

Abstract

Sugarcane is a perennial crop so during the production they were affected by the various environments that cause to decrease sugarcane yield. Therefore, this experiment was conducted by planted 3 cultivars and 3 planting dates under no limiting factor for evaluation the potential of growth, development and sugar accumulation at Loei Horticulture Research Center during December 2016 - March 2018. The results showed that dry weight accumulation for all cultivars were different between planting date. Various environments especially low temperature caused to lower dry weight accumulation. For leaf development and plant high, they were affected by various environments same as dry weight accumulation. In addition, different on environments also caused to sugarcane flowering that made the abnormal of leaf development and plant high. For sugar accumulation, cultivar KK07-037 showed slower sugar accumulation than the others for all planting date but when after February all cultivars showed similarly sugar content. These results will be used for calibration and validation of the genetic coefficient using for the crop models.

6. คำนำ

ระบบการผลิตพืชเป็นระบบที่อ่อนไหวต่อการเปลี่ยนแปลงของสภาพแวดล้อม โดยเฉพาะอย่างยิ่งการเปลี่ยนแปลงของสภาพภูมิอากาศที่เปลี่ยนแปลงอยู่ตลอดเวลาทั้งในเชิงพื้นที่และในเชิงเวลา เกริก และคณะ (2552) ได้ศึกษาผลกระทบของการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศต่อการผลิตอ้อยในประเทศไทย โดยใช้แบบจำลองอ้อยในโปรแกรม DSSAT ร่วมกับข้อมูลสภาพภูมิอากาศรายวันปี 2543-2643 จากแบบจำลองสภาพภูมิอากาศ ECHAM4-PRECIS พบว่าการเปลี่ยนแปลงของสภาพภูมิอากาศมีผลกระทบในระยะยาวต่อการผลิตอ้อยเพียงเล็กน้อย และมีแนวโน้มให้ผลผลิตอ้อยเพิ่มขึ้น ถึงแม้ว่าค่าเฉลี่ยของผลผลิตอ้อยทั้งประเทศในระยะยาวจะได้รับผลกระทบไม่มากนักจากการเปลี่ยนแปลงของสภาพภูมิอากาศ แต่จะมีผลกระทบรุนแรงในบางพื้นที่ซึ่งแตกต่างกันไปในแต่ละพื้นที่และช่วงเวลาที่เกิด

การใช้แบบจำลองพืชเป็นวิธีการหนึ่งที่น่ามาใช้ประเมินผลกระทบของการเปลี่ยนแปลงของสภาพแวดล้อมได้อย่างมีประสิทธิภาพ (Jones *et al.*, 2003) เพราะสามารถใช้ผลผลิตจากแบบจำลองหลายแบบเปรียบเทียบกับผลผลิตที่เกษตรกรได้รับจริงหรือจากผลการทดลองที่ได้จริง ประหยัดงบประมาณ แรงงานในการศึกษาว่างานทดลองปกติ ซึ่งในแบบจำลองพืชยังสามารถศึกษาผลกระทบของการขาดน้ำได้

(Gassman *et al.*, 2007) นอกจากนั้นยังสามารถนำมาประเมินผลกระทบจากการขาดปุ๋ยไนโตรเจนได้อีกด้วย (Zhang *et al.*, 2002) และได้มีการนำเอาไปใช้แล้วอย่างแพร่หลาย โดยต้องการข้อมูลตัวป้อน (input data) ที่แบ่งได้เป็น 2 กลุ่มเหมือนกัน ได้แก่ ข้อมูลตัวป้อนที่เป็นค่าคงที่ที่กำหนดไว้ในแบบจำลองตัวป้อนกลุ่มนี้จะไม่เปลี่ยนแปลงไปตามสภาพแวดล้อม พันธุ์และการจัดการ และข้อมูลตัวป้อนที่ขึ้นอยู่กับความแตกต่างของสถานที่ปลูก พันธุ์ และการจัดการ ซึ่งผู้ใช้จำเป็นจะต้องหาค่าสัมประสิทธิ์ให้เหมาะสมกับพื้นที่ พันธุ์ และการจัดการนั้นๆ ก่อนที่จะนำเอาแบบจำลองพืชไปใช้ดังนั้นเพื่อให้มีการใช้แบบจำลองพืชสำหรับนำไปประยุกต์ใช้กับงานวิจัยอ้อยในประเทศไทยให้แพร่หลายมากขึ้น

