

รายงานผลงานเรื่องเต็มการทดลองที่สิ้นสุด

1. แผนงานวิจัย: : วิจัยและพัฒนาเทคโนโลยีการเพิ่มประสิทธิภาพการผลิตอ้อย
2. โครงการวิจัย: : วิจัยและพัฒนาเทคโนโลยีการเพิ่มประสิทธิภาพการผลิตอ้อยให้เหมาะสมตาม
ศักยภาพของพื้นที่
- กิจกรรม: : ศึกษาพัฒนาการการเติบโตและการสะสมน้ำตาลของอ้อยพันธุ์ต่างๆ ที่ปลูก
ภายใต้สภาพที่มีปัจจัยการผลิตจำกัด
3. ชื่อการทดลอง (ภาษาไทย) : ศึกษาพัฒนาการ การเติบโตและการสะสมน้ำตาลของอ้อยพันธุ์ต่างๆ ภายใต้
สภาพอาศัยน้ำฝนในจังหวัดมุกดาหาร

ชื่อการทดลอง (ภาษาอังกฤษ) : Study on Growth Development and Sugar Accumulation of Sugarcane
Varieties under Rainfed Condition in Mukdahan Province

4. คณะผู้ดำเนินงาน

หัวหน้าการทดลอง	นางสาวพิภูล ชุนพุ่ม	ศูนย์วิจัยและพัฒนาการเกษตรมุกดาหาร
ผู้ร่วมงาน	นายปรีชา กาเพ็ชร	ศูนย์วิจัยและพัฒนาการเกษตรสุโขทัย
	นางสาวบุญญาภา ศรีหาตา	ศูนย์วิจัยและพัฒนาการเกษตรมุกดาหาร

5. บทคัดย่อ

อ้อยเป็นพืชอายุยาวข้ามปี ในระหว่างการผลิตย่อมได้รับผลกระทบจากสภาพแวดล้อมทำให้ผลผลิตที่ได้รับลดลง จึงได้ดำเนินการทดลองปลูกอ้อย 3 กลุ่มพันธุ์ ภายใต้สภาพที่มีปัจจัยการผลิตเพียงพอเพื่อหาศักยภาพในการเจริญเจริญเติบโต การสะสมน้ำตาล และการให้ผลผลิตของอ้อย ภายใต้สภาพภูมิอากาศจังหวัด มุกดาหาร ปลูกอ้อยที่แปลงทดลองศูนย์วิจัยและพัฒนาการเกษตรมุกดาหาร จำนวน 3 วันปลูกได้แก่วันปลูกที่ 1 ปลูกวันที่ 4 ธันวาคม 2558 เก็บเกี่ยววันที่ 8 ธันวาคม 2559 วันปลูกที่ 2 ปลูกวันที่ 16 มีนาคม 2559 เก็บเกี่ยววันที่ 17 มีนาคม 2560 และวันปลูกที่ 3 ปลูกวันที่ 26 พฤษภาคม 2559 เก็บเกี่ยววันที่ 28 กุมภาพันธ์ 2560 แต่ละวันปลูกปลูกอ้อยพันธุ์ K95-84 เป็นตัวแทนของกลุ่มพันธุ์ที่มีทรงใบตรง ส่วนยอดของลำมีลักษณะชูตั้ง พันธุ์ KK07-050 หรือ 95-2-213 เป็นตัวแทนของกลุ่มพันธุ์ที่มีทรงใบตรง ส่วนยอดของลำมีลักษณะชูตั้งและปลายใบโค้งลง และพันธุ์ KK07-037 เป็นตัวแทนของกลุ่มพันธุ์ที่มีทรงใบตรง ส่วนยอดของลำมีลักษณะปลายใบโค้งลงมากเกือบเหมือนครึ่งวงกลม ปลูกโดยวิธีการชำข้อและย้ายลงแปลงปลูกในระยะระหว่างแถว 120 เซนติเมตร ระหว่างต้น 50 เซนติเมตร ขนาดแปลงย่อยจำนวน 10 แถว แถวยาว 6 เมตร ใส่ปุ๋ยพร้อมปลูกเกรด 15-15-15 อัตรา 50 กิโลกรัมต่อไร่ และใส่อีกครั้งเมื่ออ้อยอายุประมาณ 3 เดือนหลังปลูก ให้น้ำเมื่อความชื้นดินลดลง 50 เปอร์เซ็นต์ของความจุน้ำที่เป็นประโยชน์ กำจัดวัชพืชและดูแลแปลงไม่ให้มีโรคและแมลงระบาด สุ่มอ้อยจำนวน 2 กอต่อแปลงย่อย แยกส่วนของลำต้นกับใบและกาบใบเพื่อหาข้อมูลน้ำหนักแห้งทุกๆ 3 เดือน จำนวน 4 ครั้ง และติดตามการเติบโตโดยวัดความสูง จำนวนใบ และจำนวนลำต่อพื้นที่ ทุกๆ 3 เดือนเมื่ออ้อยเข้าสู่ช่วงเดือนพฤศจิกายนติดตามการสะสม

น้ำตาลโดยการวัดค่าบrixทุกๆ 15 วัน ผลการทดลองพบว่า ในวันปลูกที่ 1 อ้อยมีการสะสมน้ำหนักรากส่วนเหนือดินในช่วง 3 เดือนแรกเฉลี่ย 1.6 กรัมต่อตารางเมตร น้อยกว่าอ้อยที่ปลูกในวันปลูกที่ 2 และ 3 เนื่องจากมีอุณหภูมิต่ำไม่เหมาะสมต่อการสังเคราะห์แสง ในขณะที่ช่วงอายุของอ้อยพบว่า อ้อยมีอัตราการสะสมน้ำหนักรากส่วนเหนือดินในช่วงวันที่ 278-371 วันหลังปลูก เฉลี่ย 43.2 กรัมต่อตารางเมตร และพันธุ์ K95-84 มีอัตราการสะสมน้ำหนักรากส่วนเหนือดินมากกว่าพันธุ์ 95-2-213 หรือ KK07-050 และ KK07-037 ตามลำดับ ดังนั้นปัจจัยที่มีผลต่อการสะสมน้ำหนักรากส่วนเหนือดินของอ้อยจึงขึ้นอยู่กับระยะเวลาเจริญเติบโต อุณหภูมิ และพันธุ์ โดยที่อ้อยช่วงอายุ 278-371 วันหลังปลูก ค่าเฉลี่ยของอุณหภูมิประมาณ 28 องศาเซลเซียส และพันธุ์ที่มีทรงใบตรง ส่วนยอดของลำมีลักษณะตั้งชูและปลายใบโค้งลงจะมีอัตราการสะสมน้ำหนักรากส่วนเหนือดินมากที่สุด ในส่วนของการสร้างใบพบว่า วันปลูกที่ 2 มีอัตราการสร้างใบในช่วง 3 เดือนแรกช้ากว่าวันปลูกที่ 1 และ 3 เนื่องจากอุณหภูมิเฉลี่ยที่สูงกว่า แต่ไม่มีผลต่อการเพิ่มความสูงของอ้อย ในขณะที่พันธุ์ไม่มีความแตกต่างกันในเรื่องของการสร้างใบและความสูง และช่วงอายุของอ้อยพบว่า ทั้งสามพันธุ์มีการสร้างใบและความสูงไม่แตกต่างกัน โดยในช่วงแรกของการเจริญเติบโตมีอัตราการสร้างใบและอัตราการเพิ่มความสูงมาก แต่เมื่ออ้อยอายุมากกว่า 277 วัน อ้อยจะมีอัตราการสร้างใบและการเพิ่มความสูงลดลง ส่วนการสะสมน้ำตาลพบว่า อ้อยพันธุ์ K95-84 มีการสะสมน้ำตาลสูงสุดได้ใกล้เคียงกัน พันธุ์ K 95-2-213 และมีการสะสมน้ำตาลได้สูงสุดอยู่ในช่วงเดือนมกราคมถึงเดือนกุมภาพันธ์ โดยที่อายุของอ้อยไม่มีผลต่อการสะสมน้ำตาล ค่าพัฒนาการและการเจริญเติบโตและการสะสมน้ำตาลที่ได้นำไปใช้ปรับค่าและทดสอบค่าสัมประสิทธิ์ทางพันธุกรรมสำหรับแบบจำลองพืชเพื่อนำไปใช้ประเมินผลผลิตตามศักยภาพของอ้อยในสภาพแวดล้อมที่แตกต่างกันต่อไป

