ละส่วนจะเป็นพันธุ์ที่มีผลผลิตดีที่สุดในส่วนนั้น ๆ (Yan *et al.*, 2001; Crossa *et al.*, 2002; Jompuk, 2016) โดยพันธุ์ที่ดีเด่นในลักษณะผลผลิตอ้อยที่แปลงทดสอบส่วนใหญ่ ได้แก่ พันธุ์กำแพงแสน 07-29-1 (G10) ขณะที่ พันธุ์ขอนแก่น 3 (G11) มีความดีเด่นที่แปลงแก่งคอย (KS) แปลงบ้านฝาง (BF) แปลงดอนตาล (DM) แปลงกุมภวาปี (KU) และแปลงคลองขลุง (KK) ส่วนพันธุ์กำแพงแสน 07-30-3 (G4) มีความดีเด่นที่แปลงบ่อพลอย (BK) แต่มีความดีเด่นค่อนข้างต่ำในแปลงทดสอบ 5 แปลง ที่พันธุ์ขอนแก่น 3 (G11) มีความดีเด่น ทั้งนี้ พันธุ์กำแพงแสน 07-14-2 (G3) กำแพงแสน 07-6-2 (G5) และพันธุ์กำแพงแสน 07-30-2 (G9) ไม่มีความดีเด่นในทุกแปลงทดสอบ

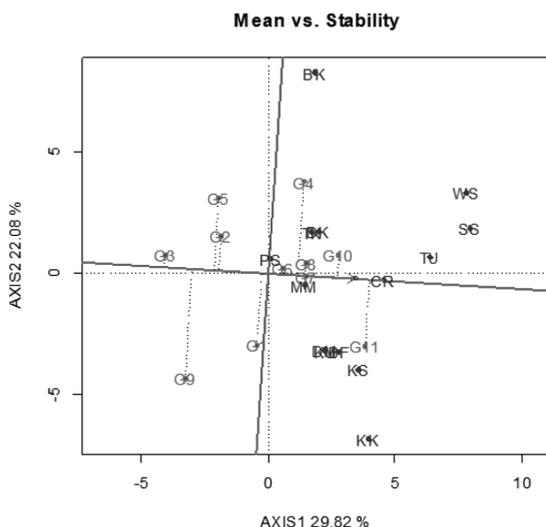


Figure 1 The mean versus stability view of the GGE biplot for cane yield

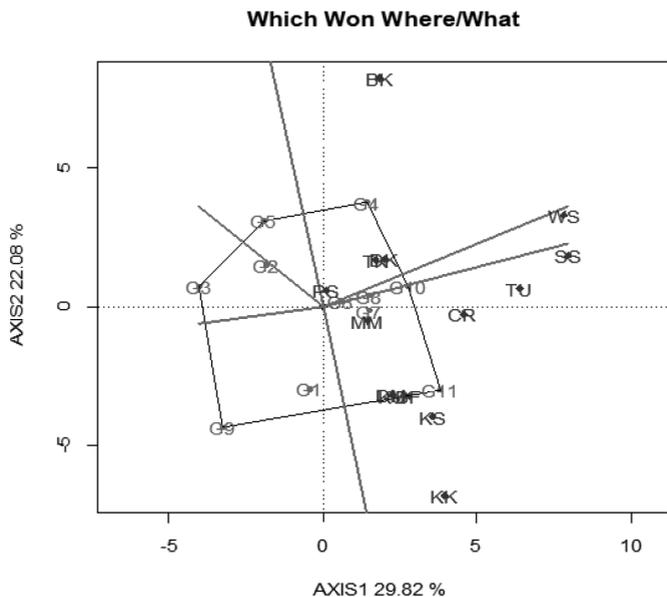


Figure 2 The which-won-where view of the GGE biplot to show which varieties performed better in which environments (Locations) for cane yield

### ค่า CCS

เมื่อพิจารณาค่า CCS ของพันธุ์อ้อยในแปลงทดสอบทั้ง 14 สถานที่ (Table 4) พบว่า มีแปลงทดสอบที่พบความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติสำหรับค่า CCS ของพันธุ์อ้อย ( $P < 0.05$  และ  $P < 0.01$ ) จำนวน 9 แปลง และแปลงทดสอบที่ไม่พบความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติสำหรับค่า CCS ของพันธุ์อ้อย จำนวน 5 แปลง แสดงให้เห็นว่า ค่า CCS ของพันธุ์อ้อยในแต่ละสภาพแวดล้อม (แปลงทดสอบ) มีความแตกต่างกันทางสถิติมากกว่าผลผลิตอ้อย ทั้งนี้พบว่าพันธุ์เก่าแพงแสน 07-29-1 ให้ค่า CCS สูงที่สุดใน 6 แปลงทดสอบ ได้แก่ แปลงเมืองมุกดาหาร (MM) แปลงปราสาท (PS) แปลงคลองขลุง (KK) แปลงตรอน (TU) แปลงชัยสนุ่น (SS) และแปลงด่านมะขามเตี้ย (DK) โดยแปลงทดสอบทั้ง 6 แปลง ที่พันธุ์เก่าแพงแสน 07-29-1 ให้ค่า CCS สูงนั้น มีเนื้อดินเป็นดินร่วนประกอบด้วย มีปริมาณน้ำฝนรวมตลอดฤดูปลูกอยู่ในช่วง 889-1,378 มิลลิเมตร และมีอายุการเก็บเกี่ยวอยู่ในช่วง 335-412 วัน (Table 1) แสดงให้เห็น

