



การศึกษาเปรียบเทียบประสิทธิภาพการสังเคราะห์แสงและการสร้างมวลชีวภาพของหญ้าขน

{*Brachiaria mutica* (Forsk.) Stapf} กับหญ้าขม {*Eulalia trispicata* (Schult.) Henr.}

A Comparative Study on Photosynthetic Efficiency and Biomass Production of *Brachiaria mutica* (Forsk.) Stapf and *Eulalia trispicata* (Schult.) Henr.

ศศิธร พุทธรักษ์

Sasithorn Bhudharak

วิทยานิพนธ์วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาวิทยาศาสตร์ชีวภาพ

มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์

Master of Science Thesis in Biological Sciences

Prince of Songkla University

2540

เลขที่ OK 195.041 456 2540 2, 2

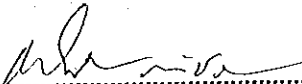
Bib Key 131325

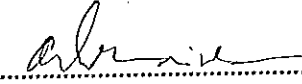
ชื่อวิทยานิพนธ์ การศึกษาเปรียบเทียบประสิทธิภาพการสังเคราะห์แสงและการสร้างมวลชีวภาพ
ของหญ้าขน {*Brachiaria mutica* (Forsk.) Stapf} กับหญ้าขม {*Eulalia trispicata*
(Schult.) Henr.}

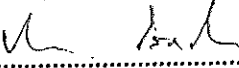
ผู้เขียน นางสาวศศิธร พุทธิรักษ์
สาขาวิชา วิทยาศาสตร์ชีวภาพ

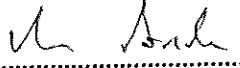
คณะกรรมการที่ปรึกษา

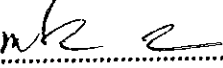
คณะกรรมการสอบ

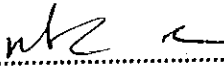
 ประธานกรรมการ
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.อนันต์ กำเนิดรัตน์)

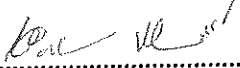
 ประธานกรรมการ
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.อนันต์ กำเนิดรัตน์)

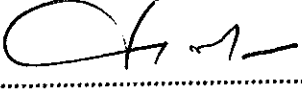
 กรรมการ
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ประวิตร โสภโณคร)

 กรรมการ
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ประวิตร โสภโณคร)

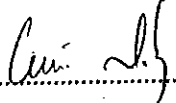
 กรรมการ
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ทวีศักดิ์ สักคีนิมิต)

 กรรมการ
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ทวีศักดิ์ สักคีนิมิต)

 กรรมการ
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์เยาวลักษณ์ จิตรภักดี)

 กรรมการ
(รองศาสตราจารย์ ดร.ประเสริฐ ชิตพงศ์)

บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ อนุมัติให้วิทยานิพนธ์ฉบับนี้เป็นส่วนหนึ่ง
ของการศึกษา ตามหลักสูตรวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาวิทยาศาสตร์ชีวภาพ


(ดร.ไพรัตน์ สงวนไพร)
คณบดีบัณฑิตวิทยาลัย

ชื่อวิทยานิพนธ์ การศึกษาเปรียบเทียบประสิทธิภาพการสังเคราะห์แสงและการสร้างมวลชีวภาพ
ของหญ้าขน (*Brachiaria mutica* (Forsk.) Stapf) กับหญ้าขม (*Eulalia*
trispicata (Schult.) Henr.)
ผู้เขียน นางสาวศศิธร พุทธิรักษ์
สาขาวิชา วิทยาศาสตร์ชีวภาพ
ปีการศึกษา 2540

บทคัดย่อ

การศึกษานี้ได้กระทำในแปลงหญ้าและในห้องปฏิบัติการ สถานีวิจัยคลองหอยโข่ง คณะ
ทรัพยากรธรรมชาติ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ วิทยาเขตหาดใหญ่ ตั้งแต่เดือนพฤศจิกายน พ.ศ.
2536 ถึงเดือนกุมภาพันธ์ พ.ศ. 2537

การศึกษาศรีวิทย์วิทยาของหญ้าขน (*Brachiaria mutica* (Forsk.) Stapf) และหญ้าขม (*Eulalia*
trispicata (Schult.) Henr.) โดยเปรียบเทียบอัตราการสังเคราะห์แสง พบว่าหญ้าขมมีอัตราการ
สังเคราะห์แสงที่ตอบสนองทั้งต่อปริมาณแสงและปริมาณคาร์บอนไดออกไซด์ที่เพิ่มขึ้นสูงกว่า
หญ้าขน โดยหญ้าขนจะแสดงค่าอัตราการสังเคราะห์แสงสูงสุด (A_{max}), ค่า Quantum yield (ϕ)
และค่าประสิทธิภาพของกระบวนการ carboxylation ที่สูงกว่าหญ้าขน ทั้งที่วัดในแปลงปลูกและ
ในห้องปฏิบัติการ

การศึกษากลอโรฟิลล์ฟลูออเรสเซนซ์ในแปลงหญ้าขนและหญ้าขม และวัดการฟุ้งตัวของค่า
กลอโรฟิลล์ฟลูออเรสเซนซ์ของหญ้าทั้งสองชนิดในห้องปฏิบัติการ ที่เวลา 0.5, 5 และ 24 ชั่วโมง
หลังการตัด ใน 3 ช่วงเวลาคือ เช้า เที่ยง และเย็น ในแต่ละช่วงเดือน โดยการวัดค่า F_v/F_m พบว่า
หญ้าขนแสดงค่า F_v/F_m สูงกว่าหญ้าขม ซึ่งหมายถึงหญ้าขนมีประสิทธิภาพในการใช้แสงได้ดีกว่า
หญ้าขม หญ้าทั้งสองชนิดจะเกิดความเครียด (ค่า F_v/F_m ต่ำ) เมื่ออยู่ในสภาพที่มีความเข้มของแสง
สูง เนื่องจากเกิด photoinhibition ของการสังเคราะห์แสง แต่เมื่อมีความแห้งแล้งเกิดขึ้นหญ้าขมจะ
มีความทนทานมากกว่าหญ้าขน สภาพการฟุ้งตัวจากความเครียดของพืชจะช้าหรือเร็วขึ้นอยู่กับ
ระดับความรุนแรงของปัจจัยสภาพแวดล้อมที่เกิดขึ้น

การศึกษาลักษณะทางกายวิภาคของหญ้าขนและหญ้าขม พบว่าหญ้าขนเป็นพืช C_4 ประเภท
PEP carboxykinase type (PCK type) ส่วนหญ้าขมเป็นพืช C_4 ประเภท NADP malic enzyme
type (NADP-ME type) นอกจากนั้นหญ้าขนมีความหนาแน่นของปากใบ ความยาวของรูปปากใบ
กับลักษณะทางสัณฐานวิทยา เช่น ขนาดของใบ การเรียงตัวของใบ ขนที่ปกคลุมใบและคัน

พื้นที่ใบ เอื้อต่อการสังเคราะห์แสงมากกว่าหุบขาม จึงเป็นอีกสาเหตุหนึ่งที่ทำให้หุบขามมี
ประสิทธิภาพการสังเคราะห์แสงสูงกว่าหุบขาม และมีผลทำให้การสร้างน้ำนักแห้งสูงกว่าตลอด
ระยะเวลาของการศึกษา

Thesis Title A Comparative Study on Photosynthetic Efficiency and Biomass Production
 of *Brachiaria mutica* (Forsk.) Stapf and *Eulalia trispicata* (Schult.) Henr.
Author Miss Sasithorn Bhudharak
Major Program Biological Sciences
Academic Year 1997

Abstract

The study was conducted in the field and laboratory at the Klong Hoi Khong Research Station, Faculty of Natural Resources, PSU Hat Yai during November 1993 to February 1994.

A physiological study of *Brachiaria mutica* (Forsk.) Stapf and *Eulalia trispicata* (Schult.) Henr. was conducted to compare photosynthetic rate. It was found that *B. mutica* had higher response at elevated light and CO₂ than *E. trispicata* resulting in maximum photosynthetic rate (A_{max}), quantum yield (ϕ) and carboxylation efficiency measured both in the field and laboratory.

Chlorophyll fluorescence was investigated in both grasses by measuring F_v/F_m in the field and in laboratory to observe time of recovery simultaneously at 0.5, 5 and 24 hours after samples being cut from the field in the morning, noon and evening. It was found that F_v/F_m of *B. mutica* was higher than *E. trispicata* which meant the efficient use of light of *B. mutica* was better than *E. trispicata*. Both grasses were under stress (low F_v/F_m values) when exposed to high light intensity expressing photoinhibition but when subjected to drought *E. trispicata* was more tolerant than *B. mutica*. Recovery from stress was depending on the degree of severity of environmental factors.

The anatomical study of both grasses showed that *B. mutica* is C₄-plant with PEP carboxykinase type (PCK type) whereas *E. trispicata* is C₄-plant with NADP malic enzyme type (NADP-ME type). Moreover, *B. mutica* had stomatal density, stomatal pore length and morphological features such as leaf size, leaf orientation, possessing leaf and stem trichomes, and leaf area in favor of higher photosynthetic performance than *E. trispicata*. These are the other factors which are featuring higher photosynthetic rate in *B. mutica* than *E. trispicata* and

contributing to the overall higher dry matter production of the former over the later throughout the study period.

กิตติกรรมประกาศ

ผู้เขียนขอกราบขอบพระคุณเป็นอย่างยิ่งต่อ ผศ.ดร.อภิวัฒน์ กำเนิดรัตน์ ประธานกรรมการที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ ผศ.ดร.ประวิตร โสภโณคร ผศ.ทวีศักดิ์ ศักดิ์นิมิต กรรมการที่ปรึกษา ที่กรุณาให้คำปรึกษาและแนะนำในการศึกษาและวิจัย การเขียนและการตรวจแก้ไขวิทยานิพนธ์จนเสร็จสมบูรณ์ และขอขอบคุณ ผศ.เขวาลักษณ์ จิตรภักดี รศ.ดร.ประเสริฐ ชิตพงษ์ ที่ให้คำแนะนำและตรวจแก้ไขวิทยานิพนธ์ให้เสร็จสมบูรณ์ยิ่งขึ้น

ขอขอบคุณอาจารย์อุปถัมภ์ มีสวัสดิ์ คุณฉัฐพล จันทร์สว่าง คุณจารึก บุญวรรณโณ คุณพิเชษฐ์ เพชรวงศ์ คุณสุธรรม มะยะกุล และคุณสุกัญญา สุวรรณระ สำหรับคำแนะนำทางวิชาการ งานภาคสนาม และงานในห้องปฏิบัติการ

ขอขอบคุณ บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ และสำนักงานพัฒนาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งชาติ (สวทช.) ที่ได้ให้ทุนอุดหนุนการทำวิจัย รวมทั้งคณะทรัพยากรธรรมชาติ และโครงการทุ่งหญ้าไทย-ออสเตรีย (Thai-Austrian Grassland Project) ซึ่งได้อนุเคราะห์ให้ใช้สถานที่ และเครื่องมือสำหรับการทำวิจัย

และที่สำคัญผู้เขียนขอกราบขอบพระคุณ “คุณพ่อ คุณแม่ และน้องสาว” ที่ได้เป็นกำลังใจที่ดีเยี่ยมและสนับสนุนช่วยเหลือทั้งกำลังกายกำลังใจจนสำเร็จการศึกษา

ศศิธร พุทธรักษ์

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อ.....	(3)
Abstract.....	(5)
กิตติกรรมประกาศ.....	(7)
สารบัญ.....	(8)
รายการตาราง.....	(9)
รายการรูป.....	(11)
บทที่	
1. บทนำ.....	1
บทนำต้นเรื่อง.....	1
การตรวจเอกสาร.....	2
วัตถุประสงค์.....	23
2. วิธีการวิจัย.....	24
วัสดุ.....	24
อุปกรณ์.....	25
วิธีการ.....	27
3. ผล.....	33
4. วิจัยและสรุปผล.....	70
เอกสารอ้างอิง.....	83
ภาคผนวก.....	92
ประวัติผู้เขียน.....	102

รายการตาราง

ตารางที่		หน้า
1	ค่าเฉลี่ยปัจจัยสภาพแวดล้อมเฉพาะวันที่ทำการวัดอัตราการสังเคราะห์แสงและกลอโรฟิลล์ฟลูออเรสเซนซ์.....	38
2	ค่าเฉลี่ยของ A_{max} ($\mu \text{ mol CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$) ของใบหญ้าขนและใบหญ้าขม ทำการวัดในช่วงเดือนพฤศจิกายน พ.ศ. 2536 ถึงเดือนกุมภาพันธ์ พ.ศ. 2537.....	43
3	ค่าเฉลี่ยของ A_{max} ($\mu \text{ mol CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$) ของใบหญ้าขนและใบหญ้าขม ทำการวัดที่ช่วงเวลาเช้าและเที่ยงในห้องปฏิบัติการ.....	44
4	ϕ เฉลี่ย ($\mu \text{ mol CO}_2 \mu \text{ mol}^{-1} \text{ PPF}$) ของใบหญ้าขนและใบหญ้าขม ที่วัดช่วงเดือนพฤศจิกายน พ.ศ. 2536 ถึงเดือนกุมภาพันธ์ พ.ศ. 2537.....	45
5	ปัจจัยต่าง ๆ ที่มีอิทธิพลต่อค่าเฉลี่ย A_{max} ($\mu \text{ mol CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$) และ $\delta A/\delta C_i$ ($\text{mol m}^{-2} \text{ s}^{-1}$) ของใบหญ้าขนและใบหญ้าขม.....	48
6	F_v/F_m เฉลี่ยของหญ้าขนกับหญ้าขม ทำการวัดในช่วงเดือนพฤศจิกายน พ.ศ. 2536 ถึงเดือนกุมภาพันธ์ พ.ศ. 2537.....	50
7	F_v/F_m เฉลี่ยของหญ้าขนกับหญ้าขมในแปลงปลูก ทำการวัดเวลาเช้า เที่ยง และเย็น.....	50
8	F_v/F_m เฉลี่ยที่ทำการวัดเวลาเช้า เที่ยง และเย็น ในช่วงเดือนพฤศจิกายน พ.ศ. 2536 ถึงเดือนกุมภาพันธ์ พ.ศ. 2537.....	51
9	F_v/F_m เฉลี่ยทำการวัดใบหญ้าทั้งด้านบนและด้านล่าง ในช่วงเดือนพฤศจิกายน พ.ศ. 2536 ถึงเดือนกุมภาพันธ์ พ.ศ. 2537.....	52
10	F_v/F_m เฉลี่ยของหญ้าขนกับหญ้าขม ที่ทำการวัดเวลาเช้า เที่ยง และเย็น ในช่วงเดือนพฤศจิกายน พ.ศ. 2536 ถึงเดือนกุมภาพันธ์ พ.ศ. 2537.....	53
11	ปัจจัยต่าง ๆ ที่มีอิทธิพลต่อ F_v/F_m เฉลี่ยที่ทำการวัดภายหลังจากการฟื้นตัวเป็นเวลา 24 ชั่วโมง.....	56
12	ปัจจัยชนิดหญ่กับเดือนที่ทำการศึกษา ที่มีอิทธิพลต่อค่าเฉลี่ยของน้ำหนักแห้ง (g m^{-2}) และ LAI.....	59

รายการตาราง (ต่อ)

ตารางที่		หน้า
13	สรุปความเหมือนและแตกต่างกันของลักษณะโครงสร้างภายใน ของใบ และลำต้นของหญ้าขนและหญ้ายวม.....	67
14	ค่าเฉลี่ยความหนาแน่นของปากใบ (ต่อตารางมิลลิเมตร) ของใบ หญ้ายวมและหญ้ายวม วัดด้านบนใบและด้านล่างใบ.....	68
15	ค่าเฉลี่ยความยาวของรูปปากใบ (μm) ของใบหญ้ายวมและหญ้ายวม วัดด้านบนใบและด้านล่างใบ.....	69

รายการรูป

รูปที่	หน้า	
1	การตอบสนองของอัตราการสังเคราะห์แสง (A) ต่อปริมาณแสง (Q).....	11
2	การตอบสนองของอัตราการสังเคราะห์แสงของใบพืช (A) ต่อปริมาณคาร์บอนไดออกไซด์ได้ปากใบ (C _i).....	13
3	กระบวนการชักนำให้เกิดรังสีฟลูออเรสเซนซ์หรือ Kautsky curve....	14
4	ข้อมูลเฉลี่ยรายวันของ ก) ความชื้นสัมพัทธ์ ข) รังสีดวงอาทิตย์ ค) อุณหภูมิอากาศ ง) อุณหภูมิดิน จ) ปริมาณฝน ฉ) น้ำระเหย ช) ลม ในช่วงเดือนพฤศจิกายน พ.ศ. 2536 ถึงเดือนกุมภาพันธ์ พ.ศ. 2537.....	34
5	ความชื้นในดินที่วัดบริเวณแปลงหญ้าขนและแปลงหญ้าขม ทุกวันที่ 15 ของเดือนพฤศจิกายน เดือนธันวาคม พ.ศ. 2536 เดือนมกราคม และเดือนกุมภาพันธ์ พ.ศ. 2537.....	35
6	ข้อมูลในรอบวัน (6.30-18.00 นาฬิกา) ของ ก) รังสีดวงอาทิตย์ ข) อุณหภูมิอากาศ ค) อุณหภูมิดิน ทุกครึ่งชั่วโมงของวันที่ทำการวัด กลอโรฟิลล์ฟลูออเรสเซนซ์ในช่วงเดือนพฤศจิกายน เดือนธันวาคม และเดือนมกราคม.....	39
7	การตอบสนองอัตราการสังเคราะห์แสงต่อปริมาณแสง (A/Q) ในแปลงปลูกของใบหญ้าขนและใบหญ้าขม วัดที่เวลาเช้าและเที่ยง ตั้งแต่เดือนพฤศจิกายน พ.ศ. 2536 ถึงเดือนกุมภาพันธ์ พ.ศ. 2537.....	40
8	การตอบสนองอัตราการสังเคราะห์แสงต่อปริมาณแสง (A/Q) ในห้องปฏิบัติการของใบหญ้าขนและใบหญ้าขม วัดที่เวลาเช้าและเที่ยง ตั้งแต่เดือนพฤศจิกายน พ.ศ. 2536 ถึงเดือนกุมภาพันธ์ พ.ศ. 2537....	41
9	การตอบสนองอัตราการสังเคราะห์แสงเฉลี่ย (A) ต่อปริมาณคาร์บอนไดออกไซด์ได้ปากใบ (C _i) ของหญ้าขนและหญ้าขม วัดในช่วงเวลาเช้าและเที่ยง ตั้งแต่เดือนพฤศจิกายน พ.ศ. 2536 ถึงเดือนกุมภาพันธ์ พ.ศ. 2537.....	46

รายการรูป (ต่อ)

รูปที่		หน้า
10	การฟื้นตัวของคลอโรฟิลล์ฟลูออเรสเซนซ์ของหญ้าขนและหญ้ายวม ที่เวลาเช้า เที่ยง และเย็น โดยวัดที่ 0 (ก่อนการตัดหญ้า) 0.5, 5 และ 24 ชั่วโมงหลังจากนำมาจากแปลงปลูก ในช่วงเดือนพฤศจิกายน พ.ศ. 2536 ถึงเดือนกุมภาพันธ์ พ.ศ. 2537.....	55
11	น้ำหนักแห้งทั้งหมด ประกอบด้วยใบที่มีชีวิต ใบตาย ต้นที่มีชีวิต ต้นตาย และซากเหลือ ของหญ้าขนและหญ้ายวม จากการเก็บเกี่ยวใน เดือนพฤศจิกายน พ.ศ. 2536 ถึงเดือนกุมภาพันธ์ พ.ศ. 2537.....	58
12	สัดส่วนน้ำหนัก ประกอบด้วยใบที่มีชีวิต ใบตาย ต้นที่มีชีวิต ต้น ตาย และซากเหลือ ของหญ้าขนและหญ้ายวม จากการเก็บเกี่ยวใน เดือนพฤศจิกายน พ.ศ. 2536 ถึงเดือนกุมภาพันธ์ พ.ศ. 2537.....	58
13	ดัชนีพื้นที่ใบ (LAI) ของหญ้าขนและหญ้ายวม จากการเก็บเกี่ยวใน เดือนพฤศจิกายน พ.ศ. 2536 ถึงเดือนกุมภาพันธ์ พ.ศ. 2537.....	60
14	ภาพตัดตามขวางใบของหญ้าขน (A) และหญ้ายวม (B).....	63
15	ภาพแสดงปากใบของหญ้าขน (A) และหญ้ายวม (B).....	64
16	ภาพแสดงบันไดเซลล์ของใบหญ้าขน (A) และหญ้ายวม (B).....	65
17	ภาพตัดตามขวางลำต้นของหญ้าขน (A) และหญ้ายวม (B).....	66

บทที่ 1

บทนำ

บทนำต้นเรื่อง

การศึกษาสรีรนิเวศวิทยาของพืช เป็นการนำเอาความรู้ทางด้านสรีรวิทยาของพืชกับนิเวศวิทยา มาสัมพันธ์กัน โดยที่สรีรวิทยาของพืชเป็นการศึกษาหาความรู้ด้านกระบวนการและปฏิกิริยาต่างๆที่เกิดขึ้นภายในต้นพืช เช่น กระบวนการสังเคราะห์แสง กระบวนการหายใจ กระบวนการลำเลียงอาหาร และปฏิกิริยาการทำงานของเอนไซม์ต่าง ๆ ว่าเกิดขึ้นอย่างไร มีปัจจัยใดเป็นตัวควบคุมและส่งผลต่อการเจริญเติบโตและผลผลิตของพืชอย่างไร (เจลิมพล, 2535) ส่วนนิเวศวิทยาเป็นการศึกษาที่ว่าด้วยความสัมพันธ์ระหว่างสิ่งมีชีวิตและสิ่งแวดล้อมที่เป็นแหล่งที่อยู่อาศัย (อยู่แก้ว, 2531) ดังนั้นเมื่อนำความรู้สองสาขาวิชามารวมกันก็จะทำให้ทราบถึงความสัมพันธ์ร่วมระหว่างต้นพืชกับสภาพแวดล้อมที่พืชนั้นขึ้นอยู่ พืชเมื่อปลูกรวมกันนั้นจะมีการแข่งขัน และแก่งแย่งปัจจัยในการเจริญเติบโตต่าง ๆ เช่น แสง ธาตุอาหาร และน้ำ ซึ่งกันและกันตลอดเวลา ภายใต้สภาพการปลูกพืชเช่นนี้จะส่งผลกระทบต่อกระบวนการทางสรีรวิทยาที่เกิดขึ้นภายในต้นพืช

หน้าที่ของส่วนต่าง ๆ ที่เป็นโครงสร้างหรือกายวิภาคของพืชและถูกกำหนดโดยพันธุกรรมจะเป็นลักษณะของการปรับตัวของพืชให้เหมาะสมกับสภาพแวดล้อมนั้น ๆ พืชที่เกิดขึ้นในทางธรรมชาติมีการวิวัฒนาการและปรับตัวเองเพื่อความอยู่รอดมาเป็นลำดับ จึงมีลักษณะหลายอย่างของใบที่เป็นกลไกการปรับตัวให้เข้ากับสภาพแวดล้อมนั้น ๆ เช่น รูปร่าง ขนาด ความหนา สารเคลือบผิวใบ และจำนวนปากใบ ซึ่งมีส่วนปกป้องการคายน้ำเมื่อพืชอยู่ในสภาพแห้งแล้ง การเรียงตัวของใบ คลอโรพลาสต์ (chloroplast) ชั้นของมีโซฟิลล์ (mesophyll) กลุ่มเซลล์ของท่อน้ำท่ออาหาร (vascular tissue) จะมีความสำคัญต่อประสิทธิภาพการสังเคราะห์แสงในสภาพแวดล้อมที่มีแสงแดดจัด อุณหภูมิสูง (เจลิมพล, 2535)

ดังนั้นความรู้พื้นฐานในการศึกษาสรีรนิเวศวิทยาของพืชในธรรมชาติจะเป็นกุญแจสำคัญในการทำความเข้าใจเกี่ยวกับกิจกรรมทางสรีรวิทยาที่สัมพันธ์กับลักษณะทางโครงสร้างของพืชในการปรับตัวให้เข้ากับสภาพแวดล้อม ความรู้เหล่านี้สามารถนำไปประยุกต์ใช้ในการปรับปรุง คัดเลือกพันธุ์พืช หรือชนิดพืชที่จะนำไปปลูกในสภาพแวดล้อมแต่ละแห่งได้

พื้นที่หลายแห่งในภาคใต้สภาพดินมีความอุดมสมบูรณ์ต่ำไม่เหมาะสมสำหรับการปลูกพืชยืนต้นเศรษฐกิจของภาคใต้ แต่พบว่ามีหญ้าธรรมชาติหลายชนิดที่สัตว์เลี้ยงท้องถิ่น เช่น โค กระบือ ใช้เป็นอาหาร ได้แก่ หญ้าขม (*Eulalia trispicata* (Schult.) Henr.) ซึ่งโดยทั่วไปมีผลผลิตและโภชนาการของพืชอาหารสัตว์ต่ำ (ประวิตร, 2532 ; ปิ่นชัย, 2538) กับหญ้าที่มีแนวโน้มปรับตัวได้ดีในสภาพแวดล้อมเดียวกันคือ หญ้าขน (*Brachiaria mutica* (Forsk.) Stapf) แต่ยังคงความรู้ทางด้านสรีรวิทยาของพืช กายวิภาคของพืช และการปรับตัวต่อสภาพแวดล้อมของหญ้าทั้งสองชนิดคั่งนั้นการศึกษาในครั้งนี้จึงได้ทำการเปรียบเทียบลักษณะทางสรีรวิทยาที่สำคัญคือ การสังเคราะห์แสง และการสร้างมวลชีวภาพของหญ้าขนและหญ้าขม เพื่อใช้เป็นข้อมูลพื้นฐานสำหรับการปรับปรุงและพัฒนาพืชอาหารสัตว์ในโอกาสต่อไป

การตรวจเอกสาร

1. ลักษณะสำคัญของหญ้าที่ทำการศึกษา

หญ้าเป็นพืชในวงศ์ (family) Gramineae หรือ Poaceae โดยประกอบด้วยหญ้านชนิดต่าง ๆ ประมาณ 10,000 ชนิด (เกลิมพล, 2530) แต่มีประมาณ 40 ชนิด ที่ใช้ปลูกเป็นพืชอาหารสัตว์ (Leafe, 1988) พืชตระกูลหญ้าพบกระจายอยู่ทั่วไปในแหล่งต่าง ๆ ของโลก นับตั้งแต่เขตร้อน เขตหนาว เขตทะเลทรายแห้งแล้ง และในเขตอากาศหนาวเย็น โดยจะปรับตัวเองตามสภาพภูมิอากาศต่าง ๆ ตามธรรมชาติ เช่น หุ่นหญ้าแบบกึ่งแห้งที่พบในทวีปอเมริกา หุ่นหญ้าสเตปป์ (steppe) ที่พบในทวีปเอเชีย และหุ่นหญ้าชาวันนาที่พบในทวีปแอฟริกา สำหรับพื้นที่ทำการทดลองระบบนิเวศมีลักษณะเป็นชาวันนาในเขตร้อนชื้น (Kamnalrut and Evenson, 1985) มีหญ้าธรรมชาติเกิดขึ้นหลายชนิดแทรกอยู่ระหว่างไม้พุ่มเตี้ย และชนิดหญ้าที่พบมากได้แก่ *Eulalia trispicata* และ *Lophopogon intermedius* ซึ่งเกษตรกรใช้เลี้ยงสัตว์ประเภทโค กระบือตามธรรมชาติในบางฤดูกาล หญ้าอาหารสัตว์ที่นำไปปลูกในพื้นที่เดียวกันนี้และเจริญได้ดีในสภาพเช่นนี้ ได้แก่ *Brachiaria mutica*, *Panicum maximum*, *Paspalum plicatulum* และ *Setaria anceps* ซึ่งล้วนเป็นหญ้าที่นำมาปลูกเพื่อเป็นอาหารสัตว์ (Sophanodora, 1989) ซึ่งในพื้นที่ดังกล่าวพบว่า *B. mutica* สามารถมีการเจริญเติบโตได้ดี จึงมีแนวโน้มว่าสามารถจะนำมาใช้แทนหญ้าธรรมชาติได้

1.1 หญ้าขน

หญ้านี้มีชื่อวิทยาศาสตร์ว่า *Brachiaria mutica* (Forsk.) Stapf มีชื่อพ้อง (synonyms) เช่น *Panicum muticum* Forsk., *P. purpurascens* Raddi, *P. barbinode* Trin. ฯลฯ (Whyte et al., 1959)

ตามรายงานของ Skerman (1990) และ Bogdan (1977) ระบุว่าหญ้านี้มีชื่อสามัญหลายชื่อ เช่น Para grass (Africa, Australia, United States), Mauritius signal grass (South Africa), Pasto para และ Malojilla (South America), Gramalote (Peru), Parana (Cuba), Angola grass, Capim angola (Brazil), Egipto (Mexico, Parsons), Amirable (Parsons), Penhalonga grass (Madagascar) และชื่อสามัญในภาษาไทยว่า หญ้าขน และ หญ้ามอริซัส (ปิ่นชัย, 2538)

หญ้านี้เป็นหญ้าพื้นเมืองของทวีปแอฟริกาเขตร้อน หญ้าชนิดนี้ถูกนำเข้าไปปลูกทดสอบในรัฐควีนสแลนด์ ประเทศออสเตรเลีย ตั้งแต่ปี ค.ศ. 1880 และต่อมาได้ขึ้นแพร่หลายอยู่ตามพื้นที่ซึ่งเป็นหนองน้ำ (Humphreys, 1980) สำหรับในประเทศไทยได้มีการนำเอาหญ้านี้จากประเทศมาเลเซียเข้ามา เมื่อปี 2472 (บุญฤๅ, 2526) ในปัจจุบันนี้หญ้านี้เป็นที่รู้จักกันดีทั้งในแง่ของพืชอาหารสัตว์และในแง่ของวัชพืช และแพร่หลายไปทั่วประเทศโดยเฉพาะในเขตที่ลุ่ม

ลำต้น (stem) ของหญ้านี้มีลักษณะการเจริญเติบโตแบบกึ่งเลื้อยกึ่งตั้ง (semi erect type) ในกรณีที่มีพื้นที่ว่างมาก ๆ จะเลื้อยและมีไหล (stolon) เกิดขึ้นมากมาย จึงอาจจัดว่าเป็นพวก stoloniferous type ไหลอาจเจริญเลื้อย (creeping) ยาวมากกว่า 4 เมตร ลำต้นซึ่งเกิดจากข้อของไหลสูงประมาณ 60-90 เซนติเมตร ข้อและกาบใบมีขนสีขาวปกคลุม ช่อดอกเป็นแบบ panicle (บุญฤๅ, 2526)

หญ้านี้เป็นหญ้ามียาวหลายปี (perennial) เหมาะสมกับบริเวณที่ชื้นแฉะ ที่ราบลุ่มของเขตร้อนและกึ่งร้อน ต้องการน้ำฝนเฉลี่ย 1,000 มิลลิเมตรขึ้นไป หญ้าขนทนทานต่อสภาพน้ำท่วมในระยะเวลาสั้น ๆ ได้ดี (สายัณห์, 2522) แต่หญ้านี้ไม่ชอบสภาพแห้งแล้ง (เฉลิมพล, 2530) ในการปลูกเพื่อเลี้ยงสัตว์สามารถปลูกร่วมกับถั่วเขตร้อนได้หลายชนิด

หญ้านี้เป็นพืชอาหารสัตว์ที่นิยมปลูกกันแพร่หลาย สามารถปรับตัวได้ดีกับสภาพทั่วไปในประเทศไทย นอกจากนี้หญ้านี้ยังมีคุณค่าทางโภชนาการและความน่ากินสูง (Bogdan, 1977) สุวพงษ์ (2525) และ สุเทพ (2529) ได้ศึกษาถึงอิทธิพลของช่วงการตัดที่มีต่อผลผลิตของหญ้านี้ พบว่าในช่วงปีแรกหญ้านี้ที่ปลูกเดี่ยว ๆ ให้ผลผลิตน้ำหนักแห้งสูงกว่าหญ้านี้ที่ปลูกร่วมกับถั่วอาหารสัตว์ชนิดต่าง ๆ แต่ในช่วงปีที่สองพบว่าหญ้านี้ที่ปลูกร่วมกับถั่วเซอราโตรให้ผลผลิตน้ำหนักแห้งสูงกว่าหญ้านี้ที่ปลูกเดี่ยว ๆ และหญ้านี้ที่ปลูกร่วมกับถั่วอาหารสัตว์อื่น ๆ และยัง

พบอีกว่าการตัดทุก ๆ 45 วัน เป็นช่วงการตัดที่ดีที่สุดเนื่องจากทำให้ได้ผลผลิตน้ำหนักแห้งของทุ่งหญ้าผสมสูงกว่าช่วงการตัดทุก ๆ 60 วัน และ 30 วัน

นอกจากนี้ยังพบว่าอิทธิพลของชนิดและอัตราของปุ๋ยมีผลต่อผลผลิตของหญ้าขมที่ปลูกในพื้นที่ต่าง ๆ ด้วย เนื่องจากพบว่าผลผลิตน้ำหนักแห้งและผลผลิตไนโตรเจนของหญ้าขมที่ปลูกบนชุดดินต่าง ๆ ในภาคกลางของประเทศไทยจะมีค่าสูงสุดเมื่อได้รับปุ๋ยไนโตรเจนในอัตรา 2.56 กรัมไนโตรเจน/กระถาง ไม่ว่าจะปุ๋ยไนโตรเจนที่ใช้จะเป็นปุ๋ยชนิดใด (สมพร และ วิโรจ, 2528) ส่วนปิ่นชัย (2538) ได้ทำการศึกษาอิทธิพลของธาตุอาหารพืชต่อการตั้งตัวของหญ้าขมที่ปลูกบนดินตะกอนน้ำท่วมของจังหวัดสงขลา พบว่าความสูง จำนวนหน่อ และผลผลิตน้ำหนักแห้งของหญ้าขมขึ้นอยู่กับอัตราการใส่ปุ๋ยฟอสฟอรัส และปุ๋ยไนโตรเจน

การศึกษาข้างต้นเป็นการศึกษาเพื่อพัฒนาและเป็นแนวทางในการปลูกสร้างทุ่งหญ้าอาหารสัตว์ได้ แต่เพื่อให้ได้ข้อมูลพื้นฐานที่สมบูรณ์ยิ่งขึ้นควรมีการศึกษาทางด้านสรีรนิเวศวิทยาของหญ้าขมควบคู่ไปด้วย

1.2 หญ้าขม

หญ้าขมมีชื่อวิทยาศาสตร์ว่า *Eulalia trispicata* (Schult.) Henr. มีชื่อท้องถิ่นอื่นๆเช่น *Andropogon tristachyus* Roxb., *Eulalia argentea* Brongn., *Pollinia argentea* Trin., *Erianthus hexastachyus* Hochst. และ *Andropogon hexanastachyus* Stend. (Bor, 1960) และมีชื่อสามัญภาษาไทยว่า หญ้าขม

หญ้าขมเป็นหญ้าอายุหลายปี มีลำต้นตั้งตรง มักเจริญเป็นกอหรือเป็นกลุ่มจำนวนมาก ใบมีลักษณะเล็กเรียวยาว มีขนเล็กน้อย ช่อดอกเป็นแบบ digitate panicle ประกอบด้วย ช่อดอกย่อยแบบ raceme

หญ้าขมจัดเป็นหญ้าพื้นเมือง หรือหญ้าธรรมชาติที่พบแพร่กระจายมากในประเทศอินเดีย พม่า และศรีลังกา โดยเจริญอยู่ตามที่ราบและเนินเขาไปจนถึงที่สูงประมาณ 2,000 เมตร เช่น ในป่าสนของ Khasi Hills นอกจากนี้ยังพบหญ้าขมขึ้นบริเวณพื้นที่ที่ปล่อยรกร้างที่ประเทศมาเลเซียและออสเตรเลียอีกด้วย (Bor, 1960)

หญ้าขมสามารถเจริญในทุ่งหญ้าที่ใช้เลี้ยงสัตว์และอาจนำไปเป็นอาหารของพวกโคกระบือได้อีกด้วย ในประเทศไทยในเขตจังหวัดประจวบคีรีขันธ์ต่อจังหวัดชุมพรบริเวณทุ่งไชยราชที่ตำบลเชิงเขานมสาว ดินมีความอุดมสมบูรณ์ต่ำ ฝนตกชุกในช่วงระยะสั้น พื้นที่ ๆ นำข้างได้เป็นครั้งคราวพบว่าหญ้าแฉ่ไม้สกุล *Eulalia* spp. ขึ้นหนาแน่น นอกจากนี้ยังพบว่าหญ้าสกุลนี้เจริญงอกงามบนดินนาหลายแห่งในภาคใต้ เช่น ทุ่งที่บางแห่งในจังหวัดสตูล (บุญฤา, 2526)

สภาพพื้นที่ดินบริเวณสถานีวิจัยคลองหอยโข่ง อำเภอหาดใหญ่ จังหวัดสงขลา ส่วนใหญ่เป็นดินตะกอนน้ำท่วม (alluvial soil type) การระบายน้ำค่อนข้างเร็ว ดินมีความอุดมสมบูรณ์ต่ำ ปฏิกิริยาของดินเป็นกรด มี pH ของดินชั้นบนประมาณ 4.5-5.5 (ปิ่นชัย, 2538) ดังนั้นพืชที่เจริญได้ในพื้นที่ดินสภาพเช่นนี้จึงต้องเป็นพืชที่มีการปรับตัวค่อนข้างดีต่อสภาพดินเป็นกรดและมีน้ำท่วมขัง ซึ่ง Kamalrut และ Evenson (1985) พบว่าหญ้าขมเป็นหญ้าธรรมชาติที่เจริญเติบโต และสามารถปรับตัวได้ดีในสภาพพื้นที่เช่นนี้ ทั้งยังเป็นชนิดหญ้าที่ขึ้นอยู่มากที่สุด (dominant species) และมีผลผลิตมวลชีวภาพแต่ละเดือนอยู่ในช่วง 640-810 กรัมต่อตารางเมตร ซึ่งนับว่าเป็นหญ้าธรรมชาติที่ให้ผลผลิตสูงสุดชนิดหนึ่ง

นงลักษณ์ (2530) ได้ทำการศึกษาการปรับตัวเพื่อตอบสนองต่อความเครียดน้ำของพืชชนิดต่างๆ ได้แก่ พืชตระกูลหญ้า พืชตระกูลถั่ว และพืชตระกูลส้ม ในระบบนิเวศธรรมชาติ พบว่าพืชแต่ละชนิดมีความแตกต่างกันในการตอบสนองหรือปรับตัวให้เหมาะสมกับสภาพแวดล้อมเพื่อการอยู่รอด จากการศึกษาลักษณะโครงสร้างภายในพบว่าหญ้าขมมี metaxylem vessels ขนาดใหญ่ ทำให้ดูดน้ำได้มากซึ่งหากน้ำในดินมีน้อยก็จะทำให้ดินขาดน้ำเร็วยิ่งขึ้น ดังนั้นหญ้าขมจึงไวต่อความเครียดน้ำมาก แต่กลับเป็นพืชที่มีแรงดันปากใบสูง โดยการควบคุมการเปิดปิดของปากใบ นอกจากนี้เมื่อเกิดการขาดน้ำมาก ๆ หญ้าขมก็จะมีการม้วนใบเพื่อลดการคายน้ำ การศึกษาดังกล่าวนี้น่าจะสามารถนำมาเป็นแนวทางในการคัดเลือกพืชปลูกเพื่อให้ความทนทานต่อสภาพแล้งได้ทางหนึ่ง ซึ่งถ้าได้มีการศึกษาการตอบสนองกระบวนการทางสรีรวิทยา เช่นการสังเคราะห์แสงของพืช จะทำให้ได้ข้อมูลที่เป็นประโยชน์มากยิ่งขึ้น

2. ปัจจัยสภาพแวดล้อมที่มีผลต่อการปรับตัวและการเจริญเติบโตของหญ้า

การเจริญเติบโตและการให้ผลผลิตของพืชขึ้นอยู่กับความสัมพันธ์ระหว่างพันธุกรรมของตัวพืชเองกับสภาพแวดล้อม เนื่องจากพันธุกรรมของพืชมีบทบาทที่ควบคุมการปรับตัวของพืช โครงสร้างทางพันธุกรรมที่ต่างกันทำให้พืชตอบสนองต่อสิ่งแวดล้อมต่างกัน หญ้าอาหารสัตว์เขตร้อนมีความแปรปรวนทางพันธุกรรมค่อนข้างมาก (บุญญา, 2526) จึงมีการตอบสนองที่แตกต่างกันมากต่อสภาพแวดล้อม เช่น แสง อุณหภูมิ ความชื้น และอื่น ๆ การปรับตัวและการเจริญเติบโตของหญ้าในสภาพแวดล้อมที่สำคัญต่าง ๆ มีรายละเอียดดังต่อไปนี้

2.1 แสง

แสงเป็นแหล่งพลังงานสำหรับพืชเพื่อใช้ในการสังเคราะห์แสง แต่อย่างไรก็ตามในธรรมชาติของพืชมีพลังงานจากแสงอาทิตย์เป็นส่วนน้อยเท่านั้นที่ถูกนำไปใช้ในกระบวนการนี้ เฉลิมพล

(2530) กล่าวว่าแสงถูกใช้ในการสังเคราะห์แสงโดยเฉลี่ย 1-5 % ของแสงทั้งหมดที่ส่องมายังต้นพืชเท่านั้น โดยทั่วไปการสังเคราะห์แสงจะเพิ่มขึ้นตามความเข้มของแสงที่เพิ่ม แต่พืชก็มีขีดจำกัดในการใช้แสงได้ เช่น หญ้า *Lolium perenne* และ *Dactylis glomerata* ซึ่งเป็นหญ้าเขตหนาวจะถึงจุดอิ่มตัวที่ความเข้มแสงประมาณ 20,000-30,000 ลักซ์ (lux) ในขณะที่หญ้าเขตร้อน เช่น หญ้าในสกุลพาสพาลัม (*Paspalum* sp.) และ หญ้าแพรง (*Cynodon dactylon*) จะถึงจุดอิ่มตัวประมาณ 50,000-60,000 ลักซ์ (เจลิมพล, 2526) นอกจากนี้ บุญฤ (2526) ยังกล่าวอีกว่าพืชแต่ละชนิดจะมีความสามารถในการปรับตัวต่อสภาพร่มเงาหรือสภาพแสงแคดร์ไรได้แตกต่างกัน เช่น หญ้ากินนี (*Panicum maximum*) หญ้าขน และหญ้าจิกแนล (*B. decumbens*) สามารถเจริญเติบโตในที่ร่มเงาหรือแสงรำไรได้ดีพอใช้ โดยแตกต่างจากถั่วในสกุล *Stylosanthes* ซึ่งไม่ชอบร่มเงา เมื่อปลูกในสภาพที่มีแสงรำไร จะเจริญเติบโตได้ไม่ดี และให้ผลผลิตน้อย

Ludlow และ Wilson (1971b) ได้ทำการเปรียบเทียบพืชอาหารสัตว์เขตร้อนระหว่างถั่วเซอร์ราโตร (*Macroptilium atropurpureum* cv. Siratro) กับหญ้ากรีนแพนิก (*Panicum maximum* var. *trichoglume*) ที่เจริญอยู่ภายใต้การส่องผ่านของแสง 3 ระดับคือ ร้อยละ 100, 33 และ 11 พบว่าใบที่อยู่ในที่ร่มมีลักษณะบาง ประกอบด้วยเซลล์ที่มีขนาดเล็กและมีความหนาแน่นของกลุ่มเซลล์น้อยกว่าใบที่อยู่กลางแจ้ง นอกจากนี้ความเข้มข้นของคลอโรฟิลล์จะลดลงในใบที่ได้รับแสงน้อยด้วย แต่พบว่าองค์ประกอบต่าง ๆ ของใบดังกล่าวข้างต้นในหญ้ากรีนแพนิกจะมีค่าสูงกว่าของใบถั่วเซอร์ราโตรเสมอ จึงเป็นผลทำให้อัตราการสังเคราะห์แสงสุทธิของหญ้ากรีนแพนิกมีค่าสูงกว่าถั่วเซอร์ราโตรถึงสองเท่า ทั้งนี้อาจเป็นเพราะใบถั่วเซอร์ราโตรที่เจริญในที่ร่มจะมีความต้านทานของเซลล์ชั้นมีไซฟิลล์และปากใบสูงกว่าใบหญ้ากรีนแพนิกมีผลทำให้การแพร่เข้าออกของคาร์บอนไดออกไซด์ของถั่วเซอร์ราโตรต่ำกว่าของหญ้ากรีนแพนิก

นอกจากนี้แล้ว Berry และ Downton (1982) ได้อธิบายการตอบสนองต่อแสงในกรณีที่พืชได้รับแสงที่มีความเข้มสูงเกินไปหรือได้รับเป็นระยะเวลาานอาจทำให้พืชถูกยับยั้งการเจริญซึ่งเรียกว่า photoinhibition ใบพืชที่อยู่ในสภาพเช่นนี้จะมีค่า quantum yield ต่ำและมีอัตราการสังเคราะห์แสงอิมตัวลดต่ำลง เนื่องจากความเข้มแสงสูงจะไปมีผลกระทบต่อกระบวนการเคลื่อนย้ายอิเล็กตรอน (electron transport) และกระบวนการ photophosphorylation ใน PS II จากการทดลองของ Bjorkman และ Holmgren (1963) พบว่า *Solidago virguarea* ซึ่งเป็นพืชที่เจริญได้ดีในที่ร่มจะแสดงค่า quantum yield ลดลงเมื่อถูกนำมาปลูกภายใต้สภาพความเข้มแสงสูง โดยเปรียบเทียบกับพืชซึ่งปลูกในสภาพความเข้มแสงต่ำ และยังพบอีกว่าพืชในร่มจะมีความสามารถสูงสุดของปฏิกิริยาการเคลื่อนย้ายอิเล็กตรอนต่ำกว่าพืชกลางแจ้ง ดังนั้นจึงเกิด photoinhibition ได้ง่ายกว่านอกจากแสงแล้วยังมีปัจจัยอื่นที่ทำให้เกิด photoinhibition ได้อีกคือ การขาดตัวรับอิเล็กตรอนที่

เหมาะสมหรือผลจากภาวะความเครียดอื่นๆ ได้แก่ อุณหภูมิท่าหรือการขาดน้ำ ซึ่งล้วนไปขวางกั้นปฏิกิริยาการเคลื่อนย้ายอิเล็กตรอนได้

