รายงานผลงานเรื่องเต็มการทดลองที่สิ้นสุด

---

1. **ชุดโครงการวิจัย** : วิจัยและพัฒนาอ้อย

2. **โครงการวิจัย** : การวิจัยและพัฒนาการจัดการด้านดิน น้ำ และปุ๋ยอ้อย
   กิจกรรม : ผลกระทบของการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศต่อการเจริญเติบโตและผลผลิตของอ้อยข้ามแล้ง
   กิจกรรมย่อย (ถ้ามี) : -

3. **ชื่อการทดลอง (ภาษาไทย)** : ความสัมพันธ์ของพื้นที่ใบต่อการเจริญเติบโตและการสะสมน้ำตาลของอ้อยข้ามแล้ง
   ชื่อการทดลอง (ภาษาอังกฤษ) : Correlation between Leaf Area and Growth and Sugar Accumulation of Late Sugarcane Planting Season

4. **คณะผู้ดำเนินงาน**
   หัวหน้าการทดลอง : ปรีชา กาเพ็ชร ศูนย์วิจัยพืชไร่ขอนแก่น
   ผู้ร่วมงาน : ทักษิณา ศันสยะวิชัย กอบเกียรติ ไพศาลเจริญ
   อัมราวรรณ ทิพยวัฒน์
   ศูนย์วิจัยพืชไร่ขอนแก่น

5. **บทคัดย่อ**

อัตราการเจริญเติบโตของอวัยวะส่วนต่างๆ ของสิ่งมีชีวิตย่อมมีความสัมพันธ์กัน และมักเป็นแบบสมการ allometry จึงได้ศึกษาความสัมพันธ์ของพื้นที่ใบและการเจริญเติบโตของอ้อย เพื่อหาค่าสัมประสิทธิ์และค่าคงที่ของสมการสำหรับนำมาสร้างเป็นสมการอย่างง่ายสำหรับการประเมินการเจริญเติบโตของอ้อย และสร้างสมการอย่างง่ายสำหรับการเปลี่ยนแปลงน้ำในดิน เพื่อนำไปประเมินผลผลิตอ้อยในสภาพที่ขาดน้ำ ดำเนินการทดลองที่ศูนย์วิจัยพืชไร่ขอนแก่น ตั้งแต่ปี 2554 – 2558 โดยปลูกอ้อยในสภาพให้น้ำชลประทาน และอาศัยน้ำฝน จำนวน 2 ครั้ง เก็บบันทึกข้อมูลการเจริญเติบโตทุกๆ 2 เดือน และเก็บความชื้นดิน สำหรับนำมาใช้ปรับแก้และทดสอบสมการอย่างง่ายสำหรับการประเมินการเจริญเติบโตของ

อ้อยและการเปลี่ยนแปลงของน้ำในดิน ผลการทดลองพบว่า พื้นที่ใบมีความสัมพันธ์กันกับน้ำหนักแห้งของพืช เมื่อนำค่าสัมประสิทธิ์และค่าคงที่ของความสัมพันธ์มาใช้กับสมการอย่างง่ายสำหรับการประเมินผลผลิตอ้อย พบว่าเมื่อปรับค่าประสิทธิภาพการสังเคราะห์แสงของอ้อยพันธุ์ขอนแก่น 3 และแอลเค92-11 แล้ว สมการอย่างง่ายสามารถประเมินการเจริญเติบโตของอ้อยได้อย่างดีเยี่ยม การปรับแก้ค่าสัมประสิทธิ์การใช้น้ำของพืชพบว่าให้ผลการประเมินการเปลี่ยนแปลงความชื้นในดินได้ดี เมื่อนำสมการการเปลี่ยนแปลงของน้ำในดินเชื่อมกับสมการการเติบโตของอ้อย เพื่อประเมินการเจริญเติบโตของอ้อยในสภาพที่ได้รับผลกระทบจากการขาดน้ำ พบว่า สามารถประเมินผลผลิตได้พอใช้ การหาค่าสัมประสิทธิ์สำหรับการขาดน้ำของอ้อยทั้งสองพันธุ์จะสามารถพัฒนาสมการอย่างง่ายให้สามารถประเมินการเจริญเติบโตของอ้อยได้แม่นยำยิ่งขึ้น

Abstract

The rate of growth of various organs of the creatures have a relationship and is often show as allometry equation. This concept let to study on correlation between leaf area and dry matter of sugarcane. The objective of this study was to know the constant values for develop the simple model for estimating growth of sugarcane (Carbon balance model: CM) changes of soil moisture (Water balance model: WM) in sugarcane field. The experiments were conducted in Khon Kean Field Crops Research Center in 2011-2015. The experiments were planting under irrigation and rainfed condition. Dry matter leaf area and soil moisture were collected every 2 months. This results used for calibration and validation the simple model. The results showed that dry matter and leaf area index was high correlation. Using the coefficients and constants values with the CM to simulate sugarcane dry matter found that the simple model was excellences estimating dry matter of both cultivars. Calibration of water use of sugarcane for WM showed that WM estimated changing of soil moisture well. After linked the CM and WM for estimating dry matter of sugarcane under rainfed condition, the results showed that the simple model was good estimated for KK3 and poor for KL92-11. Understanding of the effected of soil water stress for sugarcane will make the accuracy for estimating sugarcane yield under rainfed condition.

6. คำนำ

ในประเทศไทยการผลิตอ้อยได้แบ่งระบบการผลิตออกเป็น 3 ระบบใหญ่ ได้แก่ระบบการปลูกอ้อยต้นฝน เริ่มปลูกตั้งแต่เดือนพฤษภาคมหรือมิถุนายนของทุกปี ระบบการปลูกอ้อยแบบอาศัยน้ำชลประทาน สามารถปลูกได้ทั้งปีแต่นิยมปลูกในช่วงเดือนมกราคมถึงกุมภาพันธ์ และระบบสุดท้ายคือระบบการปลูกอ้อยข้ามแล้ง มีพื้นที่ปลูกส่วนใหญ่อยู่ในภาคตะวันออกเฉียงเหนือ ซึ่งคิดเป็นพื้นที่ประมาณ 40 เปอร์เซ็นต์ของพื้นที่ปลูกอ้อยทั้งประเทศ (สำนักงานคณะกรรมการอ้อยและน้ำตาลทราย, 2551) การปลูกอ้อยข้ามแล้งจึงแตกต่างจากระบบการปลูกแบบทั่วไปโดยสิ้นเชิง เนื่องจากระบบการปลูกอ้อยข้ามแล้งนี้ ต้องปลูกในช่วงปลายฤดูฝน อาศัยความชื้นในดินที่เหลืออยู่เพื่อการงอกและการเจริญเติบโตในช่วงที่ฝนไม่ตก ซึ่งใช้เวลามากกว่า 5 เดือนก่อนจะเข้าสู่ฤดูฝน ยังไม่มีคำอธิบายที่ชัดเจนว่าทำไมอ้อยถึงสามารถอยู่รอดได้ และมีการปรับตัวต่อสภาพแวดล้อมแบบนี้อย่างไร รวมถึงข้อมูลทางด้านการเจริญเติบโต และพัฒนาการมีการศึกษาน้อยมาก