ถึงความสามารถของพันธุ์ในการปรับตัวเข้ากับสภาพแวดล้อมแบบกว้างได้ดี (Authrapun *et al.*, 2016) นอกจากนี้ พันธุ์ขอนแก่น 3 ก้าแพงแสน 07-10-6 และพันธุ์เก่าแพงแสน 07-30-3 ให้ค่า CCS สูงที่สุดมากกว่า 1 สภาพแวดล้อม (แปลงทดสอบ) โดยพันธุ์ที่มีค่าเฉลี่ย CCS สูงที่สุดของทั้ง 14 แปลงทดสอบคือ พันธุ์เก่าแพงแสน 07-29-1 ที่มีค่า CCS เท่ากับ 12.45 รองลงมา ได้แก่ พันธุ์ขอนแก่น 3 ก้าแพงแสน 07-10-6 และพันธุ์เก่าแพงแสน 07-30-3 ซึ่งมีค่าเฉลี่ย CCS เท่ากับ 12.37, 11.67 และ 11.64 ตามลำดับ ดังนั้น จะเห็นได้ว่าสำหรับค่า CCS พันธุ์เก่าแพงแสน 07-29-1 สามารถปรับตัวเข้ากับสภาพแวดล้อมแบบกว้างได้ดี โดยมีค่าเฉลี่ย CCS ของทั้ง 14 แปลงทดสอบสูงในระดับเดียวกับพันธุ์ขอนแก่น 3 ที่เป็นพันธุ์ตรวจสอบและเป็นที่ยอมรับของเกษตรกรในปัจจุบันอย่างแพร่หลาย เนื่องจากสามารถปรับตัวต่อสภาพแวดล้อมที่กว้าง (Ponragdee *et al.*, 2011; Thongviang *et al.*, 2014; Puriya *et al.*, 2020)

**Table 4** Mean for commercial cane sugar (CCS) of 11 sugarcane varieties from 14 locations

Variety <sup>1</sup>	CCS													Mean	
	KU	MM	DM	BF	PS	KK	TU	SS	KS	WS	CR	TK	DK		BK
Kps. 07-10-6	11.73 <sup>a</sup>	12.32 <sup>ab</sup>	10.71 <sup>a</sup>	11.36 <sup>a</sup>	11.75	13.79 <sup>a</sup>	12.09	11.73 <sup>b</sup>	7.93	13.19 <sup>ab</sup>	12.40 <sup>a-c</sup>	8.66	11.31 <sup>c</sup>	14.46	11.67
Kps. 07-5-4	9.73 <sup>a-c</sup>	8.66 <sup>de</sup>	8.46 <sup>a-c</sup>	11.90 <sup>a</sup>	12.85	7.55 <sup>d</sup>	10.55	11.84 <sup>b</sup>	12.06	11.78 <sup>bc</sup>	12.37 <sup>a-c</sup>	9.64	12.07 <sup>bc</sup>	13.25	10.91
Kps. 07-14-2	8.12 <sup>c</sup>	8.99 <sup>de</sup>	7.92 <sup>bc</sup>	8.83 <sup>bc</sup>	14.23	9.60 <sup>b-d</sup>	9.32	9.55 <sup>c</sup>	11.88	10.14 <sup>d</sup>	9.34 <sup>de</sup>	8.16	9.44 <sup>d</sup>	11.64	9.80
Kps. 07-30-3	11.07 <sup>ab</sup>	9.94 <sup>cd</sup>	7.65 <sup>bc</sup>	12.28 <sup>a</sup>	14.72	10.89 <sup>a-d</sup>	11.36	13.29 <sup>b</sup>	8.98	12.49 <sup>bc</sup>	12.25 <sup>a-c</sup>	9.25	13.96 <sup>a</sup>	14.84	11.64
Kps. 07-6-2	10.28 <sup>a-c</sup>	11.74 <sup>a-c</sup>	10.07 <sup>ab</sup>	10.60 <sup>ab</sup>	12.69	12.58 <sup>a-c</sup>	8.54	12.94 <sup>b</sup>	11.22	12.14 <sup>bc</sup>	11.54 <sup>b-d</sup>	10.53	11.03 <sup>c</sup>	13.88	11.41
Kps. 07-24-2	11.61 <sup>a</sup>	7.37 <sup>e</sup>	6.38 <sup>c</sup>	8.29 <sup>c</sup>	11.25	9.19 <sup>cd</sup>	9.01	12.19 <sup>b</sup>	11.64	11.21 <sup>cd</sup>	10.30 <sup>c-e</sup>	10.22	13.55 <sup>ab</sup>	14.69	10.49
Kps. 07-10-3	10.99 <sup>ab</sup>	12.36 <sup>ab</sup>	7.98 <sup>bc</sup>	8.84 <sup>bc</sup>	14.88	11.82 <sup>a-c</sup>	11.15	12.53 <sup>b</sup>	11.98	12.13 <sup>bc</sup>	11.78 <sup>bc</sup>	8.70	11.07 <sup>c</sup>	12.83	11.36
Kps. 07-1-3	8.38 <sup>c</sup>	11.33 <sup>a-c</sup>	8.69 <sup>a-c</sup>	9.19 <sup>bc</sup>	14.00	9.49 <sup>b-d</sup>	10.47	12.84 <sup>b</sup>	11.55	11.36 <sup>cd</sup>	10.89 <sup>c-e</sup>	8.46	11.81 <sup>c</sup>	13.37	10.85
Kps. 07-30-2	9.93 <sup>a-c</sup>	10.42 <sup>b-d</sup>	7.78 <sup>bc</sup>	10.16 <sup>a-c</sup>	11.26	12.17 <sup>a-c</sup>	9.77	9.88 <sup>c</sup>	8.40	10.07 <sup>d</sup>	8.87 <sup>e</sup>	9.50	8.92 <sup>d</sup>	12.23	9.95
Kps. 07-29-1	8.71 <sup>bc</sup>	12.98 <sup>a</sup>	10.55 <sup>a</sup>	11.86 <sup>a</sup>	15.45	14.19 <sup>a</sup>	12.63	15.83 <sup>a</sup>	8.96	12.50 <sup>bc</sup>	13.30 <sup>ab</sup>	8.55	14.24 <sup>a</sup>	14.55	12.45
KK 3	10.98 <sup>ab</sup>	10.67 <sup>a-d</sup>	7.49 <sup>c</sup>	11.91 <sup>a</sup>	13.82	13.40 <sup>ab</sup>	12.48	15.30 <sup>a</sup>	11.45	14.40 <sup>a</sup>	14.29 <sup>a</sup>	10.67	11.96 <sup>c</sup>	14.39	12.37
Mean	10.14	10.62	8.52	10.47	13.35	11.33	10.67	12.54	10.55	11.95	11.58	9.30	11.76	13.65	11.17
F-test	*	**	**	**	ns	**	ns	**	ns	**	**	ns	**	ns	ns
CV (%)	12.29	11.74	14.90	10.73	16.37	17.90	16.52	8.25	28.69	7.13	10.58	18.58	7.45	9.56	9.56

