ใบรับรองวิทยานิพนธ์

บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต (พืชไร่)

ปริญญา

พืชไร่ | พืชไร่นา

สาขา | **ภาควิชา**

เรื่อง การประเมินการแลกเปลี่ยนก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์และน้ำของอ้อยตอหนึ่ง โดยวิธี Eddy Covariance Technique

Evaluation of Carbon Dioxide and Water Fluxes of the First Ratoon Cane by Eddy Covariance Technique

นามผู้วิจัย นางสาวนงภัทร ไชยชนะ

ได้พิจารณาเห็นชอบโดย

อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก .....

(อาจารย์ทิวา พาโคกทม, Ph.D.)

หัวหน้าภาควิชา .....

(รองศาสตราจารย์นวรัตน์ อุดมประเสริฐ, Ph.D.)

บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์รับรองแล้ว

.....

(รองศาสตราจารย์กัญจนา ธีระกุล, D.Agr.)

คณบดีบัณฑิตวิทยาลัย

วันที่ ..... **เดือน** ..... **พ.ศ.** .....

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

วิทยานิพนธ์

เรื่อง

การประเมินการแลกเปลี่ยนก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์และน้ำของอ้อยตอหนึ่ง โดยวิธี Eddy Covariance Technique

Evaluation of Carbon Dioxide and Water Fluxes of the First Ratoon Cane by Eddy Covariance Technique

โดย

นางสาวนงภัทร ไชยชนะ

เสนอ

บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์
เพื่อความสมบูรณ์แห่งปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต (พืชไร่)
พ.ศ. 2556

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

นงภัทร ไชยชนะ 2556: การประเมินการแลกเปลี่ยนก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์และน้ำของอ้อยตอหนึ่ง โดยวิธี Eddy Covariance Technique ปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต (พืชไร่) สาขาวิชาพืชไร่ ภาควิชาพืชไร่นา อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก: อาจารย์ทิวา พาโคกทม, Ph.D. 105 หน้า

การทดลองครั้งนี้เป็นการประเมินการแลกเปลี่ยนก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ (CO_2) และน้ำของอ้อยตอ 1 ตั้งแต่เดือนมิถุนายน 2553 ถึงเดือนเมษายน 2554 โดยเทคนิค Eddy Covariance ข้อมูลตลอดการทดลอง 11 เดือน พบว่า ค่าการแลกเปลี่ยน CO_2 ระหว่างแปลงอ้อยตอ 1 กับบรรยากาศมีค่าอยู่ระหว่าง -0.5-0.13 $mgCO_2m^{-2}s^{-1}$ โดยมีค่าเป็นลบในตอนกลางวัน แสดงถึงพืชดูดซับ CO_2 กระบวนการสังเคราะห์ด้วยแสง แต่มีค่าเป็นบวกในเวลากลางคืน แสดงถึง CO_2 ถูกปลดปล่อยออกจากแปลงโดยกระบวนการหายใจของพืชและดิน เมื่อเปรียบเทียบปริมาณ CO_2 ที่แปลงอ้อยตอ 1 สามารถดูดซับได้ในแต่ละระยะการเจริญเติบโต พบว่าปริมาณ CO_2 ที่ถูกดูดซับในแต่ละระยะมีค่าที่แตกต่างกัน โดยที่ในระยะงอก ระยะแตกกอ ระยะย่างปล้อง และระยะสุกแก่ แปลงอ้อยสามารถดูดซับ CO_2 ไว้ได้ 63.1, 838.2, 2,448.3 และ 950.8 gCO_2m^{-2} ตามลำดับ ทั้งนี้ปริมาณ CO_2 ที่แปลงอ้อยตอ 1 สามารถดูดซับได้ทั้งหมดตลอดฤดูปลูกมีค่าเท่ากับ 4,300.4 gCO_2m^{-2} และสามารถสรุปได้ว่า ตลอดฤดูปลูกอ้อยตอ 1 เป็นแหล่งดูดซับ CO_2 จากบรรยากาศ ส่วนค่าการแลกเปลี่ยนน้ำระหว่างแปลงอ้อยตอ 1 กับบรรยากาศนั้นมีค่าอยู่ระหว่าง 0.0008-0.0736 $gH_2Om^{-2}s^{-1}$ โดยมีค่าต่ำในเวลากลางคืนและมีค่าสูงขึ้นเรื่อยๆ เมื่อเริ่มมีแสง เมื่อเปรียบเทียบปริมาณน้ำที่แปลงอ้อยตอ 1 ใช้เพื่อการเจริญเติบโตในแต่ละระยะการเจริญเติบโต พบว่าปริมาณน้ำที่ใช้แต่ละระยะมีค่าที่แตกต่างกัน โดยที่ในระยะงอก ระยะแตกกอ ระยะย่างปล้อง และระยะสุกแก่ แปลงอ้อยตอ 1 ใช้น้ำเท่ากับ 57.3, 151.3, 330.6 และ 142.9 mm ตามลำดับ ทั้งนี้ปริมาณน้ำที่แปลงอ้อยตอ 1 ใช้ทั้งหมดตลอดฤดูปลูกมีค่าเท่ากับ 682.1 mm ซึ่งเป็นปริมาณที่เพียงพอต่อการเจริญเติบโตและผลผลิตของอ้อยตอ 1 ทางด้านความสัมพันธ์ระหว่างการแลกเปลี่ยน CO_2 และน้ำของแปลงอ้อยตอ 1 กับปัจจัยทางอุตุนิยมวิทยา ความชื้นสัมพัทธ์ในอากาศ มีความสัมพันธ์กับการแลกเปลี่ยน CO_2 ของแปลงอ้อยตอ 1 กับบรรยากาศมากที่สุด ส่วนปริมาณรังสีสุทธิมีความสัมพันธ์กับการแลกเปลี่ยนน้ำของแปลงอ้อยตอ 1 กับบรรยากาศมากที่สุด

_____ _____ ___/ ___/ ___

ลายมือชื่อนิสิต ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก

Nongpat Chaichana 2013: Evaluation of Carbon Dioxide and Water Fluxes of the First Ratoon Cane by Eddy Covariance Technique. Master of Science (Agronomy), Major Field: Agronomy, Department of Agronomy. Thesis Advisor: Mr Tiwa Pakoktom, Ph.D. 105 pages.

The purpose of this study were to evaluate CO_2 and H_2O fluxes and to know accumulative CO_2 absorption of by Eddy Covariance technique the first ratoon cane from June 2010 to April 2011. From the results, the CO_2 flux was fluctuated from -0.5-0.13 $mgCO_2m^{-2}s^{-1}$. The negative values showed in the day time and it means CO_2 was absorbed by plant via photosynthesis. On the other hand the positive values means CO_2 was emitted by plant and soil respiration in night time. Different of CO_2 flux was observed in each growing stage. And CO_2 absorption in germination stage, tillering stage, stalk elongation stage and maturity stage was 63.1, 838.2, 2,448.3 and 950.8 gCO_2m^{-2}, respectively. Totally CO_2 absorbance which is 4,300.4 gCO_2m^{-2} of the first ratoon cane was found. From the results can concluded the first ratoon cane system is a sink of CO_2. Moreover, the H_2O flux variation ranged from 0.0008-0.0736 $gH_2Om^{-2}s^{-1}$ and H_2O flux was gradually increased from predawn and reach the maximum at noon. H_2O flux each growing stage were difference and water use in germination stage, tillering stage, stalk elongation stage and maturity stage was 57.3, 151.3, 330.6 and 142.9 mm respectively. All season, the water use of the first ratoon cane was 682.1 mm. The correlation between CO_2 and H_2O fluxes and meteorological parameters show that relative humidity has a highest positive correlation with CO_2 flux. In the other hand net radiation has a highest positive correlation with H_2O flux.

_____ _____ ___ / ___ / ___

Student's signature Thesis Advisor's signature

กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบพระคุณอาจารย์ทิวา พาโคกทม อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก ที่ให้ความรู้ อบรมสั่งสอน และให้ความเมตตาแก่ข้าพเจ้าตลอดมา ตลอดจนให้คำแนะนำต่างๆ และตรวจแก้วิทยานิพนธ์จนข้าพเจ้าประสบความสำเร็จ

ขอขอบพระคุณ รองศาสตราจารย์ อำนาจ ชิดไธสง ผู้ทรงคุณวุฒิ อาจารย์ศุภชัย อำคา ผู้แทนบัณฑิต และอาจารย์วีระพันธุ์ สรีดอกจันทร์ กรรมการร่วม ที่ได้กรุณาให้ความรู้ คำแนะนำ และตรวจแก้วิทยานิพนธ์จนสำเร็จลุล่วงได้ด้วยดี

ขอขอบพระคุณ รองศาสตราจารย์ พูนพิภพ เกษมทรัพย์ อาจารย์เจษฎา ภัทรเลอพงษ์ และทีมงานศูนย์ความร่วมมือทางการไทย-ฝรั่งเศส (DORAS center) ผู้ซึ่งให้ความรู้ คำแนะนำ และสนับสนุนด้านเครื่องมือและอุปกรณ์ในการศึกษาครั้งนี้

ขอบพระคุณ คุณแม่ คุณพ่อ คุณน้า ซึ่งให้การอบรมสั่งสอน และให้โอกาสในการศึกษาแก่ข้าพเจ้าตลอดมา ขอบคุณพี่สาวและน้องชาย ที่คอยสนับสนุนและเป็นกำลังใจให้ข้าพเจ้ามาโดยตลอด ขอบคุณเพื่อนๆ และน้องๆ พืชไร่นาทุกคน ที่ได้คอยช่วยเหลือในการเก็บข้อมูล และคอยเป็นกำลังใจด้วยดีตลอด

นงภัทร ไชยชนะ

มกราคม 2556

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

สารบัญ

หน้า

สารบัญ	(1)
สารบัญตาราง	(2)
สารบัญภาพ	(3)
คำนำ	1
วัตถุประสงค์	3
การตรวจเอกสาร	4
อุปกรณ์และวิธีการ	23
อุปกรณ์	23
วิธีการ	25
ผลและวิจารณ์ผลการทดลอง	33
สรุปผลการทดลอง	65
เอกสารและสิ่งอ้างอิง	66
ภาคผนวก	75

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

สารบัญตาราง

ตารางที่		หน้า
1	ปริมาณคาร์บอนไดออกไซด์ที่ดูดซับไว้โดยแปลงอ้อย และการใช้น้ำของอ้อยตอ 1 รายเดือน ตั้งแต่วันที่ 9 มิถุนายน 2553 – 30 เมษายน 2554	56
2	ประสิทธิภาพการตรึง CO_2 (tCO_2/tyield) ของแปลงอ้อยตอ 1 ระหว่างวันที่ 9 มิถุนายน 2553 – 30 เมษายน 2554	57
3	ประสิทธิภาพการใช้น้ำ (tH_2O/tyield) ของแปลงอ้อยตอ 1 ระหว่างวันที่ 9 มิถุนายน 2553 – 30 เมษายน 2554	58
4	ความสัมพันธ์ระหว่างการแลกเปลี่ยน CO_2 ของอ้อยตอ 1 กับปัจจัยทางอุตุนิยมวิทยา	59
5	ความสัมพันธ์ระหว่างการแลกเปลี่ยน CO_2 ของอ้อยตอ 1 ปัจจัยทางอุตุนิยมวิทยาในแต่ละระยะการเจริญเติบโต	60
6	ความสัมพันธ์ระหว่างการใช้น้ำของอ้อยตอ 1 กับปัจจัยทางอุตุนิยมวิทยา	61
7	ความสัมพันธ์ระหว่างการใช้น้ำของอ้อยตอ 1 กับปัจจัยทางอุตุนิยมวิทยาในแต่ละระยะการเจริญเติบโต	62
8	ความสัมพันธ์ระหว่างการแลกเปลี่ยน CO_2 กับปัจจัยทางอุตุนิยมวิทยา ในแต่ละฤดูกาล	63
9	ความสัมพันธ์ระหว่างการใช้น้ำกับปัจจัยทางอุตุนิยมวิทยา ในแต่ละฤดูกาล	64

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

สารบัญตาราง (ต่อ)

ตารางผนวกที่		หน้า
1	ปริมาณรังสีดวงอาทิตย์ (solar radiation : Rs) ปริมาณรังสีสุทธิ (net radiation : Rn) ปริมาณแสงที่พืชสามารถใช้ในการสังเคราะห์แสงได้ (PAR) อุณหภูมิเฉลี่ย (Ta) ปริมาณความชื้นสัมพัทธ์ในอากาศ (RH) ปริมาณน้ำฝน (total rain) ในแปลงทดลองระหว่างวันที่ 9 มิถุนายน 2553 – 30 เมษายน 2554	76
2	ปริมาณคาร์บอนไดออกไซด์ที่ดูดซับไว้โดยแปลงอ้อย และการใช้น้ำรายวัน ตลอดฤดูปลูกอ้อยตอ 1 ตั้งแต่วันที่ 9 มิถุนายน 2553 – 30 เมษายน 2554	91

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

สารบัญภาพ

ภาพที่		หน้า
1	วัฏจักรคาร์บอน (carbon cycle)	10
2	วัฏจักรน้ำ (water cycle)	13
3	วิธีการเก็บก๊าซจากแปลงนาโดยใช้ถังครอบ (close chamber)	18
4	แผนภาพความคิดแสดงการเคลื่อนที่แนวระนาบของอากาศในระบบนิเวศซึ่งมีการไหลวน (eddy) ของอากาศ	21
5	แผนที่และตำแหน่งที่ติดตั้งหอคอยตรวจวัด (tower)	25
6	การติดตั้งอุปกรณ์เก็บข้อมูลความเข้มข้นคาร์บอนไดออกไซด์และน้ำ เครื่องวัดความเร็วลมใน แนวตั้ง และชุดเครื่องมือวัดสารประกอบทางอุตุนิยมวิทยา	27
7	อุปกรณ์วัดความเข้มข้นของคาร์บอนไดออกไซด์และน้ำ (CO_2/H_2O analyzer) และเครื่องวัดความเร็วลมในแนวตั้ง (sonic anemometer)	29
8	ปริมาณรังสีดวงอาทิตย์ (solar radiation) ($MJm^{-2}d^{-1}$) ระหว่างวันที่ 9 มิถุนายน 2553 - 30 เมษายน 2554	33
9	ปริมาณรังสีสุทธิ (net radiation) ($MJm^{-2}d^{-1}$) ระหว่างวันที่ 9 มิถุนายน 2553 - 30 เมษายน 2554	34
10	ปริมาณแสงที่พืชสามารถใช้ในการสังเคราะห์แสงได้ (PAR) ($\mu mol\ m^{-2}s^{-1}$) ตั้งแต่วันที่ 9 มิถุนายน 2553 - 30 เมษายน 2554	35
11	อุณหภูมิเฉลี่ยของอากาศ (°C) ระหว่างวันที่ 9 มิถุนายน 2553 - 30 เมษายน 2554	36
12	ความชื้นสัมพัทธ์ของอากาศ (%) ระหว่างวันที่ 9 มิถุนายน 2553 - 30 เมษายน 2554	37
13	ความเร็ว (m/s) และทิศทางลม ระหว่างวันที่ 9 มิถุนายน 2553 - 30 พฤศจิกายน 2553	38

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

สารบัญภาพ (ต่อ)

ภาพที่		หน้า
14	ความเร็ว (m/s) และทิศทางลม ระหว่างวันที่ 1 ธันวาคม 2553 - 30 เมษายน 2554	39
15	ปริมาณน้ำฝนรายวัน (mm) ระหว่างวันที่ 9 มิถุนายน 2553 - 30 เมษายน 2554	40
16	ปริมาณความชื้นในดิน (%V/V) ที่ความลึก 15 และ 45 cm ระหว่างวันที่ 9 มิถุนายน 2553 - 30 เมษายน 2554	41
17	ความสูงอ้อยตอ 1	42
18	เส้นผ่านศูนย์กลางลำ (cm)	43
19	ดัชนีพื้นที่ใบและพื้นที่ใบ (cm^2)	44
20	น้ำหนักสดและน้ำหนักแห้งลำต้น (kg/rai)	45
21	น้ำหนักสดและน้ำหนักแห้ง ใบ (g/rai)	46
22	ค่าบริกซ์ (%) ของอ้อยตอ 1 ที่อายุ 5-10 เดือน (เดือนธันวาคม 2553 - เมษายน 2554)	47
23	การแลกเปลี่ยนก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ในรอบวัน ($mgCO_2m^{-2}s^{-1}$) ตั้งแต่วันที่ 9 มิถุนายน 2553 - 30 เมษายน 2554	48
24	การแลกเปลี่ยนก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ ($mgCO_2m^{-2}s^{-1}$) ตลอดฤดูปลูกอ้อยตอ 1 ตั้งแต่วันที่ 9 มิถุนายน 2553 - 30 เมษายน 2554	49
25	การแลกเปลี่ยนก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ ($mgCO_2m^{-2}s^{-1}$) ในรอบวันของแต่ละระยะการเจริญเติบโตตลอดฤดูปลูกอ้อยตอ 1 ตั้งแต่วันที่ 9 มิถุนายน 2553 - 30 เมษายน 2554	50
26	ปริมาณก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ ($gCO_2m^{-2}d^{-1}$) ที่ถูกดูดซับโดยแปลงอ้อยตอ 1 ตลอดฤดูปลูกตั้งแต่วันที่ 9 มิถุนายน 2553 - 30 เมษายน 2554	51

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

สารบัญภาพ (ต่อ)

ภาพที่		หน้า
27	การแลกเปลี่ยนน้ำในรอบวัน ($gH_2Om^{-2}s^{-1}$) ตั้งแต่วันที่ 9 มิถุนายน 2553 - 30 เมษายน 2554	52
28	การแลกเปลี่ยนน้ำ ($gH_2Om^{-2}s^{-1}$) ตลอดฤดูปลูกอ้อยตอ 1 ตั้งแต่วันที่ 9 มิถุนายน 2553 - 30 เมษายน 2554	53
29	การแลกเปลี่ยนน้ำ ($gH_2Om^{-2}s^{-1}$) ในรอบวันของแต่ละระยะการเจริญเติบโตตลอดฤดูปลูกอ้อยตอ 1 ตั้งแต่วันที่ 9 มิถุนายน 2553 - 30 เมษายน 2554	54
30	การใช้น้ำ (mmd^{-1}) ของอ้อยตอ 1 ตั้งแต่วันที่ 9 มิถุนายน 2553 - 30 เมษายน 2554	55

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

การประเมินการแลกเปลี่ยนก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์และน้ำของอ้อยตอหนึ่ง โดยวิธี Eddy Covariance Technique

Evaluation of Carbon Dioxide and Water Fluxes of the First Ratoon Cane by Eddy Covariance Technique

คำนำ

ปัญหาที่เกิดจากปริมาณก๊าซเรือนกระจก (greenhouse effect) เพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็ว และมีอัตราการเพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่อง มีผลทำให้อุณหภูมิของบรรยากาศโลกสูงขึ้น เกิดปรากฏการณ์ที่เรียกว่า ภาวะโลกร้อน (global warming) ซึ่งก่อให้เกิดการเปลี่ยนแปลงภูมิอากาศ (climate change) ก๊าซเรือนกระจกที่สำคัญได้แก่ คาร์บอนไดออกไซด์ (CO_2) มีเทน (CH_4) ไนตรัสออกไซด์ (N_2O) และกลุ่มสารฮาโลคาร์บอนต่างๆ แหล่งที่มาของก๊าซเรือนกระจกที่สำคัญเหล่านี้มาจากธรรมชาติ และกิจกรรมต่างๆ ของมนุษย์ (IPCC, 2007) ผลกระทบจากการเปลี่ยนแปลงภูมิอากาศนั้นส่งผลกระทบต่อการเกษตรทั้งกระทบต่อการเจริญเติบโต การสร้างผลผลิต และการใช้น้ำของพืช (Pingintha *et al.,* 2010) การแลกเปลี่ยน CO_2 ระหว่างระบบนิเวศวิทยาและบรรยากาศเป็นปัจจัยที่สำคัญอย่างหนึ่งที่มีผลต่อความเข้มข้นของ CO_2 ในบรรยากาศ ดังนั้นจึงมีการศึกษาการแลกเปลี่ยน CO_2 อย่างต่อเนื่องเป็นเวลานานได้กระทำแล้วในหลายระบบนิเวศวิทยา โดยเฉพาะอย่างยิ่งในระบบนิเวศที่เป็นป่าไม้ (Carrara *et al*., 2003) ในอีกทางหนึ่งได้มีการศึกษาการแลกเปลี่ยน CO_2 ในระบบนิเวศที่ไม่ใช่ป่าไม้ เช่น ทุ่งหญ้า พื้นที่ชุ่มน้ำ และพื้นที่การเกษตร เพราะพื้นที่ดังกล่าวกระจายอยู่ทั่วโลก และมีอิทธิพลต่อสมดุลของ CO_2 ไม่น้อยกว่าพื้นที่ป่าไม้ (Saito *et al*., 2005; Tsai *et al*., 2006)

อ้อยเป็นพืชเศรษฐกิจหลักของประเทศไทย ใช้เป็นวัตถุดิบในการผลิตน้ำตาลทราย และอุตสาหกรรมต่อเนื่องอื่นๆ ปัจจุบันพื้นที่ปลูกอ้อยในประเทศไทยมีประมาณ 8.9 ล้านไร่ เป็นพื้นที่อ้อยปลูกใหม่ประมาณ 6 เปอร์เซ็นต์ ดังนั้นพื้นที่ปลูกอ้อยในประเทศไทยเป็นพื้นที่อ้อยตอ ประมาณ 8.4 ล้านไร่ ซึ่งประเทศไทยประสบปัญหาในการผลิตอ้อย เนื่องจากพื้นที่ปลูกอ้อยส่วนใหญ่อยู่นอกเขตชลประทาน ทำให้ผลผลิตเฉลี่ยทั้งประเทศน้อย (สำนักงานคณะกรรมการอ้อยและน้ำตาลทราย, 2555) ปัจจัยหลักที่ทำให้ปริมาณผลผลิตอ้อยต่ำมีหลายประการได้แก่ ปัจจัยด้านสิ่งแวดล้อม เช่น ปริมาณน้ำฝน แสง อุณหภูมิ และปัจจัยที่เกี่ยวกับพืชเอง เช่น ลักษณะทางพันธุกรรม ปัจจัยเหล่านี้มีอิทธิพลต่อผลผลิตอ้อยทั้งสิ้น (นฤนาท, 2546) โดยเฉพาะปริมาณน้ำฝน หรือปริมาณน้ำที่ให้แก่พืช ซึ่งมี

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ความสำคัญต่อกระบวนการสังเคราะห์แสง ที่เป็นกระบวนการสร้างอาหาร และผลผลิตน้ำตาลภายในลำต้นอ้อย (จันทร์สว่าง, 2547)

ดังนั้นงานวิจัยนี้มุ่งเน้นที่จะศึกษาการเปลี่ยนแปลง CO_2 และน้ำของอ้อยตอ 1 ตลอดฤดูปลูก โดยการประยุกต์ใช้วิธี Eddy Covariance และทำให้ทราบถึงความสามารถในการดูดซับ CO_2 และความต้องการการใช้น้ำของอ้อยตอ 1 ซึ่งเป็นพื้นที่การปลูกอ้อยส่วนใหญ่ของเกษตรกรไทย

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

วัตถุประสงค์

1. เพื่อทราบการแลกเปลี่ยนก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ (CO_2 flux) ของอ้อยตอ 1 โดยใช้ Eddy Covariance technique

2. เพื่อทราบปริมาณการใช้น้ำ (Water Use) ของอ้อยตอ 1 โดยใช้ Eddy Covariance technique

3. เพื่อทราบความสัมพันธ์ระหว่างการแลกเปลี่ยนก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ (CO_2 flux) ปริมาณการใช้น้ำ (Water Use) ของอ้อยตอ 1 กับปัจจัยทางอุตุนิยมวิทยา

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

การตรวจเอกสาร

การศึกษาการแลกเปลี่ยน CO_2 และการใช้น้ำของพืช เป็นหัวข้อที่สนใจเป็นอย่างยิ่งในทศวรรษนี้ โดยเฉพาะอย่างยิ่งในระบบนิเวศวิทยาป่าไม้ ในอีกทางหนึ่งได้มีการศึกษาการแลกเปลี่ยน CO_2 ในระบบนิเวศที่ไม่ใช่ป่าไม้ เช่น ทุ่งหญ้า พื้นที่ชุ่มน้ำ และพื้นที่การเกษตร เพราะพื้นที่ดังกล่าวกระจายอยู่ทั่วโลก และมีอิทธิพลต่อสมดุลของ CO_2 ไม่น้อยกว่าพื้นที่ป่าไม้ ดังนั้นการศึกษาการแลกเปลี่ยน CO_2 และน้ำในครั้งนี้ ได้ศึกษาในอ้อย ซึ่งพืชเศรษฐกิจที่สำคัญของประเทศไทยและมีพื้นที่ปลูกทั่วประเทศถึง 8.46 ล้านไร่ กระจายอยู่ตามภาคต่างๆ ของประเทศ

อ้อย

ในอดีตประชากรทั้งโลกได้บริโภคผลิตภัณฑ์จากอ้อยในรูป น้ำตาลหรือน้ำอ้อย แต่ปัจจุบันนี้อ้อยเป็นวัตถุดิบของอุตสาหกรรมอ้อยและน้ำตาลที่มีความสำคัญต่อระบบเศรษฐกิจของประเทศ ตามการรายงานของกรมวิชาการเกษตร (2547) คือ

1. มีการบริโภคน้ำตาลในประเทศปีละประมาณ 1.6-1.7 ล้านตัน คิดเป็นมูลค่าประมาณ 17,000-19,000 ล้านบาท

2. มีการส่งออกน้ำตาลจำหน่ายในตลาดโลกปีละกว่า 3 ล้านตัน นำรายได้เข้าประเทศประมาณ 20,000-30,000 ล้านบาทต่อปี ทำให้ประเทศไทยมีสถานภาพเป็นผู้ส่งออกน้ำตาลใหญ่เป็นอันดับ 3 ของโลก รองจาก บราซิล และสหภาพยุโรป แต่บางปีจะเป็นอันดับ 4 รองจากออสเตรเลีย โดยมีสัดส่วนตลาดร้อยละ 9.5 ของโลก มีตลาดสำคัญ คือ อินโดนีเซีย ญี่ปุ่น และเกาหลีใต้

3. เกษตรกรผู้ปลูกอ้อยมีรายได้จากการจำหน่ายอ้อยทั้งหมด ประมาณ 30,000 ล้านบาท คิดเป็นร้อยละ 4 ของรายได้ภาคเกษตรทั้งหมด

4. เป็นตลาดแรงงานใหญ่มีผู้เกี่ยวข้องทั้งด้านแรงงานตัดอ้อยและแรงงานในโรงงานน้ำตาล ในช่วงฤดูตัดอ้อยประมาณปลายเดือนพฤศจิกายน ถึงต้นเดือนเมษายน มีการจ้างแรงงานไม่ต่ำกว่า 1 ล้านคน ทั้งนี้ยังไม่รวมถึงแรงงานในการบรรทุกและขนส่งอ้อย

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

สถานการณ์การผลิตอ้อยของไทย

อุตสาหกรรมการผลิตน้ำตาลทรายจากอ้อยของประเทศไทยได้รับการพัฒนาจนกลายเป็นอุตสาหกรรมเกษตรขนาดใหญ่มีมูลค่าประมาณ 2 แสนล้านบาท ทำรายได้ให้แก่ประเทศประมาณปีละ 1 แสนล้านบาท (กรกัญญาและวิรัชญา, 2555) มีผู้เกี่ยวข้องในส่วนของเกษตรกร แรงงานในภาคการผลิตอ้อยและโรงงานน้ำตาลกว่า 1 ล้านคน นับได้ว่าเป็นอุตสาหกรรมที่มีความสำคัญต่อเศรษฐกิจของไทย (เจษฎา, 2552)

จากสถิติของสำนักงานสถิติการเกษตร (2555) รายงานว่าพื้นที่ปลูกอ้อยของประเทศไทยมีอยู่ทุกภาค ยกเว้นภาคใต้ ข้อมูลจากสำนักงานเศรษฐกิจการเกษตรรายงานว่าในปีการผลิต 2553/2554 มีพื้นที่ปลูกอ้อย 47 จังหวัด จำนวน 8.46 ล้านไร่ แบ่งเป็นพื้นที่ปลูกอ้อยส่งเข้าโรงงานจำนวน 8.12 ล้านไร่ และปลูกอ้อยทำพันธุ์ 336,286 ไร่ โดยมีพื้นที่เพิ่มขึ้นจากปีการผลิต 2552/2553 จำนวน 1.32 ล้านไร่ หรือร้อยละ 18.59 เนื่องจากราคาอ้อยมีแนวโน้มสูงขึ้นตลอดจนปริมาณน้ำฝนและสภาพภูมิอากาศที่เอื้ออำนวยต่อการผลิตอ้อย

การผลิตอ้อยตอ 1

การผลิตอ้อยในประเทศไทยนั้นมีข้อจำกัดเรื่องผลผลิตที่ต่ำ เนื่องจากเกษตรกรส่วนใหญ่ปลูกอ้อยอาศัยน้ำฝน ขาดการจัดการด้านน้ำและปุ๋ย ซึ่งเกษตรกรจะต้องลงทุนมากในการปลูกอ้อยในแต่ละครั้ง วิมลรัตน์ (2528) ได้ประเมินค่าใช้จ่ายเปรียบเทียบระหว่างอ้อยปลูกและอ้อยตอพบว่า อ้อยปลูกนั้นมีค่าใช้จ่ายทั้งหมด 3,006 บาทต่อไร่ (396 บาทต่อตัน) ส่วนอ้อยตอ 1 และอ้อยตอ 2 มีค่าใช้จ่ายทั้งหมด 1,615 และ 1,262 บาทต่อไร่ ตามลำดับ การที่อ้อยปลูกมีค่าใช้จ่ายในการผลิตมากกว่าอ้อยตอนั้น ทั้งนี้เนื่องจากว่าในอ้อยปลูกนั้นจะมีค่าใช้จ่ายในการปลูกและการดูแลรักษาอ้อยในระยะแรกของการเจริญเติบโต

สภาพแวดล้อมที่เหมาะสมกับการปลูกอ้อย

การเจริญเติบโตและคุณภาพของอ้อยที่ดีนั้น ประเสริฐ (2547) ได้สรุปว่าจะต้องอาศัยปัจจัยหลายๆ อย่าง โดยเฉพาะสภาพแวดล้อม โดยสภาพแวดล้อมที่เหมาะสมกับการปลูกอ้อยมีปัจจัยต่างๆ ดังนี้

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

แสง

อ้อยเป็นพืชที่ต้องการแสงแดดมาก ในสภาพที่มีปริมาณแสงแดดและความยาวของช่วงแสงมาก จะทำให้อ้อยเจริญเติบโตได้ดีและให้คุณภาพผลผลิตที่สูง สภาพแวดล้อมในประเทศไทยโดยทั่วไปมีแสงแดดเพียงพอกับความต้องการของอ้อย แต่จะแตกต่างกันบ้างในเรื่องปริมาณเมฆและจำนวนชั่วโมงที่มีแสงแดด

อุณหภูมิ

อุณหภูมิที่เหมาะสมสำหรับการเจริญเติบโตของอ้อยตั้งแต่เริ่มงอกจนถึงอายุประมาณ 7 เดือน เท่ากับ 30-35 องศาเซลเซียส หลังอายุ 7 เดือนอ้อยจะต้องการอุณหภูมิต่ำประมาณ 18-24 องศาเซลเซียส เพื่อการสะสมน้ำตาลและควรมีเวลาอย่างน้อย 4-6 สัปดาห์ การที่อุณหภูมิในช่วงกลางคืนต่ำจะช่วยให้การเคลื่อนย้ายน้ำตาลจากใบสู่ลำต้นได้ดีขึ้นและทำให้การหายใจน้อยลง

ความชื้น

ความชื้นสัมพัทธ์ในอากาศที่สูงจะทำให้ปากใบอ้อยทำงานได้ปกติ ช่วยให้กิจกรรมการสังเคราะห์แสงดำเนินไปได้ด้วยดี และทำให้อ้อยใช้น้ำในดินน้อยลง

ความเร็วลม

ความเร็วลมมีอิทธิพลต่อการถ่ายเทอากาศในแปลงอ้อย อ้อยจะสามารถเจริญเติบโตได้ดีเมื่อมีลมอ่อนๆ พัดผ่าน ส่วนลมที่พัดแรงจะทำให้อ้อยคายน้ำมากขึ้น และสูญเสียน้ำในลำต้นเร็ว หากดินมีน้ำไม่เพียงพอกับความต้องการของอ้อยจะมีผลทำให้ใบอ้อยเหี่ยวได้ และลมที่แรงมากๆ จะทำให้ใบอ้อยฉีกขาดได้

ฝน

ปริมาณน้ำที่อ้อยต้องการตลอดตั้งแต่ปลูกถึงเก็บเกี่ยวไม่น้อยกว่า 1,000 มิลลิเมตร ปริมาณน้ำที่ได้อาจมาจากแหล่งน้ำชลประทานหรือน้ำฝน พื้นที่ปลูกอ้อยของไทยส่วนใหญ่มักอยู่ในเขตอาศัยน้ำฝน ความต้องการน้ำของอ้อยจะมากหรือน้อยแตกต่างกันอยู่กับระยะการเจริญเติบโต พีระศักดิ์

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

และคณะ (2534) รายงานว่า สภาพแวดล้อมที่มีผลต่อการแสดงออกของพันธุ์อ้อย และปัจจัยที่มีต่อผลผลิตมากที่สุดคือปริมาณน้ำฝนและการกระจายตัวของฝน