2.2 อุณหภูมิ

อุณหภูมิมีผลกระทบต่อ การแตกหน่อ การเจริญของหน่อ และการเจริญของใบ เป็นต้น หน่อเขตร้อนจะเจริญเติบโตได้ดีภายใต้สภาพอุณหภูมิ 30-35 °C ซึ่งสูงกว่าพวกหน่อเขตกึ่งเขตร้อนที่เจริญเติบโตได้ดีภายใต้สภาพอุณหภูมิ 20-25 °C แต่มีหน่ออาหารสัตว์เขตร้อนบางชนิดที่อาจใช้ปลูกในที่ที่มีอากาศหนาวเย็น ได้แก่ หน่อแดง (Paspalum dilatatum) และหน่อซีทารีเรีย (Setaria spachelata) โดยเฉพาะหน่อซีทารีเรีย สายพันธุ์นาคี (Setaria spachelata cv. Nandi) จะให้ผลผลิตสูงกว่าหน่อเขตร้อนชนิดอื่นเมื่อปลูกในที่ที่มีอากาศหนาวเย็น (บุญฤๅ, 2526) Ludlow และ Wilson (1971a) หากความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิกับอัตราการสังเคราะห์แสงสุทธิ และอัตราการหายใจของหน่อและถั่วอาหารสัตว์เขตร้อน พบว่าอัตราการสังเคราะห์แสงสุทธิ และอัตราการหายใจของหน่อมีค่าสูงกว่าถั่วใน ทุก ๆ อุณหภูมิ โดยพืชทั้งสองชนิดมีลักษณะการตอบสนองที่คล้ายกันคือจะมีค่าอัตราการสังเคราะห์แสงสุทธิลดลงเมื่ออุณหภูมิสูงกว่าปกติ นอกจากนี้ผลของอุณหภูมิต่ออัตราการสังเคราะห์แสงสุทธิยังขึ้นอยู่กับปัจจัยอื่น ๆ ด้วย ได้แก่ ความเข้มแสง คาร์บอนไดออกไซด์ และความดันไอของอากาศ ตัวอย่างเช่นในสภาพที่อุณหภูมิปกติแต่มีความเข้มแสงต่ำพืชจะมีอัตราการสังเคราะห์แสงสุทธิลดลง เป็นต้น (Ludlow and Wilson, 1971a ; Humphreys, 1981 ; Berry and Downton, 1982)

2.3 ความชื้น

น้ำเป็นแหล่งของอิเล็กตรอนที่ใช้ในกระบวนการสังเคราะห์แสง เมื่อพืชขาดน้ำจึงพบว่าอัตราการสังเคราะห์แสงลดลง (สมบุญ, 2536) นอกจากนี้น้ำยังมีผลต่อการปิดเปิดของปากใบ ซึ่งจะควบคุมการแพร่กระจายของคาร์บอนไดออกไซด์เข้าไปในใบ ในสภาพขาดน้ำปากใบของพืชจะปิดเพื่อลดการคายน้ำ การแพร่กระจายก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์และออกซิเจนที่ปากใบจะหายไปได้ยาก ส่งผลทำให้อัตราการสังเคราะห์แสงจะลดลง

นงลักษณ์ (2530) ศึกษาการปรับตัวเพื่อตอบสนองต่อความเครียดน้ำของหญ้าธรรมชาติบริเวณสถานีวิจัยคลองหอยโข่ง จังหวัดสงขลา พบว่าหญ้าขมมีการตอบสนองต่อสภาพความเครียดน้ำมากกว่าพืชชนิดอื่น เนื่องจากมีค่าศักย์ภาพของน้ำในพืช (plant water potential) และมีแรงดันของปากใบสูงกว่าพืชชนิดอื่น แสดงว่าในสภาพที่มีการเปลี่ยนแปลงปริมาณน้ำในดิน ศักย์ภาพของน้ำในพืชจะเป็นตัวควบคุมการปิดเปิดของปากใบ ดังนั้นเมื่อดินขาดน้ำ ศักย์ภาพของน้ำใน

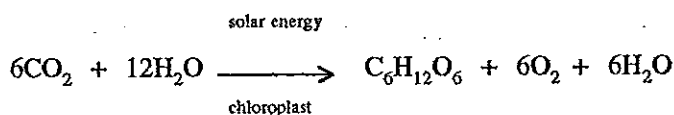
หญ้ามอสจะลดลงและเป็นเหตุให้ปากใบปิด มีแรงดันของปากใบสูงขึ้น แต่ลักษณะดังกล่าวจะพบน้อยในหญ้า *Lophopogon intermedius* และไม่พบในพืชตระกูลส้ม (*Dillenia hookeri*) นอกจากนี้หญ้ามอสยังมีเซลล์บัลลิสฟอร์ม (bulliform cells) ขนาดใหญ่ในผิวใบด้านบนจำนวนมาก ทำให้เกิดการม้วนใบเพื่อลดการคายน้ำได้คืออีกทางหนึ่ง และยังพบไขขาว (waxy bloom) อยู่ทั่วไปตามผิวของใบและลำต้นของหญ้ามอส ซึ่งเป็นส่วนป้องกันการสูญเสียน้ำจากส่วนของลำต้นได้อีกประการหนึ่ง

ในทางตรงกันข้ามสภาพน้ำท่วมหรือดินชุ่มไปด้วยน้ำทำให้รากพืชขาดออกซิเจนที่ใช้ในการหายใจซึ่งมีผลกระทบต่ออัตราการสังเคราะห์แสงด้วย เนื่องจากพืชขาดพลังงานในการที่จะดูดน้ำไปสู่ลำต้นและใบจึงทำให้ใบเหี่ยว แต่มีพืชบางชนิดที่สามารถปรับตัวให้ทนต่อสภาพน้ำขังได้ โดยอาจมีโครงสร้างพิเศษในลำต้นเพื่อเก็บสะสมอากาศไว้ และมีท่อต่อไปยังใบและราก ซึ่งจะช่วยให้ส่งออกซิเจนจากใบไปยังรากที่ถูกน้ำขังได้ เช่น ข้าว และ ข้าวโพด หรือมีการสร้างรากจำนวนมากเหนือระดับน้ำ (Kozłowski, 1984) ซึ่งนงลักษณ์ (2530) รายงานว่าหญ้ามอสเป็นพืชที่สามารถปรับตัวในสภาพความเครียดน้ำได้ดี ส่วน Kamnalrut และ Evenson (1985) ได้พบอีกว่าหญ้ามอส และ *Lophopogon intermedius* เป็นพืชที่สามารถเจริญเติบโตได้ดีในสภาพพื้นที่ที่น้ำท่วมขัง แสดงว่าพืชทั้งสองชนิดนี้มีความสามารถในการปรับตัวได้ทั้งสภาพพื้นที่ที่ขาดน้ำ และมีน้ำขัง หรือทนต่อความแปรปรวนของปริมาณน้ำได้ดี ในขณะที่เดียวกันที่หญ้ามอสก็มีแนวโน้มว่าสามารถจะเจริญเติบโตได้ดีในสภาพแวดล้อมเดียวกันนี้เช่นกัน (ปิ่นชัย, 2538) แต่ยังไม่มีการศึกษารายละเอียดในสรีรณีเวศวิทยาของหญ้ามอสมาก่อน

8. การศึกษาสรีรณีเวศวิทยาของพืช

3.1 การสังเคราะห์แสง

เป็นกระบวนการของพืชที่เก็บเกี่ยวพลังงานแสงแล้วเปลี่ยนไปเป็นพลังงานเคมี เก็บสะสมไว้ในรูปของน้ำตาลและแป้ง (คาร์โบไฮเดรต) โดยมีน้ำและคาร์บอนไดออกไซด์เป็นวัตถุดิบ ดังสมการ



การสังเคราะห์แสงเป็นกระบวนการที่ค่อนข้างซับซ้อน มีหลายขั้นตอนต่อเนื่องกัน โดยเกิดที่คลอโรพลาสต์ซึ่งเป็นแหล่งของการสังเคราะห์แสงในพืช อย่างไรก็ตามสามารถแบ่งกระบวนการสังเคราะห์แสงออกเป็นขั้นตอนย่อยๆ ได้ 3 ขั้นตอน (เลติมพล, 2535) คือ

1. Diffusion process : เป็นการแพร่ของคาร์บอนไดออกไซด์จากอากาศบริเวณรอบผิวใบไปยังศูนย์กลางการสังเคราะห์แสง อัตราการแพร่ของคาร์บอนไดออกไซด์ขึ้นอยู่กับความแตกต่างของความเข้มข้นของคาร์บอนไดออกไซด์ระหว่างอากาศกับศูนย์กลางการสังเคราะห์แสง และแรงต้านต่าง ๆ ได้แก่ แรงต้านของอากาศ แรงต้านของปากใบ และแรงต้านของเนื้อเยื่อมีโซฟิลล์

2. Photochemical process : เป็นขั้นตอนการเปลี่ยนพลังงานแสงเป็นพลังงานชีวเคมี (ATP, NADPH) ในกระบวนการนี้มีปฏิกิริยาออกซิเดชันของน้ำเกิดขึ้นพร้อมกันไป ทำให้ได้ทั้งพลังงานชีวเคมีและออกซิเจน

3. Biochemical process : เป็นขั้นตอนที่คาร์บอนไดออกไซด์ถูกเปลี่ยนไปเป็นคาร์โบไฮเดรตจึงมักเรียกว่าขั้นตอนการตรึงคาร์บอนไดออกไซด์ (CO₂-fixation) โดยใช้พลังงานชีวเคมี ATP และ NADPH จากขั้นตอนที่สองสำหรับการรีดิวซ์หรือตรึงคาร์บอนไดออกไซด์ ดังสมการ



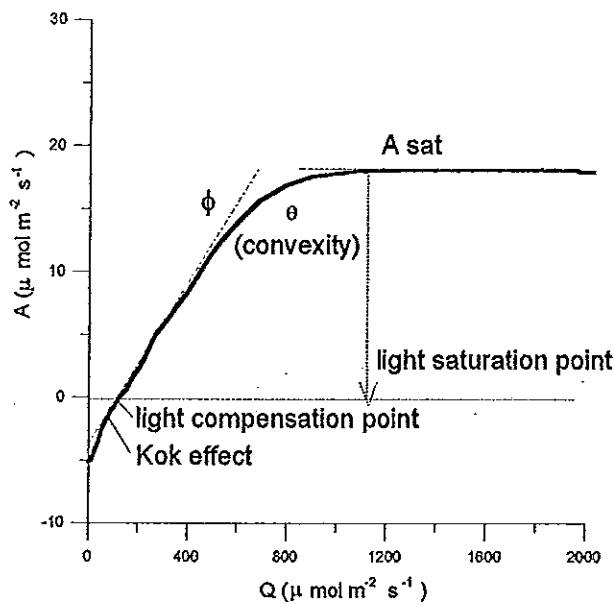
จากขั้นตอนทั้งสามที่ประกอบกันเป็นกระบวนการสังเคราะห์แสงโดยมีแสง คาร์บอนไดออกไซด์ น้ำ และอุณหภูมิ เป็นปัจจัยสำคัญ เมื่อปริมาณของแสงน้อยอัตราการสังเคราะห์จะถูกจำกัดโดยขั้นตอน photochemical process แต่เมื่อมีแสงอย่างไม่จำกัดปริมาณ คาร์บอนไดออกไซด์ จะกลับเป็นตัวจำกัดอัตราการสังเคราะห์แสงและถ้ามีแสงและคาร์บอนไดออกไซด์อย่างเพียงพอ อุณหภูมิก็จะเป็นตัวจำกัดอัตราการสังเคราะห์แสง เป็นต้น นอกจากปัจจัยหลักทั้งสามนี้แล้วยังมีปัจจัยอื่นอีกที่มีอิทธิพลต่อการสังเคราะห์แสง ได้แก่ ธาตุอาหารและปัจจัยเกี่ยวกับพืช เช่น ชนิดของพืช สภาพทางสรีรวิทยาของพืช สภาพทางพันธุกรรม ตลอดทั้งอายุหรือช่วงวงจรชีวิตของพืช (สมบุญ, 2536) ดังนั้นในการศึกษาประสิทธิภาพของการสังเคราะห์แสง จึงต้องนำเอาปัจจัยต่าง ๆ เหล่านี้มาเกี่ยวข้องเสมอ เพื่อจะเข้าใจการเปลี่ยนแปลงอัตราการสังเคราะห์แสงของพืช และสามารถอธิบายการเติบโตของพืชในอันที่จะนำไปเป็นแนวทางในการใช้ประโยชน์หรือการผลิตพืชได้อย่างเหมาะสมกับสภาพแวดล้อม

เครื่องมือที่ใช้ในการวัดการสังเคราะห์แสงของพืชที่นิยมมากที่สุดในปัจจุบัน คือ infra-red gas analyser หรือ IRGA ซึ่งสามารถใช้วัดอัตราการใช้คาร์บอนไดออกไซด์ของใบพืช หรือกลุ่ม

พืชที่ศึกษา ทำให้ได้ค่าอัตราการสังเคราะห์แสง (photosynthetic rate) และนิยมใช้ค่านี้เพื่อศึกษา สรีรนิเวศวิทยาของพืชอย่างแพร่หลาย ตัวอย่างเช่น การตอบสนองของอัตราการสังเคราะห์แสงต่อ ปริมาณแสง (A/Q) และต่อความเข้มข้นของคาร์บอนไดออกไซด์ (A/C_i)

3.1.1 การตอบสนองของอัตราการสังเคราะห์แสงต่อปริมาณแสง (light response curve; A/Q) กล่าวถึงความสัมพันธ์ของอัตราการสังเคราะห์แสง (A) กับอนุภาคแสง (Q) มีลักษณะเป็น curvilinear ประกอบด้วย 4 ระยะ (รูปที่ 1) เริ่มจากในสภาพมืดจะพบค่า A ติดลบหรืออาจกล่าว ได้ว่ามีเฉพาะการหายใจ จากนั้นเมื่อ Q เพิ่มขึ้น A จะค่อย ๆ เพิ่มขึ้นจนถึงจุด light compensation point ระยะนี้อาจพบ Kok effect ซึ่งเกิดจากการเพิ่มของ A อย่างรวดเร็วเมื่อ Q เพิ่ม เมื่อเกินจากจุด light compensation point นี้แล้วการตอบสนองจะเข้าสู่ระยะที่ 2 โดย A จะตอบสนองต่อ Q แบบ เส้นตรง ในช่วงระหว่าง Q เท่ากับ 50 ถึง 200 $\mu\text{mol m}^{-2}\text{s}^{-1}$ ค่าความชันของสมการเส้นตรง ($\delta A/\delta Q$) นี้เรียกว่า quantum yield (ϕ) ในระยะที่ 3 เมื่อ Q เพิ่มขึ้นอีกการตอบสนองของ A จะเริ่ม เป็นแนวโค้ง (convexity; θ) ส่วนระยะสุดท้ายเป็นการตอบสนองของ A จะอิ่มตัวต่อ Q ที่เรียกว่า อัตราการสังเคราะห์แสงอิ่มตัว หรือ A_{sat} และเรียกแสงตรงนั้นว่า light saturation point (Hall et al., 1993)

Long และคณะ (1993) รายงานว่า quantum yield (ϕ) เป็นค่าที่แสดงให้เห็นถึงประสิทธิภาพของคลอโรพลาสต์ในการใช้อนุภาคแสง เพื่อการตรึงคาร์บอนไดออกไซด์ ค่า ϕ คือจำนวน โมลของคาร์บอนไดออกไซด์ที่พืชตรึงเข้าไปต่อจำนวน โมลของแสงที่พืชได้รับ ได้มีการศึกษา เปรียบเทียบค่า ϕ ในพืชแต่ละชนิดที่เจริญอยู่ภายใต้สภาพแวดล้อมที่สมบูรณ์สำหรับพืชนั้น ๆ พบ ว่า ϕ จะมีค่าไม่แตกต่างกัน แต่การเปรียบเทียบพืช C₃ และ C₄ หรือระหว่างพืชชนิดเดียวกันที่เจริญ อยู่ในสภาพแวดล้อมที่ต่างกันจะทำให้ได้ค่า ϕ ที่แตกต่างกัน ตัวอย่างเช่น ค่า ϕ ของพืชที่เจริญได้ดี ในที่ร่มจะลดลงหากถูกนำไปวัดในระดับแสงที่สูงเกินไป หรือพืชเจริญอยู่ในสภาพที่ทำให้เกิด ความเครียดต่าง ๆ เช่น มีค่าศักย์ภาพของน้ำต่ำ และมีอุณหภูมิสูงหรือต่ำเกินไป ทำให้มีค่า ϕ ที่ เปลี่ยนแปลงไปด้วย เป็นต้น (Bjorkman, 1981)



รูปที่ 1 การตอบสนองของอัตราการสังเคราะห์แสง (A) ต่อปริมาณแสง (Q)

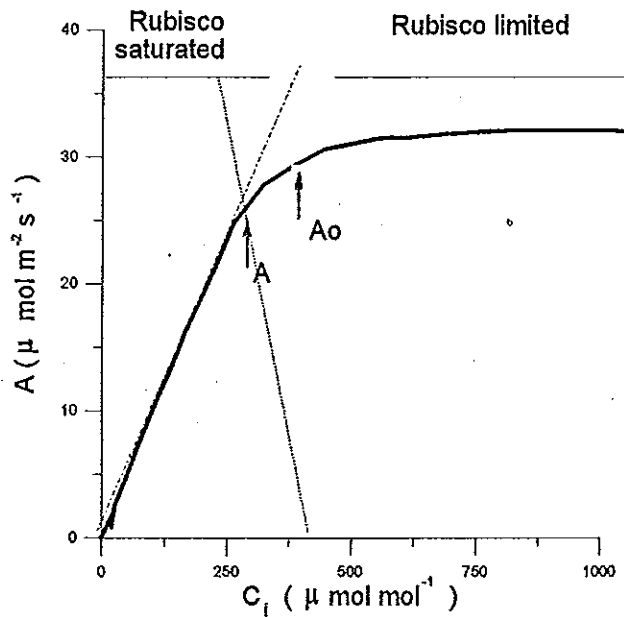
ดัดแปลงจาก : Hall และคณะ, 1993

นอกจากนี้ Ehleringer และ Bjorkman (1977) รายงานว่าปริมาณของก๊าซออกซิเจน คาร์บอนไดออกไซด์ และอุณหภูมิจะมีผลต่อค่า ϕ โดยปัจจัยเหล่านี้ไปมีอิทธิพลต่อความสมดุล ระหว่างปฏิกิริยา carboxylase และ oxygenase ของเอนไซม์ RuBP carboxylase-oxygenase (Rubisco) โดยที่พืช C_3 จะมีค่า ϕ ลดลงเมื่อเจริญในสภาพที่ปริมาณออกซิเจนสูง หรือในสภาพ อุณหภูมิสูง แต่จะมีค่า ϕ สูงขึ้นเมื่อปริมาณออกซิเจนลดลง หรือคาร์บอนไดออกไซด์เพิ่มขึ้นใน ขณะที่ปริมาณออกซิเจนปกติ เป็นปรากฏการณ์ที่เรียกว่า photorespiration ส่วนในพืช C_4 กลับ พบว่าอุณหภูมิ (15-35 °C) ปริมาณของออกซิเจน และคาร์บอนไดออกไซด์ ไม่มีอิทธิพลต่อการ เปลี่ยนแปลงค่า ϕ เนื่องจากการสังเคราะห์แสงของพืช C_4 จะมีกลไกการตรึงคาร์บอนไดออกไซด์ ด้วยเอนไซม์ PEP carboxylase ก่อนการตรึงด้วยเอนไซม์ Rubisco ทำให้มีปริมาณ คาร์บอนไดออกไซด์สูงเพียงพอที่จะไปยับยั้งการเกิดปฏิกิริยาของเอนไซม์ oxygenase Long และ คณะ (1993) ได้ศึกษาค่า ϕ ของพืชที่มีระบบท่อลำเลียงที่วิวัฒนาการสูงเปรียบเทียบกับพืชที่เพิ่งมี ระบบท่อลำเลียง และได้เปรียบเทียบอวัยวะที่ใช้ในการสังเคราะห์แสงที่แตกต่างกัน เช่น ลำต้นกับ ใบ หรือเปรียบเทียบใบพืชที่มีอายุต่างกัน เหล่านี้ล้วนพบว่ามีค่า ϕ ที่ใกล้เคียงกันหากพืชนั้น ๆ เจริญเติบโตอยู่ภายใต้สภาพแวดล้อมที่สมบูรณ์คือไม่มีปัจจัยใด ๆ ที่จะทำให้เกิดความเครียด (non-stressed conditions)

Sophanodora (1993) ทำการทดลองในห้องปฏิบัติการเพื่อเปรียบเทียบการตอบสนองของ อัตราการสังเคราะห์แสงต่อปริมาณแสงของหญ้าอาหารสัตว์ 4 ตระกูล ได้แก่ *Brachiaria mutica*, *B. humidicola*, *Stenotaphrum secundatum*, *Panicum maximum* cv, Hamil และ *P. maximum* cv TD58 โดยคำนวณหาค่า ϕ จาก initial slope ของการตอบสนองของ A ต่อปริมาณแสง พบว่า หญ้าตระกูล *Brachiaria* แสดงค่า ϕ สูงกว่าหญ้าอื่นๆ และ *Brachiaria mutica* จะมีค่า A_{sat} สูงสุด เป็น $25.56 \mu \text{ mol m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ ซึ่งสูงกว่า *B. humidicola* และหญ้าทั้งสองชนิดนี้จะอิ่มตัวที่แสงสูงสุด ประมาณ $600 \mu \text{ mol m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ ขณะที่หญ้าชนิดอื่นอิ่มตัวที่แสงสูงสุดเพียงประมาณ $200 \mu \text{ mol m}^{-2} \text{ s}^{-1}$

3.1.2 การตอบสนองของอัตราการสังเคราะห์แสงต่อความเข้มข้นของคาร์บอนไดออกไซด์ภายใต้ปากใบพืช (CO_2 response curve; A/C_i) แสดงถึงความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการสังเคราะห์แสง (A) กับความเข้มข้นคาร์บอนไดออกไซด์ภายใต้ปากใบพืช (internal CO_2 concentration; C_i) ซึ่งชี้ให้เห็นถึงการตอบสนองของ A ในกระบวนการตรึงคาร์บอนไดออกไซด์โดยไม่มีข้อจำกัดของปากใบ (stomatal limitation) และสภาพแสงอยู่ที่ระดับ A_{sat} จากกราฟ A/C_i (รูปที่ 2) ประกอบด้วย 2 ระยะ คือระยะแรก initial linear response ซึ่งแสดงประสิทธิภาพของเอนไซม์ carboxylation (Rubisco) ในการตรึงคาร์บอนไดออกไซด์ซึ่งระบุด้วยเส้นความชันของ $\delta A/\delta C_i$ ที่มีความสัมพันธ์โดยตรงกับค่า activity ของเอนไซม์ Rubisco ที่สกัดได้ด้วยวิธีการของชีวเคมี (Hall et al., 1993) แล้วตามด้วยระยะที่สองคือการลดลงของประสิทธิภาพของ Rubisco เมื่อ $\delta A/\delta C_i$ เข้าใกล้ 0 เพราะ A อาจถูกจำกัดโดยความสามารถของใบพืชในการสร้าง Rubisco มาใช้ในกระบวนการตรึงคาร์บอนไดออกไซด์ดังจะแสดงบริเวณปลายของกราฟ A/C_i

Cure และ Acock (1986) ได้ทำการศึกษาการตอบสนองต่อการเพิ่มปริมาณคาร์บอนไดออกไซด์ที่สูงกว่าสภาพบรรยากาศปกติ (340 ppm) พบว่าพืช C_4 ได้แก่ ข้าวโพดและข้าวฟ่างมีการตอบสนองของอัตราการสังเคราะห์แสงต่อการเพิ่มขึ้นของคาร์บอนไดออกไซด์น้อยกว่าพืช C_3 ประเภทใบกว้าง ซึ่งได้ผลเช่นเดียวกับที่ประวิตร (2536) ได้ทำการศึกษาอัตราการสังเคราะห์แสงของใบหญ้าขน พบว่าเมื่อเพิ่มปริมาณคาร์บอนไดออกไซด์ให้สูงขึ้น ค่าอัตราการสังเคราะห์แสงของหญ้าขนก็ไม่ได้เพิ่มขึ้นเท่าใดนัก ทั้งนี้เนื่องจากหญ้าขนเป็นพืช C_4 ซึ่งเอนไซม์ Rubisco ไม่เป็นตัวจำกัดอัตราการสังเคราะห์แสงของพืชชนิดนี้ (Hall et al., 1993)



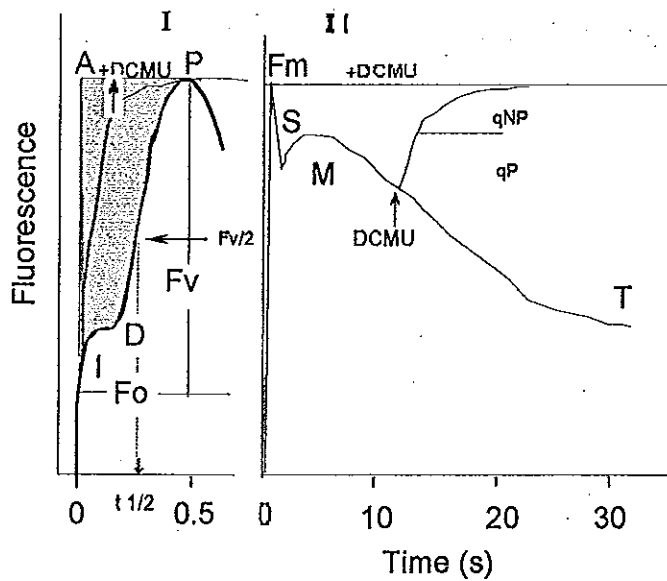
รูปที่ 2 การตอบสนองอัตราการสังเคราะห์แสงของใบพืช (A) ต่อปริมาณคาร์บอนไดออกไซด์
ได้ปากใบ (C_i)

ดัดแปลงจาก : Hall และคณะ, 1993

3.1.3 การวัดค่าคลอโรฟิลล์ฟลูออเรสเซนซ์ (chlorophyll fluorescence) เป็นเทคนิคการ
ศึกษาถึงการตอบสนองของพืชต่อปัจจัยแวดล้อมต่าง ๆ อีกวิธีหนึ่ง โดยศึกษาปริมาณของการเปล่ง
รังสีฟลูออเรสเซนซ์ หลังการได้รับแสงหรือรังสีดวงอาทิตย์ เทคนิคนี้จะใช้ร่วมกับวิทยาการ
คอมพิวเตอร์ ทำให้วัดได้ง่าย รวดเร็ว ไม่รบกวนต้นพืช (Selmani and Wassom, 1993) และใช้ได้
ทั้งภาคสนามและห้องปฏิบัติการ (Kooten and Snel, 1990) Flagella และคณะ (1994) ยังกล่าวอีก
ว่าเทคนิคนี้และค่าต่าง ๆ ที่ได้จากการศึกษานี้สามารถปรับปรุงมาเป็นเครื่องมือศึกษาการตอบ
สนองทางสรีรนิเวศวิทยาของพืชต่อสภาพแวดล้อมได้อีกด้วย

โดยทั่วไปแล้วการวัดค่าคลอโรฟิลล์ฟลูออเรสเซนซ์ (รูปที่ 3) จะแสดงเป็นอัตรา
ส่วนของค่า F_v/F_m ซึ่งสะท้อนถึงความสามารถของคลอโรฟิลล์พืชในการรับและส่งถ่ายพลังงาน
จากรังสีดวงอาทิตย์ของ PS II (photosystem II) และถ่ายทอดไปสู่ PS I (photosystem I)
(Sasaki et al., 1994) ทั้งนี้ในสภาพปกติหลังจากที่ใบพืชได้รับความมืดเป็นเวลาประมาณ 30 นาที
พบว่าส่วนของ reaction center ของ PS II และ PS I จะอยู่ในภาวะ ground state และสามารถเปิด
รับพลังงานจากรังสีดวงอาทิตย์ได้สูงสุด แต่อย่างไรก็ตามในสภาพนี้คลอโรฟิลล์ก็ยังคงสามารถ
เปล่งรังสีฟลูออเรสเซนซ์ออกมาได้ต่ำสุดเรียกว่า F_0 (initial fluorescence) ทันทีที่พืชได้รับรังสีดวง
อาทิตย์ PS II ก็จะเปลี่ยนไปอยู่ในภาวะ excited state และการเปล่งรังสีฟลูออเรสเซนซ์จาก

คลอโรฟิลล์ก็จะเพิ่มไปสู่สภาพสูงสุด เรียกว่า F_m (maximum fluorescence) จากนั้นค่านี้ก็จะลดลงสู่ระดับ F_0 อีกเมื่อ PS II สามารถส่งพลังงานในรูปของอิเล็กตรอนไปยัง PS I แล้วส่วนของ PS II เมื่อได้รับอิเล็กตรอนจากน้ำก็จะกลับมาอยู่ในสถานะ ground state พร้อมทั้งจะรับพลังงานจากรังสีดวงอาทิตย์ได้อีกต่อไป การเปลี่ยนแปลงของระดับค่าคลอโรฟิลล์ฟลูออเรสเซนซ์เรียกว่า Kautsky curve ความแตกต่างระหว่างค่า F_m และ F_0 เรียกว่า variable fluorescence (F_v) (Hall et al., 1993)



รูปที่ 3 กระบวนการชักนำให้เกิดรังสีฟลูออเรสเซนซ์หรือ Kautsky curve

ที่มา : Hall และคณะ, 1993

ค่า F_v/F_m จึงหมายถึงสัดส่วนของ variable fluorescence ต่อ maximum fluorescence อันหมายถึงสัดส่วนที่คลอโรฟิลล์ของพืชสามารถกลับมาอยู่ในสถานะ ground state ได้มากหรือน้อย ถ้าค่านี้สูงแสดงว่าคลอโรฟิลล์ของพืชอยู่ใน ground state และสามารถรับพลังงานแสงได้เป็นปกติ หรือกล่าวได้ว่าสามารถทำหน้าที่ในขั้นตอน photochemical process ได้ดี โดยทั่วไปในพืชปกติกจะมีค่า F_v/F_m มากกว่า 0.800 (Hall et al., 1993)

จากหลักการนี้ได้มีการนำเทคนิคนี้มาศึกษาเกี่ยวกับการตอบสนองของพืชต่อสภาพความเครียด เช่น ต่อความเข้มของแสง ต่ออุณหภูมิ และต่อปริมาณน้ำ เป็นต้น พบว่าพืชแต่ละชนิดไม่ว่า C_3 , C_4 หรือ CAM จะแสดงค่า F_v/F_m ที่ต่ำเมื่ออยู่ในสภาพเครียด (Georgieva and Yordannov, 1993; Selmani and Wassom, 1993; Flagella et al., 1994; Marler and Lawton, 1994; Sasaki et al., 1994) ยกตัวอย่างเช่น ใบแดงกวาดต้องการแสง $120-250 \mu \text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ หาก

ได้รับแสงที่มีความเข้มต่ำหรือสูงกว่านี้ ค่า F_v/F_m ก็จะลดต่ำลง นอกจากนี้ยังมีรายงานว่าค่า F_v/F_m จะมีความสัมพันธ์กับค่า ϕ เนื่องจากขึ้นอยู่กับความเข้มของแสงและอุณหภูมิเช่นเดียวกัน (Bjorkman and Demming, 1987; Hall et al., 1993; Sasaki et al., 1994)

Krause และ Weis (1984) รายงานอิทธิพลของสภาพแวดล้อมที่มีผลต่อการเปลี่ยนแปลงของค่าต่าง ๆ ที่วัดได้จากเทคนิคคลอโรฟิลล์ฟลูออเรสเซนซ์ไว้ดังนี้

- ค่า F_0 จะถูกกระทบจากความเครียดของอุณหภูมิในสภาพแวดล้อม เป็นสาเหตุทำให้มีการเปลี่ยนแปลงโครงสร้างที่ระดับรงควัตถุของ PS II ซึ่งมีผลทำให้ค่า F_0 เพิ่มขึ้นอย่างมาก หากเปรียบเทียบกับกรณีที่เกิด photoinhibition ซึ่งมีผลทำให้ค่า F_0 เพิ่มขึ้นเพียงเล็กน้อย ส่วนการทำลายจากความเย็นที่บริเวณ thylakoids จะไม่มีผลต่อค่า F_0

- ค่า F_m จะลดลงหลังจากที่ใบพืชได้รับแสงในความเข้มสูง แต่ค่า F_m จะไม่เปลี่ยนแปลงเนื่องจากอุณหภูมิ แต่ผลจากอุณหภูมิสูงที่ไปเพิ่มค่า F_0 จึงทำให้ค่า F_v ลดลงไปด้วยส่งผลให้เกิดการยับยั้งกิจกรรมของ PS II

- ค่า F_v โดยปกติจะมีค่าต่ำลงเมื่อเกิดความเครียดของสภาพแวดล้อมที่ไปทำลายบริเวณ thylakoids ตัวอย่างสภาพความเครียดได้แก่ ความร้อน ความเย็น และ photoinhibition

3.2 การสร้างมวลชีวภาพ

โดยทั่วไปพืชได้วัตถุดิบในการสร้างอาหารทางใบคือ คาร์บอนไดออกไซด์ และดูดซึมผ่านทางรากคือ น้ำ และธาตุอาหาร จากดิน การสังเคราะห์อาหารจะเกิดขึ้นที่ใบโดยกระบวนการสังเคราะห์แสงซึ่งมีคลอโรฟิลล์และแสงสว่างที่พืชใช้เป็นพลังงานสำหรับการสังเคราะห์ ใบจึงถือว่าเป็นแหล่งสร้าง (source) ของพืชส่วนใหญ่ อาหารที่พืชสร้างขึ้นจะถูกส่งไปยังส่วนต่าง ๆ ของพืชเพื่อการเจริญเติบโตของส่วนโครงสร้างใหม่ของพืช โดยอาหารส่วนหนึ่งจะถูกใช้ไปเพื่อการหายใจ อีกส่วนหนึ่งพืชจะเก็บสะสมเป็นอาหารสำรองสำหรับการเจริญเติบโตในช่วงต่อไปในส่วนที่เป็นเมล็ด ลำต้น ราก โดยอยู่ในรูปของมวลชีวภาพ (biomass) ซึ่งเป็นส่วนที่เราสามารถเก็บเกี่ยวมาเป็นอาหารของคนหรือสัตว์อีกทีหนึ่ง และต้องการให้มีการสะสมมากที่สุด แหล่งที่มีการใช้หรือสะสมนี้ถูกเรียกว่า แหล่งรองรับ (sink)

ในระบบนิเวศวิทยาการสร้างมวลชีวภาพของพืชจะมีความสำคัญต่อระบบอย่างมาก เนื่องจากเป็นแหล่งของอินทรีย์สาร (organic substance) และเป็นแหล่งพลังงานให้แก่สิ่งมีชีวิตในระดับอื่น ๆ มวลชีวภาพของพืช (plant biomass) หมายถึงปริมาณหรือน้ำหนักของเนื้อเยื่อพืชที่ประกอบด้วยส่วนที่อยู่บนดินและส่วนที่อยู่ใต้ดิน ในหนึ่งหน่วยพื้นที่ที่เวลาใดเวลาหนึ่ง ดังนั้นการศึกษา

การสร้างมวลชีวภาพของพืชจึงเป็นแนวทางที่จะทำให้ทราบถึงศักยภาพการให้ผลผลิตของพืชและองค์ประกอบอื่น ๆ ของระบบนิเวศทั้งหมดได้ (Hall *et al.*, 1993 ; อุ่แก้ว, 2531)

วิธีการศึกษามวลชีวภาพของพืชในแต่ละระบบนิเวศจะแตกต่างกัน ถ้าเป็นระบบนิเวศบนบก (terrestrial ecosystem) โดยเฉพาะระบบนิเวศทุ่งหญ้าแล้ว วิธีที่ง่ายและประหยัดที่สุด สามารถทำได้โดยการชั่งน้ำหนักแห้งของพืช ซึ่งส่วนใหญ่มักแบ่งพืชเป็นสองส่วนคือ ส่วนที่อยู่เหนือดินกับส่วนที่อยู่ใต้ดิน โดยส่วนที่อยู่เหนือดินแบ่งเป็นที่ยังเขียวอยู่ (standing live) ส่วนที่ตายแห้ง (standing dead) แต่ยังเป็นคั่นอยู่ และซากเหลือ (litter) ที่ร่วงหล่นทับถมอยู่บนพื้นดิน สำหรับส่วนที่อยู่ใต้ดินก็จะมีรากทั้งที่มีชีวิตและที่ตายแล้ว (นิวัต, 2535) แต่เนื่องจากวิธีการวัดมวลชีวภาพส่วนที่อยู่ใต้ดินสามารถทำการวัดให้ถูกต้องแม่นยำได้ยาก เพราะไม่อาจกำจัดดินออกจากรากได้หมดจริงๆ และมีความยุ่งยากในการจำแนกรากมีชีวิตกับรากไม่มีชีวิต หรือถ้าเป็นไม้ขนาดใหญ่ก็ไม่อาจถอนรากออกมาทั้งหมดได้ จึงเป็นเหตุผลหนึ่งที่มีไม่ค่อยนิยมศึกษามวลชีวภาพในส่วนของรากพืช (Hall *et al.*, 1993)

ปัจจัยที่จำกัดในการสร้างมวลชีวภาพของพืชประกอบด้วย ศักยภาพของดินพืชเอง ได้แก่ รากและใบ สภาพแวดล้อมที่จำเป็นเช่น น้ำ แร่ธาตุอาหาร การรับอนโคออกไซด์ แสงสว่าง และอุณหภูมิที่เหมาะสม นอกจากนี้ยังขึ้นอยู่กับกระบวนการกระจายของอาหารภายในต้นพืชได้แก่ การลำเลียงอาหาร (translocation) ผ่านระบบท่อลำเลียงของพืช และการถ่ายเทสารอาหาร (partitioning) เป็นต้น (อภินิพันธ์, 2526 ; เกลิมพล, 2535)

ใบทำหน้าที่ในการรับแสง ดังนั้นพื้นที่ใบจึงถูกใช้เป็นดัชนีหนึ่งที่บ่งบอกถึงความสามารถในการรับแสง และการสังเคราะห์แสง แต่พื้นที่ใบที่ใช้เป็นดัชนีนั้นควรพิจารณาจากพื้นที่ใบต่อพื้นที่ดินที่พืชครอบคลุมพื้นที่อยู่ เรียกค่านี้ว่าดัชนีพื้นที่ใบ (Leaf Area Index, LAI)

Rossi (1995) และ เกลิมพล (2535) กล่าวว่าปริมาณการสังเคราะห์แสงของพืชในแปลงปลูกจะขึ้นอยู่กับ LAI เป็นสำคัญ ถ้าพืชมี LAI สูงก็จะรับแสงได้มาก นอกจากนี้พรรัตน์ (2523) ยังกล่าวเสริมอีกว่า เมื่อพืชมีพื้นที่ใบมากแล้วควรมี ตำแหน่งของใบ การจัดระเบียบของใบ การกระจายของใบในแนวต่าง ๆ และมุมที่ใบออกจากลำต้นที่ดีด้วย จะยิ่งช่วยส่งเสริมให้ทรงพุ่มมีอัตราการสังเคราะห์แสงดียิ่งขึ้น

Williams และ Joseph (1976) พบว่าใบพืชที่การเรียงตัวขนานกับทิศทางของแสงแดด และมี LAI สูงจะทำให้แสงสามารถส่องผ่านไปได้ทั่วถึงในทรงพุ่มพืช (canopy) ซึ่งทำให้พื้นที่ใบมีประสิทธิภาพในการรับแสงได้สูง แต่ในทางตรงข้ามถ้าใบพืชมีการเรียงตัวในแนวอนอนจะมีประสิทธิภาพในการรับแสงได้น้อยก็ต่อเมื่อมี LAI ค่า ๆ เท่านั้น

สุทธิพร (2524) อธิบายถึงความสัมพันธ์ระหว่างมุมใบที่มีต่ออัตราการสังเคราะห์แสงของพืชนั้นจะขึ้นกับการที่ LAI ได้รับแสงมากน้อยเพียงใด โดยทั่วไปพืชที่มีใบตั้งจะสามารถทำการสังเคราะห์แสงได้มีประสิทธิภาพมากกว่าพืชที่มีใบนอน แต่ในระยะเวลาที่ดวงอาทิตย์ส่องแสงลงมายังพื้นดินทำมุมแคบ ๆ (เวลาเช้าหรือเย็น) พืชที่มีใบตั้งจะมีอัตราการสังเคราะห์แสงน้อยกว่าพืชที่มีใบนอน แต่เมื่อแสงอาทิตย์ส่องมาทำมุมกว้างขึ้นจนกระทั่งอยู่ในแนวตั้งฉากกับพื้นดิน (เวลาเที่ยงวัน) พืชใบตั้งจะสามารถทำการสังเคราะห์แสงได้ดีกว่าพืชที่มีใบนอน

Kihara (1975) สรุปลักษณะโครงสร้างของพืชที่มีผลต่อการเพิ่มประสิทธิภาพเพื่อรับแสงว่าควรเป็นพืชที่มีใบสั้นชี้ตรงในแนวตั้ง มีลำต้นตรงและสั้น การแตกกอกควรมีปานกลาง

Kamnalrut และ Evenson (1992) และ Sakpob (1994) ได้ทำการศึกษามวลชีวภาพของทุ่งหญ้าธรรมชาติ ที่พื้นที่คลองหอยโข่งซึ่งประกอบด้วย หญ้าขม, *Lophopogon intermedius*, *Fimbristylis tristachya* และ *Dillenia hookeri* พบว่าหญ้าขมเป็นหญ้าธรรมชาติที่ให้มวลชีวภาพส่วนเหนือดินสูงที่สุด นอกจากนี้ Sakpob (1994) ซึ่งทำการศึกษาผลผลิตขั้นต้นของทุ่งหญ้าแบบชาวนานาในภาคใต้ของประเทศไทย พบว่าจากการประเมินค่ามวลชีวภาพทั้งส่วนเหนือดินและส่วนใต้ดินเปรียบเทียบกับในสภาพที่มีการเผาและไม่มีการเผา อัตราผลผลิตขั้นต้นต่อปี ไม่มีความแตกต่างกันในทั้งสองสภาพ และยังคงกล่าวอีกว่ามีตัวแปรหลักที่ทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงของผลผลิตขั้นต้นคือ อุณหภูมิอากาศ การคายน้ำ ช่วงเวลาที่พืชได้รับแสง และปริมาณน้ำฝน

ประวิตร (2532) สรุปจากการทดลองของสถานีทดลองพืชอาหารสัตว์วันราธิวาสว่า หญ้าธรรมชาติให้ผลผลิตเพียงครึ่งหนึ่งของหญ้าอาหารสัตว์พันธุ์ปรับปรุง อีกทั้งมีคุณค่าทางอาหารจัดว่าต่ำมาก ในขณะที่ความสม่ำเสมอของปริมาณผลผลิตของพืชอาหารสัตว์พันธุ์ปรับปรุงดีกว่าจากหญ้าธรรมชาติ ทั้งนี้เกิดจากสาเหตุข้อจำกัดต่าง ๆ ได้แก่ พันธุ์พืช การจัดการ และสภาพแวดล้อมในพื้นที่นั้น

อภินันท์ (2526) อธิบายถึงการกระจายน้ำหนักแห้งของพืช ในระยะการเจริญทางต้นและใบ ใบที่พัฒนาเต็มที่จัดเป็นแหล่งสร้างสารอาหารแล้วไปสะสม พัฒนาและคงสภาพของใบแก่ ตาข้าง หรือหน่ออ่อน ตลอดจนราก โดยทั่วไปนิยมพิจารณาถึงการกระจายน้ำหนักแห้งของส่วนใหญ่ ๆ 3 ส่วน ได้แก่ ใบ ลำต้น และราก การกระจายน้ำหนักแห้งไปสะสมในส่วนต่าง ๆ ทั้งสามในระยะการเจริญทางต้นและใบจะเป็นตัวบ่งบอกการเจริญเติบโตและศักยภาพของการให้ผลผลิตพืชในระยะต่อมา

Mitchell (1970) รายงานว่าการสะสมน้ำหนักแห้งในส่วนของรากเมื่อเพิ่มขึ้นถึงจุดสูงสุดแล้วจะคงที่อยู่ระดับนั้นต่อไป แต่ในส่วนของลำต้นและใบเมื่อเพิ่มขึ้นถึงจุดสูงสุดแล้ว จะลดต่ำลง

มาเมื่อพืชมีอายุมากขึ้น ยกเว้นส่วนของพืชที่เป็นแหล่งสะสมอาหาร เช่น ฝักหรือเมล็ด จะยังคงสะสมน้ำหนักแห้งเพิ่มขึ้นต่อไปเรื่อย ๆ แม้ว่าส่วนของใบและลำต้นจะมีน้ำหนักแห้งลดลง

4. การศึกษาลักษณะทางกายวิภาคของพืช

นอกจากปัจจัยสภาพแวดล้อมต่าง ๆ ภายนอกแล้วยังมีปัจจัยภายในต้นพืชมีผลต่ออัตราการสังเคราะห์แสงและการเจริญเติบโตของพืชอีกได้แก่ ชนิดของพืช สภาพทางสรีรวิทยาของพืช สภาพทางพันธุกรรม ตลอดทั้งอายุหรือช่วงวงจรชีวิตของพืช (สมบุญ, 2536) ดังนั้นการศึกษาลักษณะทางกายวิภาคของพืชจึงเป็นการศึกษาที่สำคัญอีกอย่างหนึ่ง เพื่อทราบถึงลักษณะโครงสร้างภายในของพืช และเป็นความรู้พื้นฐานที่จะนำไปอธิบายสรีรวิทยาของพืชที่เจริญอยู่ในสภาพแวดล้อมนั้นๆ ได้

ใบเป็นอวัยวะสำคัญที่ทำหน้าที่สังเคราะห์แสง ดังนั้นพืชจึงมีการปรับและพัฒนาลักษณะใบให้มีความเหมาะสมต่อสภาพแวดล้อม เพื่อสามารถรับแสงและดูดซึมน้ำคาร์บอนไดออกไซด์ได้มาก และนอกจากนี้ ใบ ราก และลำต้น จะประกอบด้วยเนื้อเยื่อต่าง ๆ ที่คล้ายกัน ได้แก่ อีพิเดอร์มิส (epidermis) มีโซฟิลล์ (mesophyll) ท่อลำเลียง (vascular หรือ veins) เป็นต้น