Mean within a column followed by the same letter do not significant difference according to F-test  $P < 0.05$

ns = not significant, \* Significant difference at  $P < 0.05$ , \*\* Significant difference at  $P < 0.01$

<sup>1</sup>Kps. = Kamphaeng Saen sugarcane varieties, KK 3 = Khon Kaen 3 (Checked variety)

KU = Kumpawapi, Udon Thani; MM = Muang, Mukdahan; DM = Dontan, Mukdahan; BF = Ban Fang, Khon Kaen; KK = Klong Klung, Kamphaeng Phet; TU = Tron, Uttaradit; PS = Prasat, Surin; CR = Chom Bueng, Ratchaburi; SS = Sap Sanun, Saraburi; KS = Kaeng Khoi, Saraburi; WS = Wang Muang, Saraburi; TK = Tha Maka, Kanchanaburi; DK = Dan Makham Tia, Kanchanaburi; BK = Bo Phloi, Kanchanaburi

### เสถียรภาพของพันธุ์

จากการวิเคราะห์เสถียรภาพของพันธุ์ (Figure 3) พบว่า มีพันธุ์ที่มีเสถียรภาพ และมีค่า CCS ที่สูง ได้แก่ พันธุ์เก่าแพงแสน 07-29-1 (G10) และพันธุ์ขอนแก่น 3 (G11) ตามลำดับ ส่วนพันธุ์เก่าแพงแสน 07-30-3 (G4) มีค่า CCS ที่สูงรองลงมา และใกล้เคียงกับพันธุ์เก่าแพงแสน 07-10-6 (G1) แต่ทั้ง 2 พันธุ์ มีเสถียรภาพของพันธุ์ที่แตกต่างกัน คือ พันธุ์เก่าแพงแสน 07-30-3 (G4) มีเสถียรภาพระดับปานกลาง ขณะที่พันธุ์เก่าแพงแสน 07-10-6 (G1) มีเสถียรภาพของพันธุ์ที่ต่ำ โดยพันธุ์เก่าแพงแสน 07-14-2 (G3) มีเสถียรภาพสูงที่สุด แต่มีค่า CCS ต่ำที่สุด

### การประเมินความจำเพาะของพันธุ์ดีเด่นกับแปลงทดสอบ

จากการวิเคราะห์ศักยภาพสำหรับค่า CCS ของพันธุ์ดีเด่นในแต่ละสภาพแวดล้อม (Figure 4) พบว่า พันธุ์ที่ดีเด่นสำหรับค่า CCS ที่แปลงทดสอบส่วน

ใหญ่ ได้แก่ พันธุ์เก่าแพงแสน 07-29-1 (G10) โดยมีแนวโน้มแสดงความดีเด่นในแปลงทดสอบทุกแปลง ยกเว้นแปลงแก่งคอย (KS) และแปลงท่ามะกา (TK) ส่วนพันธุ์ขอนแก่น 3 (G11) แสดงความดีเด่นที่แปลงจอมบึง (CR) แปลงวังม่วง (WS) แปลงบ้านฝาง (BF) แปลงกุ่มภวาปี (KU) แปลงท่ามะกา (TK) แปลงบ่อพลอย (BK) และแปลงด่านมะขามเตี้ย (DK) โดยมีพันธุ์เก่าแพงแสน 07-30-3 (G4) มีความดีเด่นรองลงมา ขณะที่พันธุ์เก่าแพงแสน 07-10-6 (G1) แสดงความดีเด่นสำหรับค่า CCS ที่แปลงเมืองมุกดาหาร (MM) และแปลงดอนตาล (DM) โดยพันธุ์เก่าแพงแสน 07-24-2 (G6) แสดงความดีเด่นที่แปลงแก่งคอย (KS) และมีพันธุ์เก่าแพงแสน 07-5-4 (G2) มีความดีเด่นสำหรับค่า CCS รองลงมา ทั้งนี้ พันธุ์เก่าแพงแสน 07-14-2 (G3) และพันธุ์เก่าแพงแสน 07-30-2 (G9) ไม่มีความดีเด่นในทุกแปลงทดสอบสำหรับค่า CCS เช่นเดียวกับลักษณะผลผลิตอ้อย

