

## รายงานผลงานเรื่องเต็มการทดลองที่สิ้นสุด

-----

1. ชุดโครงการวิจัย : วิจัยและพัฒนาอ้อย
2. โครงการวิจัย : การวิจัยและพัฒนาการจัดการด้านดิน น้ำ และปุ๋ยอ้อย  
กิจกรรม : ผลกระทบของการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศต่อการเจริญเติบโตและผลผลิตของอ้อยข้ามแล้ง  
กิจกรรมย่อย (ถ้ามี) : -
3. ชื่อการทดลอง (ภาษาไทย) : ศึกษาสภาพแวดล้อมของการผลิตอ้อยที่มีรับผลกระทบจากปัจจัยสภาพแวดล้อมที่จำกัด  
ชื่อการทดลอง (ภาษาอังกฤษ) : Study on Environment of Sugarcane Production Effected by Limiting Factor
4. คณะผู้ดำเนินงาน  
หัวหน้าการทดลอง : ปรีชา กาพันธ์ ศูนย์วิจัยพืชไร่ขอนแก่น  
ผู้ร่วมงาน : แคทลียา เอกอุ่น<sup>1/</sup> บุญญาภา ศรีหาคทา<sup>2/</sup>  
วิภารัตน์ ดำริเข้มตระกูล<sup>3/</sup> ทักษิณา ศันสยะวิชัย<sup>4/</sup>  
กอบเกียรติ ไพศาลเจริญ<sup>4/</sup>

### 5. บทคัดย่อ

ศึกษาสภาพแวดล้อมการผลิตอ้อยในเขตภาคเหนือและภาคตะวันออกเฉียงเหนือ ตั้งแต่ปี 2554-2556 เพื่อแบ่งเขตสภาพแวดล้อมการผลิตอ้อย ความแปรปรวนของผลผลิตที่เกิดจากความแตกต่างของสภาพแวดล้อม และแนวทางการลดความแปรปรวนของผลผลิต และดำเนินการปลูกอ้อยทดลองที่ศูนย์วิจัยพืชไร่ขอนแก่น ในปี 2557-2558 เพื่อทดสอบค่าสัมประสิทธิ์ของพันธุกรรมอ้อย สำหรับใช้กับแบบจำลองพืช 3 ชนิด ได้แก่ Canegro model, Crop DNDC และ Aquacrop model ผลการศึกษาพบว่า สภาพแวดล้อมของการผลิตอ้อยในภาคเหนือและภาคตะวันออกเฉียงเหนือประกอบด้วย 1,079 และ 1,980 สภาพแวดล้อมตามลำดับ ทั้งภาคเหนือและภาคตะวันออกเฉียงเหนือ พบว่าความหลากหลายของสภาพแวดล้อมทำให้ผลผลิตอ้อยมีความแปรปรวนสูงทั้งในเชิงพื้นที่และเชิงเวลา ความแปรปรวนเชิง

พื้นที่ที่เกิดจากแตกต่างของชนิดดินและภูมิอากาศ ส่วนความแปรปรวนเชิงเวลาเกิดจากความแปรปรวนของปริมาณน้ำฝน การแบ่งเป็นเขตการผลิตอ้อยตามความหนาแน่นของพื้นที่ปลูกไม่ทำให้ความแปรปรวนของผลผลิตอ้อยเชิงพื้นที่และเชิงเวลาลดลง เช่นเดียวกันกับการให้น้ำในปริมาณและจำนวนครั้งเท่ากันทุกสภาพแวดล้อม แต่หากให้น้ำโดยวิธีการให้เพียงพอกับความต้องการของแต่ละสภาพแวดล้อมทำให้ความแปรปรวนลดลง บ่งชี้ว่าปฏิสัมพันธ์ของน้ำและชนิดดินเป็นตัวแปรสำคัญที่ทำให้เกิดความแปรปรวนของผลผลิตอ้อย แนวทางการลดความแปรปรวนของผลผลิตอ้อยทำได้โดยการพัฒนาการระบบการให้น้ำให้เพียงพอตลอดฤดูปลูกในแต่ละสภาพแวดล้อม การคัดเลือกหาพันธุ์ทนแล้งหรือมีประสิทธิภาพการใช้น้ำสูงสำหรับการปรับแก้และทดสอบแบบจำลองพืช 3 ชนิด พบว่าทั้งหลังจากปรับแก้ค่าสัมประสิทธิ์พันธุกรรมสำหรับนำเข้าแบบจำลองแล้ว ทั้งแบบจำลอง Canegro และ DNDC ให้ผลการจำลองการเจริญเติบโตของอ้อยได้ใกล้เคียงกับค่าสังเกต เมื่อทดสอบกับแปลงทดลองในสภาพอาศัยน้ำฝนแบบจำลอง DNDC ให้ผลการจำลองดี แต่แบบจำลอง Canegro ให้ผลการจำลองสูงกว่าค่าสังเกต และเมื่อปรับแก้ค่าสัมประสิทธิ์การใช้น้ำในแบบจำลอง Canegro แล้ว พบว่าให้ผลการจำลองดีเช่นกัน

## **Abstract**

Study on the environmental variability of sugarcane planting area in the North and the Northeast of Thailand from 2011-2013 to zoning of the sugarcane production and to find the method to decrease yield variability. The results from the experiment that conducted in 2014-2015 used to optimize crop parameters for the three crop models. After that using the crop model to estimate sugarcane yield in the sugarcane planting area in the North and the Northeast of Thailand. The results showed that sugarcane planting areas in the North and Northeast of Thailand can define to 1079 and 1980 environments, respectively. It was found that diverse environmental aspects, both spatial and temporal factors, greatly affected sugarcane yield. Spatial variables are soil and weather factors while temporal variables are the variations of rainfall. Zoning of sugarcane production areas as well as irrigation would not decrease yield variations in all Zones. However, yield variations decreased by full irrigation in each environment. The results indicated that interactions between water and soil property were the main effects in sugarcane yield variations. To minimize yield variation in sugarcane, it is necessary to improve irrigation and develop drought tolerant varieties with higher water

use efficiency. In the calibration, optimized parameters of both models and got realistic predictions. In the validation, optimizing water demand in DNDC95 gave good results, but DSSAT-Canegro overestimated yields. When optimized water balance specific to sugarcane, DSSAT-Canegro also simulated yields well.