ดิน

Bhardwaj *et al.* (2011) กล่าวไว้ว่าคุณสมบัติของดินที่เหมาะสมต่อการเจริญเติบโตของพืชนั้นมีสิ่งที่บ่งชี้หลายประการ เช่น ลักษณะดินที่เหมาะสมกับพืชปลูก ความอุดมสมบูรณ์ของดิน โครงสร้างดิน และความสามารถในการอุ้มน้ำ เป็นต้น

อ้อยเป็นพืชที่เจริญเติบโตได้ดีในดินที่มีระดับความเป็นกรดเป็นด่างในช่วง 6.0-7.5 (ประเสริฐ, 2547) มีความสามารถทนดินเค็มได้ในระดับปานกลาง (moderately tolerance) สามารถทนเค็มได้ถึง 5.7 เดซิซีเมนต่อเมตร (Barnes, 1974) แต่ถ้าดินมีความเค็มสูงเกิน 10 เดซิซีเมนต่อเมตร ความเค็มมีผลต่อลักษณะทางสรีรวิทยา ทำให้การเจริญเติบโต องค์ประกอบผลผลิตและคุณภาพความหวานของอ้อยลดลง (ทิวา, 2542)

การเจริญเติบโตของอ้อย

อ้อยเป็นพืชที่แตกกอได้ เมื่องอกตอนแรกจะมีลำต้นเพียงต้นเดียว ต่อมาจะแตกกอเพิ่มจำนวนขึ้น และเจริญเป็นลำต้น ในช่วงต้นๆ นี้ น้ำตาลที่อ้อยสร้างขึ้นจะถูกใช้ไปเพื่อการเจริญเติบโต จนกระทั่งโตเต็มที่ก็เข้าสู่ระยะแก่และสุก เป็นระยะที่สะสมน้ำตาลเพิ่มขึ้น จนกระทั่งน้ำตาลมากพอก็ถึงเวลาเก็บเกี่ยว ทุกระยะของการเจริญเติบโต อ้อยต้องการสภาพแวดล้อมที่ต่างกัน

เกษม และชุลี (2523) ได้แบ่งการเจริญเติบโตของอ้อย แบ่งเป็น 4 ระยะคือ

1. ระยะงอก (germination phase) ระยะนี้เริ่มตั้งแต่ปลูกจนกระทั่งหน่อโผล่พ้นผิวดิน ใช้เวลาประมาณ 2-3 สัปดาห์ ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับปัจจัยหลายอย่าง เช่น พันธุ์ การปฏิบัติต่อท่อนพันธุ์ ความหนาของดินที่กลบ

2. ระยะแตกกอ (tillering phase) ในระยะงอกนั้นแต่ละตาของอ้อยจะงอกขึ้นมาต้นเดียวเท่านั้นและเมื่อเจริญเติบโตพอสมควรก็จะแตกหน่อ เนื่องจากตาที่อยู่ส่วนโคนของลำต้นใต้ดินของหน่อแรกเจริญออกมาเป็นหน่อที่สอง และจากหน่อที่สองเจริญเป็นหน่อชุดที่สาม หรืออาจมีชุด

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ต่อไปอีก ทำให้มีจำนวนหน่อหรือลำต้นเพิ่มขึ้นอีก การแตกหน่อเริ่มเมื่ออ้อยอายุ 45 วันขึ้นไป แต่ระยะที่มีการแตกหน่อมากที่สุดอยู่ที่ 2-4 เดือน หน่อที่แตกออกมาทั้งหมดในระยะแตกกอนี้จะเหลือเพียงประมาณครึ่งหนึ่งเมื่อถึงระยะเวลาเก็บเกี่ยว จำนวนลำต่อกอขณะเก็บเกี่ยวขึ้นอยู่กับจำนวนหน่อในระยะแตกกอนี้

3. ระยะย่างปล้อง (stalk elongation phase) ระยะนี้มีการเพิ่มเส้นผ่านศูนย์กลางและความยาวของปล้องอย่างรวดเร็ว ทำให้อ้อยทั้งลำต้นเจริญเติบโตอย่างรวดเร็ว ซึ่งจะเริ่มเมื่ออ้อยอายุประมาณ 3-4 เดือน จนถึงอายุ 7-8 เดือน หลังจากนั้นการเจริญเติบโตจะลดลงและมีการสะสมของน้ำหนักเพิ่มขึ้น ขนาดและความยาวของแต่ละต้นในระยะนี้มีความสัมพันธ์โดยตรงกับน้ำหนักของแต่ละลำต้น และน้ำหนักแต่ละลำต้นมีผลโดยตรงต่อน้ำหนักของอ้อยทั้งไร่

4. ระยะสุกแก่ (maturity and ripening phase) ระยะแก่ คือระยะที่มีอัตราการเจริญเติบโตช้าลงเมื่อเปรียบเทียบกับระยะเวลาต่างๆ ซึ่งเริ่มตั้งแต่อ้อยอายุประมาณ 8 เดือนขึ้นไป น้ำตาลที่ใบสร้างขึ้นจากการสังเคราะห์แสงก็จะถูกนำไปใช้น้อยลงและมีเหลือเก็บสะสมในลำต้นมากขึ้น ซึ่งเป็นการเริ่มต้นของระยะสุกแก่นั่นเอง การสะสมน้ำตาลจะเริ่มจากส่วนโคนไปหาส่วนปลาย ดังนั้นส่วนโคนจึงหวานก่อน และมีความหวานมากกว่าส่วนปลาย การสะสมน้ำตาลจะมีมากขึ้นโดยลำดับ จนกระทั่งส่วนโคน ส่วนกลาง และส่วนปลายมีความหวานใกล้เคียงกัน เรียกว่า ระยะสุก การเจริญเติบโตและการสะสมน้ำตาลของอ้อยมิได้เกิดขึ้นพร้อมกัน ในขณะที่มีการเจริญเติบโตอย่างรวดเร็วนั้น น้ำตาลที่ใบสร้างขึ้นส่วนใหญ่จะถูกใช้ไปเพื่อการเจริญเติบโต จึงเหลือเก็บสะสมไว้ภายในลำต้นเพียงส่วนน้อย เมื่อการเจริญเติบโตช้าลง การสะสมน้ำตาลจึงมากขึ้น

นอกจากนี้ยังสามารถแบ่งระยะการเจริญเติบโตโดยใช้อายุของอ้อยเป็นเกณฑ์ ซึ่งสามารถแบ่งระยะการเจริญเติบโตออกเป็น 4 ระยะได้แก่ germination and emergence, tillering and carnopy establishment, grand growth และ maturation หรือ ripening โดยแต่ละระยะจะมีช่วงเวลาประมาณ 1, 2, 7 และ 2 เดือนตามลำดับ (Wiedenfeld, 2000)

ภาวะเรือนกระจก

ภาวะเรือนกระจก (greenhouse effect) คือ ภาวะที่ชั้นบรรยากาศของโลกมีลักษณะเสมือนกระจก ที่ยอมให้รังสีคลื่นสั้นผ่านลงมายังผิวโลกได้ แต่จะดูดกลืนรังสีคลื่นยาวช่วงอินฟราเรดที่แผ่ออกจากพื้นผิวโลกเอาไว้ จากนั้นก็จะคายพลังงานความร้อนให้กระจายอยู่ภายในชั้นบรรยากาศและ

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

พื้นผิวโลก จึงเปรียบเสมือนกระจกที่ปกคลุมผิวโลกให้มีภาวะสมดุลทางอุณหภูมิและเหมาะสมต่อสิ่งมีชีวิตบนผิวโลก แต่ปัจจุบันในบรรยากาศมีก๊าซเรือนกระจกสะสมอยู่มากเกินสมดุล จึงมีอุณหภูมิสูงขึ้นส่งผลกระทบต่อสภาพภูมิอากาศของโลก และสิ่งมีชีวิตพื้นผิวโลกอย่างมาก (กรมอุตุนิยมวิทยา, 2553)

ผลกระทบของการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศโลกต่อการผลิตพืช

ผลกระทบจากความแปรปรวนที่เกิดขึ้นจากการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศ เช่น ความแห้งแล้ง อุณหภูมิอากาศสูงขึ้น ฝนตกมากขึ้น และความเข้มข้นของ CO_2 ในบรรยากาศของโลกเพิ่มขึ้นจากระดับความเข้มข้นประมาณ 280 ppm ในยุคก่อนอุตสาหกรรมเป็น 370 ppm ในปี พ.ศ. 2549 และอาจเพิ่มขึ้นเป็น 570 ppm ในปี พ.ศ. 2593 (Borjigidal *et al*., 2006)

Reddy *et al*. (1995) ได้ศึกษาในฝ้ายเพื่อหาผลจากการเพิ่มขึ้นของ CO_2 และอุณหภูมิต่อการสังเคราะห์แสง การใช้น้ำและการสะสมน้ำหนักแห้งในฝ้าย พบว่าอัตราการสังเคราะห์แสงเพิ่มขึ้นพร้อมกับการเพิ่มขึ้นของความเข้มข้นของ CO_2 และอุณหภูมิ นอกจากนี้ยังพบว่าที่ CO_2 ความเข้มข้นสูงประสิทธิภาพการใช้น้ำเพิ่มขึ้นโดยเพิ่มการสังเคราะห์แสง และทำให้มีการสะสมน้ำหนักแห้งเพิ่มมากขึ้นด้วย

พูนพิภพ (2550) ได้สรุปไว้ว่า อุณหภูมิมีอิทธิพลต่อกระบวนการต่างๆ ของพืชและมีส่วนในการกระตุ้นและชักนำขั้นตอนสำคัญๆ ในการเจริญเติบโตและพัฒนาของพืชตลอดทั้งวงจรชีวิต อุณหภูมิสูงทำให้ผลผลิตของพืชเศรษฐกิจลดลง เนื่องจากอิทธิพลเร่งอัตราการเจริญเติบโตของพืช ทำให้พืชเศรษฐกิจสร้างดอก ผล และเมล็ดเร็วขึ้น จึงมีช่วงระยะเวลาสะสมมวลชีวภาพจากกระบวนการสังเคราะห์ด้วยแสงน้อยลง จึงให้ผลผลิตได้น้อยลง

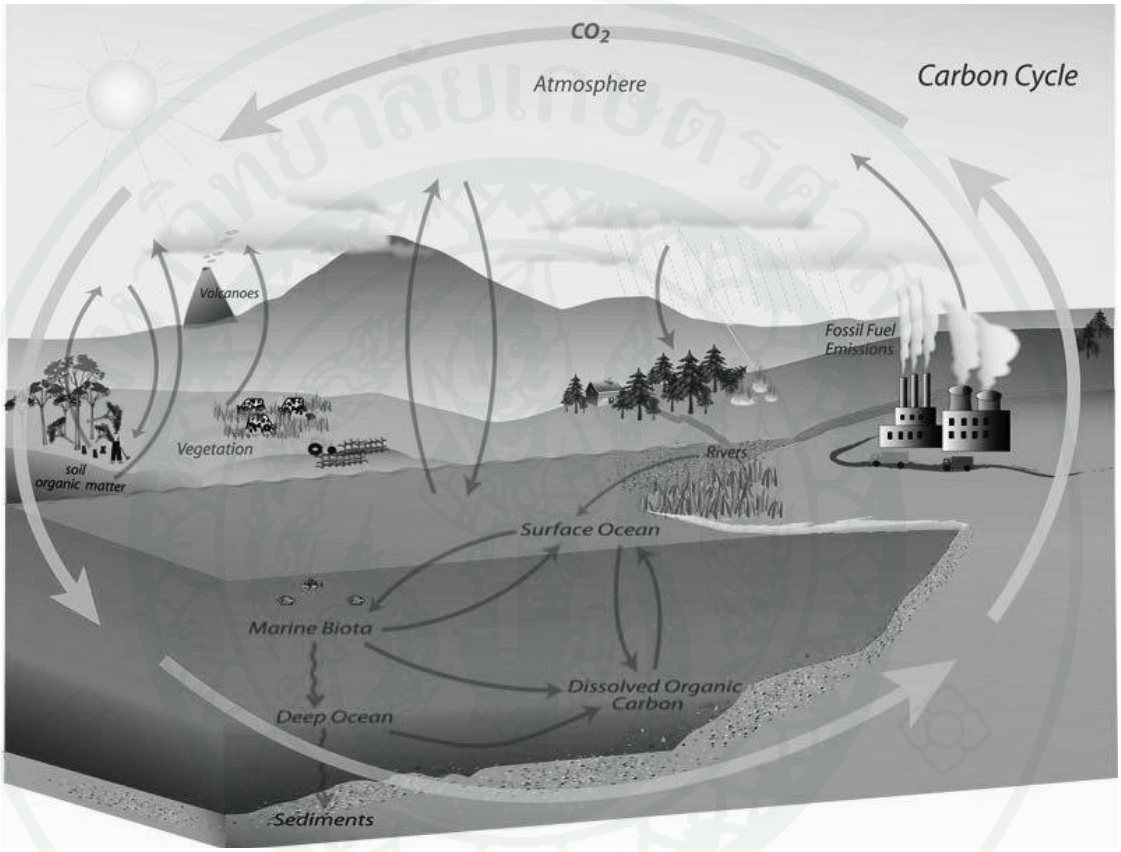
ก๊าซเรือนกระจก

ก๊าซเรือนกระจก (greenhouse gases) คือก๊าซที่มีอยู่ในบรรยากาศของโลก มีความสามารถดูดกลืนและคายรังสีคลื่นยาวช่วงอินฟราเรดได้ดีมาก ดังนั้นเมื่อพื้นผิวโลกคายรังสีอินฟราเรดขึ้นสู่ชั้นบรรยากาศ ก๊าซเรือนกระจกจะดูดกลืนรังสีอินฟราเรดเอาไว้ หลังจากนั้นจะคายความร้อนออกมาสะสมอยู่บริเวณพื้นผิวโลก และชั้นบรรยากาศเพิ่มมากขึ้น ก๊าซเรือนกระจกนั้นสามารถเกิดขึ้นเองตามธรรมชาติและจากกิจกรรมของมนุษย์ ก๊าซเรือนกระจกที่สำคัญได้แก่ ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ (CO_2)

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ก๊าซมีเทน (CH_4) ก๊าซไนตรัสออกไซด์ (N_2O) ก๊าซโอโซน (O_3) และก๊าซไฮโดรฟูออโรคาร์บอน (HFCs) เป็นต้น (ประหยัด และคณะ, 2544)

วัฏจักรคาร์บอน



ภาพที่ 1 วัฏจักรคาร์บอน (carbon cycle)
ที่มา: Dick, 2008

คาร์บอนเป็นธาตุที่สำคัญ โดยเป็นองค์ประกอบของอินทรีย์สารต่างๆ และมีแหล่งสะสมที่สำคัญในบรรยากาศ อยู่ในรูปก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ (สมบุญ, 2548)

วัฏจักรคาร์บอนมีการหมุนเวียนเกิดขึ้นระหว่างสิ่งมีชีวิตด้วยกันเป็นหลัก โดยเกิดขึ้นผ่านกระบวนการสังเคราะห์แสง การหายใจ และการย่อยสลาย นอกจากนี้ยังมีการเผาไหม้ (combustion) ของเชื้อเพลิง และการผุพังของหินปูนร่วมในวัฏจักรด้วย

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

การหมุนเวียนของคาร์บอนเริ่มจากพืชดึง CO_2 ในบรรยากาศไปใช้เพื่อการสังเคราะห์แสง กระบวนการนี้เป็นขั้นตอนสำคัญที่ดึงคาร์บอนในไบโอสเฟียร์มาเปลี่ยนเป็นสารประกอบอินทรีย์ในพืช และเข้าไปสะสมในสัตว์ผ่านทางห่วงโซ่อาหาร คาร์บอนจะหมุนเวียนกลับคืนสู่บรรยากาศโดยการหายใจของสิ่งมีชีวิต และการย่อยสลายซากของจุลินทรีย์และผู้ย่อยสลายอื่นๆ ซึ่งได้ CO_2 กลับคืนสู่บรรยากาศใหม่

นอกจากนี้ยังมีกระบวนการอื่นที่ไม่เกี่ยวข้องกับสิ่งมีชีวิต ซึ่งมีการหมุนเวียน CO_2 สู่บรรยากาศ เช่น ซากสิ่งมีชีวิตที่ถูกทับถมภายใต้สภาวะไร้ออกซิเจนนับร้อยล้านปีเกิดเป็นเชื้อเพลิงฟอสซิล ถ่านหิน น้ำมัน และหินปูน เชื้อเพลิงเหล่านี้นำไปใช้ในการเผาไหม้ รวมทั้งการระเบิดของภูเขาไฟ เกิด CO_2 สู่บรรยากาศ และปัจจุบันมีกิจกรรมการเผาไหม้เชื้อเพลิงฟอสซิลมากขึ้น จนเป็นสาเหตุให้เกิดภาวะเรือนกระจก (greenhouse effects) (นิตยา, 2546)

CO_2 ในบรรยากาศ มีประมาณ 0.03% ในขณะที่ในทะเลสมุทร มีมากกว่าในบรรยากาศถึง 50 เท่า จึงทำให้เกิดการแลกเปลี่ยน CO_2 ระหว่าง พืชน้ำ และอากาศอยู่ตลอดเวลาโดยการแพร่ นอกจากนี้แหล่งน้ำอาจได้รับ CO_2 ในรูป CO_2 ที่ละลายอยู่ในน้ำฝน ทำให้เกิดกรดคาร์บอนิกและอยู่ในรูปคาร์บอเนตในน้ำ (สมบุญ, 2548)

ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ (CO_2) กับพืช

พืชจะใช้ CO_2 ไปเป็นวัตถุดิบในการสังเคราะห์แสงและปฏิกิริยาในการสังเคราะห์แสง (photosynthesis) โดยกระบวนการสังเคราะห์แสงเป็นกระบวนการที่พืชสีเขียวจะนำพลังงานแสงเปลี่ยนเป็นพลังงานเคมีมาใช้ให้เกิดประโยชน์ในการสร้างอาหารจากโมเลกุลของ CO_2 และน้ำ ไปเป็นคาร์โบไฮเดรต รวมทั้งการปลดปล่อยออกซิเจนออกมา ซึ่งสิ่งมีชีวิตทั้งหลายจะนำมาใช้ประโยชน์ในกระบวนการ metabolism เพื่อสร้างสารประกอบอื่นๆ ที่จำเป็นต่อการดำรงชีพ (สม-บุญ, 2538)

ความเข้มข้นของ CO_2 ในอากาศที่เพิ่มมากขึ้นจากระดับปกติ จะทำให้พืชสามารถสังเคราะห์ด้วยแสงเพิ่มมากขึ้นตาม เนื่องจากอัตราการสังเคราะห์ด้วยแสงของพืชถูกจำกัดด้วยความเข้มข้น CO_2 พืชมีระดับการตอบสนองต่อการเปลี่ยนแปลงความเข้มข้นของ CO_2 ในอากาศแตกต่างกัน เมื่อความเข้มข้นของ CO_2 ในอากาศเพิ่มมากขึ้นกลุ่มพืช C_3 เช่น มะม่วง มันสำปะหลัง และข้าว จะแสดงแนวโน้มของการตอบสนองโดยการเพิ่มของอัตราการสังเคราะห์ด้วยแสงสุทธิได้มากกว่าที่พบในกลุ่มพืช C_4 เช่น ข้าวโพด แฝก และอ้อย เนื่องจากจากกลุ่มพืช C_4 มีกลไลทาง เมแทบอลิซึมที่สามารถช่วยลำเลียง

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

CO_2 เข้าไปสู่เซลล์บันเดิลชีทได้ดี ทำให้เอนไซม์ rubisco ที่ช่วยเร่งปฏิกิริยาการตรึง CO_2 ทำงานได้อย่างเต็มที่ในสภาพความเข้มข้นของ CO_2 ในอากาศปัจจุบัน (พูนพิภพ, 2550)

คาร์บอนเครดิต (carbon credit)

คาร์บอนเครดิต หมายถึงปริมาณก๊าซเรือนกระจกที่ลดลงได้จากกิจกรรมฐานและได้รับการตรวจสอบจากวิธีการที่เป็นมาตรฐาน เช่น ตามกลไกของพิธีสารเกียวโตหรือกลไกภาคความสมัครใจ (อมรวรรณ, 2554) โดยมีเป้าหมายเพื่อลดการปลดปล่อยก๊าซที่มีผลต่อภาวะเรือนกระจกและการเปลี่ยนแปลงภูมิอากาศโลก เน้นการสร้างวิกฤติให้เป็นโอกาสโดยการทำโครงการลดก๊าซที่มีผลต่อภาวะเรือนกระจกเพื่อนำไปสู่การซื้อขายก๊าซคาร์บอน (ประสาท, 2553) ซึ่งเป็นสินค้าที่ซื้อขายกันได้ในตลาดเฉพาะที่เรียกว่า “ตลาดคาร์บอน (carbon market)”

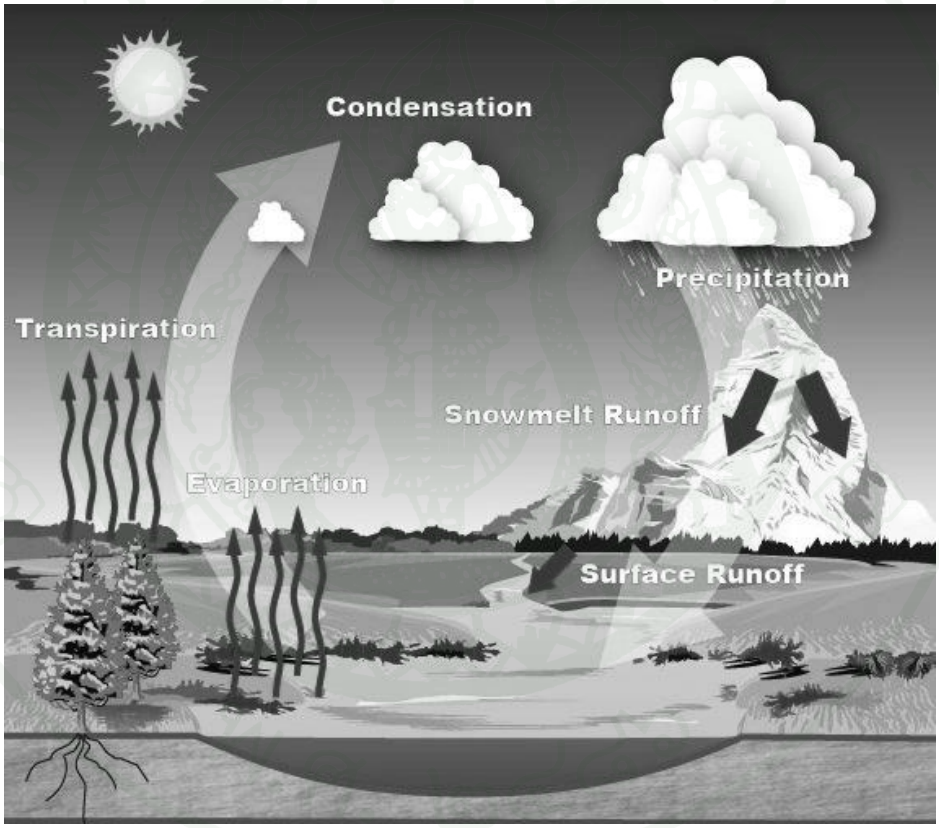
ตลาดคาร์บอน หรือ ตลาดซื้อขายคาร์บอนเครดิต เป็นกลไกที่จะช่วยส่งเสริมการลดการปลดปล่อยก๊าซเรือนกระจก โดยใช้แนวคิดทางเศรษฐศาสตร์ ด้วยการกำหนดให้มีการซื้อขายปริมาณการลดการปลดปล่อยก๊าซเรือนกระจก (คิดเป็นหน่วยตันคาร์บอนไดออกไซด์เทียบเท่า) ที่ลดได้จากการทำโครงการคาร์บอนเครดิต โดยหนึ่งในกลไกภายใต้พิธีสารโตเกียวซึ่งเป็นกลไกความร่วมมือในการลดก๊าซเรือนกระจก ได้แก่ กลไกการพัฒนาที่สะอาด (Clean Development Mechanism: CDM) ซึ่งเป็นกลไกที่เปิดโอกาสให้ประเทศที่มีพันธกรณีและประเทศที่ไม่มีพันธกรณีได้ร่วมกันลดปริมาณการปล่อยก๊าซเรือนกระจกของโลก โดยใช้กลไกการตลาดเข้ามาเสริม ด้วยการให้ประเทศที่มีพันธกรณีซึ่งมีภาวะต้นทุนสูงในการดำเนินการลดการปลดปล่อยก๊าซเรือนกระจกสามารถบรรลุเป้าหมายของพิธีสารโตเกียวได้ โดยร่วมลงทุนพัฒนาโครงการลดการปลดปล่อยก๊าซเรือนกระจกในประเทศกำลังพัฒนาซึ่งมีต้นทุนในการดำเนินการที่น้อยกว่าแต่ได้รับผลตอบแทนที่ดีกว่าการดำเนินการในประเทศของตน (องค์การบริหารจัดการก๊าซเรือนกระจก [อบก], 2554)

ประเภทของโครงการที่เข้าข่ายโครงการ CDM ตามที่รัฐภาคีพิธีสารเกียวโต ประกอบด้วยโครงการในสาขาเศรษฐกิจ เช่น การผลิตและแปรรูปพลังงาน การจัดการของเสีย การป่าไม้ และการเกษตร เป็นต้น โดยเป้าหมายของโครงการคือการเพิ่มการกักเก็บคาร์บอน ซึ่งต้องพิจารณาถึงแหล่งสะสมคาร์บอนที่ครอบคลุมภายใต้แนวทางของ IPCC เช่น ชีวมวลเหนือดิน ชีวมวลใต้ดิน ไม้ตาย ซากพืช และคาร์บอนในดิน เป็นต้น

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ในภาคการเกษตรสามารถเข้าร่วมโครงการได้จากการสะสมของชีวมวล หรือ มวลชีวภาพ (biomass) ซึ่งมีคุณสมบัติเป็นชีวมวลที่ไม่ได้มาจากไม้ แต่อยู่ในพื้นที่เพาะปลูกและ/หรือทุ่งหญ้า ที่ซึ่งเป็นที่เพาะปลูกหรือทุ่งหญ้า ที่มีการใช้แนวปฏิบัติตามด้านการจัดการอย่างยั่งยืนในพื้นที่ เพื่อรักษาระดับของปริมาณคาร์บอนที่สะสมไว้ในพื้นที่ และชีวมวลที่มาจากเศษเหลือทิ้ง เช่น เศษไม้ เศษซาก หรือคาร์บอนจากสารอินทรีย์ในดินที่อยู่ในพื้นที่ซึ่งเป็นแหล่งกำเนิดชีวมวลจากเศษเหลือทิ้ง (อบก, 2554)

วัฏจักรของน้ำ



ภาพที่ 2 วัฏจักรน้ำ (water cycle)
ที่มา: NOAA, 2010

ในการหมุนเวียนของน้ำในวัฏจักร ประกอบด้วย กระบวนการคายระเหยของน้ำ (evapotranspiration) การตกของหยาดน้ำฟ้า (precipitation) การควบแน่น (condensation) รวมทั้งการคายน้ำของพืชและการหายใจของสิ่งมีชีวิตทั่วไป ดังภาพที่ 2 น้ำตกลงมาจากฟ้าในสภาพฝน หิมะ และอื่นๆ บนพื้นดิน จะแทรกซึมลงดินและสะสมเป็นน้ำใต้ดิน น้ำที่ตกลงบนพื้นดินบางส่วนจะไหลออกสู่

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ทะเลสาบ แม่น้ำ ลำธาร และทะเล น้ำฝนส่วนใหญ่จะตกลงในทะเลมหาสมุทรโดยตรง ซึ่งมีการระเหยกลายเป็นไอหมุนเวียนเป็นวัฏจักรต่อไปได้ (สมบุญ, 2548)

กิจกรรมต่างๆ ของสิ่งมีชีวิตบนพื้นดินมีอิทธิพลอย่างมากต่อวัฏจักรของน้ำ เช่น พืชที่ปกคลุมดิน ซึ่งจะดูดน้ำจากดินไปใช้บางส่วนและบางส่วนจะปล่อยออกมาในสภาพไอน้ำโดยกระบวนการคายน้ำทางใบ ซึ่งจะทำให้อุณหภูมิบริเวณนั้นลดลง และมีผลอย่างยิ่งต่อสภาพภูมิอากาศประจำถิ่น (นิตยา, 2546)

ความต้องการใช้น้ำของพืช

น้ำเป็นปัจจัยหลักที่สำคัญในการผลิตและการเพิ่มผลผลิตของพืช โดยเป็นองค์ประกอบสำคัญในเซลล์พืช มีบทบาทเป็นตัวควบคุมขบวนการทางสรีรวิทยา (physiological process) ได้แก่ กระบวนการสังเคราะห์แสง การย่อยสลายแป้ง รวมถึงเป็นตัวทำละลายและลำเลียงสารไปยังส่วนต่างๆ ของต้นพืช (Wild, 1988)

น้ำเป็นวัตถุดิบในกระบวนการสังเคราะห์แสงของพืช นอกจากนี้ยังช่วงรักษาอุณหภูมิของพืชมิให้เกิดการผันแปร พืชสดมีน้ำเป็นส่วนประกอบ 80-90% น้ำที่รากพืชดูดจากดิน ส่วนหนึ่งพืชลำเลียงไปใช้ในการเจริญเติบโต บางส่วนจะสะสมไว้ในเซลล์พืช และส่วนใหญ่ประมาณ 90% จะปลดปล่อยออกสู่บรรยากาศโดยกระบวนการคายน้ำ ซึ่งพืชจะมีการดูดน้ำจากดิน และลำเลียงไปยังส่วยลำต้น ใบ และยอด เพื่อทดแทนน้ำที่สูญเสียไป (สมบุญ, 2548)

วิบูลย์ (2526) สรุปไว้ว่า ปริมาณการใช้น้ำของพืช (consumption use) คือ ปริมาณน้ำทั้งหมดที่สูญเสียไปจากพื้นที่เพาะปลูก ซึ่งประกอบด้วยปริมาณน้ำที่พืชดูดไปจากดิน เพื่อนำไปใช้ในการสร้างเซลล์และเนื้อเยื่อแล้วคายออกสู่บรรยากาศ (transpiration) รวมถึงปริมาณน้ำที่ระเหยออกจากผิวดินและผิวน้ำ (evaporation)

Allen *et al.* (1998) สรุปปริมาณการใช้น้ำของพืชว่าขึ้นกับปัจจัย 3 ปัจจัย ต่อไปนี้ คือ

1. พืช เป็นปัจจัยหนึ่งที่สำคัญในการประเมินการใช้น้ำที่แตกต่างกันไป โดยขึ้นกับชนิดและช่วงอายุของพืช การใช้น้ำของพืชจะน้อยเมื่อเริ่มต้นปลูกและเพิ่มสูงขึ้นเรื่อยๆ จนมากที่สุดเมื่อพืชโตเต็มที่และอยู่ในวัยขยายพันธุ์ จากนั้นความต้องการน้ำจะค่อยๆ ลดลง (วิบูลย์, 2526) นอกจากนี้ พืชที่

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ขาดน้ำในระยะเจริญเติบโตยังส่งผลให้เกิดการเปลี่ยนแปลงทางกายวิภาค เช่นขนาดทรงพุ่ม ระบบราก และลักษณะใบ เพื่อต่อต้านสภาวะขาดน้ำ จึงส่งผลให้พืชที่เคยขาดน้ำมาก่อนสามารถทนต่อสภาวะขาดน้ำได้สูงกว่าพืชที่ไม่เคยได้รับสภาวะขาดน้ำ (คณาจารย์ภาควิชาปฐพีวิทยา, 2541)

2. สภาพภูมิอากาศรอบต้นพืช ได้แก่ รังสีแสงอาทิตย์ อันมีความสัมพันธ์กับการระเหยน้ำออกจากดิน รวมถึงสภาพอุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์ในอากาศ ทั้งนี้เพราะพลังงานรังสีจะก่อให้เกิดความร้อนขึ้นในวัตถุ ความร้อนส่วนหนึ่งจะถูกระบายออกในรูปความร้อนแฝงซึ่งทำให้เกิดการระเหยน้ำออกสู่บรรยากาศ (คณาจารย์ภาควิชาปฐพีวิทยา, 2541)

3. ดิน ได้แก่ ความชื้นในดิน ดินที่มีระดับความชื้นใกล้เคียงจุดความจุสนาม (field capacity, FC) เป็นจุดที่ดินมีความชื้นเหมาะสมและพืชใช้ประโยชน์ได้ ระดับความชื้นในดินที่สูงมีผลต่อระดับพลังงานศักย์น้ำที่สูงด้วย ซึ่งส่งผลให้น้ำไหลจากดินเข้าไปในรากพืชได้ง่ายขณะที่พืชกำลังดูดน้ำ นอกจากนี้ ความหนาดินชั้นรากพืช ยังมีผลต่อแหล่งปริมาณน้ำกักเก็บสำรองสำหรับพืช โดยความหนาดินชั้นรากที่มากมีผลต่อปริมาณน้ำสำรองสำหรับพืชใช้มากด้วย สุดท้ายคือ ลักษณะเนื้อดินและสภาพนำน้ำในดิน ซึ่งเป็นตัวบ่งชี้ถึงการปลดปล่อยน้ำและเคลื่อนที่ของน้ำในดินไปยังพืช ด้วยเหตุนี้ พืชที่ปลูกในดินที่มีเนื้อละเอียดและมีสภาพนำน้ำต่ำจึงมักแสดงอาการขาดน้ำชั่วคราวในช่วงกลางวันที่อากาศร้อน เนื่องจากดินปลดปล่อยน้ำให้พืชไม่ทันกับอัตราการคายน้ำในช่วงเวลานั้นๆ (คณาจารย์ภาควิชาปฐพีวิทยา, 2541)

ความต้องการการใช้น้ำของอ้อย

น้ำเป็นปัจจัยที่สำคัญที่สุดที่ควบคุมผลผลิตอ้อยในประเทศไทยโดยเฉพาะพื้นที่นอกเขตชลประทาน ซึ่งจะขึ้นอยู่กับปริมาณน้ำฝนในแต่ละปี ความต้องการน้ำของอ้อยขึ้นอยู่กับระยะการเจริญเติบโต สภาพของอ้อยและสภาพแวดล้อม โดยเฉพาะในระยะย่างปล้อง ช่วงอ้อยอายุ 3 เดือนเป็นต้นไป ระยะดังกล่าวเป็นช่วงที่อ้อยเติบโตเร็วที่สุด และไวต่อการขาดน้ำมากที่สุด ถ้าขาดน้ำจะทำให้ผลผลิตลดลง ระยะย่างปล้องนี้จะเป็นตัวกำหนดขนาดหรือน้ำหนัก/ลำ หรือน้ำหนักอ้อย/ไร่ (เกษม, 2540) สอดคล้องกับการรายงานโดย Wiedenfeld (2000) ว่าการขาดน้ำส่งผลต่อการเจริญเติบโตของอ้อย ผลผลิตและคุณภาพของผลผลิตอีกด้วย

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

พื้นที่ที่เหมาะสมในการปลูกอ้อยควรมีปริมาณน้ำฝน 1,600-2,500 มิลลิเมตรต่อปี โดยในบริเวณที่มีปริมาณน้ำฝนน้อยและไม่แน่นอน อ้อยต้องได้รับน้ำอย่างเพียงพอ น้ำที่ได้อาจมาจากแหล่งน้ำชลประทานและน้ำฝนก็ได้ (บัณฑิต และคำรณ, 2542) โดยตั้งแต่ปลูกจนกระทั่งเก็บเกี่ยวอ้อยต้องการน้ำไม่น้อยกว่า 1,000 มิลลิเมตร (ประเสริฐ, 2542) นฤนาท (2546) ได้ศึกษาการสังเคราะห์ด้วยแสงของเรือนพุ่มอ้อย พบว่า การเจริญเติบโตที่แตกต่างกันทำให้อ้อยแต่ละช่วงอายุมีความต้องการใช้น้ำที่แตกต่างกัน โดยอ้อยตอที่ช่วงอายุ 43-45 วันและ 444-475 วัน มีความต้องการใช้น้ำใกล้เคียงกันเฉลี่ยประมาณ 2.7-3.6 ลิตรต่อตารางเมตรต่อวัน

Khan (1992) ศึกษาความต้องการการใช้น้ำของอ้อยในแต่ละเดือนและตลอดฤดูปลูกของประเทศปากีสถาน โดยการคาดการณ์บนพื้นฐานที่วิเคราะห์จากข้อมูลภูมิอากาศ ตั้งแต่ปี 1970-1989 พบว่าในเดือนมิถุนายน อ้อยต้องการน้ำสูงสุด 201 มม. และอ้อยต้องการน้ำน้อยสุดในเดือนกุมภาพันธ์ คือ 18 มม. และตลอดฤดูปลูกนั้นอ้อยมีความต้องการน้ำเฉลี่ยอยู่ที่ 948-1,345 มม.