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) นอกจากนี้ยังสามารถนำมาประเมินผลกระทบจากการขาดปุ๋ยไนโตรเจนได้อีกด้วย (Zhang *et al.*, 2002) และได้มีการนำเอาไปใช้แล้วอย่างแพร่หลาย โดยต้องการข้อมูลตัวป้อน (input data) ที่แบ่งได้เป็น 2 กลุ่มเหมือนกัน ได้แก่ ข้อมูลตัวป้อนที่เป็นค่าคงที่ที่กำหนดไว้ในแบบจำลองตัวป้อนกลุ่มนี้จะไม่เปลี่ยนแปลงไปตาม

สภาพแวดล้อม พันธุ์และการจัดการ และข้อมูลตัวป้อนที่ขึ้นอยู่กับความแตกต่างของสถานที่ปลูก พันธุ์ และการจัดการ ซึ่งผู้ใช้จำเป็นต้องหาค่าสัมประสิทธิ์ให้เหมาะสมกับพื้นที่ พันธุ์ และการจัดการนั้นๆ ก่อนที่จะนำเอาแบบจำลองพืชไปใช้ดังนั้นเพื่อให้มีการใช้แบบจำลองพืชสำหรับนำไปประยุกต์ใช้กับงานวิจัยอ้อยในประเทศไทยให้แพร่หลายมากขึ้น

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

7. วิธีดำเนินการ

- สิ่งที่ใช้ในการทดลอง

- 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) อุปกรณ์สำหรับการเก็บข้อมูลราก
- 8) อุปกรณ์สำหรับการเก็บข้อมูลผลผลิต องค์ประกอบของผลผลิต และน้ำตาล

- วิธีปฏิบัติงานทดลอง

ใช้พันธุ์อ้อย 3 พันธุ์ที่มีความแตกต่างกันของทรงพุ่มใบ ได้แก่

- 1) กลุ่มพันธุ์ที่มีทรงใบตรง ส่วนยอดของลำมีลักษณะชูตั้ง ใช้พันธุ์ K95-84 เป็นตัวแทน
- 2) กลุ่มพันธุ์ที่มีทรงใบตรง ส่วนยอดของลำมีลักษณะชูตั้งและปลายใบโค้งลง ใช้พันธุ์พันธุ์ 95-2-213 หรือพันธุ์ KK07-050 เป็นตัวแทน

3) กลุ่มพันธุ์ที่มีทรงใบตรง ส่วนยอดของลำมีลักษณะปลายใบโค้งลงมากเกือบเหมือนครึ่งวงกลม ใช้พันธุ์ KK07-037 เป็นตัวแทน

การเก็บตัวอย่างดินวิเคราะห์คุณสมบัติทางกายภาพและทางเคมีดินก่อนปลูก

เก็บตัวอย่างดินในแต่ละเขตการผลิตเพื่อหาคุณสมบัติทางกายภาพและคุณสมบัติทางเคมี โดยมีวิธีการเก็บดังนี้

การเก็บตัวอย่างดินเพื่อหาคุณสมบัติทางกายภาพ เก็บเขตการผลิตละ 1 ตัวอย่าง โดย

- 1) ขุดหลุมขนาดกว้าง 1.5 เมตร ยาว 1.5 เมตร และลึกประมาณ 1.5 เมตร
- 2) จำแนกชั้นดินโดยอาศัยการสังเกตจากสี หรือเนื้อดิน บันทึกความหนาและสี ของแต่ละชั้น
- 3) แต่ละชั้น ใช้ชุดเก็บตัวอย่างดินแบบไม่รบกวนดินและส่วนเก็บตัวอย่างดิน (Undisturbed soil core sampler) บริเวณกลางของแต่ละชั้น จำนวน 3 ตัวอย่างต่อ 1 ชั้น

3.1) ตัวอย่างที่ 1 วิเคราะห์หาค่า Bulk density และ Soil Moisture

3.2) ตัวอย่างที่ 2 และ 3 วิเคราะห์หาค่า Water content ที่ 3 ระดับ คือ

- 1) จุดอิ่มตัวของดิน
- 2) จุดความชื้นสนาม
- 3) จุดเหี่ยวถาวรของพืช
 - Soil hydraulic conductivity
 - Sand silt and clay
 - Soil texture

การเก็บตัวอย่างดินเพื่อหาคุณสมบัติทางเคมี

สุ่มเก็บดินมาวิเคราะห์คุณสมบัติทางเคมี โดยใช้เหล็กเจาะดินสุ่มเก็บตัวอย่างให้ทั่วแปลงปลูก แยกตามชั้นดินที่จำแนกได้ในข้อ 2 นำมารวมกันให้ได้ประมาณ 1 กิโลกรัม ต่อ 1 ตัวอย่าง แล้วนำมาวิเคราะห์คุณสมบัติทางเคมี ดังนี้

- 1) อินทรีย์คาร์บอน
- 2) ปฏิกริยาดิน
- 3) ค่า CEC
- 4) ปริมาณไนโตรเจน ในรูปของ NH_4^+ และ NO_3^-
- 5) ปริมาณฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์ (Available P)
- 6) ปริมาณโพแทสเซียมที่แลกเปลี่ยนได้ (Exchangeable K)

การปลูกอ้อยทดลอง

ดำเนินการทดลองที่แปลงทดลองศูนย์วิจัยและพัฒนาการเกษตรมุกดาหาร จังหวัดมุกดาหาร ที่อยู่ในเขตอุณหภูมิลดเฉลี่ย 27.3 องศาเซลเซียส และปริมาณน้ำฝน 1,490 มิลลิเมตรต่อปี โดยปลูกอ้อย 3 ครั้ง ครั้งที่ 1) ปลูกในช่วงเดือนธันวาคม 2) ช่วงเดือนมีนาคม และ 3) ช่วงเดือนพฤษภาคม และเก็บเกี่ยวอ้อย ในเดือนธันวาคม มีนาคม และ กุมภาพันธ์ ของการปลูกอ้อยครั้งที่ 1 2 และ 3 ตามลำดับ 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 แบ่งใส่สองครั้ง ครั้งแรกใส่รองพื้นพร้อมปลูก ใส่ปุ๋ยครั้งที่ 2 เมื่ออ้อยอายุ 3 เดือนหลังปลูก

ให้น้ำแบบสปริงเกอร์ เมื่อน้ำในดินลดลงเหลือ 50 เปอร์เซ็นต์ของปริมาณน้ำที่เป็นประโยชน์ ในปริมาณที่ทำให้น้ำเพิ่มขึ้นจนถึง 100 เปอร์เซ็นต์ของปริมาณน้ำที่เป็นประโยชน์ ที่ระดับความลึก 30 เซนติเมตร เก็บความชื้นดินโดยใช้เครื่องวัดความชื้นดินแบบ TDR (Time Domain Reflectometry) บันทึกข้อมูลแบบอัตโนมัติ ที่ระดับความลึก 30 60 และ 90 เซนติเมตร กำจัดวัชพืช และดูแลรักษาไม่ให้เกิดการระบาดของโรคและแมลง หลังจากใส่ปุ๋ยอ้อยครั้งที่ 2 ประมาณ 2 เดือน เก็บใบอ้อยเพื่อวิเคราะห์ปริมาณธาตุอาหาร (N,P,K) โดยเก็บตัวอย่างจากใบที่เห็นคอบใบสุดท้าย (Top Visible Dewlap: TVD) ของลำหลัก หากพบว่าธาตุอาหารยังไม่เพียงพอให้ใส่เพิ่มตามความต้องการของอ้อย เมื่อเข้าสู่เดือนตุลาคม เก็บตัวอย่างอ้อยครั้งละ 10 ลำ ทุกๆ 15 วัน จนถึงเก็บเกี่ยว เพื่อวัดค่า CCS เจาะดินขนาดหลุมหน้าตัด 1.5 นิ้ว ลึก 8 เมตร เพื่อวัดระดับน้ำใต้ดิน

