Kasetsart J. (Nat. Sci.) 31 : 155 - 165 (1997) วิ. เกษตรศาสตร์ (วิทย.) ปีที่ 31 : 155 - 165 (2540)

การแยกอิทธิพลหลักแบบผลบวกและปฏิกิริยาสัมพันธ์แบบผลคูณของการทดสอบพันธุ์อ้อยหลายสภาพแวดล้อม

Partitioning of Additive Main Effects and Multiplicative Interaction from Sugarcane Varieties on Multi-environmental Trial

ประเสริฐ ฉัตรวชิระวงษ์ และ พีระศักดิ์ ศรีนิเวศน์[1]

Prasert Chatwachirawong and Peerasak Srinives

ABSTRACT

Additive main effects and multiplicative interaction (AMMI) is a statistical technique for multi-environmental yield trial. It is used to serve three main purposes; (i) model diagnosis in which the initial model is a part of AMMI (ii) to clearify the complicated genotype by environment interactions, and (iii) improving accuracy of yield estimates (Crossa, 1990). The objective of this study was to analyse and estimate cane and sugar yield and cane CCS value using AMMI analysis. Data from 18 experiments conducted during 1984 to 1989 in which three sugarcane varieties, namely F140, UT1, and CN1, were common in all environments. Results of the analyses indicated that AMMI model can separate a larger portion from the total variation. Percent of sum of squares for cane yield were 93.62, 94.01, 92.39 and 93.87 for CCS were 99.01, 89.45, 92.66 and 96.39 for sugar yield were 93.58, 95.02, 89.11, and 92.73 in plant cane, first and second ratoon, and all of three crops, respectively. PCA1 score of UT1 was 0.59, 0.17 and 1.03 in cane yield, CCS and sugar yield, respectively. UT1 was rather stable in cane yield and CCS value, but sensitive to environments in sugar yield. F140 had the lowest PCA1 score (0.27) in sugar yield, which was considered stable, but it gave lower yield when compared with CN1 and UT1, respectively.

Key words : sugarcane, stability, GxE interaction, AMMI, biplot

[1] ภาควิชาพืชไร่นา คณะเกษตร มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ วิทยาเขตกำแพงแสน

Department of Agronomy, Faculty of Agriculture, Kasetsart University, Kamphaeng Saen, Nakhon Pathom 73140, Thailand.

บทคัดย่อ

อิทธิพลหลักแบบผลบวกและปฏิกิริยาสัมพันธ์แบบผลคูณ (AMMI) เป็นเทคนิคทางสถิติสำหรับใช้ทดสอบพันธุ์พืชในหลายสภาพแวดล้อม วิธีการนี้ใช้เพื่อให้บรรลุ 3 วัตถุประสงค์หลัก คือ (1) วินิจฉัยโมเดลที่เป็นส่วนหนึ่งของ AMMI (2) ใช้อธิบายอิทธิพลของปฏิกิริยาสัมพันธ์ระหว่างพันธุ์กับสภาพแวดล้อมที่มีความซับซ้อน และ (3) ปรับปรุงค่าประมาณที่ได้ให้ถูกต้อง (Crossa, 1990) วัตถุประสงค์ของการศึกษานี้เพื่อวิเคราะห์และประมาณค่าผลผลิตอ้อย ผลผลิตน้ำตาล และซีซีเอส โดยการวิเคราะห์ AMMI โดยใช้ข้อมูล 18 การทดลองระหว่างปี 2527 ถึง 2532 ซึ่งมีอ้อยจำนวน 3 พันธุ์ คือ F140 UT1 และ CN1 เป็นพันธุ์ร่วมในทุกการทดลอง ผลการวิเคราะห์ได้แสดงให้เห็นว่า โมเดล AMMI สามารถแยกความผันแปรส่วนใหญ่จากความแปรปรวนทั้งหมด ในอ้อยปลูก อ้อยตอ1 อ้อยตอ2 และอ้อยรวม โดยให้เปอร์เซ็นต์ผลรวมกำลังสองของผลผลิตอ้อยเป็น 93.62 94.01 92.39 และ 93.87 ของซีซีเอสเป็น 99.01 89.45 92.66 และ 96.39 และของผลผลิตน้ำตาลเป็น 93.58 95.02 89.11 และ 92.73 ตามลำดับ คะแนนองค์ประกอบหลักของพันธุ์ UT1 เป็น 0.59 0.17 และ 1.03 ในลักษณะผลผลิตอ้อย ซีซีเอส และ ผลผลิตน้ำตาล ตามลำดับ ดังนั้น พันธุ์ UT1 จึงเป็นพันธุ์ที่มีเสถียรภาพในลักษณะผลผลิตและซีซีเอส แต่ค่อนข้างจะอ่อนไหวต่อสภาพแวดล้อมในลักษณะผลผลิตน้ำตาล โดยในลักษณะนี้อ้อยพันธุ์ F140 ให้ค่าองค์ประกอบหลักต่ำสุด (0.27) แสดงว่าเป็นพันธุ์ที่มีเสถียรภาพสูง แต่ให้ผลผลิตน้ำตาลต่ำเมื่อเปรียบเทียบกับอ้อยพันธุ์ CN1 และ UT1 ตามลำดับ