แต่โดยทั่วไปแล้วมวลชีวภาพที่พืชสร้างขึ้นจะถูกนำไปสร้างองค์ประกอบต่างๆ ของพืช สัดส่วนที่นำมาใช้ในการสร้างใบนั้นจะเปลี่ยนแปลงเสมอไม่คงที่ เช่นเดียวกันกับสัดส่วนของพื้นที่ใบต่อมวลชีวภาพของใบ ซึ่งเรียกว่าพื้นที่ใบจำเพาะ (specific leaf area m^2 leaf area g^{-1} DW leaf) แม้องค์ความรู้เชิงปริมาณของกลไกที่ควบคุมการเปลี่ยนแปลงดังกล่าวยังไม่กระจ่างชัด แต่มักพบเสมอว่าอัตราการเจริญเติบโตของอวัยวะต่างๆ ของสิ่งมีชีวิตนั้นจะสัมพันธ์ซึ่งกันและกัน และสามารถแสดงความสัมพันธ์ได้โดยฟังชั่น allometry ดังนี้

$$\frac{1}{y}\frac{dy}{dt} = \beta\frac{1}{x}\frac{dx}{dt}$$

สมการดังกล่าวแสดงความสัมพันธ์เชิงเส้นตรงระหว่างอัตราการเจริญเติบโตสัมพัทธ์ของ y และ x และเมื่อบูรณาการสมการแล้วสามารถเขียนได้เป็น

$$\ln y = \beta \ln x + C$$

หรือ

$$y = \alpha x^{\beta}$$

เมื่อ α และ β เป็นค่าสัมประสิทธิ์ของความสัมพันธ์ และ $\alpha = e^{C}$

อย่างไรก็ตามข้อมูลการศึกษาการเจริญเติบโตและพัฒนาการของอ้อยที่อยู่ในสภาพแวดล้อมที่เหมาะสม มีการศึกษาไว้บ้างแล้ว เช่น Ritchie และคณะ (1986) ได้รายงานไว้ว่าอุณหภูมิต่ำสุด (base

temperature) ที่อ้อยสามารถเจริญเติบโตได้ตั้งแต่ 9 องศาเซลเซียส และมีอุณหภูมิที่เหมาะสมอยู่ในช่วง 32-45 องศาเซลเซียส ซึ่งนำมาใช้ในการสร้างแบบจำลอง APSIM และมีค่าที่แตกต่างกันไปเช่น Inman-Bamber (1994) รายงานไว้ที่ 8 องศาเซลเซียส ขณะที่ Robertson และคณะ (1998) ใช้ 15 องศาเซลเซียส การศึกษาของ Allison และคณะ (2007) พบว่า อ้อยเป็นพืชที่มีการเจริญเติบโตช้ามาก หากเทียบกับพืชอื่นๆ มีความสัมพันธ์กันระหว่างอัตราการเจริญเติบโตและการหายใจ ซึ่งอัตราการเจริญเติบโตได้รับผลกระทบโดยตรงจากพื้นที่ใบ (Inman-Bamber et.al, 2005) แต่อย่างไรก็ตาม Lingle (1997) และ Allison และ Pammenter (2002) พบว่าถึงแม้การเจริญเติบโตของอ้อยเป็นไปอย่างช้าๆ แต่ไม่มีผลต่อขนาดของทรงพุ่มใบเมื่อถึงวันที่เก็บเกี่ยว และผลการศึกษาของ Keating และคณะ (1999) พบว่าเมื่อดัชนีพื้นที่ใบมากกว่า 5 แล้ว ไม่มีผลกระทบต่อการเจริญเติบโตของอ้อย ถึงแม้ว่ามีปัจจัยต่างๆ มีผลกระทบต่อการเจริญเติบโตของอ้อย Muchow และคณะ (1994) กล่าวไว้ว่าข้อมูลที่มีอยู่เป็นการศึกษากับพันธุ์อ้อยกับสภาพแวดล้อมในขณะนั้นๆ เมื่อมีการใช้พันธุ์อ้อยใหม่ และสภาพแวดล้อมที่เปลี่ยนแปลงไป การเจริญเจริญเติบโตและพัฒนาการของอ้อยก็จะเปลี่ยนแปลงตามไปด้วย ซึ่งสอดคล้องกับของ Singels และคณะ (2005) ที่ให้ข้อเสนอแนะว่า การปรับปรุงเพื่อเพิ่มผลผลิตอ้อยควรคำนึงถึงประสิทธิภาพของการสังเคราะห์แสง การแบ่งปันสารอาหารไปสร้างส่วนต่างๆ ของอ้อย ในสภาพแวดล้อมที่เปลี่ยนแปลงไปด้วย โดยสภาพแวดล้อมที่มีความสัมพันธ์ต่อการเจริญเติบโตและพัฒนาการของอ้อยมากที่สุดคือ สภาพภูมิอากาศซึ่งปัจจุบันมีความแปรปรวนค่อนข้างมาก และมีแนวโน้มว่ามากยิ่งขึ้นในอนาคตจากการได้รับผลกระทบจากสภาวะโลกร้อน จึงควรศึกษาลักษณะทางสรีระวิทยาของอ้อยโดยเฉพาะที่เกี่ยวกับดัชนีพื้นที่ใบซึ่งเกี่ยวข้องโดยตรงต่อการสังเคราะห์แสงของอ้อย

7. วิธีดำเนินการ :

7.1 อุปกรณ์

7.1.1 อ้อยพันธุ์ ขอนแก่น 3 และแอลเค 92-11

7.1.2 ปุ๋ยเคมีสูตร 15-15-15

7.1.3 สารเคมีกำจัดวัชพืช

7.1.4 วัสดุอุปกรณ์สำหรับการให้น้ำ

7.1.5 วัสดุอุปกรณ์สำหรับเก็บความชื้นดิน

7.1.6 วัสดุอุปกรณ์สำหรับวัดพื้นที่ใบ

7.1.7 วัสดุอุปกรณ์สำหรับวัดความสูง เส้นผ่านศูนย์กลางลำ และค่าความหวานอ้อย

7.1.8 วัสดุอุปกรณ์สำหรับเก็บเกี่ยวอ้อย

7.2 วิธีการ

ปลูกอ้อยข้ามแล้งในช่วงเดือนตุลาคม ใช้ขนาดแปลงใหญ่กว้าง 37.6 เมตร ยาว 80 เมตร แปลงย่อยกว้าง 18.8 เมตร ยาว 10 เมตร เก็บคุณสมบัติทางกายภาพได้แก่ bulk density, field capacity และ permanent wilting point ที่ระดับความลึก 0-30 และ 30-60 เซนติเมตร ปลูกอ้อยพันธุ์ขอนแก่น 3 และแอลเค92-11 โดยการปลูกเป็นหลุม หลุมละ 2 ท่อน ท่อนละ 2 ตา ระยะระหว่างแถว 130 เซนติเมตร และระยะระหว่างหลุม 50 เซนติเมตร ทุกกรรมวิธีใส่ปุ๋ยรองพื้นสูตร 15-15-15 อัตรา 50 กิโลกรัมต่อไร่ และใส่ครั้งที่สองในช่วงเดือนเมษายน หรือเมื่อดินมีความชื้น เก็บดินวิเคราะห์ความชื้นดินทุก 7 วัน ที่ระดับความลึก 0-30 และ 30-60 เซนติเมตร ในกรรมวิธีที่ให้น้ำ ให้แบบน้ำหยด ให้มีความชื้นดินประมาณ 50% ของความเป็นประโยชน์ของน้ำในดิน (AWC) กำจัดวัชพืชไม่ให้รบกวน โรคและแมลงตามความจำเป็น นับจำนวนต้นงอกเมื่ออายุได้ 30, 45 และ 60 วันหลังปลูก เก็บการเจริญเติบโตของอ้อยทุก 1 เดือน ในพื้นที่ 2.6 ตารางเมตร (4 หลุม) นับจำนวนลำ แยกส่วนต้น กาบ และใบ วัดพื้นที่ใบ น้ำหนักสด และสุ่มอบหาน้ำหนักแห้งของแต่ละส่วน และวัดค่าความหวาน เมื่ออ้อยสร้างลำ สุ่มพื้นที่ 8 แถว ยาว 3 เมตร ในพื้นที่นี้สุ่มลำหลัก 10 ลำ วัดความสูงและเส้นผ่านศูนย์กลาง ทุก 1 เดือนเก็บเกี่ยวอ้อยครั้งสุดท้าย เมื่ออายุครบ 12 เดือน บันทึกข้อมูลคุณสมบัติทางกายภาพได้แก่ bulk density, field capacity และ permanent wilting point ที่ระดับความลึก 0-30 และ 30-60 เซนติเมตร เปอร์เซ็นต์การงอกของอ้อย ความชื้นดินทุก 7 วัน ที่ระดับความลึก 0-30 และ 30-60 เซนติเมตร การเจริญเติบโตของอ้อยทุก 1 เดือน ได้แก่จำนวนลำ น้ำหนักสดและแห้งของ ต้น กาบ และใบ พื้นที่ใบ ความสูง เส้นผ่านศูนย์กลางลำ และค่าความหวาน เมื่ออ้อยสร้างลำ ผลผลิต และองค์ประกอบของผลผลิต ได้แก่ความสูง เส้นผ่านศูนย์กลางลำ จำนวนลำเก็บเกี่ยว จำนวนกอเก็บเกี่ยว และค่าความหวาน

