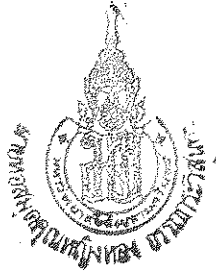


อัตราการสังเคราะห์แสงของใบ คลอโรฟิลล์ฟลูออเรสเซนซ์  
และการเจริญเติบโตของหญ้าขน [*Brachiaria mutica* (Forsk.) Stapf]  
Leaf Photosynthetic Rate, Chlorophyll Fluorescence and Growth  
of Para Grass [*Brachiaria mutica* (Forsk.) Stapf]



สุกัญญา สุวรรณระ  
Sukanya Suwannara

๗

เลขที่	OK 495.678	ส.ย.2	2539	8.2
Order Key	28941			
Bib Key	117756			
	1.9.ก.ค. 2543			

วิทยานิพนธ์วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาวิทยาศาสตร์ชีวภาพ  
มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์  
Master of Science Thesis in Biological Science  
Prince of Songkla University

2539





Thesis Title            Leaf Photosynthetic Rate, Chlorophyll Fluorescence and Growth of  
                                 Para Grass [*Brachiaria mutica* (Forsk.)Stapf].

Author                    Miss. Sukanya Suwannara

Major Program         Biological Science

Academic Year         1996

### Abstract

Field and laboratory studies had been conducted at Klong Hoi Khong research station, Faculty of Natural Resources, PSU Hat Yai during March - June, 1994.

Investigations were made to measure leaf photosynthetic rate in response to light intensity of para grass [*Brachiaria mutica* (Forsk.)Stapf] from different leaf positions at 2, 4, 6, 8, 10, and 12 week after cutting. It was found that maximum leaf photosynthetic rate of the grass at 2 weeks after cutting was higher than the other periods measured in both field and laboratory. The 5<sup>th</sup> leaf measured in the field and the 1<sup>st</sup> leaf measured in the laboratory exhibited the highest rate of photosynthesis. This difference was accounted for different availability of water and air temperature favoured for leaf growth and function. Leaf photosynthesis was higher in response to increase CO<sub>2</sub> concentration of which the 1<sup>st</sup> leaf was the highest among the other leaf position. The rate of photosynthesis as well as rubisco enzyme activity were successively decreased as the age of plant increased.

Chlorophyll fluorescence was investigated by measuring Fv/Fm in the field and laboratory to observe time of recovery at 0.5, 1, 2, 3, 4, 5 and 24 hours after samples being cut from the field. It was found that the grass was under stress when exposed to high light intensity expressing photoinhibition. Such stress consequently reduced photosynthetic and growth rates.

Performance of growth analysis revealed that fluctuation of environmental conditions obviously affected RGR, LAR, NAR, CGR and LAI especially when the grass was subjected to stress caused primarily by high light intensity, high temperature and drought.

## กิตติกรรมประกาศ

ผู้เขียนขอกราบขอบพระคุณเป็นอย่างยิ่งต่อ ผศ.ดร. อภินันท์ กำเนิดรัตน์ ประธานกรรมการที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ ผศ.ดร. ประวิตร โสภโณคร ผศ. ทวีศักดิ์ ศักดิ์นิมิต กรรมการที่ปรึกษา ที่กรุณาให้คำปรึกษาและแนะนำในการศึกษาวิจัย การเขียนและการตรวจแก้ไขวิทยานิพนธ์จนสำเร็จสมบูรณ์ และขอขอบคุณ ผศ.เยาวลักษณ์ จิตรภักดี รศ.ดร. ประเสริฐ ชิตพงศ์ ที่ให้คำแนะนำและตรวจแก้ไขวิทยานิพนธ์ให้เสร็จสมบูรณ์ยิ่งขึ้น

ขอขอบคุณบัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ ที่ให้ทุนสนับสนุนการทำวิทยานิพนธ์ในครั้งนี้

ขอขอบคุณโครงการทุ่งหญ้าไทย-ออสเตรีย (Thai-Austrian Grassland Project) ที่กรุณาให้ความอนุเคราะห์เครื่องมือสำหรับในการทำวิจัยครั้งนี้

ขอขอบคุณคุณณัฐพล จันทร์สว่าง คุณศศิธร พุทธิรักษ์ พร้อมทั้งเจ้าหน้าที่สถานีวิจัยคลองหอยโข่ง คณะทรัพยากรธรรมชาติ เจ้าหน้าที่ห้องปฏิบัติการต่าง ๆ ที่ให้ความอนุเคราะห์และช่วยเหลือในการทำงานวิจัยครั้งนี้

ขอขอบคุณคุณเป็ยชาติ ปลื้มภิรมย์นาฎ ที่ให้คำแนะนำในการใช้โปรแกรมคอมพิวเตอร์คำนวณ เขียนกราฟ และพิมพ์ พร้อมทั้งเอื้อเฟื้อเครื่องคอมพิวเตอร์ในการทำงานวิจัย