คำนำ

การทดสอบพันธุ์พืชในหลายสภาพแวดล้อม ทำให้สามารถศึกษาอิทธิพลของพันธุกรรม สภาพแวดล้อม และปฏิกิริยาสัมพันธ์ระหว่างพันธุ์กับสภาพแวดล้อมได้ อิทธิพลต่างๆ เหล่านี้สามารถประมาณได้จากโมเดลทางสถิติตามแผนการทดลองที่ผู้ใช้ได้ทำการทดลอง การวิเคราะห์อิทธิพลหลักแบบผลบวกและปฏิกิริยาสัมพันธ์แบบผลคูณ (additive main effects and multiplicative interaction, AMMI) เป็นวิธีที่ดัดแปลงมาจากการวิเคราะห์ข้อมูลโดยใช้เมตริกซ์สองทิศทาง (two-way data matrix) จากแนวคิดของ Mandel (1961) ซึ่งสามารถประยุกต์ใช้ได้กับการวิเคราะห์ข้อมูลจากการทดสอบพันธุ์พืชเป็นจำนวนมากและปลูกทดสอบในหลายท้องที่หรือสภาพแวดล้อม การวิเคราะห์ข้อมูลวิธี AMMI มีวัตถุประสงค์หลัก 3 ประการ คือ ประการแรก ใช้เป็นโมเดลสำหรับวินิจฉัยโมเดลอื่นๆ โดยเฉพาะในกรณีที่โมเดลย่อยนั้นเป็นส่วนหนึ่งของ AMMI เช่น การวิเคราะห์ความแปรปรวน (analysis of variance, ANOVA) การวิเคราะห์องค์ประกอบหลัก (principal component analysis, PCA) การวิเคราะห์รีเกรสชันเส้นตรง (linear regression, LR) ประการที่สอง ใช้อธิบายปฏิกิริยาสัมพันธ์ระหว่างพันธุ์กับสภาพแวดล้อม โดยโมเดลสามารถแสดงรูปแบบและให้ข้อสรุปความสัมพันธ์ระหว่างพันธุ์กับสภาพแวดล้อมโดยใช้การพลอตกราฟสองทิศทาง ที่เรียกว่า biplot และประการสุดท้ายใช้ในการประมาณค่าผลผลิตให้มีความถูกต้องมากยิ่งขึ้น โดยความถูกต้องนี้สามารถเทียบได้กับการเพิ่มจำนวนซ้ำที่ใช้ในการทดลองในแต่ละสภาพแวดล้อม ซึ่งทำให้สามารถลดจำนวนซ้ำ และเพิ่มจำนวนพันธุ์พืชได้มากขึ้น ทั้งยังเป็นวิธีการปรับปรุงประสิทธิภาพการคัดเลือกพันธุ์พืชอีกด้วย ความดีเด่นของ AMMI ประการสุดท้ายนี้สามารถนำมาใช้ในโครงการปรับปรุงพันธุ์ เพื่อทดสอบสายพันธุ์พืชจำนวนมากใน

ขั้นต้นที่สามารถทำซ้ำได้จำกัด (Crossa, 1990)

Zobel *et al.* (1988) ได้เสนอวิธีวิเคราะห์ข้อมูลในงานทดสอบพันธุ์พืชหลายท้องที่ และเปรียบเทียบวิธีการวิเคราะห์เสถียรภาพที่เคยใช้กันในอดีต ได้แก่ ANOVA (Comstock and Moll, 1963) LR (Finley and Wilkinson, 1963; Eberhart and Russell, 1966) PCA (Freeman, 1973; Basford *et al.*, 1991) และ AMMI (Gauch, 1988) ซึ่งพบว่า AMMI เป็นวิธีที่สามารถแยกได้ทั้งอิทธิพลหลักที่เป็นแบบผลบวกของพันธุ์และสภาพแวดล้อม และอิทธิพลแบบผลคูณของปฏิกิริยาสัมพันธ์ระหว่างพันธุ์กับสภาพแวดล้อม การแยกอิทธิพลแบบผลคูณทำโดยการวิเคราะห์องค์ประกอบหลัก แกนใดมีนัยสำคัญทางสถิติจะถือว่าเป็นส่วนหนึ่งของโมเดล วิธี AMMI ทำให้สามารถแยกความแปรปรวนที่เกิดจากโมเดล ออกจากความแปรปรวนทั้งหมดได้ นอกจากนี้การนำเสนอข้อมูลที่เรียกว่า biplot ยังสามารถแสดงให้เห็นการตอบสนองของพันธุ์และสภาพแวดล้อมได้ชัดเจนยิ่งขึ้น

การศึกษาครั้งนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อนำเสนอการวิเคราะห์ข้อมูลเปรียบเทียบพันธุ์อ้อยในหลายสภาพแวดล้อม โดยวิธีแยกอิทธิพลหลักแบบผลบวกและปฏิกิริยาสัมพันธ์แบบผลคูณ เปรียบเทียบเสถียรภาพของพันธุ์อ้อยและปฏิกิริยาสัมพันธ์ระหว่างพันธุ์กับสภาพแวดล้อมของพันธุ์อ้อยในแต่ละสภาพแวดล้อม ตลอดจนวิธีอธิบายข้อมูลโดยใช้ เทคนิคของ biplot

อุปกรณ์และวิธีการ

ข้อมูลที่ใช้วิเคราะห์ในครั้งนี้รวบรวมจากการทดสอบสายพันธุ์อ้อยจำนวน 18 การทดลอง ที่ทำระหว่างปี 2527 จนถึงปี 2532 ของสำนักงานคณะกรรมการอ้อยและน้ำตาลทราย กระทรวงอุตสาหกรรม และกรมวิชาการเกษตร กระทรวงเกษตรและสหกรณ์ ในการวิเคราะห์ข้อมูลได้แยกอ้อยออกมาเพียง 3 พันธุ์ คือ F140 UT1 และ CN1 เก็บข้อมูล 3 ลักษณะ คือ ผลผลิตอ้อย ซีซีเอส (Commercial Cane Sugar หรือ CCS) และผลผลิตน้ำตาล จากอ้อยปลูก อ้อยตอ1 อ้อยตอ2 และอ้อยรวม สภาพแวดล้อมที่ทดสอบพันธุ์ประกอบด้วย อ.บ่อพลอย จ.กาญจนบุรี (BOP) อ.เดิมบางนางบวช จ.สุพรรณบุรี (DEM) ศูนย์วิจัยพืชไร่ชัยนาท (FCN) ศูนย์วิจัยพืชไร่ระยอง (FRY) ศูนย์วิจัยพืชไร่สุพรรณบุรี (FSP) อ.เลาขวัญ จ.สุพรรณบุรี (LOK) อ.หนองใหญ่ จ.ชลบุรี (NOY) อ.พนมทวน จ.กาญจนบุรี (PNT) อ.สามชุก จ.สุพรรณบุรี (SAM) อ.สองพี่น้อง จ.สุพรรณบุรี (SPN) อ.ท่าม่วง จ.กาญจนบุรี (TAM) และ อ.ท่ายาง จ.เพชรบุรี (TAY) ในสภาพแวดล้อมของ อ.เดิมบางนางบวช และ อ.พนมทวน มีการทดลองที่ทำในอำเภอเดียวกันแต่ต่างท้องที่และต่างปี จึงถือเป็นสภาพแวดล้อมที่ต่างกัน