การวิเคราะห์ข้อมูล

7.2.1 หาสัมประสิทธิ์ของความสัมพันธ์ของพื้นที่ใบต่อน้ำหนักแห้งของอ้อย โดยใช้สมการ allometry ที่บูรณาการเป็นสมการเส้นตรงแล้วได้แก่

$$y = \alpha x^{\beta}$$

เมื่อ y = ดัชนีพื้นที่ใบ x = น้ำหนักแห้งทั้งหมดของอ้อย α และ β เป็นค่าสัมประสิทธิ์ของความสัมพันธ์ และ $\alpha = e^{C}$

7.2.2 การประยุกต์ใช้สมการอย่างง่ายสำหรับการเจริญเติบโตของอ้อยจากสมการของ เกริก (2552) ตามสมการ

cgr = s * (1.0-exp(-k*l)) * rue * (1.0-wstress)

เมื่อ cgr = crop growth rate, s = solar radiation, k=light extinction coefficient, L = LAI, rue = radiation use efficiency และ wstress = water stress coefficient

7.2.3 การประยุกต์ใช้สมการอย่างง่ายสำหรับประเมินการเปลี่ยนแปลงความชื้นในดิน

จากสมการของ Penman-Monteith ซึ่งเป็นสมการที่นิยมใช้กันทั่วไปสำหรับคำนวณค่าการคายระเหยน้ำของพืช ซึ่งสมการดังกล่าวต้องการข้อมูลทางอุตุนิยมวิทยาอยู่ 4 ชนิด ได้แก่ ความเข้มแสง อุณหภูมิ ความชื้นสัมพัทธ์ และความเร็วลม ซึ่งในบางพื้นที่ข้อมูลดังกล่าวเป็นข้อจำกัดในการนำมาคำนวณค่าการคายระเหยน้ำของพืชอ้างอิง เกริก (2552) ได้ประประยุกต์ให้เป็นสมการแบบเรียบง่ายโดยมีสมมุติฐานว่าหากอุณหภูมิ ความชื้นสัมพัทธ์ และความเร็วลมในแต่ละพื้นที่มีการเปลี่ยนแปลงไม่มากนัก ค่าการคายระเหยของน้ำจะขึ้นอยู่กับค่าความเข้มแสงเพียงค่าเดียว ซึ่งสามารถเขียนเป็นสมการเส้นตรงได้ ดังสมการ

$$ET_o = (bR_n + a)/\lambda$$

เมื่อ

$$R_n = (1 - albedo)S + ln$$

และ b และ a เป็นค่าคงที่ของสมการ $\boldsymbol{\lambda}$ คือค่าสัมประสิทธิ์ความร้อนแฝงในการระเหยของน้ำ Rn คือค่าความเข้มแสงสุทธิ (MJ $m^{-2}d^{-1}$), S คือค่าพลังงานแสงอาทิตย์ (MJ $m^{-2}d^{-1}$) และ ln คือค่าคลื่นแสงช่วงยาว

และผลการศึกษาของเกริก (2552) พบว่าสมการแบบเรียบง่ายสามารถนำมาใช้ประเมินค่าการคายระเหยของน้ำในนาข้าวได้ โดยมีค่า a และ b เท่ากับ 2 และ 0.8 ตามลำดับ จึงได้นำสมการแบบเรียบง่ายนี้มาประยุกต์ใช้กับพื้นที่ปลูกอ้อย และเมื่อแทน ค่า albedo ในแปลงอ้อยเท่ากับ 0.25 (Pereira et.al., 2013) ค่าสัมประสิทธิ์ความร้อนแฝงในการระเหยของน้ำซึ่งมีค่าประมาณ 2.25 และคลื่นแสงช่วงยาวเท่ากับ -1 (เกริก, 2552) แล้ว รวมสมการที่ 2 กับ3 สามารถเขียนเป็นสมการใหม่ได้ดังนี้

$$ET_o = 0.24S + 0.49$$

ประเมินการคำนวณค่าการคายระเหยน้ำของสมการแบบเรียบง่ายโดยใช้ข้อมูลอุตุนิยมวิทยาตั้งแต่วันที่ 1 มกราคม 2557 ถึงวันที่ 30 กันยายน 2557 เปรียบเทียบกับค่าการระเหยที่ได้

กับสมการของ PM-56 และสมการของ Priestley&Taylor (PT) ที่ใช้ในแบบจำลอง Canegro

การคำนวณเปลี่ยนแปลงของความชื้นดินในแปลงอ้อย

สมการแบบเรียบง่ายสำหรับการคำนวณการเปลี่ยนแปลงของน้ำในดินสามารถคำนวณได้ดังสมการ

$$ET = ET_o \times Ks \times Kc$$

เมื่อ ET = ค่าการคายระเหยน้ำของพืช ETo = ค่าการคายระเหยน้ำของพืชอ้างอิง Kc = ค่าสัมประสิทธิ์การใช้น้ำของพืช มีค่า 0.39-2.25 ตามช่วงอายุพืช (กอบเกียรติ และคณะ, 2555) และ Ks = ค่ายินยอมให้น้ำระเหยออกจากดิน โดย

$$Ks = \frac{(\theta - \theta_{wp})}{(\theta_{fc} - \theta_{wp})}$$

เมื่อ θ = ความชื้นดิน (mm/mm), θ_{wp} = ความชื้นดินที่จุดเหี่ยวถาวร (mm/mm) and θ_{fc} = ความชื้นดินที่จุดความจุความชื้นสนาม (mm/mm) และอัตราการเปลี่ยนแปลงของน้ำในดินรายวัน ($d\theta$) (mm/d) คำนวณได้ตามสมการ

$$d_\theta = Rf - ET - Ro - Dp$$

เมื่อ

$$Rf = 0.3Ro$$

$$Inf = Rf - Ro$$

$$as = (\theta_{fc} - \theta)z$$

และถ้าหากค่า Inf มีค่าน้อยกว่าหรือเท่ากับ as ค่า Dp มีค่าเท่ากับ 0 เมื่อค่า inf มีค่ามากกว่าค่า as ค่า Dp คำนวณได้ดังสมการ

$$Dp = Inf - as$$

เมื่อ Rf คือปริมาณน้ำฝนรายวัน (mm), Ro คือการไหลบ่าของน้ำ (mm), inf คืออัตราการซึมของน้ำลงในดิน (mm/d), as คือช่องว่างในดินที่สามารถรับน้ำได้ (mm), z คือความลึกของดิน (mm), และ Dp คือการซึมของน้ำในดินลงสู่ดินชั้นที่ลึกกว่า (mm/d)

หลังจากนั้นคำนวณความชื้นดินรายวันตามสมการ

$$\theta = \theta + d_\theta$$

7.2.4 การปรับแก้และประเมินสมการอย่างง่ายสำหรับคำนวณการเติบโตของอ้อย และค่าความชื้นดิน