การบันทึกข้อมูล

บันทึกข้อมูลคุณสมบัติทางกายภาพ และทางเคมีของดิน

บันทึกข้อมูลการเติบโตของอ้อยทุก 2 เดือน แต่ครั้งสุ่มเก็บตัวอย่างอ้อยจำนวน 4 จุด จุดละ 2 กอ (ใช้กอดีวกันกับการเก็บตัวอย่างราก) นับจำนวนลำทั้งหมด จำนวนใบบนลำหลัก แยกส่วนของ ใบ กาบใบ และลำต้น หาพื้นที่ใบ จากนั้นนำส่วนของใบ กาบใบ และลำต้น ไปอบในตูบที่อุณหภูมิ 80 องศาเซลเซียส นาน 48 ชั่วโมง เพื่อหาน้ำหนักแห้งของใบ กาบใบ และลำต้น

บันทึกความชื้นดินโดยใช้เครื่องวัดความชื้นดินแบบ TDR บันทึกข้อมูลแบบอัตโนมัติ ที่ระดับความลึก 30 60 และ 90 เซนติเมตร จำนวน 4 จุด

บันทึกข้อมูลสภาพภูมิอากาศรายวัน ได้แก่ความเข้มแสง อุณหภูมิสูงสุด และต่ำสุด ปริมาณน้ำฝน ความชื้นสัมพัทธ์ และความเร็วลม ตลอดระยะเวลาการเจริญเติบโตของอ้อยจนเก็บเกี่ยวอ้อย

บันทึกการจัดการแปลงต่างๆ เช่น วันที่ให้น้ำ ปริมาณที่ให้ การกำจัดวัชพืช โรค หรือแมลงเป็นต้น

บันทึกข้อมูลการสะสมน้ำตาลเมื่ออ้อยเข้าสู่เดือนตุลาคม

บันทึกผลผลิตและองค์ประกอบผลผลิตเมื่อเก็บเกี่ยว

การประมาณค่าสัมประสิทธิ์ทางพันธุกรรมของพืชและประเมินประสิทธิภาพของแบบจำลองพืช แบ่งเป็น 4 ขั้นตอนได้แก่

การสร้างฐานข้อมูลนำเข้าสำหรับแบบจำลองแต่ละชนิด แบบจำลองพืชที่ใช้ในการทดลองนี้ได้แก่ แบบจำลอง Canegro, DNDC, และ AquaCrop สร้างฐานข้อมูลนำเข้า ได้แก่ ข้อมูลดิน ข้อมูลพันธุกรรมพืช ข้อมูลสภาพภูมิอากาศ และข้อมูลการจัดการ โดยใช้ข้อมูลจากแปลงทดลองมาสร้างเป็นฐานข้อมูลตามรูปแบบของแต่ละแบบจำลอง ส่วนค่าอื่นๆ ที่ไม่สามารถเก็บข้อมูลได้ใช้ค่าที่กำหนดมาให้จากแบบจำลองการจำลองการเติบโตของพืช โดยใช้ข้อมูลการจัดการ ได้แก่วันปลูก อัตราปลูก การให้น้ำและการเก็บเกี่ยว บันทึกผลลัพธ์ที่ได้จากการจำลอง ได้แก่การสะสมน้ำหนักรากแห้งของส่วนเหนือดิน และส่วนที่เป็นลำต้น และการสร้างน้ำตาล

การประเมินความสามารถของแบบจำลอง โดยการเปรียบเทียบผลกับผลจากการจำลองและผลที่ได้จากแปลงทดลอง ประเมินความสามารถของแบบจำลองโดยใช้ค่า NRMSE (Normalize root mean square error), RMSE (Root mean square error), และ AI (Agreement index) โดยค่า NRMSE, RMSE, และ AI คำนวณจากสูตร

$$NRMSE = \sqrt{\frac{\sum(S_i - O_i)^2}{N}} \times \frac{100}{\bar{O}}$$

เมื่อ S_i คือค่าที่ได้จากแบบจำลอง และ O_i คือค่าที่ได้จากการเก็บตัวอย่าง ที่เวลา i และ \bar{O} คือค่าเฉลี่ยของค่าที่ได้จากการเก็บตัวอย่าง

$$RMSE = \sqrt{\frac{\sum(S_i - O_i)^2}{N}}$$

เมื่อ S_i คือค่าที่ได้จากแบบจำลอง และ O_i คือค่าที่ได้จากการเก็บตัวอย่าง ที่เวลา i

$$AI = 1 - \frac{\sum(S_i - O_i)^2}{\sum(|S_i - \bar{O}| + |O_i - \bar{O}|)^2}$$

เมื่อ S_i คือค่าที่ได้จากแบบจำลอง, O_i คือค่าที่ได้จากการเก็บตัวอย่างที่เวลา i และ \bar{O} คือค่าเฉลี่ยของค่าที่ได้จากการเก็บตัวอย่าง

ในการจำลองครั้งนี้จะใช้ค่า NRMSE เป็นหลักสำหรับใช้ประเมินประสิทธิภาพของแบบจำลอง โดยประสิทธิภาพของแบบจำลอง ดีมาก เมื่อค่า NRMSE < 10%, ดี เมื่อค่า NRMSE มากกว่าหรือเท่ากับ 10% และน้อยกว่า 20%, พอใช้ เมื่อค่า NRMSE มากกว่าหรือเท่ากับ 20% และน้อยกว่า 30%, และ ไม่ดี เมื่อค่า NRMSE มากกว่าหรือเท่ากับ 30% (Jamieson *et al.*, 1991)

ส่วนค่า AI คือค่าที่ประเมินความสามารถในการทำงานของแบบจำลอง มีค่าตั้งแต่ 0 ถึง 1 ค่าที่เข้าใกล้ 1 หมายความว่าแบบจำลองมีประสิทธิภาพในการทำงานที่ดี ส่วนค่า RMSE คือค่าที่ใช้ประเมินความสัมพันธ์ของค่าเฉลี่ยระหว่างที่ได้จากแบบจำลองและจากการทดลอง มีค่าตั้งแต่ 0 แบบจำลองสามารถทำนายได้เท่ากับการเก็บตัวอย่าง ไปจนถึงอินฟินิตี้ ($+\infty$) ซึ่งชี้ให้เห็นว่าแบบจำลองทำนายได้ไม่ถูกต้องเลย

การปรับแก้ค่าสัมประสิทธิ์ทางพันธุกรรมพืช การจำลองและการเปรียบเทียบผลการจำลองในครั้งแรก หากผลการจำลองที่ได้ยังไม่ใกล้เคียงกับผลการทดลองจริง อาจเป็นเพราะค่าสัมประสิทธิ์ทางพันธุกรรมของพืชบางค่าที่ไม่สามารถเก็บบันทึกได้จากการทดลองมีความแตกต่างไปจากค่าที่แบบจำลองได้กำหนดมาให้ จึงจำเป็นต้องไปปรับค่าสัมประสิทธิ์ทางพันธุกรรมบางค่า เพื่อให้ได้ค่าที่ได้จากแบบจำลองใกล้เคียงกันกับค่าที่ได้จากการทดลอง

มากที่สุด ซึ่งโดยหลักการแล้วค่าสัมประสิทธิ์พันธุกรรมของอ้อยจากแปลงทดลองทั้ง 6 แปลง ควรจะเป็นค่าเดียวในแต่ละพันธุ์