สุทิชา (2551) รายงานว่า การให้น้ำแก่อ้อยทุกสัปดาห์ โดยอ้อยที่ให้น้ำทุกสัปดาห์ และ 2 สัปดาห์นั้น อ้อยมีการเจริญเติบโตที่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ เช่น ความสูง เส้นผ่านศูนย์กลางลำ จำนวนปล้อง จำนวนลำต่อกอ เป็นต้น เนื่องจากการให้น้ำทุกสัปดาห์นั้น อ้อยได้รับน้ำอย่างสม่ำเสมอ จึงมีการนำไปใช้ในกิจกรรมการเจริญเติบโตอย่างต่อเนื่อง เช่น การสังเคราะห์แสง และการดึงธาตุอาหารเป็นต้น แต่เมื่อพิจารณาถึงปริมาตรน้ำที่เข้าแปลงนั้นไม่แตกต่างกัน ดังนั้นการให้น้ำทุก 2 สัปดาห์ เป็นความถี่ที่เหมาะสม ต้นอ้อยยังเจริญเติบโตอยู่ได้ และเป็นการช่วยประหยัดเวลาได้อีกด้วย Wiedenfeld (2000) ได้แนะนำการให้น้ำของอ้อยว่าการให้น้ำแก่อ้อยเพื่อให้ได้ประโยชน์สูงสุดนั้นคือ ควรให้น้ำอย่างเพียงพอตั้งแต่เริ่มปลูกจนถึงเมื่ออ้อยมีใบคลุมพื้นที่ทั้งหมด

จันทร์สว่าง (2547) และ เจษฎา (2542) ได้แบ่งระยะการเจริญเติบโตและความต้องการน้ำเพื่อใช้ในการเจริญเติบโตของอ้อยไว้ดังนี้ ระยะงอก ระยะนี้ต้องการความชื้นเพียงเล็กน้อย ปริมาณน้ำทั้งหมดที่ต้องการประมาณ 120 มิลลิเมตร ซึ่งเพียงพอสำหรับการงอก ระยะแตกกอ ระยะนี้ต้องการปัจจัยต่างๆ ที่ใช้ในการเจริญเติบโตมากขึ้น อ้อยต้องการปริมาณน้ำประมาณ 630 มิลลิเมตร ระยะย่างปล้อง เป็นระยะที่อ้อยต้องการปัจจัยในการเจริญเติบโตมากที่สุดเพราะมีการเจริญเติบโตเร็วเพื่อเพิ่มขนาดและน้ำหนักลำอ้อย แต่ในระยะนี้ต้องการน้ำตลอดช่วงประมาณ 625 มิลลิเมตร และระยะสุกแก่ ระยะนี้อ้อยเจริญเติบโตช้าลง และต้องการปัจจัยในการเจริญเติบโตน้อยลง ปริมาณน้ำทั้งหมดที่อ้อยต้องการในช่วงนี้ประมาณ 140 มิลลิเมตร อ้อยเริ่มสะสมน้ำตาลในช่วงนี้ จึงควรงดให้น้ำอย่างน้อย 1 เดือนก่อนเก็บเกี่ยว

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

วิธีการวัดการแลกเปลี่ยนก๊าซกับบรรยากาศ

วิธีการวัดการแลกเปลี่ยนก๊าซกับบรรยากาศที่นักวิทยาศาสตร์ทั่วโลกนิยมศึกษาการแลกเปลี่ยนก๊าซกับบรรยากาศ ได้แก่

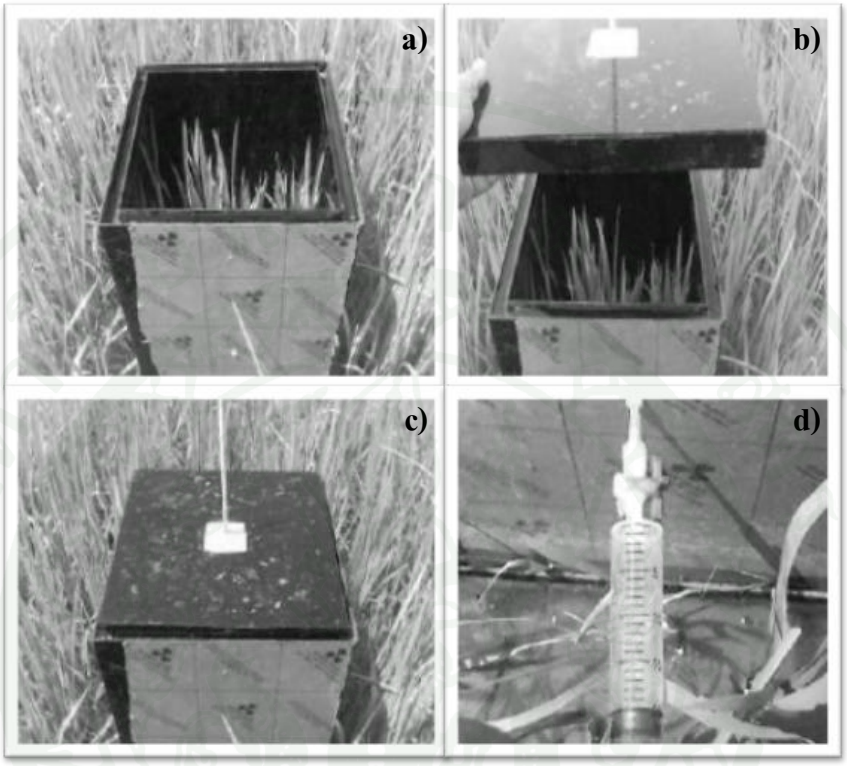
ถังครอบ (close chamber)

การเก็บก๊าซ โดยใช้ถังครอบ หรือ close chamber method เป็นการวัด gas flux จากดิน โดยเก็บก๊าซจากที่ระยะเวลาต่างๆ และคำนวณความเข้มข้นของก๊าซที่เปลี่ยนแปลงไปตามเวลาที่เพิ่มขึ้น ตัวถัง (chamber) ทำด้วยพลาสติกแข็งเป็นกล่องสี่เหลี่ยม ขนาด 45 x 45 เซนติเมตร สูง 70 เซนติเมตร ฝาด้านบนตรงกลางมีจุกยาง (septum) สำหรับเสียบเข็มซึ่งต่อกับกระบอกฉีด (syringe) สำหรับเก็บก๊าซ มีเทอร์โมมิเตอร์สำหรับวัดอุณหภูมิภายใน chamber ดังแสดงในภาพที่ 3 ก๊าซที่ปลดปล่อยมาจากดินจะสะสมอยู่ใน chamber เก็บก๊าซจาก chamber ที่เวลา 0, 10, 20, 30, 50, 70 และ 90 นาที หลังจากวาง chamber ลงบนจุดเก็บตัวอย่าง การเก็บก๊าซใช้กระบอกฉีดขนาด 30 มล. ดูดก๊าซจาก chamber เก็บก๊าซไว้ในขวดสุญญากาศขนาดประมาณ 25 มล. นำตัวอย่างก๊าซมาวิเคราะห์หาค่ามีเทนที่ห้องปฏิบัติการด้วยเครื่อง gas chromatograph (HNU 321) ที่มี detector แบบ far UV detector ใช้ก๊าซไนโตรเจนความบริสุทธิ์สูงเป็น carrier ปรับอุณหภูมิ injector เท่ากับ 50 องศา และ oven เท่ากับ 55 องศา ค่าความเข้มข้นของก๊าซมีเทนในตัวอย่างคำนวณได้จากพื้นที่ chromatogram เทียบกับก๊าซมีเทนมาตรฐาน คำนวณค่า flux จากค่าความเข้มข้นของก๊าซมีเทนที่เพิ่มขึ้นใน chamber ตามระยะเวลาที่เพิ่มขึ้นแบบ linear regression ในการเก็บตัวอย่างทุกครั้งจะวัดอุณหภูมิของอากาศ ทั้งภายนอกและภายใน chamber ความชื้นสัมพัทธ์ ความเป็นกรดเป็นด่างของน้ำ อุณหภูมิของน้ำ และยังรวมถึงข้อมูลภูมิอากาศทั่วๆ ไปของจุดที่เก็บตัวอย่าง เช่น แสงแดด ปริมาณน้ำฝน เป็นต้น (สุพร และคณะ, 2542)

สำเริง และคณะ (2547) เปรียบเทียบอัตราการปลดปล่อย CO_2 จากดินโดยใช้ close chamber method โดย chamber ทำจากท่อ PVC ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 25 เซนติเมตร สูง 20 เซนติเมตร จำนวน 9 อัน เป็นรูปสี่เหลี่ยมจตุรัส ระยะห่างระหว่าง chamber เท่ากับ 20 เมตร การวัดอัตราการปลดปล่อย CO_2 จากดินโดยวิธี close chamber method ด้วยเครื่อง CO_2 analyzer (LI-COR model LI-800) วัดทุกเดือนและในการวัดแต่ละครั้งจะวัด 3 ช่วงเวลา คือ 6:00-8:00, 11:00-13:00, และ 16:00-18:00 นาฬิกา และในช่วงที่วัดการปลดปล่อย CO_2 จากดินนั้นมีการเก็บข้อมูล อุณหภูมิอากาศ อุณหภูมิดิน และความชื้นดินไปพร้อมกันด้วย พบว่าอัตราการปลดปล่อย CO_2 จากดินมีความแปรปรวนค่อนข้าง

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

สูง โดยอัตราการปลดปล่อย CO_2 จากดินเฉลี่ยของป่าดิบแล้ง และป่าเบญจพรรณพบว่ามีค่าเฉลี่ย 10.72 และ 23.02 กิโลกรัมต่อตารางเมตรต่อปี ตามลำดับ



ภาพที่ 3 วิธีการเก็บก๊าซจากแปลงนาโดยใช้ถังครอบ (close chamber) a) ถังพลาสติกครอบต้นข้าว b) ปิดฝาเพื่อป้องกันก๊าซไหลออกจากถังครอบ c) วัดอุณหภูมิภายในถังครอบ โดยเทอร์โมมิเตอร์ d) เก็บตัวอย่างก๊าซโดยใช้กระบอกฉีดยา ดูดก๊าซจากถังครอบ

ที่มา: กัลยาณี และสิรินทรเทพ (2553)

Yagi *et al*., 1994 ศึกษาการปลดปล่อยก๊าซมีเทนจากนาข้าวที่จังหวัดสุพรรณบุรี โดยวิธี close chamber พบว่า ในฤดูนาปรังปลดปล่อยก๊าซมีเทนเฉลี่ยและสูงสุด 19.5 และ 46.6 $mgm^{-2}h^{-1}$ ตามลำดับ ส่วนในฤดูนาปีปลดปล่อยก๊าซมีเทนเฉลี่ยและสูงสุด 32.2 และ 55.9 $mgm^{-2}h^{-1}$ ตามลำดับ

นอกจากนี้ อำนาจ (2547) ได้ใช้ close chamber method ในการศึกษาการออกซิไดซ์ก๊าซมีเทนในป่าดิบแล้ง และผลกระทบของการใช้ประโยชน์ที่ดินที่แตกต่างกัน พบว่าการออกซิไดซ์ก๊าซมีเทนในป่าธรรมชาติและป่าปลูกอยู่ในระดับที่ใกล้เคียงกันเฉลี่ย 1.50-1.17 มิลลิกรัมต่อตารางเมตรต่อวัน สำหรับในดินที่ปลูกข้าวโพด การปลดปล่อยก๊าซมีเทนโดยเฉพาะในช่วงฤดูฝนทำให้เฉลี่ยทั้งปี ดังนั้นดินนี้เป็นแหล่งปลดปล่อยสุทธิ

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

Bowling *et al*., 1998 ได้กล่าวว่าในอดีตนิยมการวัดการปลดปล่อยก๊าซโดยใช้ถังครอบ เพราะใช้พื้นที่น้อย ใช้ง่ายและราคาถูก แต่มีข้อเสียได้แก่ ผลของแสงและอุณหภูมิของอากาศ ความเข้มข้นและความต่อเนื่องของการแพร่ก๊าซ และสร้างความเสียหายแก่โครงสร้างทางกายภาพของพืช เช่น ราก ใบ นอกจากนี้ Flechard *et al*., 2007 ได้สรุปว่าการวัดการปลดปล่อยก๊าซโดยใช้ถังครอบนี้เป็นการวัดที่ได้ข้อมูลแบบไม่ต่อเนื่อง และมักจะถูกวิจารณ์เกี่ยวกับผลกระทบจากแรงดันและอุณหภูมิในอากาศ (Hutchinson and Livingston, 2002)

Aerodynamic method

เป็นวิธีการวัดปริมาณ CO_2 ที่ใช้ในการสังเคราะห์แสง (carbon dioxide assimilation) โดยใช้เครื่องมือที่มีความไวต่อการเปลี่ยนแปลงของ CO_2 เรียกว่า CO_2 sensor จะใช้วัดที่ระดับและจุดต่างๆ ของกลุ่มพืชที่ครอบอยู่ในถุงพลาสติก วิธีนี้มักใช้กับระบบนิเวศของทุ่งหญ้า ป่า และพืชผล (นิตยา, 2546)

Bowen ratio

เป็นวิธีการที่มีหลักการคือวัดสมดุลของพลังงานความร้อน (heat balance) ซึ่งมีข้อดีคือลงทุนค่าเครื่องมือต่ำกว่าเทคนิค EC แต่ข้อเสียคือ ไม่สามารถวัดค่าการแลกเปลี่ยนก๊าซในเวลากลางคืนได้

Pakoktom (2009) ได้ศึกษาการคายระเหยน้ำจากนาข้าวในประเทศไทยและประเทศญี่ปุ่น โดยใช้เทคนิค Bowen ratio ซึ่งใช้สูตรในการคำนวณหา CO_2 และ H_2O flux ดังนี้

$$FCO_2 \text{ or } FH_2O = D_{U\text{-}L}(C_{AU}\text{-}C_{AL})$$

โดย D (cms^{-1}) เป็นสัมประสิทธิ์ค่าคงที่ของ Bowen ratio technique

C_A เป็นค่าความเข้มข้นของ CO_2 ($mgCO_2cm^{-3}$) หรือ H_2O ($gH_2O\ cm^{-3}$) ที่วัดได้

U และ L เป็นค่าที่แสดงระดับความสูงที่ใช้วัดระดับบนและระดับล่าง

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

Relax eddy Accumulation (REA)

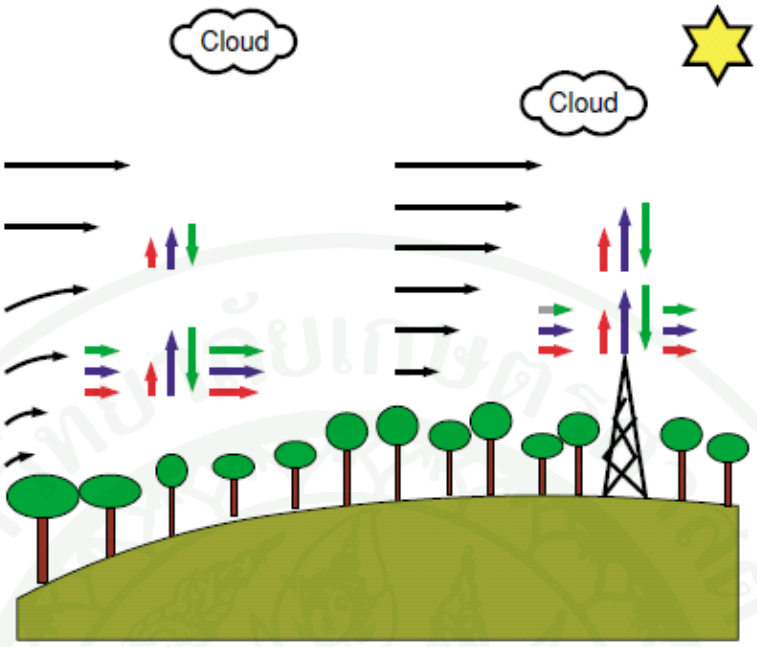
เป็นเทคนิคที่ใช้หลักการคล้ายกับ EC แต่จะต้องดูดก๊าซจากบรรยากาศเข้ามาพักไว้ในถุงพลาสติกเพื่อให้ก๊าซที่ได้มานั้นผสมรวมกันแล้วก๊าซจะถูกดูดผ่านท่อเข้าไปวัดความเข้มข้นของก๊าซโดยชุดตรวจวัดก๊าซ (gas chromatography) โดยตรวจวัดความเข้มข้นของก๊าซได้ที่ความถี่ 5 Hz (1 วินาทีสามารถเก็บข้อมูลได้ 5 ค่า) ข้อดีของวิธีนี้คือเครื่องมือและอุปกรณ์มีราคาถูกกว่าเทคนิค EC ส่วนข้อจำกัด เช่น ถุงพักก๊าซ ซึ่งมักเกิดปัญหาแตก หรือ รั่ว

ที่ผ่านมามีการใช้ REA วัดการปลดปล่อย CO_2 ปรอท น้ำ และเทคนิค REA นี้ยังสามารถนำไปใช้วัดการปลดปล่อยก๊าซอื่นได้อีก เช่น ก๊าซมีเทนในพื้นที่ชุ่มน้ำ โดยใช้ gas chromatography (GC) ตรวจวัดความเข้มข้นของก๊าซ และก๊าซไนตรัสออกไซด์ ซึ่งสามารถใช้ทั้ง GC electron capture detection ในการตรวจวัดความเข้มข้นของก๊าซได้ (Bowling *et al*., 1998)

Eddy Covariance technique (EC)

Eddy Covariance Technique (EC) เป็นวิธีการวัดการแลกเปลี่ยนอย่างต่อเนื่อง (flux) หรือการแลกเปลี่ยน (exchange) ของความร้อน (heat) ไอน้ำ (water vapor) ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ (CO_2) ก๊าซมีเทน (CH_4) จนก๊าซอื่นๆ ระหว่างระบบนิเวศบนบกและบรรยากาศ และสามารถคำนวณการแลกเปลี่ยนก๊าซโดยตรงจากการตรวจวัดความเข้นของก๊าซ (gas concentration) และความเร็วลมที่พัดก๊าซเข้ามาในแนวตั้ง (vertical wind speed) ทั้งด้านบน (upward) และด้านล่าง (downward) ลักษณะของลมที่พัดจะมีลักษณะไหลวนหรือที่เรียกว่า eddy ดังแสดงในภาพที่ 4 (Baldocchi, 2009)

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์



ภาพที่ 4 แผนภาพแนวคิด แสดงการเคลื่อนที่แนวระนาบของอากาศในระบบนิเวศซึ่งมีการไหลวน (eddy) ของอากาศจำนวนมาก

ที่มา: Baldocchi, 2009

การวัดการแลกเปลี่ยนก๊าซ CO_2 ระหว่างบรรยากาศสามารถวัดได้โดยตรงแบบ real time ผ่านเทคนิค infrared absorption spectroscopy (Kato *et al*., 2004 and Saigusa *et al*., 2008) ด้วยเครื่อง CO_2/H_2O analyzer (Li-COR model Li-7500) ร่วมกับการวัดทิศทางลมในแนวตั้ง (vertical velocity) ด้วยเครื่อง sonic anemometer (Campbell Scientific model CSAT3) ซึ่งรวมเป็นวิธีที่เรียกว่า Eddy Covariance method (มนตรี และคณะ, 2553)

พูนพิภพ (2550) กล่าวว่า EC เป็นเทคนิคที่สามารถติดตามตรวจวัดความเข้มข้นของก๊าซเรือนกระจกในอากาศร่วมกับความเร็วลมแบบสามมิติด้วยความถี่มากกว่า 10 ครั้งต่อวินาที (10 Hz) และนำข้อมูลไปประมวลผลเพื่อประเมินสมดุลการแลกเปลี่ยนก๊าซเรือนกระจกเหนือพื้นที่การศึกษา เพื่อใช้ข้อมูลที่ได้ในการคาดการณ์ความสามารถในการลดก๊าซเรือนกระจกในบรรยากาศของพืชที่สนใจได้ และ Marcus *et al.* (2005) สรุปว่า EC เป็นเทคนิคการตรวจวัดก๊าซเรือนกระจกที่ได้รับการพัฒนา โดยสามารถทำงาน ได้อย่างต่อเนื่อง และรวดเร็ว

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

นอกจากนี้เทคนิค eddy covariance ยังสามารถใช้ตรวจวัดสมดุลการแลกเปลี่ยนไอน้ำและปริมาณการใช้น้ำของพืช (evapotranspiration) ได้ เป็นการวัดการใช้น้ำที่เกิดขึ้นจริงจากพืชในพื้นที่ขนาดใหญ่ได้จริงอย่างรวดเร็ว (Roa *et al*., 1990)

เจษฎา และคณะ (2552) ได้ศึกษาความต้องการน้ำของอ้อยโดยใช้เทคนิค EC ซึ่งเป็นเทคนิคที่ทันสมัยที่สุดในปัจจุบัน อาศัยหลักวิธีการวิเคราะห์ flux ของน้ำโดยวิธี boundary layer meteorology ซึ่งคำนวณปริมาณน้ำที่แปลงอ้อยคายสู่บรรยากาศจากความเข้มข้นของไอน้ำในอากาศคูณด้วยความเร็วลมในแนวตั้ง วิธีการนี้ไม่มีการรบกวนต้นพืชและสามารถเก็บข้อมูลจากสภาพแปลงจริงอย่างต่อเนื่องตลอดฤดูปลูก จึงได้ข้อมูลที่ถูกต้องและชัดเจนมากที่สุด วิธีการนี้ได้รับการพัฒนาเป็นอย่างมากในระยะ 10 ปีที่ผ่านมาทั้งเครื่องมือและซอตฟ์แวร์สำหรับประมวลผล โดยการร่วมมือจากนักวิทยาศาสตร์จากหลายประเทศทั่วโลก จนเป็นวิธีที่มาตรฐานและได้รับการยอมรับอย่างกว้างขวาง เมื่อวัดการใช้น้ำของอ้อยได้อย่างถูกต้องและชัดเจนแล้ว จึงนำข้อมูลมาหาความสัมพันธ์กับภูมิอากาศและลักษณะทางสรีรวิทยาต่างๆ ที่มีความสำคัญต่อการสร้างผลผลิตและเป็นปัจจัยหลักที่กำหนดปริมาณการใช้น้ำของอ้อย เพื่อนำมาปรับปรุงเทคโนโลยีให้ใช้น้ำอย่างมีประสิทธิภาพ ในประเทศไทยการศึกษาความเข้มข้นของก๊าซเรือนกระจกโดยใช้เทคนิค EC ยังมีไม่มาก

นอกจากนี้ยังมีวิธีการวัดปริมาณ CO_2 ที่ใช้ในการสังเคราะห์แสง หรือวัดปริมาณ CO_2 ที่เกิดจากการหายใจในระบบนิเวศพื้นดินใช้วิธีวิเคราะห์ด้วยเครื่องมือที่เรียกว่า infrared gas analyzer เครื่องมือนี้จะเชื่อมต่อกับกล่องโปร่งใสที่สามารถเก็บอากาศไว้ได้ และทราบปริมาตรที่แน่นอน โดยที่กล่องจะครอบพืชที่ต้องการวัดการสังเคราะห์แสงอยู่ภายใน จะเป็นการวัด CO_2 ที่ถูกใช้ไปในการสังเคราะห์แสงโดยวัดอากาศที่ถูกผ่านเข้าไปในกล่องก่อนและเมื่อวัดอากาศอีกครั้งตอนที่ผ่านออกมาจากกล่องก็จะทราบว่ามี CO_2 หายไปเท่าไร ซึ่งเป็นปริมาณที่ใช้ในการสังเคราะห์แสงในช่วงที่ศึกษา และวิธีการนี้สามารถวัดอัตราการหายใจของพืชได้ โดยใช้เครื่องมือแบบเดียวกันและสภาวะที่เหมือนกัน แต่ใช้กล่องที่แสงผ่านไม่ได้ จะทราบอัตราการหายใจเพียงอย่างเดียว (นิตยา, 2546)

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

อุปกรณ์และวิธีการ

อุปกรณ์

1. อุปกรณ์ในการเก็บข้อมูลสารประกอบอุตุนิยมวิทยา ได้แก่

    1.1 สมุดบันทึก

    1.2 เครื่องคอมพิวเตอร์

    1.3 โปรแกรม Logger Net version 4.3 บริษัท Campbell Scientific, Inc.

    1.4 ชุดเครื่องมือตรวจวัดสารประกอบทางอุตุนิยมวิทยา ประกอบด้วย

        1.4.1 เครื่องบันทึกข้อมูล (data logger) รุ่น CR1000

        1.4.2 เครื่องวัดปริมาณแสงอาทิตย์ (pyranometer) รุ่น PY 71309

        1.4.3 เครื่องวัดปริมาณรังสีสุทธิ (net radiometer) รุ่น NR-LITE-L

        1.4.4 เครื่องวัดปริมาณของแสงที่พืชสามารถสังเคราะห์แสง (quantum sensor) รุ่น Q40451

        1.4.5 เครื่องวัดปริมาณน้ำฝน (rain gage) รุ่น TR-525N

        1.4.6 เครื่องวัดความเร็วและทิศทางลม (wind sentry set and anemometer) รุ่น RM Young 03002-5

        1.4.7 เครื่องวัดอุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์ในอากาศ (temperature and humidity probe) รุ่น HMP45C

    1.5 เครื่องวัดความชื้นดิน (soil moisture sensor) รุ่น EM50

    1.6 เครื่องมือสำหรับดูแลรักษาเครื่องมือตรวจวัดสารประกอบทางอุตุนิยมวิทยา

2. อุปกรณ์ในการเก็บข้อมูลพืช

    2.1 สมุดบันทึก

    2.2 ตลับเมตรยาว 50 เมตร ใช้สำหรับวัดระยะทางที่ได้จากการสุ่ม

    2.3 ไม้เมตรยาว 5 เมตร ใช้สำหรับวัดความสูง

    2.4 ตลับเมตรยาว 5 เมตร ใช้สำหรับวัดความยาวลำและความยาวใบ

    2.5 ไม้บรรทัด ใช้สำหรับวัดความกว้างใบ

    2.6 เวอร์เนียร์ ใช้สำหรับวัดขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางลำ

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

2.7 เครื่องวัดความหวานอ้อย (hand refractometer) รุ่น RHBN-32ATC

2.8 มีดตัดอ้อย ใช้สำหรับตัดลำต้นอ้อยออกจากแปลง

2.9 ปากกาเคมี ใช้สำหรับเขียนหมายเลขลำต้น จำนวนใบสด และจำนวนใบแห้ง

2.10 คัตเตอร์หรือกรรไกร ใช้สำหรับแยกใบสดและกาบใบสด

2.11 มีดพร้า สำหรับตัดลำต้นอ้อยให้มีขนาดเล็ก สามารถนำไปอบแห้งได้

2.12 ถุงกระดาษ ใช้สำหรับใส่ชิ้นส่วนอ้อยเพื่อนำมาอบแห้ง

2.13 เครื่องชั่ง ใช้สำหรับชั่งน้ำหนักสดและน้ำหนักแห้ง

2.14 ตู้อบลดความชื้น

3. อุปกรณ์ในการเก็บข้อมูลความเข้มข้นของ CO_2 และน้ำ ได้แก่

3.1 สมุดบันทึก

3.2 เครื่องคอมพิวเตอร์

3.3 โปรแกรม Logger Net version 4.3 บริษัท Campbell Scientific, Inc.