ประโยชน์จากการใช้แบบจำลองพืช สามารถประเมินผลผลิตตามศักยภาพได้อย่างแม่นยำ ผลที่ได้เรียกว่าผลผลิตสูงสุดตามศักยภาพ (Potential yield) สามารถนำไปใช้ในการวิเคราะห์ช่องว่างของผลผลิต (Yield gap analysis) ซึ่งหมายถึงช่องว่างหรือความแตกต่างระหว่างผลผลิตสูงสุดตามศักยภาพ กับผลผลิตที่ได้จริงจากแปลงของเกษตรกร (Actual yield) ได้ การวิเคราะห์ช่องว่างของผลผลิตจะช่วยบ่งชี้ถึงการปรับปรุงผลผลิตในแต่ละพื้นที่ กล่าวคือ หากช่องว่างของผลผลิตมีค่ามาก การยกระดับผลผลิตของเกษตรกรน่าจะมีโอกาสสูง แต่ถ้าช่องว่างของผลผลิตมีค่าน้อย แสดงว่าพื้นที่นั้นมีปัญหาน้อย หรือเกษตรกรปฏิบัติดีอยู่แล้ว (อาร์นต์, 2535) และหากทราบปัจจัยที่เป็นข้อจำกัดการให้ผลผลิตแล้ว ก็จะสามารถกำหนดแนวทางในการยกระดับผลผลิตของเกษตรกรในพื้นที่นั้นๆ และจัดลำดับความสำคัญของงานทดลองได้ ดังนั้น การวิเคราะห์ช่องว่างของผลผลิต (Yield gap analysis) จึงเป็นจำเป็นที่จะต้องดำเนินการให้กว้างขวางยิ่งขึ้นโดยเฉพาะกับอ้อยซึ่งเป็นพืชเศรษฐกิจที่สำคัญ ที่ยังไม่เคยมีการวิเคราะห์ในลักษณะนี้ การทดลองนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อหาการเจริญเติบโตและการสะสมน้ำตาลของอ้อย 3 กลุ่มพันธุ์ ในสภาพที่ไม่มีปัจจัยจำกัดเพื่อนำไปใช้สำหรับปรับค่าสัมประสิทธิ์ทางพันธุกรรมที่ใช้สำหรับแบบจำลองพืช

7. วิธีดำเนินการ

- อุปกรณ์

- 1) เครื่องตรวจวัดและบันทึกสภาพอากาศกึ่งอัตโนมัติ
- 2) เครื่องมือวัดความชื้นดิน
- 3) พันธุ์อ้อย 3 พันธุ์ ได้แก่ K95-84 KK07-037 และ 95-2-213 หรือ KK07-050
- 4) ปุ๋ยเคมี 18-46-0 46-0-0 0-0-60
- 5) สารเคมีป้องกันและกำจัดศัตรูพืช
- 6) อุปกรณ์การให้น้ำพืช
- 7) อุปกรณ์สำหรับการเก็บข้อมูลผลผลิต องค์กรประกอบของผลผลิต และน้ำตาล

- วิธีการ

การปลูกอ้อยทดลอง ไม่มีแผนการทดลอง ปลูกอ้อย 3 ครั้ง คือ 1) ปลูกในช่วงเดือนตุลาคม 2) ช่วงเดือนมกราคม และ 3) ช่วงเดือนพฤษภาคม และเก็บเกี่ยวอ้อย ในเดือนธันวาคม มีนาคม และ พฤษภาคม ของการปลูกอ้อยครั้งที่ 1 2 และ 3 ตามลำดับ ปลูกอ้อย 3 พันธุ์ ได้แก่ KK07-037, K95-84 และ 95-2-213 หรือ KK07-050

ขนาดแปลงทดลองย่อย 72 ตารางเมตร พันธุ์ละ 4 แปลงย่อย ปลูกเป็นหลุมโดยใช้อ้อยชำข้อ อายุ 45 วัน ใช้ระยะห่างระหว่างหลุม 50 เซนติเมตร ระยะห่างระหว่างแถว 120 เซนติเมตร ในแต่ละแปลงย่อยมี 10 แถว แต่ละแถวยาว 6 เมตร ใส่ปุ๋ยไนโตรเจน 1.5 เท่าของคำแนะนำตามค่าวิเคราะห์ดิน ส่วนฟอสฟอรัส และโพแทสเซียม ใส่ตามคำแนะนำตามค่าวิเคราะห์ดิน แบ่งใส่ 2 ครั้ง ครั้งแรกใส่รองพื้นพร้อมปลูก ใส่ปุ๋ยครั้งที่ 2 เมื่ออ้อยอายุ 3 เดือนหลังปลูก