จากสมการแบบเรียบง่ายทั้งสองสมการ ใช้ข้อมูลน้ำหนักแห้งที่ได้จากการเก็บตัวอย่างในปี 2558 มาเปรียบเทียบสำหรับปรับแก้สมการการเติบโต โดยปรับค่า radiation use efficiency ในแต่ละระยะการเจริญเติบโตของอ้อย ให้ผลการประเมินใกล้เคียงกับค่าที่ได้จากการทดลอง จากนั้นนำไปทดสอบกับแปลงปลูกอ้อยที่ปลูกในปี 2555 ทั้งในสภาพที่ให้น้ำชลประทานและสภาพอาศัยน้ำฝน ซึ่งสมการการเปลี่ยนแปลงของน้ำในดิน ได้ปรับแก้ค่า kc ของอ้อยในแต่ละระยะการเจริญเติบโต หลังจากนั้นนำไปเชื่อมโยงกับสมการอย่างง่ายสำหรับการเติบโตของอ้อย เพื่อประเมินการเติบโตของอ้อยในสภาพขาดน้ำ การประเมินการเจริญเติบโตของอ้อยและการเปลี่ยนแปลงของความชื้นดิน ใช้ค่าสถิติ 3 ค่า ได้แก่ the coefficient of determination (R^2) the root mean square error (RMSE) และ normalized RMSE (NRMSE) ซึ่งค่า RMSE และ NRMSE คำนวณได้โดย

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

$$NRMSE = \frac{RMSE}{\overline{O}}\ 100$$

เมื่อ S_i คือค่าที่ได้จากการคำนวณ, O_i คือค่าที่ได้จากการบันทึกในแปลงทดลอง, N คือจำนวนข้อมูล และ $\bar{O}$ คือค่าเฉลี่ยของข้อมูลที่ได้จากการบันทึกในแปลงทดลอง

สมการแบบบเรียบง่ายจะมีประสิทธิภาพดีเยี่ยมเมื่อค่า NRMSE น้อยกว่าหรือเท่ากับ 10% ประสิทธิภาพดีเมื่อมีค่ามากกว่า 10% แต่น้อยกว่าหรือเท่ากับ 20% ประสิทธิภาพพอใช้เมื่อค่า NRMSE มีค่ามากกว่าหรือเท่ากับ 20% และน้อยกว่า 30% และประสิทธิภาพไม่ดีเมื่อค่า NRMSE มีค่ามากกว่า 30% (Jamieson et al., 1991)

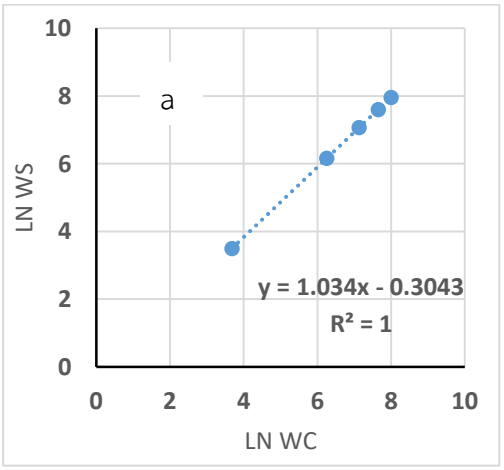
7.3 เวลาและสถานที่

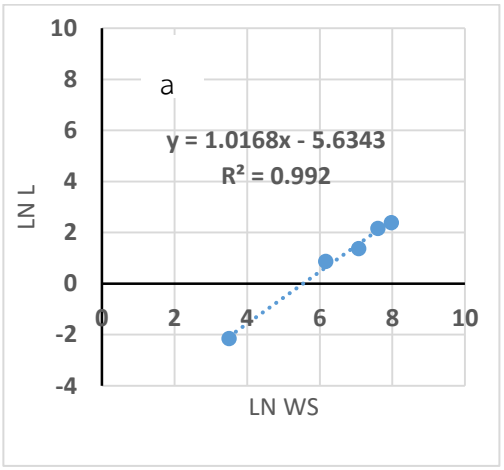
ตุลาคม 2554 – กันยายน 2558 แปลงทดลองศูนย์วิจัยพืชไร่ขอนแก่น

8. ผลการทดลองและวิจารณ์

8.1 ค่าสัมประสิทธิ์ของความสัมพันธ์ของพื้นที่ใบต่อการเติบโตของอ้อย

จากสมการ allometry ที่บูรณาการเป็นสมการอย่างง่ายได้เป็น $L = \alpha_l \left(\alpha_s Wc^{\beta_s}\right)^{\beta_l}$ เมื่อแทนค่าสมการด้วยค่าสัมประสิทธิ์จากความสัมพันธ์ของน้ำหนักแห้งส่วนเหนือดิน (WS) กับน้ำหนักแห้งทั้งหมด (WC) และความสัมพันธ์ระหว่างดัชนีพื้นที่ใบ (L) กับน้ำหนักแห้งส่วนเหนือดิน (WS) (ภาพที่ 1) แล้วพบว่าค่าสัมประสิทธิ์ α มีค่าเท่ากับ 0.0026 และ 0.0044 สำหรับพันธุ์แอลเค92-11 และพันธุ์ขอนแก่น 3 ตามลำดับ และมีค่า β เท่ากับ 1.051 และ 0.994 ของอ้อยพันธุ์แอลเค92-11 และขอนแก่น 3 ตามลำดับ เขียนเป็นสมการการสร้างใบของอ้อยทั้งสองพันธุ์ได้เป็น $L = 0.0026Wc^{1.051}$ สำหรับพันธุ์แอลเค92-11 และ $L = 0.0044Wc^{0.994}$ สำหรับอ้อยพันธุ์ขอนแก่น3





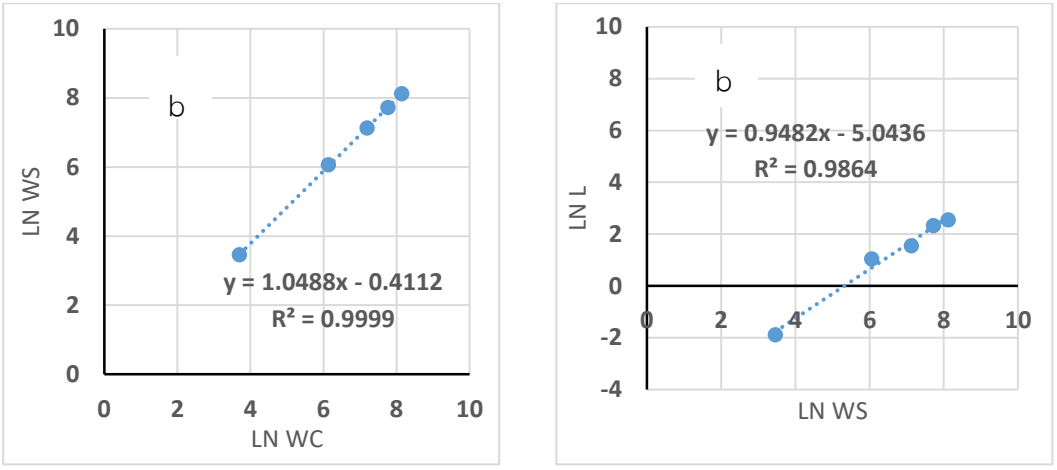


Figure 1 Correlation between above ground dry matter (WS) and total dry matter (WC) and Leaf area index (L) and above ground dry matter (WS) for sugarcane cultivar LK92-11 (a) and Khon Kaen 3 (b)

8.2 การปรับแก้สมการอย่างง่ายสำหรับประเมินการเจริญเติบโตของอ้อย

จากสมการ

cgr = s * (1.0-exp(-k*l)) * rue * (1.0-wstress)

เมื่อ cgr = อัตราการเจริญเติบโตของอ้อย (ก/ตร.ม./วัน), s = ความเข้มแสง (เมกจูล/ตร.ม./วัน), k=ค่าสัมประสิทธิ์การรับแสงของอ้อย, L = ดัชนีพื้นที่ใบ rue = ประสิทธิภาพการสังเคราะห์แสง และ wstress = ค่าสัมประสิทธิ์ของการขาดน้ำ