3.4 ชุดเครื่องมือวัดความเข้มข้นของ CO_2 และน้ำ ประกอบด้วย

3.4.1 เครื่องบันทึกข้อมูล (data logger) รุ่น CR3000

3.4.2 อุปกรณ์วัดการความเข้มข้นของ CO_2 และน้ำ (CO_2/H_2O open path infrared gas analyze) รุ่น LI-7500

3.5 อุปกรณ์ในการวัดความเร็วลม (3D sonic anemometer) รุ่น CSAT 3

3.6 เครื่องมือสำหรับดูแลรักษาเครื่องมือวัดความเข้มข้นของ CO_2 และน้ำ

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

วิธีการ

1. การเลือกพื้นที่

เลือกพื้นที่ที่เป็นแปลงปลูกอ้อยขนาดใหญ่ เพื่อติดตั้งอุปกรณ์ ในการศึกษาครั้งนี้ได้เลือกแปลงทดลองและขยายพันธุ์อ้อยดอนเจดีย์ ศูนย์ส่งเสริมอุตสาหกรรมอ้อยและน้ำตาลทรายภาคกลาง สำนักงานคณะกรรมการอ้อยและน้ำตาลทราย ตำบล ดอนเจดีย์ อำเภอพนมทวน จังหวัดกาญจนบุรี ตำแหน่ง latitude 14.03°N และ longtitude 99.86°E มีความสูงจากระดับน้ำทะเล 22.37 เมตร ซึ่งเป็นพื้นที่ปลูกอ้อยทั้งหมด 66 ไร่ และล้อมรอบไปด้วยแปลงอ้อยของเกษตรกร ตามหลักการการเลือกพื้นที่สำหรับการศึกษาของ Eddy Covariance technique ที่ต้องศึกษาในพื้นที่ที่ลักษณะภูมิประเทศเป็นที่ราบ พืชที่ศึกษาควรเป็นชนิดเดียวกัน (Schmid, 1997) และบริเวณที่ศึกษาควรเป็นที่โล่งไม่มีสิ่งปลูกสร้างหรือแนวต้นไม้ที่บังทิศทางที่ลมพัด (Hokkaido Research Center, Forestry and Forest Products Research Institute [FFPRI], 2012) ติดตั้งหอคอยตรวจวัดสูง 6 เมตร บริเวณกลางแปลงอ้อยที่ใช้ศึกษา ดังแสดงในภาพที่ 5

ภาพที่ 5 พื้นที่ศึกษาที่เป็นแปลงทดลองและขยายพันธุ์อ้อยดอนเจดีย์ ศูนย์ส่งเสริมอุตสาหกรรมอ้อยและน้ำตาลทรายภาคกลาง สำนักงานคณะกรรมการอ้อยและน้ำตาลทราย ต. ดอนเจดีย์ อ.พนมทวน จ. กาญจนบุรี และตำแหน่งติดตั้งหอคอยตรวจวัด (tower)

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

2. การติดตั้งแผงรับพลังงานแสงอาทิตย์

เพื่อให้เป็นแหล่งพลังงานไฟฟ้า จึงต้องติดตั้งระบบของแผงรับพลังงานแสงอาทิตย์ (solar panels) พร้อมด้วยชุดชาร์ทไฟ และแบตเตอรี่สำรองกระแสไฟ โดยติดตั้ง แผง solar panels บนคานเหล็กซึ่งติดอยู่กับเสาท่อเหล็กที่ปักลงไปในแปลง โดยพลังงานที่ได้จากแสงอาทิตย์ถูกแปลงเป็นกระแสไฟฟ้า 12 โวลต์ เพื่อใช้ในการทำงานของชุดเครื่องมือวัดสารประกอบทางอุตุนิยมวิทยา ชุดเครื่องมือวัดความเข้มข้น CO_2 และน้ำ และเครื่องบันทึกข้อมูล ซึ่งเป็นระบบที่ปฏิบัติตามคำแนะนำของ FFPRI (2012) และกระแสไฟฟ้าส่วนหนึ่งถูกเก็บไว้ในแบตเตอรี่สำรองกระแสไฟเพื่อใช้ในการทำงานในช่วงเวลากลางคืนหรือวันที่มีเมฆมาก

3. การติดตั้งเครื่องมือบันทึกข้อมูลทางอุตุนิยมวิทยา

ติดตั้งชุดเครื่องมือวัดสารประกอบทางอุตุนิยมวิทยา ประกอบด้วย เครื่องวัดอุณหภูมิอากาศ เครื่องวัดความชื้น เครื่องวัดปริมาณน้ำฝน เครื่องวัดปริมาณรังสีดวงอาทิตย์ เครื่องวัดความเร็วและทิศทางลม บนเสาสูง 6 เมตร ดังแสดงในภาพที่ 6 เชื่อมต่อเข้ากับอุปกรณ์บันทึกข้อมูล ซึ่งอุปกรณ์เหล่านี้จะเก็บข้อมูลโดยการควบคุมของเครื่องบันทึกข้อมูล (data logger) รุ่น CR1000 โดยซอร์ฟแวร์ Logger Net เก็บข้อมูลอุตุนิยมวิทยาทุกๆ 10 นาที และถ่ายโอนข้อมูล (download data) จาก data logger รุ่น CR1000 เข้าสู่เครื่องคอมพิวเตอร์ทุก 1 อาทิตย์ ตรวจสอบคุณภาพข้อมูล แล้วนำมาคำนวณเป็นข้อมูลเฉลี่ยเป็นรายครึ่งชั่วโมง หรือเป็นรายวัน ข้อมูลที่นำมาวิเคราะห์ ได้แก่

1. ปริมาณแสงอาทิตย์ ($MJm^{-2}d^{-1}$)
2. ปริมาณรังสีสุทธิ ($MJm^{-2}d^{-1}$)
3. ปริมาณของแสงที่พืชสามารถสังเคราะห์แสง ($\mu molm^{-2}s^{-1}$)
4. อุณหภูมิอากาศ (°C)
5. ความชื้นสัมพัทธ์ในอากาศ (%)
6. ความเร็ว (m/s) และทิศทางลม

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

7. ปริมาณน้ำฝน (mm)

8. ความชื้นในดิน (%V/V)

ภาพที่ 6 การติดตั้งอุปกรณ์เก็บข้อมูลความเข้มข้น CO_2 และน้ำ เครื่องวัดความเร็วลมในแนวตั้ง และชุดเครื่องมือวัดสารประกอบทางอุตุนิยมวิทยา

4. การเก็บข้อมูลการเจริญเติบโตและผลผลิตของอ้อย

การศึกษาในครั้งนี้ศึกษาในอ้อยตอ 1 ซึ่งแปลงที่ศึกษานี้ได้ปลูกอ้อยเมื่อ 30 มิถุนายน 2552 เก็บเกี่ยวอ้อยปลูกวันที่ 8 มิถุนายน 2553 ดังนั้นจึงเริ่มฤดูอ้อยตอ 1 เมื่อวันที่ 9 มิถุนายน 2553 เก็บข้อมูลการเจริญเติบโตและผลผลิตอ้อยครั้งแรกเมื่อวันที่ 10 กรกฎาคม 2553 (อ้อยตอ 1 อายุ 1 เดือน) และเก็บข้อมูลครั้งสุดท้ายเมื่อวันที่ 9 เมษายน 2554 เมื่ออ้อยอายุ 10 เดือน

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

การเก็บข้อมูลพืช โดยวัดการเจริญเติบโตและการสร้างชีวมวลของอ้อย การเจริญเติบโตประกอบด้วย การเปลี่ยนแปลงความสูง ขนาดลำต้น ความยาวและความกว้างใบ ติดตามการสร้างชีวมวลในส่วนต่างๆ ได้แก่ ใบและลำต้น วิธีการเก็บข้อมูลการเจริญเติบโตและการสร้างชีวมวลมีดังนี้

4.1 สุ่มแถวและระยะสุ่มที่เก็บข้อมูล โดยโปรแกรม Microsoft Excel สุ่ม
4.2 เมื่อได้ตัวเลขของแถวและระยะสุ่มแล้ว ใช้แถวดังกล่าวเป็นแถวที่จะเก็บข้อมูลและวัดระยะสุ่มเข้าไปตามแถวโดยใช้ตลับเมตรวัด
4.3 เมื่อได้จุดสุ่มแล้ววัดระยะตรงจุดสุ่มในแถวยาว 1.5 เมตร โดยใช้อ้อยในพื้นที่นี้ในการเก็บข้อมูล
4.4 สุ่มอ้อยในพื้นที่สุ่ม 3 ต้น ซึ่งมีขนาดใกล้เคียงกัน บันทึกเป็นต้นสุ่ม
4.5 เก็บข้อมูลอ้อยทีละ 1 ต้น ทั้งหมดในพื้นที่สุ่ม โดยเก็บใบแห้งใส่ถุงและบันทึกจำนวนใบแห้ง
4.6 แยกใบแห้งและกาบใบแห้ง
4.7 วัดความสูงคอใบ และความสูงสูงสุดของลำต้นและบันทึก
4.8 เขียนหมายเลขลำต้น
4.9 กำหนดหมายเลขใบ โดยให้ใบบนสุดที่เห็นคอใบชัดเจนใบแรก เป็นใบ + 1 ถัดจากใบ +1 ขึ้นไป คือใบ 0, -1, -2 ตามลำดับ ถัดจากใบ +1 ลงมา คือใบ +2, +3, +4 ตามลำดับ (Clement, 1980)
4.10 วัดความกว้าง ความยาว เริ่มจากใบที่อยู่บนสุดก่อน
4.11 ตัดแยกใบสดและกาบใบ
4.12 วัดเส้นผ่านศูนย์กลางลำและความยาวลำและบันทึกข้อมูล
4.13 ชั่งน้ำหนักรวมทั้งหมด
4.14 นำต้นสุ่มทั้ง 3 ต้น วัดความหวานโดยใช้เครื่อง hand refractometer ที่ระดับโคน กลาง และปลายลำต้น บันทึกข้อมูล
4.15 นำลำต้นสุ่ม 3 ต้นมาชั่งน้ำหนักลำต้นสุ่ม
4.16 สับลำต้นสุ่ม 3 ต้นให้ละเอียด ใส่ถุงกระดาษเพื่อนำกลับไปอบและหาน้ำหนักแห้ง
4.17 ชั่งน้ำหนักใบสด ใบแห้ง กาบใบสดและกาบใบแห้ง ตัดใส่ถุงกระดาษเพื่อนำกลับไปอบและหาน้ำหนักแห้ง
4.18 นำตัวอย่างอ้อยที่เก็บได้จากแปลงมาอบลดความชื้น ที่อุณหภูมิ 80°C เวลา 1 สัปดาห์ หรือจนกว่าตัวอย่างที่เก็บมาแห้งสนิท
4.19 นำตัวอย่างอ้อยที่แห้งสนิทมาชั่งน้ำหนักแห้ง บันทึกข้อมูล

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

เริ่มเก็บข้อมูลการเจริญเติบโตและผลผลิตของอ้อยตอ 1 เมื่ออ้อยมีอายุ 1 เดือน เก็บข้อมูลทุก 1 เดือนจนเก็บเกี่ยว ในการเก็บข้อมูลแต่ละเดือนสุ่มจุดเก็บตัวอย่าง 7 จุดๆ ละประมาณ 12-15 ต้น

5. การติดตั้งเครื่องมือบันทึกข้อมูลคาร์บอนไดออกไซด์ (CO_2) และการใช้น้ำ

ติดตั้งชุดอุปกรณ์การเก็บข้อมูลความเข้มข้น CO_2 และน้ำ (CO_2/H_2O open path infrared gas analyzer) และอุปกรณ์ในการวัดความเร็วลม (sonic anemometer) บนเสา (tower) โดยให้ CO_2/H_2O analyzer และ sonic anemometer อยู่สูงกว่าทรงพุ่มพืช 2 เมตร (FFPRI, 2012) ดังแสดงในภาพที่ 7 เชื่อมต่อเข้ากับอุปกรณ์บันทึกข้อมูล โดยเทคนิค Eddy Covariance (EC) เริ่มจากการเก็บข้อมูลด้วยเครื่องมือ (sensor) ต่างๆ ซึ่งจะได้ข้อมูลดิบที่มีความถี่ของการเก็บข้อมูล 20 Hz ข้อมูลที่ได้มาจะถูกเก็บไว้ในเครื่องบันทึกข้อมูล (data logger) รุ่น CR3000 โดยซอร์ฟแวร์ Logger Net เก็บข้อมูลความเข้มข้น CO_2 และน้ำทุกๆ 30 นาที และถ่ายโอนข้อมูล (down load data) จาก data logger รุ่น CR3000 เข้าสู่เครื่องคอมพิวเตอร์ทุก 1 อาทิตย์ ตรวจสอบคุณภาพข้อมูล แล้วนำมาคำนวณเป็นข้อมูลเฉลี่ยรายวัน ข้อมูลที่นำมาวิเคราะห์ ได้แก่

1. ความเข้มข้นของคาร์บอนไดออกไซด์ ($\mu molm^{-3}$)
2. ความเข้มข้นของไอน้ำ ($\mu molm^{-3}$)

ภาพที่ 7 อุปกรณ์วัดความเข้มข้นของคาร์บอนไดออกไซด์ (CO_2) และน้ำ (CO_2/H_2O open path infrared gas analyzer) และเครื่องวัดความเร็วลมสามทิศทาง (sonic anemometer)

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

6. การจัดการข้อมูลของ Eddy Covariance technique

ข้อมูลที่ได้จาก Eddy Covariance technique นั้นมาจาก 2 ส่วนได้แก่ ข้อมูลจากการ์ดบันทึกข้อมูล (compact flash card) ซึ่งข้อมูลที่ได้เป็นข้อมูลที่เก็บในทุกๆ 20 Hz และข้อมูลจากเครื่องบันทึกข้อมูล (data logger) ซึ่งเป็นข้อมูลที่เก็บในทุกๆ 20 Hz และถูกเฉลี่ยออกมาเป็นข้อมูล 30 นาทีการศึกษานี้ได้นำข้อมูลเฉลี่ย 30 นาทีมาวิเคราะห์และประมวลผล ขั้นตอนการจัดการข้อมูลของ Eddy Covariance technique ตามขั้นตอนของ Miyata (2007) มีดังนี้

6.1 ตรวจสอบคุณภาพของข้อมูล (quality control)

6.2 ปรับแก้ข้อมูลในกรณีที่ข้อมูลสูญหาย (gap-filling missing data)

6.3 จัดเก็บข้อมูล โดยเป็นข้อมูลทุก 30 นาที

6.4 วิเคราะห์และประมวลผลข้อมูล

ข้อมูลความเข้มข้นของ CO_2 และน้ำที่ผ่านกระบวนการจัดการข้อมูลแล้วนำมาคำนวณหาค่าการแลกเปลี่ยน CO_2 และน้ำ ตามหลักการคำนวณโดย FFPRI (2012) ดังสมการ

$$F = \overline{\rho_a} \cdot \overline{w'r'}$$

โดย F แทนค่าการแลกเปลี่ยนของ CO_2 หรือ น้ำ

ρ_a แทนค่าเฉลี่ยความหนาแน่นของอากาศ

w' แทนค่าเฉลี่ยความแปรปรวนร่วมของความเร็วลมในแนวตั้ง (vertical velocity) ที่วัดได้จากเครื่องมือ CSAT3

r' แทนค่าเฉลี่ยความแปรปรวนร่วมของความเข้มข้นของ CO_2 หรือ น้ำ ที่วัดได้จากเครื่องมือ LI-7500

7. การคำนวณประสิทธิภาพการตรึงคาร์บอนไดออกไซด์และประสิทธิภาพการใช้น้ำ

ประสิทธิภาพการตรึง CO_2 คำนวณจากปริมาณ CO_2 ที่แปลงอ้อยสามารถกักเก็บไว้ได้ ต่อปริมาณผลผลิตพืชนั้น จากผลงานวิจัยของ เจษฎา และคณะ (2552) ได้คำนวณประสิทธิภาพการตรึง CO_2 ด้วยผลการตรวจวัดปริมาณ CO_2 ที่แปลงอ้อยสามารถกักเก็บไว้ได้จาก EC โดยใช้สูตร

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

$$\text{ประสิทธิภาพการตรึงคาร์บอนไดออกไซด์} = \frac{CO_2 \text{ fixation } (\text{trai}^{-1} \text{ year}^{-1})}{\text{yield } (\text{trai}^{-1})}$$

ประสิทธิภาพการใช้น้ำ หรือวอเตอร์ฟุตปริ้นต์ (water footprint) เป็นเครื่องชี้วัดปริมาณน้ำที่ใช้ไป (หรือรวมถึงปริมาณน้ำเสียที่ปล่อยออกมาจากระบบการผลิต) คำนวณจากปริมาณน้ำที่พืชใช้ ต่อปริมาณผลผลิตพืชนั้น ซึ่งสามารถคำนวณได้จากผลการตรวจวัดปริมาณการใช้น้ำด้วย EC และสูตรที่ใช้ในการคำนวณอ้างอิงโดยการศึกษาของ Bhardwaj *et al*., (2011) ดังนี้

$$\text{WF (yield)} = \frac{\text{CWU}}{\text{yield}}$$

หรือ

$$\text{WF (ANPP)} = \frac{\text{CWU}}{\text{ANPP}}$$

โดยที่ WF = water footprint

CWU = ปริมาณการใช้น้ำของพืช ซึ่งประเมินได้จาก EC

ANPP = ปริมาณชีวมวลทั้งหมดของพืช

8. การวิเคราะห์ทางสถิติ

วิเคราะห์หาความสัมพันธ์ระหว่างการแลกเปลี่ยน CO_2 และน้ำ กับปัจจัยทางอุตุนิยมวิทยา โดยวิเคราะห์รีเกรสชั่นและสหสัมพันธ์ (regression and correlation analysis) ในโปรมแกรม R 2.13.0 (R development core team, 2012)

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

สถานที่และระยะเวลาทำการวิจัย

สถานที่วิจัย

แปลงทดลองและขยายพันธุ์อ้อยดอนเจดีย์ ศูนย์ส่งเสริมอุตสาหกรรมอ้อยและน้ำตาลทราย ภาคกลาง สำนักงานคณะกรรมการอ้อยและน้ำตาลทราย ต. ดอนเจดีย์ อ. พนมทวน จ. กาญจนบุรี

ภาควิชาพืชไร่นา คณะเกษตร กำแพงแสน หาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ วิทยาเขตกำแพงแสน อ. กำแพงแสน จ. นครปฐม

ระยะเวลาทำการวิจัย

ตั้งแต่เดือน มิถุนายน 2553 ถึง เดือน มกราคม 2556

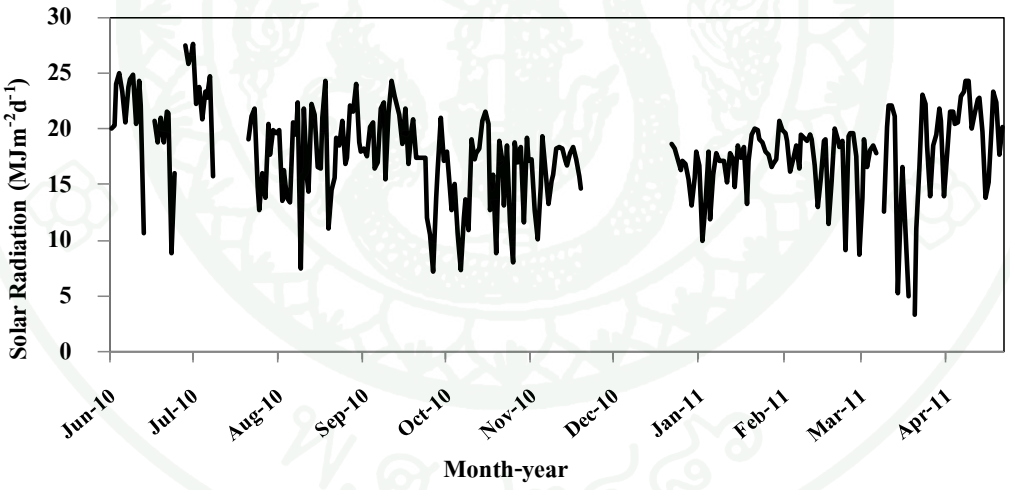
ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ผลและวิจารณ์ผลการทดลอง

1. ข้อมูลอุตุทางอุตุนิยมวิทยา

1.1 ปริมาณรังสีดวงอาทิตย์ (solar radiation)

ปริมาณรังสีดวงอาทิตย์ระหว่างวันที่ 9 มิถุนายน 2553 - 30 เมษายน 2554 ตลอดทั้งวันมีค่ารวมทั้งวันอยู่ระหว่าง 3.29-27.55 $MJm^{-2}d^{-1}$ มีค่าเฉลี่ยตลอดระยะเวลาที่เก็บข้อมูลเท่ากับ 17.83 $MJ\ m^{-2}d^{-1}$ ค่าสูงสุดวัดได้เมื่อวันที่ 7 ตุลาคม 2553 และค่าน้อยที่สุดวัดได้เมื่อวันที่ 29 มีนาคม 2554 (ภาพที่ 8) ปริมาณรังสีดวงอาทิตย์มีความสัมพันธ์กับปริมาณน้ำฝน โดยปริมาณรังสีดวงอาทิตย์มีค่าน้อยในช่วงที่มีฝนตก เนื่องจากมีเมฆมากจึงบดบังรังสีดวงอาทิตย์ที่ส่องลงมายังแปลงอ้อย ข้อมูลสูญหายในบางช่วงเกิดจากอุปกรณ์บางส่วนเสียหายและ/หรือปริมาณไฟฟ้าไม่เพียงพอ

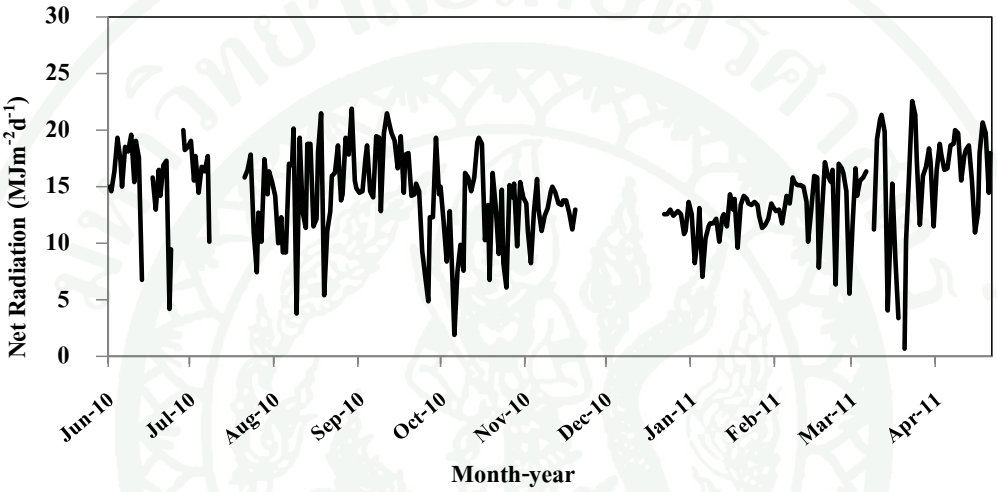


ภาพที่ 8 ปริมาณรังสีดวงอาทิตย์ ระหว่างวันที่ 9 มิถุนายน 2553 - 30 เมษายน 2554

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

1.2 ปริมาณรังสีสุทธิ (net radiation)

ปริมาณรังสีสุทธิ ระหว่างวันที่ 9 มิถุนายน 2553 - 30 เมษายน 2554 มีค่ารวมทั้งวันอยู่ระหว่าง 0.63-22.55 $MJm^{-2}d^{-1}$ มีค่าเฉลี่ยตลอดระยะเวลาที่เก็บข้อมูลเท่ากับ 14.20 $MJm^{-2}d^{-1}$ ค่าสูงที่สุดพบเมื่อวันที่ 1 เมษายน 2554 และค่าน้อยที่สุดพบเมื่อวันที่ 29 มีนาคม 2554 (ภาพที่ 9)

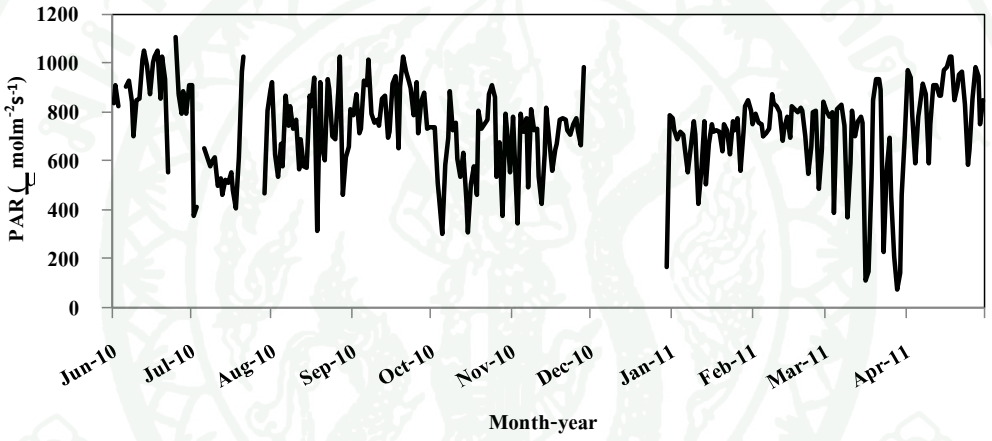


ภาพที่ 9 ปริมาณรังสีสุทธิ ($MJm^{-2}d^{-1}$) ระหว่างวันที่ 9 มิถุนายน 2553 - 30 เมษายน 2554

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

1.3 ปริมาณของแสงที่พืชสามารถใช้ในการสังเคราะห์แสงได้ (Photosynthetically Active Radiation, PAR)

ลักษณะปริมาณของแสงที่พืชสามารถใช้ในการสังเคราะห์แสงได้ ในพื้นที่แปลงอ้อยตอ 1 ระหว่างวันที่ 9 มิถุนายน 2553 - 30 เมษายน 2554 มีค่าเฉลี่ยอยู่ระหว่าง 76-994.4 $\mu molm^{-2}s^{-1}$ (ภาพที่ 10) พบว่าค่าเฉลี่ยต่ำสุด อยู่ในช่วงเดือนมีนาคม 2554 ซึ่งเป็นช่วงที่มีอากาศหนาวและมีเมฆมาก ส่วนค่าเฉลี่ยสูงสุดพบในช่วงเดือนกรกฎาคม 2553 ซึ่งเป็นช่วงที่ท้องฟ้าเปิด

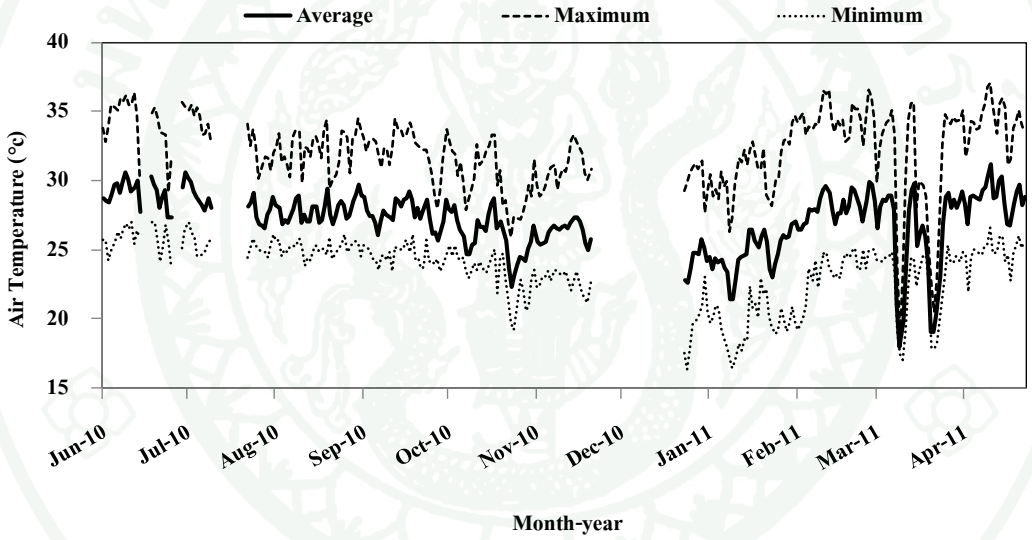


ภาพที่ 10 ปริมาณแสงที่พืชสามารถใช้ในการสังเคราะห์แสงได้ ($\mu molm^{-2}s^{-1}$) ตั้งแต่วันที่ 9 มิถุนายน 2553 - 30 เมษายน 2554

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

1.4 อุณหภูมิอากาศ (air temperature)

อุณหภูมิของอากาศระหว่างวันที่ 9 มิถุนายน 2553 - 30 เมษายน 2554 มีค่าเฉลี่ยทั้งวันผกผันอยู่ระหว่าง 18.0 - 31.1 องศาเซลเซียส โดยมีอุณหภูมิต่ำสุด 16.3 องศาเซลเซียส ในวันที่ 1 มกราคม 2554 เวลา 6.30 น. และอุณหภูมิสูงสุด 37.3 องศาเซลเซียส ในวันที่ 18 เมษายน 2554 เวลา 15.30 น. (ภาพที่ 11) ในช่วงวันที่ 17-29 มีนาคม 2554 มีอุณหภูมิลดลง เนื่องจากช่วงเวลาดังกล่าวมีความกดอากาศสูงกำลังค่อนข้างแรงจากประเทศจีนปกคลุมประเทศไทยตอนบน ลักษณะดังกล่าวมีผลให้ประเทศไทยมีฝนตกทั่วไปและมีอุณหภูมิลดลง (กรมอุตุนิยมวิทยา, 2554)

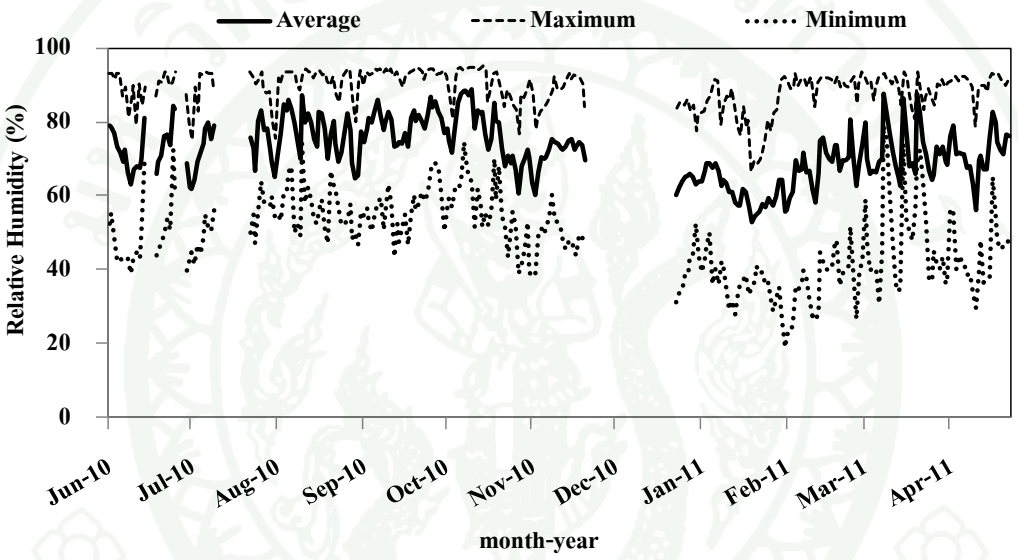


ภาพที่ 11 อุณหภูมิเฉลี่ยของอากาศ (°C) ระหว่างวันที่ 9 มิถุนายน 2553 - 30 เมษายน 2554

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

1.5 ความชื้นสัมพัทธ์ของอากาศ (relative humidity)

ความชื้นสัมพัทธ์ของอากาศระหว่างวันที่ 9 มิถุนายน 2553 - 30 เมษายน 2554 มีค่าผันแปรอยู่ระหว่าง 19.1 – 95.2% โดยมีความชื้นสัมพัทธ์ของอากาศเฉลี่ยต่ำสุด 19.1% ในวันที่ 8 กุมภาพันธ์ 2554 และความชื้นสัมพัทธ์ของอากาศเฉลี่ยสูงสุด 95.2% ในวันที่ 22 ตุลาคม 2553 ขณะที่ค่าเฉลี่ยของค่าความชื้นสัมพัทธ์ของอากาศมีค่าผันแปรอยู่ระหว่าง 52.9 – 88.8% (ภาพที่ 12)

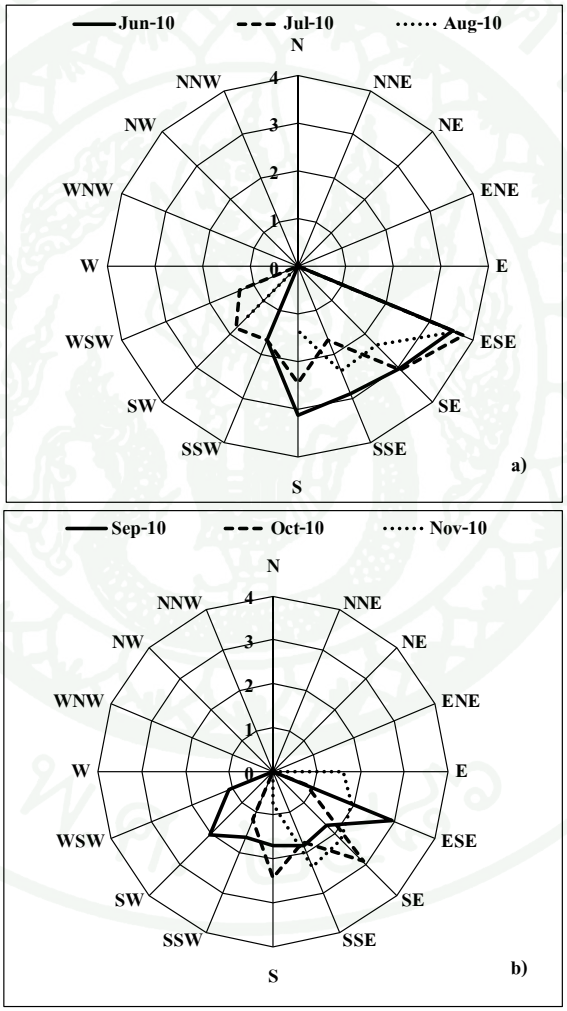


ภาพที่ 12 ความชื้นสัมพัทธ์เฉลี่ยของอากาศ (%) ระหว่างวันที่ 9 มิถุนายน 2553 - 30 เมษายน 2554

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

1.6 ความเร็วและทิศทางลม (wind speed and wind direction)

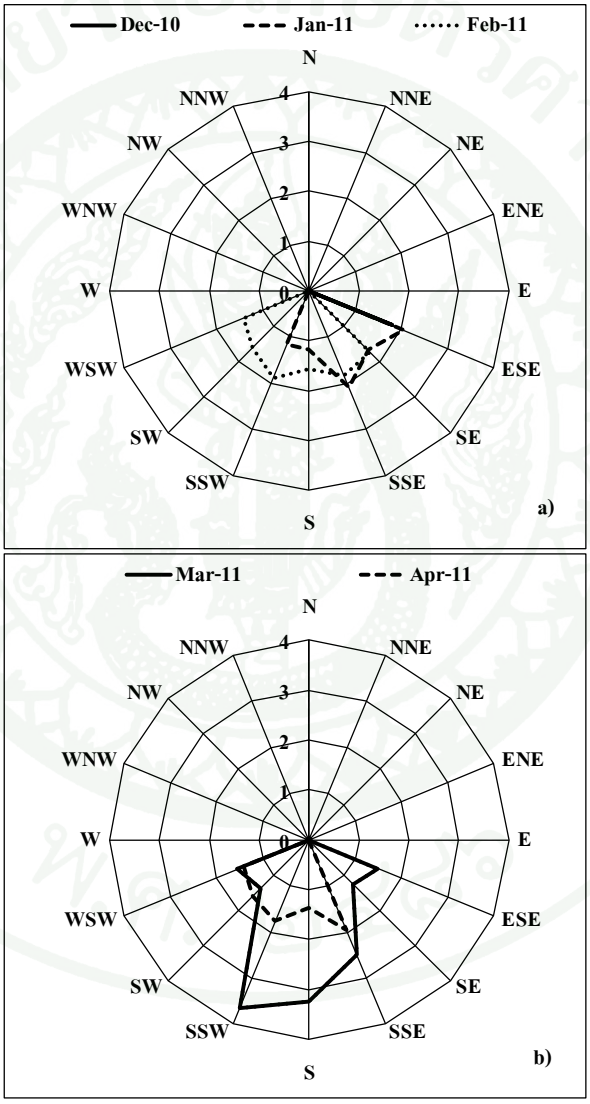
จากข้อมูลทิศทางและความเร็วลมระหว่างวันที่ 9 มิถุนายน 2553 – 30 เมษายน 2554 พบว่าในเดือนมิถุนายน กรกฎาคม และสิงหาคม 2553 นั้นลมมาจากทางทิศตะวันออกเฉียงใต้ ความเร็วลมอยู่ระหว่าง 0-3.8 m/s (ภาพที่ 13a) เดือนกันยายน ตุลาคม และพฤศจิกายน 2553 ลมมาจากทิศตะวันออกเฉียงใต้ ความเร็วลมอยู่ระหว่าง 0-2.8 m/s (ภาพที่ 13b)