ให้น้ำแบบสปริงเกอร์ เมื่อน้ำในดินลดลงเหลือ 50 เปอร์เซ็นต์ของปริมาณน้ำที่เป็นประโยชน์ ในปริมาณที่ทำให้น้ำเพิ่มขึ้นจนถึง 100 เปอร์เซ็นต์ของปริมาณน้ำที่เป็นประโยชน์ ที่ระดับความลึก 30 เซนติเมตร กำจัดวัชพืช และดูแลรักษาไม่ให้เกิดการระบาดของโรคและแมลง เมื่อเข้าสู่เดือนพฤศจิกายน เก็บตัวอย่างอ้อยครั้งละ 10 ลำ ทุกๆ 15 วัน จนถึงเก็บเกี่ยว เพื่อวัดค่าความหวาน

เก็บตัวอย่างดินก่อนปลูกโดยการขุดหลุมทำโปรไฟล์ดินขนาดกว้าง 1.5 เมตร ยาว 1.5 เมตร และลึกประมาณ 1.5 เมตร แล้วจำแนกชั้นดินโดยอาศัยการสังเกตจากสี หรือเนื้อดิน บันทึกความหนา และสีของแต่ละชั้น แต่ละชั้น ใช้ชุดเก็บตัวอย่างดินแบบไม่รบกวนดินและส่วนเก็บตัวอย่างดิน (Undisturbed soil core sampler) บริเวณกลางของแต่ละชั้น วิเคราะห์หาค่า Bulk density, Soil Moisture, Water content ที่ 3 ระดับคือ 1) จุดอิมพัลส์ของดิน 2) จุดความจุความชื้นสนาม และ 3) จุดเหี่ยวถาวรของพืช และค่าการซึมซาบของน้ำ

การบันทึกข้อมูล

- คุณสมบัติทางกายภาพของดิน
 - การเติบโตของอ้อยได้แก่การสร้างใบ ความสูง การสะสมน้ำหนักแห้ง และการสะสมน้ำตาล
 - บันทึกข้อมูลการสะสมน้ำตาลเมื่ออ้อยเข้าสู่เดือนพฤศจิกายน
 - ข้อมูลสภาพภูมิอากาศรายวัน ได้แก่ อุณหภูมิสูงสุด และต่ำสุด ปริมาณน้ำฝน
- ระยะเวลาและสถานที่ เริ่มต้น ตุลาคม 2558 – สิ้นสุด กันยายน 2561 ณ แปลงทดลอง ศูนย์วิจัยพืชสวนเลย อำเภอภูเรือ จังหวัดเลย

8. ผลการทดลองและวิจารณ์

ได้ดำเนินการทดลองปลูกอ้อยในแปลงทดลองศูนย์วิจัยพืชสวนเลย จังหวัดเลย ปลูกครั้งที่ 1 เมื่อวันที่ 16 ธันวาคม 2558 เก็บเกี่ยววันที่ 1 กุมภาพันธ์ 2560 ปลูกครั้งที่ 2 วันที่ 29 มีนาคม 2559 เก็บเกี่ยว 29 มีนาคม 2560 และปลูกครั้งที่ 3 วันที่ 15 มิถุนายน 2559 เก็บเกี่ยววันที่ 29 มีนาคม 2560 แปลงปลูกอ้อยทดลองเป็นดินร่วนเหนียวปนตะกอน ประกอบไปด้วย ดินเหนียว 27 – 40 เปอร์เซ็นต์และ ทรายน้อยกว่า 20 เปอร์เซ็นต์ เนื้อดินมีความสามารถในการเก็บน้ำในดินชั้นบนคิดเป็นความชื้นได้ 13.21 เปอร์เซ็นต์โดยปริมาตร และมีอัตราการซึมซาบน้ำ 9 เซนติเมตรต่อชั่วโมง (ตาราง 1)

ตาราง 1 คุณสมบัติทางกายภาพดินแปลงทดลองศูนย์วิจัยพืชสวนเลย ปี 2558

Soil depth (cm)	BD ^{1/} (g/cm ³)	Ksat ^{2/} (cm/hr)	AWC ^{3/} (%)	FC ^{4/} (%)	PWP ^{5/} (%)
0-29	1.15	8.6	13.21	25.59	12.38
29-75	1.10	-	12.95	25.22	12.27
75-100	1.47	-	6.75	27.24	20.49
100-150	1.48	-	6.07	26.96	20.89