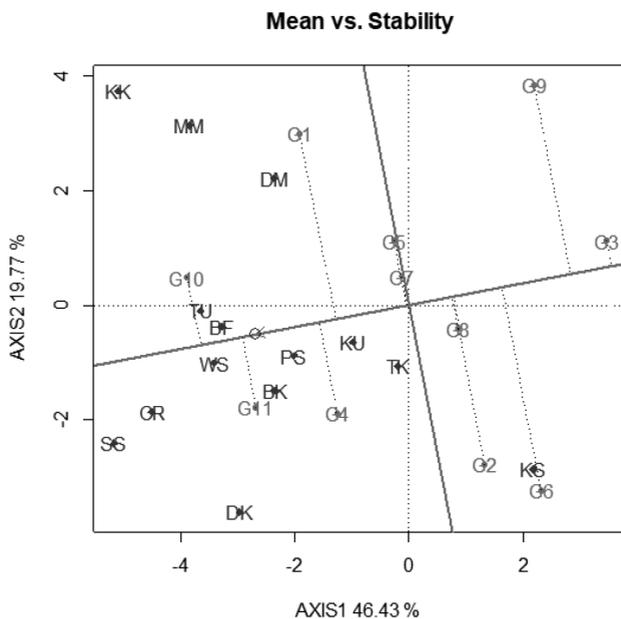
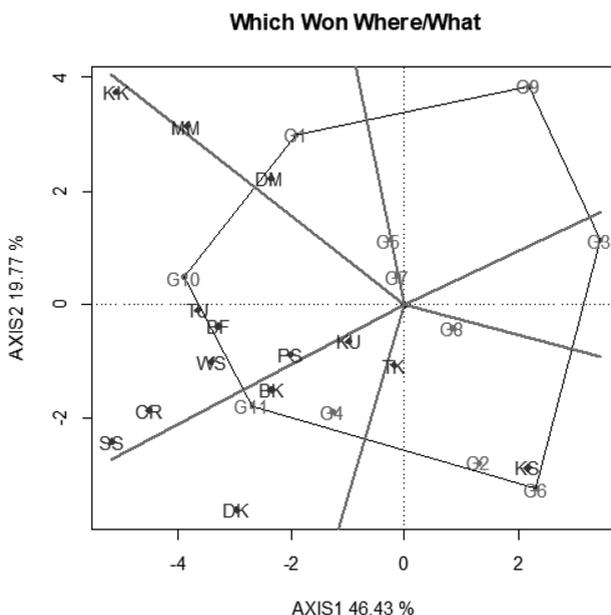


Figure 3 The mean versus stability view of the GGE biplot for commercial cane sugar



**Figure 4** The which-won-where view of the GGE biplot to show which varieties performed better in which environments (Locations) for commercial cane sugar

### ผลผลิตน้ำตาล

เมื่อพิจารณาผลผลิตน้ำตาลของพันธุ์อ้อยในแปลงทดสอบทั้ง 14 สถานที่ (Table 5) พบว่า มีแปลงทดสอบที่พบความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติสำหรับผลผลิตน้ำตาลของพันธุ์อ้อย ( $P < 0.05$  และ  $P < 0.01$ ) จำนวน 11 แปลง และแปลงทดสอบที่ไม่พบความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติสำหรับผลผลิตน้ำตาลของพันธุ์อ้อย จำนวน 3 แปลง แสดงให้เห็นว่าผลผลิตน้ำตาลของพันธุ์อ้อยในแต่ละสภาพแวดล้อม (แปลงทดสอบ) มีความแตกต่างกันทางสถิติมากกว่าผลผลิตอ้อยและค่า CCS ทั้งนี้ พบว่าพันธุ์ขอนแก่น 3 ซึ่งเป็นพันธุ์ตรวทดสอบ ให้ผลผลิตน้ำตาลสูงที่สุดใน 4 แปลงทดสอบ ได้แก่ แปลงตรอน (TU) แปลงแก่งคอย (KS) แปลงวังม่วง (WS) และแปลงจอมบึง (CR) โดยแปลงทดสอบทั้ง 4 แปลง ที่พันธุ์ขอนแก่น 3 ให้ผลผลิตน้ำตาลสูงนั้น มีเนื้อดินเป็นดินร่วนและดินเหนียวประกอบอยู่ด้วย มีปริมาณน้ำฝนรวมตลอดฤดูปลูกอยู่ในช่วง 761–959 มิลลิเมตร และมีอายุการเก็บเกี่ยวอยู่ในช่วง 321–401 วัน (Table 1) แสดงให้เห็นถึงความสามารถ

ในการปรับตัวที่ดีของพันธุ์ในสภาพแวดล้อมแบบกว้าง นอกจากนี้ พันธุ์กำแพงแสน 07–29–1 (G10) กำแพงแสน 07–30–3 (G4) และพันธุ์กำแพงแสน 07–24–2 (G6) ให้ผลผลิตน้ำตาลสูงในหลายสภาพแวดล้อมเช่นเดียวกัน ซึ่งพันธุ์อ้อยที่ให้ผลผลิตน้ำตาลสูงเป็นกลุ่มพันธุ์เดียวกันกับที่ให้ผลผลิตอ้อยและค่า CCS ที่สูงเช่นกัน สอดคล้องกับการศึกษาของ Jaisil and Sanitchon (2012) ที่ปลูกทดสอบผลผลิตอ้อยและน้ำตาลของอ้อยชุด มข. 1999 เปรียบเทียบกับพันธุ์อื่น ๆ พบว่า อ้อยพันธุ์ที่ให้ผลผลิตน้ำตาลสูงใน 7 สถานที่ มีค่า CCS สูงซึ่งลักษณะดังกล่าวสามารถใช้เป็นเกณฑ์ในการคัดเลือกพันธุ์อ้อยเช่นเดียวกับการวัดจากผลผลิตอ้อยโดยตรง ทั้งนี้ พันธุ์ที่มีค่าเฉลี่ยผลผลิตน้ำตาลสูงที่สุดของทั้ง 14 แปลงทดสอบ คือ พันธุ์กำแพงแสน 07–29–1 (G10) โดยมีผลผลิตน้ำตาลเฉลี่ย 1.69 ตันต่อไร่ รองลงมาได้แก่ พันธุ์ขอนแก่น 3 (G11) กำแพงแสน 07–30–3 (G4) กำแพงแสน 07–10–3 (G7) และพันธุ์กำแพงแสน 07–10–6 (G1) ซึ่งมีผลผลิตน้ำตาลเฉลี่ย 1.68, 1.55, 1.43 และ 1.43 ตันต่อไร่ ตามลำดับ