และเมื่อแทนค่า L จากสมการที่ได้ในข้อ 8.1 แล้ว การปรับค่าค่าประสิทธิภาพของการสังเคราะห์แสง (RUE) เพื่อให้สมการการเจริญเติบโตของอ้อยให้ผลใกล้เคียงกับค่าที่ได้จากการเก็บข้อมูลมากที่สุด แล้วพบว่าอ้อยพันธุ์แอลเค92-11 มีค่า RUE เท่ากับ 1.1 กรัมต่อเมกกะจูล ที่อายุ 1-150 วันหลังปลูก และ 1.5 กรัมต่อเมกกะจูล เมื่ออ้อยอายุ 150-260 วันหลังปลูก และมีค่าลดลงเหลือ 1 กรัมต่อเมกกะจูล เมื่ออ้อยมีอายุมากกว่า 260 วันหลังปลูก โดยมีค่า R^2 = 0.9985, RMSE = 86.2 กรัมต่อตางเมตร และ nRMSE = 3.6% (ภาพที่ 2a) แสดงให้เห็นว่าสมการอย่างง่ายสามารถประเมินการเจริญเติบโตของอ้อยพันธุ์แอลเค 92-11 ได้อย่างดีเยี่ยม สำหรับพันธุ์ขอนแก่น 3 มีค่า RUE เท่ากับ 0.9 กรัมต่อเมกกะจูล ที่อายุ 1-105 วันหลังปลูก และ 1.6 กรัมต่อเมกกะจูล เมื่ออ้อยอายุ 105-255 วันหลังปลูก และมีค่าลดลงเหลือ 1.4 กรัมต่อเมกกะจูล เมื่ออ้อยมีอายุมากกว่า 255 วันหลังปลูก โดยมีค่า R^2 = 0.9934, RMSE = 272.9 กรัมต่อตางเมตร และ nRMSE = 10.4% (ภาพที่ 2b) แสดงว่าสมการอย่างง่ายสามารถประเมินการเจริญเติบโตของอ้อยพันธุ์ขอนแก่น 3 ได้อย่างดี

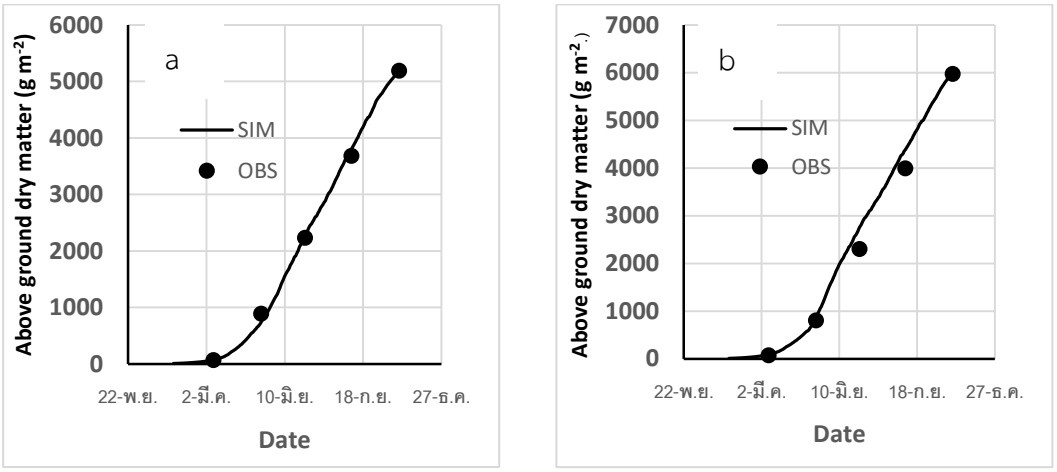


Figure 2 comparison of aboveground dry weight from simulation (SIM) and observation (OBS) for sugarcane cultivar LK92-11 (a) and Khon Kaen 3 (b)

8.3 การปรับแก้สมการอย่างง่ายสำหรับประเมินการเปลี่ยนแปลงความชื้นในดิน

การคายระเหยของน้ำ

ค่าการคายระเหยน้ำของพืชอ้างอิงที่ได้จากการคำนวณของสมการแบบเรียบง่าย มีค่าระหว่าง 1.7-8.5 มิลลิเมตรต่อวัน เฉลี่ยทั้งปี 5.1 มิลลิเมตรต่อวัน ใกล้เคียงกับค่าการคายระเหยที่ได้จากการคำนวณโดยใช้สมการของ PT ที่มีค่าเฉลี่ยทั้งปี 5.2 มิลลิเมตรต่อวัน แต่ทั้งสองสมการมีค่าต่ำกว่าค่าที่คำนวณได้จากสมการของ PM-56 ที่มีค่าสูงสุด-ต่ำสุด เท่ากับ 1.6-12.1 มิลลิเมตรต่อวัน ตามลำดับ และมีค่าเฉลี่ยทั้งปีเท่ากับ 6.3 มิลลิเมตรต่อวัน (ภาพที่ 3) อย่างไรก็ตามค่าการคายระเหยน้ำของพืชอ้างอิงที่ได้จากสมการแบบเรียบง่ายมีความสัมพันธ์สูงกับค่าที่ได้จากสมการของ PM-56 โดยมีค่า R^2 เท่ากับ 0.959 และเมื่อเปรียบเทียบกับผลที่ได้จากสมการของ PT พบว่ามีค่า R^2 เท่ากับ 0.974 ในขณะที่ผลที่ได้จากสมการ PM-56 และสมการของ PT พบว่ามีความสัมพันธ์กันสูงที่สุด มีค่า R^2 เท่ากับ 0.985 (ภาพที่ 4a, 4b, 4c) ซึ่งจากการตรวจเอกสารของ Widmoser (2009) พบว่ามีหลายๆ งานวิจัย ค่าการระเหยที่ได้จากสมการ PM-56 จะสูงกว่าค่าสังเกต และการศึกษาของ Osorio et.al., (2014) ยืนยันว่าค่าการคายระเหยน้ำในแปลงอ้อยที่ได้จากการคำนวณของสมการ PM-56 สูงกว่าที่ได้จากสมการของ PT ประมาณ 18% อย่างไรก็ตาม งานวิจัยของ Sentelhas et.al., (2010) พบว่าถ้าหากข้อมูลอุตุนิยมวิทยาไม่มีค่าความเร็วลมและความชื้นบรรยากาศแล้ว สมการของ PT สามารถนำมาใช้ทดแทนสมการ PM-56 ได้ ผลจากการทดลองในครั้งนี้ พบว่าค่าที่ได้จากสมการอย่างเรียบง่ายไม่แตกต่างจากสมการของ PT โดยมีค่า RMSE

เท่ากับ 0.3 มิลลิเมตรต่อวัน และค่า NRMSE = 5.9% ถือได้ว่าสมการแบบเรียบง่ายสมารถนำมาใช้คำนวณค่าการคายระเหยของน้ำได้อย่างดีเยี่ยมเมื่อเทียบกับสมการของ PT