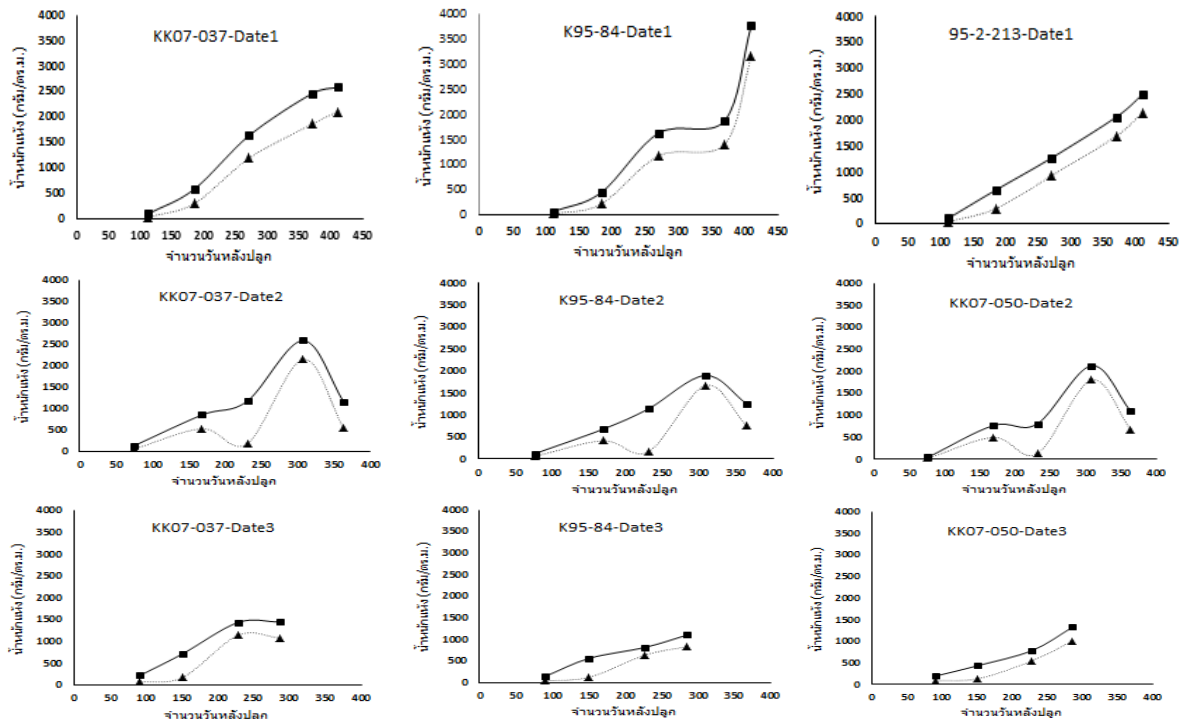
^{1/}Bulk Density, ^{2/}saturated hydraulic conductivity, ^{3/}Available Water Capacity, ^{4/}Field Capacity, ^{5/}Permanent Wilting Point

การระสมน้ำหนักแห้ง

ในวันปลูกที่ 1 อัตราการระสมน้ำหนักแห้งเหนือดินและน้ำหนักลำแห้งของอ้อยทั้ง 3 พันธุ์มีความแตกต่างกัน โดยอ้อยพันธุ์ K95-84 มีอัตราการระสมน้ำหนักแห้งต่ำสุดในช่วงอ้อยอายุ 250 ถึง 300 วันหลังปลูก มีอัตราน้ำหนักแห้งเหนือดินและน้ำหนักลำแห้งเท่ากับ 2.5 และ 2.3 กรัมต่อตารางเมตรต่อวัน ตามลำดับ เนื่องจากอ้อยมีการออกดอก แต่หลังจาก 350 วันหลังปลูกจนถึงระยะเก็บเกี่ยว กลับมีอัตราการระสมน้ำหนักแห้งเร็วขึ้นและเร็วกว่าพันธุ์อื่น คือมีอัตราการระสมน้ำหนักแห้งเท่ากับ 47.2 และ 43.5 กรัมต่อตารางเมตรต่อวัน ตามลำดับ สำหรับพันธุ์ KK07-037 และ 95-2-213 นั้น มีอัตราการระสมน้ำหนักแห้งเหนือดินและน้ำหนักลำแห้งไม่แตกต่างกัน โดยพบว่าการออกดอกมีผลต่ออัตราการระสมน้ำหนักแห้งในอ้อยทั้ง 2 พันธุ์เช่นกัน และพบว่าอัตราการระสมน้ำหนักแห้งเหนือดินและน้ำหนักลำแห้ง เฉลี่ยอยู่ที่ 6.3 และ 5.1 กรัมต่อตารางเมตรต่อวัน ตามลำดับ