- เวลาและสถานที่

ระยะเวลา เริ่มต้น ตุลาคม 2558 – สิ้นสุด กันยายน 2561

สถานที่ดำเนินการ ศูนย์วิจัยและพัฒนาการเกษตรมุกดาหาร อำเภอเมือง จังหวัดมุกดาหาร

8. ผลการทดลองและวิจารณ์

ได้ดำเนินการทดลองปลูกอ้อยในแปลงทดลองศูนย์วิจัยและพัฒนาการเกษตรมุกดาหาร จังหวัดมุกดาหาร ปลูกครั้งที่ 1 เมื่อวันที่ 4 ธันวาคม 2558 เก็บเกี่ยววันที่ 8 ธันวาคม 2559 ปลูกครั้งที่ 2 วันที่ 16 มีนาคม 2559 เก็บเกี่ยว 17 มีนาคม 2560 และปลูกครั้งที่ 3 วันที่ 26 พฤษภาคม 2559 เก็บเกี่ยววันที่ 28 กุมภาพันธ์ 2560 แปลงปลูกอ้อยทดลองเป็นดินดิน เนื้อดินร่วนปนทราย มีอัตราการซึมซาบน้ำต่ำ 4.06 เซนติเมตรต่อชั่วโมง (ตารางที่ 1)

ตารางที่ 1 ค่าวิเคราะห์สมบัติทางกายภาพและเคมีดินแปลงทดลองศูนย์วิจัยและพัฒนาการเกษตรมุกดาหาร

ระดับความลึก (ซม.)	BD g/ cm ³	FC %Vol	WP %Vol	K-Sat Cm/hr	พีเอช _{1:1} %	อินทรีย์วัตถุ (%)	ฟอสฟอรัส (มก./กก.)	โพแทสเซียม ม(มก./กก.)
0-15	1.68	17.0	8.3	4.06	4.62	0.43	80.47	162.13
15-27	1.82	13.3	9.7	1.33	4.56	0.46	83.66	145.38
27-55	1.68	19.1	17.1	6.07	-	-	-	-
55-79	1.69	17.6	14.7	1.75	-	-	-	-
79-110	1.69	17.5	14.5	1.21	-	-	-	-

หมายเหตุ : Bulk density; BD = ความหนาแน่นรวม

Ksat = ค่าสัมประสิทธิ์การนำน้ำของดินขณะอิ่มตัวด้วยน้ำ (Saturated hydraulic conductivity)

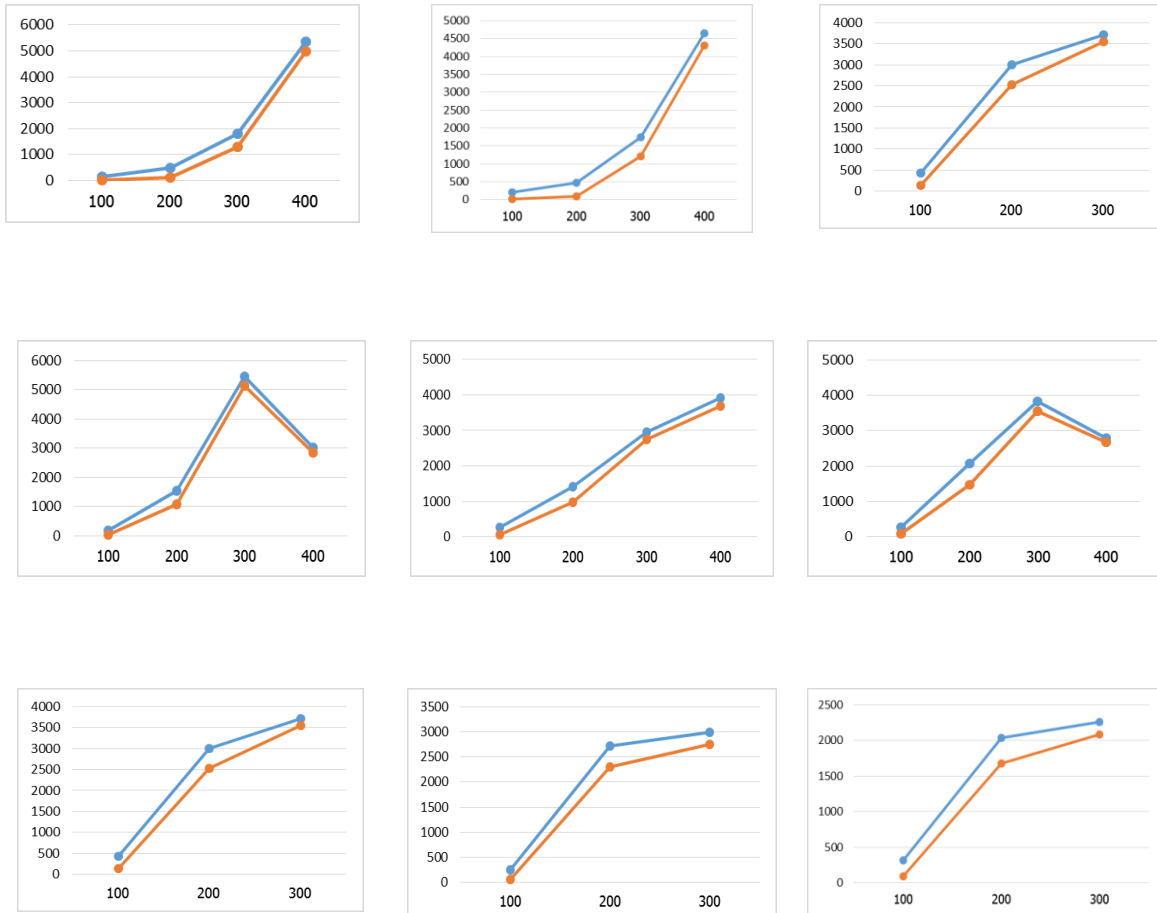
Field capacity; FC = สภาพความจุความชื้นภาคสนาม

Permanent wilting point; Wp = สภาพจุดเหี่ยวถาวรของพืช

การสะสมน้ำหนักแห้ง

ในช่วงแรกของการเจริญเติบโต (0-188 วันหลังปลูก) อ้อยทั้ง 3 พันธุ์มีการสะสมน้ำหนักแห้งส่วนเหนือดินได้ประมาณ 17.3 กรัมต่อตารางเมตรต่อวัน และสามารถนำไปสร้างเป็นส่วนของน้ำหนักลำได้ประมาณ 12.6 กรัมต่อตารางเมตรต่อวัน หลังจากนั้นอ้อยจะมีอัตราการเจริญเติบโตได้เร็วมากโดยเฉพาะในช่วง 277-370 วันหลังปลูก มีอัตราการเพิ่มน้ำหนักแห้งส่วนเหนือดิน 43.2 กรัมต่อตารางเมตรต่อวัน และสร้างน้ำหนักลำได้ในอัตรา 28.4 กรัมต่อตารางเมตรต่อวัน โดยที่พันธุ์ KK07-037 มีอัตราการเจริญเติบโตมากกว่าพันธุ์ K95-84 และ 95-2-213 ตามลำดับ ในขณะที่วันปลูกที่ 1 2 และ 3 อ้อยมีอัตราการเจริญเติบโตแตกต่างกันในแต่ละช่วงอายุของอ้อย อ้อยที่ปลูกในวันปลูกที่ 1 ปลูกในช่วงเดือนธันวาคมมีค่าเฉลี่ยของอุณหภูมิต่ำ จึงมีอัตราการเจริญเติบโตในช่วงแรกช้า ต่างจากวัน