## 6. คำนำ :

ระบบการผลิตพืชเป็นระบบที่อ่อนไหวต่อการเปลี่ยนแปลงของสภาพแวดล้อม โดยเฉพาะอย่างยิ่งการเปลี่ยนแปลงของสภาพภูมิอากาศ ความหลากหลายของสภาพแวดล้อมส่งผลทำให้เกิดความแปรปรวนของผลผลิตอ้อยทั้งในเชิงพื้นที่และเชิงเวลา (ปรีชา และคณะ, 2555) การศึกษาผลกระทบของการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศต่อการผลิตอ้อยในประเทศไทย เกริก และคณะ (2552) พบว่า สภาพภูมิอากาศที่เปลี่ยนแปลงไปจากการใช้ข้อมูลอากาศปี 2010-2100 ที่ได้จากแบบจำลอง ECHAM4-PRECIS พบว่าในการเปลี่ยนแปลงของสภาพภูมิอากาศไม่มีผลกระทบยาวต่อการผลิตอ้อยทั้งประเทศ แต่พบว่าผลผลิตอ้อยมีความแปรปรวนค่อนข้างสูงทั้งเชิงพื้นที่และเชิงเวลา เฉลี่ยประมาณ 23% ซึ่งเกิดขึ้นในพื้นที่ปลูกอ้อยในภาคตะวันออกเฉียงเหนือเป็นส่วนใหญ่ เพื่อลดผลกระทบจากการเปลี่ยนแปลงของสภาพแวดล้อมดังกล่าวจำเป็นต้องศึกษาการจัดการที่เหมาะสมในแต่ละพื้นที่ อย่างไรก็ตามการเปลี่ยนแปลงของสภาพแวดล้อมที่เกิดขึ้นอย่างต่อเนื่องจำเป็นต้องมีเครื่องมือหรือวิธีการที่จะนำมาประเมินผลกระทบดังกล่าวด้วย ซึ่งในปัจจุบันแบบจำลองพืชเป็นที่ได้รับความนิยมจากนักวิจัยทั่วโลก (Jones et al., 2003) และในขณะเดียวกันแบบจำลองสมดุลของน้ำก็ถูกพัฒนามาอย่างต่อเนื่องเช่นกัน (Gassman et al., 2007) เช่นเดียวกับแบบจำลองการเปลี่ยนแปลงของสภาพภูมิอากาศโลก ในปัจจุบันมีหลายๆ แบบจำลองให้ใช้ เช่น แบบจำลอง canegro model ในโปรแกรม DSSAT (Hoogenboom et al., 2004), Aquacrops model (studeto et al., 2009) APSIM ([www.apsim.info](http://www.apsim.info)) ซึ่งหากมีการเตรียมข้อมูลนำเข้าที่ดีและครบถ้วน สามารถนำมาใช้ประเมินผลผลิตที่ควรจะได้ในระดับไร่นาเกษตรกรได้เป็นอย่างดี และสามารถนำมาวิเคราะห์ช่องว่างของผลผลิตได้ (lansigan et al., 1998). ปรีชา และคณะ, (2548) ได้วิเคราะห์ช่องว่างของผลผลิตถั่วลิสงโดยใช้แบบจำลอง CSM-Cropgro Peanut model ในพื้นที่ปลูกอ้อย อ.กุดจับ จ. อุตรดิตถ์ พบว่าแบบจำลองสามารถนำมาใช้เป็นเครื่องมือวิเคราะห์ช่องว่างของผลผลิตอ้อยได้เป็นอย่างดี นอกจากนี้ยังสามารถช่วยประเมินสาเหตุที่ทำให้เกิดช่องว่างของผลผลิตได้ด้วย และแนะนำให้นำไปใช้กับพื้นที่อื่นๆ ด้วย ผลที่ได้จากการวิเคราะห์ช่องว่างของผลผลิต จะแบ่งออกเป็น 2 ส่วนคือ ขนาดของช่องว่างของผลผลิต จะบ่งชี้ถึงโอกาสที่จะยกระดับของผลผลิตในพื้นที่

นั้นๆ และหากทราบสาเหตุของการเกิดช่องว่างของผลผลิตแล้วจะทำให้ทราบถึงวิธีการที่จะยกระดับของผลผลิตได้ (อาร์นันต์, 2535) ที่ผ่านมายังไม่มีการวิเคราะห์ช่องว่างของผลผลิตอ้อย ซึ่งเป็นพืชที่สำคัญทางเศรษฐกิจแต่ยังมีปัญหาผลผลิตต่ำ โดยเฉพาะอย่างยิ่งในพื้นที่ปลูกอ้อยในภาคตะวันออกเฉียงเหนือ

## 7. วิธีดำเนินการ :

งานทดลองนี้ได้แบ่งออกเป็น 2 ส่วน คือ 1) การสร้างสภาพแวดล้อมการผลิตอ้อยและวิเคราะห์ความแปรปรวนของผลผลิตผลิตอ้อยที่เกิดจากความแตกต่างของสภาพแวดล้อม และ 2) การปรับแก้แบบจำลองพืช 3 ชนิด เพื่อนำมาใช้

### 7.1 การสร้างสภาพแวดล้อมการผลิตอ้อยและวิเคราะห์ความแปรปรวนของผลผลิตผลิตอ้อยที่เกิดจากความแตกต่างของสภาพแวดล้อม

สภาพแวดล้อมที่นำมาใช้สำหรับการวิเคราะห์ครั้งนี้คือชนิดดินและสภาพภูมิอากาศ ใช้ข้อมูลแผนที่ชนิดดินที่ได้จากกรมพัฒนาที่ดิน (2543) และใช้ข้อมูลภูมิอากาศรายวัน พ.ศ. 2553-2583 ภายใต้สภาพของการใช้พลังงานของโลก SRES A2 ซึ่งได้จากการประเมินของแบบจำลองภูมิอากาศระดับภูมิภาค (regional climate model GCM) PRECIS (Jones *et.al.*, 2004) ที่มีรายละเอียดเชิงพื้นที่ของการประเมินเท่ากับ 20 x 20 กิโลเมตร การประเมินของแบบจำลอง PRECIS นั้นได้ใช้ข้อมูลของ boundary condition จากแบบจำลองภูมิอากาศระดับโลก (global climate model) ECHAM 4 (Roeckner *et.al.*, 1996) จากสถาบัน SEA START RC จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ตัดแผนที่ดินและแผนที่อากาศด้วยแผนที่ขอบเขตการปกครองของภาคตะวันออกเฉียงเหนือ จากนั้นซ้อนทับแผนที่ดิน กับแผนที่ภูมิอากาศ ผลที่ได้เรียกว่าสภาพแวดล้อมของการผลิตอ้อย (Simulation mapping unit) โดยแต่ละหน่วยของสภาพแวดล้อมนั้นจะมีลักษณะเฉพาะที่ประกอบด้วยแค่ดินเดียวและภูมิอากาศเดียว นำแผนที่สภาพแวดล้อมที่ได้มาซ้อนทับกับข้อมูลพื้นที่ปลูกอ้อยของภาคตะวันออกเฉียงเหนือผลลัพธ์ที่ได้จากขั้นตอนนี้คือสภาพแวดล้อมของพื้นที่ปลูกอ้อยในภาคตะวันออกเฉียงเหนือ

### การจำลองผลผลิตอ้อย

ใช้แบบจำลอง Canegro ที่อยู่ในโปรแกรม DSSAT (Hoogenboom *et. al.*, 2004) ซึ่งข้อมูล input ที่สำคัญได้แก่ 1) ข้อมูลการจัดการ ซึ่งใช้ตามคำแนะนำของกรมวิชาการเกษตร โดยปลูกเป็นแถวใช้ท่อนพันธุ์ อัตราร 5 ต้นต่อตารางเมตร ไม่ขาดปุ๋ยไนโตรเจน ปลูกวันที่ 10 ตุลาคม และเก็บเกี่ยวในวันที่ 15 มกราคม 2) ข้อมูลพันธุ์พืช ใช้อ้อยพันธุ์เค84-200 (ทักษิณา และคณะ, 2550) 3) ข้อมูลสภาพภูมิอากาศ และ 4) ข้อมูลชนิดดิน ซึ่งทั้งสภาพภูมิอากาศและชนิดดิน ใช้ข้อมูลจากสภาพแวดล้อมที่ได้ ขั้นตอนการสร้างสภาพแวดล้อม เมื่อได้ข้อมูล input แล้ว จำลองการผลิตอ้อยแบบอาศัยน้ำฝนทุกๆ หน่วยของสภาพแวดล้อม 30 ปี ตั้งแต่ปี พ.ศ. 2553-2583 เก็บผลผลิตที่ได้จากการจำลอง เพื่อนำไปวิเคราะห์ความแปรปรวน ทั้งในเชิงพื้นที่และเชิงเวลาต่อไป