วิเคราะห์ข้อมูลโดยแยกอิทธิพลหลักแบบผลบวกและปฏิกิริยาสัมพันธ์แบบผลคูณ (AMMI) เพื่อแยกส่วนอิทธิพลหลักที่เกิดจากสภาพแวดล้อมและพันธุ์ ในส่วนของปฏิกิริยาสัมพันธ์ระหว่างพันธุ์กับสภาพแวดล้อม ได้แยกอิทธิพลแบบผลคูณโดยใช้การวิเคราะห์องค์ประกอบหลัก ซึ่งสามารถแสดงเป็นโมเดลได้ดังนี้

$$Y_{ij} = \mu + \alpha_i + \beta_j + \sum_{n=1}^{N} \lambda_n \xi_{in} \eta_{jn} + \theta_{ij}$$

โดยที่

Y_{ij} = ผลผลิตของพันธุ์ที่ i ปลูกในสภาพแวดล้อมที่ j

μ = ผลผลิตเฉลี่ยของการทดลอง

α_i = ส่วนเบี่ยงเบนโดยเฉลี่ยของพันธุ์ที่ i

β_j = ส่วนเบี่ยงเบนโดยเฉลี่ยของสภาพแวดล้อมที่ j

λ_n = ค่า eigen value ของแกนองค์ประกอบหลักที่ n

ξ_{in} = คะแนนองค์ประกอบของพันธุ์ที่ i แกนองค์ประกอบหลักที่ n

η_{jn} = คะแนนองค์ประกอบสภาพแวดล้อมที่ j แกนองค์ประกอบหลักที่ n

N = จำนวนแกนองค์ประกอบหลักทั้งหมดที่มีอยู่ในโมเดล

θ_{ij} = ส่วนเบี่ยงเบนที่ไม่ทราบสาเหตุ

การประมาณค่าปฏิกิริยาสัมพันธ์ระหว่างพันธุ์กับสภาพแวดล้อมสามารถคำนวณได้จากผลคูณของคะแนนองค์ประกอบหลักของพันธุ์ (variety PCA score) กับคะแนนองค์ประกอบหลักของสภาพแวดล้อม (environment PCA score) แสดงเป็นสูตรได้ดังนี้

$$\lambda \xi_i \eta_j = (\lambda^{0.5} \xi_i) * (\lambda^{0.5} \eta_j)$$

Gauch (1988) และ Zobel และคณะ (1988) ได้ให้หลักเกณฑ์การคำนวณองศาความเป็นอิสระ (df) ของแต่ละแกนองค์ประกอบหลักมีสูตรเป็น

df = (จำนวนพันธุ์) + (จำนวนสภาพแวดล้อม) − 1 − (2 × เลขที่แกนองค์ประกอบหลัก)

การคำนวณอิทธิพลหลักของพันธุ์ที่ i ในสภาพแวดล้อมที่ j (M_{ij}) คำนวณได้จากสูตร

M_{ij} = ค่าเฉลี่ยของพันธุ์ที่ i + ค่าเฉลี่ยของสภาพแวดล้อมที่ j − ค่าเฉลี่ยของการทดลอง

การคำนวณอิทธิพลของปฏิกิริยาสัมพันธ์ระหว่างพันธุ์กับสภาพแวดล้อมของแกนองค์ประกอบหลักที่ k หรือ $(INT_{ij})_k$ คำนวณได้จากสูตร

$(INT_{ij})_k$ = (PCA score แกนที่ k ของพันธุ์ที่ i) × (PCA score แกนที่ k ของสภาพแวดล้อมที่ j)

ค่าประมาณ (EST_{ij}) ตามวิธีของ AMMI คำนวณได้จากสูตร

$$EST_{ij} = M_{ij} + \Sigma (INT_{ij})_k$$

หลักการพิจารณาเสถียรภาพของพันธุ์พืช พิจารณาได้จากอิทธิพลของปฏิกิริยาสัมพันธ์ระหว่างพันธุ์กับสภาพแวดล้อม พืชพันธุ์ใดมีค่าคะแนนองค์ประกอบหลักใกล้เคียงกับ 0 จะถือว่าเป็นพันธุ์ที่มีเสถียรภาพสูง ซึ่งสามารถพิจารณาได้ง่ายโดยการทำแผนภาพสองทิศทาง (biplot) เป็นวิธีการนำเสนอข้อมูลโดยกราฟที่ทำการพลอตข้อมูลในแกน Y เป็นแกนองค์ประกอบหลัก ส่วนแกน X เป็นของผลผลิตเฉลี่ยแล้วนำข้อมูลของทั้งพันธุ์และสภาพแวดล้อมมาพลอตให้อยู่บนกราฟเดียวกัน

ผลและวิจารณ์

ผลผลิตอ้อย

การวิเคราะห์ความแปรปรวนลักษณะผลผลิตอ้อยของอ้อยปลูก อ้อยตอ1 อ้อยตอ2 และอ้อยรวมทั้ง 3 ปี พบว่า %SS (percent of sum of square) ของสภาพแวดล้อมมีค่าเป็น 73.8 67.07 43.30 และ 57.75 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ ส่วน %SS ของพันธุ์ให้ค่าเป็น 9.62 17.22 36.33 และ 28.31 ตามลำดับ (Table 1) แสดงว่า อิทธิพลของสภาพแวดล้อมจะลดลงตามลำดับจากอ้อยปลูก อ้อยตอ 1 และอ้อยตอ 2 ขณะที่อิทธิพลของพันธุกรรมมีค่าสูงขึ้นเป็นลำดับ สอดคล้องกับรายงานของ Milligan *et al.* (1990) และ Chatwachirawong (1993) ที่พบว่า ความแปรปรวนทางพันธุกรรมมีสัดส่วนเพิ่มขึ้นจากอ้อยปลูกไปยังอ้อยตอ และได้สรุปว่าการคัดเลือกลักษณะผลผลิตอ้อยควรกระทำในอ้อยตอหลังๆ ส่วนความแปรปรวนของปฏิกิริยาสัมพันธ์ระหว่างพันธุ์กับสภาพแวดล้อมสามารถแยกเป็น PCA1 ซึ่งมีค่าเป็น 61.41 61.85 62.64 และ 55.98 เปอร์เซ็นต์ในอ้อยปลูก อ้อยตอ 1 อ้อยตอ 2 และอ้อยรวม ตามลำดับ เมื่อรวมอิทธิพลทั้งหมดที่สามารถอธิบายได้โดยโมเดล AMMI ซึ่งประกอบด้วยอิทธิพลของพันธุ์ สภาพแวดล้อม และปฏิกิริยาสัมพันธ์ระหว่างพันธุ์กับสภาพแวดล้อม มีค่าเป็น 93.62 94.01 92.39 และ 93.87 เปอร์เซ็นต์ในอ้อยปลูก อ้อยตอ 1 อ้อยตอ 2 และอ้อยรวม ตามลำดับ