### เสถียรภาพของพันธุ์

จากการวิเคราะห์เสถียรภาพของพันธุ์ (Figure 5) พบว่า มีพันธุ์ที่มีเสถียรภาพและผลผลิตน้ำตาลที่สูง ได้แก่ พันธุ์กำแพงแสน 07-29-1 (G10) และพันธุ์ขอนแก่น 3 (G11) ตามลำดับ จึงเหมาะสมที่สุดในการแนะนำให้ปลูกในสภาพแวดล้อมทั่วไป โดยที่พันธุ์กำแพงแสน 07-30-3 (G4) มีผลผลิตน้ำตาลระดับปานกลาง แต่มีเสถียรภาพค่อนข้างต่ำ จึงเหมาะสมสำหรับแนะนำให้ปลูกในสภาพแวดล้อมที่เฉพาะเจาะจง ขณะที่ พันธุ์กำแพงแสน 07-14-2 (G3) มีเสถียรภาพสูงที่สุดแต่มีผลผลิตน้ำตาลต่ำที่สุด และพันธุ์กำแพงแสน 07-30-2 (G9) เป็นพันธุ์ที่มีเสถียรภาพต่ำ และผลผลิตน้ำตาลที่ต่ำ

### การประเมินความจำเพาะของพันธุ์ดีเด่นกับแปลงทดสอบ

จากการวิเคราะห์ศักยภาพการให้ผลผลิตน้ำตาลของพันธุ์ดีเด่นในแต่ละสภาพแวดล้อม (Figure 6) พบว่า พันธุ์ที่ดีเด่นในลักษณะผลผลิตน้ำตาลที่แปลงทดสอบส่วนใหญ่ ได้แก่ พันธุ์กำแพงแสน 07-

29-1 (G10) และพันธุ์ขอนแก่น 3 (G11) ตามลำดับ โดยพันธุ์กำแพงแสน 07-29-1 (G10) มีแนวโน้มที่ดีเด่นมากกว่าพันธุ์ขอนแก่น 3 (G11) ส่วนพันธุ์อ้อยที่มีความดีเด่นเฉพาะแปลงทดสอบ ได้แก่ พันธุ์กำแพงแสน 07-30-3 (G4) ที่แปลงบ่อพลอย (BK) และแปลงท่ามะกา (TK) ส่วนพันธุ์กำแพงแสน 07-10-6 (G1) มีความดีเด่นเฉพาะที่แปลงคลองขลุง (KK) แต่ไม่ดีเด่นที่แปลงปราสาท (PS) และแปลงท่ามะกา (TK) ขณะที่ พันธุ์กำแพงแสน 07-5-4 (G2) กำแพงแสน 07-6-2 (G5) และพันธุ์กำแพงแสน 07-24-2 (G6) มีความดีเด่นที่แปลงปราสาท (PS) และแปลงท่ามะกา (TK) แต่ไม่ดีเด่นที่แปลงคลองขลุง (KK) ทั้งนี้ พันธุ์กำแพงแสน 07-14-2 (G3) และพันธุ์กำแพงแสน 07-30-2 (G9) ไม่มีความดีเด่นในลักษณะผลผลิตน้ำตาลในทุกแปลงทดสอบเช่นเดียวกับผลผลิตอ้อยและค่า CCS แสดงให้เห็นว่า อ้อยพันธุ์กำแพงแสน 07-14-2 (G3) และพันธุ์กำแพงแสน 07-30-2 (G9) เป็นพันธุ์ที่มีเสถียรภาพต่ำ และมีผลผลิตอ้อย ค่า CCS และผลผลิตน้ำตาลที่ต่ำเช่นเดียวกัน