### การวิเคราะห์ความแปรปรวน

ในการวิเคราะห์ความแปรปรวนของผลผลิต แบ่งออกเป็น 2 ชนิด คือ ความแปรปรวนเชิงพื้นที่ (spatial variation) และความแปรปรวนเชิงเวลา (temporal variation) วิเคราะห์ความแปรปรวนในรูปของค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน (standard deviation) ดังนี้

ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานของผลผลิตเชิงพื้นที่ ที่เกิดขึ้นในปี  $t$  ( $\sigma_t$  spatial variation) คำนวณดังนี้

$$\sigma_t = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (y_{i,t} - y_t^*)^2}{n-1}}, \text{ เมื่อ } y_t^* \text{ ในที่นี้ เป็นผลผลิตเฉลี่ยของผลผลิตในปี } t$$

และค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานของผลผลิตเชิงเวลา ที่เกิดขึ้นระหว่าง พ.ศ. 2553-2583 ( $\sigma_i$  temporal variation) คำนวณดังนี้

$$\sigma_i = \sqrt{\frac{\sum_{t=1}^d (y_{i,t} - y_i)^2}{d-1}}, \text{ เมื่อ } d = 30 \text{ และ } y_i \text{ คือ ค่าเฉลี่ยของ พ.ศ. 2553-2583}$$

### การวิเคราะห์หาสาเหตุของความแปรปรวนเชิงพื้นที่

ความแปรปรวนที่เกิดจากความแตกต่างของพื้นที่ เกิดขึ้นได้ 2 กรณี ได้แก่ ความแปรปรวนของผลผลิตที่เกิดจากความแตกต่างของสภาพภูมิอากาศในแต่ละปี และความแปรปรวนที่เกิดจากความแตกต่างของชนิดดินที่ใช้ปลูก

การหาสาเหตุของความแปรปรวนเชิงพื้นที่ ที่มีสาเหตุมาจากการเปลี่ยนแปลงของสภาพภูมิอากาศ ทำได้โดยการใช้ชนิดดิน 1 ชนิดดิน เป็นตัวแทนนำไปใช้เป็นตัวแปรขับเคลื่อนในการจำลองของแบบจำลองร่วมกับกริดภูมิอากาศที่พบทั้งหมด คำนวณค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานที่เกิดจากความแตกต่างของสภาพภูมิอากาศของแต่ละปี ดังในตารางที่ 1

Table 1 The method of analysis for calculate the standard deviation of spatial variability that affected by variation of weather.

| year         | 2010 | 2011 | 2012 | ..... | 2039 |
|--------------|------|------|------|-------|------|
| Weather grid |      |      |      |       |      |
| no. 1        | S1W1 | S1W1 | S1W1 | ..... | S1W1 |
| no. 2        | S1W2 | S1W2 | S1W2 | ..... | S1W2 |
| no. 3        | S1W3 | S1W3 | S1W3 | ..... | S1W3 |

|       |      |      |      |       |      |
|-------|------|------|------|-------|------|
| no. n | S1Wn | S1Wn | S1Wn | ..... | S1Wn |
| SD    | Sd1  | Sd2  | Sd3  | ..... | Sd30 |

When :

S is the soil type which is the most growing area (found in sugarcane cultivation area)

Weather grid is grid that was found in sugarcane cultivation area in Northeast of Thailand since 2010 – 2039

S1W1, S1W2, S1W3,..... S1Wn is simulation mapping unit that using for input to crop model and

Sd1, sd2, sd3, .....,sd39 is the standard deviation that cause from variation of weather in each grid since 2010 – 2039

จากนั้นคำนวณหาค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานเฉลี่ยตามสมการ

$$\overline{SD} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n SD_i , \text{ เมื่อ } n= 30$$

ในการทำงานเดียวกัน การวิเคราะห์หาสาเหตุของความแปรปรวนเชิงพื้นที่ ที่มีสาเหตุมาจากการเปลี่ยนแปลงของชนิดดิน ทำได้โดยการใช้ชนิดสภาพภูมิอากาศจาก 1 กริด เป็นตัวแทน นำไปใช้เป็นตัวแปรขับเคลื่อนสำหรับการจำลองของแบบจำลอง ร่วมกับชนิดดินที่พบทั้งหมด เมื่อหาค่าเฉลี่ยของค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน ที่เกิดจากความแตกต่างของชนิดดินในแต่ละซึ่งแสดงดังตารางที่ 2 แล้ว คำนวณหาค่าเฉลี่ยของค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานเช่นเดียวกับสมการที่ใช้คำนวณหาค่าเฉลี่ยของค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานของสาเหตุที่มาจากการเปลี่ยนแปลงของสภาพภูมิอากาศ

Table 2 The method of analysis for calculate the standard deviation of spatial variability that cause from variation of soil type.

| year      | 2010 | 2011 | 2012 | ..... | 2039 |
|-----------|------|------|------|-------|------|
| Soil type |      |      |      |       |      |
| Soil 1    | S1W1 | S1W1 | S1W1 | ..... | S1W1 |
| Soil 2    | S2W1 | S2W1 | S2W1 | ..... | S2W1 |
| Soil 3    | S3W1 | S3W1 | S3W1 | ..... | S3W1 |

|        |      |      |      |       |      |
|--------|------|------|------|-------|------|
| Soil n | SnW1 | SnW1 | SnW1 | ..... | SnW1 |
| SD     | Sd1  | Sd2  | Sd3  | ..... | Sd30 |

W is weather grid represent 1 grid that has the most growing area in sugarcane production.

Soil type is all types in sugarcane growing area in Northeast of Thailand.

S1W1, S1W2, S1W3,..... S1Wn is simulation mapping unit that using for input to crop model and

Sd1, sd2, sd3, .....,sd39 is the standard deviation that cause from the variation of soil type since 2010 – 2039

#### การวิเคราะห์สาเหตุของความแปรปรวนเชิงเวลา

ส่วนความแปรปรวนของผลผลิตเชิงเวลาจะมีสาเหตุจากความแปรปรวนของสภาพภูมิอากาศ ซึ่งข้อมูลสภาพภูมิอากาศที่นำมาใช้เป็นตัวแปรสำหรับแบบจำลองนั้น มีอยู่ด้วยกัน 3 ตัว ได้แก่ ความเข้มแสง อุณหภูมิ และปริมาณน้ำฝน ดังนั้น การวิเคราะห์สาเหตุของความแปรปรวนของผลผลิต ที่เกิดจากความแปรปรวนของสภาพภูมิอากาศ ทำได้โดยการเปลี่ยนค่าพารามิเตอร์ของภูมิอากาศ ได้แก่ น้ำฝน อุณหภูมิสูงสุด-ต่ำสุด และแสง โดยให้ปี 2010 เป็นปีฐานในการจำลองการเจริญเติบโต โดยแบ่งสาเหตุของความแปรปรวนของผลผลิตเชิงเวลาได้เป็น 6 แหล่งที่มา ได้แก่

1) สาเหตุจากความแปรปรวนของความเข้มแสงรายวัน ใช้ข้อมูลปริมาณน้ำฝนรายวันและอุณหภูมิรายวันของปี 2010 เท่านั้น ส่วนข้อมูลความเข้มแสงรายวันใช้ข้อมูล พ.ศ. 2553-2583

2) สาเหตุจากความแปรปรวนของอุณหภูมิรายวัน ใช้ข้อมูลความเข้มแสงรายวันและปริมาณน้ำฝนรายวันของปี 2010 เท่านั้น ส่วนข้อมูลอุณหภูมिरายวันใช้ข้อมูล พ.ศ. 2553-2583 3) สาเหตุจากความแปรปรวนของปริมาณน้ำฝนรายวัน ใช้ข้อมูลความเข้มแสงรายวันและอุณหภูมिरายวันของปี 2010 เท่านั้น ส่วนข้อมูลปริมาณน้ำฝนรายวันใช้ข้อมูล พ.ศ. 2553-2583