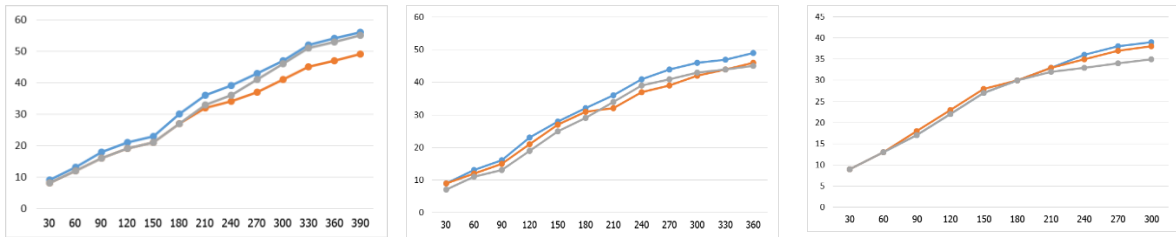
ปลูกที่ 2 ที่ช่วงแรกเจริญเติบโตได้เร็วกว่า ในช่วง 188-277 วันหลังปลูก เมื่ออยู่ในช่วงอุณหภูมิที่เหมาะสมจะทำให้ยังมีอัตราการเจริญเติบโตได้เร็วขึ้น และเมื่ออ้อยเข้าสู่ช่วงเดือนตุลาคมจะเป็นช่วงที่หยุดการเจริญเติบโตทางลำต้น แต่เริ่มมีการสะสมน้ำตาล จึงมีผลทำให้อ้อยบางพันธุ์มีน้ำหนักแห้งทั้งส่วนเหนือดินและส่วนของลำมีน้ำหนักลดลง (ภาพที่ 1)



ภาพที่ 1 การสะสมน้ำหนักแห้งของอ้อยพันธุ์ต่างๆ และในวันปลูกที่ต่างกัน โดยกราฟเส้นสีฟ้าคือน้ำหนักแห้งส่วนเหนือดิน (g/m²) สีส้มน้ำหนักลำส่วนเหนือดิน (g/m²) ส่วนแกนนอนเป็นวันหลังปลูก และภาพจากด้านบนลงล่างเป็นวันปลูกที่ 1 2 3 และจากด้านซ้ายไปขวา แสดงพันธุ์ KK07-037 K9584 และ 95-2-213

การสร้างใบและความสูง

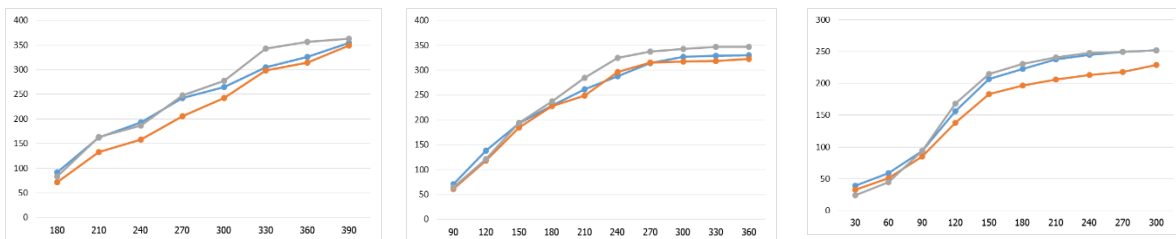
การสร้างใบของอ้อยทั้งสามพันธุ์มีอัตราใกล้เคียงกัน และพบว่าประมาณเดือนมิถุนายนถึงเดือนสิงหาคม (180 วันหลังปลูกของวันปลูกที่ 1 และ 120 วันหลังปลูกของวันปลูกที่ 2) จะมีอัตราการสร้างใบที่เร็วกว่าในช่วงเดือนอื่นๆ โดยใช้เวลาประมาณ 5 วันจะสามารถสร้างใบได้ 1 ใบ ในขณะที่ช่วงเวลาอื่นๆ จะใช้เวลา 7-10 วันสำหรับการสร้างใบได้ 1 ใบ ในส่วนของการสร้างใบจะเห็นได้ชัดว่าได้รับอิทธิพลจากสภาพภูมิอากาศมากกว่าพันธุ์และระยะการเจริญเติบโตของอ้อย (ภาพที่ 2)



ภาพที่ 2 การสร้างใบของอ้อยพันธุ์ต่างๆ และในวันปลูกที่ต่างกัน โดยกราฟเส้นสีเทาคือการสร้างใบของอ้อยพันธุ์ KK07-037 สีฟ้าคือพันธุ์ K95-84 และสีส้มคือพันธุ์ 95-2-213 และภาพจากด้านซ้ายไปขวา แสดงวันปลูกที่ 1 2 และ 3 ตามลำดับ

ความสูง

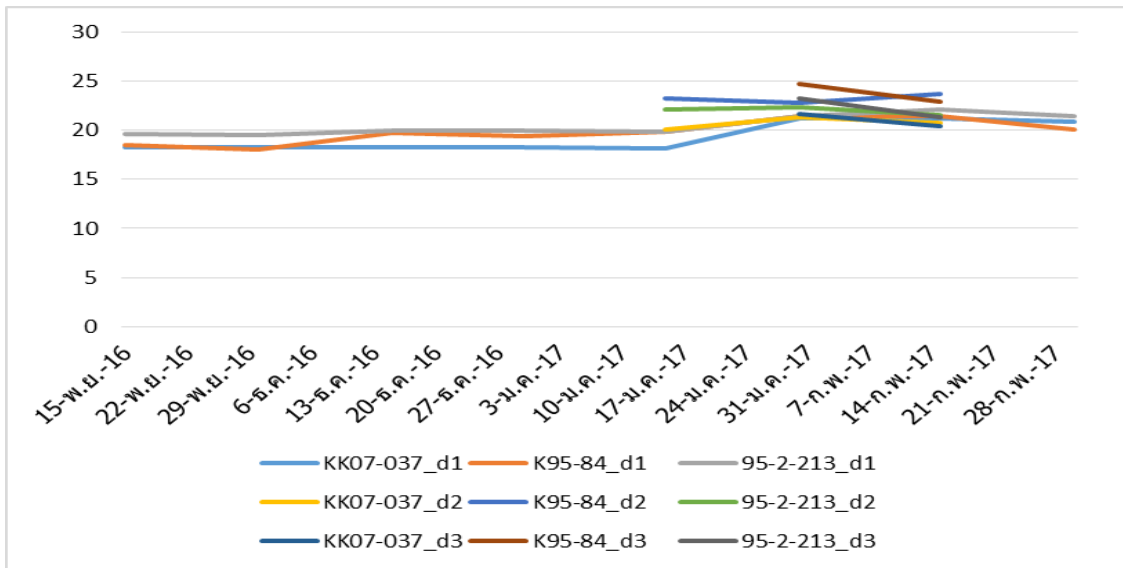
ความสูงอ้อยไม่มีความแตกต่างกันระหว่างพันธุ์ แต่ได้รับผลกระทบจากสภาพแวดล้อม มีอัตราการเพิ่มความสูงมากที่สุดในช่วงแรกของการเจริญเติบโตจนถึงช่วงอ้อยอายุประมาณ 120-150 วัน (ในช่วงเดือนกรกฎาคมของวันปลูกที่ 1 และ 2 เดือนกันยายนของช่วงวันปลูกที่ 3) โดยมีอัตราการสร้างความสูงได้ประมาณ 2.2 เซนติเมตรต่อวัน หลังจากนั้นจะมีอัตราการเพิ่มความสูงเฉลี่ยลดลง (ภาพที่ 3)



ภาพที่ 3 ความสูงของอ้อยพันธุ์ต่างๆ และในวันปลูกที่ต่างกัน โดยกราฟเส้นสีเทาคือความสูงของอ้อยพันธุ์ KK07-037 สีฟ้าคือพันธุ์ K95-84 และสีส้มคือพันธุ์ 95-2-213 และภาพจากด้านซ้ายไปขวา แสดงวันปลูกที่ 1 2 และ 3 ตามลำดับ