**Table 5** Mean for sugar yield of 11 sugarcane varieties from 14 locations

Variety <sup>1</sup>	Sugar yield (t/rai)													Mean	
	KU	MM	DM	BF	PS	KK	TU	SS	KS	WS	CR	TK	DK		BK
Kps. 07-10-6	1.93	1.33 <sup>b</sup>	1.36 <sup>ab</sup>	1.81 <sup>a</sup>	0.69	2.66 <sup>a</sup>	1.37 <sup>b-e</sup>	1.56 <sup>cd</sup>	0.51	1.69 <sup>ab</sup>	1.01 <sup>bc</sup>	0.93 <sup>c</sup>	1.43 <sup>cd</sup>	1.79 <sup>a-d</sup>	1.43
Kps. 07-5-4	1.62	0.79 <sup>c</sup>	0.76 <sup>c</sup>	1.05 <sup>cd</sup>	0.89	0.88 <sup>d</sup>	1.35 <sup>b-e</sup>	1.73 <sup>cd</sup>	0.88	1.62 <sup>a-c</sup>	0.94 <sup>b-d</sup>	1.01 <sup>bc</sup>	1.13 <sup>d</sup>	1.85 <sup>a-d</sup>	1.18
Kps. 07-14-2	0.93	0.73 <sup>c</sup>	0.64 <sup>c</sup>	1.16 <sup>cd</sup>	1.20	1.37 <sup>cd</sup>	1.12 <sup>c-e</sup>	1.25 <sup>d</sup>	0.40	0.80 <sup>c</sup>	0.52 <sup>d</sup>	1.06 <sup>bc</sup>	1.31 <sup>cd</sup>	1.45 <sup>b-d</sup>	1.00
Kps. 07-30-3	1.77	1.10 <sup>bc</sup>	0.69 <sup>c</sup>	1.94 <sup>a</sup>	1.01	1.44 <sup>b-d</sup>	1.50 <sup>b-d</sup>	2.39 <sup>b</sup>	0.41	1.99 <sup>ab</sup>	0.91 <sup>b-d</sup>	1.43 <sup>ab</sup>	2.43 <sup>a</sup>	2.70 <sup>a</sup>	1.55
Kps. 07-6-2	1.75	1.16 <sup>bc</sup>	0.95 <sup>a-c</sup>	0.81 <sup>d</sup>	1.05	1.12 <sup>cd</sup>	0.87 <sup>de</sup>	1.72 <sup>cd</sup>	0.88	1.73 <sup>ab</sup>	1.05 <sup>bc</sup>	1.23 <sup>a-c</sup>	1.80 <sup>bc</sup>	1.99 <sup>a-d</sup>	1.29
Kps. 07-24-2	2.26	0.70 <sup>c</sup>	0.79 <sup>c</sup>	1.05 <sup>cd</sup>	0.83	1.25 <sup>cd</sup>	1.25 <sup>b-e</sup>	2.14 <sup>bc</sup>	0.99	1.31 <sup>bc</sup>	1.03 <sup>bc</sup>	1.67 <sup>a</sup>	1.47 <sup>cd</sup>	2.16 <sup>a-c</sup>	1.35
Kps. 07-10-3	1.76	1.52 <sup>b</sup>	0.69 <sup>c</sup>	1.17 <sup>cd</sup>	0.80	1.84 <sup>a-c</sup>	1.60 <sup>a-c</sup>	2.12 <sup>bc</sup>	1.22	1.92 <sup>ab</sup>	1.11 <sup>b</sup>	1.01 <sup>bc</sup>	1.69 <sup>b-d</sup>	1.57 <sup>b-d</sup>	1.43
Kps. 07-1-3	1.53	1.16 <sup>bc</sup>	0.81 <sup>c</sup>	1.05 <sup>cd</sup>	0.93	1.84 <sup>a-c</sup>	1.18 <sup>c-e</sup>	2.16 <sup>bc</sup>	0.80	1.80 <sup>ab</sup>	1.16 <sup>ab</sup>	1.10 <sup>bc</sup>	1.70 <sup>b-d</sup>	2.13 <sup>a-c</sup>	1.38
Kps. 07-30-2	2.06	1.36 <sup>b</sup>	0.87 <sup>bc</sup>	1.33 <sup>bc</sup>	0.76	2.04 <sup>a-c</sup>	0.74 <sup>e</sup>	1.16 <sup>d</sup>	0.69	0.85 <sup>c</sup>	0.58 <sup>cd</sup>	1.11 <sup>bc</sup>	1.27 <sup>cd</sup>	1.06 <sup>d</sup>	1.13
Kps. 07-29-1	1.42	1.95 <sup>a</sup>	1.41 <sup>a</sup>	1.55 <sup>ab</sup>	0.77	2.37 <sup>ab</sup>	1.90 <sup>ab</sup>	3.09 <sup>a</sup>	0.71	1.91 <sup>ab</sup>	1.29 <sup>ab</sup>	0.87 <sup>c</sup>	2.13 <sup>ab</sup>	2.31 <sup>ab</sup>	1.69
KK 3	2.06	0.84 <sup>c</sup>	0.89 <sup>a-c</sup>	1.70 <sup>ab</sup>	1.07	2.31 <sup>ab</sup>	2.19 <sup>a</sup>	2.99 <sup>a</sup>	1.26	2.28 <sup>a</sup>	1.60 <sup>a</sup>	1.43 <sup>ab</sup>	1.78 <sup>bc</sup>	1.15 <sup>cd</sup>	1.68
Mean	1.74	1.15	0.90	1.33	0.91	1.74	1.37	2.03	0.80	1.63	1.02	1.17	1.65	1.83	1.37
F-test	ns	**	*	**	ns	**	**	**	ns	*	**	*	**	*	*
CV (%)	24.34	21.37	31.63	15.88	47.99	28.10	26.51	15.83	45.03	28.08	24.51	21.20	19.23	29.78	

Mean within a column followed by the same letter do not significant difference according to F-test at P < 0.05

ns = not significant, \* Significant difference at P < 0.05, \*\* Significant difference at P < 0.01

<sup>1</sup>Kps. = Kamphaeng Saen sugarcane varieties, KK 3 = Khon Kaen 3 (Checked variety)

KU = Kumpawapi, Udon Thani; MM = Muang, Mukdahan; DM = Dontan, Mukdahan; BF = Ban Fang, Khon Kaen; KK = Klong Klung, Kamphaeng Phet; TU = Tron, Uttaradit; PS = Prasat, Surin; CR = Chom Bueng, Ratchaburi; SS = Sap Sanun, Saraburi; KS = Kaeng Khoi, Saraburi; WS = Wang Muang, Saraburi; TK = Tha Maka, Kanchanaburi; DK = Dan Makhm Tia, Kanchanaburi; BK = Bo Phloi, Kanchanaburi