Table 2 แสดงความผันแปรของแต่ละสภาพแวดล้อมที่เกิดจากอิทธิพลของ INT (interaction) ของผลผลิตอ้อยรวมแยกตามพันธุ์ พบว่าการทดลองที่สภาพแวดล้อม DEM2 ให้ INT สูงสุดเป็น -6.18 -1.38 และ 7.56 ในอ้อยพันธุ์ F140 UT1 และ CN1 ตามลำดับ

Table 1 AMMI analysis of variance of yield from plant cane, first ratoon, second ratoon, and total of all three crops of 3 sugarcane cultivars grown under 18 environmental conditions.

SOV	df	Plant cane		First ratoon		Second ratoon		All three crops	
		SS	%SS	SS	%SS	SS	%SS	SS	%SS
Environment (E)	17	482.32	73.84	440.05	67.07	271.02	43.30	2294.86	57.75
Genotype (G)	2	62.83	9.62	113.00	17.22	227.40	36.33	1124.86	28.31
GE Interaction	34	108.03	16.54	103.03	15.71	127.45	20.37	553.82	13.94
PCA1	18	66.34	61.41	63.72	61.85	79.84	62.64	310.02	55.98
Residuals	16	41.69	38.59	39.31	38.15	47.61	37.36	243.38	44.02
AMMI Model 1/	37	611.49	93.62	616.77	94.01	589.26	92.39	3730.16	93.87
Total	53	653.18		656.08		625.87		3973.54	

1/ AMMI Model = Environment + Genotype + PCA1

Table 2 Mean value, main effect (M), interaction effect (INT), and estimated (EST) cane yield of all three crops from AMMI model analysis of 3 sugarcane cultivars grown under 18 environmental conditions.

	F140				UT1				CN1			
	Mean	M	INT	EST	Mean	M	INT	EST	Mean	M	INT	EST
BOP	23.27	24.95	0.30	25.24	39.21	36.11	0.07	36.18	28.61	30.03	-0.36	29.67
DEM1	29.67	30.05	-0.20	29.86	41.46	41.22	-0.04	41.17	35.28	35.14	0.24	35.38
DEM2	29.03	34.24	-6.18	28.06	42.53	45.40	-1.38	44.03	47.41	39.33	7.56	46.89
DEM3	18.01	17.22	-0.87	16.35	25.63	28.38	-0.19	28.19	24.27	22.31	1.07	23.38
DEM4	39.70	34.36	5.02	39.37	46.14	45.52	1.12	46.64	33.48	39.44	-6.14	33.31
DEM5	26.02	24.88	0.48	25.35	35.12	36.04	0.11	36.15	29.74	29.96	-0.58	29.38
FCN	25.57	25.21	-2.33	22.88	31.73	36.38	-0.52	35.86	34.59	30.30	2.85	33.15
FRY	25.65	20.74	3.38	24.12	30.30	31.90	0.75	32.66	22.52	25.83	-4.13	21.70
FSP	28.43	29.69	-0.22	29.46	42.39	40.85	-0.05	40.80	34.49	34.77	0.27	35.05
LOK	33.54	30.57	0.88	31.44	38.70	41.73	0.20	41.93	35.71	35.65	-1.07	34.58
NOY	23.90	24.81	-2.02	22.78	33.80	35.97	-0.45	35.52	32.97	29.89	2.48	32.37
PNT1	29.42	32.37	-1.86	30.51	44.79	43.53	-0.41	43.12	39.14	37.45	2.27	39.72
PNT2	32.51	37.55	-0.72	36.83	55.19	48.71	-0.16	48.55	41.20	42.64	0.88	43.52
PNT3	32.91	38.12	-2.44	35.68	53.00	49.29	-0.54	48.74	44.71	43.21	2.99	46.20
SAM	30.07	30.44	-1.51	28.93	39.52	41.61	-0.34	41.27	37.99	35.53	1.85	37.38
SPN	41.54	41.75	2.97	44.72	58.46	52.91	0.66	53.58	41.50	46.84	-3.63	43.21
TAM	33.17	28.47	2.96	31.43	37.61	39.63	0.66	40.29	30.87	33.55	-3.62	29.93
TAY	21.98	18.99	2.39	21.39	29.78	30.16	0.53	30.69	21.47	24.08	-2.93	21.15

ส่วนที่สภาพแวดล้อม BOP DEM1 DEM5 FSP และ PNT2 ให้ INT ต่ำ มีค่าอยู่ระหว่าง -1.00 กับ 1.00 กลุ่มของสภาพแวดล้อมอำเภอเดิมบางนางบวช (DEM) สามารถแยกออกตามอิทธิพลของ INT ได้เป็น 2 กลุ่ม คือกลุ่มที่มีความผันแปรสูง (DEM2 และ DEM4) กับกลุ่มที่มีความผันแปรต่ำ (DEM1 DEM3 และ DEM5) สภาพแวดล้อม SPN ให้ค่าเฉลี่ยผลผลิตของอ้อยพันธุ์ F140 ใกล้เคียงกับพันธุ์ CN1 คือ 41.54 และ 41.50 ตันต่อไร่ แต่เมื่อใช้ค่าประมาณของ AMMI จะให้ค่าเป็น 44.72 และ 43.21 ตันต่อไร่ ตามลำดับ จาก Table 7 แสดงให้เห็นว่า พันธุ์ F140 UT1 และ CN1 ให้คะแนนองค์ประกอบหลักที่ 1 (variety PCA1 score) เป็น 2.63 0.59 และ -3.22 ตามลำดับ อ้อยพันธุ์ UT1 จึงเป็นพันธุ์ที่มีเสถียรภาพสูงสุด รองลงมาคือ F140 และ CN1 ตามลำดับ แผนภาพ biplot (Figure 1) นอกจากจะแสดงให้เห็นว่า UT1 เป็นพันธุ์ที่มีตำแหน่งใกล้เส้น PCA1 เท่ากับ 0 ซึ่งถือว่าเป็นพันธุ์ที่มีเสถียรภาพสูงแล้ว ยังให้ผลผลิตสูงสุดอีกด้วย