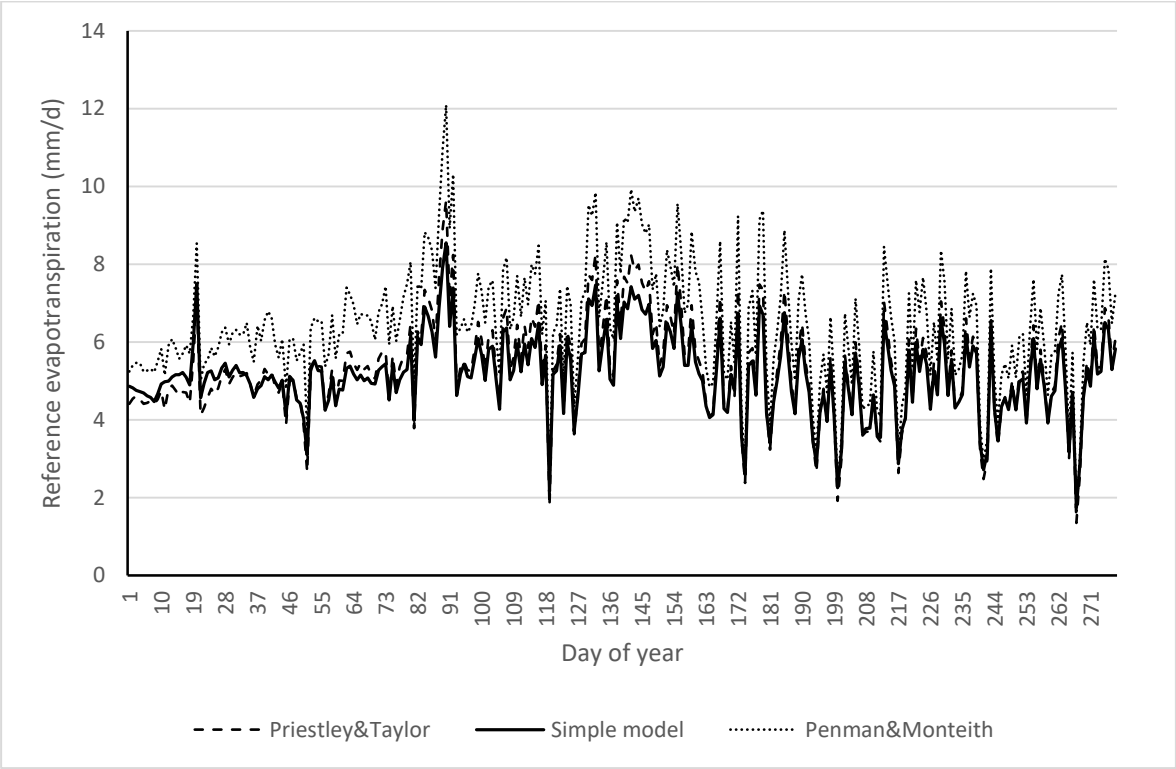
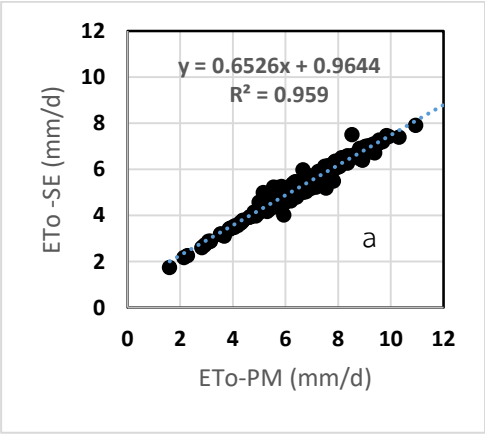
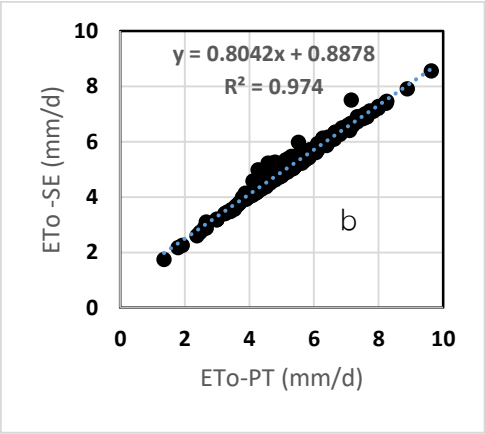


Figure 3 The reference evapotranspiration that estimated by 3 models





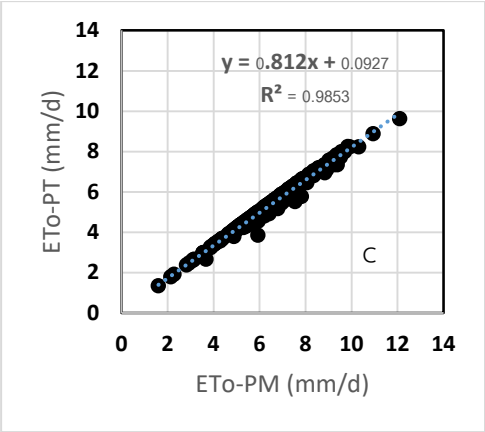
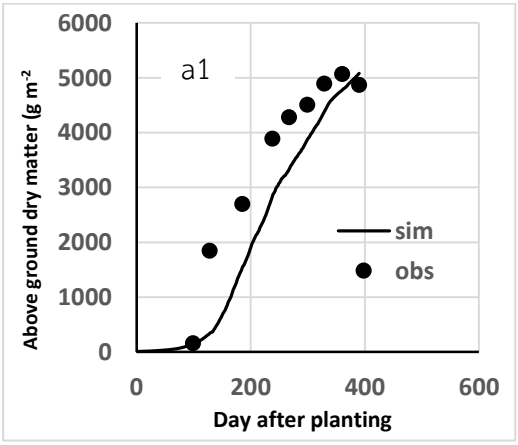
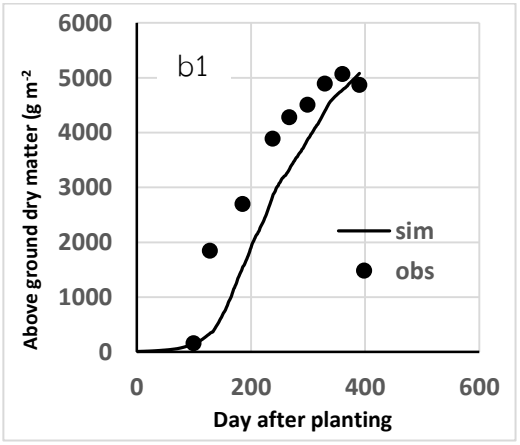


Figure 4 Correlation between the reference evapotranspiration that estimated by the simple model (SE) and Penman-Monteith equation (PM) (a), sinple model (SM) aand Priestley&Taylor equation (PT) (b) and (PT) and (PM) (c)

8.4 การทดสอบสมการอย่างง่ายสำหรับประเมินการเจริญเติบโตของอ้อย

การทดสอบการเชื่อมสมการอย่างง่ายสำหรับการเจริญเติบโตของพืช (CM) กับสมการอย่างง่ายสำหรับการประเมินการเปลี่ยนแปลงของน้ำในดิน (SM) เพื่อประเมินการเจริญเติบโตของอ้อยที่ปลูกในสภาพชลประทานและอาศัยน้ำฝน พบว่าในสภาพชลประทาน สมการอย่างง่ายสามารถประเมินการเจริญเติบโตของอ้อยพันธุ์แอลเค92-11 และขอนแก่น3 ได้พอใช้ โดยมีค่า R^2 , RMSE และ nRMSE เท่ากับ 0.910, 1.4 ตันต่อไร่ และ 23% สำหรับพันธุ์แอลเค92-11 และเท่ากับ 0.929, 1.5 ตันต่อไร่ และ 22% สำหรับพันธุ์ขอนแก่น 3 (ภาพที่ 5 a1, b1) และเมื่อนำไปประเมินการเจริญเติบโตของอ้อยที่ปลูกในสภาพชลประทานและอาศัยน้ำฝน พบว่าสมการอย่างง่ายสามารถประเมินการเจริญเติบโตของอ้อยพันธุ์แอลเค 92-11 ได้พอใช้ และขอนแก่น3 ได้ดี โดยมีค่า R^2 , RMSE และ nRMSE เท่ากับ 0.945, 1.4 ตันต่อไร่ และ 25% สำหรับพันธุ์แอลเค92-11 และเท่ากับ 0.972, 0.7 ตันต่อไร่ และ 17% สำหรับพันธุ์ขอนแก่น 3 (ภาพที่ 5 a2, b2)





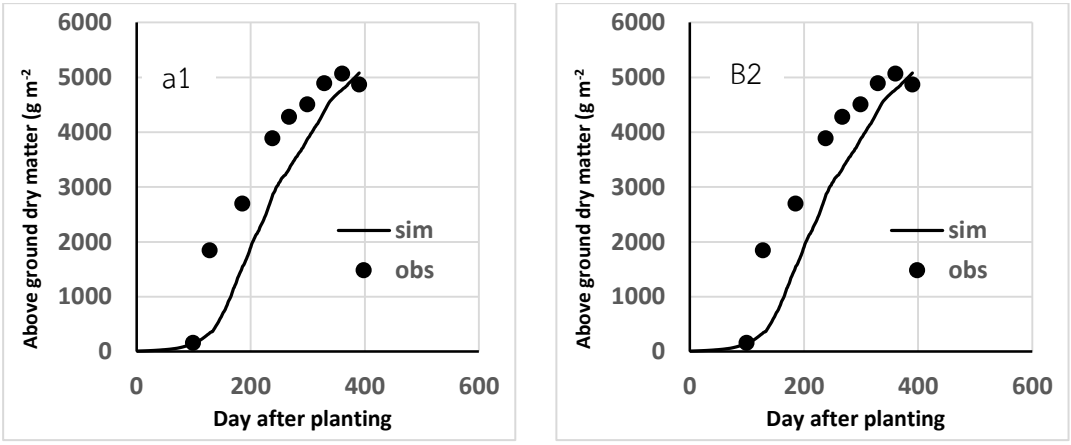


Figure 5 comparison of aboveground dry weight from simulation (SIM) and observation (OBS) for sugarcane cultivar LK92-11 (a) and Khon Kaen 3 (b) under full irrigation (1) and rainfed condition (2)