และที่สำคัญผู้เขียนขอกราบขอบพระคุณ “คุณพ่อ คุณแม่ และน้องชาย” ที่ได้เป็นกำลังใจที่ดีเยี่ยมและสนับสนุนช่วยเหลือทั้งกำลังกายกำลังใจจนสำเร็จการศึกษา

ศุภัญญา สุวรรณระ

## สารบัญ

หน้า

บทคัดย่อ.....	(3)
Abstract.....	(4)
กิตติกรรมประกาศ.....	(5)
สารบัญ.....	(6)
รายการตาราง.....	(7)
รายการภาพ.....	(8)
บทที่	
1. บทนำ.....	1
บทนำตอนเรื่อง.....	1
การตรวจเอกสาร.....	2
วัตถุประสงค์.....	19
2. วิธีการวิจัย.....	20
ขอบเขตการศึกษา.....	20
วัสดุ.....	21
อุปกรณ์.....	21
วิธีการ.....	22
3. ผล.....	28
4. วิเคราะห์และสรุปผล.....	57
บรรณานุกรม.....	68
ภาคผนวก.....	75
ประวัติผู้เขียน.....	78

รายการตาราง

ตารางที่	หน้า
1	ค่าเฉลี่ยของอัตราการสังเคราะห์แสงสูงสุด ( $\mu\text{molCO}_2\text{m}^{-2}\text{s}^{-1}$ ) ที่ ความเข้มแสงประมาณ $600 \mu\text{molm}^{-2}\text{s}^{-1}$ ของใบหญ้าขนจากแปลง หญ้าที่มีอายุ 2, 4, 6, 8, 10 และ 12 สัปดาห์หลังการตัด..... 34
2	ค่า quantum yield ( $\text{molCO}_2\text{mol}^{-1}\text{PPFD}$ ) และ quantum requirement ของใบหญ้าขนจากต้นในแปลงหญ้าที่อายุ 2-12 สัปดาห์หลังการตัด..... 37
3	ค่าเฉลี่ยของอัตราการสังเคราะห์แสงสูงสุด ( $\mu\text{molCO}_2\text{m}^{-2}\text{s}^{-1}$ ) ที่ ความเข้มแสงประมาณ $600 \mu\text{molm}^{-2}\text{s}^{-1}$ ของใบหญ้าขนแต่ละช่วง อายุที่ตัดมาศึกษาในห้องปฏิบัติการ..... 40
4	ค่า quantum yield ( $\text{molCO}_2\text{mol}^{-1}\text{PPFD}$ ) และ quantum requirement ของใบหญ้าขนจากต้นในแปลงหญ้าที่อายุ 2-12 สัปดาห์หลังการตัด ที่ทดลองในห้องปฏิบัติการ..... 43
5	rubisco activity ( $\text{molm}^{-2}\text{s}^{-1}$ ) ของใบหญ้าขนจากต้นที่มีอายุ 2-12 สัปดาห์..... 48
6	ค่า Fv/Fm เฉลี่ยของหญ้าขนที่มีอายุ 2-12 สัปดาห์หลังการตัด..... 51

รายการภาพ

ภาพที่	หน้า
1	Light response curve..... 9
2	A/Ci response curve..... 12
3	กลไกการปลดปล่อยพลังงานในส่วนที่ไม่ถูกใช้ในกระบวนการสังเคราะห์แสงโดยวิธีต่าง ๆ ..... 14
4	ลักษณะของ Kautsky curve..... 15
5	ชุดเครื่องมือวัดอัตราการสังเคราะห์แสง ซึ่งประกอบด้วย 1) IRGA 2) PLC 3) Flow meter 4) Computer 5) ถังก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์พร้อมชุดปรับปริมาณก๊าซ..... 24
6	เครื่องมือวัดค่าคลอโรฟิลล์ฟลูออเรสเซนซ์ (Plant Efficiency Analyser; PEA) ประกอบด้วย 1) control box 2) sensor 3) leaf clip 4) กล่องพลาสติกสำหรับแช่ต้นพืชเพื่อวัดการฟื้นตัว.....25
7	(ก-จ) แสดง ก) ความเร็วลมเฉลี่ย ข)เปอร์เซ็นต์ความชื้นสัมพัทธ์ของอากาศเฉลี่ย ค) อุณหภูมิดินเฉลี่ย ง) ปริมาณน้ำฝน และ จ) ปริมาณแสงเฉลี่ย ฉ) อุณหภูมิอากาศระหว่างการทดลองในเดือนมีนาคมถึงเดือนพฤษภาคม 2537..... 29
8	(ก-ฉ) แสดง light response curve ของอัตราการสังเคราะห์แสง ( $\text{CO}_2$ assimilation rate; $\mu\text{molCO}_2\text{m}^{-2}\text{s}^{-1}$ ) ต่อปริมาณแสง (PPFD; $\mu\text{molm}^{-2}\text{s}^{-1}$ ) ของใบหญ้าขนตำแหน่งที่ 1-5 จากต้นหญ้าขนที่มีอายุ ก) 2 สัปดาห์ ข) 4 สัปดาห์ ค) 6 สัปดาห์ ง) 8 สัปดาห์ จ) 10 สัปดาห์ ฉ) 12 สัปดาห์ ในสภาพแปลงหญ้า ..... 32
9	แสดงอัตราการสังเคราะห์แสงสูงสุด ( $\mu\text{molCO}_2\text{m}^{-2}\text{s}^{-1}$ ) ที่ความเข้มแสงประมาณ $600 \mu\text{molm}^{-2}\text{s}^{-1}$ ของใบหญ้าขนจากแปลงทดลองที่มีอายุ 2, 4, 6, 8, 10 และ 12 สัปดาห์หลังการตัด..... 33
10	แสดง quantum yield ( $\text{molCO}_2\text{m}^{-2}\text{s}^{-1}$ PPFD) ของใบหญ้าขนจากต้นในแปลงทดลองที่อายุ 2-12 สัปดาห์หลังการตัด โดยคำนวณจาก initial slope ของ LRC..... 36