ค่าซีซีเอส

ความแปรปรวนในค่าซีซีเอสของอ้อยปลูก อ้อยตอ1 อ้อยตอ2 และค่าเฉลี่ยอ้อยรวมจาก 3 ปี ให้ %SS ของสภาพแวดล้อมเป็น 76.67 63.17 68.59 และ 70.58 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ ส่วน %SS ของพันธุ์มีค่าเป็น 4.83 11.00 13.47 และ 12.82 ตามลำดับ (Table 3) ให้ผลการวิเคราะห์คล้ายกันกับในอ้อยปลูก โดยอิทธิพลของสภาพแวดล้อมจะลดลงตามลำดับจากอ้อยปลูก อ้อยตอ1 และอ้อยตอ2 แต่อิทธิพลของพันธุ์จะมีค่าสูงขึ้นเป็นลำดับ สอดคล้องกับรายงานของ Chatwachirawong (1993) ส่วนปฏิกิริยาสัมพันธ์ระหว่างพันธุ์กับสภาพแวดล้อมสามารถแยกเป็น PCA1 มีค่าเท่ากับ 81.45 78.63 59.12 และ 78.31 เปอร์เซ็นต์ในอ้อยปลูก อ้อยตอ1 อ้อยตอ2 และค่าเฉลี่ยอ้อยรวม ตามลำดับ ความแปรปรวนที่อธิบายโดยโมเดล AMMI มีค่าเป็น 99.01 89.45 92.66 และ 96.39 เปอร์เซ็นต์ในอ้อยปลูก อ้อยตอ1 อ้อยตอ2 และค่าเฉลี่ยอ้อยรวม ตามลำดับ โมเดล AMMI จากค่าซีซีเอสสามารถอธิบายข้อมูลได้สูงมาก

ความผันแปรของแต่ละสภาพแวดล้อมที่เกิดจาก INT ของซีซีเอสเฉลี่ยจากอ้อยทั้ง 3 ปี พบว่า PNT1 ให้ INT สูงสุดเท่ากับ 1.09 -0.14 และ -0.94 ในอ้อยพันธุ์ F140 UT1 และ CN1 ตามลำดับ ในขณะที่ FSP SPN และ TAY มีค่า INT ต่ำอยู่ระหว่าง -0.10 กับ 0.10 (Table 4) การเปรียบเทียบ PCA1 ของอ้อยทั้ง 3 พันธุ์

Table 3 AMMI analysis of variance of CCS from plant cane, first ratoon, second ratoon, and mean of three crops of 3 sugarcane cultivars grown under 18 environmental conditions.

SOV	df	Plant cane		First ratoon		Second ratoon		Three crop means	
		SS	%SS	SS	%SS	SS	%SS	SS	%SS
Environment (E)	17	156.91	76.67	57.98	63.17	58.34	68.59	47.56	70.58
Genotype (G)	2	9.89	4.83	10.10	11.00	11.46	13.47	8.64	12.82
GE Interaction	34	37.85	18.15	23.69	25.83	15.26	17.94	11.19	16.60
PCA1	18	30.83	81.45	14.01	78.63	9.02	59.12	8.76	78.31
Residuals	16	2.02	18.55	9.68	21.37	6.24	40.88	2.43	21.69
AMMI Model 1/	37	202.63	99.01	82.10	89.45	78.82	92.66	64.95	96.39
Total	53	204.65		91.78		85.06		67.38	

1/ AMMI Model = Environment + Genotype + PCA1

Table 4 Mean value, main effect (M), interaction effect (INT) and estimated (EST) mean CCS value from AMMI model analysis of 3 sugarcane cultivars grown under 18 environment conditions.

	F140				UT1				CN1			
	Mean	M	INT	EST	Mean	M	INT	EST	Mean	M	INT	EST
BOP	13.55	12.78	0.81	13.59	11.81	11.80	-0.11	11.70	11.57	12.34	-0.71	11.64
DEM1	14.85	15.44	-0.53	14.91	14.69	14.47	0.07	14.54	15.38	15.01	0.46	15.47
DEM2	14.04	13.71	0.32	14.03	12.68	12.74	-0.04	12.70	13.01	13.28	-0.28	13.00
DEM3	13.51	14.36	-0.87	13.49	13.45	13.38	0.11	13.50	14.71	13.92	0.76	14.68
DEM4	14.22	14.78	-0.49	14.29	14.05	13.81	0.06	13.87	14.67	14.35	0.43	14.78
DEM5	12.81	13.58	-0.44	13.13	13.48	12.60	0.06	12.66	13.03	13.14	0.39	13.53
FCN	15.41	15.88	-0.52	15.36	14.84	14.90	0.07	14.97	15.97	15.44	0.45	15.89
FRY	15.43	15.11	0.17	15.28	13.73	14.13	-0.02	14.11	14.76	14.67	-0.15	14.53
FSP	13.06	13.24	-0.05	13.19	12.61	12.27	0.01	12.27	12.65	12.81	0.05	12.85
LOK	13.82	13.49	0.23	13.72	12.23	12.51	-0.03	12.48	13.00	13.05	-0.20	12.85
NOY	12.90	13.59	-0.91	12.68	12.19	12.62	0.12	12.74	14.28	13.16	0.79	13.95
PNT1	13.57	12.51	1.09	13.59	11.45	11.53	-0.14	11.39	11.09	12.07	-0.94	11.13
PNT2	14.97	14.50	0.45	14.95	13.42	13.53	-0.06	13.47	13.71	14.07	-0.39	13.68
PNT3	15.03	14.66	0.27	14.93	13.40	13.69	-0.03	13.65	14.15	14.23	-0.23	14.00
SAM	13.89	13.80	0.13	13.93	12.92	12.83	-0.02	12.81	13.19	13.37	-0.11	13.26
SPN	13.84	13.82	0.10	13.92	13.03	12.84	-0.01	12.83	13.17	13.38	-0.09	13.29
TAM	13.39	13.22	0.16	13.39	12.22	12.25	-0.02	12.23	12.65	12.79	-0.14	12.65
TAY	15.68	15.46	0.10	15.56	14.17	14.48	-0.01	14.47	15.12	15.02	-0.09	14.94