ภาพที่ 13 ความเร็ว (m/s) และทิศทางลมระหว่างวันที่ 9 มิถุนายน - 31 สิงหาคม 2553 (a) และระหว่างวันที่ 1 กันยายน 2553 - 30 พฤศจิกายน 2553 (b)

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

เดือนธันวาคม 2553 และมกราคม 2554 ลมมาจากทิศตะวันออกเฉียงใต้ ความเร็วลมอยู่ระหว่าง 0-2 m/s แต่ในเดือนกุมภาพันธ์ 2554 ลมมาจากทิศตะวันตกเฉียงใต้แสดงถึงการเริ่มเปลี่ยนฤดูกาล โดยความเร็วลมอยู่ระหว่าง 0-2 m/s (ภาพที่ 14a) และในเดือนมีนาคม - เมษายน 2554 ลมมาจากทิศตะวันตกเฉียงใต้ โดยในเดือนมีนาคมนั้นความเร็วลมอยู่ระหว่าง 0-3.6 m/s ซึ่งแตกต่างจากเดือนเมษายนที่มีความเร็วลมอยู่ระหว่าง 0-2 m/s (ภาพที่ 14b)

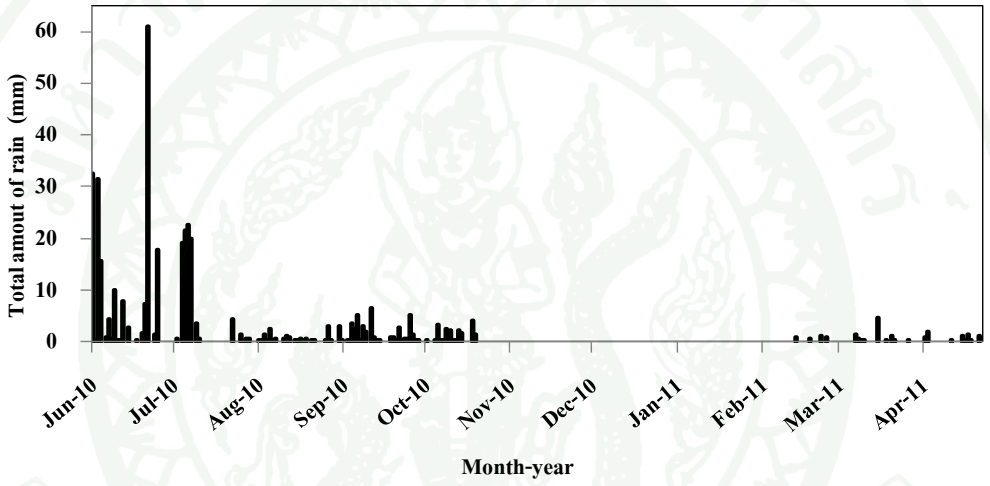


ภาพที่ 14 ความเร็ว (m/s) และทิศทางลมระหว่างวันที่ 1 ธันวาคม 2553 - 28 กุมภาพันธ์ 2554 (a) และระหว่างวันที่ 1 มีนาคม - 30 เมษายน 2554 (b)

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

1.7 ปริมาณน้ำฝน (amount of rainfall)

ปริมาณน้ำฝนระหว่างวันที่ 9 มิถุนายน 2553 - 30 เมษายน 2554 พบว่า มีฝนตกกระจายตั้งแต่ต้นเดือนมิถุนายน จนถึงสิ้นเดือนตุลาคม 2553 หลังจากนั้นไม่มีฝนตกจนถึงกลางเดือนกุมภาพันธ์ 2554 จึงมีฝนตกอีกครั้ง ปริมาณฝนตกมากที่สุดต่อวัน คือ 61.1 มิลลิเมตร เมื่อวันที่ 29 มิถุนายน 2553 และปริมาณน้ำฝนรวมตลอดการทดลอง เท่ากับ 687 มิลลิเมตร (ภาพที่ 15)

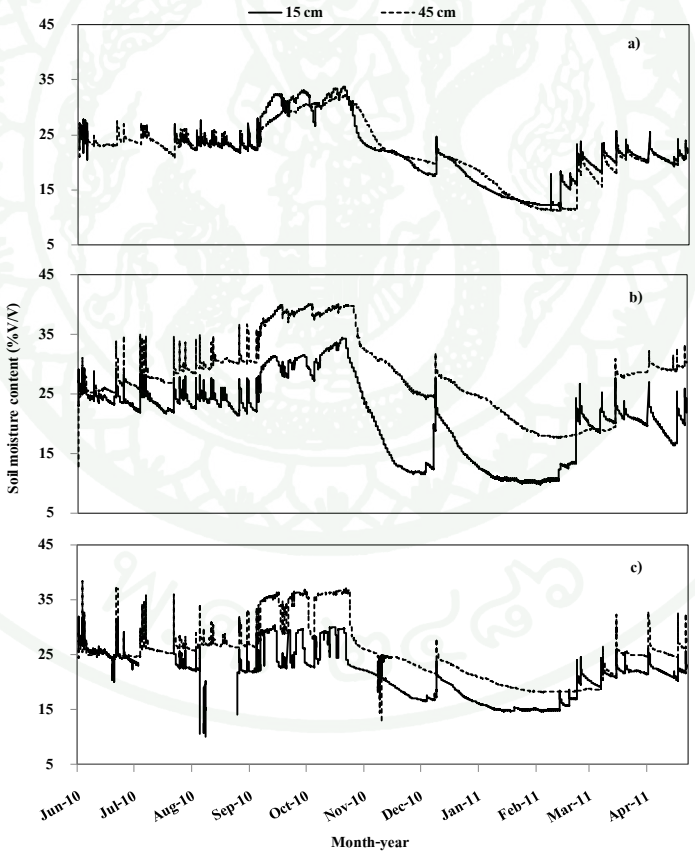


ภาพที่ 15 ปริมาณน้ำฝนรายวัน (มิลลิเมตร) ระหว่างวันที่ 9 มิถุนายน 2553 - 30 เมษายน 2554

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

1.8 ปริมาณความชื้นในดิน (soil moisture content)

ปริมาณความชื้นในดินวัดจาก 3 จุด รอบๆ tower ที่ระดับความลึก 15 และ 45 เซนติเมตร เริ่มวัดเมื่อวันที่ 9 มิถุนายน 2553 - 30 เมษายน 2554 ความชื้นของดินทั้ง 2 ชั้นแตกต่างกัน โดยดินชั้นบนของตำแหน่งที่ 1 มีความชื้นมากกว่าดินชั้นล่าง ตำแหน่งที่ 1 ความชื้นดินที่ระดับ 15 และ 45 เซนติเมตร อยู่ระหว่าง 11.2-33.8 และ 11.2-32.1%V/V (ภาพที่ 16a) ตามลำดับตำแหน่งที่ 2 และ 3 ดินชั้นบนมีความชื้นน้อยกว่าดินชั้นล่าง โดยตำแหน่งที่ 2 มีความชื้นดินที่ระดับ 15 และ 45 เซนติเมตร อยู่ระหว่าง 9.7-34.4 และ 12.8-40.2 %V/V ตามลำดับ (ภาพที่ 16b) และตำแหน่งที่ 3 ความชื้นดินที่ระดับ 15 และ 45 เซนติเมตร อยู่ระหว่าง 10.1-31.9 และ 13.0-38.4%V/V (ภาพที่ 16c) ตามลำดับ



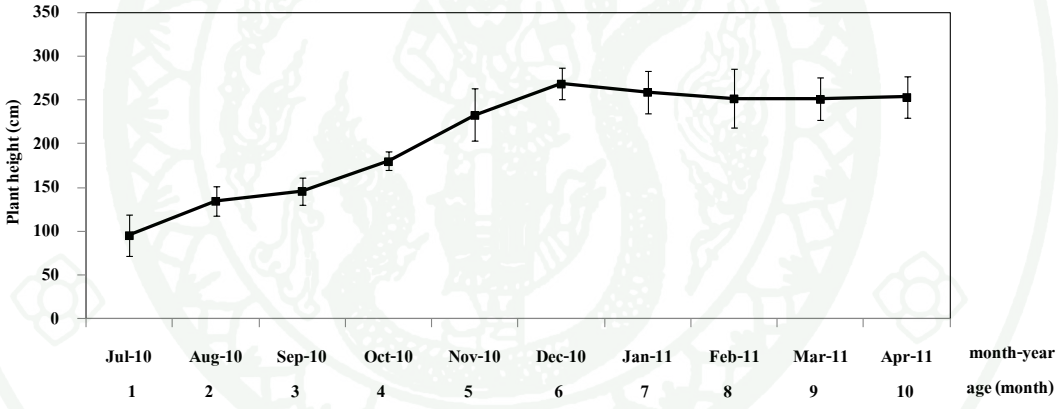
ภาพที่ 16 ความชื้นดิน (%V/V) ที่ระดับความลึก 15 และ 45 เซนติเมตร จากตำแหน่งที่ 1 (a), ตำแหน่งที่ 2 (b) และตำแหน่งที่ 3 (c) ระหว่างวันที่ 9 มิถุนายน 2553 - 30 เมษายน 2554

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

2. ข้อมูลพืช

2.1 ความสูงพืช (plant height)

ความสูงอ้อยตอ 1 เริ่มศึกษาที่อ้อยตอ 1 อายุ 1 เดือน หลังจากตัดอ้อยปลูก (เดือนกรกฎาคม 2553) จนถึงเก็บเกี่ยวอ้อยตอ 1 (เดือนเมษายน 2554) ดังภาพที่ 17 พบว่าความสูงอ้อยเริ่มเพิ่มขึ้นเรื่อยๆ จนถึงที่อายุ 6 เดือน อ้อยตอ 1 มีค่าความสูงเฉลี่ยมากที่สุด 268.7 ซม. ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานมีค่าอยู่ระหว่าง ±10.5 ถึง ±33.7 หลังจากนั้นความสูงเริ่มลดลงเล็กน้อยและความสูงเริ่มคงที่เมื่ออ้อยอายุ 8 เดือน เพราะเป็นช่วงอายุที่อ้อยเริ่มเข้าสู่ระยะสุกแก่ ซึ่งอ้อยมีอัตราการเจริญเติบโตลดลง (สุทิชา, 2551)

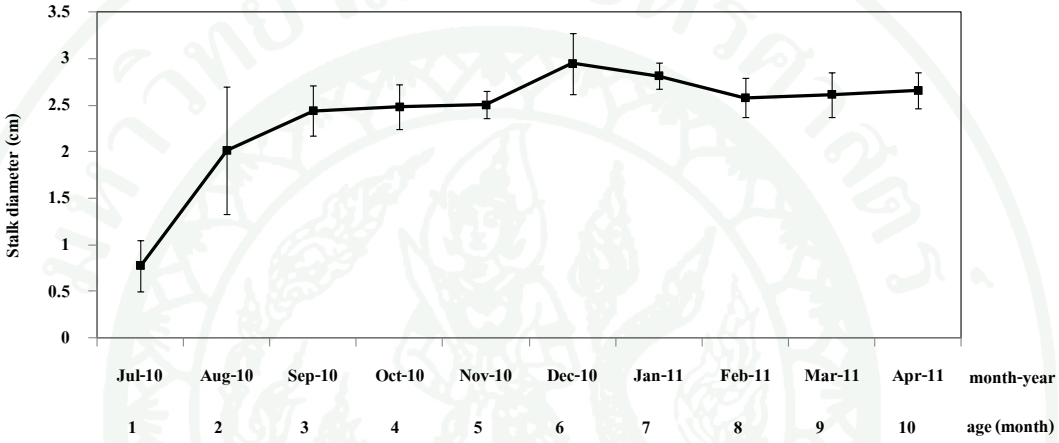


ภาพที่ 17 ความสูง (cm) อ้อยตอ 1 ในแปลงทดลอง

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

2.2 ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางลำ (stalk diameter)

ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางลำ วัดจากส่วนโคน กลาง และปลาย ของลำอ้อย และนำมาหาค่าเฉลี่ย พบว่าขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางลำมีค่าเพิ่มขึ้นตั้งแต่อ้อยอายุ 1 เดือน จนเมื่ออ้อยอายุ 6 เดือน มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางสูงสุด 2.9 ซม. หลังจากนั้นขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางลำลดลง และเริ่มคงที่เมื่ออ้อยมีอายุ 8 เดือน ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานมีค่าอยู่ระหว่าง ±0.1 ถึง ±0.7 (ภาพที่ 18)

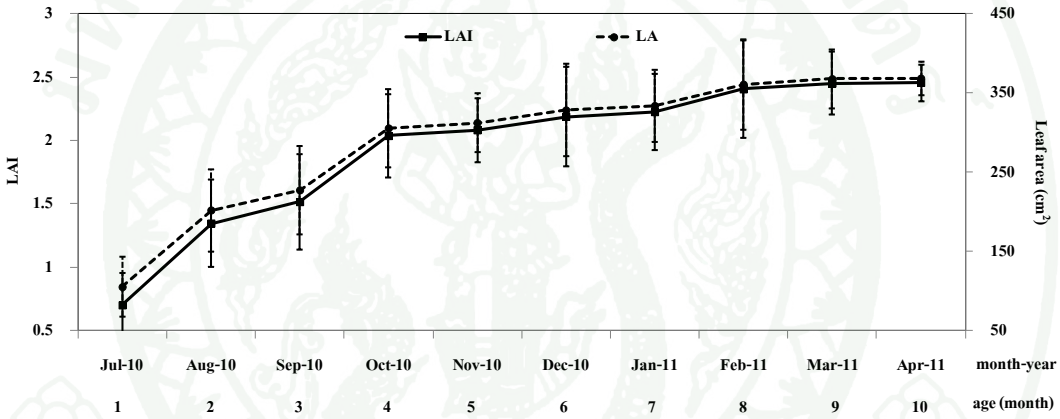


ภาพที่ 18 เส้นผ่านศูนย์กลางลำ (cm)

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

2.3 พื้นที่ใบและดัชนีพื้นที่ใบ (leaf area and leaf area index)

พื้นที่ใบและดัชนีพื้นที่ใบมีค่าเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็วเมื่ออ้อยอายุ 1 ถึง 3 เดือน ซึ่งอ้อยอยู่ในระยะงอกและแตกกอ เป็นระยะที่อ้อยมีการเจริญเติบโตอย่างรวดเร็ว เมื่ออ้อยอายุ 4 เดือนเป็นต้นไป ดัชนีและพื้นที่ใบของอ้อยมีค่าเพิ่มขึ้นอย่างช้าๆ จนเมื่ออ้อยอายุ 8 เดือนดัชนีพื้นที่ใบและพื้นที่ใบมีค่าค่อนข้างคงที่ เนื่องจากในช่วงนี้อ้อยเริ่มเข้าสู่ระยะสุกแก่ สารอาหารที่พืชสร้างได้จะใช้เพื่อการสะสมน้ำหนักหรือผลผลิตมากกว่านำมาใช้เพื่อเจริญเติบโต (Pakoktom, 2009) ดัชนีพื้นที่ใบสูงสุด 2.5 และพื้นที่ใบสูงสุด 368.5 cm^2 ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานของดัชนีพื้นที่ใบและพื้นที่ใบอยู่ระหว่าง ±0.1 ถึง ±0.4 และ ±21.5 ถึง ±58.7 ตามลำดับ (ภาพที่ 19)



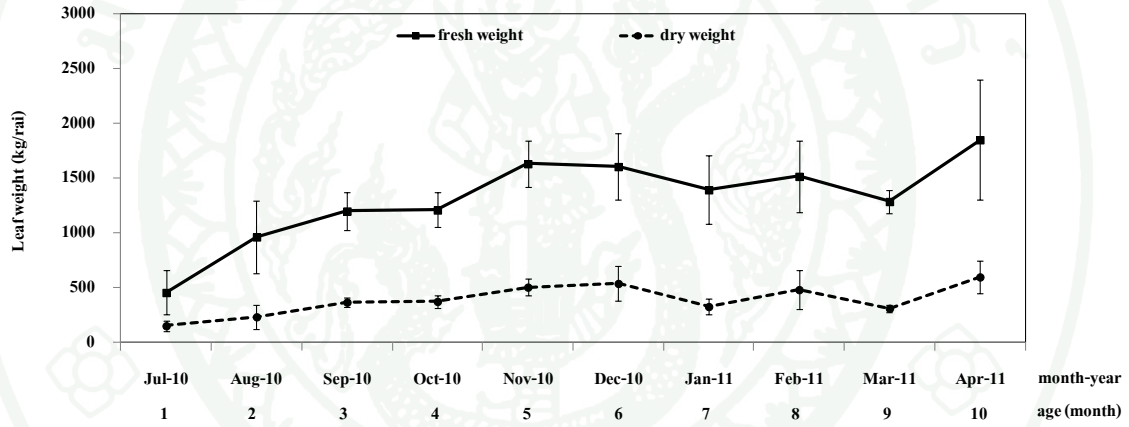
ภาพที่ 19 พื้นที่ใบ (cm^2) และดัชนีพื้นที่ใบ

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

2.4 น้ำหนักสดและน้ำหนักแห้ง (fresh and dry weight)

2.4.1 น้ำหนักสดและน้ำหนักแห้งลำต้น (fresh and dry weight of cane)

อ้อยตอ 1 เริ่มสะสมน้ำหนักหลังจากตัดอ้อยปลูก โดยน้ำหนักสดและน้ำหนักแห้งของอ้อยค่อยๆ เพิ่มมากขึ้นตั้งแต่อ้อยอายุ 1 เดือน และอ้อยมีน้ำหนักสดและน้ำหนักแห้งจากขึ้นเมื่ออายุเพิ่มมากขึ้น (ภาพที่ 20) เมื่ออ้อยอายุ 9 เดือนมีการสะสมของน้ำหนักสดและน้ำหนักแห้งมากที่สุด โดยอ้อยมีน้ำหนักสด 10,804.7 กิโลกรัม/ไร่ หรือคิดเป็น 10.8 ตัน/ไร่ และน้ำหนักแห้ง 3,728.2 กิโลกรัม/ไร่ หรือ 3.7 ตัน/ไร่ ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานของน้ำหนักสดและน้ำหนักแห้งเท่ากับ ±41.8 ถึง ±846.1 และ ±9.6 ถึง ±834.7 ตามลำดับ

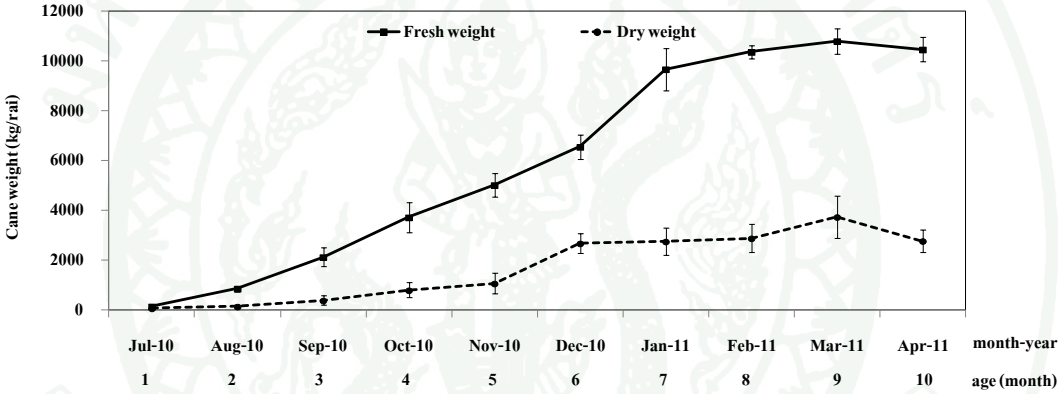


ภาพที่ 20 น้ำหนักสดและน้ำหนักแห้งลำต้น (kg/rai)

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

2.4.2 น้ำหนักสดและน้ำหนักแห้งใบ (fresh and dry weight of leaf)

ในระยะงอกอ้อยมีการเจริญเติบโตและการสะสมน้ำหนักใบค่อนข้างช้า และสะสมน้ำหนักของใบจะเพิ่มสูงขึ้นเมื่ออ้อยอายุ 2-3 เดือน ซึ่งอยู่ในระยะแตกกอซึ่งอ้อยมีจำนวนใบจริงเพิ่มขึ้นเพื่อรับปัจจัยต่างๆ (จันทร์สว่าง, 2547) ในระยะย่างปล้อง อ้อยอายุ 4-8 เดือน อ้อยมีการสะสมน้ำหนักใบค่อนข้างสูง เนื่องจากระยะนี้อ้อยมีการเจริญเติบโตเพื่อเพิ่มขนาดและการสะสมน้ำหนักมาก (จันทร์สว่าง, 2547) อ้อยมีน้ำหนักสดและน้ำหนักแห้งใบสูงสุดเมื่ออายุ 10 เดือน โดยมีน้ำหนักสดและน้ำหนักแห้งใบ 1,846 และ 595.2 กิโลกรัมกรัม/ไร่ ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานของน้ำหนักสดและน้ำหนักแห้งใบอยู่ระหว่าง ±104 ถึง ±549.9 และ ±32.3 ถึง ±177.6 ตามลำดับ (ภาพที่ 21)

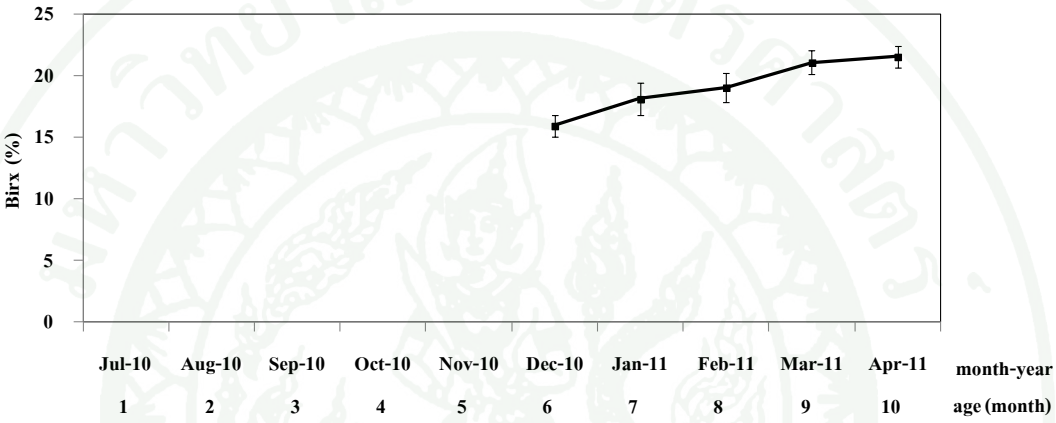


ภาพที่ 21 น้ำหนักสดและน้ำหนักแห้งใบ (g/rai)

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

2.5 ค่าบริกซ์ (%Brix)

การสะสมน้ำตาลหรือความหวานของอ้อย ซึ่งดูจากค่าบริกซ์ (เจษฎา, 2553) เริ่มวัดเมื่ออ้อยอายุ 6 เดือนจนถึงอ้อยอายุ 10 เดือน พบว่า ที่อายุ 6 เดือนอ้อยมีความหวานเฉลี่ย 16.0 Brix และเมื่ออ้อยมีอายุเพิ่มมากขึ้นค่าความหวานเพิ่มขึ้น โดยเมื่อเก็บเกี่ยวอ้อยที่อายุ 10 เดือนอ้อยมีความหวานเฉลี่ยมากสุด เท่ากับ 21.6 Brix ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานอยู่ระหว่าง ±0.9 - ±1.3 (ภาพที่ 22)



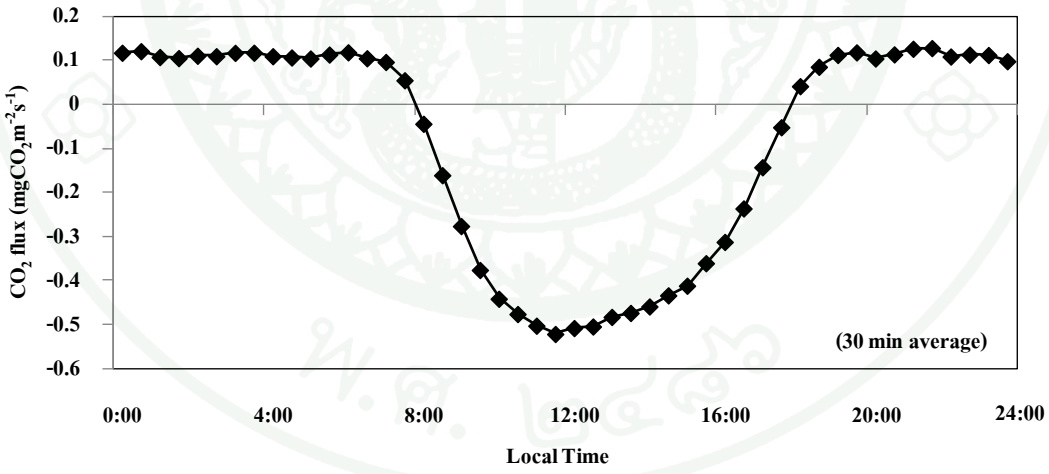
ภาพที่ 22 ค่าบริกซ์ (%) ของอ้อยตอ 1 ที่อายุ 5-10 เดือน (เดือนธันวาคม 2553 - เมษายน 2554)

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

3. ข้อมูลการแลกเปลี่ยนก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ (CO_2 flux) ระหว่างแปลงอ้อยตอ 1 กับบรรยากาศ

3.1 การแลกเปลี่ยนก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ในรอบวัน (daily trend of CO_2 flux)

การแลกเปลี่ยนก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ (CO_2 flux) ระหว่างแปลงอ้อยตอ 1 กับบรรยากาศในรอบวัน ระหว่างวันที่ 9 มิถุนายน 2553 – 30 เมษายน 2554 แสดงดังภาพที่ 23 จากการศึกษาพบว่า CO_2 flux มีค่าอยู่ระหว่าง -0.52-0.13 $mgCO_2m^{-2}s^{-1}$ โดยค่า CO_2 flux มีค่าเป็นบวกในเวลากลางคืน แต่ค่า CO_2 flux นั้นมีค่าเป็นลบในเวลากลางวัน โดยเริ่มมีค่าเป็นลบเมื่อเวลาประมาณ 8.00 น. หรือในช่วงที่เริ่มมีแสง หลังจากนั้นมีค่าเป็นลบมากขึ้นเรื่อยๆ จนมากสุดเมื่อเวลาประมาณ 12.00 น. และค่าลบลดลงเรื่อยๆ จนมีค่าเป็นบวกเมื่อเวลาประมาณ 18.00 น. โดย CO_2 flux ที่มีค่าเป็นบวกหมายถึงการปลดปล่อย CO_2 จากแปลงอ้อยสู่บรรยากาศ ส่วนค่าที่เป็นลบ หมายถึงการดูดซับ CO_2 จากบรรยากาศเข้าสู่แปลงอ้อย จากผลการศึกษาให้ผลคล้ายกับการศึกษาของ Komiya *et al*. (2010) ที่ศึกษาผลของภูมิอากาศที่มีผลต่อการปลดปล่อยก๊าซเรือนกระจกจากนาข้าวโดย REA technique ที่พบว่า CO_2 flux มีค่าเพิ่มมากขึ้นเมื่อปริมาณแสงอาทิตย์ลดลง ซึ่งเป็นผลจากการหายใจของข้าวในช่วงเวลากลางคืน

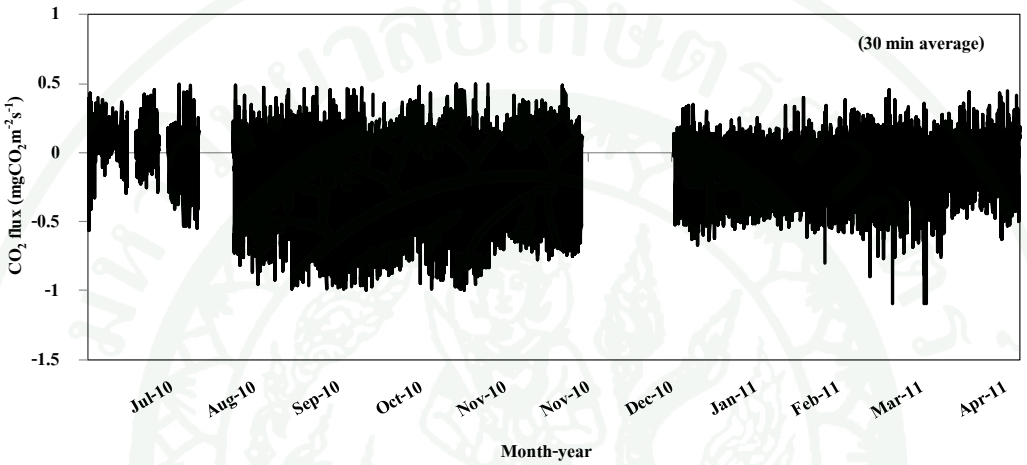


ภาพที่ 23 การแลกเปลี่ยนก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ในรอบวัน ($mgCO_2m^{-2}s^{-1}$) ตั้งแต่วันที่ 9 มิถุนายน 2553 – 30 เมษายน 2554

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

3.2 การแลกเปลี่ยนก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ตลอดฤดูปลูก (seasonal trend of CO_2 flux)

การแลกเปลี่ยนก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ (CO_2 flux) ระหว่างแปลงอ้อยตอ 1 กับบรรยากาศตลอดฤดูปลูก แสดงดังภาพที่ 20 จากการศึกษาพบว่า CO_2 flux มีค่าอยู่ระหว่าง -1.1-0.5 $mgCO_2m^{-2}s^{-1}$ (ภาพที่ 24)

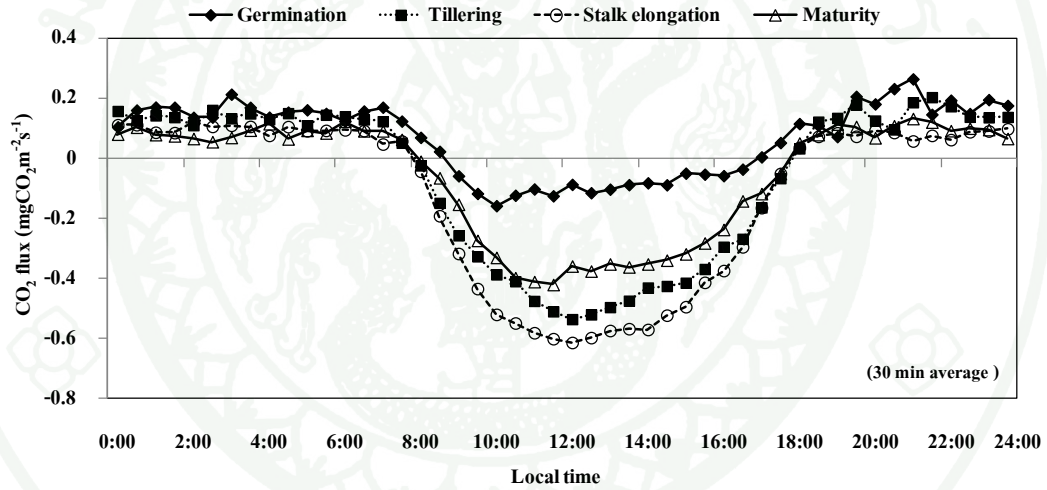


ภาพที่ 24 การแลกเปลี่ยนก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ (CO_2 flux) ($mgCO_2m^{-2}s^{-1}$) ตลอดฤดูปลูกอ้อยตอ 1 ตั้งแต่วันที่ 9 มิถุนายน 2553 – 30 เมษายน 2554

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

3.3 การแลกเปลี่ยนก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ในรอบวันของระยะการเจริญเติบโตต่างๆ (daily trend of CO_2 flux in each growing stage)

การแลกเปลี่ยนก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ (CO_2 flux) ระหว่างแปลงอ้อยตอ 1 กับบรรยากาศในรอบวันตลอดฤดูปลูก แสดงในภาพที่ 25 พบว่า ในแต่ละระยะการเจริญเติบโตมีลักษณะ CO_2 flux ที่เหมือนกัน คือค่าการแลกเปลี่ยนเป็นบวกในช่วงเวลากลางคืนและมีค่าเป็นลบในเวลากลางวัน แต่พบว่ามีความแตกต่างของค่าการแลกเปลี่ยนในแต่ละระยะ โดยระยะงอก (germination stage) ค่าการแลกเปลี่ยนในเวลากลางวันมีค่าเป็นลบน้อยสุด และระยะย่างปล้อง (tillering stage) มีค่าการแลกเปลี่ยนที่เป็นลบมากที่สุด ซึ่งหมายถึงการดูดซับ CO_2 โดยแปลงอ้อยมากที่สุด จากกระบวนการสังเคราะห์แสงในตอนกลางวัน