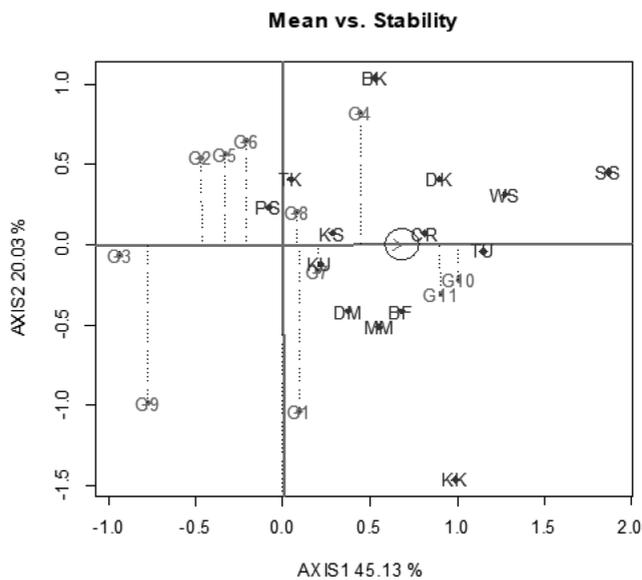


Figure 5 The mean versus stability view of the GGE biplot for sugar yield

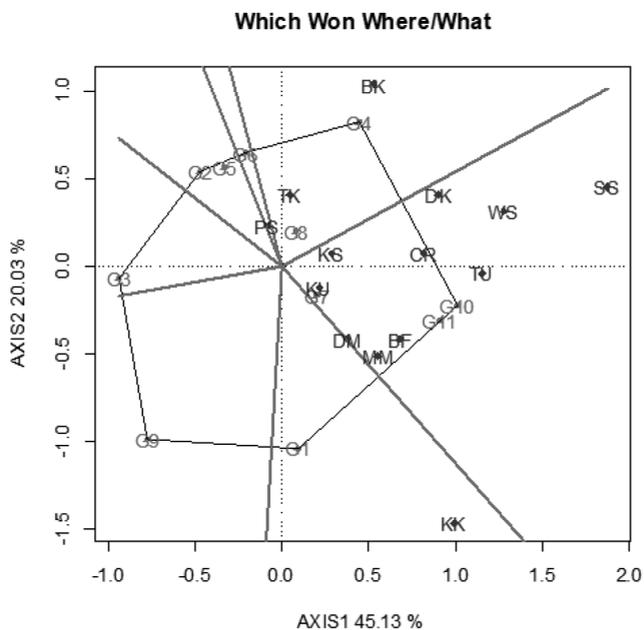


Figure 6 The which-won-where view of the GGE biplot to show which varieties performed better in which environments (Locations) for sugar yield

## สรุป

จากการประเมินเสถียรภาพผลผลิตของอ้อยปลูกพันธุ์กำแพงแสน ชุดปี 2007 จำนวน 10 พันธุ์ และมีพันธุ์ขอนแก่น 3 เป็นพันธุ์เปรียบเทียบ จาก 14 สถานีทดสอบ ด้วยวิธี GGE biplot พบว่า พันธุ์กำแพงแสน 07-29-1 มีความดีเด่นเช่นเดียวกับพันธุ์เปรียบเทียบโดยมีผลผลิตอ้อยเฉลี่ย 13.46 ตันต่อไร่ ค่า CCS เท่ากับ 12.45 และมีผลผลิตน้ำตาลเฉลี่ย 1.69 ตันต่อไร่ ขณะที่พันธุ์เปรียบเทียบมีผลผลิตอ้อยเฉลี่ย 13.68 ตันต่อไร่ ค่า CCS เท่ากับ 12.37 และมีผลผลิตน้ำตาลเฉลี่ย 1.68 ตันต่อไร่ อย่างไรก็ตาม พันธุ์กำแพงแสน 07-29-1 มีเสถียรภาพของผลผลิตอ้อยดีกว่าพันธุ์เปรียบเทียบ นอกจากนี้ ยังมีพันธุ์กำแพงแสนที่มีความดีเด่นใน

ลักษณะผลผลิตอ้อย ค่า CCS และผลผลิตน้ำตาลในลำดับรองลงมา แต่มีเสถียรภาพค่อนข้างต่ำ ได้แก่ พันธุ์กำแพงแสน 07-30-3 และพันธุ์กำแพงแสน 07-10-6 ซึ่งเป็นพันธุ์ที่มีความดีเด่นเฉพาะบางแปลงทดสอบหรือเป็นพันธุ์ที่สามารถปรับตัวได้ดีเฉพาะในบางสภาพแวดล้อมเท่านั้น

## กิตติกรรมประกาศ

งานวิจัยนี้ได้รับการสนับสนุนทุนจากศูนย์วิจัยและพัฒนาอ้อยและน้ำตาล ภาควิชาพืชไร่ฯ คณะเกษตร กำแพงแสน มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ วิทยาเขตกำแพงแสน นครปฐม

## เอกสารอ้างอิง

- Authrapun, J., U. Lertsuchatavanich, S. Rungmekarat, P. Rajchanu-wong, P. Promchote, W. Jindaluang, P. Duangpatra, N. Samutthong, S. Tabngeon and J. Duangpatra. 2016. Yield stability analysis of multi-environment yield trials in peanut breeding lines, pp. 430-437. *In Proc. the 54<sup>th</sup> Kasetsart University Annual Conference, 2-5 February 2016.* (in Thai)
- Buacheng, T. and R. Lersrutaiyotin. 2019. The evaluation of stability of Kamphaeng Saen sugarcane varieties series 2007 in ratoon cane by GGE evaluation. *Journal of Science and Technology Kasetsart University.* 8(2): 1-14. (in Thai)
- Bull, J.K., D.M. Hogarth and K.E. Basford. 1992. Impact of genotype multiply environment interaction on response to selection in sugarcane. *Aust. J. Exp. Agric.* 32(6): 731-737.
- Crossa, J., P.L. Cornelius and W. Yan. 2002. Biplots of linear-bilinear models for studying crossover genotype  $\times$  environment interaction. *Crop Sci.* 42: 619-633.
- Eberhart, S.A. and W.A. Russell. 1966. Stability parameters for comparing varieties. *Crop Sci.* 6: 36-40.
- Gauch, H.G. and R.W. Zobel. 1997. Identifying mega-environments and targeting genotypes. *Crop Sci.* 37: 311-326.
- International Rice Research Institute. 2014. Statistical Tool for Agricultural Research, STAR Version 2.0.1. Available Source: <http://bbi.irri.org/products>, June 8, 2021.