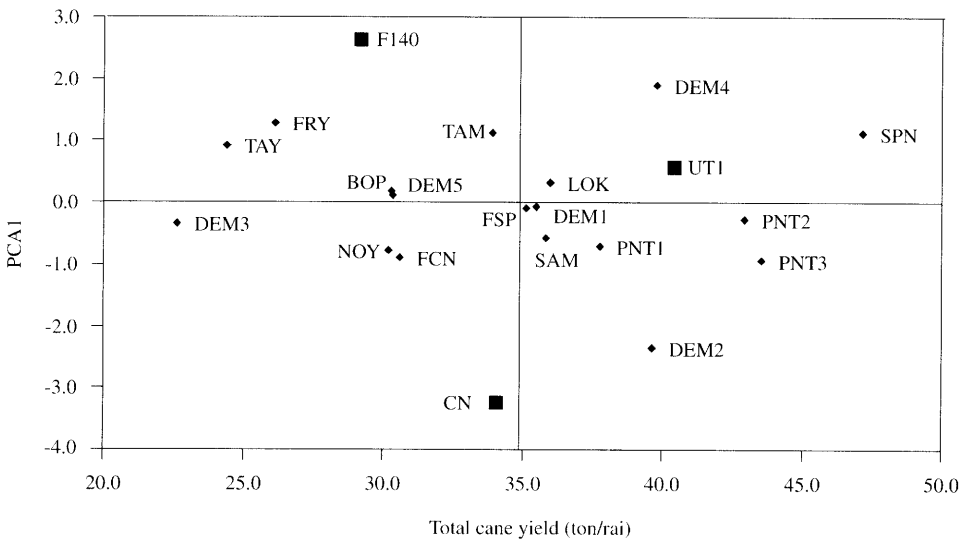


Figure 1 A biplot showing cane yield of all three crops of 3 sugarcane varieties grown under 18 environmental conditions.

Table 5 AMMI analysis of variance of sugar yield from plant cane, first ratoon, second ratoon, and total of all three crops of 3 sugarcane cultivars grown under 18 environmental conditions.

SOV	df	Plant cane		First ratoon		Second ratoon		All three crops	
		SS	%SS	SS	%SS	SS	%SS	SS	%SS
Environment (E)	17	9.20	77.77	8.70	73.48	4.84	47.92	38.54	65.60
Genotype (G)	2	0.33	2.70	0.92	7.69	2.09	20.69	8.03	13.67
GE Interaction	34	2.31	19.53	2.23	18.83	3.17	31.39	12.19	20.73
PCA1	18	1.55	67.26	1.64	73.54	2.07	65.46	7.92	64.97
Residuals	16	0.76	32.74	0.59	26.46	1.10	34.54	4.27	35.03
AMMI Model 1/	37	11.07	93.58	11.25	95.02	9.00	89.11	54.48	92.73
Total	53	11.83		11.84		10.10		58.75	

1/ AMMI Model = Environment + Genotype + PCA1

Table 6 Mean value, main effect (M), interaction effect (INT) and estimated (EST) sugar yield of all three crops from AMMI model analysis of 3 sugarcane cultivars grown under 18 environmental conditions.

	F140				UT1				CN1			
	Mean	M	INT	EST	Mean	M	INT	EST	Mean	M	INT	EST
BOP	3.22	3.27	0.10	3.37	4.69	4.21	0.38	4.59	3.34	3.78	-0.48	3.29
DEM1	4.40	4.82	0.01	4.83	6.09	5.76	0.04	5.80	5.41	5.33	-0.06	5.27
DEM2	4.03	4.69	-0.15	4.53	5.39	5.63	-0.58	5.05	6.09	5.20	0.73	5.93
DEM3	2.45	2.67	-0.07	2.60	3.44	3.61	-0.27	3.34	3.57	3.18	0.34	3.52
DEM4	5.65	5.21	0.15	5.36	6.54	6.16	0.58	6.73	4.90	5.72	-0.73	4.99
DEM5	3.39	3.52	0.04	3.56	4.72	4.47	0.14	4.61	3.91	4.03	-0.18	3.85
FCN	3.97	4.25	-0.15	4.11	4.73	5.20	-0.56	4.64	5.51	4.76	0.70	5.47
FRY	4.01	3.35	0.07	3.42	4.15	4.30	0.25	4.55	3.35	3.86	-0.32	3.54
FSP	3.68	4.04	0.05	4.09	5.45	4.98	0.20	5.18	4.43	4.55	-0.25	4.30
LOK	4.65	4.16	-0.01	4.15	4.74	5.11	-0.03	5.07	4.55	4.67	0.04	4.71
NOY	3.21	3.40	-0.14	3.26	3.83	4.35	-0.55	3.80	4.62	3.91	0.69	4.60
PNT1	4.00	4.08	0.04	4.11	5.24	5.02	0.15	5.16	4.44	4.59	-0.18	4.40
PNT2	4.76	4.27	-0.22	4.05	3.90	5.21	-0.83	4.38	5.60	4.78	1.05	5.83
PNT3	5.06	5.69	0.02	5.70	7.12	6.63	0.06	6.69	6.33	6.20	-0.08	6.12
SAM	4.16	4.26	-0.04	4.21	5.08	5.20	-0.16	5.04	4.98	4.77	0.20	4.96
SPN	5.90	5.89	0.18	6.07	7.64	6.83	0.70	7.53	5.57	6.40	-0.88	5.52
TAM	4.41	3.82	0.05	3.87	4.59	4.77	0.19	4.95	3.92	4.33	-0.24	4.10
TAY	3.62	3.21	0.08	3.28	4.21	4.15	0.29	4.44	3.24	3.72	-0.37	3.35

พบว่า UT1 มีเสถียรภาพสูงสุด เนื่องจากมี PCA1 score ต่ำสุดเป็น 0.17 ส่วนพันธุ์ F140 และ CN1 มี PCA1 score ใกล้เคียงกันเป็น -1.29 และ 1.12 ตามลำดับ (Table 7) แผนภาพ biplot แสดงใน Figure 2 แสดงให้เห็นว่าพันธุ์ UT1 ให้เสถียรภาพของซีซีเอสสูงสุด แต่จะให้ค่าซีซีเอสเฉลี่ยต่ำสุด ส่วนพันธุ์ F140 และ CN1 อ่อนไหวต่อสภาพแวดล้อมมาก โดยพันธุ์ F140 ให้ซีซีเอสเฉลี่ยสูงสุด และ CN1 ให้ซีซีเอสเฉลี่ยรองลงมา