การสะสมน้ำตาล

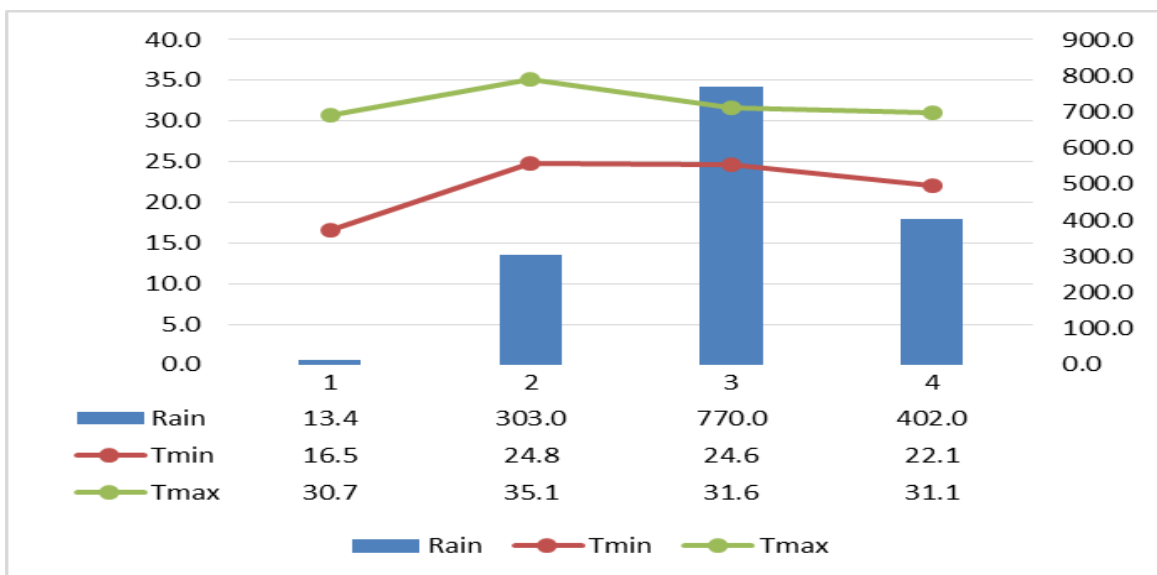
การสะสมน้ำตาลของอ้อยทั้งสามพันธุ์ได้รับผลกระทบจากสภาพแวดล้อมเป็นสำคัญ อ้อยพันธุ์ K95-84 และ K95-2-213 สะสมน้ำตาลได้เร็วและสูงใกล้เคียงกัน แต่ในช่วงปลายเดือนมกราคมถึงกุมภาพันธ์มีการสะสมน้ำตาลสูงที่สุดในขณะที่พันธุ์ KK 07-037 นั้นเริ่มมีการสะสมน้ำตาลช้าและน้อยกว่าพันธุ์อื่นๆ โดยที่อายุของอ้อยจะไม่มีผลต่อการสะสมน้ำตาล โดยอ้อยที่ปลูกในวันปลูกที่ 2 และวันปลูกที่ 3 มีอายุน้อยกว่าวันปลูกที่ 1 มาก แต่เมื่อเข้าสู่ช่วงกลางเดือนมกราคม อ้อยแต่ละพันธุ์จะสะสมน้ำตาลได้ไม่แตกต่างกัน (ภาพที่ 4)



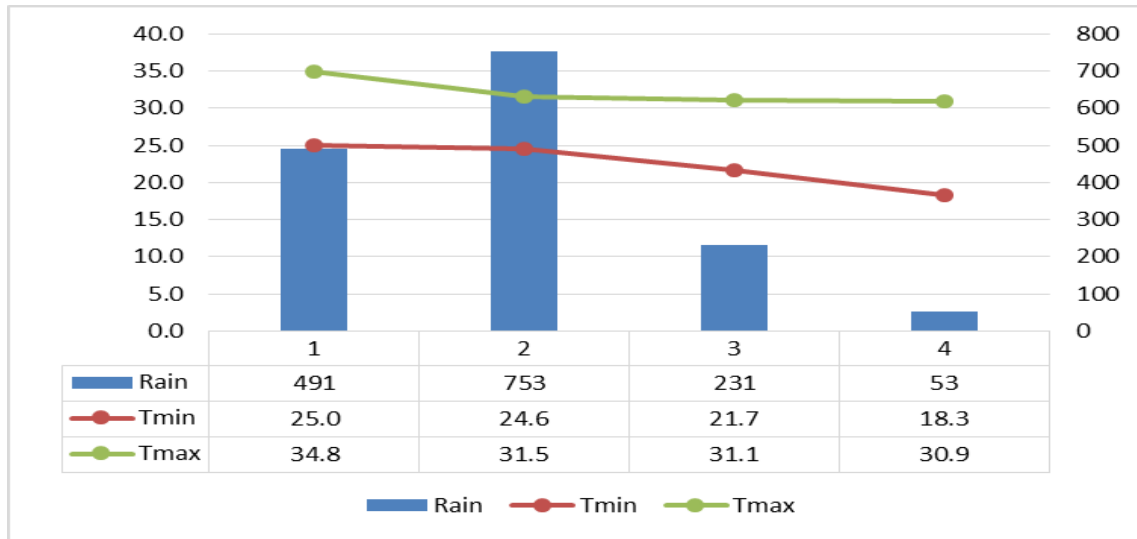
ภาพที่ 4 การสะสมน้ำตาล (องศาบริกซ์) ของอ้อยพันธุ์ต่างๆ และในวันปลูกที่ต่างกัน

ข้อมูลอากาศในช่วงวันปลูก

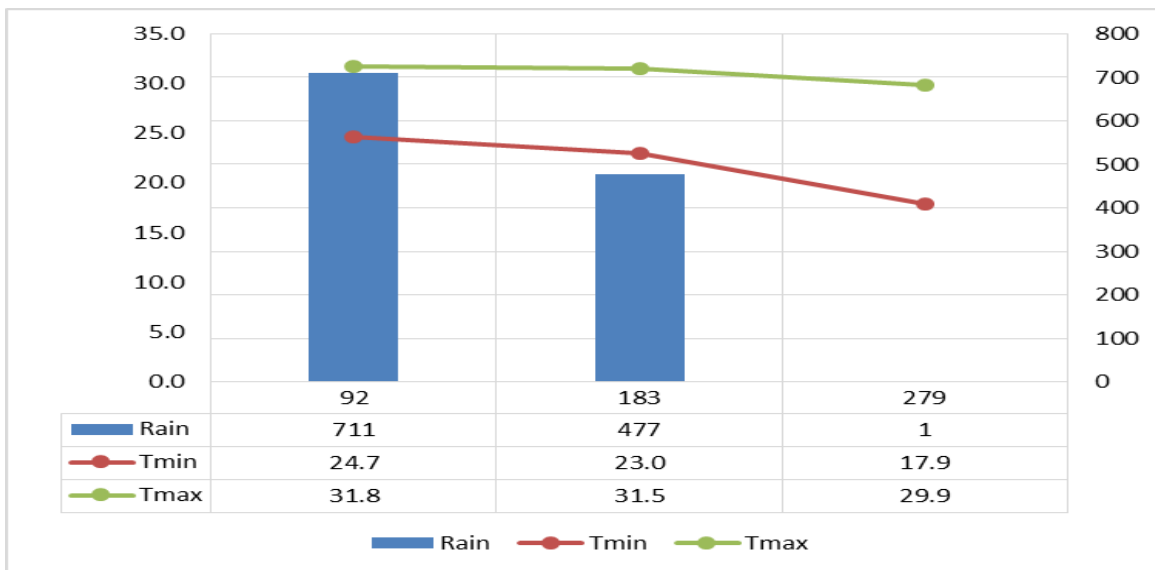
ในวันปลูกที่ 1 อุณหภูมิเฉลี่ยจะมีค่าต่ำในช่วง 3 เดือนแรกของการเจริญเติบโต ซึ่งพบว่าทำให้อ้อยมีอัตราการสะสมน้ำหนักรากได้น้อย หลังจาก 187 วันหลังปลูกพบว่ามียอดการสะสมน้ำหนักรากของอ้อยทั้ง 3 พันธุ์เพิ่มมากขึ้น และเพิ่มสูงสุดในช่วงอายุ 274 วันหลังปลูก จากการทดลองนี้พบว่าอุณหภูมิเฉลี่ยที่เหมาะสมสำหรับการสะสมน้ำหนักรากจะอยู่ในช่วง 28-30 องศาเซลเซียส (ภาพที่ 5a) ในทำนองเดียวกันวันปลูกที่ 2 จะได้รับผลกระทบจากอุณหภูมิสูงในช่วงแรก (92 วันหลังปลูก) ทำให้อัตราการสะสมน้ำหนักรากต่ำเช่นกัน (ภาพที่ 5b) ส่วนในวันปลูกที่ 3 พบว่าไม่ได้รับผลกระทบจากอุณหภูมิสูง ทำให้อัตราการสะสมน้ำหนักรากเป็นปกติ (ภาพที่ 5c)