4) สาเหตุจากความแปรปรวนของความเข้มแสงรายวันและอุณหภูมिरายวัน ใช้ข้อมูลปริมาณน้ำฝนรายวันของปี 2010 เท่านั้น ส่วนข้อมูลความเข้มแสงรายวันและอุณหภูมिरายวันใช้ข้อมูล พ.ศ. 2553-2583

5) สาเหตุจากความแปรปรวนของความเข้มแสงรายวันและปริมาณน้ำฝนรายวัน ใช้ข้อมูลอุณหภูมिरายวันของปี 2010 เท่านั้น ส่วนข้อมูลความเข้มแสงรายวันและปริมาณน้ำฝนรายวันใช้ข้อมูล พ.ศ. 2553-2583

6) สาเหตุจากความแปรปรวนของอุณหภูมิรายวันและปริมาณน้ำฝนรายวัน ใช้ข้อมูลความเข้มแสงรายวันของปี 2010 เท่านั้น แต่ข้อมูลอุณหภูมิรายวันและปริมาณน้ำฝนรายวันใช้ข้อมูล พ.ศ. 2553-2583

### **การวิเคราะห์แนวทางการลดความแปรปรวนเชิงพื้นที่**

#### **การแบ่งเขตการผลิต**

ใช้หลักการแบ่งตามความหนาแน่นของพื้นที่ปลูก โดยการซ้อนทับข้อมูลพื้นที่ปลูกอ้อยกับข้อมูลสภาพภูมิอากาศแบบกริดขนาด 20x20 ตารางกิโลเมตร จากนั้น หาความหนาแน่นของพื้นที่ปลูกอ้อยต่อกริด และตัดเอาพื้นที่ที่มีความหนาแน่นน้อยต่อกริดออก จนเห็นเป็นเขตการผลิตชัดเจน แล้วจำลองผลผลิตอ้อยในแต่ละเขตการผลิต และวิเคราะห์หาความแปรปรวนของผลผลิตในแต่ละเขต

#### **การให้น้ำเสริมแก้อ้อย**

จำลองการให้น้ำแก้อ้อย ตามความต้องการของแต่ละสภาพแวดล้อม โดยจะให้น้ำเมื่อแต่ละสภาพแวดล้อมมีปริมาณน้ำที่เป็นประโยชน์ในดินลดลงเหลือ 50% ของความจุน้ำที่เป็นประโยชน์ จะมีการให้น้ำเพิ่มเป็น 100%

## **7.2 การปรับแก้และทดสอบแบบจำลองพืช**

### **สิ่งที่ใช้ในการทดลอง**

- 7.2.1 แบบจำลองพืช 3 ชนิด ได้แก่ canegro model, AquaCrop model และ Crop DNDC
- 7.2.2 อุปกรณ์สำหรับการตรวจวัดปริมาณน้ำฝนกึ่งอัตโนมัติ
- 7.2.3 อ้อยพันธุ์ขอนแก่น 3
- 7.2.4 ปุ๋ยเคมีสูตร 15-15-15
- 7.2.5 อุปกรณ์สำหรับการให้น้ำอ้อย
- 7.2.6 อุปกรณ์สำหรับเก็บความชื้นดิน ชนิด Profile probe (PR2)
- 7.2.7 อุปกรณ์สำหรับเก็บและบันทึกข้อมูลผลผลิตและองค์ประกอบของผลผลิตอ้อย

วางแผนการทดลองแบบ Randomize Complete Block Design จำนวน 4 ซ้ำ กรรมวิธีมีการให้น้ำ 3 กรรมวิธี ได้แก่ ให้น้ำที่ระดับ 12.5, 25 และ 50% AWC

### **การปลูกอ้อยทดสอบ**

ทำการศึกษาในพื้นที่ที่มีความแตกต่างกันของชนิดดินและปริมาณน้ำฝน จำนวน 4 แปลง ได้แก่ พื้นที่ปลูกอ้อยในเขตจังหวัดเลย ขอนแก่น กาฬสินธุ์ และมุกดาหาร ทั้ง 4 แปลง ดำเนินการเหมือนกัน ได้แก่ ปลูกอ้อยพันธุ์ขอนแก่น 3 โดยใช้ท่อนพันธุ์ขนาด 2 ตา ต่อท่อน จำนวน 2 ท่อนต่อหลุม ขนาดแปลงย่อย 32.4 x 55 เมตร ระยะปลูกระหว่างหลุม 50 เซนติเมตร และระหว่างแถว 120 เซนติเมตร ใส่ปุ๋ยรองพื้นอัตรา สูตร 15-15-15 อัตรา 50 กิโลกรัมต่อไร่ ในช่วง 45 วันหลังออก ให้น้ำทุกกรรมวิธีให้มีความชื้นดินประมาณ 50% AWC หลังจากนั้นให้น้ำตามกรรมวิธี เก็บเกี่ยวผลผลิตอ้อยที่อายุ 12 เดือน ในแต่ละ



กรรมวิธีฝังท่อวัดความชื้นดิน เพื่อเก็บความชื้นดิน ก่อนปลูกเก็บตัวอย่างดินวิเคราะห์คุณสมบัติทางกายภาพและเคมีดิน

การเก็บตัวอย่างดินตามลักษณะโปรไฟล์ของดินเพื่อหาคุณสมบัติทางกายภาพ เก็บเขตการผลิตละ 1 หลุมตัวอย่าง โดย

- 1) ขุดหลุมขนาดกว้าง 1 เมตร ยาว 1.5 เมตร และลึกประมาณ 1.5 เมตร
- 2) จำแนกชั้นดินโดยอาศัยการสังเกตจากสี หรือเนื้อดิน บันทึกความหนาและสีของแต่ละชั้น
- 3) แต่ละชั้น ใช้กระป๋องเก็บตัวอย่างดินบริเวณกลางของแต่ละชั้น จำนวน 4 กระป๋องต่อ 1 ชั้น

3.1) กระป๋องที่ 1 วิเคราะห์หาค่า Bulk density และ Soil Moisture

3.2) กระป๋องที่ 2 3 และ 4 วิเคราะห์หาค่า

- Water retention ที่ 3 ระดับคือ ที่จุดอิ่มตัวของดิน ที่จุดความจุความชื้นสนาม และที่จุดเหี่ยวถาวรของพืช

- hydraulic conductivity

- % sand silt and clay

- Soil series name

และเก็บตัวอย่างดินเพื่อหาคุณสมบัติทางเคมีโดยใช้สว่านสุ่มเก็บตัวอย่างดินให้ทั่วแปลงปลูก แยกตามชั้นดินที่จำแนกได้ในข้อ 2 นำมารวมกันให้ได้ประมาณ 1 กิโลกรัม ต่อ 1 ตัวอย่าง เก็บไว้ในถังแช่เย็น แล้วนำมาวิเคราะห์คุณสมบัติทางเคมี ดังนี้