รายการภาพ (ต่อ)

ภาพที่	หน้า
11 (ก-ฉ) แสดง light response curve ของอัตราการสังเคราะห์แสง (CO <sub>2</sub> assimilation rate; $\mu\text{molCO}_2\text{m}^{-2}\text{s}^{-1}$ ) ต่อปริมาณแสง (PPFD; $\mu\text{molm}^{-2}\text{s}^{-1}$ ) ของใบหญ้าขนตำแหน่งที่ 1-5 จากต้นหญ้าขนที่มีอายุ ก) 2 สัปดาห์ ข) 4 สัปดาห์ ค) 6 สัปดาห์ ง) 8 สัปดาห์ จ) 10 สัปดาห์ ฉ) 12 สัปดาห์ ในสภาพการทดลองในห้องปฏิบัติการ.....	39
12 แสดง quantum yield ( $\text{molCO}_2\text{m}^{-2}\text{s}^{-1}\text{PPFD}$ ) ของใบหญ้าขนจากต้นพืช อายุ 2-12 สัปดาห์หลังการตัด โดยคำนวณจาก initial slope ของ LRC ที่ทดลองในห้องปฏิบัติการ.....	42
13 (ก-ฉ) แสดง A/Ci response curve ของอัตราการสังเคราะห์แสง (CO <sub>2</sub> assimilation rate; $\mu\text{molCO}_2\text{m}^{-2}\text{s}^{-1}$ ) ต่อปริมาณคาร์บอนไดออกไซด์ ภายนอกใบพืช (Ci; $\mu\text{molmol}^{-1}$ ) ของใบหญ้าขนตำแหน่งที่ 1-5 จากต้นหญ้าขนที่มีอายุ ก) 2 สัปดาห์ ข) 4 สัปดาห์ ค) 6 สัปดาห์ ง) 8 สัปดาห์ จ) 10 สัปดาห์ ฉ) 12 สัปดาห์ ในสภาพการทดลองในห้องปฏิบัติการ.....	46
14 แสดง rubisco activity ( $\text{molm}^{-2}\text{s}^{-1}$ ) ของใบหญ้าขนจากต้นที่มีอายุ 2-12 สัปดาห์ โดยคำนวณจาก initial slope ของความสัมพันธ์ระหว่าง ความเข้มข้นของคาร์บอนไดออกไซด์กับอัตราการสังเคราะห์แสง.....	47
15 (ก-ข) แสดงค่า Fv/Fm เฉลี่ยของใบหญ้าขนตำแหน่งที่ 1-5 ทั้ง ก) ด้านบนใบ (upper) ข) ด้านล่างใบ (lower) จากต้นที่มีอายุ 2-12 สัปดาห์.....	50
16 (ก-ข) แสดงการฟื้นตัวของค่า Fv/Fm เฉลี่ยของหญ้าขน ก) ด้านบนใบ (upper) ข) ด้านล่างใบ (lower) จากต้นที่มีอายุ 2-12 สัปดาห์.....	53
17 (ก-ค) แสดง ก) การสะสมน้ำหนักแห้ง ข) LAI ค) RGR ง) LAR จ) NAR ฉ) CGR ของหญ้าขนจากอายุ 0-12 สัปดาห์.....	56