ภาพที่ 5a อุณหภูมิสูงสุด-ต่ำสุด และปริมาณน้ำฝนในช่วงการผลิตอ้อยของวันปลูกที่ 1



ภาพที่ 5b อุณหภูมิสูงสุด-ต่ำสุด และปริมาณน้ำฝนในช่วงการผลิตอ้อยของวันปลูกที่ 2



ภาพที่ 5c อุณหภูมิสูงสุด-ต่ำสุด และปริมาณน้ำฝนในช่วงการผลิตอ้อยของวันปลูกที่ 3

การปรับค่าสัมประสิทธิ์ทางพันธุกรรมของอ้อยสำหรับแบบจำลองพืช

ผลการดำเนินงานพบว่า ได้ค่าสัมประสิทธิ์ทางพันธุกรรมของอ้อยดังตารางที่ 2-4 ผลการปรับค่าพบว่า แบบจำลอง canegro model มีประสิทธิภาพของแบบจำลองอยู่ในระดับดีสำหรับอ้อย 2 พันธุ์ (ค่า NRMSE มีค่าอยู่ระหว่าง 10-20 เปอร์เซ็นต์) ส่วนพันธุ์ 95-2-213 อยู่ในระดับพอใช้ (ค่า RMSE อยู่ในช่วง 20-30 เปอร์เซ็นต์) ในขณะที่แบบจำลอง DNDC เมื่อปรับค่าสัมประสิทธิ์ของอ้อยทั้ง 3 กลุ่มพันธุ์แล้ว พบว่ามีประสิทธิภาพในการจำลองน้ำหนักรากแห้งส่วนเหนือดินอยู่ในระดับดี แต่จำลองน้ำหนักรากอ้อยได้อยู่ในระดับพอใช้ ส่วนแบบจำลอง

Aquacrop model มีประสิทธิภาพในการจำลองน้ำหนักแห้งส่วนเหนือดินและน้ำหนักลำของอ้อยทั้งสามกลุ่ม พันธุ์ได้ในระดับพอใช้ ยกเว้นน้ำหนักแห้งส่วนเหนือดินของพันธุ์ KK07-037 อยู่ในระดับดี ดังภาพที่ 6-8

ตารางที่ 2 ค่าสัมประสิทธิ์ทางพันธุกรรมของอ้อย 3 พันธุ์สำหรับแบบจำลอง CANEGRO model.

Parameter name	Cultivar			
	Initial	KK07-037	K95-84	95-2-213
PARCEmax	9.46	10.90	9.98	10.90
APFMX	0.910	0.910	0.900	0.900
STKPFMAX	0.780	0.840	0.670	0.770
SUCA	0.579	0.630	0.590	0.580
TBFT	25	25	25	25
Tthalf	250	250	250	250
Tbase	16	16	16	16
LFMAX	13	13	13	13
MXLFAREA	579	602.0	512.0	520.0
MXLFARNO	17	17	16	17
PI1	71.06	114.2	72.9	69.2
PI2	215.4	214.0	181.9	171.8
PSWITCH	17	16.39	14.26	14.11
TTPLNTEM	428	428	428	428
TTRATNEM	203	203	203	203
CHUPIBASE	1050	1050	1050	1050
TT_POPGROWTH	418.4	484.4	406.7	480.9
MAX_POP	35.3	31.67	39.85	33.51
POPTT16	9.09	12.59	10.92	11.66
LG_AMBASE	220	220	220	220

หมายเหตุ : ตัวอักษรตัวหนาคือค่าที่มีความอ่อนไหวต่อการเจริญเติบโตและผลผลิตของอ้อย

ตารางที่ 3 ค่าสัมประสิทธิ์ทางพันธุกรรมของอ้อย 3 พันธุ์ที่ใช้กับแบบจำลอง Crop-DNDC95

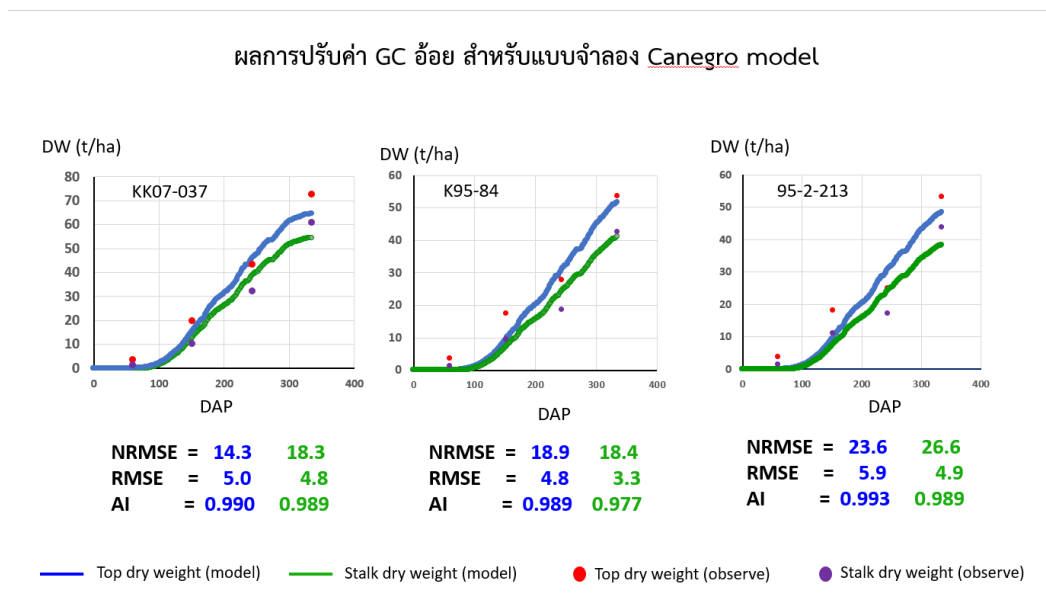
Parameter name	Cultivar			
	Initial	KK07-037	K95-84	95-2-213
Maximum biomass production (grain) (kg C/ha/y)	267	284.0	264.8	265.6
Grain fraction	0.01	0.01	0.01	0.01
Leaf fraction	0.19	0.25	0.27	0.30
Biomass fraction in stalk	0.70	0.70	0.61	0.63
Root fraction	0.10	0.04	0.11	0.09
Grain CN	150	150	150	150
Leaf CN	100	130	130	130
Stem CN	100	130	130	130
Root CN	150	150	150	150
Water Demand *	500	200	200	200
Optimum temperature (°C)	32	32	32	32
Thermal °C-d for maturity	11000	10500	12000	11000
N-fixation	1	1	1	1
Vascularity	0	0	0	0
Perennial	0	0	0	0

หมายเหตุ : ตัวอักษรตัวหนาคือค่าที่มีความอ่อนไหวต่อการเจริญเติบโตและผลผลิตของอ้อย

ตารางที่ 4 ค่าสัมประสิทธิ์ทางพันธุกรรมของอ้อย 3 พันธุ์ที่ใช้กับแบบจำลอง FAO-Aquacrop model