4.1 อีพิเดอร์มิส (epidermis)

อีพิเดอร์มิสเป็นเนื้อเยื่อเชิงเดี่ยว อยู่ชั้นนอกสุดของส่วนต่าง ๆ ของพืช มีรูปร่างหลายแบบ โดยทั่วไปมีลักษณะยาวมากกว่ากว้าง บริเวณผิวด้านนอกจะมี คิวติเคิล (cuticle) ภายนอก แต่เซลล์อีพิเดอร์มิสของรากจะไม่มีคิวติเคิล เซลล์อีพิเดอร์มิสมีหน้าที่หลายประการ เช่น ช่วยควบคุมการคายน้ำ การแลกเปลี่ยนก๊าซ การสะสมน้ำและสารจากเมตาโบลิซึมเกี่ยวกับการสังเคราะห์แสง การขับของเสีย หรือการสร้างเซลล์ใหม่ปกคลุมเมื่อมีบาดแผล เป็นต้น (ภูวคณ, 2535) เนื่องจากอีพิเดอร์มิสมีหน้าที่หลายอย่าง ทำให้เซลล์ของอีพิเดอร์มิสเปลี่ยนแปลงรูปร่างและโครงสร้างแตกต่างกันไป เช่น บางครั้งชั้นเซลล์อีพิเดอร์มิสของใบหรือลำต้นของพืชบางชนิดจะมีขนซึ่งเรียกว่า ไตรโครมส์ (trichomes) ได้แก่ ใบหรือลำต้นของหญ้าขน ส่วนเซลล์อีพิเดอร์มิสที่เปลี่ยนแปลงรูปร่าง ที่มีความสำคัญต่อการสังเคราะห์แสงคือ ปากใบ (stomata) เกิดจากอีพิเดอร์มิส 2 เซลล์ ที่มีรูปร่างคล้ายเมล็ดถั่วมาประกบกัน เรียกว่า เซลล์คุม (guard cell) แต่ Weyers และ Meidner (1990) รายงานว่าเซลล์คุมของหญ้าจะมีรูปร่างแบบ graminaceous หรือ dumbbell-shaped มีการจัดเรียงของปากใบเป็นแถว มีรูปปากใบแบบขนาน (parallel) และ subsidiary cells มีรูปร่างแบบ paracytic lateral นอกจากนี้มีการศึกษาเกี่ยวกับความถี่ของปากใบ ทั้งด้านบนใบ (adaxial) และด้านล่างใบ (abaxial) พบว่าหญ้าประเภท C_4 จะมีความถี่ปากใบบริเวณด้านล่างมากกว่าด้านบนใบ (สมพร,

2529; Esau, 1965; Weyers and Meidner, 1990; และ Hall *et al.*, 1993) แต่สังเกต (2530) ได้ทำการศึกษาการจัดเรียงปากใบของหญ้าพบว่าปากใบมักอยู่ทางผิวใบด้านบนเป็นส่วนใหญ่ ซึ่งจะแตกต่างจากพืชชนิดอื่น ดังนั้นเมื่อเกิดความเครียดน้ำพืชจะสูญเสียน้ำทางผิวใบด้านบนมาก ในขณะที่เซลล์ผิวใบด้านล่างของใบมีผนังเซลล์หนากว่าและรักษา turgor pressure ได้มากกว่า อย่างไรก็ตามหญ้ายังสามารถปรับตัวเพื่อป้องกันการสูญเสียน้ำได้ โดยทางด้านบนของใบ มีเซลล์บัลลิสฟอร์ม ซึ่งเป็นเซลล์ที่มีขนาดใหญ่ผนังบางและไม่มีคลอโรพลาสต์ เซลล์เหล่านี้สามารถเก็บน้ำได้ดี (Esau, 1965) ดังนั้นเมื่อพืชชนิดนี้ขาดน้ำ ขอบใบจะม้วนเข้าหากันทางด้านบนของใบ เพราะเซลล์บัลลิสฟอร์มเสียน้ำได้ง่าย ทำให้เซลล์แฟบลง ในขณะที่เซลล์ผิวใบด้านล่างซึ่งมีขนาดเล็ก และมีชั้นคิวติเคิลเคลือบอยู่จะสูญเสียน้ำได้น้อยกว่า เซลล์จึงยังคงรูปอยู่ได้ ด้วยเหตุนี้เองใบจึงมีพื้นที่ในการสัมผัสกับบรรยากาศน้อยลงทำให้การคายน้ำของใบลดลงด้วยเช่นกัน

Patterson (1980) ได้กล่าวถึงปัจจัยต่าง ๆ ของสภาพแวดล้อมได้แก่ แสง และอุณหภูมิ ว่าอาจมีผลกระทบทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงลักษณะของปากใบได้ โดยพบว่าพืชที่เจริญในที่ที่มีแสงจัด จำนวนปากใบต่อหน่วยพื้นที่ใบหรือความหนาแน่นของปากใบจะเพิ่มขึ้นมากกว่าพืชที่เจริญในที่ร่ม การทดลองของ Cooper และ Qualls (1967) พบว่าปากใบถั่วอัลฟัลฟา และถั่ว birdsfoot trefoil ที่เจริญกลางแจ้งมีความหนาแน่นสูงกว่าเมื่อเจริญในที่ร่ม เนื่องจากแสงมีผลต่อจำนวนปากใบในระยะ leaf initiation และในระยะที่มีการขยายขนาดของใบ แต่แสงมีผลเล็กน้อยต่อขนาดของรูปปากใบหรือความยาวของเซลล์คุม และยังพบอีกว่าหากนำพืชในร่มไปปลูกในสภาพแสงจัด ทำให้ stomatal conductance ของพืชลดลง ซึ่งตรงข้ามกับพืชกลางแจ้งที่กลับมีค่า stomatal conductance เพิ่มขึ้นเมื่อนำไปปลูกในสภาพแสงจัด ส่วนในเรื่องของอุณหภูมิ Patterson (1980) อธิบายว่าใบพืชจะมีความหนาแน่นของปากใบลดลงเมื่อได้รับอุณหภูมิสูง เนื่องจากเกิดการขยายขนาดของใบพืชโดยไม่มีการเพิ่มจำนวนปากใบ

4.2 มีโซฟิลล์ (mesophyll)

มีโซฟิลล์เป็นเนื้อเยื่อที่อยู่ระหว่างชั้นอีพิเดอร์มิสทั้งสองด้าน ส่วนใหญ่จะแบ่งเนื้อเยื่อประเภทนี้ออกเป็น 2 ชั้น คือ palisade parenchyma และ spongy parenchyma แต่ในหญ้าเนื้อเยื่อมีโซฟิลล์ไม่สามารถแยกเป็นชั้นดังกล่าวได้อย่างชัดเจน เนื่องจากเซลล์มีรูปร่างคล้ายกัน (Cutter, 1971) จากรายงานของเจลิมพล (2535) กล่าวว่าภายในใบมีชั้นมีโซฟิลล์อยู่จำนวนมากเพื่อเพิ่มพื้นที่ผิวซึ่งจะเป็นผลดีต่อการที่คาร์บอนไดออกไซด์จะแพร่เข้าสู่ศูนย์กลางการสังเคราะห์แสงได้มาก และพบว่าพื้นที่ผิวภายในใบจะมากกว่าพื้นที่ผิวภายนอกของใบ 6-10 เท่า นอกจากนี้เซลล์ชั้นมีโซฟิลล์จะมีจำนวนคลอโรพลาสต์มาก เมื่อใบได้รับแสงคลอโรพลาสต์จะมาเรียงตัวตามแนว

ฝ่ายหอสมุด
คุณหญิงหลง อรรถกระวีสุนทร

ของผนังเซลล์เพื่อรับแสงให้ได้มากที่สุด การศึกษาถึงปัจจัยต่าง ๆ ซึ่งมีผลกระทบต่อการเปลี่ยนแปลงลักษณะของเซลล์ชั้นมีโซฟิลล์ของใบพืช โดย Patterson (1980) พบว่าใบที่เจริญในที่ที่มีแสงจัดจะมีความหนาเพิ่มขึ้น และมีการพัฒนาเซลล์ในชั้นมีโซฟิลล์ชัดเจนขึ้น โดยประกอบด้วยเซลล์พาลิเสดหลายชั้นเมื่อเปรียบเทียบกับใบที่เจริญในที่ที่มีความเข้มแสงต่ำ ส่วนผลจากการเพิ่มความหนาในชั้นมีโซฟิลล์ทำให้ปริมาตรของเซลล์ชั้นมีโซฟิลล์ต่อหน่วยพื้นที่ผิวใบเพิ่มขึ้นด้วย ซึ่งเป็นผลทำให้อัตราการสังเคราะห์แสงของพืชเพิ่มสูงขึ้น นอกจากนี้ยังกล่าวถึงอุณหภูมิว่ามีผลต่อการเปลี่ยนแปลงลักษณะของมีโซฟิลล์ของใบพืชเช่นกัน คือหากนำพืชไปปลูกในที่ที่มีอุณหภูมิสูงขึ้น จะทำให้มีความหนาของใบพืชลดลงเนื่องจากการลดขนาดและปริมาตรของเซลล์ชั้นมีโซฟิลล์ และมีช่องว่างภายในเซลล์เพิ่มขึ้น

4.3 มัดท่อลำเลียง (vascular bundle)

มัดท่อลำเลียงเป็นกลุ่มท่อลำเลียงน้ำและสารอาหารในต้นพืชซึ่งหากพบบริเวณใบตรงส่วนเส้นกลางใบ (mid rib) และเส้นใบ (vein) ประกอบด้วย ท่อน้ำ (xylem) และท่ออาหาร (phloem) และหากมีพวกพาเร็นไคมา (parenchyma) ที่สะสมแป้งมาล้อมรอบมัดท่อลำเลียงจะเรียกว่า บันเดิลชีท (bundle sheath) เกลิมพล (2530) Hall และคณะ (1993) กล่าวว่าบันเดิลชีทของพืชแต่ละชนิดจะแตกต่างกันคือ ในหญ้าพวก C_4 เมื่อเยื่อรอบบันเดิลชีท จะมีผนังเซลล์ค่อนข้างหนา และมีคลอโรพลาสต์ขนาดใหญ่ เรียกกลุ่มเซลล์นี้ว่า Kranz-type cells กลุ่มเซลล์เหล่านี้จะมีบทบาทสำคัญต่อการสังเคราะห์แสง และสะสมผลิตภัณฑ์ที่ได้จากการสังเคราะห์แสงก่อนที่จะส่งผ่านไปยังท่ออาหาร แต่ Laetsch (1974) พบว่าบางครั้งพืช C_3 อาจมีเซลล์ของบันเดิลชีทได้และนอกจากนี้ พืช C_3 บางชนิดภายในเซลล์บันเดิลชีทจะมีคลอโรพลาสต์เช่นเดียวกับพืช C_4 แต่ลักษณะที่แตกต่างกันชัดเจนและสามารถจำแนกพืช C_3 และ พืช C_4 ออกจากกันได้คือ พืช C_4 จะมีการจัดเรียงเซลล์คลอเรนไคมา (chlorenchyma cell) ตามแนวรัศมี (radial arrangement) ติดกับมัดท่อลำเลียงซึ่งจะไม่พบการจัดเรียงแบบนี้ในพืช C_3 นักวิทยาศาสตร์บางท่านได้พยายามจำแนกพืช C_4 ประเภทหญ้าออกเป็น 3 กลุ่มตามการสะสมกรดมาลิก หรือกรดแอสพาทิก ซึ่งเป็นสารประกอบอินทรีย์ตัวแรกที่พบในขั้นตอนการตรึงคาร์บอนไดออกไซด์ของการสังเคราะห์แสง (Humphreys, 1981) คือ

1. NADP-malic enzyme species
2. NAD-malic enzyme species
3. PEP-carboxykinase species

โดยพืชกลุ่มแรกจะสร้างกรดมาลิก ส่วนสองกลุ่มหลังจะสร้างกรดแอสพาทิกมากกว่า นอกจากนี้ Dengler และคณะ (1994) พบว่าพืชกลุ่ม NADP-malic enzyme species จะไม่มีเซลล์แทรก

ระหว่าง metaxylem vessel กับเซลล์บันเดิลชีท และพบว่าคลอโรพลาสต์ภายในเซลล์บันเดิลชีท มีการเรียงตัวแบบ centrifugal ได้แก่ หญ้า *Cenchrus ciliaris*, *Panicum antidotale*, *Paspalum notatum* และ *Pennisetum purpureum* เป็นต้น ส่วนพืชสองกลุ่มหลังจะมีเซลล์ชั้นมีสโตม (mestome sheath cells) 1 ชั้น หรือมากกว่า 1 ชั้นแทรกอยู่ระหว่าง metaxylem vessel กับเซลล์บันเดิลชีท โดยที่พืชในกลุ่ม NAD-malic enzyme species มีการจัดเรียงของคลอโรพลาสต์ภายในเซลล์บันเดิลชีทเป็นแบบ centripetal ส่วนพืชในกลุ่ม PEP-carboxykinase species มีการจัดเรียงของคลอโรพลาสต์ภายในเซลล์บันเดิลชีทเป็นแบบ centrifugal หรือ peripheral ตัวอย่างหญ้าสองกลุ่มหลัง ได้แก่ หญ้า *Chloris gayana*, *Cynodon dactylon*, *Eragrostis curvula*, *Melinis minutiflora* และ *Panicum maximum* เป็นต้น จากการศึกษาลักษณะทางกายวิภาคของหญ้าขม และหญ้า *Lophopogon intermedius* นงลักษณ์ (2530) พบว่าหญ้าทั้งสองชนิดมีเซลล์บันเดิลชีทชั้นเดียว คลอโรพลาสต์เรียงตัวแบบ centrifugal ดังนั้นจึงจัดหญ้าสองชนิดนี้เป็นพืช C_4 แบบ NADP-malic enzyme species (Humphreys, 1981) ภูวดล (2535) ทำการศึกษากลุ่มท่อลำเลียงในลำต้นพืชใบเลี้ยงเดี่ยวพบว่าไม่มีการเจริญชั้นที่สอง อาณาเขตของชั้นคอร์เทกซ์ (cortex) แบ่งได้ไม่เด่นชัด มีกลุ่มท่อลำเลียงอยู่กระจัดกระจายทั่วลำต้น ในพืชบางชนิดเช่น หญ้าขม จะมีกลุ่มท่อลำเลียงกระจายเป็นสองวง วงเล็กอยู่ส่วนนอก โดยมีเนื้อเยื่อสเคลอเรนไคมา (sclerenchyma) แทรกเป็นแนวกั้นอยู่ ท่อน้ำและท่ออาหารอยู่รวมเป็นกลุ่มคล้ายหน้ำคน นอกจากนี้ นงลักษณ์ (2530) ได้พิจารณาท่อลำเลียงในลำต้นหญ้าขม พบว่ามีท่อลำเลียงขนาดใหญ่กว่า *Lophopogon intermedius* ซึ่ง Dimond (1966) กล่าวว่าท่อลำเลียงที่มีขนาดใหญ่ทำให้แรงต้านการเคลื่อนที่ของน้ำในต้นพืชลดลง ส่วนในการศึกษาระบบท่อลำเลียงภายในรากก็พบว่าในหญ้าขมจะมี metaxylem vessels ขนาดใหญ่ ที่ทำให้มี axial resistance ต่ำ ซึ่งการมี axial และ radial resistance ที่ต่ำจะทำให้เกิดภาวะความเครียดน้ำเร็วขึ้น (นงลักษณ์, 2530) นักพืชศาสตร์จึงใช้ลักษณะ metaxylem vessels ที่มีขนาดเล็กในการคัดเลือกพันธุ์พืชปลูกสำหรับพื้นที่ที่มีความแห้งแล้ง หรือมีน้ำจำกัด

5. สรุป

จากการค้นคว้ารายงานการศึกษาต่าง ๆ ที่ทำการทดลองในหญ้าขมและหญ้าขมปรากฏว่า การศึกษาส่วนใหญ่ของหญ้าขมและหญ้าขมจะมุ่งเน้นไปในด้านการจัดการผลผลิต เช่น การศึกษาของ ปันชัย (2538) เรื่องผลของธาตุอาหารพืชต่อการตั้งตัวของหญ้ามอร์ริซัสที่ปลูกบนดินตะกอนน้ำท่วมของจังหวัดสงขลา การศึกษาของนงลักษณ์ (2530) เรื่องการปรับตัวเพื่อตอบสนองต่อความเครียดน้ำของพืชชนิดต่าง ๆ ในระบบนิเวศธรรมชาติ และการศึกษาของ Sakpob (1994) เรื่องผลของปัจจัยทางสภาพแวดล้อมที่มีต่อผลผลิตปฐมภูมิสุทธิของทุ่งหญ้าแบบชาวันนาขึ้นในเขตร้อน แต่มี

การศึกษาน้อยมากที่เกี่ยวกับกระบวนการทางสรีรวิทยาของหญ้าขนและหญ้าม หรือปัจจัยต่าง ๆ ทั้งปัจจัยภายในและปัจจัยสภาพแวดล้อมที่จะมีผลต่อการปรับตัวของหญ้าขนและหญ้ามในสภาพต่าง ๆ ซึ่งเป็นข้อมูลที่สำคัญอย่างยิ่งในการใช้เป็นพื้นฐานในการจัดการหญ้าทั้งสองชนิด ดังนั้นในการทดลองครั้งนี้จึงมุ่งเน้นเพื่อจะศึกษาข้อมูลพื้นฐานทางสรีรวิทยาอันได้แก่ กระบวนการสังเคราะห์แสง คลอโรฟิลล์ฟลูออเรสเซนซ์ การสร้างมวลชีวภาพ และลักษณะทางกายวิภาคของหญ้าขนซึ่งเป็นหญ้าอาหารสัตว์เปรียบเทียบกับหญ้ามซึ่งเป็นหญ้าธรรมชาติที่สามารถเจริญเติบโตได้ดีในสภาพแวดล้อมเดียวกัน เพื่อนำไปเป็นประโยชน์สำหรับการพัฒนาการปลูกหญ้าอาหารสัตว์ โดยเฉพาะในพื้นที่ลุ่มมีน้ำท่วมขังในบางฤดูและมีความอุดมสมบูรณ์ของดินค่อนข้างต่ำ

วัตถุประสงค์

1. ศึกษาสรีรวิทยาของหนูขาวและหนูดำ โดยเปรียบเทียบอัตราการสังเคราะห์แสง และศึกษาความเครียดที่เกิดจากสภาพแวดล้อม โดยการวัดคลอโรฟิลล์ฟลูออเรสเซนซ์
2. เปรียบเทียบการสร้างมวลชีวภาพของหนูทั้งสองชนิด
3. ศึกษาลักษณะทางกายวิภาคของหนูทั้งสองชนิด โดยเปรียบเทียบโครงสร้างภายในและลำดับที่มีความสัมพันธ์ต่อกระบวนการทางสรีรวิทยาและการตอบสนองต่อสภาพแวดล้อม

บทที่ 2

วิธีการวิจัย

วิธีการในการทำวิจัยเพื่อศึกษาเปรียบเทียบประสิทธิภาพการสังเคราะห์แสงและการสร้างมวลชีวภาพของหญ้าขนกับหญ้าม ต้องใช้วัสดุ อุปกรณ์ และวิธีดำเนินการ โดยมีรายละเอียดดังต่อไปนี้

วัสดุ

1. ตัวอย่างพืชได้แก่ หญ้าขน (*Brachiaria mutica* (Forsk.) Stapf) จากแปลงปลูก และหญ้าม (*Eulalia trispicata* (Schult.) Henr.) จากแปลงหญ้าธรรมชาติ (ภาคผนวก ก-1 และ ก-2) ที่สถานีวิจัยคลองหอยโข่ง คณะทรัพยากรธรรมชาติ จังหวัดสงขลา บริเวณละติจูด (latitude) $6^{\circ} 5'$ เหนือ ลองจิจูด (longitude) $100^{\circ} 20'$ ตะวันออก ซึ่งอยู่สูงจากระดับน้ำทะเล 30 เมตร
2. วัสดุเพื่อใช้ในการเตรียมตัวอย่างดินและพืช
 - 2.1 มีดหรือกรรไกรตัดตัวอย่างพืช
 - 2.2 ถุงพลาสติกใส
 - 2.3 ถุงกระดาษ
3. วัสดุเพื่อใช้ศึกษาลักษณะทางกายวิภาคของพืช
 - 3.1 ใบมีดโกน
 - 3.2 สารเคมีที่ใช้เตรียมสไลด์ถาวร
 - 3.3 แผ่นสไลด์ กับแผ่นปิดสไลด์

อุปกรณ์

1. อุปกรณ์ศึกษาปัจจัยภูมิอากาศของสภาพแวดล้อม

1.1 Data logger เป็นอุปกรณ์บันทึกค่ารังสีดวงอาทิตย์ อุณหภูมิอากาศ และอุณหภูมิดิน จะบันทึกทุกๆ 30 นาที โดยอุณหภูมิอากาศและอุณหภูมิดิน มีหน่วยเป็นองศาเซลเซียส และรังสีดวงอาทิตย์มีหน่วยเป็น วัตต์ต่อตารางเมตร ส่วนข้อมูลความชื้นสัมพัทธ์ใช้ค่าซึ่งวัดที่สถานีตรวจอากาศ กองบิน 56 ซึ่งมีหน่วยเป็นเปอร์เซ็นต์

1.2 อุปกรณ์วัดปริมาณน้ำฝน (rain gauge) เป็นภาชนะรูปกรวยมีหน้าตัดเป็นสี่เหลี่ยม ทำด้วยพลาสติกใสมีขีดสเกลแบ่งละเอียดถึง 0.1 มิลลิเมตร ส่วนขอบบนมีพื้นที่ประมาณ 40 ตารางเซนติเมตร rain gauge ติดตั้งไว้สูงจากพื้นดินประมาณ 1 เมตร ในที่โล่ง มีหน่วยวัดเป็นมิลลิเมตร

1.3 อุปกรณ์วัดน้ำระเหยแบบพิเช่ (Piche evaporimeter) ทำจากหลอดแก้วมีเส้นผ่าศูนย์กลาง 0.6 นิ้ว ยาว 9 นิ้ว แบ่งเป็นสเกลหน่วยเป็นมิลลิเมตร ภายในบรรจุน้ำสะอาดที่ปลายด้านหนึ่งมีกระดาษกรอง เป็นอุปกรณ์วัดน้ำระเหยแบบเคลื่อนที่ได้

1.4 Anemometer เป็นเครื่องวัดความเร็วลม ประกอบด้วยลูกถ้วยทรงกรวย 3 ใบ มีแขนยึดติดกับแกนหมุนซึ่งอยู่ในแนวตั้ง ติดตั้งบนเสาเหล็กสูงจากพื้นดิน 1.75 เมตร จำนวนรอบที่หมุนจะถูกเปลี่ยนให้มีหน่วยเป็นระยะทางกิโลเมตร

1.5 อุปกรณ์วัดปริมาณความชื้นในดิน (soil moisture) ประกอบด้วย เครื่องมือเจาะดิน (soil core) เป็นกระบอกเหล็กกลวงที่มีเส้นผ่าศูนย์กลางภายใน 5 เซนติเมตร ยาว 30 เซนติเมตร และกระป๋องใส่ตัวอย่างดิน

2. อุปกรณ์วัดอัตราการสังเคราะห์แสง ประกอบด้วยรายการดังต่อไปนี้

2.1 เครื่องวัดอัตราการสังเคราะห์แสงชนิดเคลื่อนย้ายได้ (ยี่ห้อ ADC รุ่น LCA2) (ภาคผนวก ข) ใช้วัดค่าอัตราการแลกเปลี่ยนก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ของพืช โดยอาศัยหลักการวัดความเปลี่ยนแปลงความเข้มข้นของก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ของอากาศที่ไหลผ่านกล่องใส (leaf chamber) ที่มีใบพืชอยู่ ซึ่งประกอบด้วย 1) IRGA (Infra-Red Gas Analyser) เป็นตัววัดโมเลกุลก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ 2) Flow meter เป็นตัวช่วยควบคุมการไหลผ่านของอากาศให้คงที่ 3) Parkinson leaf chamber พร้อมด้วยชุดให้แสง และ 4) ถังบรรจุคาร์บอนไดออกไซด์ โดยอุปกรณ์ทั้งหมดต่อกันแบบระบบเปิด ซึ่งปล่อยให้อากาศไหลผ่าน leaf chamber และ IRGA โดยไม่มีการเติมคาร์บอนไดออกไซด์ลงไปเพื่อชดเชยอัตราการสังเคราะห์แสง

2.2 เครื่องคอมพิวเตอร์ ใช้โปรแกรม GASEX III (Hall et al., 1993) เพื่อควบคุมการทำงาน

3. อุปกรณ์วัดคลอโรฟิลล์ฟลูออเรสเซนซ์ ประกอบด้วยรายการดังต่อไปนี้

3.1 เครื่อง PEA (Plant Efficiency Analyser ; ยี่ห้อ Hansatech) (ภาคผนวก ก) เป็นอุปกรณ์ใช้วัดรังสีฟลูออเรสเซนซ์ที่สะท้อนจากใบพืช ซึ่งประกอบด้วย 1) Control box ที่ควบคุมด้วยระบบ microprocessor เพื่อใช้แปลงค่ารังสีฟลูออเรสเซนซ์ที่วัดได้มาเป็นค่าจำนวน และ 2) Sensor unit เป็นตัวให้กำเนิดแสงแก่ใบพืชและรับรังสีฟลูออเรสเซนซ์จากใบพืช เพื่อส่งไปยัง control box

3.2 Leafclips เป็นอุปกรณ์ที่ใช้หนีบใบพืช เพื่อให้ใบปรับตัวในสภาพมืดก่อนที่จะทำการวัดค่ารังสีฟลูออเรสเซนซ์และใช้เป็นตำแหน่งวาง sensor unit ในขณะวัด

3.3 ถังพลาสติกใส เพื่อใส่ต้นพืชที่ตัดมาจากแปลงสำหรับการศึกษารีดน้ำของค่าคลอโรฟิลล์ฟลูออเรสเซนซ์ ภายในถังมีพื้นด้านล่างเอียงเพื่อวางต้นพืชที่ตัดมาจากแปลงปลูก โดยให้บริเวณโคนต้นพืชจุ่มอยู่ในน้ำตลอดเวลา (ภาคผนวก ก)

3.4 โคมไฟสำหรับให้แสงแก่พืชขณะอยู่ในถังพลาสติกในห้องปฏิบัติการเพื่อศึกษารีดน้ำของพืช

3.5 โปรแกรม Firmware เวอร์ชัน PO2.001 โปรแกรม Analyser เวอร์ชัน 2.01 และโปรแกรม Summary เวอร์ชัน 2.01 สำหรับควบคุมการทำงานของเครื่อง PEA และแปลงเป็นค่าจำนวนต่างๆ

4. อุปกรณ์ศึกษาการสร้างมวลชีวภาพและการเจริญเติบโตของหญ้าขนและหญ้าม ประกอบด้วยรายการดังต่อไปนี้

4.1 เครื่องชั่ง

4.2 เครื่องวัดพื้นที่ใบ (leaf area meter)

4.3 ตู้อบแบบ forced-draft oven สำหรับอบตัวอย่างพืชเพื่อนำมาหาน้ำหนักแห้ง

4.4 กรอบสุ่มตัวอย่าง (quadrat) ขนาด 1.0×0.25 ตารางเมตร

5. อุปกรณ์ศึกษาลักษณะทางกายวิภาคของหญ้าขนและหญ้าม

5.1 เครื่องตัดเนื้อเยื่อ (microtome)

5.2 Slide warmer

5.3 กล้องจุลทรรศน์

5.4 กล้องถ่ายรูป

5.5 Ocular micrometer กับ stage micrometer สำหรับวัดขนาดโครงสร้างภายในพืช และนับจำนวนปากใบของพืช

วิธีการ

การศึกษาวิจัยครั้งนี้ ได้แบ่งวิธีการดำเนินการออกเป็น 4 ขั้นตอนด้วยกันคือ

ตอนที่ 1 การศึกษาปัจจัยสภาพแวดล้อม

ตอนที่ 2 การศึกษาสรีรวิทยาของหญ้าขนและหญ้างม โดยเปรียบเทียบอัตราการสังเคราะห์แสงต่อสภาพแสงและต่อปริมาณคาร์บอนไดออกไซด์ของหญ้าทั้งสองชนิด และศึกษาการฟื้นตัวของกลอโรฟิลล์ฟลูออเรสเซนซ์

ตอนที่ 3 การศึกษาการสร้างมวลชีวภาพและการเจริญเติบโตของหญ้าขนและหญ้างม

ตอนที่ 4 การศึกษาลักษณะทางกายวิภาคของหญ้าขนและหญ้างม

ตอนที่ 1 การศึกษาปัจจัยสภาพแวดล้อม

สภาพแวดล้อมที่มีอิทธิพลต่อการเจริญเติบโตและพัฒนาของพืชได้แก่ ความชื้นสัมพัทธ์ รังสีดวงอาทิตย์ อุณหภูมิอากาศ อุณหภูมิดิน ปริมาณฝน ปริมาณน้ำระเหย ลม และความชื้นในดิน จึงได้ทำการศึกษาวิจัยดังกล่าวนี้ โดยบันทึกค่าเหล่านี้ทุกวันตั้งแต่เดือนพฤศจิกายน พ.ศ. 2536 ถึงเดือนกุมภาพันธ์ พ.ศ. 2537 รวมระยะเวลาทั้งสิ้น 4 เดือน ดังรายละเอียดต่อไปนี้

1. เครื่อง Data logger จะบันทึกค่ารังสีดวงอาทิตย์ อุณหภูมิอากาศ และอุณหภูมิดิน ทุก ๆ 30 นาที ตลอด 24 ชั่วโมง แล้วนำแต่ละค่ามาเฉลี่ยเป็นวัน
2. ค่าความชื้นสัมพัทธ์ใช้ค่าที่บันทึกโดยสถานีตรวจอากาศกองบิน 56
3. ค่าปริมาณฝน บันทึกเป็นมิลลิเมตร โดยอ่านปริมาณน้ำฝนทุกวันเวลาประมาณ 8.00 นาฬิกา มีหน่วยเป็นมิลลิเมตรต่อวัน
4. บันทึกปริมาณน้ำระเหย เป็นมิลลิเมตร โดยอ่านค่าปริมาณน้ำระเหยทุกวันเวลาเดียวกับการอ่านค่าปริมาณฝน มีหน่วยเป็นมิลลิเมตรต่อวัน
5. บันทึกความเร็วลม เป็นกิโลเมตร โดยอ่านค่าระยะทางทุกวันเวลาประมาณ 8.00 นาฬิกา แล้วหารด้วย 24 เพื่อเฉลี่ยเป็นความเร็วลมในรอบ 24 ชั่วโมงที่ผ่านมา
6. ปริมาณความชื้นของดิน หาโดยใช้เครื่องมือเจาะดิน สุ่มเก็บตัวอย่างดินลึก 30 เซนติเมตร จากแปลงหญ้าทั้งสองแปลงทุก ๆ วันที่ 15 ของเดือน นำตัวอย่างดินมาชั่งน้ำหนัก จากนั้นนำไปอบที่อุณหภูมิ 80 องศาเซลเซียส จนกระทั่งน้ำหนักคงที่ นำมาชั่งอีกครั้ง แล้วคำนวณหาความชื้นในดินด้วยวิธี gravimetric soil moisture content ; G (เฉลิมพล, 2535) ตามสมการ

$$G (\%) = \{(\text{น้ำหนักดินก่อนอบ} - \text{น้ำหนักหลังอบ}) / \text{น้ำหนักหลังอบ}\} \times 100$$
7. เขียนกราฟและอธิบายปัจจัยสภาพแวดล้อมต่างๆตลอดระยะเวลาศึกษา

ตอนที่ 2 การศึกษาสรีรวิทยาของหญ้าขนและหญ้าม โดยเปรียบเทียบอัตราการสังเคราะห์แสง ต่อสภาพแสงและคาร์บอนไดออกไซด์ของหญ้าทั้งสองชนิด และศึกษาการฟื้นตัวของ คลอโรฟิลล์ ฟลูออเรสเซนซ์

มีการดำเนินการดังต่อไปนี้คือ

1. วางแผนการทดลองแบบสุ่มตลอด (completely randomized design ; CRD)

โดยทำการวัดอัตราการสังเคราะห์แสงของใบพืชในเวลาเช้าและเที่ยง ตั้งแต่เดือนพฤศจิกายน 2536 ถึง เดือนกุมภาพันธ์ 2537 (A₁-A₄) ของหญ้าขนและหญ้าม เรียงสลับกันไป แต่ละเดือนจะทำการวัด 3 ซ้ำ ซ้ำละ 1 วัน ต่อชนิดหญ้างวดระยะเยียดคือ ทำการวัดค่าการสังเคราะห์แสงของใบหญ้าขนในวันที่ 11, 16, 18 เดือนพฤศจิกายน, วันที่ 8, 11, 22 เดือนธันวาคม, วันที่ 17, 19, 21 เดือนมกราคม และวันที่ 9, 12, 17 เดือนกุมภาพันธ์ ส่วนใบหญ้ามทำการวัดค่าการสังเคราะห์แสงในวันที่ 10, 12, 17 เดือนพฤศจิกายน, วันที่ 10, 20, 21 เดือนธันวาคม, วันที่ 14, 18, 20 เดือนมกราคม และวันที่ 8, 11, 16 เดือนกุมภาพันธ์

ส่วนการวัดคลอโรฟิลล์ฟลูออเรสเซนซ์ จะวัดเวลาเช้า เที่ยง และเย็น ของทั้ง 4 เดือน (F₁-F₄) เช่นเดียวกัน ในแต่ละเดือนจะทำการวัด 5 ซ้ำ โดยทำการวัดค่าคลอโรฟิลล์ฟลูออเรสเซนซ์ทั้งหญ้าขนและหญ้ามในวันที่ 2 เดือนพฤศจิกายน, วันที่ 1 เดือนธันวาคม, วันที่ 12 เดือนมกราคม และวันที่ 1 เดือนกุมภาพันธ์

ทั้งนี้จะสามารถทำการวัดค่าต่าง ๆ ได้เฉพาะในวันที่ไม่มีฝนตกหนักก่อนหรือระหว่างการวัด

2. การวัดอัตราการสังเคราะห์แสง

2.1 เลือกใบพืชที่เจริญเต็มที่แต่มีอายุน้อยที่สุด (youngest fully expanded leaf) จากแปลงหญ้าขนหรือแปลงหญ้าม ตามลำดับ มาทำการวัดอัตราการสังเคราะห์แสง โดยศึกษาการตอบสนองต่อปริมาณแสง (light response curve ; A/Q) เริ่มจากสภาพแสงธรรมชาติปกติ แล้วบังร่มแก่ leaf chamber ด้วยผ้าสีดำเพื่อให้สภาพแสงผันแปรจากปกติจนถึงมืดสนิท บันทึกอัตราการสังเคราะห์แสงที่สภาพแสงเปลี่ยนไปประมาณ 100 μ mol จากนั้นใช้มีดคมตัดต้นพืชให้มีขนาดยาวประมาณ 40-50 เซนติเมตร แซ่โคนต้นในน้ำ แล้วนำไปห้องปฏิบัติการที่ควบคุมอุณหภูมิอยู่ระหว่าง 28-29 องศาเซลเซียส และตัดต้นพืชครั้งที่สองได้นำเพื่อป้องกันฟองอากาศเข้าไปในท่ออาหาร แล้วจึงทำการศึกษา A/Q ด้วยการใช้หลอดไฟฮาโลเจน (ยี่ห้อ osram 50 W) พร้อมชุดกระจกกรองแสงติดอยู่เหนือ leaf chamber เพื่อผันแปรสภาพแสงตามต้องการ การศึกษา A/Q ทั้งในแปลงปลูกและในห้องปฏิบัติการ จะทำการวัดในเวลาเช้าเริ่มเวลา 8.00 นาฬิกา และเที่ยงเริ่มเวลา 12.00 นาฬิกา ของทุกวันที่ทำการศึกษา

2.2 ศึกษาอัตราการสังเคราะห์แสงต่อสภาพคาร์บอนไดออกไซด์ (CO_2 response curve ; A/C_i) ในห้องปฏิบัติการ โดยใช้แสงสูงสุดประมาณ $700 \mu\text{ mol m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ สำหรับหญ้าขน และประมาณ $450 \mu\text{ mol m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ สำหรับหญ้าขม ควบคุมปริมาณคาร์บอนไดออกไซด์ด้วยปั๊มอากาศที่ทำการผสมคาร์บอนไดออกไซด์บริสุทธิ์กับอากาศที่ไม่มีคาร์บอนไดออกไซด์ (free CO_2 air) ให้มีระดับความเข้มข้นของคาร์บอนไดออกไซด์เริ่มตั้งแต่ 0 จนถึง $1000 \mu\text{ mol mol}^{-1}$ ดังรายละเอียดแสดงไว้ในหนังสือ Hall และคณะ (1993) และใช้โปรแกรม GASEX III สำหรับควบคุมการทำงานของเครื่องคอมพิวเตอร์ ปั๊มอากาศ และระบบของเครื่องวัดการสังเคราะห์แสงที่ใช้ในห้องปฏิบัติการ โดยทำการศึกษาใบเดิมหลังจากการศึกษา A/Q ที่ทั้งสองช่วงเวลา

3. การวัดคลอโรฟิลล์ฟลูออเรสเซนซ์และศึกษาสภาพการฟื้นตัว

3.1 ทำการเลือกใบพืชเช่นเดียวกับการสังเคราะห์แสง แล้วปิดส่วนของใบพืชด้วย leaf clip ทั้งด้านบนใบ (adaxial) และด้านล่างใบ (abaxial) เป็นเวลา 30 นาที เพื่อให้ electron acceptor ของใบพืชอยู่ในภาวะ ground state เปิด leaf clip แล้วใช้ sensor unit สวมเข้ากับ leaf clip และให้แสงแก่ใบพืช และทำการบันทึกค่าคลอโรฟิลล์ฟลูออเรสเซนซ์ ทำการวัดคลอโรฟิลล์ฟลูออเรสเซนซ์ในแปลงพืชในเวลาประมาณ 8.00 นาฬิกา (เช้า), 12.00 นาฬิกา (เที่ยง) และ 16.00 นาฬิกา (เย็น)

3.2 ศึกษาการฟื้นตัวของคลอโรฟิลล์ฟลูออเรสเซนซ์จากใบเดิมในห้องปฏิบัติการ ตัดต้นพืชต้นเดิมที่ทำการวัดในแปลงเสร็จแล้วให้มีขนาดยาว 40-50 เซนติเมตร แล้วนำไปห้องปฏิบัติการ โดยวางต้นพืชที่ตัดมาจากแปลงไว้ในกล่องพลาสติกให้โคนต้นพืชจุ่มอยู่ในน้ำ โดยมีแสงไฟจากหลอดคอมไฟฟ้ (40 W) ส่องตลอดเวลา เพื่อปล่อยให้พืชอยู่ในสภาพฟื้นตัว เมื่อครบเวลา 0.5, 5 และ 24 ชั่วโมง จึงทำการวัดค่าคลอโรฟิลล์ฟลูออเรสเซนซ์ตามวิธีการในข้อ 3.1

4. การประเมินผลและการวิเคราะห์ทางสถิติ

4.1 เขียนกราฟ A/Q ทั้งในแปลงปลูกและในห้องปฏิบัติการของหญ้าขนและหญ้าขม ที่วัดในช่วงเวลาเช้า และเที่ยง ตั้งแต่เดือนพฤศจิกายน พ.ศ. 2536 ถึงเดือนกุมภาพันธ์ พ.ศ. 2537 จากกราฟสามารถคำนวณหาค่า

4.1.1 อัตราการสังเคราะห์แสงสูงสุด (A_{max})

4.1.2 Quantum yield จากค่าความชันของความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณแสงที่น้อยกว่า $200 \mu\text{ mol m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ กับอัตราการสังเคราะห์แสง

4.2 เขียนกราฟ A/C_i ภายในห้องปฏิบัติการของหญ้าขนและหญ้าขม ที่วัดในช่วงเวลาเช้า และเที่ยง ของแต่ละเดือน จากกราฟสามารถคำนวณหาค่า

4.2.1 อัตราการสังเคราะห์แสงสูงสุดที่ตอบสนองต่อปริมาณคาร์บอนไดออกไซด์

4.2.2 ประสิทธิภาพของกระบวนการ carboxylation จากค่าความชันของความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณคาร์บอนไดออกไซด์ภายใต้ปากใบพืชที่ต่ำกว่า $200 \mu\text{mol mol}^{-1}$ กับอัตราการสังเคราะห์แสง

4.3 ข้อมูลคลอโรฟิลล์ฟลูออเรสเซนซ์แสดงเป็นค่า F_v/F_m นำมาหาค่าเฉลี่ยเพื่อเปรียบเทียบค่า F_v/F_m ของใบหญ้าทั้งสองชนิด ทั้งด้านบนใบและด้านล่างใบโดยเปรียบเทียบระหว่างช่วงเวลา 8.00-12.00 และ 16.00 นาฬิกา ของแต่ละเดือนที่ทำการศึกษา และศึกษาการฟื้นตัวของคลอโรฟิลล์ฟลูออเรสเซนซ์ หลังจากนำไปไว้ในกล่องพลาสติก เป็นเวลา 0.5 5 และ 24 ชั่วโมงตามลำดับ

4.4 นำข้อมูลทั้งหมดมาวิเคราะห์ทางสถิติตามแผนการทดลองแบบ CRD โดยใช้โปรแกรม IRRISTAT เวอร์ชัน 3/93 และเปรียบเทียบความแตกต่างของค่าเฉลี่ยระหว่างสิ่งทดลองโดยวิธี LSD

ตอนที่ 3 การศึกษาการสร้างมวลชีวภาพและการเจริญเติบโตของหญ้าขนและหญ้ายวม

มีการดำเนินการดังต่อไปนี้

1. วางแผนการทดลองแบบสุ่มตลอด (completely randomized design ; CRD) ทุกวันที่ 15 ของแต่ละเดือน (H_1-H_4) ทำการเก็บตัวอย่างพืชโดยใช้กรรไกรตัดตัวอย่างพืชที่ระดับชิดผิวดิน จากกรอบสุ่มขนาด 0.25×1.00 ตารางเมตร จำนวน 8 กรอบสุ่ม

2. นำตัวอย่างพืชส่วนที่อยู่เหนือดิน (above-ground biomass) ซึ่งน้ำหนักสด แล้วสุ่มแบ่งตัวอย่างย่อย (sub-sampled) ออกมาประมาณ 100 กรัม พร้อมกับแยกส่วนที่มีชีวิตและส่วนที่ตายออกจากกัน โดยถือว่า ลำต้น ใบ และกาบใบ ที่มีสัดส่วนของเนื้อเยื่อเป็นสีเขียวหรือน้ำตาลเกิน 50% เป็นส่วนที่ตาย และหาพื้นที่ใบโดยใช้เครื่องวัดพื้นที่ใบจากใบที่มีชีวิตทั้งหมด หลังจากนั้นนำส่วนของพืชที่ทำการจำแนกแล้วทั้งหมดพร้อมกับซากเหลือ (litter) ที่เก็บหลังจากตัดตัวอย่างพืช ไปอบที่อุณหภูมิ 80 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 48 ชั่วโมง จนแห้งแล้วชั่งน้ำหนักแห้งของแต่ละส่วน

3. การประเมินผลและการวิเคราะห์ทางสถิติ

3.1 เขียนกราฟแสดงค่าน้ำหนักแห้งทั้งหมดของแต่ละส่วน และแสดงสัดส่วนโดยน้ำหนักแห้งของแต่ละส่วนของหญ้าขนและหญ้ายวม จากการศึกษาทุกเดือน

3.2 คำนวณพื้นที่ใบโดยการหา Leaf area index (LAI) จากสูตร

$$LAI = LA/PA$$

เมื่อ LA = พื้นที่ใบจากการตัด

PA = พื้นที่เก็บเกี่ยวเท่ากับ 0.25 ตารางเมตร

3.3 ข้อมูลที่บันทึกนำมาวิเคราะห์ทางสถิติตามแผนการทดลองแบบ CRD โดยใช้โปรแกรม IRRISTAT เวอร์ชัน 3/93 และเปรียบเทียบความแตกต่างของค่าเฉลี่ยระหว่างสิ่งทดลองโดยวิธี LSD

ตอนที่ 4 การศึกษาลักษณะทางกายวิภาคของหญ้านนและหญ้าม

ทำการศึกษาลักษณะทางกายวิภาคของหญ้านนและหญ้ามโดยเก็บตัวอย่างหญ้าในเดือน มิถุนายน 2537 มีการดำเนินการดังต่อไปนี้

1. การศึกษาโครงสร้างภายในของหญ้าทั้งสองชนิด โดยทำการเตรียมสไลด์ถาวรตามลำดับวิธีการของนงลักษณ์ (2530) ดังขั้นตอนต่อไปนี้

1.1 Killing และ Fixing เลือกส่วนของใบและลำต้นที่สมบูรณ์ดี ของหญ้านนและหญ้าม ตัดเป็นท่อนยาวประมาณ 1-2 มิลลิเมตร แช่ใน fixative สูตร FAA(II) เป็นเวลาประมาณ 18-48 ชั่วโมง เพื่อรักษาเซลล์พืช

1.2 Dehydration เป็นการดึงน้ำออกจากเนื้อเยื่อ โดยแช่เนื้อเยื่อในสารละลาย tertiary butyl alcohol ซึ่งมีทั้งหมด 12 ลำดับ (ภาคผนวก ง) นานลำดับละ 2 ชั่วโมง

1.3 Infiltration เป็นการแทรก paraplast เข้าไปในเนื้อเยื่อ โดยนำชิ้นส่วนพืชที่ดึงน้ำออกแล้ว จากข้อ 1.2 มาเปลี่ยน paraplast ในตู้อบ จนครบ 4 ครั้ง นานครั้งละ 2 ชั่วโมง

1.4 Embedding นำเนื้อเยื่อที่แช่อยู่ใน pure paraplast เกลงใน tin-fold-tray ซึ่งวางบน paraffin embedding table ให้ paraplast ท่วมเนื้อเยื่อเล็กน้อย จัดเนื้อเยื่อให้อยู่ในลักษณะที่ต้องการ จากนั้นจึงเลื่อน tray มาวางทางด้านขึ้นของ table เมื่อ paraplast แข็งตัวจึงนำเข้าสู่เตาอบ นาน 12 ชั่วโมง แล้วนำออกมาทำการตกแต่งแท่งเนื้อเยื่อเพื่อนำไปติดบน paraplast block

1.5 Microtoming ทำการตัดเนื้อเยื่อโดยใช้ microtome ตัด paraplast block ที่เตรียมได้ให้มี paraplast ribbon ขนาดความหนา 8-12 μm