8.5 การทดสอบสมการอย่างง่ายสำหรับประเมินการเปลี่ยนแปลงของความชื้นดิน

การเปลี่ยนแปลงของความชื้นดิน

การจำลองการเปลี่ยนแปลงของน้ำในดินในแปลงอ้อยโดยสมการแบบเรียบง่าย เมื่อเปรียบเทียบกับค่าที่ได้จากการแปลงทดลอง พบว่ามีประสิทธิภาพดี โดยมีค่า R^2 เท่ากับ 0.632 ค่า RMSE เท่ากับ 0.018 มม/มม และค่า NRMSE เท่ากับ 10.25% (ภาพที่ 6a) ในขณะที่ผลที่ได้จากแบบจำลอง Canegro เปรียบเทียบกับค่าที่ได้จากแปลงทดลองแล้ว พบว่าแบบจำลอง Canegro มีประสิทธิภาพดีกว่าสมการแบบเรียบง่าย โดยมีค่า R^2 เท่ากับ 0.7113 ค่า RMSE และ NRMSE เท่ากับ 0.015 มม/มม และ 8.68% ตามลำดับ (ภาพที่ 6b) ทั้งนี้เนื่องจากแบบจำลอง Canegro มีแบบจำลองสมดุลของน้ำที่สมบูรณ์และซับซ้อน ซึ่งต้องการข้อมูลนำเข้าที่มากกว่าสมการแบบเรียบง่ายด้วย ทำให้ได้ผลการจำลองที่ดีกว่า แต่อย่างไรก็ตามพบว่าทั้งสมการแบบเรียบง่ายและแบบจำลอง Canegro ให้ผลไปในทางเดียวกัน (ภาพที่ 7) ในช่วงที่มีปริมาณน้ำฝนมาก พบว่าค่าที่บันทึกได้จากแปลงทดลองมีค่าสูงกว่าค่าที่จำลองได้ทั้งสอง ทั้งนี้เนื่องจากว่าค่าที่ได้จากการจำลองถูกจำกัดโดยความชื้นดินที่ระดับความจุความชื้นสนาม ดังนั้นความชื้นดินสูงสุดที่ได้จะมีค่าเท่ากับความชื้นดินที่ระดับความจุความชื้นสนาม ในขณะที่ข้อมูลที่บันทึกได้จริงสามารถบันทึกได้สูงกว่า ในสมการแบบเรียบง่ายได้ใช้ค่าคงที่ a และ b ที่มาจากการศึกษาของ เกริก (2552) ซึ่งเป็นการศึกษาในนาข้าวและเป็นช่วงฤดูปลูกที่สั้น ซึ่งมาจากสมมุติฐานว่าการเปลี่ยนแปลงของอุณภูมิและความเร็วลมมีการเปลี่ยนแปลงไม่มากนัก ในขณะที่การปลูกอ้อยมีช่วงการปลูกที่ยาว และมี

ความแตกต่างกันของฤดูกาล การทำงานทดลองเพื่อหาค่าคงที่ (a, b) เฉพาะของแต่ละฤดูกาลอาจจะให้ผลที่แตกต่างและทำให้สมการแบบเรียบง่ายให้ผลการจำลองมีความแม่นยำมากขึ้น

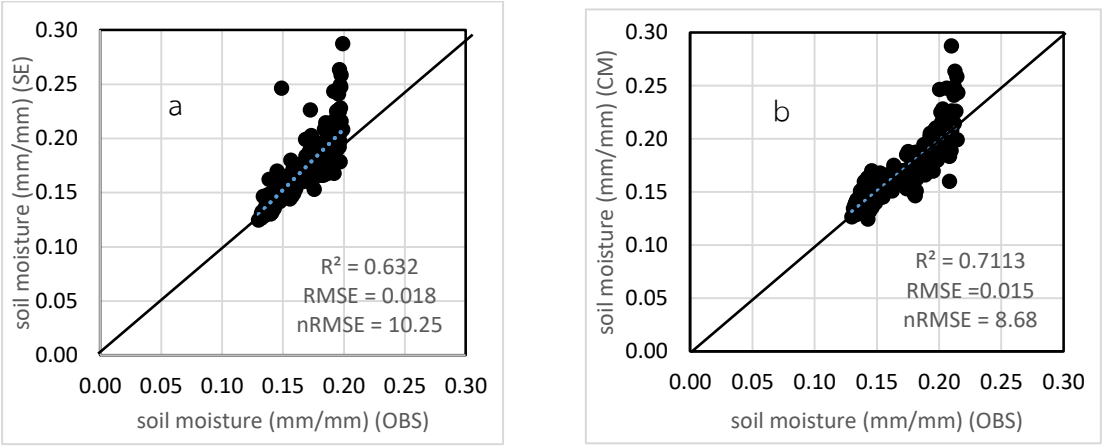


Figure 6 Correlation between soil moisture that estimated by the simple model (SE) and from observed (OBS) (a) and estimated by the Canegro model (CM) and observed (OBS) (b)

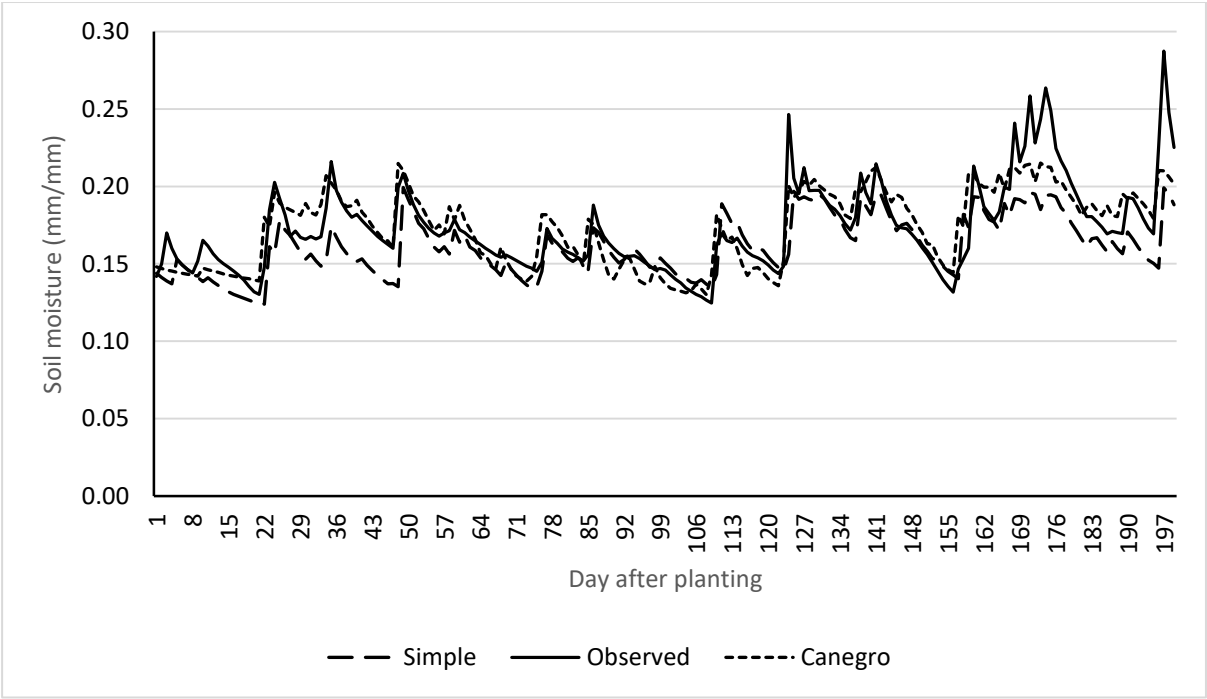


Figure 7 Comparison the change of soil moisture from observed and estimated by two models.