1.1 เปอร์เซนต์ Organic carbon

1.2 ปฏิกิริยาดิน

1.3 ค่า CEC

1.4 ปริมาณไนโตรเจน ในรูปของ  $\text{NH}_4^+$  และ  $\text{NO}_3^-$

1.5 ปริมาณฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์

1.6 ปริมาณโพแทสเซียมที่เป็นประโยชน์

1.7 Soil texture

### การจำลองการเจริญเติบโตของอ้อยโดยแบบจำลองพืช

ใช้แบบจำลองอ้อย 3 ชนิด ได้แก่ canegro model, AquaCrop model และ Crop DNDC จำลองการผลิตอ้อย โดยใช้วันปลูกและการจัดการต่างๆ เช่นเดียวกับการปลูกอ้อยทดสอบ ใช้ข้อมูลดินจากการเก็บตัวอย่าง และข้อมูลสภาพภูมิอากาศจากสถานีตรวจวัดสภาพภูมิอากาศของกรมอุตุนิยมวิทยาที่อยู่ใกล้เคียง และใช้ค่าปริมาณน้ำฝนจากอุปกรณ์ตรวจวัดและบันทึกปริมาณน้ำฝนกึ่งอัตโนมัติที่ติดตั้งใน

แปลงทดลอง จำลองการใช้น้ำของอ้อยตามสมการของ Penman-monteith ให้แบบจำลองแสดงผล การเจริญเติบโต ผลผลิต และความชื้นดินทุกๆ 15 วัน

### การวิเคราะห์ผล

ทดสอบความถูกต้องของแบบจำลองอ้อยในการประมาณการเติบโต ผลผลิต และความชื้นดินโดยหาความสัมพันธ์ระหว่างผลที่ได้จากการเก็บตัวอย่างกับที่ได้จากแบบจำลองการเจริญเติบโตของอ้อยวิเคราะห์และเปรียบเทียบความสอดคล้องของผลการจำลอง ( $S_i$ ) กับค่าจริงที่ได้จากการเก็บข้อมูลภาคสนาม ( $O_i$ ) ในแต่ละแปลง โดยเปรียบเทียบกับกราฟ 1:1 line การวิเคราะห์สมการ linear regression โดยใช้ค่า  $R^2$  ค่า intercept และค่า slope รวมการประเมินจากค่า RMSE (Root mean square error) และค่า agreement index ตามสูตร

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

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

การปรับแก้ข้อมูล เพื่อให้การจำลองได้ผลใกล้เคียงกับผลการทดลองจริงมากขึ้น ในแบบจำลอง AquaCrop และ Crop DNDC โดยการปรับค่าสัมประสิทธิ์ความต้องการน้ำของอ้อย ( $K_c$ ) และระยะเวลาของแต่ละระยะพัฒนาการของอ้อย การพัฒนาการของราก ส่วนในแบบจำลอง Canegro เลือกใช้สมการการคายระเหยน้ำของอ้อยที่มีอยู่ โดยการปรับค่าและเลือกใช้สมการให้ผลการทดสอบใกล้เคียงกับผลการทดลองจริงมากที่สุด

### การบันทึกข้อมูล

คุณสมบัติทางกายภาพของดิน

ความชื้นดินทุกๆ 15 วัน

ผลผลิตอ้อยที่อายุ 3, 6, 9 และ 12 เดือน

## 8. ผลการทดลองและวิจารณ์

### 8.1 สภาพแวดล้อมการผลิตอ้อยและความแปรปรวน

พื้นที่ปลูกอ้อยภาคตะวันออกเฉียงเหนือมีพื้นที่ปลูกในปี 2552/53 ประมาณ 2.6 ล้านไร่ (ภาพที่ 1 เมื่อซ้อนทับกับข้อมูลกลุ่มชุดดินและสภาพภูมิอากาศแล้ว พบว่าประกอบด้วย 1,980 สภาพแวดล้อม ประกอบด้วย 36 กลุ่มชุดดิน และ 263 ภูมิอากาศ จากการจำลองผลผลิตอ้อยในปี 2553-2583 พบว่า ผลผลิตอ้อยมีค่าเฉลี่ย 17.6 ตันต่อไร่ ความแปรปรวนของผลผลิตเชิงพื้นที่มีค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน เท่ากับ 3.3 ตันต่อไร่ ความแปรปรวนของผลผลิตเชิงเวลา มีค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานเท่ากับ 1.8 ตันต่อไร่ (ภาพที่ 2) ความแปรปรวนเชิงพื้นที่ดังกล่าว เมื่อ

นำไปวิเคราะห์ในรายละเอียด พบว่าความแตกต่างของชนิดดินทำให้มีค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานของผลผลิตเท่ากับ 3.8 ตันต่อไร่ และความแตกต่างของสภาพภูมิอากาศทำให้มีค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานของผลผลิตเท่ากับ 2.1 ตันต่อไร่

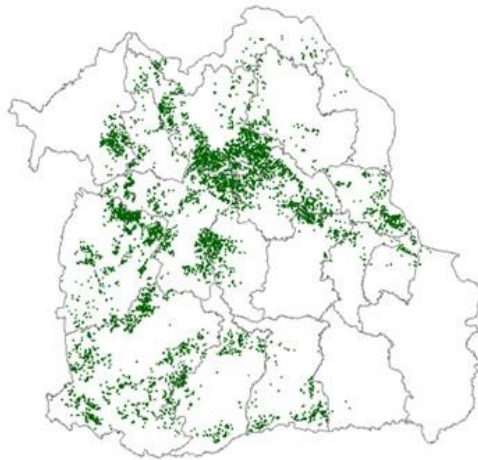


Figure 1 Sugarcane planting areas in the Northeast of Thailand in the production year 2011/2012

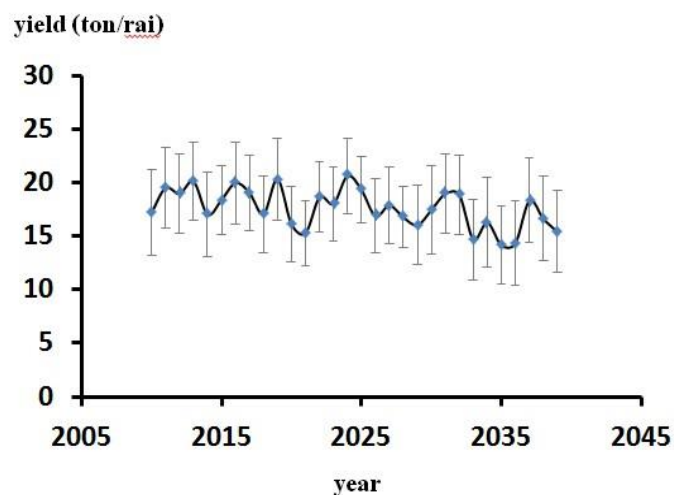


Figure 2 Average yields and standard deviation that estimated by crop model from 2010-2039 in the Northeast of Thailand

### พื้นที่ปลูกอ้อยภาคเหนือ

พื้นที่ปลูกอ้อยภาคเหนือมีพื้นที่ปลูกในปี 2552/53 ประมาณ 1.4 ล้านไร่ (ภาพที่ 3) เมื่อซ้อนทับกับแผนที่กลุ่มชุดดินและสภาพภูมิอากาศแล้ว พบว่าประกอบด้วย 1,079 สภาพแวดล้อม ประกอบด้วย 37 กลุ่มชุดดิน และ 125 กริดภูมิอากาศ จากการจำลองผลผลิตอ้อยในปี 2553-2583 พบว่าผลผลิตอ้อยมีค่าเฉลี่ย 13.5 ตันต่อไร่ มีค่าความแปรปรวนของผลผลิตเชิงพื้นที่มีค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานเท่ากับ 2.5 ตันต่อไร่ และมีค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานของความแปรปรวนของผลผลิตเชิงเวลา เท่ากับ 4.2 ตันต่อไร่ (ภาพที่ 4) ความแปรปรวนเชิงพื้นที่ดังกล่าว เมื่อ