- Jackson, P., S. Chapman, A. Rattey, X.M. Wei and M. Cox. 2007. Genotype x region interactions and implications for sugarcane breeding programs, pp. 122–130. *In Proc. the 2007 Conference of the Australian Society of Sugar Cane Technologists*, 8–11 May 2007.
- Jaisil, P. and J. Sanitchon. 2012. Evaluation of cane yield and agronomic traits of sugarcane series KKU 1999 under diverse agro–ecological zones. *Khon Kaen Agr. J.* 40(Suppl. 3): 45–52. (in Thai)
- Jompuak, C. 2012. *Statistics: Experimental Planning and Data Analysis in Plant Research with R*. Kasetsart University Press, Bangkok. 336 pp. (in Thai)
- Jompuak, C. 2016. *Analytical Method for Quantitative Genetics in Plant Breeding: Working on R*. Neo Digital Co., Ltd, Bangkok. 505 pp. (in Thai)
- Kang, M.S. and J.D. Miller. 1984. Genotype x environment interactions for cane and sugar yield and their implications in sugarcane breeding. *Crop Sci.* 24(3): 435–440.
- Luo, J., Z.H. Deng, Y.X. Que, Z.N. Yuan and R.K. Chen. 2012. Productivity and stability of sugarcane varieties in the 7<sup>th</sup> round national regional trial of China. *Chin. J. Appl. Environ. Biol.* 18(5): 734–739.
- Milligan, S.B., K.A. Gravois, K.P. Bischoff and F.A. Martin. 1990. Crop effects on genetic relationships among sugarcane traits. *Crop Sci.* 30(4): 927–931.
- Nuttaro, S. and R. Lersrutaiyotin. 2020. Stability analysis of Kamphaeng Saen sugarcane variety series 2007 and 2008 using GGE biplot method in the central region. *Journal of Science and Technology Kasetsart University.* 9(3): 16–34. (in Thai)
- Office of Agricultural Economics. 2021. *Agricultural statistics of Thailand 2020*. Available Source: <http://www.oae.go.th/assets/portals/1/files/journal/2564/yearbook2563.pdf>, June 8, 2021. (in Thai)
- Ponragdee, W., T. Sansayawichai, P. Sarawat, T. Moulanon, P. Kapetch and U. Leabwon. 2011. Khon Kaen 3 a sugarcane cultivar for the northeast. *Thai Agric. Res J.* 29(3): 283–301. (in Thai)
- Puriya, J., W. Chamnanpa, P. Boodsiphum and A. Wongtamee. 2020. Evaluation of potential productivity between plant cane and the first ratoon of 16 sugarcane varieties grown in the sandy soil area in Phitsanulok province. *Naresuan Agricultural Journal.* 17(2): e0170205. (in Thai)
- Putkao, J. 2005. *Selection and Yield Trials of Sugarcane Hybrid Clones Suitable for Planting Season in Nakhon Ratchasima Province*. MS Thesis, Kasetsart University, Bangkok. (in Thai)

- R Core Team. 2012. R: a language and environment for statistical computing. Available Source: <http://www.R-project.org>, June 8, 2021.
- Set-tow, S., P. Songsri, N. Jongrunklang and P. Jaisil. 2019. Evaluation of cane yield and agronomic traits of 16 sugarcane advance clones grown under rainfed conditions in northeastern region with different soil texture. *Khon Kaen Agr. J.* 47(4): 641–654. (in Thai)
- Sooksathan, K. 1997. Sugarcane Production Handbook. Mitrphol Sugarcane Research Center Co., Ltd, Chaiyaphum. 63 pp. (in Thai)
- Suriharn, B. and K. Lertrat. 2007. Multi-location trial of waxy corn varieties in Thailand. *Khon Kaen Agr. J.* 35(4): 469–476. (in Thai)
- Thongviang, V., T. Buphasorn, D. Somrak, P. Phasook, S. Chaluthong, W. Sensai, P. Kokkan, S. Roobsom, O. Yatabe and K. Niimi. 2014. Comparative study of new U-thong sugarcane varieties and locally cultivated varieties in Kumphawapi district, Udon Thani province. *Khon Kaen Agr. J.* 42(2): 231–238. (in Thai)
- Yan, W., L.A. Hunt, Q. Sheng and Z. Szlavnic. 2000. Cultivar evaluation and mega-environment investigation based on GGE biplot. *Crop Sci.* 40: 597–605.
- Yan, W. 2001. GGEbiplot—a windows application for graphical analysis of multi-environment trial data and other types of two-way data. *Agron J.* 93: 111–118.
- Yan, W., P.L. Cornelius, J. Crossa and L.A. Hunt. 2001. Two types of GGE biplot for studying analyzing multi-environment trial data. *Crop Sci.* 41: 656–663.
- Yan, W. and M.S. Kang. 2003. *GGE Biplot Analysis: A Graphical Tool for Breeders, Geneticists, and Agronomists*. CRC Press, FL, USA. 288 pp.