สำหรับในวันปลูกที่ 2 อัตราการเจริญเติบโตของอ้อยทั้ง 3 พันธุ์มีความแตกต่างกัน โดยในระยะแรกของการเจริญเติบโต ช่วงอ้อยอายุ 150 วันหลังปลูก อ้อยทุกพันธุ์มีอัตราการระสมน้ำหนักแห้งไม่แตกต่างกัน แต่เมื่ออ้อยเข้าสู่ช่วงอายุ 150 ถึง 250 วันหลังปลูก มีเพียงอ้อยพันธุ์ KK07-037 และ KK07-050 ที่มีอัตราการเจริญเติบโตลดลง โดยอัตราการระสมน้ำหนักแห้งเหนือดินเท่ากับ 5.1 และ 0.5 กรัมต่อตารางเมตรต่อวัน ตามลำดับ แต่ไม่พบความแตกต่างสำหรับการระสมน้ำหนักลำแห้งในอ้อยทั้ง 3 พันธุ์ อัตราการระสมน้ำหนักแห้งที่ลดลงอาจเนื่องจากการสร้างดอกของอ้อย

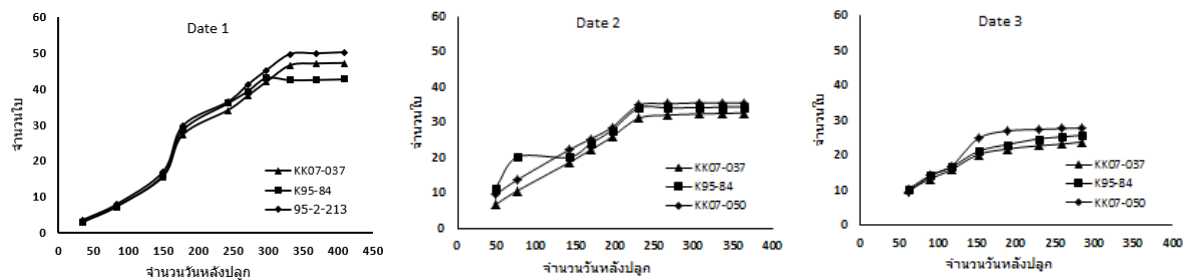
สำหรับในวันปลูกที่ 3 อัตราการระสมน้ำหนักแห้งของอ้อยทั้ง 3 พันธุ์มีความแตกต่างกัน โดยพบว่า KK07-037 และ K95-84 มีอัตราการระสมน้ำหนักแห้งในช่วงแรกของการเจริญเติบโตได้ดี แต่อัตราการระสมน้ำหนักแห้งจะลดต่ำลงเมื่ออ้อยมีอายุ 200 ถึง 300 วันหลังปลูก ซึ่งต่างจากพันธุ์ KK07-050 ที่มีอัตราการระสมน้ำหนักแห้งช้าในช่วงแรกของการเจริญเติบโตแต่จะมีอัตราการระสมน้ำหนักแห้งเร็วขึ้นเมื่ออ้อยมีอายุมากขึ้น แต่อย่างไรก็ตามเมื่อเก็บเกี่ยวอ้อยที่อายุ 286 วันหลังปลูก พบว่าการเจริญเติบโตของอ้อยทั้ง 3 พันธุ์ไม่มีความแตกต่างกัน (ภาพ 1)



ภาพ 1 การสะสมน้ำหนักรากส่วนเหนือดิน (เส้นทึบ) กับน้ำหนักรากแห้งลำ (เส้นประ) ของอ้อย 3 พันธุ์ ที่ปลูกแตกต่างกัน 3 วันปลูก ในแปลงทดลองศูนย์วิจัยพืชสวนเลย ปี 2558-2560