นำไปวิเคราะห์ในรายละเอียด พบว่าความแตกต่างของชนิดดินทำให้ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานของผลผลิตมีค่าเท่ากับ 2.8 ตันต่อไร่ ความแตกต่างของสภาพภูมิอากาศทำให้มีค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานของผลผลิตเท่ากับ 20 ตันต่อไร่

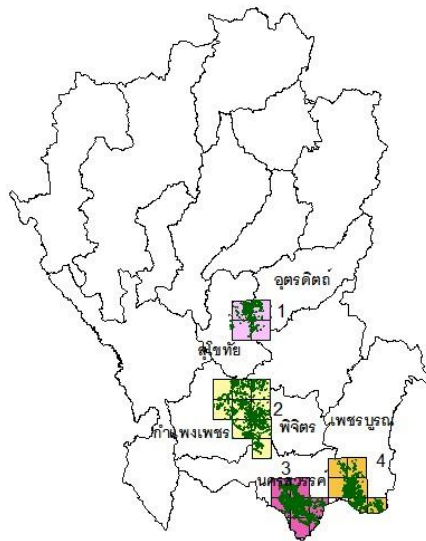


Figure 3 Sugarcane planting areas in the North of Thailand in the production year 2011/2012

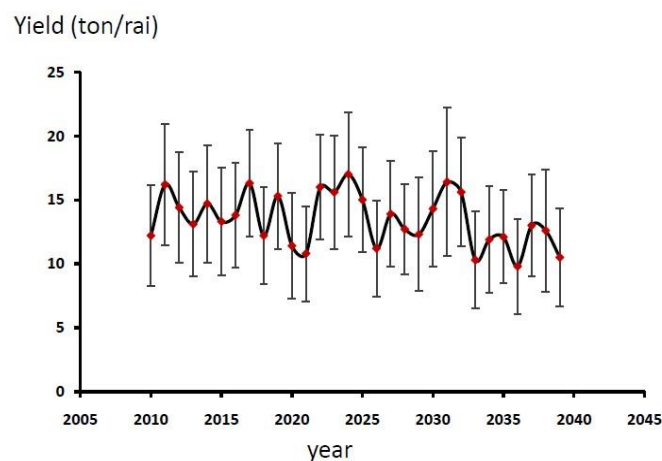


Figure 4 Average yields and standard deviation that estimated by crop model from 2010-2039 in the North of Thailand

การวิเคราะห์สาเหตุที่มาจากเปลี่ยนแปลงของสภาพภูมิอากาศที่ทำให้เกิดความแปรปรวนเชิงเวลา พบว่า ในภาคตะวันออกเฉียงเหนือ จากการควบคุมความเข้มแสงและปริมาณน้ำฝนให้คงที่ทำให้ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานลดลงเหลือ 0.6 ตันต่อไร่ การควบคุมอุณหภูมิและปริมาณน้ำฝนมีค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานของผลผลิตเท่ากับ 1.2 ตันต่อไร่ และการควบคุมปริมาณน้ำฝนอย่างเดียวมีค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานของผลผลิตเท่ากับ 1.2 ตันต่อไร่ ขณะที่การควบคุมเฉพาะอุณหภูมิ หรือเฉพาะความเข้มแสง หรือควบคุมอุณหภูมิกับความเข้มแสงให้คงที่ ทำให้มีค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานของผลผลิตเท่ากับ 2.2, 2.6 และ 2.4 ตันต่อไร่ตามลำดับ สอดคล้องกันกับพื้นที่ปลูกในภาคเหนือที่พบว่า การควบคุมปริมาณน้ำฝนให้คงที่ได้ จะทำให้ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานของผลผลิตลดลง (ตารางที่ 3)

จากการวิเคราะห์ถึงสาเหตุของความแปรปรวนเชิงเวลาพบว่าปัจจัยที่เกี่ยวข้องกับน้ำทำให้ผลผลิตอ้อยมีความแปรปรวนมากที่สุด

Table 3 Standard deviation of sugarcane yield that affected by temporal variability

| Source of variation  | SD of sugarcane yield (ton rai <sup>-1</sup> ) (Northeast) | SD of sugarcane yield (ton rai <sup>-1</sup> ) (North) |
|--|--|--|
| Changing daily solar radiation, daily temperature and daily rainfall | 1.8  | 2.4  |
| Changing only daily solar radiation                                  | 1.2  | 0.7  |
| Changing only daily temperature                                      | 0.6  | 0.4  |
| Changing only daily rainfall   | 2.4  | 2.2  |
| Changing daily solar radiation and daily temperature                 | 1.2  | 0.9  |
| Changing daily solar radiation and rainfall                          | 2.2  | 2.3  |
| Changing daily temperature and daily rainfall                        | 2.6  | 2.5  |

## แนวทางการลดความแปรปรวนเชิงพื้นที่

### การแบ่งเขตการผลิต

การแบ่งเขตการผลิตตามหลักการความหนาแน่นของพื้นที่ จากการตัดพื้นที่ที่มีความหนาแน่นน้อยกว่า 7% ออก ทำให้เหลือพื้นที่ศึกษาประมาณ 60% ของพื้นที่ปลูกทั้งหมด สามารถแบ่งพื้นที่ปลูกอ้อยในภาคตะวันออกเฉียงเหนือได้เป็น 15 เขต ภาคเหนือ 4 เขต ตามภาพที่ 5-6 เมื่อจำลองการผลิตอ้อยในแต่ละเขตการผลิตและวิเคราะห์ความแปรปรวนของผลผลิตแล้ว พบว่าในแต่ละเขตของทั้งสองภาคยังมีความแปรปรวนของผลผลิตสูง ดังตารางที่ 4-5

### การให้น้ำ

จากการจำลองการให้น้ำแก่อ้อย พบว่าในพื้นที่ปลูกภาคตะวันออกเฉียงเหนือ การให้น้ำโดยวิธีการให้จำนวนครั้งและปริมาณเท่ากันทุกพื้นที่ไม่ทำให้ความแปรปรวนเชิงพื้นที่ลดลง โดยมีความแปรปรวนของผลผลิตเท่ากับ 24.4% แต่เมื่อมีการให้น้ำตามความต้องการของแต่ละสภาพแวดล้อมแล้วพบว่าความแปรปรวนของผลผลิตลดลงเหลือ 1.4% สอดคล้องกับพื้นที่ปลูกภาคเหนือ เมื่อให้น้ำปริมาณและจำนวนเท่ากันทุกสภาพแวดล้อม

มีค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานของผลผลิตเชิงพื้นที่ เท่ากับ 2.3 ตันต่อไร่ แต่เมื่อให้น้ำตามความต้องการอย่างเพียงพอของแต่ละสภาพแวดล้อม ทำให้ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานลดลงเหลือ 1.3 ตันต่อไร่