1.6 Affixing the section to the slide เป็นการนำ paraplast ribbon มาติดบนแผ่นสไลด์ โดยใช้ Haupt's adhesive แล้วนำแผ่นสไลด์ไปวางบน slide warmer นาน 4 วัน

1.7 Staining ย้อมสีโดยใช้ double stain คือสี safranin และสี fast green ซึ่งมีวิธีการดังนี้คือ

1.7.1 นำแผ่นสไลด์จากข้อ 1.6 จุ่มใน xylene 2 ครั้ง เป็นเวลา 5 นาที แล้วจุ่มใน absolute alcohol, 95 % alcohol, 70% alcohol และ 50% alcohol ตามลำดับ อย่างละ 2 ครั้ง ครั้งละ 3 นาที เพื่อล้าง paraplast ออก แล้วจึงนำไปแช่ในสี safranin นาน 4 วัน

1.7.2 ล้างสไลด์ด้วยน้ำ 2 ครั้ง และเอาน้ำออกจากเนื้อเยื่อโดยใช้ 50% alcohol, 70% alcohol, 95 % alcohol และ 100% alcohol ตามลำดับ อย่างละ 2 ครั้ง ครั้งละ 1-2 นาที แล้วจึงหยดสี fast green จนท่วมเนื้อเยื่อนาน 5 วินาที ล้างออกด้วย used clove oil และ new clove oil ตามลำดับ นำไปตรวจดูด้วยกล้องจุลทรรศน์

1.7.3 ล้าง clove oil ด้วย xylene 2 ครั้ง

1.8 mount ด้วย Canada balsum นำไปวางบน slide warmer นาน 4-7 วัน จะได้สไลด์ถาวรที่แห้งสนิทนำสไลด์ไปบันทึกภาพด้วยกล้องถ่ายภาพจากกล้องจุลทรรศน์ interference phase contrast (automatic) เพื่อศึกษาโครงสร้างภายในใบและลำต้นของหญ้าทั้งสองชนิดต่อไป

2. การศึกษารูปร่าง จำนวน และขนาดของปากใบ โดยลอกแผ่นผิวใบจากใบที่เจริญเต็มที่แต่มีอายุน้อยที่สุด แล้วนำมาแช่ใน fixative สูตร FAA(II) นำชิ้นส่วนของแผ่นผิวใบเหล่านี้ไปย้อมสี safranin ตามวิธีการดังนี้

2.1 นำชิ้นส่วนของแผ่นผิวใบจากข้อ 2 ไปแช่ใน 70 % alcohol 2 ครั้ง ครั้งละ 2 นาที แล้วนำมาแช่ในสี safranin 2 ครั้ง ครั้งละ 15-30 นาที

2.2 ล้างสีด้วย 70% alcohol, 95 % alcohol 100% alcohol และ xylene ตามลำดับ อย่างละ 2 ครั้ง ครั้งละ 2 นาที

2.3 นำชิ้นส่วนแผ่นผิวใบที่ย้อมสีเรียบร้อยแล้วไปวางบนแผ่นสไลด์ และติด (mount) ด้วย permount ปิดด้วยแผ่น cover นำแผ่นสไลด์ที่ได้ไปวางบน slide warmer นาน 4-7 วัน จนแห้งแล้วจึงนำสไลด์นี้ไปศึกษาปากใบด้วยกล้องจุลทรรศน์ โดยบันทึกจำนวนปากใบและขนาดของปากใบด้วย ocular micrometer เทียบกับ stage micrometer และบันทึกภาพด้วยกล้องถ่ายภาพจากกล้องจุลทรรศน์

3. การประเมินผลและการวิเคราะห์ทางสถิติ

3.1 ศึกษาลักษณะภายในของใบและลำต้นของหญ้าขนและหญ้างวม โดยการบรรยายเปรียบเทียบเนื้อเยื่อชนิดต่าง ๆ ระหว่างหญ้าทั้งสองชนิด

3.2 ศึกษาปากใบของหญ้าทั้งสองชนิด ได้แก่ ความถี่ของปากใบ (stomatal density) และวัดขนาดความยาวของรูปปากใบ ทั้งด้านบนใบและด้านล่างใบของหญ้าทั้งสองชนิด แล้วนำมาวิเคราะห์ทางสถิติตามแผนการทดลองแบบ CRD โดยใช้โปรแกรม IRRISTAT เวอร์ชัน 3/93 และเปรียบเทียบความแตกต่างของค่าเฉลี่ยระหว่างสิ่งทดลองโดยวิธี LSD

บทที่ 3

ผลการทดลอง

ในบทนี้จะเป็นการนำเสนอผลการทดลองตามลำดับดังต่อไปนี้

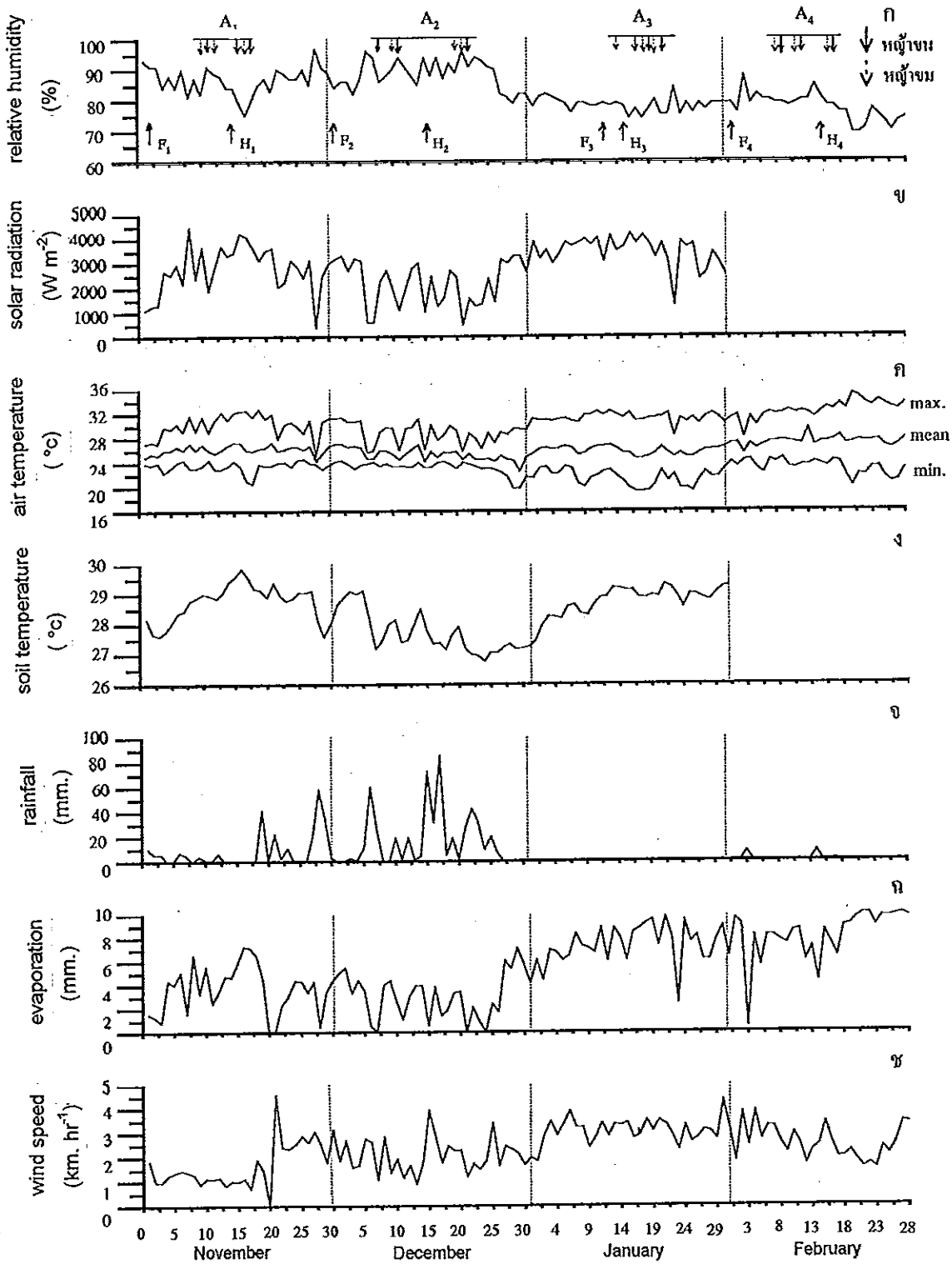
1. บัญชีทางสภาพแวดล้อม
2. การตอบสนองของอัตราการสังเคราะห์แสงต่อปริมาณแสง (A/Q) ของใบหญ้าขนและใบหญ้าขมที่ทำการวัดในแปลงปลูกและในห้องปฏิบัติการ
3. การตอบสนองของอัตราการสังเคราะห์แสงต่อปริมาณคาร์บอนไดออกไซด์ (A/C_i) ของใบหญ้าขนและใบหญ้าขมที่ทำการวัดในห้องปฏิบัติการ
4. คลอโรฟิลล์ฟลูออเรสเซนซ์ (F_v/F_m) ของพืชขณะอยู่ในแปลงปลูกและการฟื้นตัวของค่าคลอโรฟิลล์ฟลูออเรสเซนซ์ ภายใน 24 ชั่วโมง ของใบหญ้าขนและใบหญ้าขม
5. การสร้างมวลชีวภาพของหญ้าขนและหญ้าขม
6. ลักษณะทางกายวิภาคของโครงสร้างภายในใบและลำต้นของหญ้าขนและหญ้าขม

1. บัญชีทางสภาพแวดล้อม

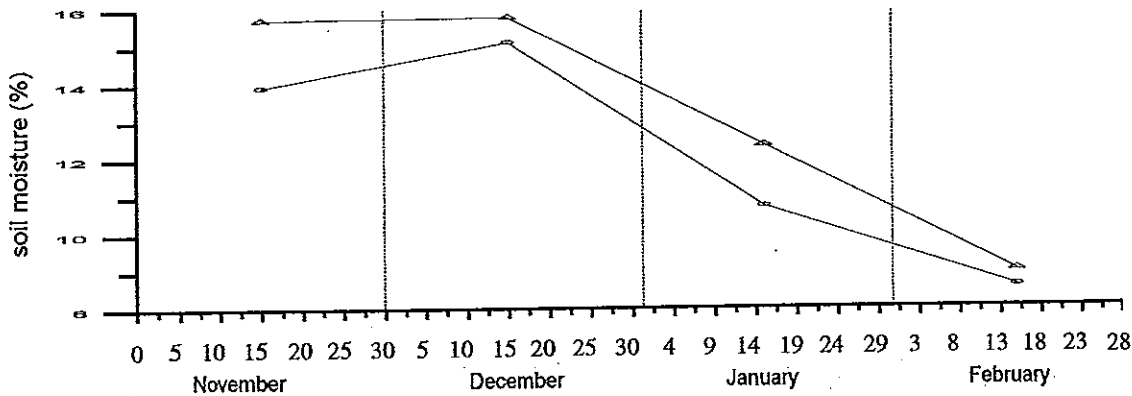
การศึกษาเกี่ยวกับปัจจัยสภาพแวดล้อมของสถานที่ทำการศึกษาดังกล่าว ได้แก่ ความชื้นสัมพัทธ์ รังสีดวงอาทิตย์ อุณหภูมิอากาศ อุณหภูมิดิน ปริมาณฝน น้ำระเหย ลม และความชื้นในดิน โดยบันทึกผลทุกวัน ตลอดช่วงระยะเวลา 4 เดือนที่ทำการศึกษาดังแต่เดือนพฤศจิกายน พ.ศ. 2536 ถึง เดือนกุมภาพันธ์ พ.ศ. 2537 ปรากฏผลดังแสดงในรูปที่ 4 และ 5 แต่เครื่อง data logger ขัดข้องในเดือนกุมภาพันธ์ พ.ศ. 2537 จึงไม่มีข้อมูลรังสีดวงอาทิตย์ อุณหภูมิอากาศ และอุณหภูมิดิน ในเดือนดังกล่าว แต่ได้ใช้ข้อมูลที่บันทึกโดยสถานีตรวจอากาศกองบิน 56 แทนข้อมูลอุณหภูมิอากาศ และสรุปสภาพแวดล้อมได้ดังนี้

1.1 สภาพแวดล้อมตลอดช่วงที่ทำการศึกษา

ความชื้นสัมพัทธ์เฉลี่ยในรอบหนึ่งวันตลอดระยะเวลา 4 เดือน มีค่าอยู่ในช่วงร้อยละ 69 ถึง 97 โดยความชื้นในอากาศสูงในเดือนพฤศจิกายนและเดือนธันวาคม มีค่าเฉลี่ยเป็น 87 และ 88 % ตามลำดับ และมีค่าต่ำในเดือนมกราคมและเดือนกุมภาพันธ์ มีค่าเฉลี่ยเป็น 78 และ 77 % ตามลำดับ



รูปที่ 4 ข้อมูลเฉลี่ยรายวันของ ก) ความชื้นสัมพัทธ์ ข) รังสีดวงอาทิตย์ ค) อุณหภูมิอากาศ ง) อุณหภูมิดิน จ) ปริมาณฝน ฉ) น้ำระเหย ช) ลม ในช่วงเดือนพฤศจิกายน พ.ศ. 2536 ถึงเดือนกุมภาพันธ์ พ.ศ. 2537 (A แสดงวันที่ทำการวัดอัตราการสังเคราะห์แสง, F แสดงวันที่ทำการวัดคลอโรฟิลล์ฟลูออเรสเซนซ์, H แสดงวันที่เก็บเกี่ยวตัวอย่างพืช)



รูปที่ 5 ความชื้นในดินที่วัดบริเวณแปลงหญ้าขน (O) และแปลงหญ้าขม (Δ) ทุกวันที่ 15 ของเดือนพฤศจิกายน เดือนธันวาคม พ.ศ. 2536 เดือนมกราคม และเดือนกุมภาพันธ์ พ.ศ. 2537

รังสีดวงอาทิตย์ในรอบหนึ่งวันตลอดระยะเวลา 3 เดือน มีค่าอยู่ในช่วง 360 ถึง 4456 $W m^{-2} d^{-1}$ โดยมีปริมาณแสงสูงในเดือนมกราคมมีค่าเฉลี่ยเป็น 3453 $W m^{-2} d^{-1}$ และมีค่าต่ำในเดือนพฤศจิกายนและเดือนธันวาคม เฉลี่ยเป็น 2775 กับ 2177 $W m^{-2} d^{-1}$ ตามลำดับ

อุณหภูมิอากาศเฉลี่ยในรอบหนึ่งวันตลอดระยะเวลา 4 เดือนมีค่าเฉลี่ยอยู่ในช่วง 22.5 ถึง 29.5 °C โดยมีอุณหภูมิอากาศเฉลี่ยของแต่ละเดือนเรียงลำดับจากสูงสุดไปหาต่ำสุดคือ เดือนกุมภาพันธ์ เดือนพฤศจิกายน เดือนมกราคม และเดือนธันวาคม มีค่าเป็น 27.2, 26.2, 25.8 และ 25.3°C ตามลำดับ ส่วนอุณหภูมิสูงสุดในรอบหนึ่งวันตลอดระยะเวลา 4 เดือน มีค่าอยู่ในช่วง 25.1 ถึง 35.1 °C โดยมีอุณหภูมิอากาศเฉลี่ยของแต่ละเดือนเรียงลำดับจากสูงสุดไปหาต่ำสุดคือ เดือนกุมภาพันธ์ เดือนมกราคม เดือนพฤศจิกายน และเดือนธันวาคม มีค่าเป็น 32.4, 31.2, 30.2 และ 28.8°C ตามลำดับ อุณหภูมิต่ำสุดในรอบหนึ่งวันตลอดระยะเวลา 4 เดือน มีค่าอยู่ในช่วง 19.2 ถึง 24.6 °C โดยมีอุณหภูมิอากาศเฉลี่ยของแต่ละเดือนเรียงลำดับจากสูงสุดไปหาต่ำสุดคือ เดือนพฤศจิกายน เดือนธันวาคม เดือนมกราคม และเดือนกุมภาพันธ์ มีค่าเป็น 23.5, 23.1, 21.4 และ 22.9 °C ตามลำดับ

อุณหภูมิดินเฉลี่ยในรอบหนึ่งวันตลอดระยะเวลา 3 เดือน มีค่าเฉลี่ยอยู่ในช่วง 26.8 ถึง 29.8°C โดยอุณหภูมิดินจะสูงในเดือนพฤศจิกายนและเดือนมกราคม มีค่าเฉลี่ยเป็น 28.7 และ 28.8 °C ตามลำดับ ส่วนเดือนธันวาคมจะมีอุณหภูมิดินเฉลี่ยต่ำเป็น 27.7°C

ปริมาณฝนในรอบหนึ่งวันตลอดระยะเวลา 4 เดือน มีค่าอยู่ในช่วง 0 ถึง 85 mm. โดยปริมาณน้ำฝนจะสูงในเดือนพฤศจิกายนและเดือนธันวาคม มีค่าเฉลี่ยเป็น 7.9 และ 15.9 mm. ตามลำดับ โดยเดือนพฤศจิกายนมีวันที่ฝนตก 19 วัน ส่วนเดือนธันวาคมมีวันที่ฝนตก 23 วัน นอกจากนี้

นี้ปริมาณฝนมีค่าต่ำในเดือนมกราคมและเดือนกุมภาพันธ์ มีค่าเฉลี่ยเป็น 0 และ 0.6 mm. ตามลำดับ โดยที่เดือนมกราคมไม่มีฝนตกเลย ส่วนเดือนกุมภาพันธ์มีวันที่ฝนตก 3 วัน

น้ำระเหยเฉลี่ยในรอบหนึ่งวันตลอดระยะเวลา 4 เดือน มีค่าอยู่ในช่วง 0 ถึง 10 mm. เดือนมกราคมและเดือนกุมภาพันธ์จะมีน้ำระเหยเฉลี่ยสูงเป็น 7.4 และ 8.1 mm. ส่วนเดือนพฤศจิกายนและเดือนธันวาคมมีน้ำระเหยเฉลี่ยต่ำเป็น 3.9 และ 3.1 mm. ตามลำดับ

ความเร็วลมในรอบหนึ่งวันตลอดระยะเวลา 4 เดือน มีค่าอยู่ในช่วง 0.7 ถึง 4.6 km.hr⁻¹ โดยความเร็วลมสูงในเดือนมกราคมและเดือนกุมภาพันธ์ มีค่าเฉลี่ยเป็น 3.1 และ 2.5 km.hr⁻¹ ตามลำดับ และมีความเร็วลมต่ำในเดือนพฤศจิกายนและเดือนธันวาคม มีค่าเฉลี่ยเป็น 1.7 และ 2.0 km.hr⁻¹ ตามลำดับ

การศึกษาความชื้นในดิน 2 บริเวณ คือ บริเวณแปลงหญ้าขน กับแปลงหญ้าขม พบว่าความชื้นในดินบริเวณแปลงหญ้าขน มีค่าอยู่ในช่วงร้อยละ 8.5 ถึง 15.1 โดยจะมีความชื้นในดินเฉลี่ยสูงในช่วงเดือนพฤศจิกายนและเดือนธันวาคม มีค่าเป็นร้อยละ 13.9 และ 15.1 และมีค่าต่ำลงในเดือนมกราคมและเดือนกุมภาพันธ์ มีค่าเฉลี่ยร้อยละ 10.7 และ 8.5 ตามลำดับ ในขณะที่ความชื้นในดินบริเวณแปลงหญ้าขม มีค่าสูงกว่าเล็กน้อยตลอดระยะเวลา 4 เดือน โดยอยู่ในช่วงร้อยละ 9.0 ถึง 15.8 แปลงหญ้าขมมีความชื้นในดินเฉลี่ยสูงในช่วงเดือนพฤศจิกายนและเดือนธันวาคม เนื่องจากมีน้ำท่วมขังบางบริเวณ มีค่าเฉลี่ยร้อยละ 15.7 และ 15.8 ตามลำดับ และมีค่าต่ำลงในเดือนมกราคมและเดือนกุมภาพันธ์ มีค่าเฉลี่ยร้อยละ 12.3 และ 9.0 ตามลำดับ

จากผลการศึกษาปัจจัยต่าง ๆ ดังกล่าวในแต่ละเดือนสามารถแยกสภาพแวดล้อมได้เป็นสองกลุ่ม คือเดือนพฤศจิกายนและเดือนธันวาคม 2536 กลุ่มหนึ่ง กับเดือนมกราคมและเดือนกุมภาพันธ์ 2537 อีกกลุ่มหนึ่ง โดยเดือนพฤศจิกายนและเดือนธันวาคม จะมีปริมาณน้ำฝนมากแต่รังสีดวงอาทิตย์และอุณหภูมิอากาศต่ำซึ่งมีผลทำให้ความชื้นสัมพัทธ์ของอากาศและความชื้นในดินมีค่าสูง แต่ปริมาณน้ำระเหยและอุณหภูมิดินจะมีค่าต่ำ ส่วนเดือนมกราคมและเดือนกุมภาพันธ์ จะมีปริมาณน้ำฝนน้อยหรือไม่มีเลย และมีรังสีดวงอาทิตย์และอุณหภูมิอากาศสูงทำให้ความชื้นสัมพัทธ์ของอากาศและความชื้นในดินต่ำ อุณหภูมิดินและปริมาณน้ำระเหยสูงขึ้น นอกจากนี้ในสองเดือนหลังจะมีความเร็วลมสูงกว่าสองเดือนแรก

1.2 สภาพแวดล้อมเฉพาะวันที่ทำการวัดอัตราการสังเคราะห์แสง และคลอโรฟิลล์ฟลูออเรสเซนซ์

ตารางที่ 1 แสดงข้อมูลภูมิอากาศเฉลี่ยของวันที่ทำการวัดการสังเคราะห์แสงและฟลูออเรสเซนซ์ของหญ้าขนและหญ้าขม พบว่าระหว่างวันที่ทำการวัดอัตราการสังเคราะห์แสง ในแต่ละ

เดือนของหน้าฝนและหน้าหนาว มีค่าภูมิอากาศที่ใกล้เคียงกัน โดยที่ค่าเฉลี่ยของวันที่ทำการวัดในช่วงเดือนพฤศจิกายน (A_1) และเดือนธันวาคม (A_2) ของหน้าทั้งสองชนิด มีค่าปริมาณน้ำฝนสูง รังสีดวงอาทิตย์และอุณหภูมิอากาศมีค่าต่ำ มีผลทำให้ความชื้นสัมพัทธ์ในอากาศมีค่าสูงสุด แต่ปริมาณน้ำระเหยและอุณหภูมิดินจะมีค่าต่ำ ส่วนค่าเฉลี่ยของวันที่ทำการวัดในช่วงเดือนมกราคม (A_3) และเดือนกุมภาพันธ์ (A_4) จะมีปริมาณน้ำฝนน้อยกว่าสองเดือนแรก รังสีดวงอาทิตย์และอุณหภูมิอากาศมีค่าสูง จึงมีผลทำให้ความชื้นสัมพัทธ์ในอากาศมีค่าต่ำ แต่ปริมาณน้ำระเหยและอุณหภูมิดินจะมีค่าสูง นอกจากนี้พบว่าอุณหภูมิอากาศในช่วงสองเดือนนี้มีค่าสูงสุดและค่าต่ำสุดที่แตกต่างกันมาก และความเร็วลมของสองเดือนหลังจะมีค่าสูงกว่าสองเดือนแรก ซึ่งมีสภาพภูมิอากาศเช่นเดียวกับค่าเฉลี่ยรายเดือน แต่วันที่ทำการวัดตลอดโรฟิลล์ฟลูออเรสเซนซ์ ซึ่งทำการวัดเพียงวันเดียวของแต่ละเดือน พบว่าช่วงเดือนพฤศจิกายน (F_1) จะมีปริมาณน้ำฝนมากที่สุด รังสีดวงอาทิตย์และอุณหภูมิอากาศมีค่าต่ำ มีผลทำให้ความชื้นสัมพัทธ์ในอากาศมีค่าสูงสุด แต่ปริมาณน้ำระเหยและอุณหภูมิดินจะมีค่าต่ำ ส่วนวันที่ทำการวัดในช่วงเดือนธันวาคม (F_2) เดือนมกราคม (F_3) และเดือนกุมภาพันธ์ (F_4) ไม่มีปริมาณน้ำฝน รังสีดวงอาทิตย์ อุณหภูมิอากาศ อุณหภูมิดิน ปริมาณน้ำระเหย และความเร็วลมมีค่าสูงใกล้เคียงกัน แต่เดือนธันวาคมจะมีความชื้นสัมพัทธ์สูงกว่าสองเดือนหลัง และเดือนกุมภาพันธ์มีปริมาณน้ำระเหยสูงสุด

นอกจากนี้ได้แสดงข้อมูลรังสีดวงอาทิตย์ อุณหภูมิอากาศ และอุณหภูมิดิน ที่ทำการวัดในรอบหนึ่งวัน (6.30-18.00 นาฬิกา) ทุกครึ่งชั่วโมงของวันที่ทำการวัดตลอดโรฟิลล์ฟลูออเรสเซนซ์ในช่วงเดือนพฤศจิกายน เดือนธันวาคม และเดือนมกราคม (รูปที่ 6) พบว่ารังสีดวงอาทิตย์ในรอบหนึ่งวันจะมีค่าค่อย ๆ สูงขึ้นในช่วงเช้า (6.30-10.00 นาฬิกา) และมีค่าสูงสุดในช่วงเที่ยง (10.00-14.00 นาฬิกา) แล้วค่อย ๆ ลดลงในช่วงเย็น (14.00-18.00 นาฬิกา) ค่าอุณหภูมิอากาศในรอบหนึ่งวันจะค่อย ๆ เพิ่มสูงขึ้นในช่วงเช้า และมีค่าสูงสุดในช่วงเที่ยงและคงที่ไปเรื่อย ๆ แล้วลดลงเล็กน้อยในช่วงเย็น ส่วนอุณหภูมิดินในรอบหนึ่งวัน มีค่าค่อนข้างคงที่ในช่วงเช้าแล้วค่อย ๆ เพิ่มสูงขึ้นจาก 10.00 นาฬิกา ไปจนถึง 18.00 นาฬิกา จากการวัดค่าเหล่านี้ทั้งสามวันในแต่ละช่วงเดือน พบว่าวันที่วัดในช่วงเดือนพฤศจิกายนมีรังสีดวงอาทิตย์ต่ำสุด เป็นผลทำให้ในรอบวันนั้นมีค่าอุณหภูมิอากาศและอุณหภูมิดินต่ำสุดด้วย ส่วนวันที่วัดในช่วงเดือนธันวาคมและเดือนมกราคมมีค่ารังสีดวงอาทิตย์ที่สูงใกล้เคียงกัน ซึ่งมีผลทำให้ในรอบหนึ่งวันมีค่าอุณหภูมิอากาศและอุณหภูมิดินสูงตามไปด้วย

ตารางที่ 1 ค่าเฉลี่ยปัจจัยสภาพแวดล้อมเฉพาะวันที่ทำการวัดอัตราการสังเคราะห์แสงและ
กลอโรฟิลล์ฟลูออเรสเซนซ์

วันที่วัด	ชนิดหญ้า	ก	ข	ค			ง	จ	ฉ	ช
				ค่าเฉลี่ย	ค่าสูงสุด	ค่าต่ำสุด				
A ₁	หญ้าขน	83.3	3249.1	26.4	31.0	22.8	29.3	0.3	5.4	1.4
	หญ้าม	82.0	3507.5	26.2	31.7	22.5	29.1	2.6	5.4	1.0
A ₂	หญ้าขน	90.3	1629.9	25.3	27.9	23.5	27.3	14.8	2.4	1.9
	หญ้าม	91.7	1604.0	25.2	28.2	23.4	27.7	15.8	2.0	1.8
A ₃	หญ้าขน	76.3	3810.5	25.4	31.2	21.3	29.1	0.0	9.4	3.1
	หญ้าม	77.7	3618.8	25.5	31.3	20.5	29.0	0.0	8.2	3.4
A ₄	หญ้าขน	79.0	NA	27.3	32.3	24.0	NA	0.5	6.6	1.9
	หญ้าม	78.7	NA	27.3	32.2	23.4	NA	0.0	8.0	2.6
F ₁		91.0	1252.6	25.5	27.4	23.6	27.7	5.5	1.3	1.0
F ₂		84.0	3182.4	27.0	31.2	24.2	28.6	0.0	5.0	1.8
F ₃		79.0	3064.4	26.6	31.8	22.5	28.9	0.0	6.1	2.8
F ₄		79.0	NA	27.0	31.2	24.0	NA	0.0	9.6	1.8

NA = ไม่มีข้อมูล

ก = ความชื้นสัมพัทธ์ มีหน่วยเป็น เปอร์เซ็นต์

ข = รังสีดวงอาทิตย์ มีหน่วยเป็น วัตต์ ต่อ ตารางเมตร

ค = อุณหภูมิอากาศ มีหน่วยเป็น องศาเซลเซียส

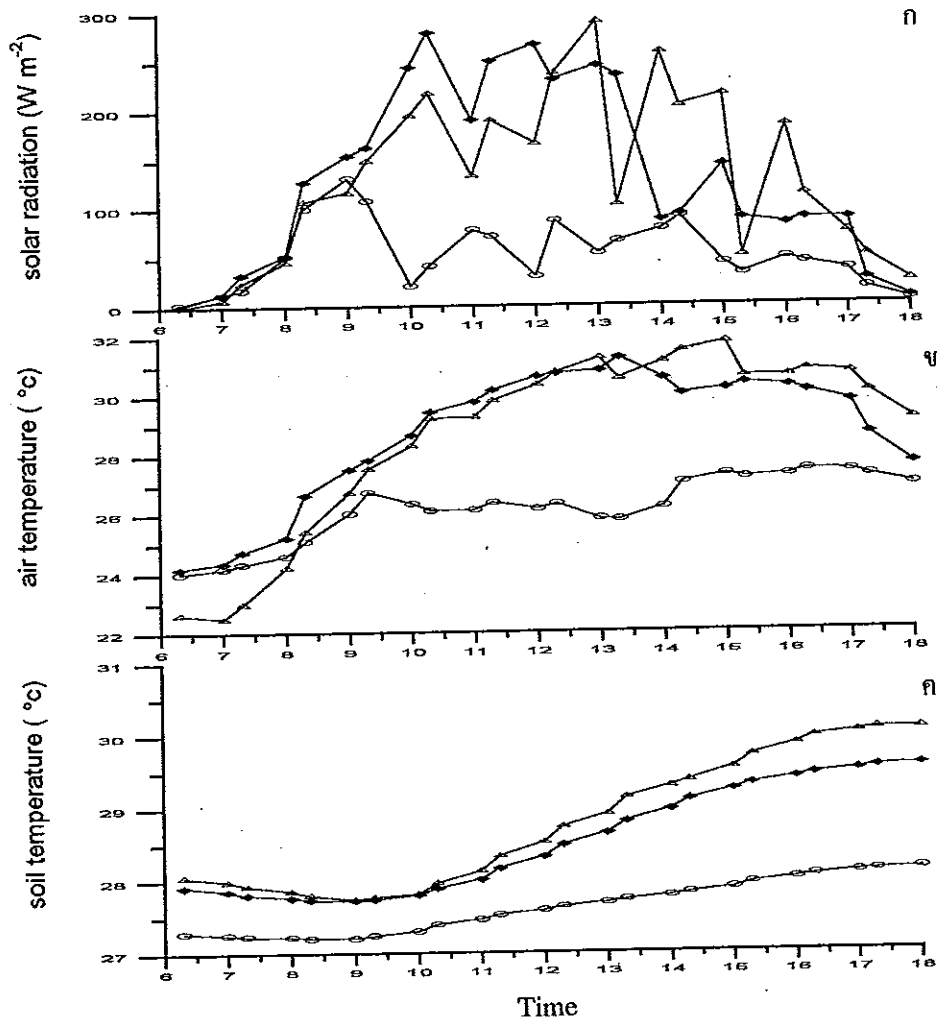
ง = อุณหภูมิดิน มีหน่วยเป็น องศาเซลเซียส

จ = ปริมาณฝน มีหน่วยเป็น มิลลิเมตร

ฉ = น้ำระเหย มีหน่วยเป็น มิลลิเมตร

ช = ลม มีหน่วยเป็น กิโลเมตร ต่อ ชั่วโมง

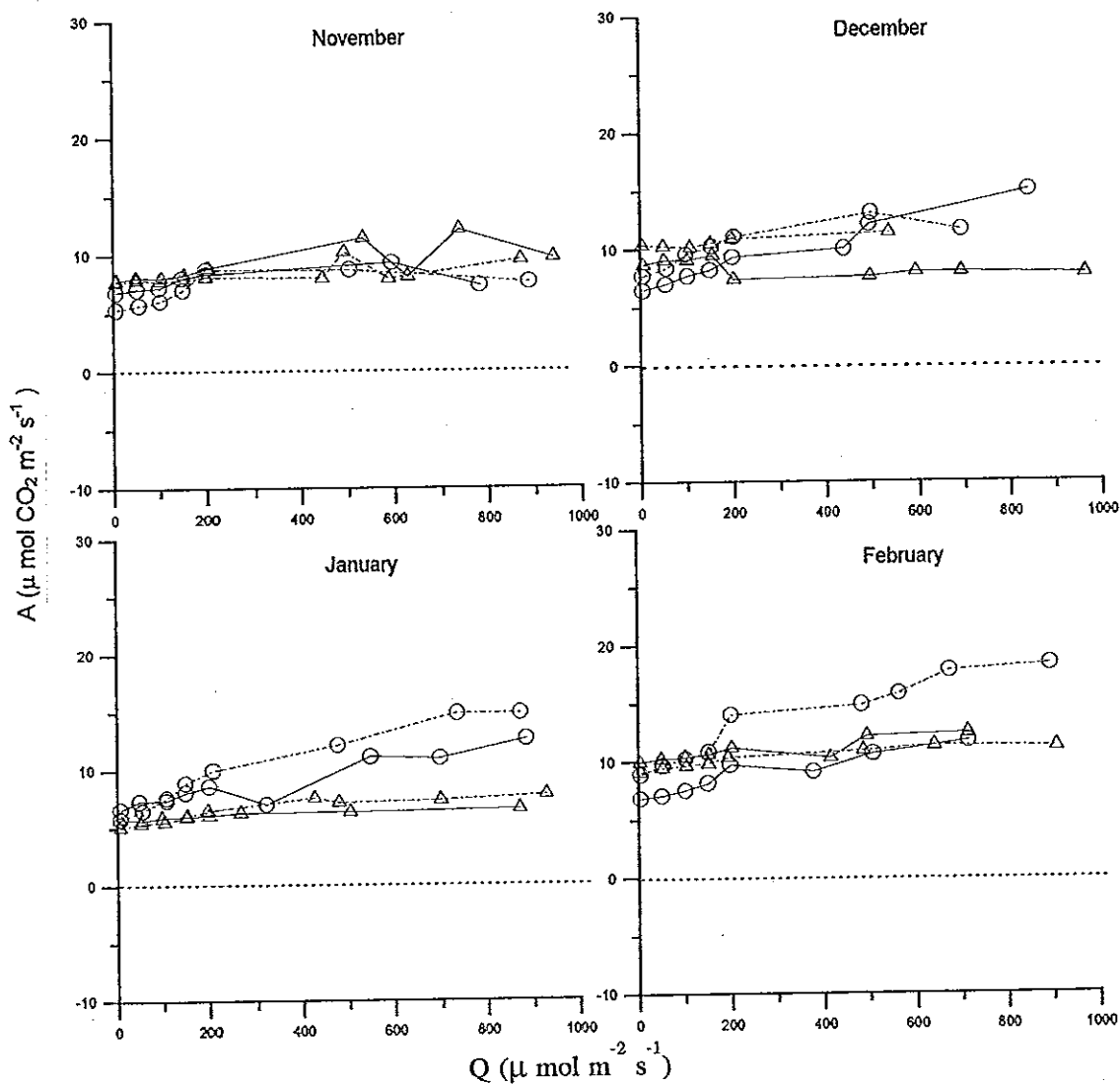
A₁, A₂, A₃, A₄, F₁, F₂, F₃ และ F₄ ดูคำอธิบายในหน้าที่ 28 และรูปที่ 4



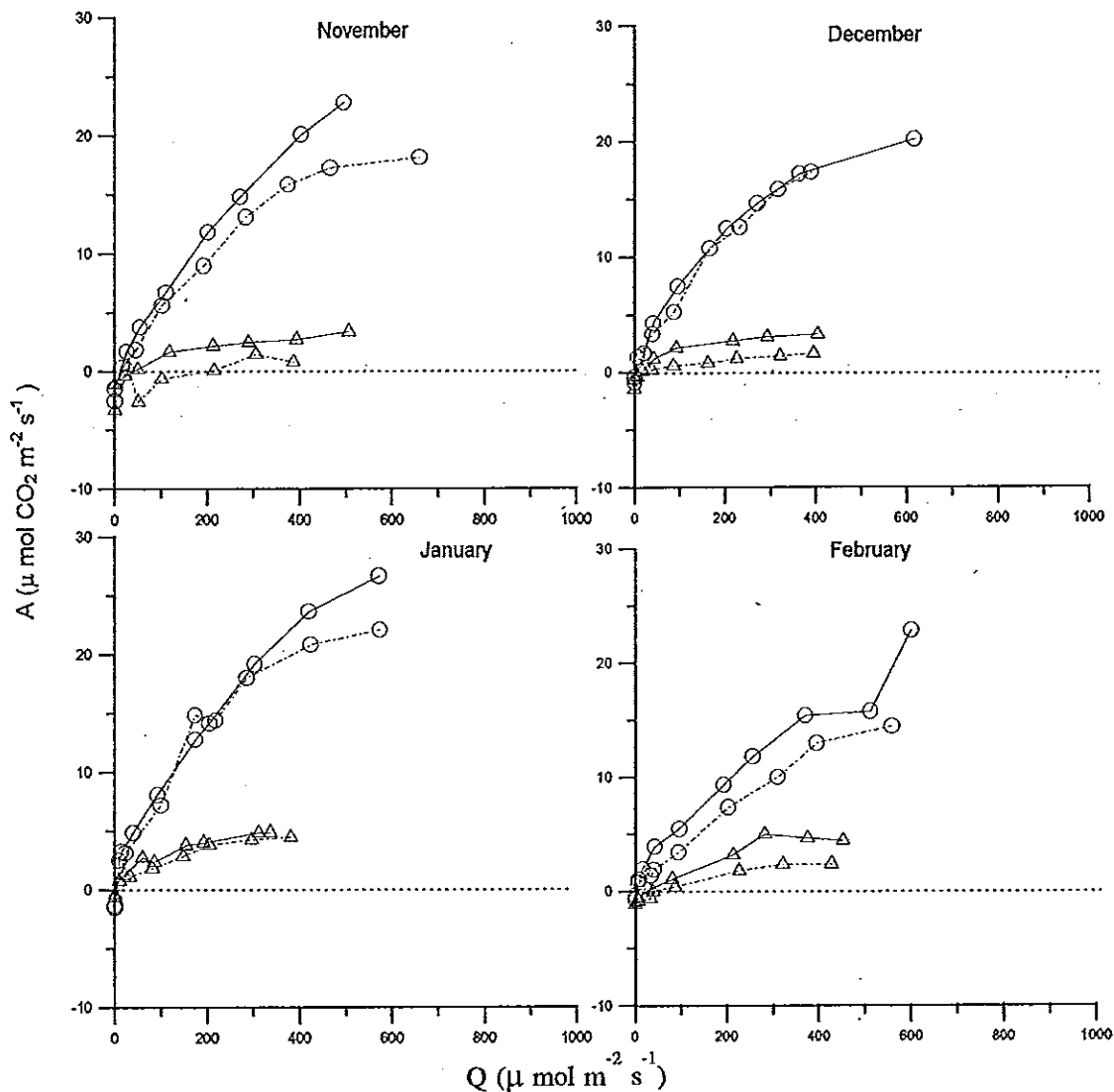
รูปที่ 6 ข้อมูลในรอบวัน (6.30-18.00 นาฬิกา) ของ ก) รังสีดวงอาทิตย์ ข) อุณหภูมิอากาศ ค) อุณหภูมิดิน ทุกครึ่งชั่วโมงของวันที่ทำการวัดคลอโรฟิลล์ฟลูออเรสเซนซ์ในช่วงเดือนพฤศจิกายน (○) เดือนธันวาคม (◆) และเดือนมกราคม (△)

2. การตอบสนองของอัตราการสังเคราะห์แสงต่อปริมาณแสง (A/Q) ของใบหญ้าขนและใบหญ้าขมในแปลงปลูกและในห้องปฏิบัติการ

อัตราการสังเคราะห์แสง (A) ทั้งใบหญ้าขนและใบหญ้าขมในแปลงปลูก (รูปที่ 7) และในห้องปฏิบัติการ (รูปที่ 8) ที่วัดในแต่ละเดือนที่เวลาเช้าและเที่ยง พบว่าเมื่อปริมาณแสงที่ใบพืชได้รับเพิ่มขึ้นใบพืชทั้งสองชนิดก็จะมีอัตราการสังเคราะห์แสงเพิ่มขึ้น และจะมีอัตราเกือบคงที่เมื่อใบพืชอิ่มตัวด้วยปริมาณแสงระดับหนึ่งซึ่งจะกล่าวในรายละเอียดต่อไป



รูปที่ 7 การตอบสนองอัตราการสังเคราะห์แสงต่อปริมาณแสง (A/Q) ในแปลงปลูกของใบหญ้าขน (○) และใบหญ้าขม (△) วัดที่เวลาเช้า (—) และเที่ยง (---) ตั้งแต่เดือนพฤศจิกายน พ.ศ. 2536 ถึงเดือนกุมภาพันธ์ พ.ศ. 2537



รูปที่ 8 การตอบสนองอัตราการสังเคราะห์แสงต่อปริมาณแสง (A/Q) ในห้องปฏิบัติการของใบหญ้านวน (\circ) และใบหญ้านวม (\triangle) วัดที่เวลาเช้า (—) และเที่ยง (- - -) ตั้งแต่เดือนพฤศจิกายน พ.ศ. 2536 ถึงเดือนกุมภาพันธ์ พ.ศ. 2537

2.1 การวัดใบแปลงปลูก

การวัดใบแปลงปลูก (รูปที่ 7) พบว่าใบหญ้านวมมีการตอบสนองต่อปริมาณแสงชัดเจนกว่าใบหญ้านวน คือใบหญ้านวมจะมีอัตราการสังเคราะห์แสงสูงสุด (A_{max}) ที่ปริมาณแสงสูงสุดประมาณ $700 \mu\text{mol m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ ส่วนใบหญ้านวมไม่เกิดการตอบสนองต่อปริมาณแสงมากนักจึงไม่อาจกล่าวถึงปริมาณแสงสูงสุดได้ และใบหญ้านวมจะมี A_{max} ที่สูงกว่าใบหญ้านวม คือประมาณ 12 และ $9 \mu\text{mol CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ ตามลำดับ เมื่อวัด A ที่เวลาเช้าและเที่ยงพบว่าใบหญ้าทั้งสองชนิดมีการตอบสนองเที่ยง

เล็กน้อยต่อเวลาวัดที่แตกต่างกัน แต่ส่วนใหญ่พบว่าการวัดในช่วงเที่ยงจะให้ค่า A สูงกว่าช่วงเช้า โดยที่ใบหญ้าขนตอบสนองได้ชัดเจนกว่าใบหญ้าขม นอกจากนี้การวัดในแต่ละช่วงเดือน พบว่าใบหญ้าขนในช่วงเดือนมกราคมและเดือนกุมภาพันธ์จะมีการตอบสนองของอัตราการสังเคราะห์แสงต่อปริมาณแสง (A/Q) สูงกว่าในช่วงเดือนพฤศจิกายนและเดือนธันวาคม ส่วนใบหญ้าขมจะมี A/Q สูงในเดือนกุมภาพันธ์ ส่วนในเดือนพฤศจิกายน เดือนธันวาคม และเดือนมกราคม จะไม่เห็นการตอบสนองที่ชัดเจนมากนัก

2.2 การวัดในห้องปฏิบัติการ

การวัดในห้องปฏิบัติการ (รูปที่ 8) แสดงให้เห็นลักษณะของ A/Q ของหญ้าทั้งสองชนิดมีลักษณะที่ชัดเจนมากกว่าการวัดในแปลงปลูก กล่าวคือในช่วงแสงน้อยๆนั้น A ของใบพืชทั้งสองชนิดตอบสนองต่อ Q ที่เพิ่มขึ้นอย่างชัดเจนจึงทำให้ค่า initial slope ของการวัดในห้องปฏิบัติการของใบหญ้าทั้งสองชนิดจะสูงกว่าการวัดในแปลงปลูก แต่ใบหญ้าทั้งสองชนิดมีแนวโน้มว่าจุดที่ A_{max} จะถึงเร็วกว่าในแปลงปลูก คือใบหญ้าขนมี A_{max} ประมาณ $20 \mu \text{ mol CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ ที่ปริมาณแสงประมาณ $600 \mu \text{ mol m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ ส่วนใบหญ้าขมมี A_{max} ประมาณ $3 \mu \text{ mol CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ ที่ปริมาณแสงสูงสุดประมาณ $400 \mu \text{ mol m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ และมีแนวโน้มว่าการวัดตอนเช้าจะให้ค่า A สูงกว่าในตอนเที่ยง โดยเฉพาะเดือนพฤศจิกายนและเดือนกุมภาพันธ์ซึ่งต่างกันชัดเจนกว่าเดือนธันวาคมและเดือนมกราคม และมีความผันแปรเพียงเล็กน้อยในการวัดแต่ละช่วงเดือนของใบหญ้าทั้งสองชนิด แต่ใบหญ้าขนที่วัดในช่วงเดือนกุมภาพันธ์ต่ำกว่าเดือนอื่นๆ

เพื่อศึกษาความแตกต่างกันใน A/Q ระหว่างหญ้าขนและหญ้าขมจึงได้ทำการวิเคราะห์ความแปรปรวนทางสถิติของค่า A_{max} และ quantum yield โดยจะวิเคราะห์เฉพาะ A/Q ของหญ้าทั้งสองชนิดที่วัดในห้องปฏิบัติการ เนื่องจากการวัดในแปลงปลูกมี A/Q ที่ไม่ชัดเจน จึงไม่สามารถเอาค่ามาวิเคราะห์ผลทางสถิติได้

2.3 อัตราการสังเคราะห์แสงสูงสุด (A_{max}) ที่ตอบสนองต่อปริมาณแสงของใบหญ้าขนและใบหญ้าขมในห้องปฏิบัติการ