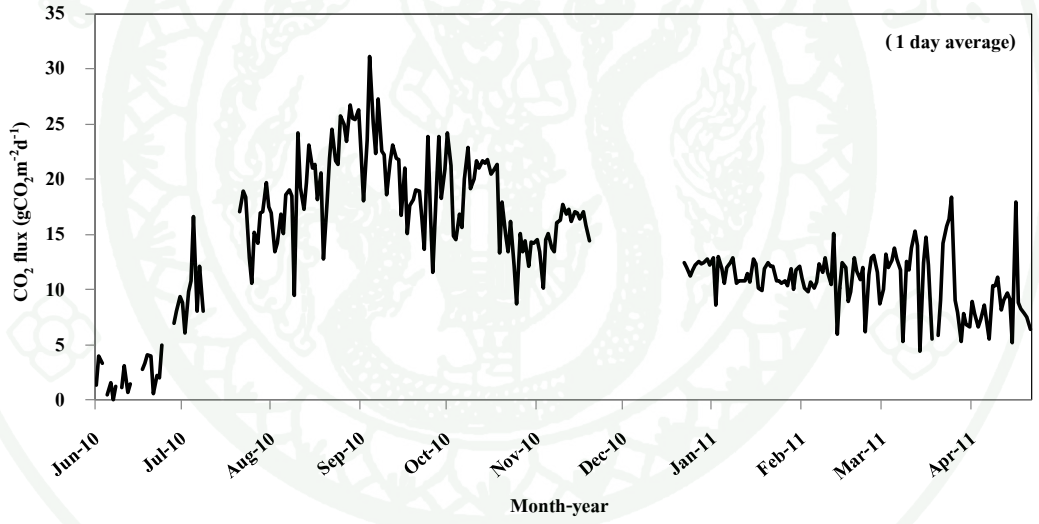


ภาพที่ 25 การแลกเปลี่ยนก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ (CO_2 flux) ($mgCO_2m^{-2}s^{-1}$) ในรอบวันของแต่ละระยะการเจริญเติบโตตลอดฤดูปลูกอ้อยตอ 1 ตั้งแต่วันที่ 9 มิถุนายน 2553 - 30 เมษายน 2554

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

3.4 ปริมาณก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ที่ดูดซับตลอดฤดูปลูก (seasonal trend of CO_2 absorbance)

ปริมาณก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ (CO_2) ที่แปลงอ้อยตอ 1 สามารถดูดซับได้ เป็นปริมาณ CO_2 ที่อ้อยใช้ในการสังเคราะห์แสงเพื่อการเจริญเติบโตและสะสมน้ำหนัก ตลอดฤดูปลูกอ้อยตอ 1 ตั้งแต่วันที่ 9 มิถุนายน 2553 - 30 เมษายน 2554 แปลงอ้อยสามารถดูดซับ CO_2 อยู่ระหว่าง 0.05-31.1 $gCO_2m^{-2}d^{-1}$ (ภาพที่ 26) โดยระยะงอก (มิ.ย. 2553) ระยะแตกกอ (ก.ค. - ส.ค. 2553) ระยะย่างปล้อง (ก.ย. 2553 - ม.ค. 2554) และระยะสุกแก่ (ก.พ. - เม.ย. 2554) มีปริมาณ CO_2 ที่แปลงอ้อยสามารถดูดซับได้เท่ากับ 63.1, 838.2, 2,448.3 และ 950.8 $gCO_2m^{-2}d^{-1}$ ตามลำดับ และตลอดฤดูปลูกแปลงอ้อยตอ 1 สามารถดูดซับ CO_2 ไว้ได้ 4,300.4 $gCO_2m^{-2}d^{-1}$ (ตารางที่ 1)



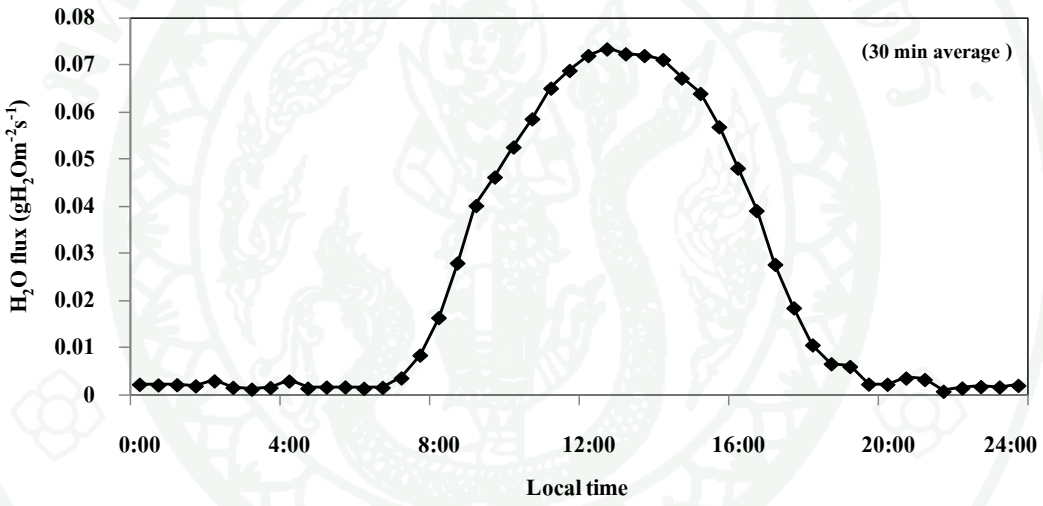
ภาพที่ 26 ปริมาณก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ ($gCO_2m^{-2}d^{-1}$) ที่ถูกดูดซับโดยแปลงอ้อยตอ 1 ตลอดฤดูปลูก ตั้งแต่วันที่ 9 มิถุนายน 2553 - 30 เมษายน 2554

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

4. ข้อมูลการใช้น้ำ

4.1 การใช้น้ำในรอบวัน (daily trend of H_2O flux)

การแลกเปลี่ยนน้ำ (H_2O flux) ระหว่างแปลงอ้อยตอ 1 กับบรรยากาศในรอบวัน ระหว่างวันที่ 9 มิถุนายน 2553 - 30 เมษายน 2554 แสดงดังภาพที่ 25 จากการศึกษาพบว่า H_2O flux ระหว่างแปลงอ้อยตอ 1 กับบรรยากาศมีค่าอยู่ระหว่าง 0.0008-0.0736 $gH_2Om^{-2}s^{-1}$ (ภาพที่ 27) โดยค่า H_2O flux มีค่าต่ำในเวลากลางคืนแต่ค่อยๆ เพิ่มมากขึ้นเมื่อเวลาประมาณ 7.00 น. ซึ่งเป็นเวลาที่เริ่มมีแสงแดด และมีค่าเพิ่มมากขึ้นเรื่อยๆ จนมีค่าสูงสุดในตอนเที่ยง หลังจากนั้นค่า H_2O flux มีค่าลดลง

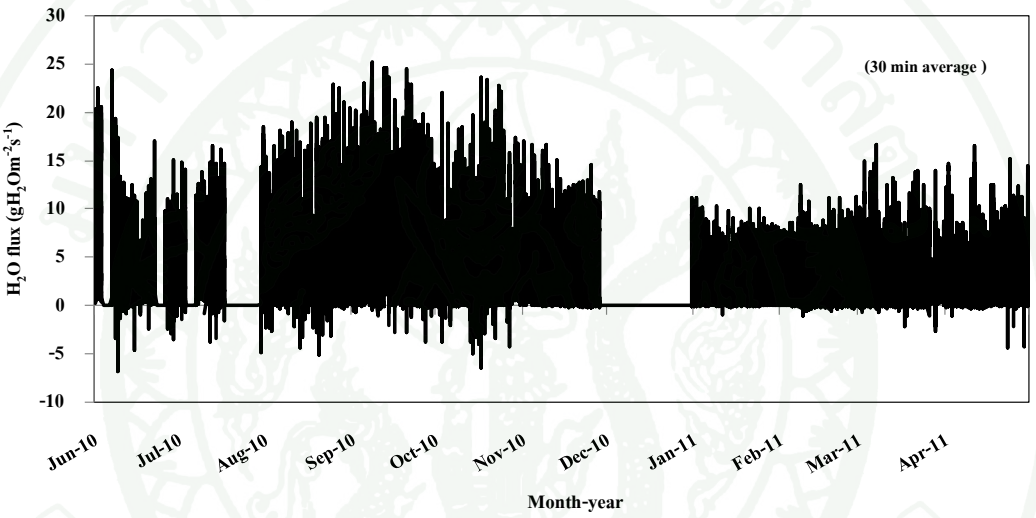


ภาพที่ 27 การแลกเปลี่ยนน้ำ (H_2O flux) ($gH_2Om^{-2}s^{-1}$) ในรอบวัน ตั้งแต่วันที่ 9 มิถุนายน 2553 – 30 เมษายน 2554

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

4.2 การแลกเปลี่ยนน้ำตลอดฤดูปลูก (seasonal trend of H_2O flux)

การเคลื่อนที่ของน้ำสู่ดินชั้นบนหรืออากาศ เกิดขึ้นได้ 2 ทางคือการระเหย และการดูดน้ำของรากพืช (อรรถชัย และคณะ2540) การแลกเปลี่ยนน้ำ H_2O flux ระหว่างแปลงอ้อยตอ 1 กับบรรยากาศตลอดฤดูปลูก แสดงดังภาพที่ 28 พบว่า H_2O flux มีค่าอยู่ระหว่าง -6.8-25.2 gH_2O $m^{-2}s^{-1}$ ค่า H_2O flux ที่เป็นลบแสดงถึงน้ำถูกดึงกลับเข้าสู่แปลงอ้อยตอ 1 ซึ่งแสดงถึง ณ เวลานั้น อัตราการคายน้ำมีน้อยกว่าอัตราการสังเคราะห์แสง (มนตรี, 2553)

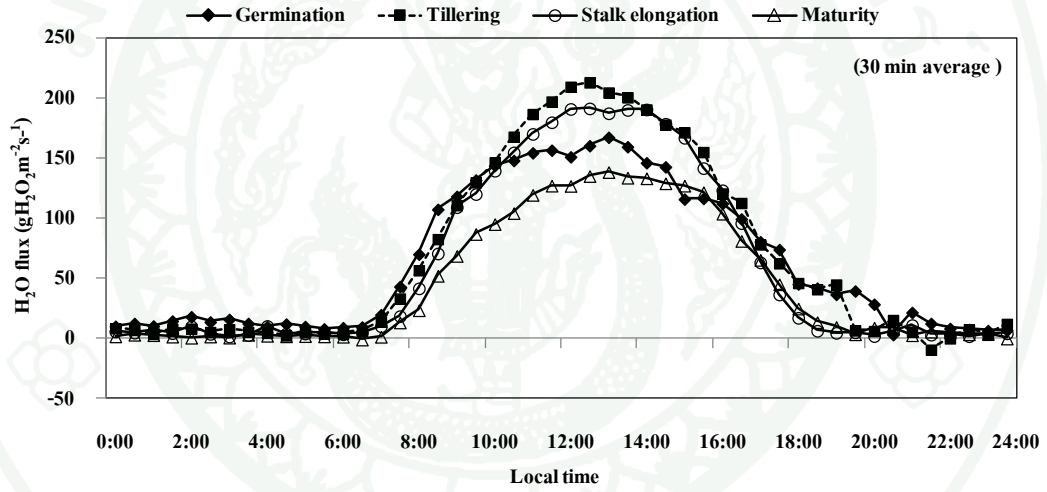


ภาพที่ 28 การแลกเปลี่ยนน้ำ (H_2O flux) ($gH_2Om^{-2}s^{-1}$) ตลอดฤดูปลูกอ้อยตอ 1 ตั้งแต่วันที่ 9 มิถุนายน 2553 - 30 เมษายน 2554

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

4.3 การแลกเปลี่ยนน้ำของอ้อยตอ 1 ในรอบวันของระยะการเจริญเติบโตต่างๆ (daily trend of H_2O flux in each growing stage)

ในแต่ละระยะการเจริญเติบโตของอ้อยมีความต้องการการใช้น้ำในรอบวันต่างกัน การใช้น้ำในรอบวันของอ้อยตอ 1 ระหว่างวันที่ 9 มิถุนายน 2553-30 เมษายน 2554 ในแต่ละระยะการเจริญเติบโตแสดงในภาพที่ 29 การแลกเปลี่ยนน้ำในของทุกระยะมีลักษณะที่เหมือนกัน คือมีการใช้น้ำในรอบวันที่ต่ำในช่วงเวลากลางคืน และค่อยๆ เพิ่มมากขึ้นเมื่อมีแสงแดด จนมีค่าสูงสุดในช่วงเที่ยง หลังจากนั้นการใช้น้ำในรอบวันจะลดลง แต่ปริมาณน้ำที่แลกเปลี่ยนในแต่ละระยะการเจริญเติบโตนั้นมีปริมาณที่ต่างกัน โดยระยะสุกแก่ (maturity stage) ปริมาณน้ำที่แลกเปลี่ยนได้สูงสุดในรอบวันมีค่าน้อยสุด ในขณะที่ระยะแตกกอ (tillering stage) มีปริมาณน้ำที่แลกเปลี่ยนได้สูงสุดในรอบวันสูงที่สุด

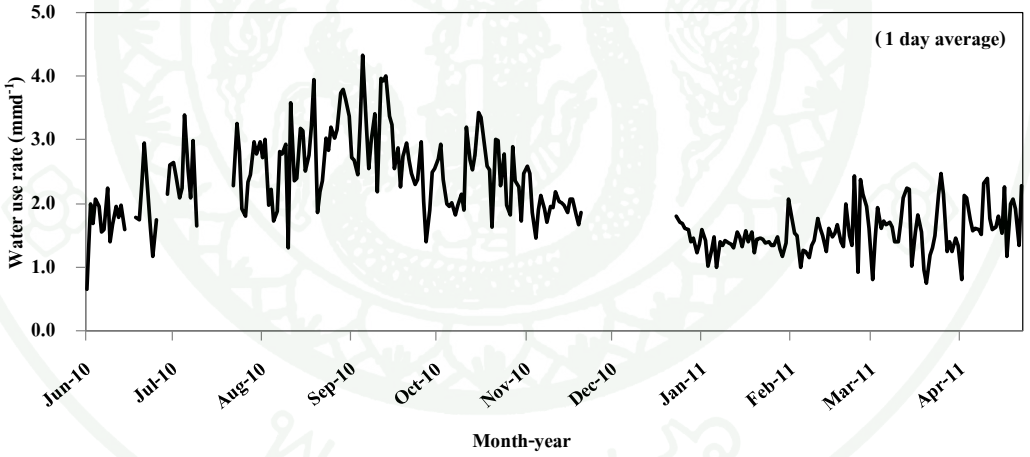


ภาพที่ 29 การแลกเปลี่ยนน้ำ ($mgH_2O_2m^{-2}s^{-1}$) ในรอบวันของแต่ละระยะการเจริญเติบโตตลอดฤดูปลูกอ้อยตอ 1 ตั้งแต่วันที่ 9 มิถุนายน 2553 – 30 เมษายน 2554

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

4.4 การใช้น้ำต่อวันของอ้อยตอ 1 ตลอดฤดูปลูก (seasonal trend of water use rate)

ปริมาณการใช้น้ำที่แปลงอ้อยตอ 1 ใช้เพื่อการเจริญเติบโตและสะสมน้ำหนัก ตลอดฤดูปลูกอ้อยตอ 1 ตั้งแต่วันที่ 9 มิถุนายน 2553– 30 เมษายน 2554 มีค่าอยู่ระหว่าง 0.7-4.3 mmd^{-1} (ภาพที่ 30) ค่าการใช้น้ำโดยเฉลี่ยในระยะงอก (germination stage) เท่ากับ 1.9 mmd^{-1}ระยะแตกกอ (tillering stage) เท่ากับ 2.4 mmd^{-1} ระยะย่างปล้อง (stalk elongation stage) เท่ากับ 2.2 mmd^{-1}และระยะสุกแก่ (maturity stage) เท่ากับ 1.6 mmd^{-1} โดยค่าการใช้น้ำทั้งหมดของระยะงอก (germination stage) ระยะแตกกอ (tillering stage) ระยะย่างปล้อง (stalk elongation stage) และระยะสุกแก่ (maturity stage) เท่ากับ 57.3, 151.3, 330.6 และ 142.7 mm ตามลำดับ และตลอดฤดูปลูกของอ้อยตอ 1 รวมอายุ 11 เดือน อ้อยมีการใช้น้ำทั้งหมดเท่ากับ 682.1 mm (ตารางที่ 1) ซึ่งใกล้เคียงกับการศึกษา โดย เจษฎา และคณะ (2552) ที่พบว่าแปลงอ้อยปลูก อายุ 8 เดือน มีความต้องการการใช้น้ำ 574.7 mm แต่จากการศึกษาค่าการใช้น้ำของอ้อยนั้นมีค่าน้อยกว่าความต้องการน้ำของอ้อยโดยทั่วไป ซึ่งอาจเป็นผลจากบริเวณแปลงทดลองมีฝนตกตลอดทั้งปีเพียง 687 mm



ภาพที่ 30 การใช้น้ำต่อวัน (mmd^{-1}) ของอ้อยตอ 1 ตลอดฤดูปลูก ตั้งแต่วันที่ 9 มิถุนายน 2553–30 เมษายน 2554

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ตารางที่ 1 ปริมาณคาร์บอนไดออกไซด์ที่ดูดซับโดยแปลงอ้อย และการใช้น้ำของอ้อยตอ 1 รายเดือน ตั้งแต่วันที่ 9 มิถุนายน 2553 – 30 เมษายน 2554

Growth stage	Age (Month)	Month-year	CO_2 (gCO_2m^{-2})	H_2O (mm)
germination	1	Jun-10	63.1	57.3
		Average/day	**2.1**	**1.9**
		Total	**63.1**	**57.3**
tillerling	2	Jul-10	291.1	71.4
	3	Aug-10	547.1	79.9
		Average/day	**13.5**	**2.4**
		Total	**838.2**	**151.3**
stalk elongation	4	Sep-10	670.1	93.7
	5	Oct-10	585.0	75.8
	6	Nov-10	443.6	61.8
	7	Dec-10	385.8	55.6
	8	Jan-11	363.7	43.8
		Average/day	**16.0**	**2.2**
		Total	**2,448.3**	**330.6**
maturity and ripening	9	Feb-11	308.6	40.7
	10	Mar-11	365.4	49.5
	11	Apr-11	276.7	52.6
		Average/day	**10.7**	**1.6**
		Total	**950.8**	**142.9**
Total			**4,300.4**	**682.1**

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

4.5 การประเมินประสิทธิภาพการตรึง CO_2 ของอ้อยตอ 1

ประสิทธิภาพการตรึง CO_2 ตลอดฤดูปลูกอ้อยตอ 1 แสดงดังตารางที่ 2 โดยน้ำหนักผลผลิตอ้อยตอ 1 เท่ากับ 10.8 ตัน/ไร่ และ CO_2 ที่แปลงอ้อยตอ 1 สามารถดูดซับได้เท่ากับ 4,300.4 gCO_2m^{-2} ค่า ประสิทธิภาพการตรึง CO_2 ที่ได้เท่ากับ 0.63 tCO_2/tyield แต่จากการศึกษาโดย เจษฎา และคณะ (2552) พบว่าปริมาณ CO_2 ที่แปลงอ้อยตอ 1 ตรึงไว้ได้ตลอดฤดูปลูก ที่มีอายุเก็บเกี่ยว 12 เดือน ซึ่งได้ผลผลิต 9 ตันต่อไร่ ประสิทธิภาพตรึง CO_2 ของอ้อยตอ 1 เท่ากับ 1.03 ตัน CO_2/ตันอ้อย เมื่อนำค่าประสิทธิภาพการตรึง CO_2 มาเปรียบเทียบกัน พบว่าค่าที่ได้จากการศึกษาครั้งนี้มีค่าน้อยกว่า เนื่องจากใช้เวลาในการศึกษา 11 เดือนและมีข้อมูลสูญหายเกือบ 1 เดือน

ตารางที่ 2 ประสิทธิภาพการตรึง CO_2 (tCO_2/tyield) จากแปลงอ้อยตอ 1 ระหว่างวันที่ 9 มิถุนายน 2553 – 30 เมษายน 2554

Plant	Yield (t/rai)	CO_2 fixation (g/m/year)	CO_2 fixation (t/rai/year)	Ratio (tCO_2/tyield)
first ratoon cane	10.8	4,300.4	6.3	0.63

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

4.6 การประเมินประสิทธิภาพการใช้น้ำของอ้อยตอ 1

ประสิทธิภาพการใช้น้ำตลอดฤดูปลูกของอ้อยตอ 1 แสดงดังตารางที่ 3 โดยน้ำหนักผลผลิตอ้อยตอ 1 เท่ากับ 10.8 ตัน/ไร่ ปริมาณน้ำที่แปลงอ้อยตอ 1 ใช้ทั้งหมดเท่ากับ 682.1 mm ปริมาณน้ำฝนตลอดฤดูปลูกเท่ากับ 687.0 mm ประสิทธิภาพการใช้น้ำเท่ากับ 86.1 $tH_2O/tyield$ ซึ่งมีค่าต่ำกว่าค่าที่ได้จากการศึกษาการใช้น้ำของอ้อยปลูกและอ้อยตอ 1 ที่จังหวัดบุรีรัมย์ โดยเจษฎา และคณะ (2552) ที่พบว่าปริมาณการใช้น้ำรวมตลอดฤดูปลูก 12 เดือน 680.8 มิลลิเมตร คิดเป็นปริมาณน้ำที่ใช้ไป 1,089 ลูกบาศก์เมตร/ไร่ ซึ่งได้ผลผลิต 9 ตันต่อไร่ ประสิทธิภาพการใช้น้ำของอ้อยตอ1 เท่ากับ 121.0 ลูกบาศก์เมตร/ตันอ้อย โดยมีค่าประสิทธิภาพการใช้น้ำใกล้เคียงกับที่พบในอ้อยปลูกซึ่งมีค่า 120.1 ลูกบาศก์เมตร/ตันอ้อย

ตารางที่ 3 ประสิทธิภาพการใช้น้ำ ($tH_2O/tyield$) จากแปลงอ้อยตอ 1 ระหว่างวันที่ 9 มิถุนายน 2553 – 30 เมษายน 2554

Plant	Yield (t/rai)	Amount of rain (mm)	Water Use (mm/year)	Water Use (m^3/rai/year)	Ratio ($tH_2O/tyield$)
first ratoon cane	10.8	687.0	682.1	930.4	86.1

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

5. ความสัมพันธ์ระหว่างการแลกเปลี่ยนก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ (CO_2 flux) กับปัจจัยทางอุตุนิยมวิทยา

ตารางที่ 4 แสดงสหสัมพันธ์ (R) ระหว่างการเปลี่ยนแปลงก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์และปัจจัยทางอุตุนิยมวิทยาต่างๆ พบว่า ค่าการแลกเปลี่ยนก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์มีความสัมพันธ์เชิงบวกมากที่สุดกับปริมาณความชื้นสัมพัทธ์ในอากาศ (RH) รองลงมาคือ ปริมาณรังสีสุทธิ (Rn) ความเร็วลม (WS) และปริมาณแสงที่พืชสามารถใช้ในการสังเคราะห์แสงได้ (PAR) ปริมาณรังสีดวงอาทิตย์ (Rs) และอุณหภูมิ (Ta) โดยมีค่าสหสัมพันธ์ (R^2) เท่ากับ 0.06, 0.03, 0.03 0.01, 0.01 และ 0.01 ตามลำดับ

ตารางที่ 4 ความสัมพันธ์ระหว่างการแลกเปลี่ยนคาร์บอนไดออกไซด์กับปัจจัยทางอุตุนิยมวิทยา ได้แก่ ปริมาณรังสีดวงอาทิตย์ (Rs) ปริมาณรังสีสุทธิ (Rn) ปริมาณแสงที่พืชสามารถใช้ในการสังเคราะห์แสงได้ (PAR) อุณหภูมิอากาศ (Ta) ความชื้นสัมพัทธ์ในอากาศ (RH) และความเร็วลม (WS) ของอ้อยตอ 1

Parameter	Correlation equation	FCO_2		
		Intercept	R^2	F-test
Rs	$FCO_2 = 0.06Rs$	12.48	0.01	*
Rn	$FCO_2 = 0.26Rn$	9.87	0.03	*
PAR	$FCO_2 = 0.01PAR$	10.75	0.01	*
Ta	$FCO_2 = -0.09Ta$	15.91	0.01	ns
RH	$FCO_2 = 0.02RH$	0.44	0.06	*
WS	$FCO_2 = -1.87WS$	16.33	0.03	*

หมายเหตุ ns = ไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ
* = มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95%
วิเคราะห์จากข้อมูล 276 ค่า

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ความสัมพันธ์ระหว่างการแลกเปลี่ยน CO_2 กับปัจจัยทางอุตุนิยมวิทยา ในแต่ละระยะการเจริญเติบโตของอ้อยตอ 1 แสดงดังตารางที่ 5 พบว่า ในระยะงอก (germination stage) ค่าการแลกเปลี่ยนคาร์บอนไดออกไซด์มีความสัมพันธ์เชิงบวกมากที่สุดกับปริมาณรังสีสุทธิ (Rn) ระยะแตกกอ (tillering stage) ค่าการแลกเปลี่ยนคาร์บอนไดออกไซด์มีความสัมพันธ์เชิงบวกมากที่สุดกับปริมาณรังสีสุทธิ (Rn) ระยะย่างปล้อง (stalk elongation stage) ค่าการแลกเปลี่ยนคาร์บอนไดออกไซด์มีความสัมพันธ์เชิงบวกมากที่สุดกับความเร็วลม (WS) และระยะสุกแก่ (maturity stage) ค่าการแลกเปลี่ยนคาร์บอนไดออกไซด์มีความสัมพันธ์เชิงบวกมากที่สุดกับปริมาณรังสีสุทธิ (Rn)

ตารางที่ 5 ความสัมพันธ์ระหว่างการแลกเปลี่ยนคาร์บอนไดออกไซด์กับปัจจัยทางอุตุนิยมวิทยา ได้แก่ ปริมาณรังสีสุทธิ (Rn) อุณหภูมิอากาศ (Ta) ความชื้นสัมพัทธ์ในอากาศ (RH) และความเร็วลม (WS) ในแต่ละระยะการเจริญเติบโตของอ้อยตอ 1

Growing stage	**Multiple correlation equation**	**FCO_2**		
		Intercept	**R^2**	**F-test**
	Rn, Ta, RH, WS			
germination	$FCO_2 = 0.01Rn-2.00Ta-0.33RH-1.48WS$	87.91	0.25	ns
tillering	$FCO_2 = -0.96Rn-7.49Ta-0.74RH-2.20WS$	270.88	0.54	*
stalk elongation	$FCO_2 = -0.56Rn+0.55Ta+0.33RH+1.58WS$	-30.79	0.71	*
maturity	$FCO_2 = 0.22Rn-0.30Ta-0.12RH-0.26WS$	24.55	0.20	*

หมายเหตุ ns = ไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ
* = มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95%
วิเคราะห์จากข้อมูล 276 ค่า

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

6. ความสัมพันธ์ระหว่างการใช้น้ำกับปัจจัยทางอุตุนิยมวิทยา

ตารางที่ 6 แสดงสหสัมพันธ์ (R) ระหว่างการใช้น้ำและปัจจัยทางอุตุนิยมวิทยาต่างๆ พบว่าค่าการใช้น้ำมีความสัมพันธ์เชิงบวกมากที่สุดกับปริมาณรังสีสุทธิ (Rn) รองลงมาคือ ปริมาณรังสีดวงอาทิตย์ (Rs) ปริมาณแสงที่พืชสามารถใช้ในการสังเคราะห์แสงได้ (PAR) อุณหภูมิอากาศ (Ta) ความชื้นสัมพัทธ์ในอากาศ (RH) และความเร็วลม (WS) มีค่าสหสัมพันธ์ (R) เท่ากับ 0.27, 0.19, 0.15, 0.10, 0.06 และ 0.02 ตามลำดับ

ตารางที่ 6 ความสัมพันธ์ระหว่างการใช้น้ำกับปัจจัยทางอุตุนิยมวิทยา ได้แก่ ปริมาณรังสีดวงอาทิตย์ (Rs) ปริมาณรังสีสุทธิ (Rn) ปริมาณแสงที่พืชสามารถใช้ในการสังเคราะห์แสงได้ (PAR) อุณหภูมิอากาศ (Ta) ความชื้นสัมพัทธ์ในอากาศ (RH) และ ความเร็วลม (WS) ของอ้อยตอ 1

Parameter	Correlation equation	FH_2O		
		Intercept	R^2	F-test
Rs	$FH_2O = 0.07Rs$	0.81	0.07	*
Rn	$FH_2O = 0.09Rn$	0.83	0.27	*
PAR	$FH_2O = 0.01PAR$	0.96	0.15	*
Ta	$FH_2O = 0.010Ta$	-0.69	0.10	*
RH	$FH_2O = 0.02RH$	0.44	0.06	*
WS	$FH_2O = 0.16WS$	1.82	0.02	*

หมายเหตุ ns = ไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ
* = มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95%
วิเคราะห์จากข้อมูล 276 ค่า

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ความสัมพันธ์ระหว่างการใช้น้ำกับปัจจัยทางอุตุนิยมวิทยา ในแต่ละระยะการเจริญเติบโตแสดงดังตารางที่ 7 พบว่า ในระยะงอก (germination stage) ค่าการใช้น้ำมีความสัมพันธ์เชิงบวกมากที่สุดกับปริมาณรังสีสุทธิ (Rn) ระยะแตกกอ (tillering stage) ค่าการใช้น้ำมีความสัมพันธ์เชิงบวกมากที่สุดกับปริมาณรังสีสุทธิ (Rn) ระยะย่างปล้อง (stalk elongation stage) ค่าการใช้น้ำมีความสัมพันธ์เชิงบวกมากที่สุดกับความเร็วลม (WS) และระยะสุกแก่ (maturity stage) ค่าการใช้น้ำมีความสัมพันธ์เชิงบวกมากที่สุดกับความเร็วลม (WS)

ตารางที่ 7 ความสัมพันธ์ระหว่างการใช้น้ำกับปัจจัยทางอุตุนิยมวิทยา ได้แก่ ปริมาณรังสีสุทธิ (Rn) อุณหภูมิอากาศ (Ta) ความชื้นสัมพัทธ์ในอากาศ (RH) และความเร็วลม (Ws) ในแต่ละระยะการเจริญเติบโตของอ้อยตอ 1

Growing stage	**Multiple correlation equation**	**FH_2O**		
		Intercept	**R^2**	**F-test**
	Rn, Ta, RH, WS			
germination	$FH_2O = 0.09Rn-0.94Ta-0.11RH-0.09WS$	35.81	0.40	ns
tillering	$FH_2O = 0.14Rn-0.39Ta-0.02RH+0.08WS$	12.97	0.64	*
stalk elongation	$FH_2O = 0.13Rn+0.04Ta+0.055RH+0.49WS$	-4.46	0.81	*
maturity	$FH_2O = 0.06Rn0+Ta+RH+0.11WS$	0.58	0.44	*

หมายเหตุ ns = ไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ
* = มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95%
วิเคราะห์จากข้อมูล 276 ค่า

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

เมื่อแบ่งข้อมูลการแลกเปลี่ยน CO_2 และการใช้น้ำ และข้อมูลทางอุตุนิยมวิทยาตามฤดูกาลออกเป็น 3 ฤดู เพื่อที่นำมาหาความสัมพันธ์ระหว่างการแลกเปลี่ยน CO_2 และน้ำ กับปัจจัยทางอุตุนิยมวิทยาในแต่ละฤดูกาลพบว่า ในฤดูฝน (มิ.ย. – ก.ย. 2553) การแลกเปลี่ยน CO_2 มีความสัมพันธ์เชิงบวกกับปริมาณรังสีสุทธิ แต่มีความสัมพันธ์เชิงลบกับอุณหภูมิอากาศ ความชื้นสัมพัทธ์ในอากาศ และความเร็วลม ในฤดูหนาว (ต.ค.2553 – ม.ค. 2554) การแลกเปลี่ยน CO_2 มีความสัมพันธ์เชิงบวกกับความเร็วลมมากที่สุด รองลงมาคือ อุณหภูมิอากาศ ความชื้นสัมพัทธ์ในอากาศ และปริมาณรังสีดวงอาทิตย์ ตามลำดับ ส่วนในฤดูร้อน (ก.พ. – เม.ย. 2554) การแลกเปลี่ยน CO_2 มีความสัมพันธ์เชิงบวกกับปริมาณรังสีดวงอาทิตย์ แต่มีความสัมพันธ์เชิงลบกับความชื้นสัมพัทธ์ในอากาศ ความเร็วลม และปริมาณรังสีดวงอาทิตย์ (ตารางที่ 8)

ตารางที่ 8 ความสัมพันธ์ระหว่างการแลกเปลี่ยน CO_2 กับปัจจัยทางอุตุนิยมวิทยา ได้แก่ ปริมาณรังสีสุทธิ (Rn) อุณหภูมิอากาศ (Ta) ความชื้นสัมพัทธ์ในอากาศ (RH) และความเร็วลม WS ในแต่ละฤดูกาล

Season	**Multiple correlation equation**	**FCO_2**		
		Intercept	**R^2**	**F-test**
	Rn, Ta, RH, WS			
Rainy	$FCO_2 = 0.07Rn – 2.40Ta – 9.25RH – 0.88WS$	329.36	0.63	*
Winter	$FCO_2 = 0.03Rn + 0.20Ta + 0.08RH + 0.34WS$	-17.90	0.75	*
Summer	$FCO_2 = 0.01Rn – 0.07Ta – 0.25RH – 0.10WS$	21.82	0.18	*

หมายเหตุ ns = ไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ
* = มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95%
วิเคราะห์จากข้อมูล 276 ค่า