ผลผลิตน้ำตาล

ความแปรปรวนของลักษณะผลผลิตน้ำตาลในอ้อยปลูก อ้อยตอ1 อ้อยตอ2 และผลผลิตรวม พบว่า %SS ของสภาพแวดล้อมมีค่าเป็น 77.77 73.48 47.92 และ 65.60 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ ความแปรปรวนของพันธุ์เป็น 2.70 7.69 20.69 และ 13.67 ตามลำดับ (Table 5) อิทธิพลของพันธุ์อ้อยมีมากขึ้นในอ้อยตอหลังๆ เหมือนกันกับที่พบในลักษณะผลผลิตอ้อยและซีซีเอส สอดคล้องกับ Chatwachirawong (1993) และ Milligan และคณะ (1990) โดยที่ Kang และ Miller (1984) ได้ชี้ให้เห็นว่า ผลผลิตน้ำตาลมีปฏิกิริยาสัมพันธ์ระหว่างพันธุ์กับท้องที่มากทั้งในอ้อยปลูกและอ้อยตอ ความแปรปรวนของปฏิกิริยาสัมพันธ์ระหว่างพันธุ์กับสภาพแวดล้อมสามารถแยกเป็นส่วน PCA1 เท่ากับ 67.26 73.54 65.46 และ 64.97 เปอร์เซ็นต์ในอ้อยปลูก

Table 7 Mean value and PCA1 score of AMMI model of total cane yield, total sugar yield and mean CCS value of 3 sugarcane cultivars grown under 18 environmental conditions.

	Cane yield				CCS				Sugar yield			
	F140	UT1	CN1	PCA1[2/]	F140	UT1	CN1	PCA1	F140	UT1	CN1	PCA1
BOP	23.27	39.21	28.61	0.11	13.55	11.81	11.57	-0.63	3.22	4.69	3.34	0.37
DEM1	29.67	41.46	35.28	-0.07	14.85	14.69	15.38	0.41	4.40	6.09	5.41	0.04
DEM2	29.03	42.53	47.41	-2.35	14.04	12.68	13.01	-0.25	4.03	5.39	6.09	-0.56
DEM3	18.01	25.63	24.27	-0.33	13.51	13.45	14.71	0.67	2.45	3.44	3.57	-0.26
DEM4	39.70	46.14	33.48	1.91	14.22	14.05	14.67	0.38	5.65	6.54	4.90	0.56
DEM5	26.02	35.12	29.74	0.18	12.81	13.48	13.03	0.34	3.39	4.72	3.91	0.14
FCN	25.57	31.73	34.59	-0.89	15.41	14.84	15.97	0.40	3.97	4.73	5.51	-0.54
FRY	25.65	30.30	22.52	1.28	15.43	13.73	14.76	-0.13	4.01	4.15	3.35	0.25
FSP	28.43	42.39	34.49	-0.08	13.06	12.61	12.65	0.04	3.68	5.45	4.43	0.19
LOK	33.54	38.70	35.71	0.33	13.82	12.23	13.00	-0.18	4.65	4.74	4.55	-0.03
NOY	23.90	33.80	32.97	-0.77	12.90	12.19	14.28	0.70	3.21	3.83	4.62	-0.53
PNT1	29.42	44.79	39.14	-0.71	13.57	11.45	11.09	-0.84	4.00	5.24	4.44	0.14
PNT2	32.51	55.19	41.20	-0.27	14.97	13.42	13.71	-0.35	4.76	3.90	5.60	-0.81
PNT3	32.91	53.00	44.71	-0.93	15.03	13.40	14.15	-0.21	5.06	7.12	6.33	0.06
SAM	30.07	39.52	37.99	-0.57	13.89	12.92	13.19	-0.10	4.16	5.08	4.98	-0.15
SPN	41.54	58.46	41.50	1.13	13.84	13.03	13.17	-0.08	5.90	7.64	5.57	0.68
TAM	33.17	37.61	30.87	1.13	13.39	12.22	12.65	-0.13	4.41	4.59	3.92	0.18
TAY	21.98	29.78	21.47	0.91	15.68	14.17	15.12	-0.08	3.62	4.21	3.24	0.28
PCA1[1/]	2.63	0.59	-3.22		-1.29	0.17	1.12		0.27	1.03	-1.30	

[1/] variety PCA1 score

[2/] environment PCA1 score

อ้อยตอ1 อ้อยตอ2 และอ้อยรวม ตามลำดับ โมเดล AMMI สามารถอธิบายข้อมูลได้เป็น 93.58 95.02 89.11 และ 92.73 เปอร์เซ็นต์ในอ้อยปลูก อ้อยตอ1 อ้อยตอ2 และอ้อยรวม ตามลำดับ

อิทธิพลของ INT ของผลผลิตน้ำตาลในอ้อยรวม พบว่าที่สภาพแวดล้อม PNT2 มีค่าสูงสุดเท่ากับ -0.22 -0.83 และ 1.05 ในอ้อยพันธุ์ F140 UT1 และ CN1 ตามลำดับ ในขณะที่สภาพแวดล้อม DEM1 LOK และ

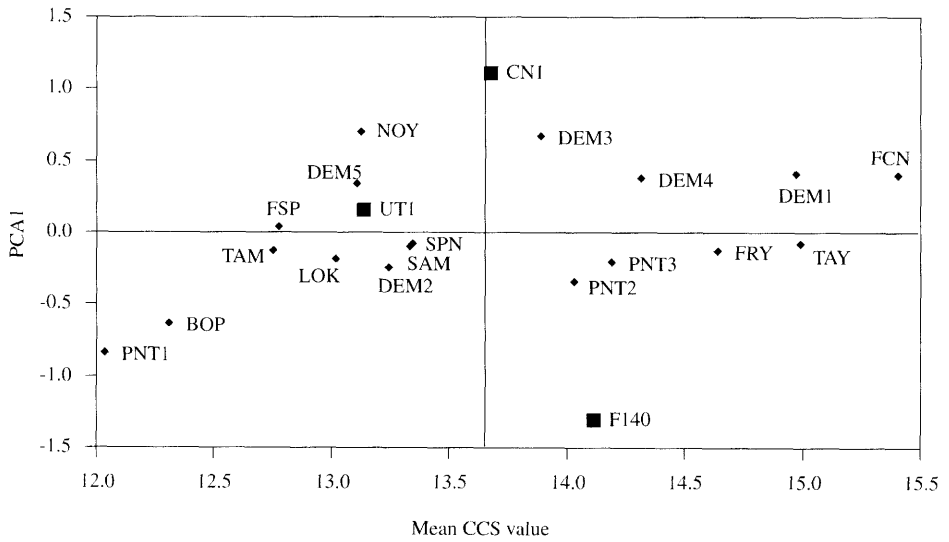


Figure 2 A biplot showing mean CCS value of 3 sugarcane varieties grown under 18 environmental conditions.