ผลการวิเคราะห์ค่าความแปรปรวนของ A_{max} พบว่าอิทธิพลของชนิดหญ้า ช่วงเดือนที่ทำการศึกษ และเวลา มีอิทธิพลต่อความแปรปรวนของค่า A_{max} อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ขณะเดียวกันได้พบปฏิกริยาสัมพันธ์ระหว่างชนิดหญากับช่วงเดือนที่ทำการศึกษา ก็มีผลทำให้ A_{max} แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติด้วย (ตารางภาคผนวกที่ จ-1)

จากการเปรียบเทียบความแตกต่างของค่าเฉลี่ยโดยวิธี LSD (ตารางที่ 2) พบว่าค่า A_{max} ของใบหญ้าขนโดยรวมทั้งหมดสูงกว่าใบหญ้าขมคือ 20.19 และ 3.12 $\mu \text{ mol CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ ตามลำดับ และเมื่อคำนึงถึง A_{max} ที่วัดในแต่ละเดือนเพียงอย่างเดียว พบว่าเดือนมกราคมมีค่า A_{max} สูงสุด (14.81 $\mu \text{ mol CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$) ส่วนเดือนพฤศจิกายน เดือนธันวาคม และเดือนกุมภาพันธ์ จะมีค่าไม่แตกต่างกันทางสถิติ เมื่อทำการเปรียบเทียบหญ้าทั้งสองชนิดที่ทำการวัดในแต่ละช่วงเดือนพบว่าใบหญ้าขนมีค่า A_{max} ที่สูงกว่าใบหญ้าขมทุกเดือน โดยที่ใบหญ้าขนจะแสดง A_{max} ในช่วงเดือนมกราคม สูงที่สุดเป็น 24.99 $\mu \text{ mol CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ และจะมี A_{max} ลดลงในช่วงเดือนพฤศจิกายน เดือนธันวาคม และมีค่าต่ำสุดในช่วงเดือนกุมภาพันธ์ ส่วนใบหญ้าขมจะแสดงค่าเฉลี่ย A_{max} ในช่วงเดือนมกราคมสูงสุดเช่นกันเป็น 4.63 $\mu \text{ mol CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ แต่มีค่าต่ำสุดในช่วงเดือนพฤศจิกายน อย่างไรก็ตามพบว่าค่า A_{max} ของใบหญ้าขมที่วัดทั้งสี่เดือนมีค่าไม่แตกต่างกันทางสถิติ

ตารางที่ 2 ค่าเฉลี่ยของ A_{max} ($\mu \text{ mol CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$) ของใบหญ้าขนและใบหญ้าขม ทำการวัดในช่วงเดือนพฤศจิกายน พ.ศ. 2536 ถึงเดือนกุมภาพันธ์ พ.ศ. 2537

เดือน	ชนิดหญ้า		ค่าเฉลี่ย
	หญ้าขน	หญ้าขม	
พฤศจิกายน	20.67 ^b	1.82 ^d	11.24 ^b
ธันวาคม	18.13 ^{bc}	2.37 ^d	10.25 ^b
มกราคม	24.99 ^a	4.63 ^d	14.81 ^a
กุมภาพันธ์	16.98 ^c	3.66 ^d	10.32 ^b
ค่าเฉลี่ย	20.19 ^a	3.12 ^b	11.66

LSD (0.05) เปรียบเทียบค่าเฉลี่ยระหว่างชนิดหญ้า = 1.83

LSD (0.05) เปรียบเทียบค่าเฉลี่ยระหว่างเดือน = 2.59

LSD (0.05) เปรียบเทียบค่าเฉลี่ยของปฏิกิริยาสัมพันธ์ระหว่างชนิดหญากับเดือน = 3.67

เมื่อคำนึงถึงเฉพาะการวัด A_{max} ในตอนเช้าและตอนเที่ยง พบว่ามีความแตกต่างกันทางสถิติ กล่าวคือค่าเฉลี่ย A_{max} ที่วัดได้ในตอนเช้ามีค่าเป็น 12.82 $\mu \text{ mol CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ และวัดในตอนเที่ยงเป็น 10.50 $\mu \text{ mol CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ (ตารางที่ 3)

ตารางที่ 3 ค่าเฉลี่ยของ A_{\max} ($\mu \text{ mol CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$) ของใบหญ้าขนและใบหญ้าขม ทำการวัดในช่วงเวลาเช้าและเที่ยงในห้องปฏิบัติการ

ช่วงเวลา	ชนิดหญ้า		ค่าเฉลี่ย
	หญ้าขน	หญ้าขม	
เช้า	21.68	3.95	12.82 ^a
เที่ยง	18.71	2.28	10.50 ^b

LSD (0.05) เปรียบเทียบค่าเฉลี่ยระหว่างเวลา = 1.83

2.4 Quantum yield (ϕ) ของใบหญ้าขนและใบหญ้าขมในห้องปฏิบัติการ

การคำนวณเพื่อหา ϕ จาก initial slope ของอัตราการสังเคราะห์แสงที่ตอบสนองต่อแสงตั้งแต่ 0 ถึง $200 \mu \text{ mol m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ ของใบหญ้าทั้งสองชนิด แล้วนำมาวิเคราะห์ความแปรปรวนทางสถิติ พบว่าอิทธิพลของชนิดหญ้า และช่วงเดือนที่ทำการศึกษามีอิทธิพลต่อความแปรปรวนของค่า ϕ อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ขณะเดียวกันได้พบปฏิกริยาสัมพันธ์ระหว่างชนิดหญากับช่วงเดือนที่ทำการศึกษา ซึ่งมีผลทำให้ค่า ϕ มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติเช่นเดียวกัน (ตารางภาคผนวกที่ จ-1)

การเปรียบเทียบความแตกต่างของค่าเฉลี่ยโดยวิธี LSD (ตารางที่ 4) พบว่าค่า ϕ เฉลี่ยทั้งหมดของใบหญ้าขนสูงกว่าใบหญ้าขมคือ 0.055 และ $0.015 \mu \text{ mol CO}_2 \mu \text{ mol}^{-1} \text{ PPFD}$ ตามลำดับ และเมื่อคำนึงถึง ϕ ที่วัดในแต่ละเดือนเพียงอย่างเดียว พบว่าเดือนมกราคมค่า ϕ สูงสุด เป็น $0.046 \mu \text{ mol CO}_2 \mu \text{ mol}^{-1} \text{ PPFD}$ และลดลงในเดือนพฤศจิกายน และเดือนธันวาคม ส่วนเดือนกุมภาพันธ์จะมีค่า ϕ ต่ำสุดเป็น $0.023 \mu \text{ mol CO}_2 \mu \text{ mol}^{-1} \text{ PPFD}$ แต่เมื่อพิจารณาถึงปฏิกริยาสัมพันธ์ระหว่างชนิดหญากับช่วงเดือนที่ศึกษากลับพบว่าใบหญ้าขนมีแนวโน้มของ ϕ ที่สูงกว่าใบหญ้าขมทุกเดือน โดยที่ใบหญ้าขนจะแสดง ϕ ในช่วงเดือนมกราคม สูงที่สุดเป็น $0.072 \mu \text{ mol CO}_2 \mu \text{ mol}^{-1} \text{ PPFD}$ และจะมี ϕ ลดลงในช่วงเดือนพฤศจิกายน เดือนธันวาคม และมีค่าต่ำสุดในช่วงเดือนกุมภาพันธ์ ส่วนใบหญ้าขมจะแสดงค่า ϕ ที่เปลี่ยนแปลงไปตามช่วงเดือนในทำนองเดียวกันแต่มีค่าไม่แตกต่างกันทางสถิติ

ตารางที่ 4 ϕ เฉลี่ย ($\mu \text{ mol CO}_2 \mu \text{ mol}^{-1} \text{ PPFd}$) ของใบหญ้าขนและใบหญ้าม ในที่วัดช่วงเดือน พฤศจิกายน พ.ศ. 2536 ถึงเดือนกุมภาพันธ์ พ.ศ. 2537

เดือน	ชนิดหญ้า		ค่าเฉลี่ย
	หญ้าขน	หญ้าม	
พฤศจิกายน	0.060 ^b	0.012 ^d	0.036 ^b
ธันวาคม	0.058 ^b	0.013 ^d	0.036 ^b
มกราคม	0.072 ^a	0.020 ^d	0.046 ^a
กุมภาพันธ์	0.030 ^c	0.015 ^d	0.023 ^c
ค่าเฉลี่ย	0.055 ^a	0.015 ^b	0.035

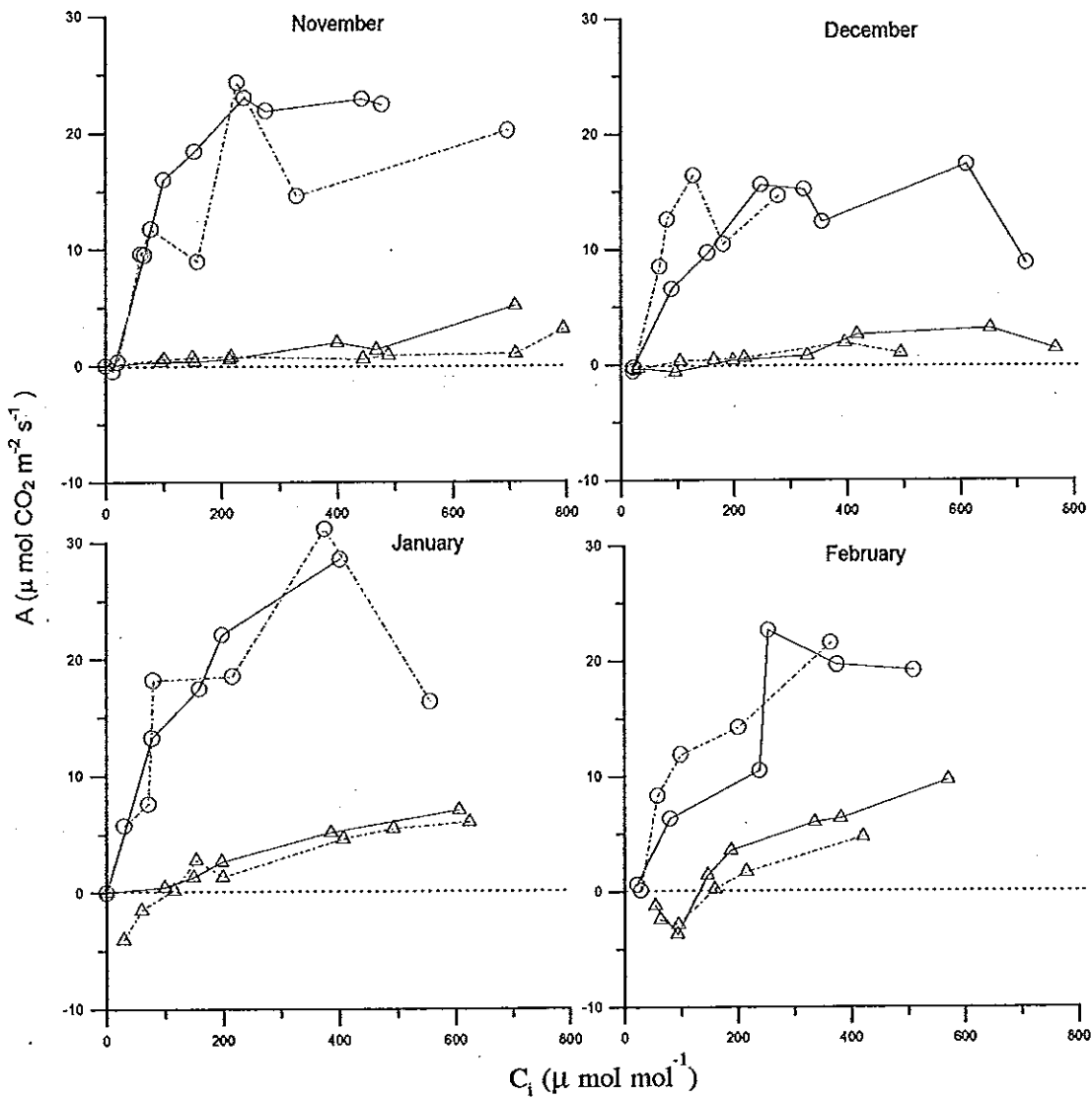
LSD (0.05) เปรียบเทียบค่าเฉลี่ยระหว่างชนิดหญ้า = 0.0054

LSD (0.05) เปรียบเทียบค่าเฉลี่ยระหว่างเดือน = 0.0076

LSD (0.05) เปรียบเทียบค่าเฉลี่ยของปฏิกริยาสัมพันธ์ระหว่างชนิดหญ้ามกับเดือน = 0.0107

8. การตอบสนองของอัตราการสังเคราะห์แสงต่อปริมาณคาร์บอนไดออกไซด์ได้ปากใบพืช (A/C_i) ของใบหญ้าขนและใบหญ้าม

การศึกษาการตอบสนองของอัตราการสังเคราะห์แสงของใบพืชต่อปริมาณคาร์บอนไดออกไซด์ ได้ปากใบพืช (A/C_i) ทำทันทีหลังจากการศึกษา A/Q ในแปลงปลูกโดยตัดต้นพืชเข้ามาศึกษาในห้องปฏิบัติการภายใต้สภาพแสงที่อิ่มตัวสำหรับใบพืชแต่ละชนิด รูปที่ 9 แสดง A/C_i ของใบหญ้าขนและใบหญ้าม พบว่าใบหญ้าทั้งสองชนิดจะมี A สูงขึ้นเมื่อ C_i เพิ่มสูงขึ้น แม้ความเข้มข้นของคาร์บอนไดออกไซด์จะสูงถึง 600 $\mu \text{ mol mol}^{-1}$ โดยที่ใบหญ้าขนจะมีการตอบสนองของ A ที่สูงกว่าใบหญ้ามเสมอ จากการศึกษา A/C_i ของหญ้าทั้งสองชนิดที่เจริญเติบโตในแต่ละช่วงเดือน พบว่า A ของใบหญ้าขนที่วัดในแต่ละช่วงเดือนไม่แตกต่างกันมากนัก อย่างไรก็ตามพบว่าในเดือน ธันวาคมใบหญ้าขนจะมีการตอบสนองที่ต่ำกว่าเดือนอื่นๆ ส่วนใบหญ้ามที่วัดในช่วงเดือน พฤศจิกายนและเดือนธันวาคมแทบจะไม่มี การตอบสนองของ A ต่อ C_i ที่สูงขึ้น แต่เมื่อวัดในเดือน มกราคมและเดือนกุมภาพันธ์กลับพบว่า initial slope สูงขึ้น นอกจากนี้การศึกษา A/C_i ในช่วงเวลาเช้าและเที่ยงพบว่าใบหญ้าขนมีการตอบสนองที่ค่อนข้างแปรปรวน ส่วนใบหญ้าม A จะตอบสนองในเวลาเช้าได้สูงกว่าเวลาเที่ยง



รูปที่ 9 การตอบสนองของอัตราการสังเคราะห์แสงเฉลี่ย (A) ต่อปริมาณคาร์บอนไดออกไซด์ภายใต้ปากใบ (C_i) ของหญ้าขน (○) และหญ้าม (△) วัคในช่วงเวลาเช้า (—) และเที่ยง (---) ตั้งแต่เดือนพฤศจิกายน พ.ศ. 2536 ถึงเดือนกุมภาพันธ์ พ.ศ. 2537

เพื่อศึกษาความแตกต่างกันใน A/C_i ระหว่างหญ้าขนและหญ้ามจึงได้ทำการวิเคราะห์ความแปรปรวนทางสถิติของค่า A_{max} และ ประสิทธิภาพของกระบวนการ carboxylation ดังรายละเอียดที่จะกล่าวถึงดังต่อไปนี้

3.1 อัตราการสังเคราะห์แสงสูงสุด (A_{max}) ภายใต้สภาพแสงอิ่มตัวแต่มีปริมาณคาร์บอนไดออกไซด์สูงขึ้นของหญ้าขนและหญ้าขมในห้องปฏิบัติการ

การวิเคราะห์ค่าความแปรปรวนของ A_{max} พบว่าปัจจัยที่ศึกษาได้แก่ ชนิดหญ้า เวลา และช่วงเดือนที่ทำการศึกษามีอิทธิพลต่อความแปรปรวนของค่า A_{max} อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ แต่ไม่พบปฏิกริยาสัมพันธ์ระหว่างปัจจัยใดที่จะมีผลต่อความแปรปรวนของค่า A_{max} อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (ตารางภาคผนวกที่ จ-1)

การเปรียบเทียบความแตกต่างของค่าเฉลี่ยโดยวิธี LSD (ตารางที่ 5) พบว่าค่า A_{max} ของใบหญ้าขนจะสูงกว่าใบหญ้าขมอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ คือ 19.24 และ 4.37 $\mu\text{ mol CO}_2\text{ m}^{-2}\text{ s}^{-1}$ ตามลำดับ และเมื่อคำนึงถึง A_{max} ที่วัดในแต่ละเดือนเพียงอย่างเดียว พบว่าช่วงเดือนมกราคมมีค่า A_{max} สูงสุด เป็น 16.14 $\mu\text{ mol CO}_2\text{ m}^{-2}\text{ s}^{-1}$ แล้วลดลงตามลำดับในช่วงเดือนกุมภาพันธ์ และเดือนพฤศจิกายน เป็น 12.32 และ 11.01 $\mu\text{ mol CO}_2\text{ m}^{-2}\text{ s}^{-1}$ และมีค่าต่ำสุดในช่วงเดือนธันวาคม เป็น 7.76 $\mu\text{ mol CO}_2\text{ m}^{-2}\text{ s}^{-1}$ นอกจากนี้เมื่อคำนึงถึงการวัด A_{max} เฉพาะในตอนเช้าและตอนเที่ยง พบว่าค่า A_{max} ที่วัดได้ในตอนเช้ามืดมีค่าสูงกว่าที่วัดในตอนเที่ยง มีค่าเป็น 13.35 และ 10.26 $\mu\text{ mol CO}_2\text{ m}^{-2}\text{ s}^{-1}$ ตามลำดับ

3.2 ประสิทธิภาพของกระบวนการ Carboxylation ของใบหญ้าขนและใบหญ้าขมที่วัดในห้องปฏิบัติการ

ศึกษาจาก initial linear response เพื่อหาค่าความชันของ $\delta A/\delta C_i$ อันแสดงถึง Rubisco activity เนื่องจากในสภาพ C_i ต่ำ ค่า A ของพืชจะถูกจำกัดโดยประสิทธิภาพของเอนไซม์ Rubisco ผลการวิเคราะห์ค่าความแปรปรวนของค่าความชันของ $\delta A/\delta C_i$ พบว่าปัจจัยชนิดหญ้าเพียงอย่างเดียวที่มีอิทธิพลต่อความแปรปรวนของค่า $\delta A/\delta C_i$ อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ และไม่พบปฏิกริยาสัมพันธ์ระหว่างปัจจัยใดต่อความแปรปรวนของค่า $\delta A/\delta C_i$ อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (ตารางภาคผนวกที่ จ-1)

การเปรียบเทียบความแตกต่างของค่าเฉลี่ยโดยวิธี LSD (ตารางที่ 5) พบว่าใบหญ้าขนจะมีค่า $\delta A/\delta C_i$ เฉลี่ยสูงกว่าใบหญ้าขมอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติโดยมีค่าเป็น 0.108 $\text{mol m}^{-2}\text{ s}^{-1}$ ส่วนใบหญ้าขมจะมีค่า $\delta A/\delta C_i$ เฉลี่ยเป็น 0.018 $\text{mol m}^{-2}\text{ s}^{-1}$ ส่วนปัจจัยอื่น ๆ เช่น เดือนที่ทำการวัดและเวลา ไม่มีผลทำให้ค่าเฉลี่ยของ $\delta A/\delta C_i$ แตกต่างกันทางสถิติ

ตารางที่ 5 ปัจจัยต่าง ๆ ที่มีอิทธิพลต่อค่าเฉลี่ย A_{max} ($\mu \text{ mol CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$) และ $\delta A/\delta C_i$ ($\text{mol m}^{-2} \text{ s}^{-1}$) ของใบหญ้าขนและใบหญ้าม

ปัจจัยที่ศึกษา	A_{max}	$\delta A/\delta C_i$
ชนิดหญ้า		
หญ้าขน	19.24 ^a	0.108 ^a
หญ้าม	4.37 ^b	0.018 ^b
LSD (0.05)	2.432	0.0307
เดือนที่ทำการวัด		
พฤศจิกายน	11.01 ^{bc}	0.070
ธันวาคม	7.76 ^c	0.047
มกราคม	16.14 ^a	0.059
กุมภาพันธ์	12.32 ^b	0.076
LSD (0.05)	3.439	NS
เวลาที่ทำการวัด		
เช้า	13.35 ^a	0.068
เที่ยง	10.26 ^b	0.058
LSD (0.05)	2.432	NS

NS = ไม่มีมีความแตกต่างกันทางสถิติ

4. คลอโรฟิลล์ฟลูออเรสเซนซ์และการฟุ้งตัวของหญ้าขนและหญ้าม

ปกติพลังงานแสงที่ส่องมายังพืชส่วนหนึ่งถูกดูดกลืนโดยโมเลกุลของคลอโรฟิลล์ พลังงานเหล่านี้จะถูกนำไปใช้ในปฏิกิริยาทางเคมีของกระบวนการสังเคราะห์แสง พลังงานส่วนที่ไม่ถูกใช้ก็มักจะสูญเสียในรูปของความร้อน หรือเปล่งออกในรูปของรังสีฟลูออเรสเซนซ์ (Hall et al., 1993) ในการศึกษาครั้งนี้ใช้เครื่อง PEA ทำการวัดคลอโรฟิลล์ฟลูออเรสเซนซ์ โดยวัดออกมาเป็นค่าอัตราส่วนระหว่าง F_v/F_m ซึ่งแสดงถึงประสิทธิภาพของใบพืชในการถ่ายทอดพลังงานแสงระหว่าง PS II ไปยัง PS I และวัดความเครียดที่เกิดจากสภาพแวดล้อมที่ไม่เหมาะสมต่าง ๆ โดยที่เมื่อพืชอยู่ในสภาพเครียดจะแสดงค่า F_v/F_m ที่ต่ำ (Bjorkman and Demming, 1987 ; Hall et al., 1993)

เพื่อศึกษาความแตกต่างกันของ F_v/F_m เนื่องมาจากอิทธิพลของชนิดหญ้า ช่วงเดือนที่ศึกษา ช่วงเวลา และด้านของใบที่ใช้วัด จึงได้ทำการวิเคราะห์ความแปรปรวนทางสถิติของค่า F_v/F_m ที่วัดในแปลงปลูก และที่ 24 ชั่วโมง ภายหลังจากตัดจากแปลงปลูก ดังรายละเอียดที่จะกล่าวถึงดังต่อไปนี้

4.1 การวัดคลอโรฟิลล์ฟลูออเรสเซนซ์ในแปลงปลูก

การวิเคราะห์ความแปรปรวนของ F_v/F_m พบว่าอิทธิพลของชนิดหญ้า ช่วงเดือนที่ทำการศึกษา และช่วงเวลา มีอิทธิพลต่อความแปรปรวนของ F_v/F_m อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ขณะเดียวกันได้พบปฏิสัมพันธ์ระหว่างชนิดหญ้างับช่วงเดือนที่ทำการศึกษา ชนิดหญ้างับช่วงเวลา ช่วงเดือนที่ทำการศึกษากับช่วงเวลา ช่วงเดือนที่ทำการศึกษากับด้านของใบที่ใช้วัด และชนิดหญ้างับช่วงเดือนที่ทำการศึกษากับช่วงเวลา ซึ่งมีผลทำให้ F_v/F_m แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติด้วย (ตารางภาคผนวกที่ จ-2)

จากการเปรียบเทียบความแตกต่างของค่าเฉลี่ยโดยวิธี LSD (ตารางที่ 6) พบว่า F_v/F_m ของหญ้าขนสูงกว่าหญ้ามคือ 0.754 และ 0.724 เมื่อคำนึงถึง F_v/F_m ที่วัดในแต่ละเดือนเพียงอย่างเดียว พบว่าเดือนพฤศจิกายนมีค่า F_v/F_m สูงสุด (0.766) แล้วลดลงในเดือนธันวาคม (0.714) และเดือนมกราคม (0.726) แล้วเพิ่มขึ้นในเดือนกุมภาพันธ์ (0.750) โดยที่ F_v/F_m ของหญ้าขนสูงกว่าหญ้าม เฉพาะเดือนพฤศจิกายนและเดือนธันวาคม ส่วนเดือนอื่น ๆ ไม่ต่างกันทางสถิติ ใบหญ้าขนมี F_v/F_m สูงสุดในช่วงเดือนพฤศจิกายน เป็น 0.791 แล้วลดลงในเดือนช่วงธันวาคมและเดือนมกราคม คือ 0.748 และ 0.729 แล้วเพิ่มขึ้นในช่วงเดือนกุมภาพันธ์ เป็น 0.747 แต่ช่วงสามเดือนหลัง F_v/F_m มีค่าไม่แตกต่างกันทางสถิติ ส่วน F_v/F_m ของหญ้าม ในช่วงเดือนพฤศจิกายน เป็น 0.741 แล้วลดลงต่ำสุดในเดือนธันวาคม เป็น 0.680 และมีค่าสูงขึ้นในช่วงเดือนมกราคม เป็น 0.722 และสูงสุดในช่วงเดือนกุมภาพันธ์ เป็น 0.753

ตารางที่ 6 $F_{\sqrt{F_m}}$ เฉลี่ยของหญ้าขนกับหญ้ายวม ทำการวัดในช่วงเดือนพฤศจิกายน พ.ศ. 2536 ถึงเดือนกุมภาพันธ์ พ.ศ. 2537

เดือน	ชนิดหญ้า		ค่าเฉลี่ย
	หญ้าขน	หญ้ายวม	
พฤศจิกายน	0.791 ^a	0.741 ^{bcd}	0.766 ^a
ธันวาคม	0.748 ^{bc}	0.680 ^c	0.714 ^c
มกราคม	0.729 ^{cd}	0.722 ^d	0.726 ^c
กุมภาพันธ์	0.747 ^{bc}	0.753 ^b	0.750 ^b
ค่าเฉลี่ย	0.754 ^a	0.724 ^b	0.739

LSD (0.05) เปรียบเทียบค่าเฉลี่ยระหว่างชนิดหญ้า = 0.010

LSD (0.05) เปรียบเทียบค่าเฉลี่ยระหว่างเดือน = 0.015

LSD (0.05) เปรียบเทียบค่าเฉลี่ยของปฏิกริยาสัมพันธ์ระหว่างชนิดหญ้ายกับเดือน = 0.021

ตารางที่ 7 $F_{\sqrt{F_m}}$ เฉลี่ยของหญ้าขนกับหญ้ายวมในแปลงปลูก ทำการวัดเวลา เช้า เทียง และ เย็น

ช่วงเวลา	ชนิดหญ้า		ค่าเฉลี่ย
	หญ้าขน	หญ้ายวม	
เช้า	0.785 ^a	0.730 ^c	0.757 ^a
เที่ยง	0.708 ^d	0.706 ^d	0.707 ^b
เย็น	0.768 ^a	0.736 ^{bc}	0.752 ^a

LSD (0.05) เปรียบเทียบค่าเฉลี่ยระหว่างเวลาที่ศึกษา = 0.013

LSD (0.05) เปรียบเทียบค่าเฉลี่ยของปฏิกริยาสัมพันธ์ระหว่างชนิดหญ้ายกับเวลา = 0.018

สำหรับปฏิกริยาสัมพันธ์ระหว่างชนิดหญ้ายกับเวลาที่ศึกษา (ตารางที่ 7) พบว่าหญ้ายขนมี $F_{\sqrt{F_m}}$ สูงกว่าหญ้ายวมทุกช่วงเวลา แต่ $F_{\sqrt{F_m}}$ ในช่วงเที่ยงของหญ้ายทั้งสองชนิดมีค่าไม่แตกต่างกันทางสถิติ หญ้ายขนและหญ้ายวมมี $F_{\sqrt{F_m}}$ สูงในช่วงเช้าเป็น 0.785 และ 0.730 และลดลงต่ำสุดในช่วงเที่ยงเป็น 0.708 และ 0.706 แล้วเพิ่มสูงขึ้นในช่วงเย็นเป็น 0.768 และ 0.736 โดยที่ $F_{\sqrt{F_m}}$ ในช่วงเช้าและช่วงเย็นของหญ้ายแต่ละชนิดไม่แตกต่างกันทางสถิติ และเมื่อคำนึงถึงเฉพาะการวัดในช่วง

เวลาทั้งสาม พบว่าช่วงเช้า (0.759) และเย็น (0.752) มีค่าสูงกว่าช่วงเที่ยง (0.707) ซึ่งแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ

ตารางที่ 8 แสดงปฏิกิริยาสัมพันธ์ระหว่างปัจจัยช่วงเดือนที่วัดกับเวลาที่วัดต่อค่า F_v/F_m อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (ตารางภาคผนวกที่ จ-2) โดยทั่วไป F_v/F_m ของแต่ละเดือนที่วัดจะสูงในตอนเช้า (0.757) แล้วลดลงในช่วงเวลาเที่ยง (0.707) แล้วกลับสูงขึ้นในช่วงเย็น (0.752) แต่การตอบสนองจะมากหรือน้อยขึ้นอยู่กับช่วงเดือนที่วัดด้วย ได้แก่ เดือนพฤศจิกายนการเปลี่ยนแปลงของค่า F_v/F_m ในช่วงเวลาไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ เมื่อเปรียบเทียบกับค่า LSD ในขณะที่เดือนอื่น ๆ การเปลี่ยนแปลงของ F_v/F_m ในแต่ละช่วงเวลามีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ค่า F_v/F_m ที่วัดในช่วงเที่ยงของเดือนธันวาคมและเดือนมกราคม มีค่าเฉลี่ยต่ำสุด (0.688 และ 0.685 ตามลำดับ) ส่วนช่วงเช้าเดือนกุมภาพันธ์ให้ค่าเฉลี่ย F_v/F_m สูงสุดเท่ากับ 0.803

ตารางที่ 8 F_v/F_m เฉลี่ยที่ทำการวัดเวลาเช้า เที่ยง และเย็น ในช่วงเดือนพฤศจิกายน พ.ศ. 2536 ถึงเดือนกุมภาพันธ์ พ.ศ. 2537

เดือน	ช่วงเวลา		
	เช้า	เที่ยง	เย็น
พฤศจิกายน	0.761 ^{bc}	0.758 ^{bc}	0.779 ^{ab}
ธันวาคม	0.713 ^c	0.688 ^{ef}	0.741 ^{cd}
มกราคม	0.752 ^{cd}	0.675 ^f	0.749 ^{cd}
กุมภาพันธ์	0.803 ^a	0.707 ^c	0.739 ^{cd}
ค่าเฉลี่ย	0.757 ^a	0.707 ^b	0.752 ^a

LSD (0.05) เปรียบเทียบค่าเฉลี่ยระหว่างเวลาที่ศึกษา = 0.013

LSD (0.05) เปรียบเทียบค่าเฉลี่ยของปฏิกิริยาสัมพันธ์ระหว่างช่วงเดือนที่ศึกษากับเวลา = 0.026

ตารางที่ 9 แสดงปฏิกิริยาสัมพันธ์ระหว่างปัจจัยช่วงเดือนที่วัดกับด้านของใบที่วัดต่อค่า F_v/F_m อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (ตารางภาคผนวกที่ จ-2) พบว่าการตอบสนองของด้านของใบต่อค่า F_v/F_m ขึ้นอยู่กับช่วงของเดือนที่ทำการวัด โดยที่ในช่วงเดือนพฤศจิกายนและเดือนธันวาคมด้านบนของใบที่วัดจะมีค่า F_v/F_m สูงกว่าด้านล่างของใบ ส่วนช่วงเดือนมกราคมและเดือนกุมภาพันธ์ ด้านล่างของใบที่วัดจะมีค่า F_v/F_m สูงกว่าด้านบนของใบ นอกจากนี้พบว่าในช่วงเดือน

พฤศจิกายนและเดือนกุมภาพันธ์ จะมีการตอบสนองของด้านของใบทั้งด้านบนและด้านล่างต่อค่า F_v/F_m ที่สูงกว่าในช่วงเดือนธันวาคมและเดือนมกราคม

ตารางที่ 9 F_v/F_m เฉลี่ยทำการวัดใบหญ้าทั้งด้านบนและด้านล่าง ในช่วงเดือนพฤศจิกายน พ.ศ. 2536 ถึงเดือนกุมภาพันธ์ พ.ศ. 2537

เดือน	ด้านใบที่ทำการวัด	
	ด้านบนใบ	ด้านล่างใบ
พฤศจิกายน	0.776 ^a	0.755 ^b
ธันวาคม	0.722 ^{cd}	0.706 ^d
มกราคม	0.713 ^d	0.739 ^{bc}
กุมภาพันธ์	0.748 ^b	0.751 ^b

LSD (0.05) เปรียบเทียบค่าเฉลี่ยของปฏิริยาสัมพันธ์ระหว่างช่วงเดือนที่ศึกษา กับด้านของใบที่วัด
= 0.021

เมื่อเปรียบเทียบปฏิริยาสัมพันธ์ระหว่างปัจจัยชนิดหญ้า ช่วงเดือนที่ทำการศึกษา และเวลา ต่อค่า F_v/F_m (ตารางที่ 10) พบว่าหญ้าขมมี F_v/F_m สูงกว่าหญ้าขม ยกเว้นช่วงเดือนมกราคมและเดือนกุมภาพันธ์ ที่วัดตอนเที่ยง นอกจากนี้พบว่าหญ้าทั้งสองชนิดมีการตอบสนองของเวลาที่วัดในแต่ละช่วงเดือนต่อค่า F_v/F_m ในลักษณะเดียวกันดังที่กล่าวแล้วในตารางที่ 8 ยกเว้นหญ้าขมในช่วงเดือนพฤศจิกายนและเดือนธันวาคม ที่มีค่า F_v/F_m ในตอนเที่ยงสูงกว่าในตอนเช้า และในช่วงเดือนกุมภาพันธ์ หญ้าขมจะมีค่า F_v/F_m ตอนเที่ยงสูงกว่าตอนเย็น แต่การเปลี่ยนแปลงของค่า F_v/F_m ในช่วงเดือนที่เวลาดังกล่าวของหญ้าขมไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติเมื่อเปรียบเทียบด้วยค่า LSD และพบว่าทั้งหญ้าขมและหญ้าขมในช่วงเช้าเดือนกุมภาพันธ์ ให้ค่าเฉลี่ย F_v/F_m สูงสุดเป็น 0.815 และ 0.791 ตามลำดับ แต่หญ้าขมให้ค่าเฉลี่ย F_v/F_m ต่ำสุดตอนเที่ยงเดือนมกราคมเป็น 0.658 ส่วนหญ้าขมให้ค่าเฉลี่ย F_v/F_m ต่ำสุดตอนเช้าเดือนธันวาคมเป็น 0.655

ตารางที่ 10 F_v/F_m เฉลี่ยของหญ้าขนกับหญ้าม ที่ทำการวัดในเวลาเช้า เทียง และ เย็น ในช่วงเดือนพฤศจิกายน พ.ศ. 2536 ถึงเดือนกุมภาพันธ์ พ.ศ. 2537

ช่วงเวลา	เดือน	ชนิดของหญ้า	
		หญ้าม	หญ้าขน
เช้า	พฤศจิกายน	0.793 ^{ab}	0.728 ^{def}
	ธันวาคม	0.772 ^{bc}	0.655 ^h
	มกราคม	0.759 ^{bcd}	0.746 ^{cde}
	กุมภาพันธ์	0.815 ^a	0.791 ^{ab}
เที่ยง	พฤศจิกายน	0.785 ^{ab}	0.730 ^{de}
	ธันวาคม	0.709 ^{efg}	0.666 ^{gh}
	มกราคม	0.658 ^{gh}	0.693 ^{fg}
	กุมภาพันธ์	0.680 ^{gh}	0.734 ^{de}
เย็น	พฤศจิกายน	0.794 ^{ab}	0.765 ^{bcd}
	ธันวาคม	0.762 ^{bcd}	0.720 ^{ef}
	มกราคม	0.771 ^{bc}	0.728 ^{def}
	กุมภาพันธ์	0.746 ^{cde}	0.732 ^{de}

LSD (0.05) เปรียบเทียบค่าเฉลี่ยของปฏิกริยาสัมพันธ์ระหว่างปัจจัยชนิดหญ้า ช่วงเดือนที่ศึกษา และเวลาที่วัด = 0.037

4.2 การฟื้นตัวของคลอโรฟิลล์ฟลูออเรสเซนซ์หญ้าขนและหญ้าม

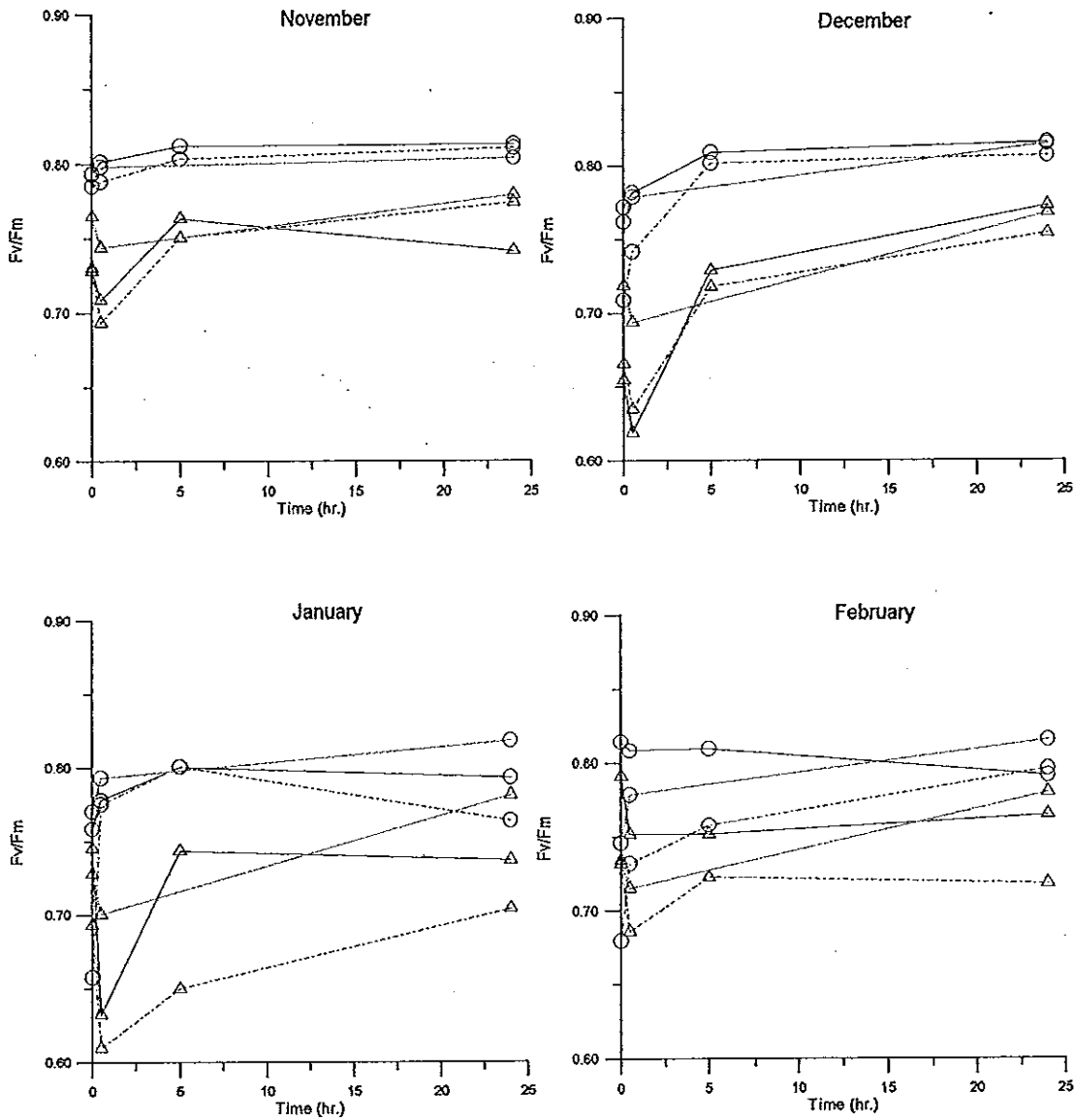
หลังจากการวัดค่าคลอโรฟิลล์ฟลูออเรสเซนซ์ในแปลงหญ้าแล้ว จึงทำการตัดต้นเดิมของหญ้าทั้งสองชนิดมาศึกษาการฟื้นตัวของคลอโรฟิลล์ฟลูออเรสเซนซ์ในห้องปฏิบัติการด้วยการวัด F_v/F_m ที่เวลา 0.5, 5 และ 24 ชั่วโมงตามลำดับ โดยเฉลี่ยค่า F_v/F_m ที่วัดด้านบนใบและด้านล่างใบเข้าด้วยกัน (รูปที่ 10) พบว่าการตอบสนองของ F_v/F_m ในหญ้ามเป็นไปได้ในลักษณะที่เพิ่มขึ้นเรื่อยๆ จนถึงชั่วโมงที่ 5 และคงที่ไปจนถึงชั่วโมงที่ 24 ยกเว้นช่วงเช้าและเที่ยงของเดือนมกราคม และช่วงเช้าของเดือนกุมภาพันธ์ ซึ่งค่า F_v/F_m ลดลงเล็กน้อยหลังจาก 5 ชั่วโมงผ่านไป ส่วนหญ้ามการตอบสนองเป็นไปได้ในลักษณะที่ F_v/F_m ลดลงที่ 0.5 ชั่วโมง แล้วจึงเพิ่มขึ้นในชั่วโมงที่ 5 และคงที่ไปจนถึงชั่วโมงที่ 24 หรืออาจลดลงเล็กน้อยในบางช่วงเวลาและบางเดือนเท่านั้น ตัวอย่างเช่น ช่วงเช้าของเดือนพฤศจิกายนและเดือนมกราคม และช่วงเที่ยงของเดือนกุมภาพันธ์

การวัด F_v/F_m ในสามช่วงเวลาพบว่า F_v/F_m ที่วัดตอนเที่ยงมีค่าต่ำกว่าตอนเช้าและเย็นเช่นเดียวกันกับการวัดในแปลงปลูก แต่อาจมีบางช่วงเดือนที่มีค่า F_v/F_m ตอนเที่ยงสูงกว่าตอนเช้า เช่น หญ้าขมที่วัดในช่วงเดือนพฤศจิกายนและหญ้าขนที่วัดในช่วงเดือนกุมภาพันธ์ โดยวัดหลังจาก 24 ชั่วโมงผ่านไป และหญ้าขมที่วัดในช่วงเดือนธันวาคมหลังจาก 0.5 ชั่วโมง นอกจากนี้พบว่าในแต่ละเดือนมีการตอบสนองต่อค่า F_v/F_m ทั้งสามช่วงเวลาแตกต่างกัน คือ หญ้าขมมีค่า F_v/F_m ทั้งสามช่วงเวลาใกล้เคียงกันในเดือนพฤศจิกายน เดือนธันวาคม และเดือนมกราคม และมีค่าแตกต่างกันค่อนข้างมากทั้งสามช่วงเวลาในเดือนกุมภาพันธ์ ส่วนหญ้าขมมีค่า F_v/F_m ทั้งสามช่วงเวลาใกล้เคียงกันในเดือนพฤศจิกายนและเดือนธันวาคม แต่เดือนธันวาคมมีการตอบสนองต่อค่า F_v/F_m ที่ต่ำกว่า และมีค่าแตกต่างกันค่อนข้างมากทั้งสามช่วงเวลาในเดือนมกราคมและเดือนกุมภาพันธ์ โดยเฉพาะค่า F_v/F_m ที่วัดตอนเที่ยงของเดือนมกราคมมีค่าต่ำสุด

จากการฟื้นตัวของคลอโรฟิลล์ฟลูออเรสเซนซ์ของหญ้าทั้งสองชนิด พบว่าสามารถกลับสู่สภาพปกติได้เมื่อเวลาผ่านไป 24 ชั่วโมงแล้ว เห็นได้จากค่า F_v/F_m ที่วัดภายหลัง 24 ชั่วโมงจะมีค่าสูงกว่า F_v/F_m ที่วัดขณะอยู่ในแปลงปลูกเล็กน้อย ยกเว้นหญ้าขนที่วัดช่วงเช้าของเดือนกุมภาพันธ์ กับหญ้าขมที่วัดช่วงเช้าของเดือนมกราคมและที่วัดช่วงเช้าและเที่ยงของเดือนกุมภาพันธ์ ซึ่งมีค่า F_v/F_m ที่วัดภายหลัง 24 ชั่วโมงต่ำกว่าที่วัดในแปลงปลูกเล็กน้อย

การวิเคราะห์ความแปรปรวนของค่า F_v/F_m วัดที่ 24 ชั่วโมงภายหลังการตัดจากแปลงปลูกพบว่า ปัจจัยชนิดหญ้า และช่วงเวลา มีอิทธิพลต่อความแปรปรวนของ F_v/F_m อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ แต่ไม่พบอิทธิพลของช่วงเดือน และด้านของใบ ต่อค่า F_v/F_m ภายหลังการฟื้นตัวที่ 24 ชั่วโมง และไม่มีปฏิกริยาสัมพันธ์ของปัจจัยใดทำให้ F_v/F_m แตกต่างกัน (ตารางภาคผนวก จ-2)

จากการเปรียบเทียบความแตกต่างของค่าเฉลี่ยโดยวิธี LSD (ตารางที่ 11) พบว่า F_v/F_m ของหญ้าขมสูงกว่าหญ้าขมอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ มีค่าเป็น 0.804 และ 0.756 ตามลำดับ เมื่อวัดทั้ง 3 ช่วงเวลาพบว่าค่าการฟื้นตัวของ F_v/F_m ที่เวลาเช้าและเที่ยงไม่แตกต่างกันทางสถิติ มีค่าเป็น 0.779 และ 0.766 ตามลำดับ แต่ต่ำกว่าค่า F_v/F_m ที่เวลาเย็น ซึ่งมีค่าสูงสุดเป็น 0.795



รูปที่ 10 การฟื้นตัวของคลอโรฟิลล์ฟลูออเรสเซนซ์ของหญ้าขน (○) และหญ้าม (△) ที่เวลาเช้า (—) เทียบ (----) และเย็น (.....) โดยวัดที่ 0 (ก่อนการตัดหญ้า), 0.5, 5 และ 24 ชั่วโมงหลังจากนำมาจากแปลงปลูก ในช่วงเดือนพฤศจิกายน พ.ศ. 2536 ถึงเดือนกุมภาพันธ์ พ.ศ. 2537