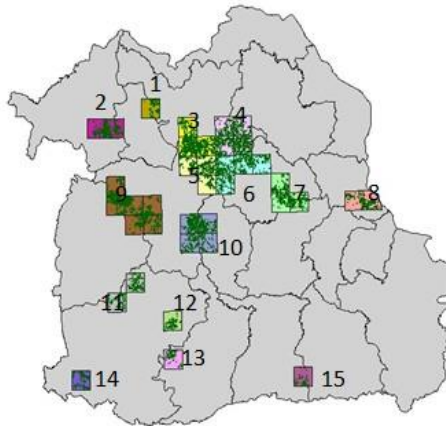


Figure 5 Zoning of sugarcane production area in the Northeast of Thailand

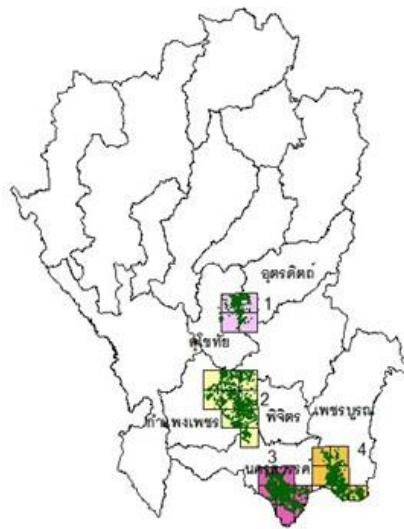


Figure 6 Zoning of sugarcane production area in the North of Thailand

Table 4 Average of yield and their temporal and spatial variability in each zone in the Northeast of Thailand

| Zone                 | 1    | 2    | 3    | 4    | 5    | 6    | 7    | 8    | 9    | 10   | 11   | 12   | 13   | 14   | 15   |
|----------------------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|
| Yield (ton/rai)      | 16.1 | 17.2 | 15.8 | 15.6 | 16.1 | 16.7 | 17.3 | 17.4 | 17.2 | 17.8 | 17.8 | 18.7 | 19.6 | 14.5 | 21.0 |
| Spatial SD (ton/rai) | 3.0  | 3.8  | 3.0  | 3.1  | 2.5  | 2.5  | 2.8  | 2.8  | 3.2  | 1.9  | 4.3  | 3.6  | 3.7  | 4.0  | 1.6  |
| Temporal SD          | 2.6  | 2.3  | 2.3  | 2.4  | 2.3  | 2.3  | 2.1  | 2.0  | 2.5  | 2.1  | 2.3  | 2.3  | 2.2  | 2.6  | 1.8  |

(ton/rai)

Table 5 Average of yield and their temporal and spatial variability in each zone in the North of Thailand

| Zone                  | 1    | 2    | 3    | 4    |
|-----------------------|------|------|------|------|
| Yield (ton/rai)       | 11.9 | 13.7 | 13.5 | 13.2 |
| Spatial SD ((ton/rai) | 4.3  | 4.7  | 3.3  | 3.7  |
| Temporal SD (ton/rai) | 2.4  | 2.6  | 2.5  | 2.5  |

## 8.2 การปรับแก้และทดสอบแบบจำลองอ้อย

ผลปรับค่าสัมประสิทธิ์พันธุกรรมของอ้อย 3 พันธุ์ ได้แก่ ขอนแก่น 3 แอลเค92-11 และ 02-2-058 ให้ใช้ร่วมกับแบบจำลอง CANEGRO Model และ Crop-DNDC ค่าสัมประสิทธิ์สำหรับนำเข้าแบบจำลองทั้งสองชนิดแสดงในตารางที่ 6-7 และผลการทดสอบค่าสัมประสิทธิ์เมื่อนำไปจำลองการเจริญเติบโตของอ้อยแสดงในภาพที่ 7 จากค่าสถิติที่ใช้ประเมินประสิทธิภาพของแบบจำลองพืช พบว่าทั้งแบบจำลอง canegro และ DNDC มีค่า RMSE เท่ากับ 2.6-4.8 ตันต่อไร่ แสดงให้เห็นว่าทั้งสองแบบจำลองสามารถประเมินการเจริญเติบโตและผลผลิตของอ้อยได้ดี

Table 6 Crop parameters of three cultivars of sugarcane used in CANEGRO model

| Name     | Cultivars |         |          |
|----------|-----------|---------|----------|
|          | KK3       | LK92-11 | 02-2-058 |
| PARCEmax | 10.54     | 9.58    | 10.90    |
| APFMX    | 0.907     | 0.902   | 0.900    |
| STKPFMAX | 0.843     | 0.671   | 0.770    |
| SUCA     | 0.626     | 0.589   | 0.580    |
| TBFT     | 25        | 25      | 25       |
| Tthalfo  | 250       | 250     | 250      |
| TBase    | 16        | 16      | 16       |
| LFMAX    | 13        | 13      | 13       |
| MXLFAREA | 602.7     | 512.0   | 560.0    |
| MXLFARNO | 17        | 16      | 16       |

|              |       |       |       |
|--------------|-------|-------|-------|
| PI1          | 71.1  | 103.6 | 110.5 |
| PI2          | 199.0 | 190.5 | 194.1 |
| PSWITCH      | 13.35 | 15.25 | 16.52 |
| TTPLNTEM     | 428   | 428   | 428   |
| TTRATNEM     | 203   | 203   | 203   |
| CHUPIBASE    | 1050  | 1050  | 1050  |
| TT_POPGROWTH | 460.8 | 424.2 | 411.2 |
| MAX_POP      | 30.11 | 35.01 | 41.80 |
| POPTT16      | 13.17 | 12.95 | 11.61 |
| LG_AMBASE    | 220   | 220   | 220   |

Table 7 Crop parameters of three cultivars of sugarcane used in Crop-DNDC model

| Name  | Cultivars    |              |              |
|---|--------------|--------------|--------------|
|   | KK3          | LK92-11      | 02-2-058     |
| <b>Maximum biomass production kgC/ha/yr</b> | <b>284.0</b> | <b>264.8</b> | <b>265.6</b> |
| Grain fraction                              | 0.01         | 0.01         | 0.01         |
| Leaf fraction                               | 0.2          | 0.2          | 0.2          |
| <b>Biomass fraction to stalk</b>            | <b>0.75</b>  | <b>0.72</b>  | <b>0.70</b>  |
| Root fraction                               | 0.1          | 0.1          | 0.1          |
| Grain CN                                    | 150          | 150          | 150          |
| Leaf CN                                     | 130          | 130          | 130          |
| Stem CN                                     | 130          | 130          | 130          |
| Root CN                                     | 150          | 150          | 150          |
| <b>Water demand g water/g DM</b>            | <b>500</b>   | <b>400</b>   | <b>500</b>   |
| <b>Optimum temperature degree C</b>         | <b>32</b>    | <b>32</b>    | <b>32</b>    |
| <b>Thermal degree day for maturity</b>      | <b>12000</b> | <b>12000</b> | <b>12000</b> |
| N-fixation                                  | 1            | 1            | 1            |
| Vascularity                                 | 0            | 0            | 0            |
| Perennial                                   | 0            | 0            | 0            |



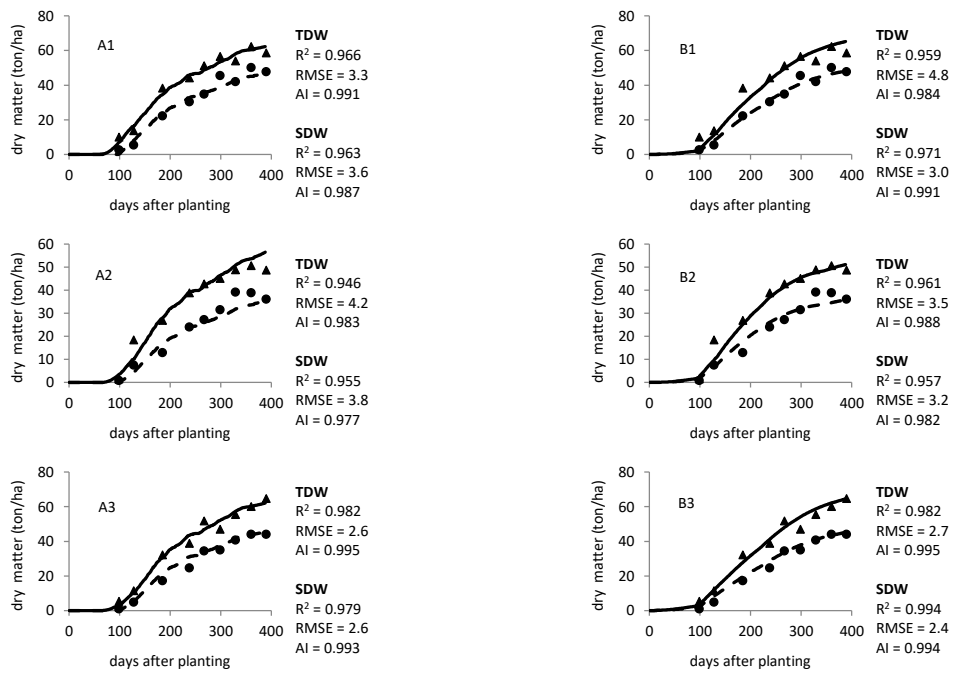


Figure 7 Comparison between observed values and simulated for aboveground dry weight (TDW: — ) and stalk dry weight (SDW: ----) from the CANEGRO model (A) and Crop-DNDC model (B) simulated under full irrigation of sugarcane cultivar Khon Kaen 3 (1), LK92-11 (2), and 02-2-058