9. สรุปผลการทดลองและข้อเสนอแนะ :

การทดลองนี้ได้ศึกษาเพื่อหาค่าความสัมพันธ์ของการเติบโตของใบและการสะสมน้ำหนักแห้งเพื่อมาสร้างเป็นสมการอย่างง่ายสำหรับการประเมินการเจริญเติบโตของอ้อย ซึ่งพบว่ามีความสัมพันธ์กันสูงสามารถนำมาสร้างเป็นสมการอย่างง่ายได้ อย่างไรก็ตามอ้อยที่ปลูกในสภาพอาศัยน้ำฝนสมการอย่างง่ายยังประเมินการเติบโตของอ้อยได้ไม่แม่นยำ จึงยังมีความจำเป็นที่จะต้องศึกษาหาค่าสัมประสิทธิ์ของการขาดน้ำของอ้อยในแต่ละพันธุ์ เพื่อให้สมการอย่างง่ายสามารถประเมินการเจริญเติบโตของอ้อยที่ปลูกในสภาพอาศัยน้ำฝนได้อย่างแม่นยำ

10. การนำผลงานวิจัยไปใช้ประโยชน์ :

ผลการทดลองนี้สามารถนำไปพัฒนาต่อโดยนักวิชาการ สำหรับนำไปใช้ในการศึกษาการเจริญเติบโตของอ้อย และได้เขียนเป็นบทความวิชาการเพื่อตีพิมพ์ในวารสารวิชาการเกษตร (อยู่ระหว่างการตีพิมพ์)

11. คำขอบคุณ (ถ้ามี) :

อาจมีหรือไม่มีก็ได้ เป็นการแสดงความขอบคุณแก่ผู้ช่วยเหลือให้งานวิจัยลุล่วงไปด้วยดี แต่มิได้เป็นผู้ร่วมปฏิบัติงานด้วย

12. เอกสารอ้างอิง :

กอบเกียรติ ไพศาลเจริญ ทักษิณา ศันสยะวิชัย ศุภกาญจน์ ล้วนมณี ศรีสุดา ทิพยรักษ์ เกษม ชูสอน จินดารัตน์ ชื่นรุ่ง และชยันต์ ภักดีไทย. ความต้องการน้ำและค่าสัมประสิทธิ์การใช้น้ำของอ้อยพันธุ์ขอนแก่น 3. วารสารแก่นเกษตร 40 ฉบับพิเศษ. 3: 103-114.

เกริก ปั้นแหน่งเพ็ชร. 2552. การประเมินการคายระเหยจากข้าวนาสวนอาศัยน้ำฝนโดยสมการแบบเรียบง่าย. วารสารวิจัย มข.. 14(3): 253-263.

สำนักงานคณะกรรมการอ้อยและน้ำตาลทราย. 2551. รายงานพื้นที่ปลูกอ้อย ปีการผลิต 2550/51. กลุ่มวิชาการและสารสนเทศอุตสาหกรรมอ้อยและน้ำตาลทราย สำนักนโยบายอุตสาหกรรมอ้อยและน้ำตาลทราย สำนักงานคณะกรรมการอ้อยและน้ำตาลทราย. 134 หน้า.

สำนักงานคณะกรรมการอ้อยและน้ำตาลทราย. 2558. รายงานพื้นที่ปลูกอ้อย ปีการผลิต 2557/58. กลุ่มวิชาการและสารสนเทศอุตสาหกรรมอ้อยและน้ำตาลทราย สำนักนโยบายอุตสาหกรรมอ้อยและน้ำตาลทราย สำนักงานคณะกรรมการอ้อยและน้ำตาลทราย. 123 หน้า.

Allen, R.G., Pereira, L.S., Raes, D., Smith, M., 1998. Crop Evapotranspiration. Guidelines for Computing Crop Water Requirements (FAO Irrigation and Drainage Paper, No. 56.). FAO, Rome, Italy. 300 p.

Allison J.C.S. and N.W. Pammenter, 2002. Effect of nitrogen supply on the production and distribution of dry matter in sugarcane. South African Journal of Plant and Soil 19: 12–16.

Allison J.C.S., N.W. Pammenter, and R.J. Haslam. 2007. Why dose sugarcane (Saccharum sp. hybrid) grow slowly?.Soulth African Journal of Botany 73: 546-551.

Hoogenboom G., J.W. Jones, P.W. Wikens, C.H. Porter, K.J. Boote, L.A. Hunt, U. Singh, J.L. Lizaso, J.W. White, O. Uryasev, F.S. Royce, R. Ogoshi, A.J. Gijsman, and G.Y. Tsuji. 2011. Decision Support System for Agrotechnology Transfer. Version 4.5 [CD-ROM] University of Hawaii, Honolulu, HI.

Inman-Bamber, N.G., 1994. Temperature and seasonal effects on canopy development and light interception of sugarcane. Field Crops Research 36 : 41-51.

Inman-Bamber N.G., G.D. Bonnett, D.M. Smith, and P.J. Thorburn. 2005. Preface Sugarcane Physiology: Integration from cell to crop to advance sugarcane production. Field Crops Research 92: 115-117.

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.

Keating B.A., M.J. Robertson, R.C. Muchow, and N.I. Huth. 1999. Modeling sugarcane production systems I. Development and performent of the sugarcane module. Field Crops Research 61: 253-271.

Lingle S.E. 1997. Seasonal internode development and sugar metabolism in sugarcane. Crop Science 37: 1222–1227.

Muchow R.C., M.F. Spillman, A.W. Wood, and M.R. Thomas. 1994. Radiation interception and biomass accumulation in a sugarcane crop grown under irrigated tropical conditions. Australians Journal of Agricultural Research 45: 37-49.

Osorio J., J. Jeong, K. Bieger, and J. Arnold. 2014. Influence of Potential Evapotranspiration on the Water Balance of Sugarcane Fields in Maui, Hawaii. Journal of Water Resource and Protection. 6: 852-868.

Pereira F., M. Tursunov, and C. Uvo. 2013. Quantifying the Rapid Sugarcane Expansion for Ethanol Production in the Rio Grande Basin, Brazil. Journal of Water Management and Research. 69: 83-86.

Ritchie J.T., J.R. Kiniry, C.A. Jones, P.T. Dyke. 1986. Model inputs. In: Jones, C.A., Kiniry, J.R. (Eds.), CERES-Maize: A Simulation Model of Maize Growth and Development. TexasA& MUniversity Press, College Station. pp. 37-48

Robertson, M.J., G.D. Bonnett, R.M. Hughes, R.C. Muchow, and J.A. Campbell. 1998. Temperature and leaf area expansion of sugarcane: integration of controlled-environment, field and model studies. Australians Journal of Plant Physiology 25: 819-828.

Sentelhas P.C., T.J. Gillespie, and E.A. Santos. 2010. Evaluation of FAO Penman–Monteith and Alternative Methods for Estimating Reference Evapotranspiration with Missing Data in Southern Ontario, Canada. Agricultural Water Management. 97: 635-644.

Singels A., R.A. Donaldson, and M.A. Smit. 2005. Improving biomass production and partitioning in sugarcane: theory and practice. Field Crops Research 92: 291-303.

Steduto P., T.C. Hsiao, E. Fereres, and D. Raes. 2012. Crop yield response to water. FAO 66 irrigation and drainage paper. Food and agricultural organization to the united nations. Rome. 505 pp.

Widmosor P. 2009. A Discussion on and Alternative to the Penman-Monteith Equation. Agricultural Water Management 96: 711-721.

13. ภาคผนวก :