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ตารางที่ 9 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างการใช้น้ำของอ้อยตอ 1 กับปัจจัยทางอุตุนิยมวิทยา ในแต่ละฤดูกาล พบว่า ในฤดูฝน (มิ.ย. – ก.ย. 2553) การใช้น้ำของอ้อยตอ 1 มีความสัมพันธ์เชิงบวกกับปริมาณรังสีสุทธิและอุณหภูมิอากาศ แต่มีความสัมพันธ์เชิงลบกับ ความชื้นสัมพัทธ์ในอากาศและความเร็วลม ในฤดูหนาว (ต.ค.2553 – ม.ค. 2554) การใช้น้ำของอ้อยตอ 1 มีความสัมพันธ์เชิงบวกกับความเร็วลมมากที่สุด รองลงมาคือ อุณหภูมิอากาศ ความชื้นสัมพัทธ์ในอากาศ และปริมาณรังสีดวงอาทิตย์ ตามลำดับ ส่วนในฤดูร้อน (ก.พ. – เม.ย. 2554) การใช้น้ำของอ้อยตอ 1 มีความสัมพันธ์เชิงบวกกับอุณหภูมิอากาศมากที่สุด รองลงมาคือ ปริมาณรังสีดวงอาทิตย์ และความเร็วลม แต่มีความสัมพันธ์เชิงลบกับความชื้นสัมพัทธ์ในอากาศ

ตารางที่ 9 ความสัมพันธ์ระหว่างการใช้น้ำของอ้อยตอ 1 กับปัจจัยทางอุตุนิยมวิทยา ได้แก่ ปริมาณรังสีสุทธิ (Rn) อุณหภูมิอากาศ (Ta) ความชื้นสัมพัทธ์ในอากาศ (RH) และความเร็วลม WS ในแต่ละฤดูกาล

Season	Multiple correlation equation	Water use		
		Intercept	R^2	F-test
	Rn, Ta, RH, WS			
Rainy	$FCO_2 = 0.01Rn + 0.01Ta – 0.61RH – 0.04WS$	20.43	0.68	*
Winter	$FCO_2 = 0.01Rn + 0.25Ta + 0.02RH + 0.04WS$	-3.26	0.669	*
Summer	$FCO_2 = 0.01Rn + 0.09Ta – 0.01RH + 0.01WS$	0.65	0.43	*

หมายเหตุ ns = ไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ

* = มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95%

วิเคราะห์จากข้อมูล 276 ค่า

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

สรุปผลการทดลอง

1. การเปลี่ยนแปลงก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ระหว่างแปลงอ้อยตอ 1 กับบรรยากาศมีค่าเป็นลบในช่วงเวลากลางวัน แสดงถึงพืชดูดซับก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ โดยกระบวนการสังเคราะห์ด้วยแสงของพืช แต่ค่าของก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์มีค่าเป็นบวกในเวลากลางคืน แสดงถึงก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ถูกปลดปล่อยออกจากแปลงโดยกระบวนการหายใจของพืชและดิน

2. ปริมาณก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ที่แปลงอ้อยตอ 1 สามารถดูดซับได้ในแต่ละระยะการเจริญเติบโตมีค่าแตกต่างกันตามพื้นที่ใบและดัชนีพื้นที่ใบ เพราะเป็นตัวบ่งชี้ถึงความสามารถในการสังเคราะห์แสงของพืช และแปลงอ้อยตอ 1 โดยระยะงอก (germination stage) สามารถดูดซับคาร์บอนไดออกไซด์ได้ 63.1 gCO_2m^{-2} ระยะแตกกอ (tillering stage) สามารถดูดซับคาร์บอนไดออกไซด์ได้ 838.2 gCO_2m^{-2} ระยะย่างปล้อง (stalk elongation stage) สามารถดูดซับคาร์บอนไดออกไซด์ได้ 2,448.3 gCO_2m^{-2} และระยะสุกแก่ (maturity stage) สามารถดูดซับคาร์บอนไดออกไซด์ได้ 950.8 gCO_2m^{-2} และตลอดฤดูปลูกแปลงอ้อยตอ 1 สามารถดูดซับคาร์บอนไดออกไซด์ได้ 4,300.4 gCO_2m^{-2}

3. การแลกเปลี่ยนน้ำของอ้อยตอ 1 กับบรรยากาศมีค่าต่ำในช่วงเวลากลางคืน หลังจากนั้นมีค่าเพิ่มขึ้นเรื่อยๆ เมื่อเริ่มมีแสงแดด จนถึงเที่ยงวันและมีการใช้น้ำมากที่สุดในช่วงเวลา 12:00-14:00 น. หลังจากนั้นการใช้น้ำของอ้อยลดลง

4. การใช้น้ำในแต่ละระยะการเจริญเติบโตมีค่าที่แตกต่างกัน ขึ้นกับการเปลี่ยนแปลงเวลาในรอบวันและระยะการเจริญเติบโตของอ้อย โดยระยะงอก (germination stage) อ้อยใช้น้ำ 35.03 mmระยะแตกกอ (tillering stage) อ้อยใช้น้ำ 130.98 mm ระยะย่างปล้อง (stalk elongation stage) อ้อยใช้น้ำ 272.73 mm และระยะสุกแก่ (maturity stage) อ้อยใช้น้ำ 142.72 mm และตลอดฤดูปลูกอ้อยตอ 1 รวมอายุ 11 เดือนใช้น้ำทั้งหมด 682.1 mm

5. ปัจจัยทางอุตุนิยมวิทยาที่มีผลต่อการแลกเปลี่ยนก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ระหว่างอ้อยตอ 1 กับบรรยากาศมากที่สุดคือ ความชื้นสัมพัทธ์ในอากาศ (RH) และปัจจัยทางอุตุนิยมวิทยาที่มีผลต่อการใช้น้ำของอ้อยตอ 1 มากที่สุดคือ ปริมาณรังสีสุทธิ (net radiation)

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

เอกสารและสิ่งอ้างอิง

กรกัญญา อักษรเนียม และ วิรัชญา จารุจารีต. 2555. เมื่ออ้อยไม่ได้เป็นแค่น้ำตาล. **เคหการเกษตร** 36(5): 88-105.

กรมวิชาการเกษตร. 2547. **เอกสารวิชาการ อ้อย 9/2547**. 147 หน้า.

กรมอุตุนิยมวิทยา. 2553. **ความรู้อุตุนิยมวิทยา**. แหล่งที่มา: http://www.tmd.go.th/info/info.php?FileID=86.htm, 20 ธันวาคม 2553.

กัลยาณี ฟูสุวรรณกายะ และ สิรินทรเทพ เต้าประยูร. 2553. การประเมินคาร์บอนฟุตพริ๊นท์ของการเพาะปลูกข้าวที่มีการจัดการการเพาะปลูกที่แตกต่างกัน. *ใน* **การประชุมวิชาการระดับชาติ เรื่อง ประเทศไทยกับภูมิอากาศโลก ครั้งที่ 1: ความเสี่ยง โอกาสและการท้าทายในกลไกการจัดการสภาพภูมิอากาศโลก**. วันที่ 19-21 สิงหาคม 2553. องค์การบริหารจัดการก๊าซเรือนกระจก, นนทบุรี.

เกษม สุขสถาน และ ชุลี ชัยพิพัฒน์. 2523. อ้อย. **สารานุกรมไทยสำหรับเยาวชน** เล่ม 5 (2523): 65-107.

_____. 2540. **คู่มือการทำไร่อ้อย**. กลุ่มบริษัทน้ำตาลมิตรผล จำกัด, กรุงเทพฯ.

คณาจารย์ภาควิชาปฐพีวิทยา. 2541. **ปฐพีวิทยาเบื้องต้น**. พิมพ์ครั้งที่ 8. มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, กรุงเทพฯ.

จันทร์สว่าง ศรีหาตา. 2547. **การศึกษาอิทธิพลเบื้องต้นถึงอิทธิพลของความชื้นในดินและกาบใบต่อการเจริญเติบโต ผลผลิตและคุณภาพของอ้อย 5 พันธุ์ที่ปลูกบนดินกำแพงแสน**. วิทยานิพนธ์ปริญญาโท, มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

เจษฎา แก้วกัลยา. 2542. การจัดสรรน้ำสำหรับอ้อย, น. 30. *ใน* **เอกสารประกอบการสัมมนาโครงการวิจัยอุตสาหกรรมอ้อยและน้ำตาลไทย: ลู่ทางการขยายการผลิตเพื่อการส่งออกไทย สนอ. ร่วมกับ TDRI**. กรมส่งเสริมอุตสาหกรรม กระทรวงอุตสาหกรรม, กรุงเทพฯ.

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

เจษฎา ภัทรเลอพงศ์. 2553. การศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการสังเคราะห์ด้วยแสงสุทธิและศักยภาพของน้ำในใบอ้อยเพื่อหาค่าสอบเทียบแบบจำลองมวลชีวภาพของอ้อย, น. 58-95. *ใน* **รายงานฉบับสมบูรณ์ โครงการสร้างองค์ความรู้และพัฒนาด้านอ้อยภายใต้แผนแม่บทโครงการสร้างพื้นฐานทางปัญญา โครงการระยะยาว ปี 2552: เล่มที่ 2 ด้านดิน น้ำ และปุ๋ย**. มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, กรุงเทพฯ.

_____, พูนพิภพ เกษมทรัพย์, ศรปราชญ์ ธไนศวรรยางค์กูร, ดวงรัตน์ ศตคุณ และ เชฎฐ์ สาทรกิจ. 2552. การศึกษาความต้องการใช้น้ำของอ้อย, น. 53-57. *ใน* **เอกสารประกอบการสัมมนาเผยแพร่ความรู้ โครงสร้างองค์ความรู้และพัฒนาด้านอ้อย ภายใต้แผนแม่บทโครงสร้างพื้นฐานทางปัญญา**. วันที่ 6 พฤศจิกายน 2552, มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, นครปฐม.

ทิวา พาโคกทม. 2542. **อิทธิพลของระดับความเค็มของดินต่อการเจริญเติบโต องค์ประกอบผลผลิตและอัตราการสังเคราะห์แสงของอ้อยปลูกและอ้อยตอ 1**. วิทยานิพนธ์ปริญญา โท, มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

นฤนาท ชัยรังสี. 2546. **การศึกษาการสังเคราะห์ด้วยแสงของเรือนพุ่มอ้อย**. วิทยานิพนธ์มหาบัณฑิต, มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

นิตยา เลาหะจินดา. 2546. **นิเวศวิทยา พื้นฐานสิ่งแวดล้อมศึกษา**. สำนักพิมพ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, กรุงเทพฯ.

บัณฑิต ตันศิริ และ คำรณ ไทรฟัก. 2542. **คู่มือการประเมินคุณภาพที่ดินสำหรับพืชเศรษฐกิจ**. กรมพัฒนาที่ดิน กระทรวงเกษตรและสหกรณ์. กรุงเทพฯ.

ประสาท เกศวพิทักษ์. 2553. ตลาดซื้อขายคาร์บอน. **วารสารดินและปุ๋ย** 32(4): 305-306.

ประเสริฐ ฉัตรวชิรวงษ์. 2542. อ้อย, น. 270-295. *ใน* **พืชเศรษฐกิจ**. มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์. กรุงเทพฯ.

ประหยัด ชิดทอง, จินตนา ดิษฐแย้ม, ปราโมทย์ พิณพิมาย, ชนินทร์ ยาระณะ, สังวาล สาโยธา และ จุรีรัตน์ ธีรพิตร. 2544. **ก๊าซเรือนกระจก**. โรงพิมพ์คุรุสภา, กรุงเทพฯ.

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

พีระศักดิ์ ศรีนิเวศน์, อุดม พูลเกษม, พรทิพย์ วิสารัตน์ และ ประเสริฐ ฉัตรวชิระวงษ์. 2534. **รายงานผลการวิเคราะห์ข้อมูลโครงการวิเคราะห์การปรับตัวของพันธุ์อ้อยที่สำคัญในประเทศไทย**. 220 หน้า

พูนพิภพ เกษมทรัพย์. 2550. **ต้นไม้และสภาวะโลกร้อน**. มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, กรุงเทพฯ.

มนตรี แสนวังสี, พงษ์เทพ หาญพัฒนากิจ และ อำนาจ ชิดไธสง. 2553. ลักษณะการแลกเปลี่ยนก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ในป่าเต็งรังภายใต้สภาพอากาศเย็น - แล้ง และร้อน-ชื้น, น. 232-247. *ใน* **การประชุมวิชาการระดับชาติ เรื่อง ประเทศไทยกับภูมิอากาศโลก ครั้งที่ 1: ความเสี่ยง และโอกาสท้าทายกลไกการจัดการสภาพภูมิอากาศโลก**. วันที่ 19-21 สิงหาคม 2553, ศูนย์ประชุมอิมแพ็ค เมืองทองธานี ปากเกร็ด, นนทบุรี.

วิบูลย์ บุญธโรกุล. 2526. **หลักการชลประทาน**. ภาควิชาวิศวกรรมชลประทาน. มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, กรุงเทพฯ.

วิมลรัตน์ วิริยะเมตตากุล. 2528. **การวิเคราะห์เปรียบเทียบการผลิตอ้อยปลูกและอ้อยตอในภาคกลางของประเทศไทย**. วิทยานิพนธ์มหาบัณฑิต, มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

สมบุญ เตชะภัญญาวัฒน์. 2538. **สรีรวิทยาของพืช**. มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, กรุงเทพฯ.

_____. 2548. **ชีววิทยาพืช**. พิมพ์ครั้งที่ 1 จามจุรีโปรดักท์, กรุงเทพฯ.

สำนักงานคณะกรรมการอ้อยและน้ำตาลทราย. 2555. รายงานการผลิตของสำนักงานคณะกรรมการอ้อยและน้ำตาลทราย ปี 2554/2555. แหล่งที่มา: http://www.ocsb.go.th/upload/journal/fileupload/923-3963.pdf., 14 กันยายน 2555.

สำนักงานเศรษฐกิจการเกษตร. 2555. ข้อมูลเศรษฐกิจการเกษตร. **การผลิตสินค้าการเกษตร**. แหล่งที่มา: http://www.oae.go.th/main.php?filename=agri_production, 1 พฤษภาคม 2555.

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

สำเริง ปานอุทัย, สิริรัตน์ จันทร์มหเสถียร และ สาพิศ ดิลกสัมพันธ์. 2547. การปลดปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์จากดินของป่าดิบแล้งและป่าเบญจพรรณ. *ใน* **การประชุมการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศทางด้านป่าไม้: ป่าไม้กับการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศ**. วันที่ 16-17 สิงหาคม 2547. กรมอุทยานแห่งชาติ สัตว์ป่าและพันธุ์พืช, กรุงเทพฯ.

สุทิชา พันธุเล่ง. 2551. **การจัดการน้ำ ปุ๋ย และวัชพืชในอ้อยที่ปลูกโดยลดการไถพรวน**. วิทยานิพนธ์ปริญญาโท, มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

สุนทรีย์ ยิ่งชัชวาล. 2535. **ชลศาสตร์ในระบบดิน - พืช**. ภาควิชาปฐพีวิทยา มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ วิทยาเขตกำแพงแสน, นครปฐม.

สุพร บุญประคับ, สุรินทร์ ไวยเจริญ, พิสุทธิ์ วิจารสรณ์ และ ชิงโกะ เวดะ. 2542. การปลดปล่อยก๊าซมีเทนจากพื้นที่พรุ จังหวัดนราธิวาส. น. 269-273. *ใน* **การประชุมทางวิชาการของมหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ ครั้งที่ 37 (สาขาการจัดการทรัพยากรและสิ่งแวดล้อม)**. มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, กรุงเทพฯ.

องค์การบริหารจัดการก๊าซเรือนกระจก (องค์การมหาชน). 2554. **แนวทางการพัฒนาโครงการลดการปล่อยก๊าซเรือนกระจกในภาคป่าไม้**. พิมพ์ครั้งที่ 2. บริษัทอมรินทร์พริ้นติ้งแอนด์พับลิชชิ่ง จำกัด (มหาชน), กรุงเทพฯ.

อมรวรรณ เรศานนท์. 2554. **การอนุรักษ์ป่าไม้ด้วยกลไกทางเศรษฐศาสตร์ของคาร์บอนเครดิต**. วิทยานิพนธ์ปรัชญาดุษฎีบัณฑิต, มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

อรรถชัย จินตะเวช, ศักดา จงแก้ววัฒนา และ N.G. Inman Bamber. 2540. การประมาณผลผลิตอ้อยโดยใช้แบบจำลองพัฒนาการ และการเจริญเติบโตของอ้อย. น. 102-112. *ใน* **รายงานฉบับสมบูรณ์ โครงการวิจัยการพัฒนาและการทดสอบผลผลิตทางการเกษตร**. มหาวิทยาลัยเชียงใหม่, เชียงใหม่.

อานนท์ สนิทวงศ์ ณ อยุธยา. 2553. **ท้องถิ่นจะรับมือกับโลกร้อนอย่างไร**. เกษตรกรรมธรรมชาติ. 2553(2): 20–24.

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

อำนาจ ชิดไธสง. 2547. การออกซิไดซ์ก๊าซมีเทนในป่าดิบแล้ง และผลกระทบของการใช้ประโยชน์ที่ดิน. *ใน* **การประชุมการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศทางด้านป่าไม้: ป่าไม้กับการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศ**. วันที่ 16-17 สิงหาคม 2547. กรมอุทยานแห่งชาติ สัตว์ป่าและพันธุ์พืช, กรุงเทพฯ.

Allen, R.G., L.S. Pereira and R. Smith. 1998. **Crop Evapotranspiration Guidelines for Computing Crop Water Requirements**. FAO Irrigation and drainage paper No.56. FAO, Rome, Italy.

Balcocchi, D. 2003. Assessing the eddy covariance technique for evaluating carbon dioxide exchange rates of ecosystems: past, present and future. **Global Change Biology** 9: 1-14.

Barner, A.C. 1974. The Sugar Cane Elsevier Plublishing Company, London.

Bhardwaj, A.K., T. Zenone, P. Jasrotia, G.P. Robertson, J. Chen and K. Hamilton. 2011. Water and energy footprints of bioenergy crop production on mariginal lands. **GCB Bioenergy** 3: 208-222.

Borjigidal, A., H. Kouki, H. Tadaki, H. Toshihiro, O. Masumi and K. Kazuhiko. 2006. Seasonal changes in temperature dependence of photosynthetic rate in rice under a free-air CO_2 enrichment. **Annals of Botany** 97: 549-557.

Bounoua, L., R. Defries, G. J. Collatz, P. Sellers and H. Khan. 2002. Effects of land cover conversation on surface. **Climatic Changes** 52: 29-64.

Bowling, D.R., A.A. Turnipseed, A.C. Delany, D.D. Baldocchi, J.P. Greenberg and R.K. Monson. 1998. The use of Relaxed Eddy Accumulation to measure biosphere-atmosphere exchange of isoprene and other biological trace gases. **Oecologia** 116: 306-315.

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

Carrara, A., A.S. Kowalsk, J. Neirynck, I.A. Janssens, J.C. Yuste and R. Ceulemans. 2003. Net ecosystem CO_2 exchange of mixed forest in Belgium over 5 years. **Agricultural and Forest Meteorology** 104: 209-227.

Clement, H.F. 1980. **Sugarcane Crop Logging and Crop Control**. Principles and Practices University. Press of Hawaii, Honolulu.

Dick Wetherald. 2008. **The Future of Climate Modeling at GFDL**. NOAA Research. Available Source: http://www.oar.noaa.gov/spotlite/2008/spot_climatemodel.html, November 27, 2012.

Flechard, C.R., P. Ambus, U. Skiba, R.M. Rees, A. Hensen, A. Amstel, A. Pol-van Dasselaar, J.F. Soussana, J. Jones MClifton-Brown, A. Rachi, L. Horvath, A. Neftel, M. Jocher, C. Ammann, J. Leifeld, J. Fuhrer, P. Calanca, E. Thalmam, K. Pilegaard, C. Di Marco, C. Campbell, E. Nemitz, K.J. Hargreaves, P.E. Levy, B.C. Ball, S.K. Jones, W.C.M. Bulk, T. Groot, M. Bloom, R. Domingues, G. Kasper, V. Allard, E. Ceeschia, P. Cellier, P. Laville, C. Henault, F. Bizouard, M. Abdalla, M. Williams, S. Baronti, F. Berretti and B. Grosz. 2007. Effects of climate and management intensity of Nitrous Oxide emission in grass land system across Europe. **Agriculture, Ecosystem and Environment** 121: 135-152.

Hokkaido Research Center, Forestry and Forest Products Research Institute. 2012. **Pratical Handbook of Tower Flux Observation**. Digital Print Co. Ltd., Sakurakawa, Japan.

Hutchinson, G.L. and G.P. Livingston. 2002. Methods of Soil Analysis. Part 4. Physical Methods, 1159-1182. *In* Dane, J.H., Topp, G.C., eds. **Soil-atmosphere gas exchange**. Soil Science Society of America, Madison, WI.

IPCC. 2007. **Climate Change 2007**: The physical science basis. Contribution of working group I to the fourth assessment report of the Intergovermental Panal on Climate Change. Cambrigde University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA.

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

John, M.D. 1994. The significance of agricultural sources of greenhouse gases. **Fertilizer Research** 38: 151-163.

Kato, T., Y. Tang, S. Gu, X. Cui, M. Hirota, M. Du, Y. Li, X. Zhao and T. Oikawa. 2004. Carbon Dioxide exchange between the atmosphere and an alpine meadow ecosystem on the Qinghai-Tibetan Plateau, Chaina. **Agriculture and Forest Meteorology** 124(1-2): 121-134.

Khan, M.J. 1992. Probabilistic analysis of net monthly and seasonal irrigation requirements of sugarcane crop in Peshawar valley. **Sarhad Journal of Agriculture** 8(3): 385-398.

Komiya, S., S. Yuki, N. Kosuke, Y. Tomotsugu, T. Toojinda and M. Siangliw. 2010. Climatic impacts on greenhouse gas emissions in rice paddy fields. pp.17-19. *In* **World Congress of Soil Science, Soil Solutions for a Changing World**. 1-6 August 2010, Brisbane, Australia.

Marcus, O., S. Jonas, L. Evert, A. Maria and W. Ingvar. 2005. Application of Relaxed Eddy Accumulation technique to quantify Hg0 fluxes over modified soil surfaces. **Water, Air and Soil Pollution** 167: 331-352.

Miyata, A. 2007. Data management and database preparation, pp. 112-149. *In* M. Nobutaka, Y. Susumu and F. Yasumi, eds. **Practice of Flux Observations in Terrestrial Ecosystems**. AsiaFlux Steering Committee, Ibaraki, Japan.

NOAA. 2010. **The Hydrologic Cycle**. National Weather Service. Available Source: http://www.srh.noaa.gov/jetstream/atmos/hydro.htm, November 27, 2012.

Pakoktom, T. 2009. **Evaluation of Evapotranspiration in Paddy Rice Fields Using CO_2 and H_2O Fluxes Ratio**. Ph.D. Thesis, Tokyo University of Agriculture and Technology, Japan.

Pingintha, N., M.Y. Leclerc, J.P. Beasley Jr., D. Durden, G. Zhang, C. Senthong and D. Rowland. 2010. Hysteresis response of daytime net ecosystem exchange during drought. **Biogeosciences** 7: 1159-1170.

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

R Development Core Team. 2012. **R: A Language and Environment for Statistical Computing**. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria. Available Source: http://www.R-project.org/, October 2, 2012.

Reddy, V.R., K.R. Reddy and H.F. Hodges. 1995. Carbon Dioxide enrichment and temperature effects on cotton canopy photosynthesis, transpiration and water-use efficiency. **Field Crop Research** 41: 13-23.

Richard, S.L. 1992. **Global Warming: The Origin and Nature of the Alleged Scientific Consensus.** Cato Institute. Available Source: http://www.cato.org/pubs/regulation/reg15n2g, October 20, 2011.

Roa, G.G., P.S. Roa, R. Rajagopal, A.S. Denvakumar, K. Vijiayakumar and M.R. Sethuraj. 1990. Influence of soil, plant and meteorogical factors on water relations and yield in *Hevvea brasiliensis*. **Int. J. Biometeo**. 34: 175-180.

Saigusa, N., S. Yamamoto, R. Hirata, Y. Ohtani, R. Ide, J. Asanuma, M. Gano, T. Hirano, H. Kondo, Y. Kosugi, S.G. Li, Y. Nakai, K. Takagi, M. Tani and H. Wand. 2008. Temporal and spatial variations in the seasonal patterns of CO_2 flux in boreal, temperature and tropical forests in East Asia. **Agricultural and Forest Meteorology** 148(5): 700-713.

Saito, M., A. Miyata, H. Nagai and T. Yamada. 2005. Seasonal variation of Carbon Dioxide exchange in rice paddy field in Japan. **Agricultural and Forest Meteorology** 135: 93-109.

Schmid, H.P. 1997. Experimental design for flux measurements: matching scale of observations and fluxes. **Agriculture and Forest Meteorology** 87: 179-200.

Tsai, J.L, B.J. Tsuang, P.S. Lu, M.H. Yao and H.Y. Hsieh. 2006. **Surface energy components, CO_2 flux and canopy resistance from rice paddy in Taiwan**. The 17th symposium on boundary layers and turbulence, 27th conference on agricultural and meteorology, and the 17th conference on biometeorology and aerobiology. 21-25 May 2006. San Diego, CA, USA.

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

Wild, A. 1988. **Soil Conditions and Plant Growth**. 11st ed. John Wiley & Sons, Inc., New York.

Wiedenfeld, R.P. 2000. Water stress during different sugarcane growth periods on yield and response to N fertilizer. **Agricultural and Water Management** 43: 173-182.

Yagi K., C. Prapai, T. Haruo, C. Wisit and M. Katsuyuki. 1994. Methane emission from rice paddy fields in the central plain of Thailand. **Soil Sci. Plant Nutr**. 40(1): 29-37.

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ภาคผนวก

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ตารางผนวกที่ 1 ปริมาณรังสีดวงอาทิตย์ (Solar radiation : Rs) ปริมาณรังสีสุทธิ (Net radiation: Rn) ปริมาณแสงที่พืชสามารถใช้ในการสังเคราะห์แสงได้ (PAR) อุณหภูมิเฉลี่ย (Ta) ปริมาณความชื้นสัมพัทธ์ในอากาศ (RH) ปริมาณน้ำฝน (Total rain) ในแปลงอ้อยตอ 1 ระหว่างวันที่ 9 มิถุนายน 2553 – 30 เมษายน 2554

Date	Rs (MJm^{-2})	Rn (MJm^{-2})	PAR ($\mu molm^{-2}s^{-1}$)	Ta (°C)	RH (%)	Total rain (mm)
9-Jun-10	16.6	12.3	699	28.7	79.0	32.6
10-Jun-10	20.1	15.0	847	28.5	78.7	0.1
11-Jun-10	20.3	14.5	856	28.4	76.9	31.4
12-Jun-10	24.0	16.4	1013	29.0	73.3	15.6
13-Jun-10	25.0	19.3	1054	29.7	71.6	0
14-Jun-10	23.4	17.3	987	29.8	69.1	0.9
15-Jun-10	20.6	14.9	870	29.1	72.6	4.3
16-Jun-10	23.7	18.5	999	29.9	66.5	0.5
17-Jun-10	24.4	18.0	1029	30.6	63.2	9.9
18-Jun-10	24.9	19.6	1051	30.1	67.2	0.3
19-Jun-10	20.5	15.3	855	29.2	68.0	0.1
20-Jun-10	24.3	19.0	1025	29.5	67.7	7.9
21-Jun-10	22.1	17.5	934	30.0	69.9	0
22-Jun-10	10.6	6.8	551	27.7	81.0	2.7
23-Jun-10	*	*	*	*	*	0
24-Jun-10	*	*	*	*	*	0
25-Jun-10	*	*	1107	*	*	0.2
26-Jun-10	20.7	15.9	874	30.3	65.9	0
27-Jun-10	18.8	13.0	792	29.7	69.3	1.6
28-Jun-10	21.0	16.5	887	29.3	70.7	7.2

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ตารางผนวกที่ 1 (ต่อ)

Date	Rs (MJm^{-2})	Rn (MJm^{-2})	PAR ($\mu molm^{-2}s^{-1}$)	Ta (°C)	RH (%)	Total rain (mm)
29-Jun-10	18.8	14.2	793	28.0	76.0	61.1
30-Jun-10	21.6	16.9	910	28.8	76.4	0
1-Jul-10	21.5	17.3	907	29.3	73.8	0
2-Jul-10	8.9	4.2	376	27.3	84.3	1.4
3-Jul-10	16.1	9.5	411	27.3	83.4	17.7
4-Jul-10	*	*	*	*	*	0
5-Jul-10	*	*	*	*	*	0
6-Jul-10	*	*	651	*	*	0
7-Jul-10	27.5	20.0	612	29.5	68.7	0
8-Jul-10	25.8	18.2	575	30.6	62.3	0
9-Jul-10	26.8	18.5	597	30.2	61.7	0
10-Jul-10	27.6	19.1	615	29.9	64.1	0.7
11-Jul-10	22.3	15.5	498	29.2	69.0	0
12-Jul-10	23.7	17.7	530	28.8	71.8	19.1
13-Jul-10	20.8	14.5	461	28.5	74.0	21.5
14-Jul-10	23.4	16.7	520	28.2	78.1	22.5
15-Jul-10	22.9	16.3	512	27.8	79.9	19.8
16-Jul-10	24.7	17.7	551	28.7	75.3	0
17-Jul-10	15.7	10.1	477	28.0	79.1	3.5
18-Jul-10	*	*	404	*	*	0.7
19-Jul-10	*	*	612	*	*	0
20-Jul-10	*	*	966	*	*	0

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ตารางผนวกที่ 1 (ต่อ)

Date	Rs (MJm^{-2})	Rn (MJm^{-2})	PAR ($\mu molm^{-2}s^{-1}$)	Ta (°C)	RH (%)	Total rain (mm)
21-Jul-10	*	*	1029	*	*	0
22-Jul-10	*	*	1428	*	*	0
25-Jul-10	*	*	*	*	*	0
26-Jul-10	*	*	*	*	*	0
27-Jul-10	*	*	*	*	*	0
28-Jul-10	*	*	*	*	*	0
29-Jul-10	*	*	467	*	*	0
30-Jul-10	19.0	15.9	802	28.1	75.6	4.43
31-Jul-10	21.1	16.4	890	28.4	72.8	0
1-Aug-10	21.8	17.9	922	29.1	66.7	0
2-Aug-10	14.8	10.9	624	27.4	80.2	1.4
3-Aug-10	12.7	7.5	536	26.8	83.0	0.13
4-Aug-10	16.0	12.7	667	26.8	77.8	0.47
5-Aug-10	13.8	10.2	580	26.5	78.3	0.61
6-Aug-10	20.5	17.5	864	27.5	72.5	0
7-Aug-10	17.7	14.3	746	27.9	69.1	0
8-Aug-10	19.9	16.4	823	28.8	64.9	0
9-Aug-10	19.6	15.4	729	28.2	71.3	0.17
10-Aug-10	19.8	14.2	765	28.0	77.0	0.03
11-Aug-10	13.6	9.9	568	26.9	84.5	1.5
12-Aug-10	16.3	12.4	687	27.1	83.3	0.04
13-Aug-10	13.8	9.1	579	26.9	86.1	2.51

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ตารางผนวกที่ 1 (ต่อ)

Date	Rs (MJm^{-2})	Rn (MJm^{-2})	PAR ($\mu molm^{-2}s^{-1}$)	Ta (°C)	RH (%)	Total rain (mm)
14-Aug-10	13.5	9.2	568	27.4	83.5	0.05
15-Aug-10	20.6	17.0	868	27.9	79.6	0.66
16-Aug-10	19.5	16.8	822	28.7	74.9	0
17-Aug-10	22.4	20.1	943	28.9	69.8	0
18-Aug-10	7.5	3.8	315	26.9	87.3	0.65
19-Aug-10	21.8	19.3	921	27.6	79.6	1.24
20-Aug-10	15.7	12.7	661	27.0	82.2	0.85
21-Aug-10	14.3	11.4	605	27.0	79.9	0
22-Aug-10	22.2	18.7	934	28.1	75.2	0.02
23-Aug-10	21.2	18.8	890	28.1	73.1	0.28
24-Aug-10	16.6	11.5	698	26.9	82.8	0.61
25-Aug-10	16.4	12.1	691	27.1	82.2	0.43
26-Aug-10	21.0	18.1	886	28.2	78.2	0.54
27-Aug-10	24.4	21.5	1026	29.4	70.1	0
28-Aug-10	11.0	5.4	459	27.5	76.4	0.06
29-Aug-10	14.5	11.1	614	26.9	80.3	0.22
30-Aug-10	15.6	12.9	656	27.5	74.0	0
31-Aug-10	19.2	16.0	808	28.3	69.1	0
1-Sep-10	18.6	16.3	785	28.5	71.5	0
2-Sep-10	20.7	18.7	874	28.2	77.0	0.2
3-Sep-10	16.9	13.8	714	27.2	82.5	2.94
4-Sep-10	17.4	14.3	734	27.5	77.9	0.1

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ตารางผนวกที่ 1 (ต่อ)