การสร้างใบและความสูง

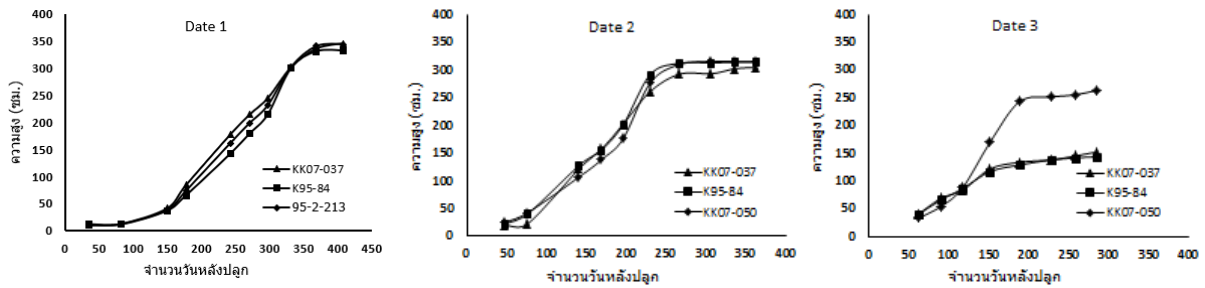
ในทุกวันปลูก การสร้างใบของอ้อยทั้งสามพันธุ์มีอัตราใกล้เคียงกัน โดยในวันปลูกที่ 1 ทั้ง 3 พันธุ์มีจำนวนใบสะสมมากกว่าในวันปลูกอื่นๆ อัตราการสร้างใบเฉลี่ยในช่วงระยะแรกของการเจริญเติบโตต่ำ มีอัตราการสร้างใบเฉลี่ย 10 วันต่อการสร้างใบ 1 ใบ (3 เดือนหลังปลูก) หลังจากนั้นอัตรารการสร้างใบเร็วขึ้น โดยมีการสร้างใบเฉลี่ยประมาณ 5 วันต่อการสร้างใบ 1 ใบ (อ้อยอายุ 150 ถึง 300 วันหลังปลูก) และจะลดลงช่วงระยะก่อนเก็บเกี่ยว การสร้างใบช้าในช่วงแรกเกิดจากอุณหภูมิที่ต่ำในช่วงปลูกอ้อยเดือนธันวาคม อุณหภูมิเฉลี่ย 19 องศาเซลเซียส สำหรับวันปลูกที่ 2 และ 3 มีอัตราการสร้างใบเฉลี่ยในช่วงระยะแรกประมาณ 5 ถึง 6 วันต่อการสร้างใบ 1 ใบ (3 เดือนหลังปลูก) แต่หลังจาก 250 และ 150 วันจนถึงระยะเก็บเกี่ยว มีอัตราการสร้างใบต่ำมากเฉลี่ย 13 และ 35 วันต่อการสร้างใบ 1 ใบ ในวันปลูกที่ 2 และ 3 ตามลำดับ (ภาพ 2)



ภาพ 2 การสร้างใบของอ้อย 3 พันธุ์ ที่ปลูกในวันปลูกแตกต่างกัน 3 วันปลูก ในแปลงทดลองศูนย์วิจัยพืชสวนเลย ปี 2558-2560

ความสูง

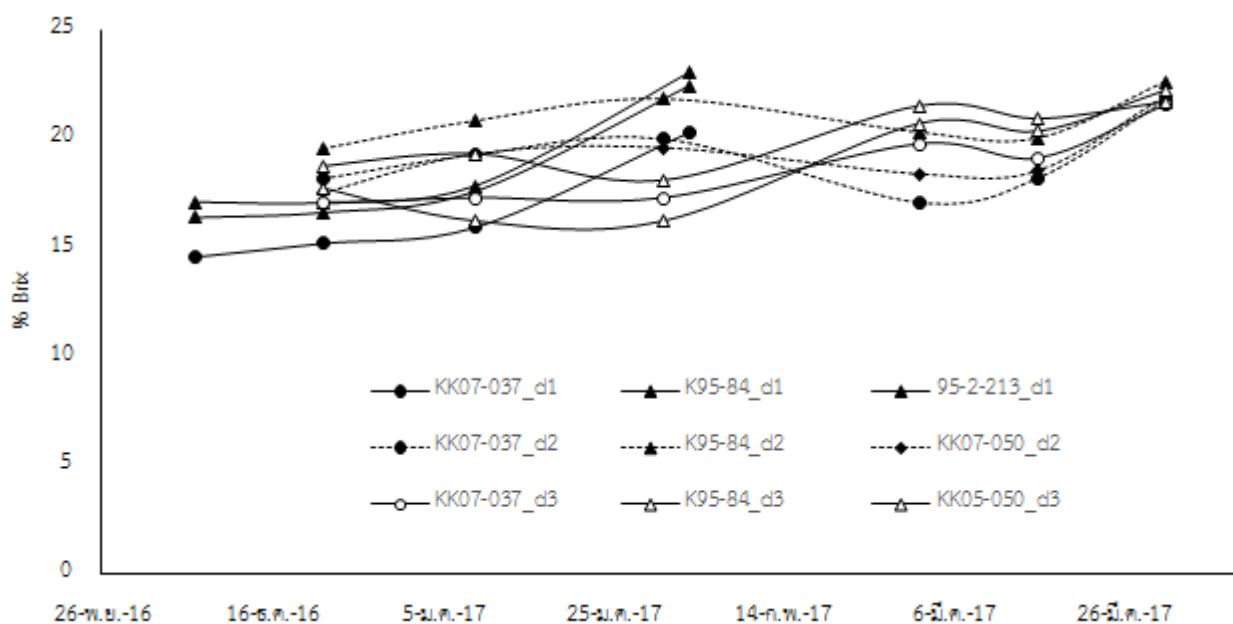
ความสูงอ้อยมีอัตราการเพิ่มความสูงได้มากที่สุดในช่วงแรกของการเจริญเติบโตจนถึงช่วงอ้อยอายุประมาณ 300 วัน ในวันปลูกที่ 1 และ 250 วัน ในวันปลูกที่ 2 มีอัตราการสร้างความสูงได้ 0.7 และ 1.2 เซนติเมตรต่อวัน ตามลำดับ และมีอัตราการสร้างความสูงน้อยลงจนถึงระยะเก็บเกี่ยว สำหรับวันปลูกที่ 3 พบว่าอัตราการสร้างใบที่ต่ำลงในช่วง 150 วันหลังปลูก ไม่มีผลต่อความสูงในอ้อยพันธุ์ KK07-050 (ภาพ 3)