ตารางที่ 11 ปัจจัยต่าง ๆ ที่มีอิทธิพลต่อ F_v/F_m เฉลี่ยที่ทำกรวัดภยหลังกการพ่นด้วเป็นเวลา 24 ชั่วโมง

ปัจจัยที่ศึกษา	F_v/F_m
ชนิดหญ้า	
หญ้าขน	0.804 ^a
หญ้าขม	0.756 ^b
LSD (0.05)	0.013
เวลาที่ทำการวัด	
เช้า	0.779 ^b
เที่ยง	0.766 ^b
เย็น	0.795 ^a
LSD (0.05)	0.015

5. การสร้างมวลชีวภาพของหญ้าขนและหญ้าขม

เพื่อศึกษาความแตกต่างของน้ำหนักแห้งเนื่องมาจากอิทธิพลของชนิดหญ้า และช่วงเดือนที่ศึกษา จึงได้ทำการวิเคราะห์ความแปรปรวนทางสถิติของค่าน้ำหนักแห้ง และ ดัชนีพื้นที่ใบ (LAI) ดังรายละเอียดที่จะกล่าวถึงดังต่อไปนี้

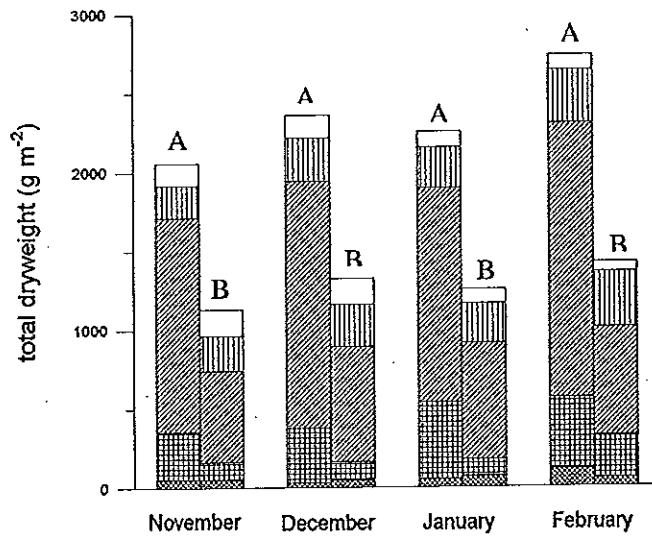
5.1 การสร้างน้ำหนักแห้ง

รูปที่ 11 แสดงน้ำหนักแห้งทั้งหมด ประกอบด้วย ใบ ลำต้น และเศษซากเหลือ (litter) ตลอดระยะเวลา 4 เดือน พบว่าทั้งหญ้าขนและหญ้าขมมีน้ำหนักแห้งเพิ่มขึ้นทุกเดือน ยกเว้นเดือนมกราคม ซึ่งหญ้าทั้งสองชนิดมีน้ำหนักแห้งลดลง อย่างไรก็ตามในทุก ๆ เดือนหญ้าขนมีน้ำหนักแห้งสูงกว่าหญ้าขม

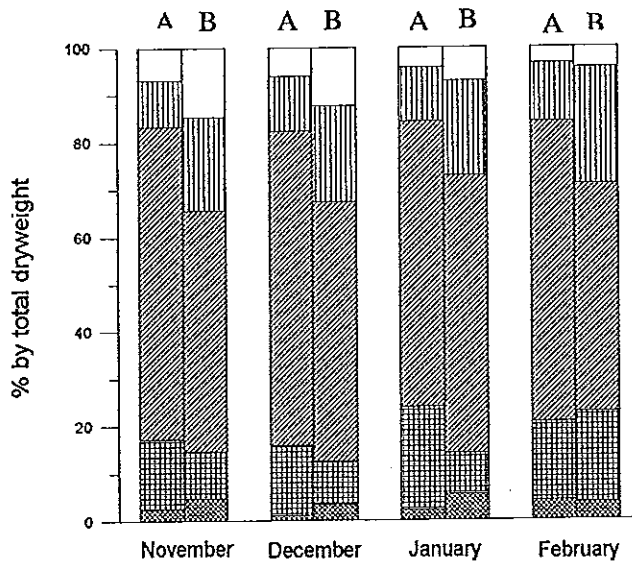
เมื่อคิดโดยสัดส่วน (รูปที่ 12) แล้วพบว่าหญ้าขนประกอบด้วยส่วนของลำต้นคิดเป็นร้อยละ 81 ของน้ำหนักแห้งทั้งหมด มีส่วนของใบเพียงร้อยละ 16 ส่วนร้อยละ 3 เป็นส่วนของซากเหลือ หญ้าขมประกอบด้วยส่วนของลำต้นคิดเป็นร้อยละ 65 ของน้ำหนักแห้งทั้งหมด มีส่วนของใบร้อยละ 31 อีกร้อยละ 4 เป็นส่วนของซากเหลือ ซึ่งเมื่อคิดเป็นสัดส่วนที่มีชีวิตกับส่วนที่ตาย พบว่าหญ้าขนมีส่วนที่มีชีวิตและส่วนที่ตายคิดเป็นร้อยละ 69 และ 31 หญ้าขมมีส่วนที่มีชีวิตและส่วนที่ตายคิดเป็นร้อยละ 63 และ 37 จากการพิจารณาสัดส่วนของน้ำหนักแห้งในระยะเวลา 4 เดือน พบว่าหญ้าขนมีส่วนที่มีชีวิตสูงและส่วนที่ตายต่ำในช่วงเดือนพฤศจิกายนและเดือนธันวาคม และมีส่วนที่มีชีวิตต่ำลง มีส่วนที่ตายเพิ่มขึ้น ในช่วงเดือนมกราคมและเดือนกุมภาพันธ์ ส่วนหญ้าขมมีส่วนที่มีชีวิตสูงและส่วนที่ตายต่ำในช่วงเดือนพฤศจิกายน เดือนธันวาคม และเดือนมกราคม และมีส่วนที่มีชีวิตต่ำลง มีส่วนที่ตายเพิ่มขึ้นในช่วงเดือนกุมภาพันธ์

ผลการวิเคราะห์ความแปรปรวนของน้ำหนักแห้งพบว่าอิทธิพลของชนิดหญ้าเพียงอย่างเดียวที่มีอิทธิพลต่อความแปรปรวนของน้ำหนักแห้งอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ แต่ไม่พบปฏิกริยาสัมพันธ์ระหว่างปัจจัยชนิดหญ้ากับเดือนที่ศึกษาที่จะมีผลต่อความแปรปรวนค่าเฉลี่ย (ตารางภาคผนวก จ-3)

จากการเปรียบเทียบความแตกต่างของค่าเฉลี่ยโดยวิธี LSD (ตารางที่ 12) พบว่าน้ำหนักแห้งของหญ้าขนสูงกว่าหญ้าขมอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ คือ 2350 g m^{-2} และ 1283 g m^{-2} ตามลำดับ



รูปที่ 11 น้ำหนักแห้งทั้งหมดประกอบด้วยใบที่มีชีวิต (□) ใบตาย (▨) ต้นที่มีชีวิต (▩) ต้นตาย (▧) ซากเหลือ (▦) ของหญ้าขน (A) และหญ้าม (B) จากการเก็บเกี่ยวในเดือนพฤศจิกายน พ.ศ. 2536 ถึง เดือนกุมภาพันธ์ พ.ศ. 2537



รูปที่ 12 สัดส่วนน้ำหนัก ประกอบด้วยใบที่มีชีวิต (□) ใบตาย (▨) ต้นที่มีชีวิต (▩) ต้นตาย (▧) ซากเหลือ (▦) ของหญ้าขน (A) และหญ้าม (B) จากการเก็บเกี่ยวในเดือนพฤศจิกายน พ.ศ. 2536 ถึงเดือนกุมภาพันธ์ พ.ศ. 2537

ตารางที่ 12 ปัจจัยชนิดหญ้ากับเดือนที่ทำการศึกษา ที่มีอิทธิพลต่อค่าเฉลี่ยของน้ำหนักแห้ง ($g\ m^{-2}$) และ LAI

ปัจจัยที่ศึกษา	น้ำหนักแห้ง	LAI
ชนิดหญ้า		
หญ้าขน	2350.1 ^a	0.42 ^a
หญ้าขม	1282.9 ^b	0.20 ^b
LSD (0.05)	318.23	0.074
เดือนที่ทำการวัด		
พฤศจิกายน	1593.3	0.47 ^a
ธันวาคม	1841.5	0.41 ^a
มกราคม	1752.7	0.18 ^b
กุมภาพันธ์	2078.4	0.17 ^b
LSD (0.05)	NS	0.105

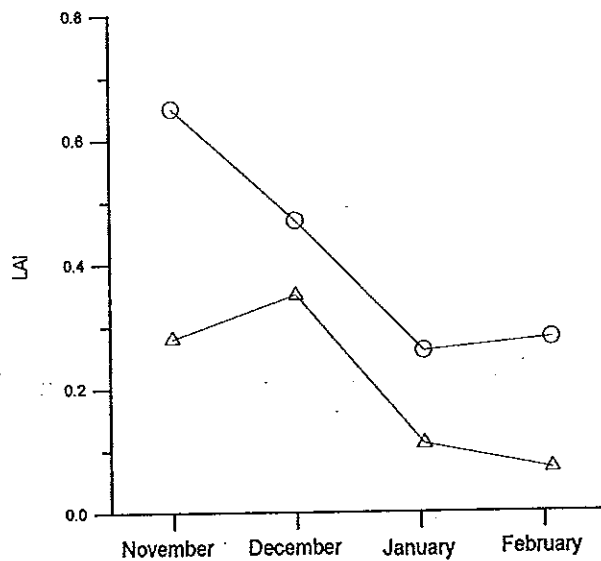
NS ไม่มีความแตกต่างทางสถิติ

5.2 คำนีพื้นที่ใบ

รูปที่ 13 แสดงคำนีพื้นที่ใบ (LAI) ของหญ้าขนและหญ้าขม พบว่าตลอดระยะเวลา 4 เดือน หญ้าขนมี LAI ลดลง ยกเว้นในเดือนกุมภาพันธ์ ค่า LAI สูงขึ้นเล็กน้อย ส่วนหญ้าขมก็เช่นเดียวกันแต่มี LAI สูงขึ้นในเดือนธันวาคม และหญ้าขนมีค่า LAI สูงกว่าหญ้าขมตลอดระยะเวลา 4 เดือน

ผลการวิเคราะห์ความแปรปรวนของค่า LAI พบว่าอิทธิพลของชนิดหญ้าและช่วงเดือนที่ทำการศึกษามีอิทธิพลต่อความแปรปรวนของ LAI อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ แต่ไม่พบปฏิกริยาสัมพันธ์ระหว่างปัจจัยใดที่จะทำให้ค่า LAI มีความแตกต่างกัน (ตารางผนวกที่ จ-3)

ตารางที่ 12 จากการเปรียบเทียบความแตกต่างของค่าเฉลี่ยโดยวิธี LSD พบว่าหญ้าขนมีค่า LAI สูงกว่าหญ้าขมอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ เป็น 0.42 และ 0.20 ตามลำดับ นอกจากนี้เมื่อคำนึงถึงค่า LAI ที่วัดในแต่ละเดือนเพียงอย่างเดียว พบว่าเดือนพฤศจิกายนและเดือนธันวาคม มีค่า LAI สูงเป็น 0.47 และ 0.41 ตามลำดับ และมีค่าต่ำในเดือนมกราคมและเดือนกุมภาพันธ์เป็น 0.18 และ 0.17 ตามลำดับ



รูปที่ 13 ดัชนีพื้นที่ใบ (LAI) ของหญ้าขน (○) และหญ้าขม (△) จากการเก็บเกี่ยวในเดือน พฤศจิกายน พ.ศ. 2536 ถึงเดือนกุมภาพันธ์ พ.ศ. 2537

6. ลักษณะทางกายวิภาคของโครงสร้างภายในใบและลำต้นของหญ้าขนและหญ้าขม

6.1 ใบ

หญ้าขนและหญ้าขมเป็นพืชใบเลี้ยงเดี่ยว มีลักษณะการจัดเรียงของใบเป็นแบบสลับ (alternate) เป็นสองแถวอยู่ตรงกันข้ามบนลำต้น ใบหญ้าแบ่งได้เป็นสองส่วนคือ กาบใบ (leaf sheath) และตัวใบ (leaf blade) กาบใบจะหุ้มห่ออยู่รอบลำต้นนับตั้งแต่ข้อขึ้นไปและตอนปลายของกาบใบจะแยกออกจากกัน ส่วนตัวใบมีลักษณะแผ่แบนโดยที่หญ้าขนมีขนาดใหญ่กว่าหญ้าขม หญ้าขนมีลักษณะการตั้งของตัวใบโดยทำมุมกับพื้นดินประมาณ 45-60 องศา ส่วนหญ้าขมมีลักษณะการตั้งของตัวใบค่อนข้างตรงเกือบตั้งฉากกับพื้นดิน ใบหญ้าขนมีขนปกคลุมอย่างหนาแน่นทั้งสองด้าน ส่วนใบหญ้าขมมีขนปกคลุมเพียงเล็กน้อยเฉพาะด้านบน

จากการศึกษาลักษณะภายในใบทั้งการตัดตามขวางใบ (รูปที่ 14 A, B) และการลอกแผ่นใบ (รูปที่ 15 A, B) พบว่าใบหญ้าขนและใบหญ้าขมมีเซลล์ในชั้นอีพิเดอร์มิสเป็นรูปสี่เหลี่ยมผืนผ้า เรียงอยู่ชั้นเดียว ซึ่งประกอบด้วยเซลล์ที่มีรูปร่างหลายแบบ ได้แก่ เซลล์ที่มีรูปร่างยาว (long cell) มีขอบเซลล์หัก บางเซลล์เปลี่ยนรูปร่างไปเป็นเซลล์สี่เหลี่ยมเล็ก ๆ เรียกว่า silica cell ซึ่งมีสารซิลิกาอยู่มาก และ cork cell มีสารซูเบอร์อินปะปนอยู่ (Esau, 1965 ; ภูวคณ, 2535) นอกจากนี้ยังพบทิวติเคลเคลือบผิวใบด้านล่าง (lower epidermis, abaxial surface) เป็นส่วนใหญ่ ส่วนผิวใบด้านบน

(upper epidermis, adaxial surface) ของหูก้าทั้งสองชนิดประกอบด้วย เซลล์บัลลิสฟอร์มซึ่งเป็น เซลล์ที่มีขนาดใหญ่ ผนังบาง และไม่มีคลอโรพลาสต์

ปากใบ (รูปที่ 15 A, B) ของหูก้าทั้งสองชนิดมีรูปร่างแบบ graminaceous หรือ dumbbell-shaped มีการจัดเรียงปากใบเป็นแถว มีรูปปากใบแบบขนาน (parallel) และ subsidiary cell มีรูปร่างแบบ paracytic lateral คือมี subsidiary cell 2 เซลล์ แนบขนานกับเซลล์คุม ปากใบของหูก้าทั้งสองชนิดมักอยู่ทางผิวใบด้านบนเป็นส่วนใหญ่ โดยอยู่ในระดับเดียวกับเซลล์ผิวใบ (epidermal cell) ลักษณะเช่นนี้เรียกว่า typical stoma (Esau, 1965)

ชั้นมีโซฟิลล์ ของหูก้าขนและหูก้าขมไม่สามารถแบ่งเป็นชั้นพาลิเสด (palisade layer) และชั้นสปองจี (spongy layer) ได้ เนื่องจากมีเซลล์คลอโรพลาสต์อยู่เพียงชั้นเดียว ซึ่งภายในเซลล์มีคลอโรพลาสต์อยู่อย่างหนาแน่น

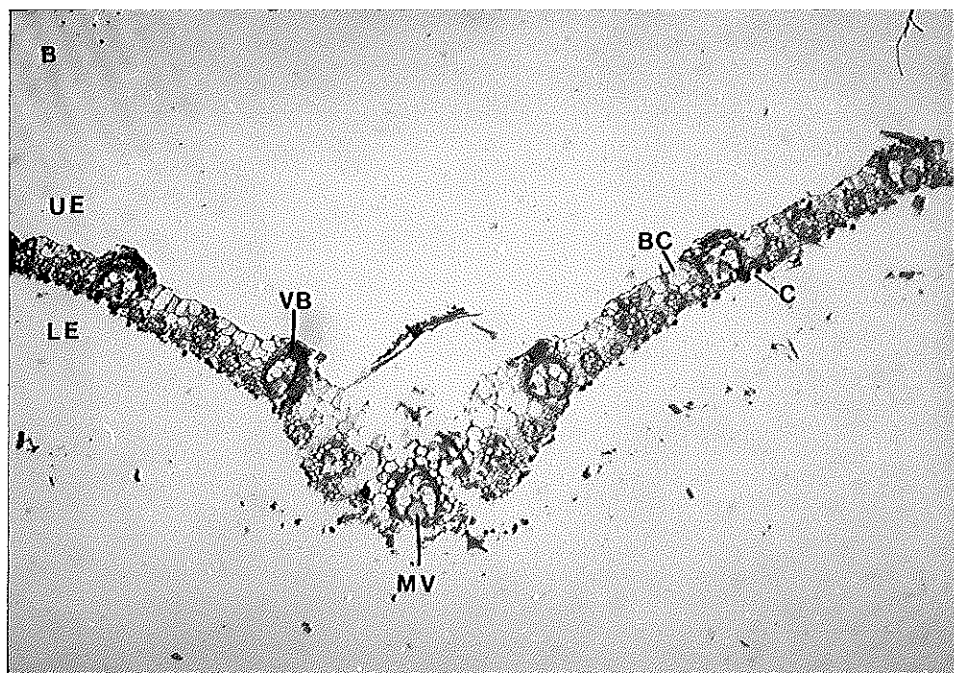
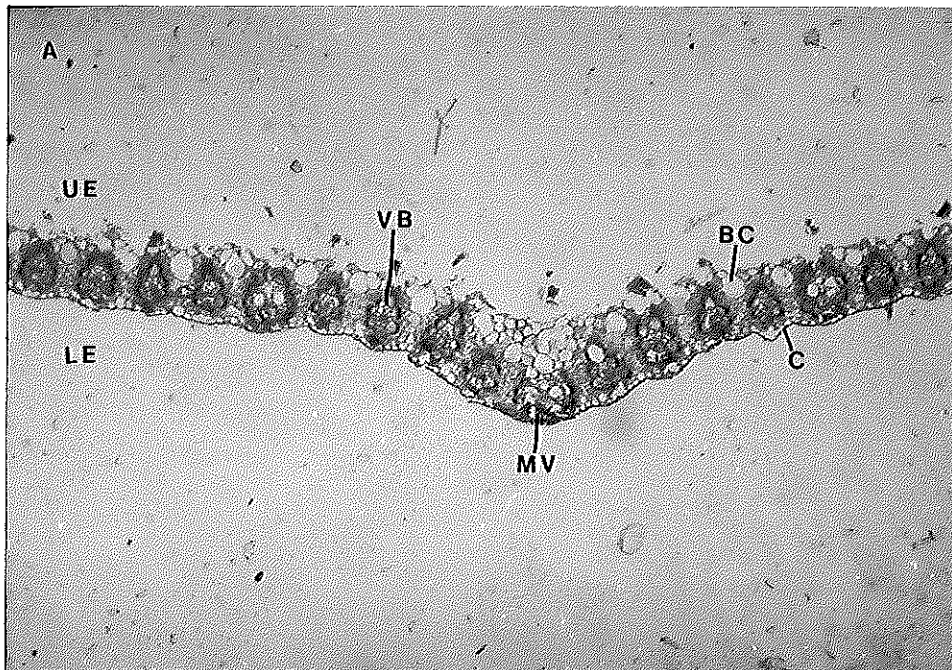
เส้นใบ (vein) หรือมัดท่อลำเลียง (vascular bundle) ของหูก้าทั้งสองชนิดประกอบด้วย กลุ่มท่อน้ำอยู่ด้านบนและท่ออาหารอยู่ด้านล่าง ซึ่งล้อมรอบด้วยบันเดิลชีท ภายในมีคลอโรพลาสต์ ท่อลำเลียงมีลักษณะค่อนข้างกลมเรียงตัวเป็นแถวอย่างมีระเบียบ มีขนาดสม่ำเสมอ เรียงอยู่กึ่งกลางใบ และมีเซลล์คลอโรพลาสต์มาค้ำอยู่ระหว่างท่อลำเลียงแต่ละกลุ่ม ใบหูก้าขมมี 2-3 เซลล์ หรือมีระยะห่างประมาณ 37.5-50 μm ส่วนหูก้าขมมี 1-2 เซลล์ หรือมีระยะห่างประมาณ 20-25 μm ทำให้ภายในหนึ่งใบของหูก้าขนและหูก้าขมประกอบด้วยกลุ่มท่อลำเลียงประมาณ 71 และ 73 กลุ่มตามลำดับ และจัดหูก้าทั้งสองชนิดเป็นพืชประเภท C_4 โดยจัดหูก้าขนเป็นพวก PCK type (PEP-carboxykinase species) เนื่องจากมีท่อลำเลียงที่ล้อมรอบด้วยบันเดิลชีท 2 ชั้น และมีคลอโรพลาสต์ในบันเดิลชีทเรียงตัวชิดขอบเซลล์ด้านตรงกันข้ามกับท่อลำเลียง เรียกการเรียงตัวแบบนี้ว่า centrifugal (รูปที่ 16 A) ส่วนหูก้าขมจัดเป็นพวก NADP-ME type (NADP-malic enzyme species) เนื่องจากมีบันเดิลชีทเพียงชั้นเดียว และมีคลอโรพลาสต์ในบันเดิลชีทเรียงตัวแบบ centrifugal เช่นเดียวกัน (รูปที่ 16 B) นอกจากนี้พบว่าใบหูก้าขมมีท่อลำเลียงบางกลุ่มโดยเฉพาะบริเวณเส้นกลางใบ (mid vein) และปลายใบมีกลุ่มเซลล์สเคลอเรนไคมา (sclerenchyma cell) อยู่ทั้งด้านบนและด้านล่าง เพื่อเพิ่มความแข็งแรงแก่ใบ ซึ่งไม่พบในหูก้าขน

6.2 ลำต้น

ลำต้นของหูก้าทั้งสองชนิดจะมีส่วนของกาบใบห่อหุ้มอยู่ ภายในกาบใบมีกลุ่มท่อลำเลียงเรียงเป็นแถวอย่างมีระเบียบและมีกลุ่มเซลล์สเคลอเรนไคมาล้อมรอบ โครงสร้างภายในลำต้น (รูปที่ 17 A, B) ประกอบด้วยชั้นอพิเคอร์มิส 1 แถว ถัดเข้ามาเป็นชั้นคอร์เทกซ์ซึ่งแบ่งได้ไม่ชัดเจน ประกอบด้วยเซลล์พาราเอนไคมา ซึ่งในหูก้าขมมีประมาณ 8-10 แถว หรือมีระยะห่างประมาณ

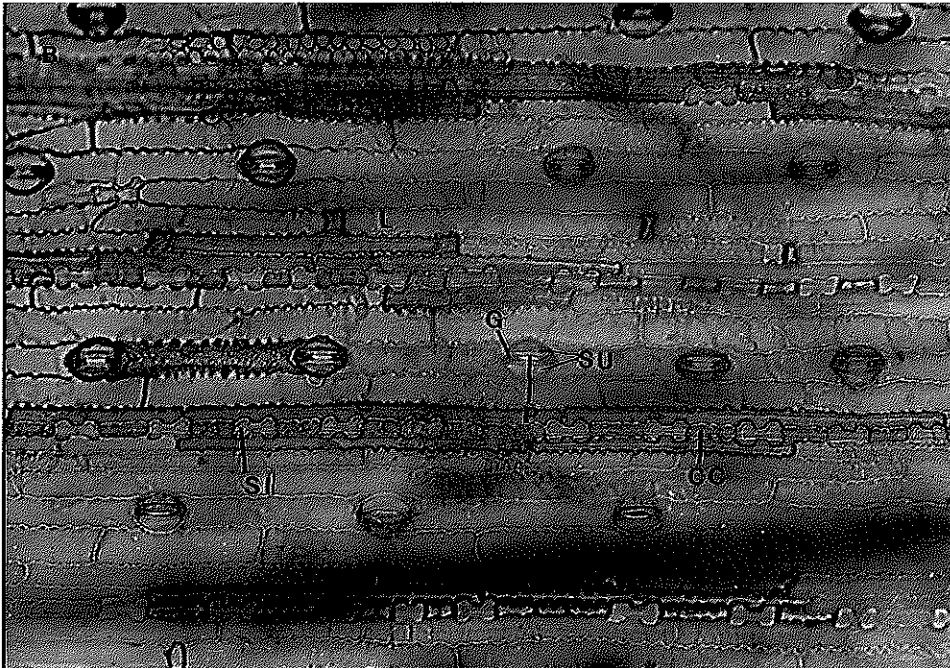
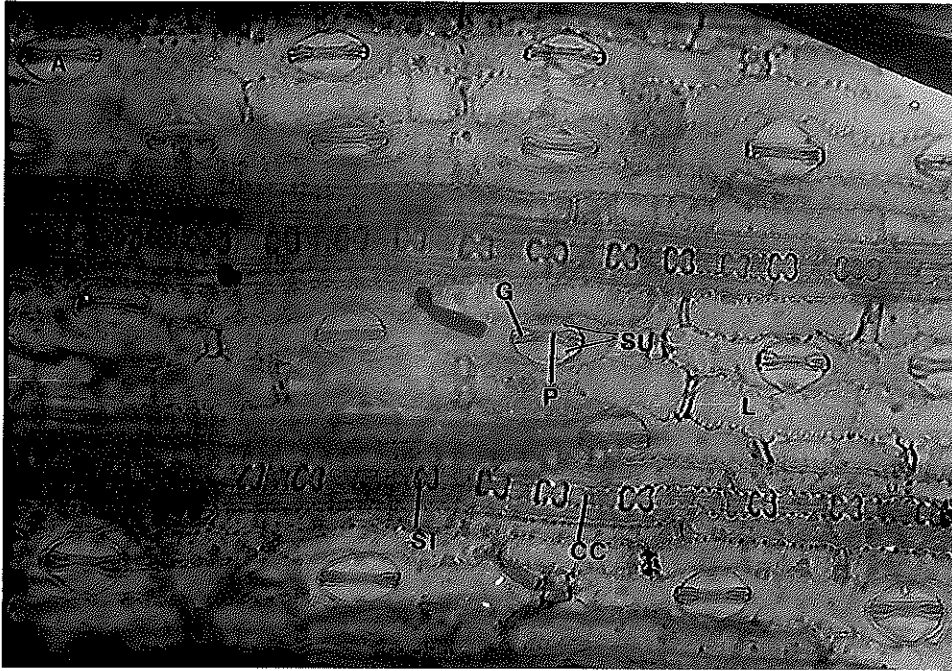
62.5-75 μm ส่วนในหญ้าขมมีประมาณ 6-8 แลว หรือมีระยะห่างประมาณ 75 μm ถัดเข้ามาเป็นกลุ่มท่อลำเลียงที่อยู่กระจัดกระจายทั่วลำต้นโดยหันท่ออาหารออกด้านนอกและท่อน้ำเข้าด้านใน และมีบันเดิลชีทล้อมรอบกลุ่มท่อลำเลียงเหล่านี้ ซึ่งหญ้าทั้งสองชนิดมีกลุ่มท่อลำเลียงกระจายเพียงสองวง วงนอกมีขนาดเล็กแต่กระจายหนาแน่นกว่าวงใน นอกจากนี้พบว่ามีเนื้อเยื่อสเคอเรนโคมาแทรกเป็นแนวกันอยู่ และบริเวณกลางลำต้นไม่พบกลุ่มท่อลำเลียงอยู่เลย ส่วนใหญ่เป็นเซลล์พาราเรนาโคมาที่มีผนังบางเรียกว่า พิธ (pith) ซึ่งบางส่วนของลำต้นพิธจะหายไปเหลือเป็นช่องกลวงเรียกว่า pith cavity

ตารางที่ 13 สรุปลักษณะทางกายวิภาคของโครงสร้างภายในใบและลำต้นของหญ้าทั้งสองชนิด ซึ่งกล่าวโดยสรุปได้ว่าทั้งสองหญ้าเป็นพืช C_4 ต่างประเภทกันคือ หญ้าขมจัดเป็นประเภท PCK type ส่วนหญ้าขมเป็นประเภท NADP-ME type โดยจำแนกประเภทจากจำนวนชั้นของเซลล์บันเดิลชีท และการเรียงตัวของคลอโรพลาสต์ภายในเซลล์บันเดิลชีท แต่ถึงอย่างไรหญ้าทั้งสองชนิดก็มีลักษณะและกลุ่มเซลล์ที่คล้ายคลึงกัน ยกเว้นลักษณะภายนอกของใบ ได้แก่ หญ้าขมมีขนาดของตัวใบที่ใหญ่ และมีขนเป็นจำนวนมากกว่าหญ้าขม ส่วนลักษณะภายในของใบที่แตกต่างกันได้แก่ กลุ่มของระบบท่อลำเลียง และปากใบ พบว่าหญ้าขมจะมีขนาดของอวัยวะดังกล่าวใหญ่กว่าหญ้าขม แต่เมื่อคำนวณความหนาแน่นแล้วพบว่าหญ้าขมมีความหนาแน่นของอวัยวะดังกล่าวต่อพื้นที่มากกว่าหญ้าขม โดยเฉพาะจำนวนปากใบ



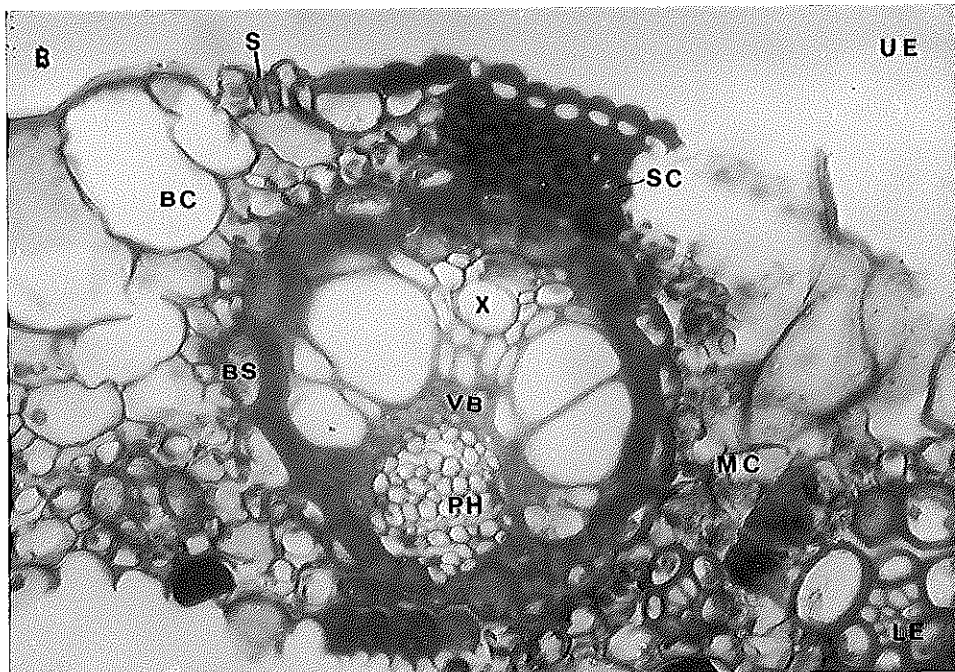
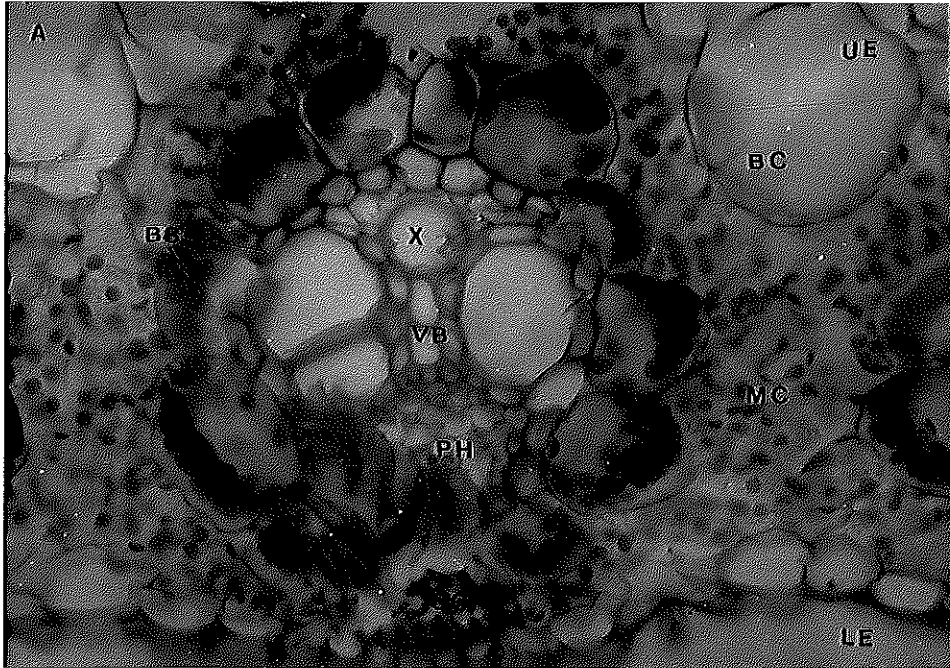
รูปที่ 14 ภาพตัดตามขวางของ A) หญ้าขน ($\times 30$) และ B) หญ้าขม ($\times 30$)

Upper epidermis (UE), Lower epidermis (LE), Vascular bundle (VB), Bulliform cells (BC), Mid vein (MV), Cuticle (C)



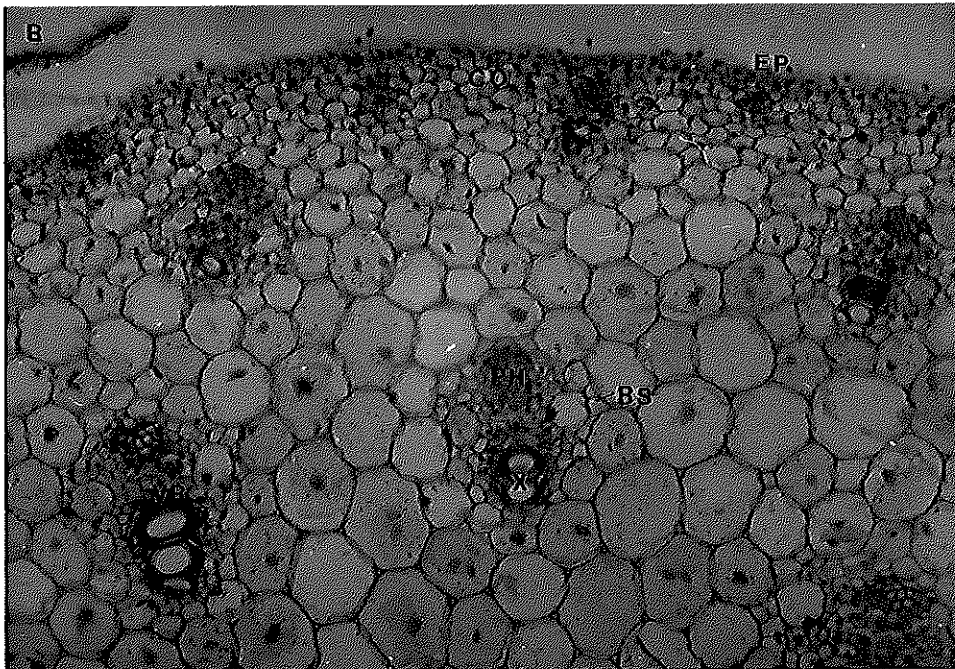
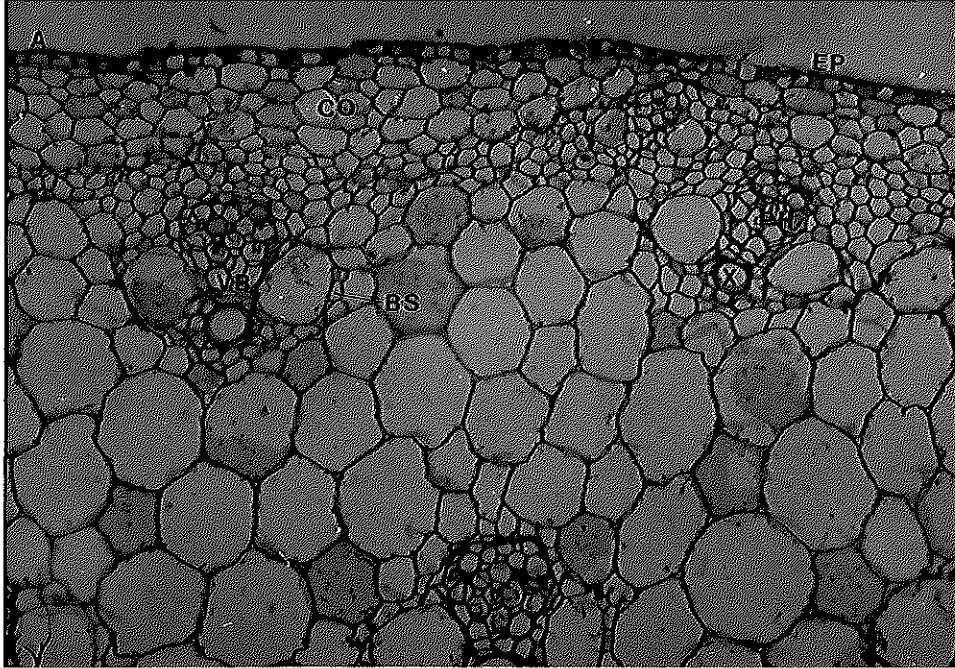
รูปที่ 15 ภาพแสดงปากใบของ A) หนุ่ยขาม ($\times 198$) และ B) หนุ่ยขาม ($\times 198$)

Guard cell (G), Subsidiary cell (SU), Pore (P), Long cell (L), Silica cell (Si), Cork cell (CC)



รูปที่ 16 ภาพแสดงบันเดิลชีทของใบ A) หญาชน ($\times 300$) และ B) หญาชม ($\times 300$)

Upper epidermis (UE), Lower epidermis (LE), Vascular bundle (VB), Bulliform cells (BC), Bundle sheath (BS), Xylem (X), Phloem (PH), Mesophyll chlorenchyma (MC), Sclerenchyma cells (SC), Stoma (S)



รูปที่ 17 ภาพตัดตามขวางลำต้นของ A) หญ้าขน ($\times 150$) และ B) หญ้าขม ($\times 150$)

Epidermis (EP), Cortex (CO), Vascular bundle (VB), Xylem (X), Phloem (PH),
Bundle sheath (BS)

ตารางที่ 13 สรุปลักษณะเหมือนและแตกต่างกันของลักษณะโครงสร้างภายในของใบ และลำต้นของ
หญ้าขนและหญ้าม

ส่วนของพืชที่ทำการศึกษา	หญ้าขน	หญ้าม
ใบ		
การจัดเรียงของใบ	เป็นแบบสลับ ตัวใบทำมุมกับพื้นดิน ประมาณ 45-60 องศา	เป็นแบบสลับ ตัวใบค่อนข้างตั้งฉากกับพื้นดิน
ขน	มีมากทั้งด้านบนและด้านล่าง	มีเล็กน้อยเฉพาะด้านบน
คิวติเคิล	ส่วนใหญ่เคลือบผิวใบด้านล่าง	ส่วนใหญ่เคลือบผิวใบด้านล่าง
ปากใบ	แบบ typical stoma	แบบ typical stoma
ความหนาแน่นปากใบ	อยู่ที่ผิวใบด้านบนจำนวนมาก ประมาณ 283 ต่อตารางมิลลิเมตร	อยู่ที่ผิวใบด้านบนจำนวนมาก ประมาณ 373 ต่อตารางมิลลิเมตร
ความยาวรูปากใบ	เฉลี่ยเป็น 30.4 μm	เฉลี่ยเป็น 22.6 μm
เซลล์บัลลิสฟอร์ม	มีจำนวนมากที่ผิวใบด้านบน	มีจำนวนมากที่ผิวใบด้านบน
มีโซฟิลล์	ไม่แยกชั้น	ไม่แยกชั้น
ระบบท่อลำเลียง	มีกลุ่มของท่อน้ำอยู่ด้านบน และกลุ่มท่ออาหารอยู่ด้านล่าง	มีกลุ่มของท่อน้ำอยู่ด้านบน และกลุ่มท่ออาหารอยู่ด้านล่าง
บันเดิลชีท	มี 2 ชั้น	มี 1 ชั้น
ระยะห่างระหว่างท่อลำเลียงแต่ละกลุ่ม	2-3 เซลล์ หรือ 37.5-50 μm	1-2 เซลล์ หรือ 20-25 μm
ประเภทการสังเคราะห์แสง	C ₄ ชนิด PCK type	C ₄ ชนิด NADP-ME type
ลำต้น		
ขน	มีจำนวนมาก	ไม่มี
กาบใบ	มี	มี
กลุ่มของท่อลำเลียง	เป็นกลุ่มท่อน้ำที่อาหารค่อนข้างกลม	เป็นกลุ่มท่อน้ำที่อาหารค่อนข้างกลมรี
คอร์เทกซ์	8-10 แถว หรือ 62.5-75 μm	6-8 แถว หรือ 75 μm
พืธ	มี	มี

6.3 ปากใบ

เพื่อศึกษาความแตกต่างของปากใบเนื่องมาจากอิทธิพลของชนิดหญ้า และด้านของใบ จึงได้ทำการวิเคราะห์ความแปรปรวนทางสถิติของค่าความหนาแน่นของปากใบ และความยาวของรูปากใบ ดังรายละเอียดที่จะกล่าวถึงดังต่อไปนี้

6.3.1 ความหนาแน่นของปากใบ (stomatal density)

ผลการวิเคราะห์ความแปรปรวนของค่าความหนาแน่นของปากใบพบว่า ชนิดหญ้า และด้านของใบมีอิทธิพลต่อความแปรปรวนของค่าความหนาแน่นของปากใบอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ แต่ไม่พบปฏิกริยาสัมพันธ์ระหว่างปัจจัยทั้งสองที่จะมีผลต่อความแปรปรวนของค่าความหนาแน่นของปากใบ (ตารางผนวก จ-4)

การเปรียบเทียบความแตกต่างของค่าเฉลี่ยโดยวิธี LSD (ตารางที่ 14) พบว่าหญ้าขม มีความหนาแน่นของปากใบสูงกว่าหญ้าขนคือ 294.4 และ 236.8 ต่อตารางมิลลิเมตร และเมื่อคำนึงถึงค่าความหนาแน่นของปากใบที่วัดเฉพาะด้านของใบเพียงอย่างเดียว พบว่าด้านบนของใบมีความหนาแน่นของปากใบ (328 ต่อตารางมิลลิเมตร) สูงกว่าด้านล่าง (203 ต่อตารางมิลลิเมตร) อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ

ตารางที่ 14 ค่าเฉลี่ยความหนาแน่นของปากใบ (ต่อตารางมิลลิเมตร) ของใบหญ้าขนและหญ้าขม วัดด้านบนใบและด้านล่างใบ

ด้านของใบ	ชนิดหญ้า		ค่าเฉลี่ย
	หญ้าขน	หญ้าขม	
ด้านบนใบ	283.2	372.8	328.0 ^a
ด้านล่างใบ	190.4	216.0	203.2 ^b
ค่าเฉลี่ย	236.8 ^b	294.4 ^a	265.6

LSD (0.05) เปรียบเทียบค่าเฉลี่ยระหว่างชนิดหญ้า = 38.0

LSD (0.05) เปรียบเทียบค่าเฉลี่ยระหว่างด้านของใบ = 38.0

6.3.2 ความยาวของรูปากใบ (stomatal pore length)

การวิเคราะห์ความแปรปรวนของความยาวของรูปากใบพบว่า ชนิดหญ้า และด้านของใบ มีอิทธิพลต่อความแปรปรวนของความยาวของรูปากใบอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ แต่ไม่พบปฏิกริยาสัมพันธ์ระหว่างปัจจัยทั้งสองที่จะมีผลต่อความแปรปรวนของความยาวของรูปากใบ (ตารางผนวก จ-4)

การเปรียบเทียบความแตกต่างของค่าเฉลี่ยโดยวิธี LSD (ตารางที่ 15) พบว่าหญ้าขนมีความยาวของรูปากใบสูงกว่าหญ้าขมคือ 30.4 และ 22.6 μm และเมื่อคำนึงถึงความยาวของรูปากใบเฉพาะด้านของใบเพียงอย่างเดียว พบว่าความยาวของรูปากใบด้านล่าง (27.8 μm) สูงกว่าด้านบน (25.3 μm) แต่หญ้าขมมีความยาวของรูปากใบทั้งสองด้านไม่แตกต่างกันทางสถิติ

ตารางที่ 15 ค่าเฉลี่ยความยาวของรูปากใบ (μm) ของใบหญ้าขนและหญ้าขม ที่วัดด้านบนใบและด้านล่างใบ

ด้านของใบ	ชนิดหญ้า		ค่าเฉลี่ย
	หญ้าขน	หญ้าขม	
ด้านบนใบ	28.5	22.0	25.3 ^b
ด้านล่างใบ	32.4	23.3	27.8 ^a
ค่าเฉลี่ย	30.4 ^b	22.6 ^a	26.5

LSD (0.05) เปรียบเทียบค่าเฉลี่ยระหว่างชนิดหญ้า = 1.484

LSD (0.05) เปรียบเทียบค่าเฉลี่ยระหว่างด้านของใบ = 1.484

บทที่ 4

วิจารณ์และสรุปผล

1. วิจารณ์ผลการศึกษา

การศึกษาประสิทธิภาพการสังเคราะห์แสงและการสร้างมวลชีวภาพของหญ้าขนและหญ้าม โดยการเปรียบเทียบอัตราการสังเคราะห์แสง กลอโรฟิลล์ฟลูออเรสเซนซ์ การสร้างน้ำหนักแห้ง และศึกษาลักษณะทางกายวิภาคของใบและลำต้น เพื่อหาความสัมพันธ์ต่อกระบวนการทาง สรีรวิทยา และการตอบสนองต่อสภาพแวดล้อม ปรากฏผลดังรายละเอียดต่อไปนี้