Date	Rs (MJm^{-2})	Rn (MJm^{-2})	PAR ($\mu molm^{-2}s^{-1}$)	Ta (°C)	RH (%)	Total rain (mm)
5-Sep-10	22.1	19.3	930	28.5	68.7	0
6-Sep-10	21.6	17.9	909	29.0	64.7	0
7-Sep-10	24.1	21.8	1016	29.7	65.6	2.87
8-Sep-10	18.8	15.6	792	28.9	77.2	0.17
9-Sep-10	17.9	14.8	756	28.8	74.4	0
10-Sep-10	18.2	14.5	768	27.8	78.3	0.03
11-Sep-10	17.6	14.6	742	27.4	81.1	0.34
12-Sep-10	20.2	17.6	854	27.4	79.9	3.44
13-Sep-10	20.5	18.6	866	26.9	83.0	2.41
14-Sep-10	16.5	14.5	696	26.1	85.9	5.16
15-Sep-10	17.0	14.0	716	27.0	81.5	0.01
16-Sep-10	21.8	19.5	918	27.8	77.8	2.89
17-Sep-10	22.4	19.4	947	27.5	80.0	1.84
18-Sep-10	15.4	12.8	652	27.3	82.5	0
19-Sep-10	21.5	19.7	906	27.2	80.8	6.49
20-Sep-10	24.4	21.5	1027	28.7	73.1	0.84
21-Sep-10	22.9	20.3	968	28.5	73.8	0.03
22-Sep-10	21.9	19.8	924	28.1	74.5	0.15
23-Sep-10	21.3	19.0	900	28.6	73.9	0
24-Sep-10	18.7	16.7	789	28.7	76.8	0
25-Sep-10	21.8	19.5	921	29.2	73.1	0
26-Sep-10	16.9	14.5	714	28.6	81.0	0.81

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ตารางผนวกที่ 1 (ต่อ)

Date	Rs (MJm^{-2})	Rn (MJm^{-2})	PAR ($\mu molm^{-2}s^{-1}$)	Ta (°C)	RH (%)	Total rain (mm)
27-Sep-10	20.0	17.9	845	27.3	83.0	0.84
28-Sep-10	20.8	18.0	877	28.0	80.1	0.1
29-Sep-10	17.4	14.1	733	27.2	82.0	2.68
30-Sep-10	17.4	14.3	736	27.8	80.3	0.03
1-Oct-10	17.4	15.2	735	28.6	78.1	0.51
2-Oct-10	17.5	14.5	736	27.3	81.8	0.56
3-Oct-10	12.0	9.3	508	26.1	87.0	5.04
4-Oct-10	10.5	7.0	441	26.2	83.9	1.44
5-Oct-10	7.1	4.8	302	25.7	85.6	0.02
6-Oct-10	13.9	12.3	586	26.3	82.8	0.31
7-Oct-10	16.5	12.2	695	27.0	80.8	0
8-Oct-10	21.0	19.3	887	28.6	77.0	0
9-Oct-10	17.2	14.4	724	27.9	78.3	0.02
10-Oct-10	18.0	15.0	759	27.7	74.9	0
11-Oct-10	14.5	11.8	611	28.2	71.7	0
12-Oct-10	12.7	8.4	534	27.1	78.5	0.15
13-Oct-10	15.0	12.8	634	26.5	85.0	3.15
14-Oct-10	10.5	5.9	441	25.9	87.5	0.16
15-Oct-10	7.3	1.9	308	24.7	88.6	0.33
16-Oct-10	12.0	7.4	506	24.7	88.5	2.5
17-Oct-10	13.7	9.8	577	25.3	87.3	0.47
18-Oct-10	10.9	7.5	459	25.5	88.8	2.08

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ตารางผนวกที่ 1 (ต่อ)

Date	Rs (MJm^{-2})	Rn (MJm^{-2})	PAR ($\mu molm^{-2}s^{-1}$)	Ta (°C)	RH (%)	Total rain (mm)
19-Oct-10	19.1	16.1	805	27.2	78.2	0.01
20-Oct-10	17.3	15.9	729	26.6	82.9	0.09
21-Oct-10	17.8	14.5	749	26.6	82.1	2.08
22-Oct-10	18.3	15.7	770	26.3	82.7	1.74
23-Oct-10	20.7	18.9	872	27.5	76.7	0
24-Oct-10	21.5	19.3	907	28.3	72.6	0
25-Oct-10	20.4	18.8	861	28.7	75.4	0
26-Oct-10	12.7	10.2	536	26.5	85.2	4.1
27-Oct-10	15.9	13.4	673	27.1	80.3	1.35
28-Oct-10	8.8	6.7	373	26.3	79.8	0
29-Oct-10	18.9	16.2	795	25.6	73.0	0
30-Oct-10	17.2	13.3	724	23.7	68.1	0
31-Oct-10	13.1	9.0	555	22.3	70.9	0
1-Nov-10	18.5	14.8	781	23.2	68.8	0
2-Nov-10	11.4	8.2	482	23.9	70.7	0
3-Nov-10	8.1	6.0	340	24.5	67.0	0
4-Nov-10	18.7	15.2	790	24.3	60.6	0
5-Nov-10	17.0	14.1	717	24.2	67.9	0
6-Nov-10	18.4	15.3	776	25.0	69.9	0
7-Nov-10	11.6	9.7	488	25.5	72.4	0
8-Nov-10	19.2	15.4	811	26.8	70.4	0
9-Nov-10	17.2	14.1	724	25.5	63.5	0

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ตารางผนวกที่ 1 (ต่อ)

Date	Rs (MJm^{-2})	Rn (MJm^{-2})	PAR ($\mu molm^{-2}s^{-1}$)	Ta (°C)	RH (%)	Total rain (mm)
10-Nov-10	17.3	13.5	728	25.4	60.4	0
11-Nov-10	12.7	11.0	536	25.4	66.4	0
12-Nov-10	10.1	8.2	426	25.5	70.3	0
13-Nov-10	14.9	12.9	628	26.2	70.0	0
14-Nov-10	19.3	15.6	815	26.5	70.4	0
15-Nov-10	16.2	12.9	685	26.8	72.6	0
16-Nov-10	13.3	11.1	560	26.5	75.1	0
17-Nov-10	15.3	12.4	648	26.4	74.5	0
18-Nov-10	15.9	13.1	671	26.6	74.0	0
19-Nov-10	18.3	14.6	770	26.7	72.8	0
20-Nov-10	18.3	15.0	773	26.5	72.4	0
21-Nov-10	18.2	14.5	768	26.9	73.3	0
22-Nov-10	17.1	13.5	722	27.4	74.8	0
23-Nov-10	16.7	13.3	707	27.3	75.4	0
24-Nov-10	17.8	13.7	751	27.0	72.3	0
25-Nov-10	18.4	13.8	775	26.4	73.4	0
26-Nov-10	17.2	12.7	726	25.4	74.4	0
27-Nov-10	15.7	11.3	664	25.0	73.8	0
28-Nov-10	14.6	13.0	984	25.7	69.4	0
29-Nov-10	nd	nd	nd	nd	nd	nd
30-Nov-10	nd	nd	nd	nd	nd	nd
1-Dec-10	nd	nd	nd	nd	nd	nd
2-Dec-10	nd	nd	nd	nd	nd	nd

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ตารางผนวกที่ 1 (ต่อ)

Date	Rs (MJm^{-2})	Rn (MJm^{-2})	PAR ($\mu molm^{-2}s^{-1}$)	Ta (°C)	RH (%)	Total rain (mm)
3-Dec-10	nd	nd	nd	nd	nd	nd
4-Dec-10	nd	nd	nd	nd	nd	nd
5-Dec-10	nd	nd	nd	nd	nd	nd
6-Dec-10	nd	nd	nd	nd	nd	nd
7-Dec-10	nd	nd	nd	nd	nd	nd
8-Dec-10	nd	nd	nd	nd	nd	nd
9-Dec-10	nd	nd	nd	nd	nd	nd
10-Dec-10	nd	nd	nd	nd	nd	nd
11-Dec-10	nd	nd	nd	nd	nd	nd
12-Dec-10	nd	nd	nd	nd	nd	nd
13-Dec-10	nd	nd	nd	nd	nd	nd
14-Dec-10	nd	nd	nd	nd	nd	nd
15-Dec-10	nd	nd	nd	nd	nd	nd
16-Dec-10	nd	nd	nd	nd	nd	nd
17-Dec-10	nd	nd	nd	nd	nd	nd
18-Dec-10	nd	nd	nd	nd	nd	nd
19-Dec-10	nd	nd	nd	nd	nd	nd
20-Dec-10	nd	nd	nd	nd	nd	nd
21-Dec-10	nd	nd	nd	nd	nd	nd
22-Dec-10	nd	nd	nd	nd	nd	nd
23-Dec-10	nd	nd	nd	nd	nd	nd
24-Dec-10	nd	nd	nd	nd	nd	nd

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ตารางผนวกที่ 1 (ต่อ)

Date	Rs (MJm^{-2})	Rn (MJm^{-2})	PAR ($\mu molm^{-2}s^{-1}$)	Ta (°C)	RH (%)	Total rain (mm)
25-Dec-10	nd	nd	nd	nd	nd	nd
26-Dec-10	nd	nd	nd	nd	nd	nd
27-Dec-10	nd	nd	nd	nd	nd	nd
28-Dec-10	nd	nd	nd	nd	nd	nd
29-Dec-10	nd	nd	nd	nd	nd	nd
30-Dec-10	nd	nd	nd	nd	nd	nd
31-Dec-10	18.6	12.5	784	22.7	60.1	0
1-Jan-11	18.3	12.6	771	22.6	62.0	0
2-Jan-11	17.2	12.9	725	23.6	64.0	0
3-Jan-11	16.3	12.4	688	24.7	64.9	0
4-Jan-11	17.1	12.6	720	24.8	65.3	0
5-Jan-11	16.8	12.8	709	24.7	66.0	0
6-Jan-11	15.5	12.5	652	25.7	65.3	0
7-Jan-11	13.1	10.7	553	25.1	63.1	0
8-Jan-11	15.6	11.1	660	24.2	63.9	0
9-Jan-11	18.0	13.6	759	24.5	63.8	0
10-Jan-11	16.8	12.6	708	23.6	66.7	0
11-Jan-11	10.0	8.2	423	24.4	68.7	0
12-Jan-11	13.3	10.5	561	24.1	68.9	0
13-Jan-11	18.0	13.1	760	24.3	67.3	0
14-Jan-11	11.9	7.0	504	23.7	68.6	0
15-Jan-11	15.9	10.4	672	23.4	66.7	0

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ตารางผนวกที่ 1 (ต่อ)

Date	Rs (MJm^{-2})	Rn (MJm^{-2})	PAR ($\mu molm^{-2}s^{-1}$)	Ta (°C)	RH (%)	Total rain (mm)
16-Jan-11	17.8	11.4	749	21.4	62.7	0
17-Jan-11	17.1	11.8	721	21.4	64.4	0
18-Jan-11	17.1	11.8	722	22.8	63.4	0
19-Jan-11	17.1	12.2	722	24.3	61.1	0
20-Jan-11	15.2	10.1	639	24.5	60.8	0
21-Jan-11	17.8	12.3	748	24.6	58.2	0
22-Jan-11	17.2	12.5	727	24.7	57.2	0
23-Jan-11	14.8	11.5	625	26.4	57.3	0
24-Jan-11	18.5	14.4	761	26.4	61.7	0
25-Jan-11	17.4	12.9	727	25.7	61.0	0
26-Jan-11	18.4	13.9	774	25.2	57.2	0
27-Jan-11	13.2	9.6	559	25.9	53.0	0
28-Jan-11	17.1	13.4	721	26.5	54.5	0
29-Jan-11	19.5	14.2	824	25.5	55.0	0
30-Jan-11	20.1	13.9	845	23.6	55.8	0
31-Jan-11	19.9	13.6	803	23.0	57.8	0
1-Feb-11	19.1	13.3	748	24.0	57.0	0
2-Feb-11	18.8	13.7	790	24.6	59.3	0
3-Feb-11	17.9	13.4	757	25.6	58.5	0
4-Feb-11	17.7	12.5	748	26.1	57.1	0
5-Feb-11	16.6	11.4	701	25.9	59.8	0
6-Feb-11	16.9	11.6	713	25.9	64.4	0

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ตารางผนวกที่ 1 (ต่อ)

Date	Rs (MJm^{-2})	Rn (MJm^{-2})	PAR ($\mu molm^{-2}s^{-1}$)	Ta (°C)	RH (%)	Total rain (mm)
7-Feb-11	17.3	12.2	730	26.8	64.4	0
8-Feb-11	20.7	13.5	875	27.0	55.5	0
9-Feb-11	19.8	13.3	837	26.4	56.1	0
10-Feb-11	19.5	12.9	825	26.5	59.4	0
11-Feb-11	18.9	12.9	798	26.8	61.1	0
12-Feb-11	16.1	11.8	682	26.9	69.5	0
13-Feb-11	17.3	12.6	731	27.9	66.7	0
14-Feb-11	18.5	14.2	780	27.8	67.2	0
15-Feb-11	16.5	13.5	696	27.9	71.4	0
16-Feb-11	19.5	15.9	821	27.7	66.2	0
17-Feb-11	19.2	15.4	809	28.7	66.5	0
18-Feb-11	18.9	15.2	798	29.3	61.7	0
19-Feb-11	19.4	15.1	819	29.6	58.2	0
20-Feb-11	19.1	15.0	806	29.1	65.9	0
21-Feb-11	16.7	13.6	703	27.8	74.8	0.9
22-Feb-11	13.0	10.1	548	26.8	75.7	0
23-Feb-11	15.6	12.8	659	27.6	71.5	0
24-Feb-11	19.0	15.9	800	27.6	70.1	0
25-Feb-11	19.0	15.8	803	28.6	69.0	0
26-Feb-11	11.5	7.9	487	27.6	73.6	0.52
27-Feb-11	15.3	12.7	647	28.1	73.5	0
28-Feb-11	20.0	17.1	844	29.5	66.8	0

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ตารางผนวกที่ 1 (ต่อ)

Date	Rs (MJm^{-2})	Rn (MJm^{-2})	PAR ($\mu molm^{-2}s^{-1}$)	Ta (°C)	RH (%)	Total rain (mm)
1-Mar-11	19.1	16.0	804	29.3	69.4	0
2-Mar-11	18.4	15.4	778	28.7	69.7	1.17
3-Mar-11	19.0	16.5	800	28.1	70.2	0
4-Mar-11	9.1	6.3	383	27.0	80.8	0.86
5-Mar-11	19.3	17.0	813	28.5	70.5	0
6-Mar-11	19.6	16.6	826	29.9	62.5	0
7-Mar-11	19.6	16.1	828	29.7	69.2	0
8-Mar-11	17.5	14.6	741	28.5	74.3	0
9-Mar-11	8.7	5.6	369	26.6	79.7	0
10-Mar-11	13.9	11.5	586	28.1	70.2	0
11-Mar-11	19.1	16.6	806	28.6	65.8	0
12-Mar-11	16.6	14.2	702	28.5	66.9	0
13-Mar-11	18.1	15.6	761	28.9	66.4	0
14-Mar-11	18.5	15.8	781	28.9	69.1	0
15-Mar-11	17.9	16.3	755	27.9	70.0	1.35
16-Mar-11	2.6	-0.6	108	21.1	87.5	0.69
17-Mar-11	3.5	1.2	148	18.0	82.2	0.05
18-Mar-11	12.5	11.2	528	19.8	76.8	0.04
19-Mar-11	20.1	19.2	848	23.9	72.0	0
20-Mar-11	22.1	20.9	932	27.8	67.9	0
21-Mar-11	22.1	21.3	932	29.3	64.8	0
22-Mar-11	21.2	19.9	894	29.8	62.5	0

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ตารางผนวกที่ 1 (ต่อ)

Date	Rs (MJm^{-2})	Rn (MJm^{-2})	PAR ($\mu molm^{-2}s^{-1}$)	Ta (°C)	RH (%)	Total rain (mm)
23-Mar-11	5.3	4.1	224	25.3	86.5	4.57
24-Mar-11	13.2	11.4	556	26.1	77.2	0
25-Mar-11	16.5	15.3	697	26.7	68.1	0
26-Mar-11	10.8	8.6	456	26.0	68.7	0.01
27-Mar-11	5.0	3.4	211	24.1	65.8	0
28-Mar-11	1.8	-1.2	76	19.0	87.5	1.02
29-Mar-11	3.3	0.6	139	19.0	82.3	0.03
30-Mar-11	11.0	10.2	461	20.3	74.5	0
31-Mar-11	16.4	16.2	693	23.1	71.3	0
1-Apr-11	23.1	22.5	973	26.9	66.7	0
2-Apr-11	22.3	21.4	939	28.8	64.2	0
3-Apr-11	18.6	17.4	784	29.1	65.3	0.02
4-Apr-11	14.0	11.6	588	28.0	73.2	0
5-Apr-11	18.5	16.0	780	28.6	71.1	0
6-Apr-11	19.5	16.7	823	28.1	73.3	0
7-Apr-11	21.8	18.4	918	28.5	69.3	0
8-Apr-11	20.6	17.2	872	29.2	68.3	0
9-Apr-11	14.0	11.5	592	28.3	76.3	0.85
10-Apr-11	17.7	16.4	747	26.9	78.9	1.96
11-Apr-11	21.6	18.7	910	28.8	71.3	0
12-Apr-11	21.6	17.8	910	28.9	71.7	0
13-Apr-11	20.5	16.5	865	28.7	71.1	0

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ตารางผนวกที่ 1 (ต่อ)

Date	Rs (MJm^{-2})	Rn (MJm^{-2})	PAR ($\mu molm^{-2}s^{-1}$)	Ta (°C)	RH (%)	Total rain (mm)
14-Apr-11	20.6	16.7	867	28.6	71.1	0
15-Apr-11	23.0	18.7	968	29.3	67.7	0
16-Apr-11	23.3	18.8	983	29.5	68.1	0
17-Apr-11	24.4	20.0	1029	30.4	63.1	0
18-Apr-11	24.4	19.8	1027	31.1	56.3	0
19-Apr-11	20.0	15.5	846	28.7	69.6	0.03
20-Apr-11	21.4	17.6	903	28.8	70.8	0
21-Apr-11	22.6	18.2	955	30.0	67.2	0
22-Apr-11	22.8	18.7	963	30.3	67.0	0
23-Apr-11	19.7	15.6	830	28.3	75.8	1
24-Apr-11	13.8	11.0	581	26.8	82.9	0.13
25-Apr-11	15.3	12.7	644	26.7	79.9	1.44
26-Apr-11	20.3	17.9	853	28.4	74.4	0.02
27-Apr-11	23.3	20.7	985	29.2	72.5	0
28-Apr-11	22.4	19.8	945	29.7	71.1	0
29-Apr-11	17.7	14.5	748	28.2	76.4	1.03
30-Apr-11	20.1	18.0	847	28.8	76.0	0
Min	1.8	-1.2	75.6	18.0	53.0	0.0
Max	27.6	22.5	1428.3	31.1	88.8	61.1
Total	4,857.8	3,864.2	20,6406.7	7,438.6	19,831.9	345.8
Average	17.7	14.0	728.8	27.0	72.1	1.3

nd = no data, * = missing data

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ตารางผนวกที่ 2 ปริมาณคาร์บอนไดออกไซด์ที่ดูดซับโดยแปลงอ้อยตอ 1 และการใช้น้ำรายวัน ตลอดฤดูปลูกอ้อยตอ 1 ตั้งแต่วันที่ 9 มิถุนายน 2553 – 30 เมษายน 2554

Date	CO_2 ($gm^{-2}d^{-1}$)	H_2O (mmd^{-1})
9-Jun-10	4.3	0.7
10-Jun-10	1.4	2.0
11-Jun-10	4.0	1.7
12-Jun-10	3.4	2.1
13-Jun-10	2.1	2.0
14-Jun-10	0.5	1.5
15-Jun-10	1.6	1.6
16-Jun-10	0.1	2.2
17-Jun-10	1.2	1.4
18-Jun-10	2.1	1.7
19-Jun-10	1.1	1.9
20-Jun-10	3.2	1.8
21-Jun-10	0.8	2.0
22-Jun-10	1.5	1.6
23-Jun-10	*	*
24-Jun-10	*	*
25-Jun-10	*	*
26-Jun-10	2.8	1.8
27-Jun-10	3.3	1.7
28-Jun-10	4.1	2.3
29-Jun-10	4.0	3.0
30-Jun-10	0.6	2.2
1-Jul-10	2.2	1.6

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ตารางผนวกที่ 2 (ต่อ)

Date	CO_2 ($gm^{-2}d^{-1}$)	H_2O (mmd^{-1})
2-Jul-10	2.0	1.2
3-Jul-10	5.0	1.7
4-Jul-10	*	*
5-Jul-10	*	*
6-Jul-10	6.7	0.6
7-Jul-10	7.0	2.1
8-Jul-10	8.1	2.6
9-Jul-10	9.3	2.6
10-Jul-10	8.9	2.4
11-Jul-10	6.1	2.1
12-Jul-10	9.9	2.2
13-Jul-10	10.8	3.4
14-Jul-10	16.6	2.5
15-Jul-10	8.1	2.1
16-Jul-10	12.2	3.0
17-Jul-10	8.1	1.6
18-Jul-10	13.5	1.4
19-Jul-10	17.0	1.8
20-Jul-10	23.0	2.6
21-Jul-10	24.1	2.7
22-Jul-10	30.8	3.6
23-Jul-10	*	*
24-Jul-10	*	*
25-Jul-10	*	*

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ตารางผนวกที่ 2 (ต่อ)

Date	CO_2 ($gm^{-2}d^{-1}$)	H_2O (mmd^{-1})
26-Jul-10	*	*
27-Jul-10	*	*
28-Jul-10	*	*
29-Jul-10	14.6	1.5
30-Jul-10	17.1	2.3
31-Jul-10	19.0	3.3
1-Aug-10	18.4	2.8
2-Aug-10	13.0	1.9
3-Aug-10	10.7	1.8
4-Aug-10	15.2	2.3
5-Aug-10	14.3	2.4
6-Aug-10	16.9	3.0
7-Aug-10	17.1	2.8
8-Aug-10	19.7	3.0
9-Aug-10	17.5	2.7
10-Aug-10	17.0	3.0
11-Aug-10	13.4	2.0
12-Aug-10	14.3	2.2
13-Aug-10	16.8	1.7
14-Aug-10	15.1	1.9
15-Aug-10	18.6	2.8
16-Aug-10	19.1	2.8
17-Aug-10	18.5	2.9
18-Aug-10	9.5	1.3

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ตารางผนวกที่ 2 (ต่อ)

Date	CO_2 ($gm^{-2}d^{-1}$)	H_2O (mmd^{-1})
19-Aug-10	24.2	3.6
20-Aug-10	19.3	2.4
21-Aug-10	17.3	2.4
22-Aug-10	19.7	3.2
23-Aug-10	23.1	3.1
24-Aug-10	21.1	2.5
25-Aug-10	21.4	2.8
26-Aug-10	18.1	3.2
27-Aug-10	20.6	3.9
28-Aug-10	12.8	1.9
29-Aug-10	18.0	2.2
30-Aug-10	21.9	2.4
31-Aug-10	24.6	3.0
1-Sep-10	21.7	2.8
2-Sep-10	21.3	3.2
3-Sep-10	25.8	3.0
4-Sep-10	25.0	3.2
5-Sep-10	23.4	3.7
6-Sep-10	26.7	3.8
7-Sep-10	25.5	3.6
8-Sep-10	25.4	3.4
9-Sep-10	26.4	2.7
10-Sep-10	22.4	2.7
11-Sep-10	18.1	2.5

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ตารางผนวกที่ 2 (ต่อ)

Date	CO_2 ($gm^{-2}d^{-1}$)	H_2O (mmd^{-1})
12-Sep-10	23.6	3.3
13-Sep-10	31.1	4.3
14-Sep-10	25.1	3.2
15-Sep-10	22.4	2.6
16-Sep-10	27.3	3.0
17-Sep-10	22.6	3.4
18-Sep-10	22.2	2.2
19-Sep-10	18.6	4.0
20-Sep-10	21.7	3.9
21-Sep-10	23.1	4.0
22-Sep-10	22.0	3.4
23-Sep-10	21.9	3.2
24-Sep-10	16.8	2.5
25-Sep-10	21.0	2.9
26-Sep-10	15.2	2.3
27-Sep-10	17.6	2.7
28-Sep-10	18.2	3.0
29-Sep-10	19.1	2.7
30-Sep-10	18.9	2.5
1-Oct-10	16.5	2.3
2-Oct-10	13.7	2.4
3-Oct-10	23.9	3.0
4-Oct-10	17.2	2.0
5-Oct-10	11.6	1.4

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ตารางผนวกที่ 2 (ต่อ)

Date	CO_2 ($gm^{-2}d^{-1}$)	H_2O (mmd^{-1})
6-Oct-10	19.2	1.9
7-Oct-10	23.9	2.5
8-Oct-10	18.2	2.5
9-Oct-10	20.9	2.7
10-Oct-10	24.2	2.9
11-Oct-10	21.2	2.4
12-Oct-10	14.9	2.0
13-Oct-10	14.6	2.0
14-Oct-10	16.9	2.0
15-Oct-10	15.7	1.8
16-Oct-10	20.0	2.0
17-Oct-10	23.0	2.2
18-Oct-10	19.1	1.9
19-Oct-10	20.1	3.2
20-Oct-10	21.7	2.7
21-Oct-10	21.0	2.5
22-Oct-10	21.7	2.8
23-Oct-10	21.5	3.4
24-Oct-10	21.8	3.3
25-Oct-10	20.5	3.0
26-Oct-10	20.8	2.6
27-Oct-10	21.3	2.5
28-Oct-10	13.4	1.6
29-Oct-10	17.9	3.0

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ตารางผนวกที่ 2 (ต่อ)

Date	CO_2 ($gm^{-2}d^{-1}$)	H_2O (mmd^{-1})
30-Oct-10	15.0	3.0
31-Oct-10	13.5	2.3
1-Nov-10	16.2	2.8
2-Nov-10	12.1	2.0
3-Nov-10	8.7	1.8
4-Nov-10	15.1	2.9
5-Nov-10	13.5	2.3
6-Nov-10	14.4	2.3
7-Nov-10	12.2	1.7
8-Nov-10	14.3	2.5
9-Nov-10	14.2	2.6
10-Nov-10	14.6	2.5
11-Nov-10	13.5	1.9
12-Nov-10	10.2	1.5
13-Nov-10	14.5	1.9
14-Nov-10	15.1	2.1
15-Nov-10	13.8	1.9
16-Nov-10	13.4	1.7
17-Nov-10	16.1	2.0
18-Nov-10	16.3	1.9
19-Nov-10	17.7	2.2
20-Nov-10	16.8	2.0
21-Nov-10	17.3	2.0
22-Nov-10	16.2	2.0
23-Nov-10	17.0	1.9

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ตารางผนวกที่ 2 (ต่อ)

Date	CO_2 ($gm^{-2}d^{-1}$)	H_2O (mmd^{-1})
24-Nov-10	16.9	2.1
25-Nov-10	16.5	2.1
26-Nov-10	17.1	1.8
27-Nov-10	15.8	1.7
28-Nov-10	14.4	1.8
29-Nov-10	nd	nd
30-Nov-10	nd	nd
1-Dec-10	nd	nd
2-Dec-10	nd	nd
3-Dec-10	nd	nd
4-Dec-10	nd	nd
5-Dec-10	nd	nd
6-Dec-10	nd	nd
7-Dec-10	nd	nd
8-Dec-10	nd	nd
9-Dec-10	nd	nd
10-Dec-10	nd	nd
11-Dec-10	nd	nd
12-Dec-10	nd	nd
13-Dec-10	nd	nd
14-Dec-10	nd	nd
15-Dec-10	nd	nd
16-Dec-10	nd	nd
17-Dec-10	nd	nd

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ตารางผนวกที่ 2 (ต่อ)

Date	CO_2 ($gm^{-2}d^{-1}$)	H_2O (mmd^{-1})
18-Dec-10	nd	nd
19-Dec-10	nd	nd
20-Dec-10	nd	nd
21-Dec-10	nd	nd
22-Dec-10	nd	nd
23-Dec-10	nd	nd
24-Dec-10	nd	nd
25-Dec-10	nd	nd
26-Dec-10	nd	nd
27-Dec-10	nd	nd
28-Dec-10	nd	nd
29-Dec-10	nd	nd
30-Dec-10	nd	nd
31-Dec-10	12.4	1.8
1-Jan-11	12.1	1.7
2-Jan-11	11.2	1.7
3-Jan-11	11.9	1.6
4-Jan-11	12.2	1.6
5-Jan-11	12.6	1.4
6-Jan-11	12.4	1.5
7-Jan-11	12.5	1.2
8-Jan-11	12.8	1.4
9-Jan-11	12.3	1.6
10-Jan-11	12.9	1.4

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ตารางผนวกที่ 2 (ต่อ)

Date	CO_2 ($gm^{-2}d^{-1}$)	H_2O (mmd^{-1})
11-Jan-11	8.7	1.0
12-Jan-11	13.0	1.3
13-Jan-11	11.9	1.5
14-Jan-11	10.7	1.0
15-Jan-11	12.0	1.4
16-Jan-11	12.5	1.3
17-Jan-11	12.9	1.4
18-Jan-11	10.7	1.4
19-Jan-11	10.8	1.4
20-Jan-11	10.9	1.3
21-Jan-11	10.8	1.6
22-Jan-11	11.5	1.5
23-Jan-11	10.8	1.3
24-Jan-11	12.8	1.6
25-Jan-11	12.4	1.4
26-Jan-11	10.1	1.5
27-Jan-11	9.9	1.2
28-Jan-11	11.9	1.4
29-Jan-11	12.5	1.5
30-Jan-11	12.1	1.4
31-Jan-11	12.1	1.4
1-Feb-11	10.9	1.4
2-Feb-11	10.8	1.3
3-Feb-11	10.6	1.3

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ตารางผนวกที่ 2 (ต่อ)

Date	CO_2 ($gm^{-2}d^{-1}$)	H_2O (mmd^{-1})
4-Feb-11	10.8	1.5
5-Feb-11	10.4	1.3
6-Feb-11	11.9	1.2
7-Feb-11	10.0	1.4
8-Feb-11	11.8	2.1
9-Feb-11	12.1	1.7
10-Feb-11	11.0	1.5
11-Feb-11	10.2	1.5
12-Feb-11	9.9	1.0
13-Feb-11	10.7	1.3
14-Feb-11	10.2	1.2
15-Feb-11	10.7	1.2
16-Feb-11	12.3	1.3
17-Feb-11	11.6	1.4
18-Feb-11	12.9	1.8
19-Feb-11	11.6	1.6
20-Feb-11	10.5	1.5
21-Feb-11	15.1	1.2
22-Feb-11	6.0	1.6
23-Feb-11	10.1	1.5
24-Feb-11	12.5	1.5
25-Feb-11	12.1	1.7
26-Feb-11	8.9	1.4
27-Feb-11	9.8	1.3

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ตารางผนวกที่ 2 (ต่อ)

Date	CO_2 ($gm^{-2}d^{-1}$)	H_2O (mmd^{-1})
28-Feb-11	12.9	2.0
1-Mar-11	11.7	1.5
2-Mar-11	10.9	1.3
3-Mar-11	12.0	2.4
4-Mar-11	6.2	0.9
5-Mar-11	11.4	2.4
6-Mar-11	12.9	2.1
7-Mar-11	13.2	2.0
8-Mar-11	11.6	1.6
9-Mar-11	8.7	0.8
10-Mar-11	10.1	1.4
11-Mar-11	13.2	1.9
12-Mar-11	12.0	1.6
13-Mar-11	12.7	1.7
14-Mar-11	13.8	1.7
15-Mar-11	12.8	1.7
16-Mar-11	11.8	1.6
17-Mar-11	5.3	1.4
18-Mar-11	12.6	1.4
19-Mar-11	11.8	1.7
20-Mar-11	13.8	2.1
21-Mar-11	15.4	2.2
22-Mar-11	14.0	2.2
23-Mar-11	4.5	1.0

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ตารางผนวกที่ 2 (ต่อ)

Date	CO_2 ($gm^{-2}d^{-1}$)	H_2O (mmd^{-1})
24-Mar-11	12.4	1.6
25-Mar-11	14.8	1.8
26-Mar-11	12.2	1.6
27-Mar-11	5.6	1.0
28-Mar-11	*	0.8
29-Mar-11	5.9	1.2
30-Mar-11	9.0	1.3
31-Mar-11	14.2	1.5
1-Apr-11	15.8	2.1
2-Apr-11	16.5	2.5
3-Apr-11	18.4	2.2
4-Apr-11	9.1	1.2
5-Apr-11	8.0	1.4
6-Apr-11	5.3	1.3
7-Apr-11	7.9	1.5
8-Apr-11	6.8	1.3
9-Apr-11	6.7	0.8
10-Apr-11	9.0	2.1
11-Apr-11	7.9	2.1
12-Apr-11	6.7	1.8
13-Apr-11	7.3	1.6
14-Apr-11	8.6	1.6
15-Apr-11	7.1	1.6
16-Apr-11	5.5	1.5

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ตารางผนวกที่ 2 (ต่อ)

Date	CO_2 ($gm^{-2}d^{-1}$)	H_2O (mmd^{-1})
17-Apr-11	10.4	2.3
18-Apr-11	10.4	2.4
19-Apr-11	11.1	1.8
20-Apr-11	8.2	1.6
21-Apr-11	9.0	1.6
22-Apr-11	9.7	1.8
23-Apr-11	9.2	1.5
24-Apr-11	5.2	2.3
25-Apr-11	17.9	1.2
26-Apr-11	8.8	2.0
27-Apr-11	8.3	2.1
28-Apr-11	7.9	1.9
29-Apr-11	7.5	1.3
30-Apr-11	6.4	2.3
Min	0.1	0.6
Max	31.1	4.3
Average	13.6	2.1
Total	3,844.9	581.5

nd = no data, * = data missing

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ประวัติการศึกษา

ชื่อ –นามสกุล	นางสาวนงภัทร ไชยชนะ
วัน เดือน ปี ที่เกิด	19 มกราคม 2524
สถานที่เกิด	จังหวัดน่าน
ประวัติการศึกษา	วท.บ. (เกษตรศาสตร์) มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ วิทยาเขตกำแพงแสน (พ.ศ. 2546)

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์