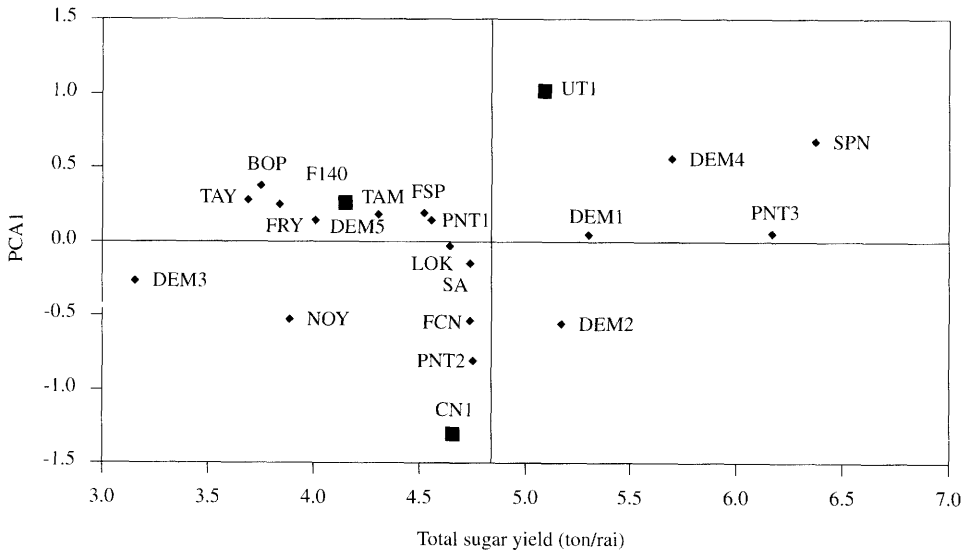


Figure 3 A biplot showing sugar yield of all three crops of 3 sugarcane varieties grown under 18 environmental conditions.

PNT3 ให้ INT ต่ำ มีค่าอยู่ระหว่าง -0.10 กับ 0.10 (Table 6) จาก Table 7 แสดงการเปรียบเทียบค่า PCA1 ของอ้อยทั้ง 3 พันธุ์ พบว่า พันธุ์ F140 มีเสถียรภาพสูงสุด โดยมีค่า PCA1 score เป็น 0.27 ส่วนพันธุ์ UT1 และ CN1 มีค่าเป็น 1.03 และ -1.30 ตามลำดับ แผนภาพ biplot ใน Figure 2 ได้แสดงให้เห็นว่า อ้อยพันธุ์ F140 มีตำแหน่งอยู่ใกล้ PCA1 เท่ากับ 0.00 มากที่สุด แต่ให้ผลผลิตน้ำตาลเฉลี่ยต่ำสุด ส่วนพันธุ์ UT1 และ CN1 ให้เสถียรภาพของพันธุ์ใกล้เคียงกัน แต่พันธุ์ UT1 ให้ผลผลิตน้ำตาลเฉลี่ยสูงกว่า

สรุป

AMMI สามารถแยกความผันแปรส่วนใหญ่เป็นส่วนของโมเดลจากความแปรปรวนทั้งหมด จึงอธิบายข้อมูลได้เกือบทั้งหมด มีเพียงส่วนน้อยเท่านั้นที่ไม่สามารถอธิบายโดยใช้โมเดลได้ นอกจากนี้ยังแยกปฏิกิริยาระหว่างพันธุ์กับสภาพแวดล้อมเป็นส่วนของแต่ละพันธุ์ที่ปลูกในแต่ละสภาพแวดล้อม ทำให้สามารถประมาณค่าจากโมเดลได้ แผนภาพ biplot ได้แสดงให้เห็นว่า อ้อยพันธุ์ UT1 มีเสถียรภาพสูงสุดในลักษณะผลผลิตอ้อยและซีซีเอส ส่วนลักษณะซีซีเอสถึงแม้ว่าอ้อยพันธุ์ UT1 จะมีเสถียรภาพสูงสุดแต่ก็ให้ค่าเฉลี่ยซีซีเอสต่ำสุด พันธุ์ F140 ให้มีเสถียรภาพสูงสุดแต่ผลผลิตต่ำสุดในลักษณะผลผลิตน้ำตาล

เอกสารอ้างอิง

Basford, K.E., P.M. Kroonenberg and I.H. DeLacy. 1991. Three-way methods for multiattribute genotype x environment data: an illustrated partial survey. Field Crops Res. 27 : 131-157.

Chatwachirawong, P. 1993. Yield stability of major sugarcane cultivars in Thailand. M.S. thesis, Kasetsart Univ., Bangkok.

Comstock, R.E. and R.H. Moll. 1963. Genotype-environment interaction, pp. 164-196. *In* W.D. Hanson and H.F. Robinson (eds.). Statistical Genetics and Plant Breeding. Nat. Acad. Sci.-Nat. Res. Coun. Pub. 982. Washington, D.C.

Crossa, J. 1990. Statistical analysis of multilocation trials. Adv. Agron. 44 : 55-85.

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

Finley, K.W. and G.N. Wilkinson. 1963. The analysis of adaptation in a plant-breeding programme. Aust. J. of Agric. Sci. 14 : 742-754.

Freeman, G.H. 1973. Statistical methods for the analysis of genotype-environment interactions. Heredity 31 : 339-354.

Gauch, H.G. 1988. Model selection and validation for yield trials with interaction. Biometrics 44 : 705-715

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 : 435-440.

Mandel, J. 1961. Non-additive in two-way analysis of variance. Amer. Stat. Assoc. J. 56 : 878-888.

Milligan, S.B., K.A. Gravois, K.P. Bischoff and F.A. Martin. 1990. Crop effects on broad-sense heritabilities and genetic variances of sugarcane yield components. Crop Sci. 30 : 344-349.

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