1.1 อัตราการสังเคราะห์แสง

1.1.1 การตอบสนองต่อปริมาณแสง

จากการศึกษาผลการตอบสนองของอัตราการสังเคราะห์แสงต่อปริมาณแสงทั้งใน แปลงปลูกและในห้องปฏิบัติการ พบว่าทั้งหญ้าขนและหญ้ามแสดงการตอบสนองต่อปริมาณแสง ที่เพิ่มขึ้น จนกระทั่งมีอัตราการสังเคราะห์แสงสูงสุด (A_{max}) โดยที่หญ้ามจะมีการตอบสนองต่อ ปริมาณแสงที่เพิ่มขึ้นได้ดีกว่าหญ้าม กล่าวคือหญ้ามมีค่า A_{max} ที่วัดในห้องปฏิบัติการมีค่าเฉลี่ย เป็น $20.19 \mu \text{ mol CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ ที่ปริมาณแสงสูงสุดประมาณ $600 \mu \text{ mol m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ และแสดงความ สามารถในการใช้พลังงานแสงโดยวัดเป็นค่า quantum yield (ϕ) มีค่าเฉลี่ยเป็น $0.055 \mu \text{ mol CO}_2 \mu \text{ mol}^{-1} \text{ PPF}$ ขณะที่หญ้ามมีค่า A_{max} เฉลี่ยเป็น $3.12 \mu \text{ mol CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ ที่ปริมาณแสงสูงสุด ประมาณ $400 \mu \text{ mol m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ และมีค่า ϕ เฉลี่ยเป็น $0.015 \mu \text{ mol CO}_2 \mu \text{ mol}^{-1} \text{ PPF}$

มีการทดลองในลักษณะที่คล้ายกันของ Sophanodora (1993) โดยทำการวัดการ ตอบสนองต่อแสง (light response curve) ของหญ้า 4 สกุล พบว่าหญ้าสกุล *Brachiaria* แสดงค่า อัตราการสังเคราะห์แสงอิ่มตัว (A_{sat}) ปริมาณแสงอิ่มตัว และค่า ϕ ที่สูงกว่าหญ้าในสกุลอื่น โดยเฉพาะหญ้าม (*B. mutica*) มีค่า A_{sat} เป็น $25.56 \mu \text{ mol CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ ที่ปริมาณแสงอิ่มตัวมากกว่า $600 \mu \text{ mol m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ และมีค่า ϕ เป็น $0.0707 \mu \text{ mol CO}_2 \mu \text{ mol}^{-1} \text{ PPF}$ ส่วนหญ้ามชนิดอื่นมีค่า A_{sat} และ ϕ ที่ต่ำกว่า และมีปริมาณแสงที่อิ่มตัวเพียง $200 \mu \text{ mol m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ ซึ่งแสดงให้เห็นว่าใบของหญ้า สกุล *Brachiaria* มีความสามารถในการสังเคราะห์แสงที่สูงกว่าหญ้ามชนิดอื่น ๆ หลายชนิด

การที่ประสิทธิภาพการสังเคราะห์แสงจากปริมาณแสงที่ได้รับของหญ้ามสูงกว่าหญ้าม น่าจะมีความสัมพันธ์กับจำนวนคลอโรพลาสต์ในเซลล์ชั้นมีโซฟิลล์ เพราะเมื่อใบรับแสง คลอโรพลาสต์จะมาเรียงตัวตามแนวของผนังเซลล์ เพื่อรับแสงให้ได้มากที่สุด (เฉลิมพล, 2535) ซึ่ง

จากการทดลองครั้งนี้แม้จะไม่มีกรนับจำนวนคลอโรพลาสต์ในเซลล์ชั้นมีโซฟิลล์ แต่จากการสังเกตจากรูปที่ 16 พบว่าภายในเซลล์ชั้นมีโซฟิลล์ของหญ้าขมจะมีคลอโรพลาสต์เรียงอยู่หนาแน่นกว่าหญ้าขมจึงทำให้หญ้าขมมีประสิทธิภาพในการรับแสงได้ดีกว่าหญ้าขม

นอกจากนี้พบว่าอัตราการสังเคราะห์แสงที่ตอบสนองต่อปริมาณแสงของหญ้าทั้งสองชนิดที่วัดในแปลงปลูกมีความชัดเจนในการตอบสนองน้อยกว่าที่วัดในห้องปฏิบัติการ ทั้งนี้เนื่องมาจากอิทธิพลของปัจจัยสภาพแวดล้อมในแปลงปลูกที่มีความผันแปรอยู่ตลอดเวลาไม่ว่าจะเป็น ความชื้นสัมพัทธ์ รังสีดวงอาทิตย์ อุณหภูมิอากาศ อุณหภูมิดิน ปริมาณฝน น้ำระเหย และ ความชื้นในดิน จึงยากที่จะสรุปผลประสิทธิภาพการสังเคราะห์แสงของหญ้าทั้งสองชนิด สำหรับในห้องปฏิบัติการนั้นหญ้าทั้งสองชนิดจะถูกตัดมาแช่โคนต้นไว้ในน้ำตลอดเวลาจึงอยู่ในสภาพที่ได้น้ำเต็มที่ และอุณหภูมิในห้องปฏิบัติการอยู่ในช่วงเหมาะสมและค่อนข้างคงที่ประมาณ $28-29^{\circ}\text{C}$ ทำให้ได้ค่าการตอบสนองค่อนข้างชัดเจนกว่า และสามารถแสดงถึงศักยภาพของการตอบสนองของหญ้าทั้งสองชนิดที่ศึกษา ซึ่งสอดคล้องกับการทดลองของประวิตร (2536)

อย่างไรก็ตามจากการวัดค่า A_{\max} และ ϕ ของหญ้าทั้งสองชนิดในห้องปฏิบัติการ โดยทำการวัดในช่วงเดือนและช่วงเวลาที่ต่างกันจะให้ค่าที่แตกต่างกันได้ เนื่องจากสภาพแวดล้อมที่เปลี่ยนแปลงไปตามฤดูกาลและในรอบวัน ซึ่งพบว่าหญ้าขมที่วัดภายในช่วงระยะเวลา 4 เดือนจะมีค่า A_{\max} และ ϕ สูงสุดในวันที่วัดในช่วงเดือนมกราคม และมีค่าต่ำสุดในวันที่วัดในช่วงเดือนกุมภาพันธ์ ขณะที่หญ้าขมมีค่า A_{\max} และ ϕ ที่วัดในแต่ละช่วงเดือนไม่แตกต่างกันทางสถิติ ส่วนการศึกษาการเปลี่ยนแปลงภายในรอบหนึ่งวัน โดยทำการวัดค่า A_{\max} และ ϕ ตอนเช้าและเที่ยง พบว่าช่วงเวลาที่วัดมีอิทธิพลต่อความแปรปรวนของค่า A_{\max} เพียงอย่างเดียวโดยที่หญ้าทั้งสองชนิดจะมีค่า A_{\max} ที่วัดตอนเช้าสูงกว่าตอนเที่ยง มีการศึกษาของ Bjorkman และ Holmgren (1963) ได้อธิบายถึงการตอบสนองต่อแสงในช่วง initial slope ของพืชต่าง ๆ ว่ามักจะมีค่าแตกต่างกันเพียงเล็กน้อย แต่อย่างไรก็ตามความแตกต่างอาจเกิดขึ้นได้หากทำการวัดพืชในสภาพแวดล้อมที่ต่างกัน

จากข้อสันนิษฐานความแปรปรวนของค่า A_{\max} และ ϕ ของหญ้าขมดังกล่าวข้างต้น โดยการตรวจสอบปัจจัยสภาพแวดล้อม (ตารางที่ 1) พบว่าวันที่วัดในช่วงเดือนมกราคม ไม่มีฝนตก มีรังสีดวงอาทิตย์ที่สูง ความชื้นสัมพัทธ์ต่ำ และอุณหภูมิสูง แต่มีอุณหภูมิอากาศเฉลี่ยที่ต่ำใกล้เคียงกับเดือนธันวาคม ส่วนวันที่วัดในช่วงเดือนกุมภาพันธ์ แม้จะมีสภาพแวดล้อมที่คล้ายคลึงกับเดือนมกราคม แต่พบว่าเป็นช่วงเดือนที่มีอุณหภูมิอากาศเฉลี่ยที่สูง ส่วนวันที่วัดในช่วงเดือนพฤษภาคมและเดือนธันวาคม มีปริมาณน้ำฝนที่สูงมาก ปัจจัยสภาพแวดล้อมดังกล่าวอาจมีผลต่อการปรับตัวของต้นหญ้าขมที่ตัดเข้าไปศึกษาในห้องปฏิบัติการ ทำให้ได้ค่า A_{\max} และ ϕ ที่แตกต่างกัน

กัน ในทำนองเดียวกันการที่ค่า A_{max} ที่วัดตอนเช้าสูงกว่าตอนเที่ยงเป็นผลเนื่องมาจากตอนเช้ามีรังสีดวงอาทิตย์ อุณหภูมิอากาศ และอุณหภูมิดิน ที่ต่ำกว่าตอนเที่ยง (รูปที่ 6) อุณหภูมิที่สูงมีผลทำให้กลอโรฟิลล์ถูกทำลาย ซึ่งสามารถยืนยันได้จากการศึกษาเรื่องกลอโรฟิลล์ฟลูออเรสเซนซ์ที่จะได้กล่าวต่อไป

นอกจากนี้ประวิตร (2536) กล่าวถึงการเปลี่ยนแปลงของอัตราการสังเคราะห์แสงของใบหญ้าขนที่วัดในแปลงปลูกก่อนและหลังการตัด พบว่าอัตราการสังเคราะห์แสงของพืชหลังการตัดต้นได้เปลี่ยนแปลงในระหว่าง $\pm 10-15\%$ ของค่าเฉลี่ยก่อนการตัด ดังนั้นการตัดจึงอาจจะมีผลต่ออัตราการสังเคราะห์แสงได้เช่นกัน

การศึกษาการตอบสนองต่อปริมาณแสงในการสังเคราะห์แสงของหญ้าทั้งสองชนิดแสดงให้เห็นประสิทธิภาพการสังเคราะห์แสงที่แตกต่างกัน โดยเฉพาะอย่างยิ่งจากการวัดในห้องปฏิบัติการ ปัจจัยของสภาพแวดล้อมในแต่ละช่วงเดือนหรือช่วงวันที่พืชได้รับก่อนการวัดมีอิทธิพลต่ออัตราการสังเคราะห์แสง โดยเฉพาะอุณหภูมิของอากาศที่สูงและความแห้งแล้ง ซึ่งกระทบต่อกลอโรฟิลล์ของพืชที่ใช้ในการสังเคราะห์แสง

1.1.2 การตอบสนองต่อคาร์บอนไดออกไซด์

จากการศึกษาผลการตอบสนองของอัตราการสังเคราะห์แสงต่อปริมาณคาร์บอนไดออกไซด์ในห้องปฏิบัติการ พบว่าอัตราการสังเคราะห์แสงของหญ้าขนและหญ้ามุเพิ่มขึ้นเมื่อความเข้มข้นของคาร์บอนไดออกไซด์เพิ่มขึ้นถึง $600 \mu\text{mol mol}^{-1}$.

หญ้ามุมีค่า A_{max} เฉลี่ยเป็น $19.24 \mu\text{mol CO}_2 \text{m}^{-2} \text{s}^{-1}$ และมีค่า $\delta A/\delta C_i$ เฉลี่ยเป็น $0.108 \text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ ส่วนหญ้ามุมีค่า A_{max} เฉลี่ยเป็น $4.37 \mu\text{mol CO}_2 \text{m}^{-2} \text{s}^{-1}$ และมีค่า $\delta A/\delta C_i$ เฉลี่ยเป็น $0.018 \text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ การที่หญ้าทั้งสองชนิดมีการตอบสนองต่อคาร์บอนไดออกไซด์ที่แตกต่างกันอาจจะมีสาเหตุมาจากกระบวนการแพร่ของคาร์บอนไดออกไซด์จากอากาศบริเวณรอบผิวใบไปยังศูนย์กลางการสังเคราะห์แสงที่อาจถูกจำกัดเนื่องจากค่าแรงต้านปากใบ (r_s) และค่าแรงต้านชั้นมิโซฟิลล์ (r_m) ของใบพืชตามรายงานการศึกษาของ Ludlow และ Wilson (1971a) ซึ่งในการทดลองนี้หญ้ามุมีค่า A_{max} และค่า $\delta A/\delta C_i$ สูงกว่าหญ้ามุ แสดงว่าใบหญ้ามุยอมให้การคาร์บอนไดออกไซด์จากอากาศแพร่เข้าได้ดีกว่าใบหญ้ามุ หรือใบหญ้ามุมีค่า r_s และ r_m ที่ต่ำกว่าหญ้ามุนั่นเอง การที่หญ้าทั้งสองชนิดมีค่า r_s สูงหรือต่ำน่าจะขึ้นอยู่กับ จำนวน การกระจาย และรูปร่างของปากใบที่บริเวณผิวใบของหญ้า เนื่องจากปากใบเป็นส่วนที่ควบคุมการแพร่เข้าและออกของคาร์บอนไดออกไซด์ และช่วยในการคายน้ำ (Muchow and Sinclair, 1989) ซึ่งจากการทดลองนี้พบว่าแม้หญ้ามุจะมีความหนาแน่นของปากใบน้อยกว่าหญ้ามุแต่จากการวัดความยาวรูปากใบพบว่าหญ้ามุมีความยาวรูปากใบมากกว่าหญ้ามุซึ่งลักษณะดังกล่าวอาจทำให้

คาร์บอนไดออกไซด์แพร่เข้าสู่ปากใบของหญ้าขมได้ในปริมาณที่สูงกว่าหญ้าขม (ดูรายละเอียดในหัวข้อการศึกษาลักษณะทางกายวิภาคต่อไป)

นอกจากเหตุผลดังกล่าวแล้วข้อจำกัดของเอนไซม์ในใบหญ้าก็เป็นอีกเหตุผลหนึ่งที่ทำให้หญ้าขมมีค่า A_{max} และค่าความชันของ $\delta A/\delta C_i$ ที่สูงกว่าหญ้าขม จากกราฟ A/C_i (รูปที่ 2) Hall และคณะ (1993) กล่าวถึงเส้นกราฟ 2 ระยะ คือระยะแรกระบุด้วยเส้นความชันของ $\delta A/\delta C_i$ ซึ่งสามารถบอกถึงประสิทธิภาพของเอนไซม์ Rubisco ของพืช ส่วนในระยะที่สองเป็นช่วงที่ค่าความชันของ $\delta A/\delta C_i$ เข้าใกล้ 0 หรือค่า A_{max} จะแสดงถึงอัตราการสังเคราะห์แสงอาจถูกจำกัดโดยความสามารถของใบพืชในการสร้าง Rubisco มาใช้ในการจับกับคาร์บอนไดออกไซด์ ดังนั้นแสดงว่าในสภาพที่มีคาร์บอนไดออกไซด์ต่ำหญ้าขมมีเอนไซม์ Rubisco ที่มีประสิทธิภาพในการตรึงคาร์บอนไดออกไซด์ได้สูงกว่าหญ้าขม และหญ้าขมยังมีความสามารถในการสร้าง Rubisco เพื่อจับกับคาร์บอนไดออกไซด์ได้มากกว่าหญ้าขม ขณะอยู่ในสภาพที่คาร์บอนไดออกไซด์มีมากเกินไป

การศึกษาถึงอิทธิพลของสภาพแวดล้อม โดยการวัดค่า A_{max} และค่าความชันของ $\delta A/\delta C_i$ ที่ช่วงเดือนที่ต่างกันและศึกษาเวลาในรอบวันเช่นเดียวกับการตอบสนองต่อปริมาณแสง พบว่าทั้งหญ้าขมและหญ้าขมจะมีค่า A_{max} สูงสุดในวันที่วัดในช่วงเดือนมกราคม และมีค่าต่ำสุดในวันที่วัดในช่วงเดือนธันวาคม และหญ้าทั้งสองชนิดจะมีค่า A_{max} ที่วัดตอนเช้าสูงกว่าตอนเที่ยงเช่นเดียวกับการตอบสนองต่อปริมาณแสง แต่ค่า $\delta A/\delta C_i$ ของหญ้าทั้งสองชนิดจะไม่มี ความแตกต่างกันทางสถิติเมื่อทำการวัดในช่วงเดือนและเวลาที่ต่างกัน

จากตารางที่ 1 จะเห็นได้ว่าสภาพแวดล้อมในวันที่วัดในช่วงเดือนธันวาคม จะมีค่าปริมาณน้ำฝนค่อนข้างสูง จนถึงน้ำท่วมขังภายในแปลง ทำให้มีความชื้นในดินจากแปลงหญ้าขม และแปลงหญ้าขมเป็นร้อยละ 15.1 และ 15.8 ซึ่งสูงมาก ประกอบกับรังสีดวงอาทิตย์และอุณหภูมิอากาศต่ำ ทำให้ความชื้นสัมพัทธ์ในอากาศมีค่าสูง ซึ่งต่างกับสภาพแวดล้อมในวันที่วัดในช่วงเดือนมกราคม ที่ไม่มีปริมาณน้ำฝนเลย Bennett และ Albrecht (1984) รายงานว่าในภาวะน้ำท่วมพบว่าศักยภาพของน้ำในพืชไม่แตกต่างกันกับภาวะที่มีน้ำเพียงพอ แต่แรงดันปากใบยังคงมีค่าสูง เนื่องจากรากขาดออกซิเจน ทำให้รากไม่สามารถดูดน้ำขึ้นมาใช้ได้ ซึ่งมีผลต่อการเปิดปิดของปากใบ สภาพแวดล้อมดังกล่าวอาจมีผลต่อหญ้าทั้งสองชนิดที่ถูกตัดเข้ามาศึกษาในห้องปฏิบัติการ ซึ่งทำให้ค่า A_{max} ของหญ้าทั้งสองชนิดในวันที่วัดในช่วงเดือนมกราคมมีค่าสูงกว่าวันที่วัดในช่วงเดือนธันวาคม ส่วนการที่ค่า A_{max} ตอนเช้าสูงกว่าตอนเที่ยงเกิดจากเหตุผลเดียวกันกับการตอบสนองต่อแสง

ดังนั้นการที่หญ้าขมมีอัตราการสังเคราะห์แสงที่ตอบสนองต่อคาร์บอนไดออกไซด์สูงกว่าหญ้าขม จากการศึกษาในครั้งนี้จึงมีสาเหตุมาจากความแตกต่างกันทางด้านสรีรวิทยา อันได้

แก่ ประสิทธิภาพของเอนไซม์ Rubisco และความสามารถของหญ้าในการสร้างเอนไซม์ Rubisco ของหญ้าขนสูงกว่าหญ้าขม และมีลักษณะทางกายวิภาคที่แตกต่างกัน ได้แก่ หญ้าขนมีความยาวรูปปากใบมากกว่าหญ้าขม นอกจากนี้อาจเกิดความแปรปรวนของค่า A_{max} และค่าความชันของ $\delta A/\delta C_i$ ของหญ้าทั้งสองชนิดภายหลังการตัด มีสาเหตุมาจากอิทธิพลของปัจจัยสภาพแวดล้อมที่ทำให้การวัดในรอบเดือนและรอบวัน โดยที่ในช่วงเดือนที่มีสภาพความชื้นในดินสูง เช่น เดือนพฤศจิกายน และเดือนธันวาคม จะมีผลให้เกิดแรงต้านปากใบสูงกว่า ส่วนการวัดในรอบวัน อุณหภูมิของอากาศสูงและแห้งแล้งจะมีผลต่อการทำลายคลอโรฟิลล์ ทำให้กระทบกระเทือนกับระบบการสังเคราะห์แสงโดยรวม

1.2 กลอโรฟิลล์ฟลูออเรสเซนซ์

1.2.1 การวัดในแปลง

เทคนิคการวัดค่ากลอโรฟิลล์ฟลูออเรสเซนซ์ เป็นวิธีการหนึ่งที่สามารถบอกถึงประสิทธิภาพของกระบวนการสังเคราะห์แสง และใช้เป็นเครื่องมือศึกษาการตอบสนองทางสรีรวิทยาของพืชซึ่งเกิดความเครียดเนื่องจากสภาพแวดล้อม โดยที่การวัดค่ากลอโรฟิลล์ฟลูออเรสเซนซ์จะแสดงเป็นอัตราส่วนของค่า F_v/F_m ซึ่งสะท้อนถึงความสามารถของกลอโรฟิลล์พืชในการรับและส่งถ่ายพลังงานจากรังสีควงอาทิตย์ของ photosystem II (PS II) และถ่ายต่อไปสู่ photosystem I (PS I) ดังนั้นถ้าค่า F_v/F_m มีค่าสูงหมายความว่าพืชมีประสิทธิภาพในการใช้แสงดี เนื่องจาก F_v/F_m มีความสัมพันธ์กับค่า ϕ (Bjorkman and Demming, 1987)

ในการทดลองนี้พบว่าค่า F_v/F_m โดยเฉลี่ยของหญ้าขนมีค่าเป็น 0.754 สูงกว่าหญ้าขมที่มีค่าเป็น 0.724 แสดงให้เห็นในภาพรวมว่าหญ้าขนมีประสิทธิภาพในการใช้แสงได้ดีกว่าหญ้าขม ซึ่งมีความสอดคล้องกับผลการศึกษาค่า ϕ ดังได้กล่าวมาแล้ว

การศึกษาค่าความสัมพันธ์ระหว่างค่า F_v/F_m ต่อยังปัจจัยสภาพแวดล้อม โดยการวัดค่า F_v/F_m ของใบหญ้าขนและหญ้าขมในแต่ละช่วงของเดือน และวัดในตอนเช้า เย็น และเย็น พบว่าค่า F_v/F_m ของหญ้าขนที่วัดในช่วงเดือนพฤศจิกายน มีค่าเฉลี่ย 0.791 ซึ่งแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติกับที่วัดในช่วงเดือนธันวาคม เดือนมกราคม และเดือนกุมภาพันธ์ มีค่าเฉลี่ย 0.748, 0.729 และ 0.747 ตามลำดับ ขณะที่หญ้าขมมีค่า F_v/F_m สูงในช่วงเดือนพฤศจิกายนและเดือนกุมภาพันธ์ มีค่าเฉลี่ย 0.741 และ 0.753 ตามลำดับ และมีค่าต่ำในช่วงเดือนธันวาคมและเดือนมกราคมเช่นเดียวกัน โดยมีค่าเฉลี่ย 0.680 และ 0.722 ตามลำดับ

การที่หญ้าขนแสดงค่า F_v/F_m สูงในวันที่วัดในช่วงเดือนพฤศจิกายน และต่ำในวันที่วัดในช่วงเดือนธันวาคม เดือนมกราคม และเดือนกุมภาพันธ์ จากการตรวจสอบปัจจัยสภาพแวดล้อม

ล้อมพบว่าในช่วงเดือนพฤศจิกายน มีความชื้นสัมพัทธ์เฉลี่ยร้อยละ 91 ปริมาณแสงเฉลี่ย $1252.6 \text{ W m}^{-2} \text{ d}^{-1}$ อุณหภูมิเฉลี่ย 25.5°C และปริมาณฝนเฉลี่ย 5.5 mm . แตกต่างจากการวัดในช่วงเดือนธันวาคม เดือนมกราคม และเดือนกุมภาพันธ์ ซึ่งมีสภาพที่แห้งแล้งกว่า (ไม่มีฝนตกในช่วงสามเดือนหลัง) และมีรังสีดวงอาทิตย์ที่มากกว่า $3000 \text{ W m}^{-2} \text{ d}^{-1}$ มีอุณหภูมิอากาศโดยเฉลี่ยสูงกว่า (เฉลี่ยประมาณ 27°C) (ตารางที่ 1) จึงทำให้หญ้าขนเกิดความเครียดสูงค่า F_v/F_m ต่ำลง จากการศึกษาของ Schreiber และ Biler (1986) พบว่าอิทธิพลของความร้อน ความเย็น และความเข้มแสงสูง (เกิด photoinhibition) จะทำให้ค่า F_v/F_m ลดลงหรือพืชเกิดความเครียดขึ้น โดยที่ปัจจัยดังกล่าวจะไปทำลายไทลาคอยด์ (thylakoids) ในใบพืช และเฉลิมพล (2530) ศึกษาในหญ้าขนพบว่าเจริญเติบโตได้ดีในเขตที่มีสภาพภูมิอากาศร้อนชื้น และมีความทนทานต่อสภาพน้ำขังเป็นเวลานานได้ดี แต่ไม่ชอบสภาพแห้งแล้ง ส่วนหญ้าขมมีค่า F_v/F_m ที่วัดในช่วงเดือนต่าง ๆ ทำนองเดียวกันกับหญ้าขน ยกเว้นในช่วงเดือนกุมภาพันธ์มีค่าสูงกว่าหญ้าขนแสดงให้เห็นว่าหญ้าขมมีความสามารถในการปรับตัวในสภาพแห้งแล้งได้ดีกว่า จากการศึกษาของนงลักษณ์ (2530) พบว่าในสภาพที่ขาดน้ำหญ้าขมจะรักษาน้ำในต้นไว้ได้ดี เนื่องจากน้ำจะเคลื่อนเข้าสู่รากและลำต้นและจากเซลล์สู่เซลล์ได้ช้ากว่าสภาพที่ไม่ขาดน้ำ

ค่า F_v/F_m ของหญ้าขนและหญ้าขมที่วัดในเวลาเช้า (0.785 และ 0.730) และเย็น (0.768 และ 0.736) จะมีค่าสูงกว่าที่วัดในเวลาเที่ยง (0.708 และ 0.706) แสดงว่าพืชเกิดความเครียดในช่วงเวลาเที่ยง ซึ่งให้ผลเช่นเดียวกับการศึกษาของ Jung และ Scott (1980) Takagit และคณะ (1981) Jones และคณะ (1982) Pearson และ Jolliff (1985) นงลักษณ์ (2530) ที่ศึกษาการผันแปรของศักยภาพของน้ำในพืชในรอบวัน พบว่าศักยภาพของน้ำในพืชมีค่าสูงในตอนเช้าและเย็น และมีค่าต่ำในตอนเที่ยง มีสาเหตุจากรังสีดวงอาทิตย์และอุณหภูมิที่สูงมากในตอนเที่ยง (รูปที่ 6) ซึ่งรังสีดวงอาทิตย์และอุณหภูมิอากาศที่สูงจะมีผลกระทบต่อระบบรงควัตถุสังเคราะห์แสง PS II ปฏิกิริยาที่ทำให้รงควัตถุสังเคราะห์แสง PS II สูญเสียสภาพในการรับแสงเรียกว่า photoinhibition ในชั้น ไทลาคอยด์จะทำให้การทำงานของรงควัตถุผิดปกติส่งผลให้ความสามารถในการดูดกลืนแสงผิดไปจากเดิม (Krause and Weis, 1991) และน่าจะเป็นเหตุผลเดียวกันกับการที่ค่า A_{max} ที่ตอบสนองต่อแสงและการรับอนไดออกไซด์ของหญ้าทั้งสองชนิดที่วัดตอนเช้ามืดมีค่าสูงกว่าตอนเที่ยงดังกล่าวมาในตอนแรก

การวัดค่า F_v/F_m ของหญ้าแต่ละชนิดจากด้านบนใบ (adaxial) และด้านล่างใบ (abaxial) โดยรวมแล้วไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ แต่จากการวิเคราะห์ปฏิกิริยาสัมพันธ์ระหว่างด้านบนใบกับช่วงเดือนที่วัดจะมีความแตกต่างกันทางสถิติ กล่าวคือการวัดในช่วงเดือนพฤศจิกายน และเดือนธันวาคม ค่า F_v/F_m จากด้านบนใบสูงกว่าด้านล่างใบ ซึ่งกลับกันกับการวัดในช่วงเดือน

มกราคมและเดือนกุมภาพันธ์ ที่อาจจะมีเหตุผลจากการรับ (exposure) ปังจัยแวดล้อมซึ่งก่อให้เกิดความเครียดแต่ละด้านใบที่ตรงข้ามกัน โดยเฉพาะอย่างยิ่งปริมาณรังสีดวงอาทิตย์และอุณหภูมิที่สูงกว่าซึ่งเกิดขึ้นในช่วงเดือนมกราคมและเดือนกุมภาพันธ์ (ตารางที่ 1)

1.2.2 การวัดการฟื้นตัวในห้องปฏิบัติการ

การศึกษากการฟื้นตัวภายใน 24 ชั่วโมง ของหญ้าขนและหญ้าขมที่วัดทั้งด้านบนใบและด้านล่างใบ พบว่าในช่วง 0.5 ชั่วโมงแรก ค่า F_v/F_m ของหญ้าขมที่วัดทั้งสองด้านจะต่ำลงแล้วค่อย ๆ เพิ่มสูงขึ้นหลังจากวัดที่ 5 และ 24 ชั่วโมง ส่วนค่า F_v/F_m ของหญ้าขนจะเพิ่มสูงขึ้นเรื่อย ๆ จาก 0.5 ชั่วโมง จนถึง 24 ชั่วโมง การที่ F_v/F_m ของหญ้าขมในช่วง 0.5 ชั่วโมงต่ำลง อาจจะสันนิษฐานได้ว่าหญ้าขมจะเกิดสภาวะเครียด (stress) และสูญเสียน้ำง่ายกว่าหญ้าขนหลังจากการตัดในแปลงเพื่อมาวัดในห้องปฏิบัติการ โดยที่ระบบท่อน้ำที่อาหารจะได้รับความกระทบกระเทือน และหลังจากการตัดได้น้ำและแซในน้ำในระยะแรก ๆ หญ้ายังไม่อยู่ในสภาพฟื้นตัว แต่หลังจากนั้นต้นหญ้าค่อยฟื้นตัวโดยค่า F_v/F_m เพิ่มสูงขึ้นเนื่องจากได้รับปริมาณแสงและน้ำเต็มที่ในสภาพห้องปฏิบัติการ ปรากฏการณ์นี้พบในการศึกษาหญ้าขนของสุกัญญา (2539) เช่นเดียวกัน

ค่า F_v/F_m ที่ทำการวัดภายหลังจากการฟื้นตัวเป็นเวลา 24 ชั่วโมง พบว่าหญ้าขนมีค่าสูงกว่าหญ้าขม มีค่าเฉลี่ยเป็น 0.804 และ 0.756 ตามลำดับ ส่วนการวัดแต่ละช่วงเดือนและที่เวลาต่างกันพบว่าหญ้าทั้งสองชนิดไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ แต่จากรูปที่ 10 พบว่าการฟื้นตัวของหญ้าทั้งสองชนิดที่วัดในช่วงเดือนพฤศจิกายนจะเกิดขึ้นเร็วกว่าเดือนอื่น ๆ (ซึ่งมีการฟื้นตัวก่อนการวัดที่ชั่วโมงที่ 5) ส่วนการวัดในช่วงเดือนมกราคม ต้องใช้เวลาในการฟื้นตัวนานถึง 24 ชั่วโมง ทั้งนี้ น่าจะมีสาเหตุจากการที่หญ้าได้รับผลกระทบจากปัจจัยสภาพแวดล้อมในแปลงก่อนการตัดมาวัดในห้องปฏิบัติการ ซึ่งปัจจัยดังกล่าวที่สำคัญ คือปริมาณรังสีดวงอาทิตย์ อุณหภูมิและความแห้งแล้ง ดังได้กล่าวมาแล้ว

นอกจากนี้การฟื้นตัวของหญ้าทั้งสองชนิดวัดที่ 24 ชั่วโมงในรอบวัน พบว่าค่า F_v/F_m ที่วัดเวลาเย็นมีค่าเฉลี่ย 0.795 ส่วนค่า F_v/F_m วัดเวลาเช้าและเที่ยงมีค่าเฉลี่ย 0.779 และ 0.766 ตามลำดับ แสดงว่าหญ้าทั้งสองชนิดมีการฟื้นตัวทั้งสามช่วงเวลาภายหลังการตัดเข้าไปวัดในห้องปฏิบัติการ แต่การวัดที่เวลาเที่ยงมีค่า F_v/F_m ต่ำสุดอาจเป็นเพราะหญ้าทั้งสองชนิดต้องใช้เวลาในการฟื้นตัวนานกว่า 24 ชั่วโมง เนื่องจากหญ้ามืดมีความเครียดเกิดขึ้นในช่วงเวลาที่ยิ่งมากกว่าเวลาเช้าและเย็น

จากการวัดค่าคลอโรฟิลล์ฟลูออเรสเซนซ์ แสดงให้เห็นว่าหญ้าขนสามารถปรับตัวต่อความเครียดที่เกิดจากสภาพแวดล้อมได้ดีกว่าหญ้าขม โดยที่ปัจจัยสภาพแวดล้อมที่เปลี่ยนแปลงไปตามฤดูกาลและในรอบวันที่รังสีดวงอาทิตย์ต่ำ ความชื้นสัมพัทธ์สูง โดยเฉพาะอุณหภูมิอากาศ

ต่ำ ซึ่งอยู่ในช่วงเดือนพฤศจิกายน จะเกิดความเครียดน้อยกว่าเมื่อพืชอยู่ในสภาพแวดล้อมที่มีอุณหภูมิอากาศสูงดังที่วัดในช่วงเดือนธันวาคม เดือนมกราคม และเดือนกุมภาพันธ์ ซึ่งสอดคล้องกับการวัดอัตราการสังเคราะห์แสงทั้งการตอบสนองต่อปริมาณแสงและปริมาณคาร์บอนไดออกไซด์ ที่แสดงค่า A_{max} และ ϕ สูงเมื่อถูกวัดภายหลังการตัดจากแปลงที่อยู่ในสภาพแวดล้อมที่มีอุณหภูมิต่ำเช่นเดียวกัน ส่วนการศึกษาการฟื้นตัวของหญ้าก็พบว่าภายหลังการตัดหญ้าจากสภาพแวดล้อมที่มีอุณหภูมิสูงเช่นช่วงเดือนมกราคม หรือวัดตอนเที่ยง หญ้าทั้งสองชนิดจะใช้เวลาในการฟื้นตัวนานที่สุด

1.3 การสร้างน้ำหนักแห้ง

น้ำหนักแห้งเป็นสิ่งหนึ่งที่ถูกใช้เป็นดัชนีบ่งบอกระดับการเจริญเติบโตของพืชเนื่องจากน้ำหนักแห้งเป็นผลของการสะสมสารอาหารที่เกิดขึ้นจากการสังเคราะห์แสง การสะสมน้ำหนักแห้งของพืชมีขีดจำกัดขึ้นอยู่กับ ศักยภาพของชนิดพืช พันธุ์ และสภาพแวดล้อมที่พืชนั้นขึ้นอยู่ (เฉลิมพล, 2535) การศึกษาครั้งนี้ทำการเปรียบเทียบการสร้างน้ำหนักแห้งของหญ้ายางและหญ้ายวมที่เจริญเติบโตในช่วงระยะเวลา 4 เดือน โดยเก็บเกี่ยวส่วนเหนือดินในแต่ละเดือน แยกส่วนของน้ำหนักแห้งส่วนที่มีชีวิต ส่วนที่ตาย และวัดพื้นที่ใบเพื่อประเมินการเปลี่ยนแปลงที่เกิดขึ้นในช่วงของการศึกษา

จากผลการศึกษาพบว่าหญ้ายวมมีการสร้างน้ำหนักแห้งรวมสูงกว่าหญ้ายาง มีค่าเฉลี่ยเป็น 2350.1 และ 1282.9 g m⁻² ตามลำดับ โดยที่หญ้าทั้งสองชนิดจะมีการสะสมน้ำหนักแห้งเพิ่มขึ้นเรื่อย ๆ ยกเว้นเดือนมกราคมที่หญ้าทั้งสองชนิดมีน้ำหนักแห้งลดลง แต่น้ำหนักแห้งในแต่ละเดือนของหญ้าแต่ละชนิดไม่แตกต่างกันทางสถิติ

เมื่อเทียบเป็นสัดส่วนร้อยละพบว่าหญ้ายวมและหญ้ายวมประกอบด้วยส่วนที่มีชีวิตประมาณ 69 และ 63 % ของน้ำหนักแห้งทั้งหมด ตามลำดับ โดยพบว่าหญ้ายวมมีส่วนที่ตายสูงในช่วงเดือนมกราคมและเดือนกุมภาพันธ์ ส่วนหญ้ายวมมีส่วนที่ตายสูงในเดือนกุมภาพันธ์ (รูปที่ 4) ทั้งนี้เนื่องจากว่าเดือนมกราคมและเดือนกุมภาพันธ์เป็นช่วงที่สภาพแวดล้อมค่อนข้างแห้งแล้งมีปริมาณฝนต่ำ และมีอุณหภูมิสูงทำให้หญ้ามีการตายและร่วงเป็นปริมาณมาก แต่หญ้ายวมจะมีความทนทานมากกว่าหญ้ายวม เนื่องจากแสดงอาการได้ช้ากว่าหญ้ายวม

นอกจากนี้พบว่า LAI ของหญ้าทั้งสองชนิดมีปริมาณแตกต่างกันในแต่ละเดือน โดยมี LAI สูงเมื่อวัดในช่วงเดือนพฤศจิกายนและเดือนธันวาคม และมี LAI ต่ำในช่วงเดือนมกราคมและเดือนกุมภาพันธ์ สภาพแวดล้อมช่วงเดือนพฤศจิกายนและเดือนธันวาคม เป็นช่วงที่มีปริมาณฝนมาก เมื่อรวมทั้งสองเดือนจะได้ 730.7 mm. จึงทำให้หญ้ามีการแตกใบใหม่เป็นจำนวนมาก ใน

ขณะที่ช่วงเดือนมกราคมและเดือนกุมภาพันธ์ มีปริมาณฝนน้อย รวมทั้งสองเดือนได้เพียง 17 mm เท่านั้น นอกจากจะทำให้หญ้าไม่มีการสร้างใบใหม่แล้วยังมีใบคายเพิ่มขึ้นอีกด้วย

สุกัญญา (2539) ศึกษาการเจริญเติบโตของหญ้าขนที่อายุ 2-12 สัปดาห์ พบว่าหญ้าขนมีการสะสมน้ำหนักแห้ง และ LAI สูงสุดในสัปดาห์ที่ 12 ภายหลังจากตัด มีค่าเท่ากับ 1161.92 $g\ m^{-2}$ และ 3.86 ตามลำดับ แต่ในการศึกษาครั้งนี้หญ้าขนมีการสะสมน้ำหนักแห้งมากกว่าคือ 2350.1 $g\ m^{-2}$ แต่ LAI น้อยกว่าคือ 0.42 จึงเป็นที่ที่น่าสนใจเกี่ยวกับความแตกต่างที่เกิดขึ้นน่าจะเกิดมาจากการเก็บเกี่ยวหญ้าที่อายุต่างกัน

โดยทั่วไปการสร้างน้ำหนักแห้งขึ้นอยู่กับประสิทธิภาพการสังเคราะห์แสงจะมากหรือน้อยจะขึ้นอยู่กับปริมาณพื้นที่ใบหรือดัชนีพื้นที่ใบ (LAI) ที่พืชใช้สำหรับรับแสง การศึกษานี้ได้คำนวณ LAI พบว่าหญ้าขนมี LAI สูงกว่าหญ้าขม มีค่าเฉลี่ยเป็น 0.42 และ 0.20 ตามลำดับ จึงทำให้การสร้างน้ำหนักแห้งโดยรวมของหญ้าขนสูงกว่าหญ้าขม ซึ่งสอดคล้องกับการศึกษาอัตราและประสิทธิภาพการสังเคราะห์แสงของหญ้าขนจะสูงกว่าหญ้าขมในครั้งนี้

การสร้างน้ำหนักแห้งของหญ้าทั้งสองชนิดมีความสัมพันธ์กับปัจจัยสภาพแวดล้อมต่าง ๆ ซึ่งสะท้อนให้เห็นจากผลกระทบที่เกิดขึ้นจากกระบวนการทางสรีรวิทยา โดยเฉพาะอย่างยิ่งการสังเคราะห์แสงที่ได้มีการศึกษาในครั้งนี้ ความแตกต่างของหญ้าทั้งสองชนิดในการสร้างน้ำหนักแห้ง จึงเป็นผลเนื่องมาจากความแตกต่างทางด้านกระบวนการทางสรีรวิทยาที่มีความสัมพันธ์กับลักษณะทางโครงสร้างของพืช และความสามารถในการตอบสนองต่อปัจจัยสภาพแวดล้อมที่ไม่เหมาะสมในช่วงของการเจริญเติบโต เช่นในช่วงเดือนมกราคมและเดือนกุมภาพันธ์ เมื่อเทียบกับช่วงเดือนพฤศจิกายนและเดือนธันวาคม ก่อนข้างชัดเจนในการศึกษาครั้งนี้

1.4 ลักษณะทางกายวิภาคของโครงสร้างภายในใบและลำต้น

จากการศึกษาโครงสร้างภายในใบและลำต้นของหญ้าขนและหญ้าขม จะพบความแตกต่างในบางลักษณะที่อาจเป็นส่วนสำคัญในการตอบสนองของอัตราการสังเคราะห์แสง คลอโรฟิลล์ฟลูออเรสเซนซ์ และการสร้างน้ำหนักแห้งที่แตกต่างกันภายใต้สภาพแวดล้อมที่หญ้าทั้งสองชนิดขึ้นอยู่ (ตารางที่ 13)

เมื่อศึกษาโครงสร้างภายในใบพบว่าหญ้าทั้งสองชนิดมีปากใบแบบ typical stoma ซึ่งมีจำนวนมากอยู่ที่ผิวใบด้านบน หญ้าขมจะมีความหนาแน่นของปากใบสูงกว่าหญ้าขน มีค่าเฉลี่ยเป็น 294.4 และ 236.8 mm^{-2} ตามลำดับ แต่เมื่อวัดขนาดความยาวรูปากใบ (pore length) พบว่าหญ้าขนมีความยาวรูปากใบมากกว่าหญ้าขม มีค่าเฉลี่ยเป็น 30.4 และ 22.6 μm ตามลำดับ โดยที่ความยาวของรูปากใบทางด้านล่างใบของหญ้าทั้งสองชนิดมีความยาวมากกว่าด้านบนใบ ซึ่ง Muchow และ

Sinclair (1989) กล่าวว่าเมื่อความเข้มข้นของคาร์บอนไดออกไซด์ในบรรยากาศสูงขึ้นการเปลี่ยนแปลงความหนาแน่นของปากใบ และความยาว ความกว้าง หรือพื้นที่ของรูปปากใบ อาจจะสามารถเพิ่มของอัตราการสังเคราะห์แสง ประสิทธิภาพการใช้น้ำ และการสร้างมวลชีวภาพของพืช เนื่องจากจำนวน การกระจาย และรูปร่างของปากใบ อาจจะมีผลสำคัญในการปรับตัวของพืชต่อการเพิ่มของคาร์บอนไดออกไซด์ในบรรยากาศ เพราะปากใบเป็นตัวควบคุมการเข้าออกของคาร์บอนไดออกไซด์และการคายน้ำ

Malone และคณะ (1993) พบว่าการควบคุมการผ่านเข้าออกของคาร์บอนไดออกไซด์ของปากใบ และการสูญเสียน้ำจะถูกจำกัดเนื่องจากการปิดเปิดของปากใบมากกว่าการเปลี่ยนแปลงความหนาแน่นของปากใบ แต่อย่างไรก็ตามการที่พืชมีจำนวนปากใบทั้งหมดเพิ่มขึ้นเนื่องจากการเพิ่มพื้นที่ใบ น่าจะมีผลต่อกระบวนการทางสังเคราะห์แสงของพืชมากกว่าการเปลี่ยนแปลงความหนาแน่นของปากใบ ซึ่งพบในการศึกษาที่ว่าแม้หญ้าขมจะมีความหนาแน่นของปากใบสูงกว่าหญ้าขนแต่หญ้าขมมีรูปปากใบที่มีขนาดใหญ่กว่าทั้งยังมีพื้นที่ใบสูงกว่าจึงทำให้หญ้าขมมีอัตราการสังเคราะห์แสงที่สูงกว่าหญ้าขม

เมื่อศึกษากลุ่มท่อลำเลียงในใบหญ้าทั้งสองชนิดพบว่า หญ้าขมมีท่อลำเลียงที่ล้อมรอบด้วยเซลล์บันเดิลชีท 2 ชั้น และมีคลอโรพลาสต์ภายในเซลล์บันเดิลชีทที่เรียงตัวแบบ centrifugal เช่นเดียวกับการค้นพบของ Prendergast และ Hattersley (1987) จึงจัดเป็นพืช C_4 ประเภท PCK (PEP carboxykinase) ส่วนหญ้าขมมีท่อลำเลียงที่ล้อมรอบด้วยเซลล์บันเดิลชีทเพียงชั้นเดียว และมีคลอโรพลาสต์ภายในเซลล์บันเดิลชีทที่เรียงตัวแบบ centrifugal จึงจัดเป็นพืช C_4 ประเภท NADP-ME (NADP malic enzyme) เช่นเดียวกับการค้นพบของนงลักษณ์ (2530) โดย Esau (1965) กล่าวว่าบันเดิลชีทช่วยในการเก็บก๊าซและน้ำได้ ซึ่งที่หญ้าขมมีจำนวนชั้นของบันเดิลชีทมากกว่าหญ้าขมจึงอาจเป็นสาเหตุหนึ่งที่ทำให้หญ้าขมเก็บคาร์บอนไดออกไซด์ในปริมาณที่มากกว่าทำให้มีประสิทธิภาพในการสังเคราะห์แสงสูงกว่าหญ้าขม นอกจากนี้ Hatch และคณะ (1995) ทำการศึกษาการรั่วซึมของคาร์บอนไดออกไซด์ออกจากเซลล์บันเดิลชีทในใบพืช C_4 ระหว่างที่มีการสังเคราะห์แสง พบว่าพืช C_4 พวก NADP-ME type ได้แก่ ข้าวโพด ข้าวฟ่าง มีอัตราการรั่วซึมของคาร์บอนไดออกไซด์สูงกว่าพืช C_4 พวก PCK type ได้แก่ หญ้ากีนี่ ซึ่งลักษณะการรั่วซึมเช่นนี้จะมีผลทำให้อัตราการสังเคราะห์แสงและ ϕ ลดลง จึงน่าจะเป็นอีกเหตุผลหนึ่งที่หญ้าขมมีอัตราการสังเคราะห์แสงที่สูงกว่าหญ้าขม

จากการศึกษาคลอโรฟิลล์ฟลูออเรสเซนซ์ ซึ่งพบว่าหญ้าขมเกิดความเครียดเนื่องจากสภาพแวดล้อมเช่น ความเข้มแสง อุณหภูมิ และความแห้งแล้ง ได้ง่ายกว่าหญ้าขน แม้ว่าหญ้าทั้งสองชนิดจะมีกลไกในการปรับตัวเพื่อป้องกันการสูญเสียน้ำที่เหมือนกัน ได้แก่ มีชั้นคิวติเคิลอยู่ทางผิวใบ