ภาพ 3 ความสูงของอ้อย 3 พันธุ์ ที่ปลูกในวันปลูกแตกต่างกัน 3 วันปลูก ในแปลงทดลองศูนย์วิจัยพืชสวน เลย์ ปี 2558-2560

การสะสมน้ำตาล

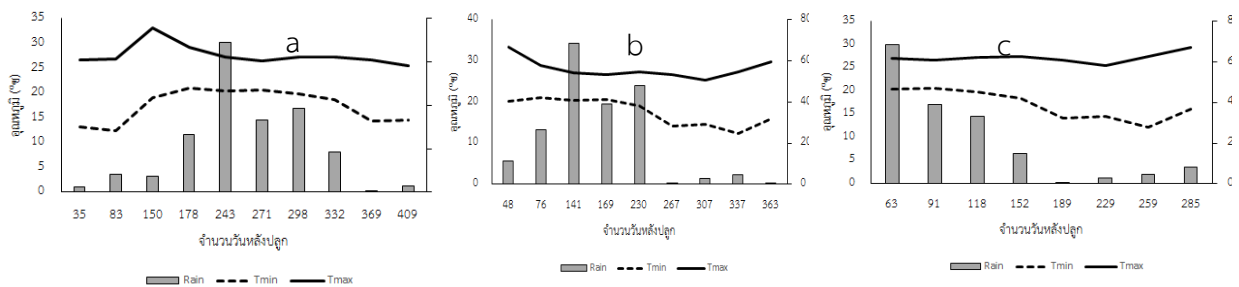
อายุของอ้อยมีผลต่อการสะสมน้ำตาล โดยพบว่าในวันปลูกที่ 1 อ้อยทั้ง 3 พันธุ์สะสมน้ำตาลได้เร็วในเดือนกุมภาพันธ์ (อ้อยอายุ 14 เดือน) ทั้ง 3 พันธุ์สะสมน้ำตาลไม่แตกต่างกัน อ้อยในวันปลูกที่ 2 สะสมน้ำตาลในช่วงปลายเดือนมกราคม เมื่ออ้อยมีอายุเพียง 10 เดือนหลังปลูก จากนั้นความหวานจะลดลงเล็กน้อยอาจเนื่องจากอ้อยอยู่ในช่วงออกดอกแต่หลังจากนั้นการสะสมน้ำตาลก็เพิ่มขึ้นเช่นเดิม สำหรับในวันปลูกที่ 3 ความหวานของอ้อยทั้ง 3 พันธุ์จะต่ำมากในช่วงแรก อ้อยอายุเพียง 7 เดือน แต่เมื่ออ้อยอายุ 10 เดือน การสะสมน้ำตาลของอ้อยทั้ง 3 พันธุ์ไม่แตกต่างกัน (ภาพ 4)



ภาพ 4 การสะสมน้ำตาลของอ้อย 3 พันธุ์ (KK07-037, K95-84, 95-2-213 หรือ KK07-050) ที่ปลูกในวันปลูกแตกต่างกัน 3 วันปลูก (d1, d2, d3) ในแปลงทดลองศูนย์วิจัยพืชสวนเลย ปี 2558-2560