## 9. รูปผลการทดลองและข้อเสนอแนะ :

การศึกษาสภาพแวดล้อมของการผลิตอ้อย ทำให้ทราบถึงข้อจำกัดของพื้นที่ทั้งชนิดดินและสภาพภูมิอากาศ ทำให้สามารถนำไปหาเทคโนโลยีการผลิตเฉพาะพื้นที่ได้ ในการทดลองนี้ได้ศึกษาในพื้นที่ปลูกอ้อยในภาคตะวันออกเฉียงเหนือ และภาคเหนือ ซึ่งยังมีพื้นที่ปลูกของภาคกลาง และภาคตะวันออกที่ยังไม่ได้ศึกษา จึงควรมีการศึกษาเพื่อเป็นฐานข้อมูลที่ใช้สำหรับการทำงานของนักวิชาการต่อไป ในขณะเดียวกัน การใช้แบบจำลองมาประยุกต์ใช้ทำงานวิจัยยังมีงานวิจัยทางด้านนี้น้อยมาก ในปัจจุบันมีหลายๆ แบบจำลองที่สามารถนำมาใช้ได้ แต่แบบจำลองต่างๆ ดังกล่าว มีความจำเป็นต้องมีการปรับแก้ข้อมูลนำเข้าให้สามารถนำมาใช้ได้กับพื้นที่นั้นๆ จึงควรมีการศึกษาเพิ่มเติมเพื่อหาแบบจำลองที่เหมาะสมสำหรับนำมาประยุกต์ใช้กับงานวิจัยอ้อยได้

## 10. การนำผลงานวิจัยไปใช้ประโยชน์ :

นักวิชาการเกษตรนำไปประยุกต์ใช้สำหรับการหาเทคโนโลยีที่เหมาะสมตามศักยภาพของพื้นที่ ซึ่งการทดลองนี้ได้นำไปเขียนเป็นบทความวิชาการตีพิมพ์ 2 เรื่อง ดังนี้

ปรีชา กาเพชร ทักษิณาศันสยะวิชัย และกอบเกียรติ ไพศาลเจริญ. 2557. ผลกระทบของความหลากหลายของสภาพแวดล้อมต่อการผลิตอ้อยในภาคเหนือ และภาคตะวันออกเฉียงเหนือของประเทศไทย. วารสารวิชาการเกษตร. 32: 2-15.

Kapetch P., Sakai K., Pisanjaroen K., Sansayawichai T., Cho T., Nakamura S., and Nakandakari T. (2015): Calibration and Validation of Two Crop Models for Estimating Sugarcane Yield in Northeast Thailand, *Tropical Agriculture and Development* (in print)

11. คำขอบคุณ (ถ้ามี) :

12. เอกสารอ้างอิง :

กรมพัฒนาที่ดิน. 2543. ระบบฐานข้อมูลกลุ่มชุดดิน Soil View version 2.0 (ซีดีรอม). ฝ่ายระบบสารสนเทศวิชาการ ศูนย์เทคโนโลยีสารสนเทศ กรมพัฒนาที่ดิน กระทรวงเกษตรและสหกรณ์. เกริก ปั่นแห่งเพชร วินัย ศรวัด สมชาย บุญประดับ สุกิจ รัตนศรีวงษ์ สหัสชัย คงทน สมปอง นิลพันธ์ ชิณนุชา บุคดาบุญ กิ่งแก้ว คุณเขต อิศระ พุทธสิมมา ปรีชา กาเพชร แคทลียา เอกอุ่น และ วิภารัตน์ ดำริเข้มตระกูล. 2552. ผลกระทบของภาวะโลกร้อนต่อการผลิต ข้าว อ้อย มันสำปะหลัง และข้าวโพดของประเทศไทย. รายงานวิจัยฉบับสมบูรณ์ สำนักงานกองทุนสนับสนุนการวิจัย. 159 หน้า.

สำนักงานคณะกรรมการอ้อยและน้ำตาลทราย. 2554. รายงานพื้นที่ปลูกอ้อยปีการผลิต 2553/54. 176 หน้า.

ทักษิณา ศันสยะวิชัย ปรีชา กาเพชร และวีระพล พลรักดี. 2550. การศึกษาลักษณะทางการเกษตรของอ้อยโคลนดี: ค่าสัมประสิทธิ์พันธุกรรมของอ้อย 7 พันธุ์. ใน รายงานผลงานวิจัย ปี 2549. ศูนย์วิจัยพืชไร่ขอนแก่น สำนักวิจัยและพัฒนาการเกษตรเขตที่ 3 กรมวิชาการเกษตร. หน้า 172-186.

ปรีชา กาเพชร. 2548. การวิเคราะห์ช่องว่างของผลผลิตของถั่วลิสงโดยใช้แบบจำลองการเจริญเติบโตของถั่วลิสง. วิทยานิพนธ์ปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาพืชไร่ บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยขอนแก่น.

ปรีชา กาเพชร และเกริก ปั่นแห่งเพชร. 2555. ผลกระทบของการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศต่อการผลิตอ้อยในภาคตะวันออกเฉียงเหนือของประเทศไทย: พื้นที่ศึกษา จังหวัดกาฬสินธุ์. วารสารแก่นเกษตร 40 (ฉบับพิเศษ 3): 83-91

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.
- Hoogenboom G., J.W. Jones, P.W. Wilkens, C.H. Porter, W.D. Batchelor, L.A. Hunt, K.J. Boote, U. Singh, O. Uryasev, W.T. Bowen, A.J. Gijssman, A. du Toit, J.W. White, and G.Y. Tsuji. 2004. Decision Support System for Agrotechnology Transfer Version 4.0 [CDROM]. University of Hawaii, Honolulu, HI.
- 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.
- Jones, R.G., Noguera, M., Hassell, D.C., Hudson, D., Wilson, S.S., Jenkins, G.J. and Mitchell, J.F.B. 2004. Generating high resolution climate change scenarios using PRECIS, Met Office Hadley Centre, Exeter, UK. 39 pp.
- Lansigan F.P. 1998. Minimum data and information requirements for estimating yield gap in crop production systems. (cited 4 Sep 2004) Available from: URL: <http://www.jsai.or.jp/afita/afita-conf/1998/P06.pdf>.
- Roeckner, E., Arpe, K., Bengtsson, L., Christoph, M., Claussen, M., Dümenil, L., Esch, M., Giorgetta, M., Schlese, U. and Schulzweida, U. 1996. The atmospheric general circulation model ECHAM-4: model description and simulation of present-day climate Max-Planck Institute for Meteorology, Report No.218, Hamburg, Germany. 90 pp.
- 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 of the united nations. Rome. 505 pp.

13.       **ภาคผนวก       :**