ด้านล่าง ซึ่งคิวติเคิลประกอบด้วยสารคิวติน (cutin) มีลักษณะคล้ายขี้ผึ้ง ใอน้ำจึงแพร่ออกทางนี้ได้ยาก และมีเซลล์บัลลิสต์ทางด้านบนของใบ เป็นเซลล์ที่มีขนาดใหญ่ผบาง และไม่มีคลอโรพลาสต์ เซลล์เหล่านี้จึงสามารถเก็บก๊าซและน้ำได้ดี (Esau, 1965) แต่หญาขนมมีขนปกคลุมใบเป็นจำนวนมาก ซึ่งมีส่วนป้องกันการสูญเสียน้ำได้ดีกว่าหญาขม ที่ใบมีขนปกคลุมเพียงเล็กน้อย อีกทั้งด้านบนใบมีความหนาแน่นของปากใบสูงกว่าหญาขมอีกด้วย ซึ่งเป็นด้านที่ใบสัมผัสแสงได้มากกว่าจึงมีโอกาสที่จะเกิดความเครียดจากปัจจัยสภาพแวดล้อมไม่เหมาะสมดังกล่าวได้สูงกว่า

ลำต้นของหญาทั้งสองชนิดมีลักษณะโครงสร้างทั่วไปที่คล้ายกันคือประกอบด้วย อีพิคอร์มิสตัดลงมาเป็นชั้นคอร์เทกซ์และกลุ่มท่อลำเลียงที่กระจายอยู่หนาแน่นในบริเวณใกล้คอร์เทกซ์ บริเวณกลางลำต้นจะเป็นกลุ่มเซลล์พาเรนาไคมาซึ่งต่อมาจะสลายตัวเกิดเป็นช่องกลวง และพบว่าลำต้นของหญาทั้งสองชนิดจะมีส่วนป้องกันการสูญเสียน้ำคือจะพบขนปกคลุมลำต้นของหญาขม และพบไขขาวอยู่ทั่วไปตามลำต้นของหญาขม

การศึกษาลักษณะทางกายวิภาคของหญาทั้งสองชนิดพบความแตกต่างที่จะมีส่วนสำคัญเกี่ยวข้องกับลักษณะทางสรีรวิทยาของพืชในการตอบสนองต่อปัจจัยสภาพแวดล้อม และมีผลต่อการเจริญเติบโตที่สำคัญ ได้แก่ ขนาดของใบ การเรียงตัวของใบ ความหนาแน่นของใบ ความยาวของรูปากใบ ท่อลำเลียงรอบเซลล์บันเดิลชีท หรือประเภทของพืช C_4 และการมีขนปกคลุมส่วนของใบและลำต้น โดยที่ลักษณะทางกายวิภาคอื่น ๆ นั้นคล้ายคลึงกัน ทำให้หญาขมมีประสิทธิภาพในการสังเคราะห์แสงและปรับตัวเองต่อปัจจัยสภาพแวดล้อมที่ไม่เหมาะสมได้ดีกว่าหญาขม

2. สรุปผลการศึกษา

การเปรียบเทียบอัตราการสังเคราะห์แสง กลอโรฟิลล์ฟลูออเรสเซนซ์ การสร้างมวลชีวภาพ และลักษณะทางกายวิภาคของหญาขมและหญาขม ซึ่งทำการทดลองตั้งแต่เดือนพฤศจิกายน พ.ศ. 2536 ถึงเดือนกุมภาพันธ์ พ.ศ. 2537 ณ สถานีวิจัยคลองหอยโข่ง คณะทรัพยากรธรรมชาติ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ ผลการทดลองสรุปได้ดังนี้

2.1 การสังเคราะห์แสง การสร้างน้ำหนักแห้ง และการตอบสนองต่อปัจจัยสภาพแวดล้อม

หญาขมจะมีอัตราการสังเคราะห์แสงสูงกว่าหญาขมทั้งจากการวัดในแปลงปลูกและในห้องปฏิบัติการ ทั้งนี้จากการศึกษาพบว่า

2.1.1 หญาขมสามารถใช้แสงเพื่อการสังเคราะห์แสงสูงสุด (A_{max}) ได้มากกว่าหญาขมคือ 600-700 เทียบกับ $400 \mu \text{ mol m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ และมี ϕ สูงกว่าคือ 0.055 เทียบกับ 0.015 $\mu \text{ mol CO}_2 \mu \text{ mol}^{-1} \text{ PPFD}$

2.1.2 หญ้าขนสามารถตรึงคาร์บอนไดออกไซด์ได้สูงกว่าหญ้าขม เนื่องจากเหตุผลความแตกต่างทางกายวิภาคข้อ 2.1.4

2.1.3 การเกิดความเครียดจากการศึกษาคลอโรฟิลล์ฟลูออเรสเซนซ์ พบว่าหญ้าขนเกิดความเครียดจากปัจจัยสภาพแวดล้อมที่ไม่เหมาะสม ได้แก่ ความเข้มแสงสูง (เกิด photoinhibition) อุณหภูมิอากาศสูง และความแห้งแล้งได้เร็วกว่าหญ้าขม

2.1.4 การศึกษาทางกายวิภาคพบว่าหญ้าขนเป็นพืช C_4 ประเภท PCK ส่วนหญ้าขมเป็นพืช C_4 ประเภท NADP-ME นอกจากนี้พบว่าขนาดของใบ การเรียงตัวของใบ ความหนาแน่นของปากใบ การมีขนปกคลุมใบและลำต้น ที่หญ้าขนมีลักษณะที่เหนือกว่าหญ้าขม

2.1.5 หญ้าขนมีการสร้างน้ำหนักแห้งสูงกว่าหญ้าขมโดยเฉลี่ย คือ 2350.1 g m^{-2} และ 1282.9 g m^{-2} ตามลำดับ และมีดัชนีพื้นที่ใบที่สูงกว่า คือ 0.42 และ 0.20 ตามลำดับ การสร้างน้ำหนักแห้งที่สูงกว่าจะสอดคล้องกับการศึกษาเรื่องการสังเคราะห์แสง ซึ่งหญ้าขนจะมีประสิทธิภาพดีกว่าหญ้าขมดังได้กล่าวมาแล้ว ทำให้สามารถสร้างน้ำหนักแห้งได้มากกว่า

2.2 เทคนิคในการศึกษา

2.2.1 การศึกษาอัตราการสังเคราะห์แสงในแปลงปลูกให้ข้อมูลที่แปรปรวนอันเนื่องมาจากความแปรปรวนของสภาพแวดล้อมต่าง ๆ ที่เกิดขึ้นอย่างต่อเนื่อง ทำให้การวัดค่าไม่แน่นอนเมื่อเทียบกับการวัดในห้องปฏิบัติการซึ่งสามารถควบคุมปัจจัยแวดล้อมได้จึงได้ค่าที่ชัดเจนกว่า และสามารถศึกษาถึงประสิทธิภาพได้แน่นอนกว่า อย่างไรก็ตามในแปลงปลูกนั้นจะชี้ให้เห็นถึงการตอบสนองของพืชในสภาพแวดล้อมที่แท้จริง และมีความสัมพันธ์กับการปรับตัวของพืชในสภาพแวดล้อมนั้น ๆ ซึ่งจะมีความสัมพันธ์กับการอยู่รอดของพืช ควรที่จะมีการศึกษาควบคู่ด้วยเสมอ

2.2.2 การตัดตัวอย่างพืชเข้ามาศึกษาในห้องปฏิบัติการ พืชจะเกิดสภาพไม่ปกติเกิดขึ้นได้ โดยเฉพาะอย่างยิ่งการสูญเสียน้ำจากลำต้น มีผลต่อการวัดที่ไม่ถูกต้องได้ ควรปล่อยให้พืชฟื้นตัวในสถานะที่เตรียมไว้ช่วงเวลาหนึ่งจึงจะทำการวัดค่าต่าง ๆ ได้ จึงต้องคำนึงถึงชนิดของหญ้าที่นำมาใช้ในการทดลองด้วย

2.2.3 ในการศึกษาการเปลี่ยนแปลงของน้ำหนักแห้งในช่วงเวลาต่าง ๆ นั้น ถ้าหากเริ่มต้นโดยการใช้พืชที่มีอายุมากเกินไปจะทำให้การประเมินอัตราการสร้างน้ำหนักแห้งและพื้นที่ใบยุ่งยากขึ้นเช่นที่พบในการศึกษาครั้งนี้ เนื่องจากการสร้างส่วนต่าง ๆ ของลำต้นใหม่กับการแก่ตายของเนื้อเยื่อจะเกิดขึ้นในเวลาเดียวกันได้

2.3 ข้อเสนอแนะ

2.3.1 เทคนิคการศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างกระบวนการทางสรีรวิทยาโดยการวัดอัตราการสังเคราะห์แสงและฟลูออเรสเซนซ์ การศึกษาอัตราการเจริญเติบโตในรูปของการสร้างน้ำหนักแห้ง และลักษณะทางกายวิภาคของพืช ในสภาพที่มีปัจจัยแวดล้อมเปลี่ยนแปลงในครั้งนี สามารถอธิบายผลการตอบสนองของพืชต่อสภาพแวดล้อมที่มีต่อการเจริญเติบโตได้ดีกว่าการวัดอย่างใดอย่างหนึ่ง อย่างไรก็ตามถ้าหากมีความต้องการศึกษาในเรื่องความสัมพันธ์เชิงปริมาณเพื่อประโยชน์ในการไปใช้สำหรับการจำลองแบบ (modelling) ควรมีการตรวจบันทึกข้อมูลปัจจัยภูมิอากาศในขณะที่วัดอย่างต่อเนื่อง (Hall et al., 1993)

2.3.2 การศึกษาน้ำหนักแห้งของพืชถ้าหากไม่ได้รวมน้ำหนักแห้งจากส่วนใต้ดิน อาจจะมีโอกาสประเมินการเจริญเติบโตไม่ถูกต้องสมบูรณ์ได้ การศึกษาครั้งนี้ได้มีการเก็บเกี่ยวน้ำหนักแห้งส่วนที่อยู่ใต้ดินด้วย แต่เนื่องจากมีความแปรปรวนของตัวเลขสูง ซึ่งอาจเกิดจากความยุ่งยากในขั้นตอนวิธีการเก็บตัวอย่าง จึงใช้เฉพาะค่าที่เก็บจากส่วนเหนือดินเท่านั้น ดังนั้นจึงควรพัฒนาวิธีการศึกษาเรื่องการเก็บตัวอย่างส่วนของพืชใต้ดินให้มีความละเอียดมากขึ้น

2.3.3 ควรมีการศึกษาในรายละเอียดเพิ่มเติมถึงความสัมพันธ์ระหว่างลักษณะทางโครงสร้างของพืช เช่นการเรียงตัวของใบ ลักษณะการรับแสง จะทำให้ทราบถึงลักษณะของทรงพุ่มพืชต่อการรับแสง ซึ่งสามารถอธิบายถึงประสิทธิภาพการสังเคราะห์แสงระหว่างชนิดของพืชได้อีกทางหนึ่ง

เอกสารอ้างอิง

- เฉลิมพล เข้มเพชร. 2526. สรีรวิทยาการผลิตพืช. เชียงใหม่ : ภาควิชาพืชไร่ คณะเกษตรศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่.
- เฉลิมพล เข้มเพชร. 2530. หญ้าและถั่วอาหารสัตว์เมืองร้อน. กรุงเทพฯ : โอเคียนสโตร์.
- เฉลิมพล เข้มเพชร. 2535. สรีรวิทยาการผลิตพืชไร่. กรุงเทพฯ : โอเคียนสโตร์.
- นงลักษณ์ เกียรติเลขากุล. 2530. การศึกษาการปรับตัวเพื่อตอบสนองต่อความเครียดน้ำของพืชชนิดต่างๆในระบบนิเวศน์ธรรมชาติ. วิทยานิพนธ์วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิทยาศาสตร์ชีวภาพ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์.
- นพรัตน์ บำรุงรักษ์. 2523. พืชกับการต่อสู้เพื่อรับแสง. ว. วิทยาศาสตร์. 34(6) : 482-487.
- นิวัติ เรืองพานิช. 2535. วิทยาศาสตร์ทุ่งหญ้า. กรุงเทพฯ : ภาควิชาอนุรักษวิทยา คณะวนศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.
- บุญญา วิไลพล. 2526. พืชอาหารสัตว์เขตร้อนและการจัดการ. ขอนแก่น : ภาควิชาสัตวศาสตร์ คณะเกษตรศาสตร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น.
- ปิ่นชัย สุขทั้งปี. 2538. ผลของธาตุอาหารพืชต่อการตั้งตัวของหญ้ามอร์ชัสที่ปลูกบนดินตะกอนน้ำท่วมของจังหวัดสงขลา. วิทยานิพนธ์วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต (เกษตรศาสตร์) สาขาวิชาพืชศาสตร์ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์.
- ประวิตร โสภโณดร. 2532. ปัญหาและแนวทางการวิจัยพืชอาหารสัตว์ในภาคใต้. การประชุม A/cc Meeting เรื่องปัญหาในการวิจัยและพัฒนาพืชอาหารสัตว์และทุ่งหญ้าเลี้ยงสัตว์ ณ สถาบันวิจัยและพัฒนา มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ บางเขน 27 มกราคม 2532.

- ประวิตร โสภโณคร. 2536. เทคนิคในการวัดการสังเคราะห์แสงของใบหญ้าขน. การประชุมทางวิชาการเรื่องเทคนิคของวิธีการทางวิทยาศาสตร์ชีวภาพ ครั้งที่ 11 ณ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ วิทยาเขตกำแพงแสน 17-19 พฤศจิกายน 2536.
- ภูวคต บุตรรัตน์. 2535. โครงสร้างภายในของพืช. กรุงเทพฯ : ไทยวัฒนาพานิช.
- สมบุญ เตชะภิญญาวัฒน์. 2536. สรีรวิทยาของพืช. พิมพ์ครั้งที่ 2. กรุงเทพฯ : ภาควิชาพฤกษศาสตร์ คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.
- สมพร คนยงค์ และวิโรจ อิมพิทักษ์. 2528. อิทธิพลของชนิดและอัตราปุ๋ยไนโตรเจนที่มีต่อหญ้าขนที่ปลูกในภาคกลางของประเทศไทย. ว. เกษตรศาสตร์(วิทย์) 19 : 32-41.
- สมพร จันทเดช. 2529. สรีรวิทยาเบื้องต้นของพืช. ปัตตานี : ภาควิชาวิทยาศาสตร์และคณิตศาสตร์ คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ วิทยาเขตปัตตานี.
- สายัณห์ ทัดศรี. 2522. หลักการทำทุ่งหญ้าเลี้ยงสัตว์. กรุงเทพฯ : ภาควิชาพืชไร่ คณะเกษตร มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.
- สุกัญญา สุวรรณระ. 2539. อัตราการสังเคราะห์แสงของใบ คลอโรฟิลล์ฟลูออเรสเซนซ์ และการเจริญเติบโตของหญ้าขน [*Brachiaria mutica* (Forsk.) Stapf]. วิทยานิพนธ์วิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์.
- สุทธิพร อนันต์สุชาติกุล. 2524. สรีรวิทยาการผลิตพืช. กรุงเทพฯ : ภาควิชาเทคโนโลยีการผลิตพืช คณะเทคโนโลยีการเกษตร สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้า วิทยาเขตเจ้าคุณทหาร ลาดกระบัง.
- สุเทพ การแจ้ง. 2529. อิทธิพลของช่วงการตัดที่มีผลต่อผลผลิต ส่วนประกอบทางพฤกษศาสตร์ และทางเคมีของหญ้าขนและถั่วเลี้ยงสัตว์ที่ปลูกร่วมกันในปีที่สอง. วิทยานิพนธ์วิทยาศาสตร์มหาบัณฑิต (เกษตรศาสตร์) สาขาวิชาพืชไร่ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

- สุวรรณย์ สวัสดิ์พานิชย์. 2525. อิทธิพลของช่วงการตัดที่มีผลต่อผลผลิต ส่วนประกอบทางพฤกษศาสตร์และทางเคมีของหญ้าขนและถั่วเลี้ยงสัตว์ที่ปลูกร่วมกัน. วิทยานิพนธ์วิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ (เกษตรศาสตร์) สาขาวิชาพืชไร่ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.
- อภิรักษ์ กำเนิดรัตน์. 2526. การสะสมน้ำหนักแห้งของพืชและดัชนีเก็บเกี่ยว. พืชศาสตร์สาส์น. 5 (5) : 1-6.
- อุแก้ว ประกอบไวทยกิจ บีเวอร์. 2531. นิเวศวิทยา. กรุงเทพฯ : ไทยวัฒนาพานิช.
- Bennett, J.M. and Albrecht, S.L. 1984. Drought and flooding effect on nitrogen fixation, water relation and diffusive resistance of soybean. *Agron. J.* 76 : 735-740.
- Berry, J.A. and Downton, W.J.S. 1982. Environmental regulation of photosynthesis. In *Photosynthesis*. (eds. Buetow, D.E., Cameron, I.L., Padilla, G.M. and Zimmerman, A.M.) Vol.II, pp. 263-343 New York : Academic Press.
- Bjorkman, O. 1981. Responses to different quantum flux densities. In *Encyclopedia of Plant Physiology, New Series*. (eds. Lange, O.L., Nobel, P.S., Osmond, C.B. and Ziegler, H.) Vol.XII, pp. 57-107 New York : Springer-Verlag.
- Bjorkman, O. and Demming, B. 1987. Photon yield of O₂ evolution and chlorophyll fluorescence characteristics at 77K among vascular plants of diverse origin. *Planta*. 170 : 489-504.
- Bjorkman, O. and Holmgren, P. 1963. Adaptability of the photosynthetic apparatus to light intensity in ecotypes from exposed and shaded habitats. *Physiol. Plant.* 16 : 889-914.
- Bogdan, A.V. 1977. *Tropical Pasture and Fodder Plants*. London : Longman.
- Bor, N.L. 1960. *The Grasses of Burma, Ceylon, India and Pakistan*. Oxford : Pergamon Press.

- Cooper, C.S. and Qualls, M. 1967. Morphology and chlorophyll content of shade and sun leaves of two legumes. *Crop Sci.* 7 : 672.
- Cure, J.D. and Acock, B. 1986. Crop responses to carbon dioxide doubling : A literature survey. *Agric. For. Meteorol.* 38 : 127-145.
- Cutter, E.G. 1971. *Plant Anatomy : Experiment and Interpretation.* London : Edward Arnold Ltd.
- Dengler, N.G., Dengler, R.E., Donnelly, P.M. and Hattersley, P.W. 1994. Quantitative leaf anatomy of C₃ and C₄ grasses (Poaceae) : Bundle sheath and mesophyll surface area relationships. *Annals of Botany.* 73 : 241-255.
- Dimond, A.E. 1966. Pressure and flow relations in vascular bundles of the tomato plant. *Plant Physiol.* 41 : 119-131.
- Ehleringer, J. and Bjorkman, O. 1977. Quantum yields for CO₂ uptake in C₃ and C₄ plants. *Plant Physiol.* 59 : 86-90.
- Esau, K. 1965. *Plant Anatomy.* New York : John Wiley.
- Flagella, Z., Pastore, D., Campanile, R.G. and Fonzo, N.D. 1994. Photochemical quenching of chlorophyll fluorescence and drought tolerance in different durum wheat (*Triticum durum*) cultivars. *J. Agric. Sci.* 122 : 183-192.
- Georgieva, K. and Yordanov, I. 1993. Temperature dependence of chlorophyll fluorescence parameters of pea seedlings. *J. Plant Physiol.* 142 : 151-155.

- Hall, D.O., Scurlock, J.M.O., Bolhar-Nordenkamp, H.R., Leegood, R.C. and Long, S.P. 1993. Photosynthesis and Production in a Changing Environment : A Field and Laboratory Manual. London : Chapman & Hall.
- Hatch, M.D., Agostino, A. and Jenkins, C.L.D. 1995. Measurement of the leakage of CO₂ from bundle-sheath cells of leaves during C₄ photosynthesis. *Plant Physiol.* 108 : 173-181.
- Humphreys, L.R. 1980. A Guide to Better Pastures for the Tropics and Sub-Tropics. 4th ed. Australia : Wright Stephenson and Co. Pty. Ltd.
- Humphreys, L.R.. 1981. Environmental Adaptation of Tropical Pasture Plants. London : Macmillan Publishers Ltd.
- Jones, J.W., Zur, B., Boote, K.J. and Hammond, L.C. 1982. Plant resistance to water flow in field soybeans. I. Non-limiting soil moisture. *Agron. J.* 74 : 92-98.
- Jung, P.K. and Scott, H.D. 1980. Leaf water potential, stomatal resistance and temperature relations in field-grown soybeans. *Agron. J.* 72 : 986-990.
- Kamnalrut, A. and Evenson, J.P. 1985. Net primary production of a native grassland in southern Thailand. In *Proceeding International Conference on Tropical Plant Ecophysiology.* (eds. Doley, D., Osmond, C.B., Wongkaew, W., Suselo, T.B., Torquebian, E. and Tijrosomo, S.S.) Bogor, Indonesia 4-6 December 1985, pp. 95-107.
- Kamnalrut, A. and Evenson, J.P. 1992. Monsoon grassland in Thailand. In *Primary Productivity of Grass Ecosystems of the Tropics and Sub-Tropics.* (eds. Long, S.P., Jones, M.B. and Roberts, M.J.) pp. 100-126 London : Chapman and Hall.

- Kihara, H. 1975. Plant genetics in relation to plant breeding research. *SBIKEN ZIHO*. 25-26 : 25-40.
- Kooten, O.V. and Snel, J.F.H. 1990. The use of chlorophyll fluorescence nomenclature in plant stress physiology. *Photosynthesis Research*. 25 : 147-150.
- Kozłowski, T.T. 1984. *Flooding and Plant Growth*. New York : Academic Press.
- Krause, O.V. and Weis, B. 1984. Review : Chlorophyll fluorescence as a tool in plant physiology and interpretation of fluorescence signals. *Photosynthesis Reserch*. 5 : 139-157.
- Krause, O.V. and Weis, E. 1991. *Chlorophyll fluorescence and photosynthesis : The basics*. *Plant Molecular Biology*. 42 : 313-349.
- Laetsch, W.M. 1974. The C₄ syndrome : A structural analysis. *Ann. Rev. Pl. Physiol*. 25 : 27.
- Leafe, E.L. 1988. Introduction-The history of improved grasslands. In *The Grass Crop-The Physiological Basis of Production*. (eds. Jones, M.B. and Lazenby, A.) pp. 1-23 New York : Chapman and Hall.
- Long, S.P., Postl, W.F. and Bolhar-Nordenkamp, H.R. 1993. Quantum yield for uptake of carbon dioxide in C₃ vascular plants of contrasting habitats and taxonomic groupings. *Planta*. 189 : 226-234.
- Ludlow, M.M. and Wilson, G.L. 1971a. Photosynthesis of tropical pasture plants I. Illuminance, carbon dioxide concentration, leaf temperature and leaf-air vapour pressure difference. *Aust. J. Biol. Sci.* 24 : 449-470.

- Ludlow, M.M. and Wilson, G.L. 1971b. Photosynthesis of tropical pasture plants II. Temperature and illuminance history. *Aust. J. Biol. Sci.* 24 : 1065-1075.
- Malone, S.R., Mayeux, H.S., Johnson, H.B. and Polley, H. Wayne. 1993. Stomatal density and aperture length in four plant species grown across a subambient CO₂ gradient. *Amer. J. Bot.* 80(12) : 1413-1418.
- Marler, T.E. and Lawton, P.D. 1994. Error in interpreting field chlorophyll fluorescence measurements : Heat gain from solar radiation. *HortScience.* 29(10) : 1172-1174.
- Mitchell, R.L. 1970. Plant growth and culture. Ames, Iowa : The Iowa State University Press.
- Muchow, R.C. and Sinclair, T.R. 1989. Epidermal conductance, stomatal density and stomatal size among genotypes of *Sorghum bicolor* (L.) Moench. *Plant, Cell and Environment* 12 : 425-431.
- Patterson, D.T. 1980. Light and temperature adaptation. In *Predicting Photosynthesis for Ecosystem Models.* (eds. Hesketh, J.D. and Jones, J.W.) Vol.I pp. 206-231 Florida : CRC Press.
- Pearson, C.H. and Jolliff, G.D. 1985. Physiological response of meadowfoam to crop water deficits. *Agron. J.* 77 : 422-426.
- Prendergast, H.D.V. and Hattersley, P.W. 1987. Australian C₄ grasses (Poaceae) : Leaf blade anatomical features in relation to C₄ acid decarboxylation types. *Aust. J. Bot.* 35 : 355-382.
- Rossi, F. 1995. Determination of peach leaf area index by radiation measurement. *J. Hort. Sci.* 70(4) : 683-689.

- Sakpob, A. 1994. Effects of environmental factors on net primary production of the tropical wet savanna grassland. Master of Science Thesis in Environmental Management, Prince of Songkla University.
- Sasaki, H., Li, Z., Tsuji, K. and Oda, M. 1994. Factors affecting the measurement of chlorophyll a fluorescence in cucumber leaves. *JARQ*. 28 : 242-246.
- Schreiber, U. and Biler, W. 1986. Rapid assessment of stress effect on plant leaves by chlorophyll fluorescence measurements. NATO workshop. Sesimbra Portugal 1985.
- Selmani, A. and Wassom, C.E. 1993. Daytime chlorophyll fluorescence measurement in field-grown maize and its genetic variability under well-watered and water-stressed conditions. *Field Crops Research*. 31 : 173-184.
- Skerman, P.J. 1990. *Tropical Grasses*. Rome : F.A.O.
- Sophanodora, P. 1989. Renovation methods and suggestion for better use of communally-managed pasture. In *Grassland and Forage Production and Utilization in Farming System of South-East Asia*. (ed. Halim, R.A.) Kuala Lumpur, 27 February -3 March, 1989.
- Sophanodora, P. 1993. Light response curve : A criteria for species selection under plantation crops. In *Forage Regional Working Group of South-East Asia*. (eds. Chen, C.P. and Satjipanon, C.) Khon Kaen, 27-30 January 1993.
- Takagit, S., Okamoto, S. and Kato, N. 1981. Effect of water stress on leaf water potential, photosynthesis and respiration in Satsuma Mandarin trees. *Bulletin of the Faculty of Agriculture. Shizuoka Univ.* 31 : 21-25.
- Weyers, J.D.B. and Meidner, H. 1990. *Methods in Stomatal Research*. London : Longman.

Whyte, R.O., Moir, T.R.G. and Cooper, J.P. 1959. Grass in Agriculture : Agricultural Studies.

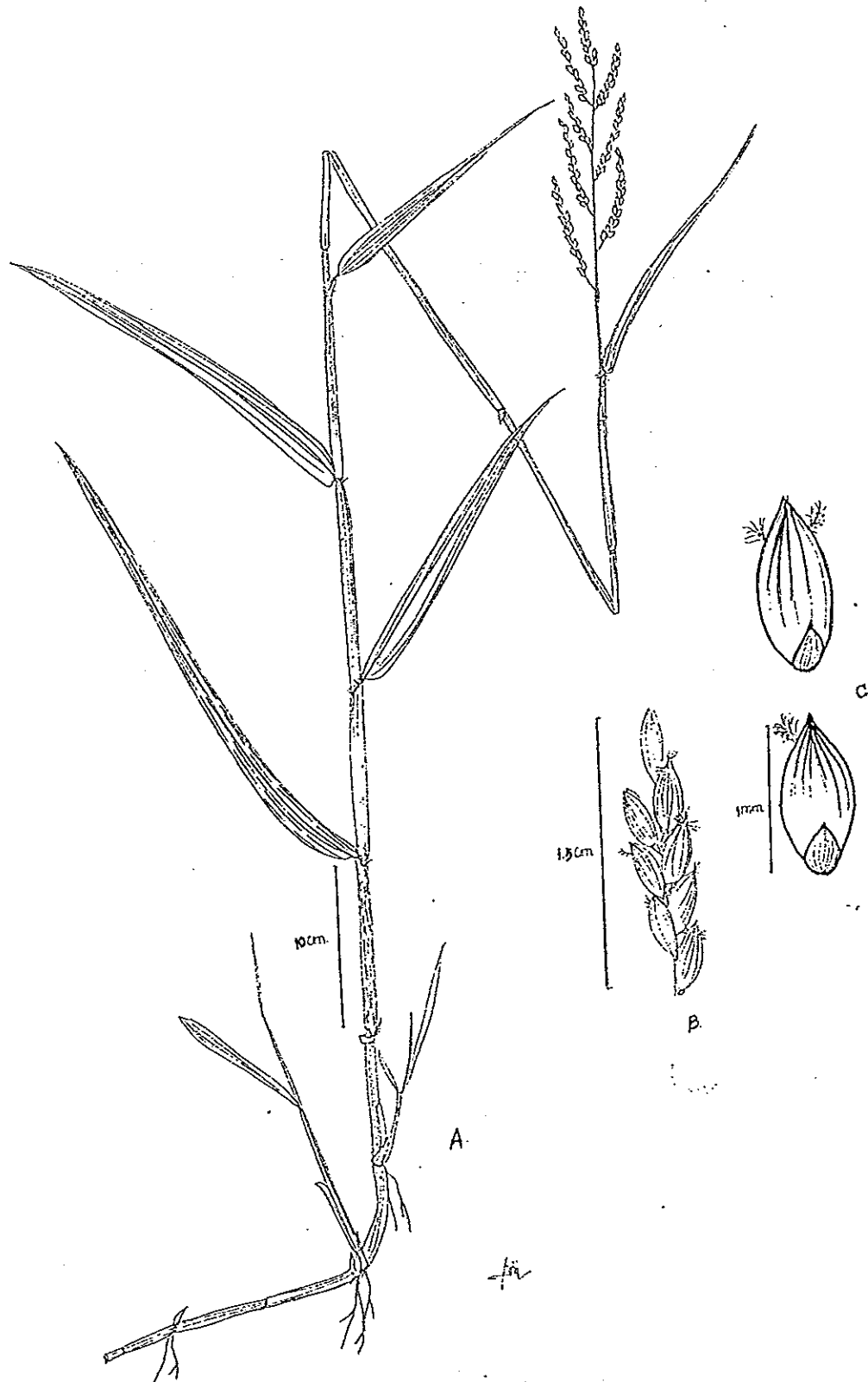
Rome : F.A.O.

Williams, C.N. and Joseph, K.T. 1976. Climate, Soil and Crop Production in the Humid

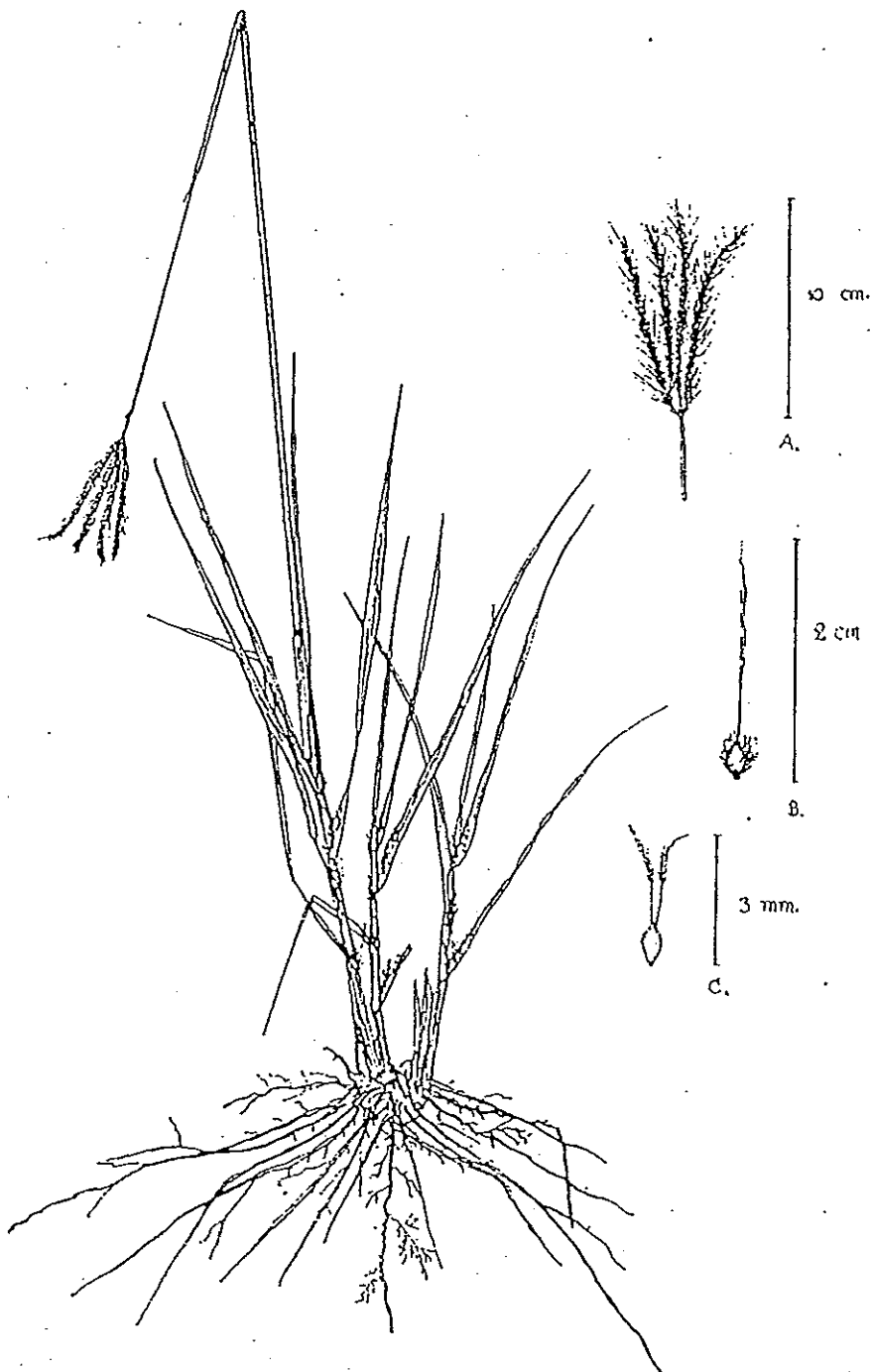
Tropics. Revised edition. Kuala Lumpur : Art Printing Works.

ภาคผนวก

ภาคผนวก ก

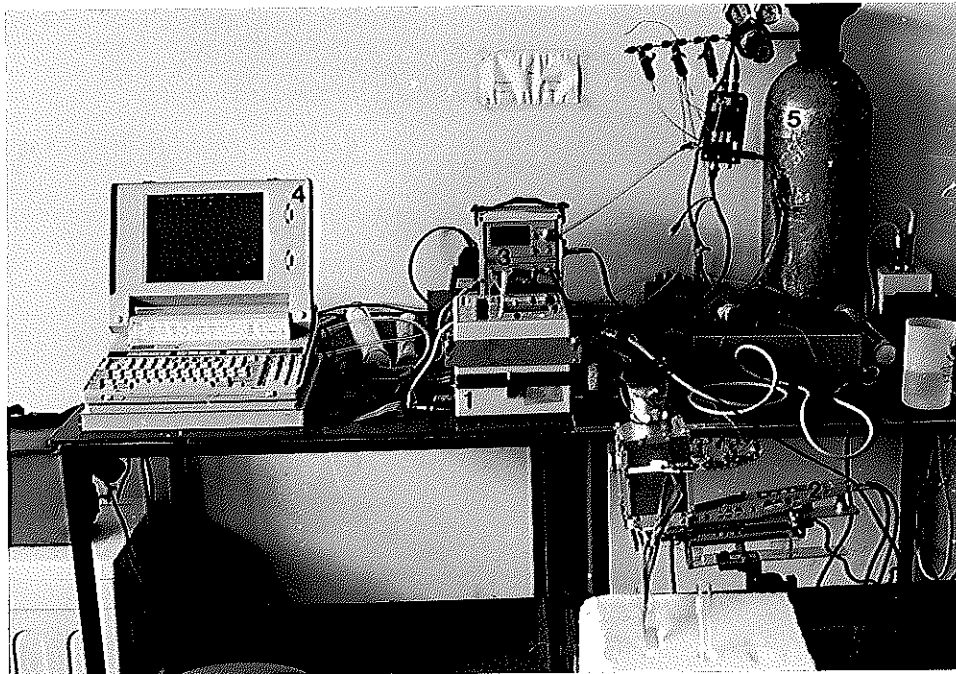


รูปที่ ก-1 หญ้าขน (*Brachairia mutica* (Forsk.) Stapf) (A), ช่อดอก (B), ดอกย่อย (C)



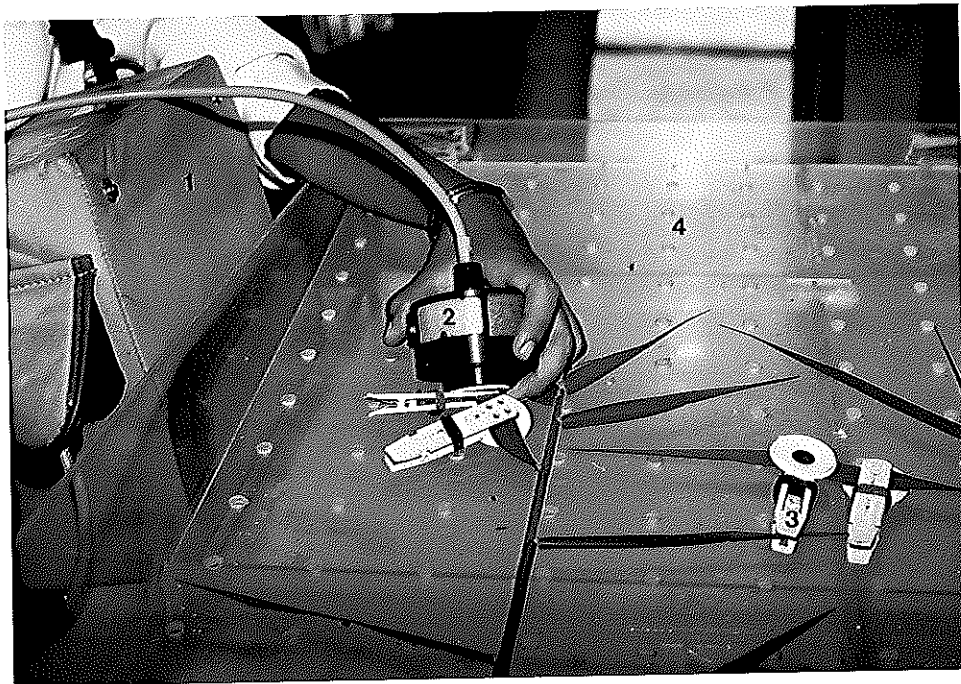
รูปที่ ก-2 หญ้าขาม (*Eulalia trispicata* (schult.) Henr.) : ช่อดอก (A), ดอกย่อย (B), เกสรตัวเมีย (C)

ภาคผนวก ข



รูปที่ ข แสดงชุดเครื่องมือวัดอัตราการสังเคราะห์แสง ซึ่งประกอบด้วย 1) IRGA 2) PLC
3) Flowmeter 4) computer 5) ถังก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์พร้อมชุดปรับปริมาณก๊าซ

ภาคผนวก ก



รูปที่ ก แสดงเครื่องมือวัดค่าคลอโรฟิลล์ฟลูออเรสเซนซ์ (Plant Efficiency Analyser ; PEA)
1) control box 2) sensor 3) leaf clip 4) ถาดพลาสติกสำหรับแช่ต้นพืชเพื่อวัดการ
ฟื้นตัว

ภาคผนวก ง

การศึกษาลักษณะทางกายวิภาคของหญ้า

ภาคผนวก ง-1 สูตรน้ำยา FAA (II) หรือ Formalin-aceto-alcohol (II)

70% ethyl alcohol 90 ml.

Glacial acetic acid 5 ml.

Formalin 5 ml.

ภาคผนวก ง-2 Dehydration โดยใช้ Tertiary butyl alcohol ซึ่งประกอบด้วย 12 ลำดับ ดังนี้

1. Water 95 ml.

95% ethyl alcohol 5 ml.

Butyl alcohol 0 ml.

2. Water 90 ml.

95% ethyl alcohol 10 ml.

Butyl alcohol 0 ml.

3. Water 80 ml.

95% ethyl alcohol 20 ml.

Butyl alcohol 0 ml.

4. Water 70 ml.

95% ethyl alcohol 30 ml.

Butyl alcohol 0 ml.

5. Water 50 ml.

95% ethyl alcohol 40 ml.

Butyl alcohol 10 ml.

6. Water 30 ml.

95% ethyl alcohol 50 ml.

Butyl alcohol 20 ml.

7. Water 15 ml.

95% ethyl alcohol 50 ml.

Butyl alcohol 35 ml.

- | | | |
|------------------------|----|-----|
| 8. Water | 5 | ml. |
| 95% ethyl alcohol | 40 | ml. |
| Butyl alcohol | 55 | ml. |
| 9. Water | 0 | ml. |
| Absolute ethyl alcohol | 25 | ml. |
| Butyl alcohol | 75 | ml. |
| 10. Pure butyl alcohol | | |
| 11. Pure butyl alcohol | | |
| 12. Butyl alcohol | 50 | ml. |
| Paraffin oil | 50 | ml. |

ภาคผนวก จ

ตารางผนวกที่ จ-1 ผลการวิเคราะห์ค่าความแปรปรวนของค่า A_{max}/Q , ϕ , A_{max}/C_i และ $\delta A/\delta C_i$
ในห้องปฏิบัติการ

SV	DF	ambient [CO ₂]		added [CO ₂]	
		A_{max}/Q	ϕ	A_{max}/C_i	$\delta A/\delta C_i$
A	1	**	**	**	**
B	3	**	**	**	NS
C	1	*	NS	*	NS
A × B	3	*	**	NS	NS
A × C	1	NS	NS	NS	NS
B × C	3	NS	NS	NS	NS
A × B × C	3	NS	NS	NS	NS
Error	32				
CV(%)		26.8	26.1	35.0	83.3

** = มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ที่ระดับความเชื่อมั่น 99 เปอร์เซ็นต์

* = มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ที่ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซ็นต์

NS = ไม่มีความแตกต่างทางสถิติ

A = ชนิดของหญ้า

B = ช่วงเดือนที่ทำการศึกษา

C = ช่วงเวลา

ตารางผนวกที่ จ-2 ผลการวิเคราะห์ความแปรปรวนของ F_v/F_m ที่วัดในแปลงปลูกและวัดที่ 24 ชั่วโมง ภายหลังจากตัดจากแปลงปลูก

SV	DF	ในแปลงปลูก	24 ชั่วโมง
A	1	**	**
B	3	**	NS
C	2	**	**
D	1	NS	NS
A × B	3	**	NS
A × C	2	**	NS
A × D	1	NS	NS
B × C	6	**	NS
B × D	3	**	NS
C × D	2	NS	NS
A × B × C	6	*	NS
A × B × D	3	NS	NS
A × C × D	2	NS	NS
B × C × D	6	NS	NS
A × B × C × D	6	NS	NS
Error	192		
CV(%)		5.6	6.5

** = มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญยิ่งทางสถิติ ที่ระดับความเชื่อมั่น 99 เปอร์เซ็นต์

* = มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ที่ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซ็นต์

NS = ไม่มีความแตกต่างทางสถิติ

A = ชนิดของหญ้า

B = ช่วงเดือนที่ทำการศึกษา

C = ช่วงเวลา

D = ด้านของใบ

ตารางผนวกที่ จ-3 ผลการวิเคราะห์ความแปรปรวนของน้ำหนักแห้ง ($g\ m^{-2}$) และค่า LAI

SV	DF	น้ำหนักแห้ง	LAI
A	1	**	**
B	3	NS	**
A × B	3	NS	NS
Error	56		
CV(%)		35	63

** = มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญยิ่งทางสถิติ ที่ระดับความเชื่อมั่น 99 เปอร์เซ็นต์

NS = ไม่มีความแตกต่างทางสถิติ

A = ชนิดของหญ้า

B = ช่วงเดือนที่ทำการศึกษา

ตารางผนวกที่ จ-4 ผลการวิเคราะห์ความแปรปรวนของความหนาแน่นของปากใบ (ต่อตารางมิลลิเมตร) และความยาวของรูปปากใบ (μm)

SV	DF	ความหนาแน่นของปากใบ	ความยาวของรูปปากใบ
A	1	**	**
B	1	**	**
A × B	1	NS	NS
Error	36		
CV (%)		22.3	8.7

** = มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญยิ่งทางสถิติ ที่ระดับความเชื่อมั่น 99 เปอร์เซ็นต์

NS = ไม่มีความแตกต่างทางสถิติ

A = ชนิดของหญ้า

B = ด้านของใบ

ประวัติผู้เขียน

ชื่อ นางสาวศศิธร พุทธรัถย์

วัน เดือน ปีเกิด 11 มกราคม 2515

วุฒิการศึกษา

วุฒิ	ชื่อสถาบัน	ปีที่สำเร็จการศึกษา
วิทยาศาสตรบัณฑิต	มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ	2536
วิชาเอกชีววิทยา	ภาคใต้	

ทุนการศึกษา

ทุนสำนักงานพัฒนาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งชาติ (สวทช.)

ผลงาน

1. ศศิธร พุทธรัถย์, สุกัญญา สุวรรณระ, อภินันท์ กำเนิดรัตน์, ประวิตร โสภโณคร และ ทวีศักดิ์ สักคีนิมิต. 2537. "อัตราการสังเคราะห์แสงของใบหญ้าขนที่มีอายุต่างกัน." (ภาคโปสเตอร์) การประชุมวิชาการวิทยาศาสตร์แห่งประเทศไทย ครั้งที่ 20 (วทท 20) วันที่ 19-21 ตุลาคม 2537 ณ โรงแรมเซ็นทรัล พลาซ่า กรุงเทพมหานคร.
2. ศศิธร พุทธรัถย์, สุกัญญา สุวรรณระ, อภินันท์ กำเนิดรัตน์, ประวิตร โสภโณคร และ ทวีศักดิ์ สักคีนิมิต. 2537. "การเปรียบเทียบ Chlorophyll Fluorescence ระหว่างหญ้าขน [*Eulalia trispicata* (Schult.) Henr.] กับหญ้าขน [*Brachiaria mutica* (Forsk.) Stapf]." (ภาคโปสเตอร์) การประชุมวิชาการวิทยาศาสตร์ เทคโนโลยีสิ่งแวดล้อมเพื่อการพัฒนาชนบท วันที่ 21-23 ธันวาคม 2537 ณ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ วิทยาเขตกำแพงแสน จ. นครปฐม.