ข้อมูลอากาศในช่วงวันปลูก

อุณหภูมิเฉลี่ยของอ้อยทั้ง 3 วันปลูก ตั้งแต่ช่วงปลูกจนถึงระยะเก็บเกี่ยวไม่แตกต่างกัน มีอุณหภูมิเฉลี่ยสูงสุด 28 องศาเซลเซียส ต่ำสุด 17 องศาเซลเซียส แต่อุณหภูมิความชื้นในแต่ละช่วงปลูกที่ต่างกันทำให้อ้อยในพันธุ์เดียวกันเจริญเติบโตแตกต่างกัน โดยพบว่าหากอ้อยออกดอกช่วงอ้อยอายุมาก (8- 10 เดือน) จะส่งผลกระทบต่อการผลิตน้ำตาลหนักแห้งน้อยกว่าอ้อยที่สร้างดอกเมื่ออายุน้อย (ภาพ 5)



ภาพ 5 อุณหภูมิ (เส้น) และปริมาณน้ำฝน (แท่ง) ในช่วงวันปลูกที่ 1 (a) วันปลูกที่ 2 (b) และวันปลูกที่ 3 (c)

9. สรุปผลการทดลองและข้อเสนอแนะ

ในสภาพการผลิตอ้อยที่มีปัจจัยการผลิตอย่างเพียงพอ การสะสมน้ำหนักแห้งและการสะสมน้ำตาลได้รับผลกระทบจากสภาพภูมิอากาศและระยะการเจริญเติบโตมากกว่าความแตกต่างระหว่างพันธุ์ ส่วนของการสร้างใบและการเพิ่มความสูงอ้อยขึ้นอยู่กับระยะการเจริญเติบโตของอ้อยและการออกดอก ผลการทดลองดังกล่าวจะได้นำไปใช้ปรับค่าสัมประสิทธิ์ทางพันธุกรรมสำหรับใช้กับแบบจำลองพืช 3 ชนิด เพื่อใช้สำหรับประเมินผลผลิตอ้อยในสภาพแวดล้อมที่แตกต่างกันได้

10. การนำผลงานวิจัยไปใช้ประโยชน์

นำไปใช้ปรับและทดสอบค่าสัมประสิทธิ์ทางพันธุกรรมของอ้อยสำหรับนำไปใช้กับแบบจำลองการเจริญเติบโตของอ้อย 3 ชนิด

11. คำขอบคุณ

12. เอกสารอ้างอิง

เกริก ปั่นเหน่งเพ็ชร วินัย ศรวัต สมชาย บุญประดับ สุกิจ รัตนศรีวงษ์ สหสชัย คงทน สมปอง นิลพันธ์ ชิชณู
ชา บุคตาบุญ กิ่งแก้ว คุณเขต อิศระ พุทธสิมมา ปรีชา กาเพ็ชร แคทลียา เอกอุ้น และวิภารัตน์ ดำริ

- เข้มตระกูล. 2552. ผลกระทบของภาวะโลกร้อนต่อการผลิต ข้าว อ้อย มันสำปะหลัง และข้าวโพด
ของประเทศไทย. รายงานวิจัยฉบับสมบูรณ์ สำนักงานกองทุนสนับสนุนการวิจัย.
- อารันต์ พัฒโนทัย. 2535. คู่มือการวิเคราะห์พื้นที่เพื่อวางแผนพัฒนาการเกษตร. โครงการส่งเสริมการมีส่วน
ร่วมของเกษตรกรในการพัฒนากรมส่งเสริมการเกษตร และโครงการวิจัยระบบทรัพยากรชนบท
มหาวิทยาลัยขอนแก่น. 92 หน้า.
- Gassman P. W., R. R. Manuel, H. G. Colleen, and G. A. Jeffrey. 2007. The Soil and Water
Assessment Tool: Historical Development, Applications, and Future Research
Directions. Working Paper 07-WP 443. Center for Agricultural and Rural
Development, Iowa State University. 100 pp.
- Jones J.W., G. Hoogenboom, C.H. Porter, K.J. Boote, W.D. Batchelor, L.A. Hunt, P.W. Wilkens,
U. Singh, A.J. Gijsman, and J.T. Ritchie. 2003. DSSAT Cropping System Model.
European Journal of Agronomy 18: 235-265.
- Zhang Y., L. Changsheng, Z. Xiuji, and I.M. Berrien. 2002. A Simulation Model Linking Crop
Growth and Soil Biogeochemistry for Sustainable Agriculture. Ecological Modeling
151: 75-108.

13. ภาคผนวก

-