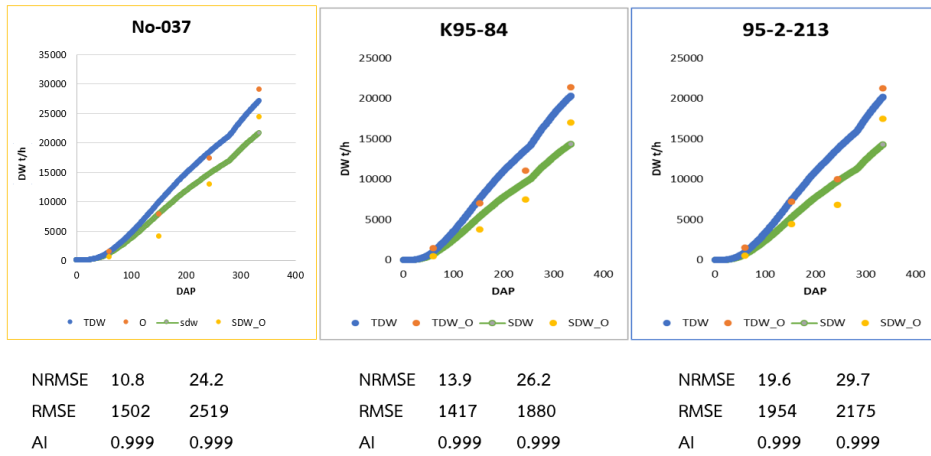
Cultivar

	KK07-037	K95-84	95-2-213
Initial canopy	Very high cover	High canopy cover	Good canopy cover
Maximum cover (%)	100	99	99
Recover (DAP)	7	10	10
Max canopy	60	62	65
Senescence	338	338	338
Base temperature (°C)	10	10	10
Upper temperature (°C)	30	30	30
Maturity	350	350	350
Water productivity (g/m ²)	32	32	32
Harvest index	92	95	95



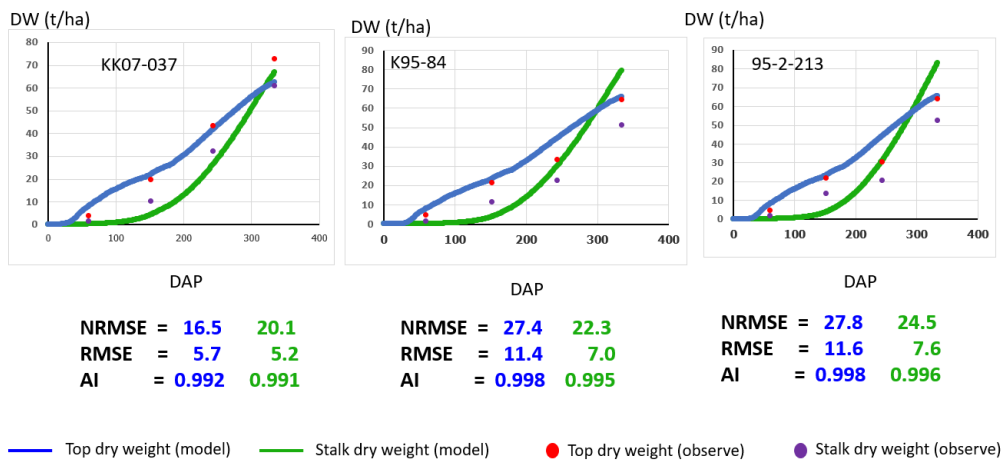
ภาพที่ 6 ผลการปรับค่าสัมประสิทธิ์ทางพันธุกรรมของอ้อย 3 พันธุ์สำหรับใช้กับแบบจำลอง Canegro

ผลการปรับค่า GC อ้อย สำหรับแบบจำลอง DNDC



ภาพที่ 7 ผลการปรับค่าสัมประสิทธิ์ทางพันธุกรรมของอ้อย 3 พันธุ์สำหรับใช้กับแบบจำลอง DNDC

ผลการปรับค่า GC อ้อย สำหรับแบบจำลอง Aquacrop model



ภาพที่ 8 ผลการปรับค่าสัมประสิทธิ์ทางพันธุกรรมของอ้อย 3 พันธุ์สำหรับใช้กับแบบจำลอง Aquacrop

9. สรุปผลการทดลองและข้อเสนอแนะ

ในสภาพการผลิตอ้อยที่มีปัจจัยการผลิตอย่างเพียงพอ การสะสมน้ำหนักราก และการสะสมน้ำตาลได้รับผลกระทบจากสภาพภูมิอากาศมากกว่าความแตกต่างระหว่างพันธุ์ และระยะการเจริญเติบโต ส่วนของการสร้างใบ และการเพิ่มความสูงอ้อยขึ้นอยู่กับระยะการเจริญเติบโตของอ้อย ผลการทดลองดังกล่าวนำไปใช้ปรับค่าสัมประสิทธิ์ทางพันธุกรรมสำหรับใช้กับแบบจำลองพืช 3 ชนิด สามารถนำไปใช้ได้ดีกับแบบจำลอง canegro และแบบจำลอง DNDC และพอใช้สำหรับแบบจำลอง Aquacrop

10. การนำผลงานวิจัยไปใช้ประโยชน์

นำค่าสัมประสิทธิ์ทางพันธุกรรมของอ้อยที่ได้ไปใช้จำลองการเจริญเติบโตของอ้อยในสภาพแวดล้อมที่แตกต่างกัน เพื่อหาค่าการใช้ น้ำของอ้อย และหาการจัดการที่เหมาะสมสำหรับเฉพาะพื้นที่

11. คำขอบคุณ (ถ้ามี)

ขอขอบคุณเจ้าหน้าที่ของสถานีอุตุนิยมวิทยาหมักดาหารที่อนุเคราะห์ข้อมูลสภาพภูมิอากาศเพื่อให้ข้อมูลงานวิจัยนี้สมบูรณ์ยิ่งขึ้น

12. เอกสารอ้างอิง

เกริก ปั่นเหน่งเพชร วินัย ศรวัต สมชาย บุญประดับ สุกิจ รัตนศรีวงษ์ สหัชชัย คงทน สมปอง นิลพันธ์ ชิชัญชา บุตดาบุญ กิ่งแก้ว คุณเขต อิศระ พุทธสีมา ปรีชา กาเพชร แคทลียา เอกอุ่น และวิภารัตน์ ดำริเข้มตระกูล. 2552. ผลกระทบของภาวะโลกร้อนต่อการผลิต ข้าว อ้อย มันสำปะหลัง และข้าวโพดของประเทศไทย. รายงานวิจัยฉบับสมบูรณ์ สำนักงานกองทุนสนับสนุนการวิจัย.

อารันต์ พัฒโนทัย. 2535. คู่มือการวิเคราะห์พื้นที่เพื่อวางแผนพัฒนาการเกษตร. โครงการส่งเสริมการมีส่วนร่วมของเกษตรกรในการพัฒนากรมส่งเสริมการเกษตร 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.

Jamieson P.D., J.R. Porter and D.R. Wilson. 1991. A Test of the Computer Simulation Model ARC-WHEAT1 on Wheat Crops Grown in New Zealand. Field Crops Research 27:337-350.

Jones J.W., G. Hoogenboom, C.H. Porter, K.J. Boote, W.D. Batchelor, L.A. Hunt, P.W. Wilkens, U. Singh, A.J. Gijssman, 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



ภาพผนวกที่ 1 อ้อยชำซ้อก่อนปลูกลงแปลงทดลอง



ภาพผนวกที่ 2 วัดระดับน้ำใต้ดิน



ภาพผนวกที่ 3 อุปกรณ์ตรวจวัดสภาพภูมิอากาศ



ภาพผนวกที่ 4 สภาพแปลงปลูกอ้อย



ภาพผนวกที่ 5 บันทึกข้อมูลการเจริญเติบโตหลังปลูกอ้อยทุกเดือน



ภาพผนวกที่ 6 บันทึกข้อมูลการสะสมน้ำหนัสด น้ำหนักแห้ง หลังปลูกทุก 3 เดือน