## บทที่ 1

### บทนำ

#### บทนำคนเรื่อง

พืชอาหารสัตว์มีความสำคัญต่อการเลี้ยงสัตว์ในปัจจุบันนี้มาก สัตว์มีความต้องการพืชอาหารสัตว์ที่มีคุณภาพและปริมาณเพียงพอ ดังนั้นจึงจำเป็นต้องหาพืชอาหารสัตว์ที่สามารถปรับตัวได้ในสภาพแวดล้อมที่มีการเลี้ยงสัตว์แต่ละแห่งเพื่อเป็นการเพิ่มผลผลิตของพืชอาหารสัตว์ ปัจจุบันนี้หน่วยงานของรัฐได้นำพันธุ์พืชอาหารสัตว์เช่น หญ้ารูซี่ หญ้าขน หญ้ากินนี ถั่วลาย เป็นต้น ไปส่งเสริมในรูปของการปลูกสร้างทุ่งหญ้าสาธารณะ และการปลูกใช้เองตามพื้นที่ของเกษตรกร (ประวิตร, 2532) โดยมีวัตถุประสงค์ที่ต้องการให้เกษตรกรได้มีโอกาสปรับปรุงคุณภาพของพืชอาหารสัตว์แทนหญ้าธรรมชาติที่มีผลผลิตและคุณภาพอยู่ในเกณฑ์ต่ำ อย่างไรก็ตามการทดสอบในเรื่องระดับการปรับตัวของพืชอาหารสัตว์ต่อสภาพแวดล้อมของแต่ละพื้นที่เพื่อเป็นข้อมูลขั้นพื้นฐานที่จะใช้สำหรับพัฒนาและปรับปรุง โดยเฉพาะอย่างยิ่งในภาคใต้นั้นค่อนข้างจะมีน้อย

หญ้าขน [*Brachiaria mutica* (Forsk.) Stapf] เป็นพืชอาหารสัตว์ที่พบว่ามีปลูกแพร่หลายในทุกภาคของประเทศไทย ทั้งนี้อาจจะเนื่องมาจากหญ้าขนสามารถปรับตัวได้ดีและขยายพันธุ์ได้ง่ายโดยใช้ส่วนของลำต้นอีกทั้งให้ผลผลิตสูงและมีคุณภาพดี (Bogdan, 1977) ในภาคใต้ได้มีการนำหญ้าขนมาปลูกเป็นพืชอาหารสัตว์ตั้งแต่เมื่อไรนั้นยังไม่มีหลักฐานปรากฏแน่ชัด แต่พบว่ามีปลูกในพื้นที่ที่ค่อนข้างจะมีความชุ่มชื้นในดินสูงพอ เช่นในพื้นที่ที่ราบต่ำ สำหรับสาเหตุของการที่หญ้าขนสามารถเจริญเติบโตและปรับตัวในสภาพแวดล้อมดังกล่าวนี้ยังไม่มีการศึกษา โดยเฉพาะอย่างยิ่งการศึกษาที่เกี่ยวข้องกับสรีรวิทยาของพืชในการตอบสนองต่อปัจจัยสภาพแวดล้อมที่พืชชนิดนี้ขึ้นอยู่

การศึกษาในระดับสรีรวิทยาของพืชที่สำคัญได้แก่ กระบวนการสังเคราะห์แสงของพืช ซึ่งเป็นกระบวนการพื้นฐานที่พืชสร้างอาหารเพื่อการเจริญเติบโต และมีความสัมพันธ์กับสภาพแวดล้อมต่าง ๆ ได้แก่ แสง อุณหภูมิ ความชื้น ความอุดมสมบูรณ์ของดิน ที่ผลของการศึกษาจะเป็นข้อมูลสำคัญที่ทำให้เข้าใจกลไกการเจริญเติบโตของพืชต่อสภาพแวดล้อมนั้น ๆ แต่เนื่องจากการศึกษาในเรื่องนี้น้อยมาก ดังนั้นความสำคัญของเทคนิคในการทดสอบเพื่อให้ได้ข้อมูลที่ถูกต้องในเชิงวิชาการจึงนับว่ามีความจำเป็น

ในการทดลองนี้ทำการศึกษากระบวนการทางสรีรวิทยาต่างๆ ของหญ้าขนได้แก่ การสังเคราะห์แสง คลอโรฟิลล์ฟลูออเรสเซนซ์ และการสร้างน้ำหนักรากของหญ้าขน เพื่อเป็นข้อมูล

เบื้องต้นของการศึกษาเกี่ยวกับสรีรนิเวศวิทยาและใช้เป็นประโยชน์ในการพัฒนาและปรับปรุงการผลิตพืชอาหารสัตว์ในโอกาสต่อไป

### การตรวจเอกสาร

ในประเทศไทยสภาพการเลี้ยงสัตว์ เช่น โค กระบือ ดำเนินการโดยเกษตรกรรายย่อยและมักไม่มีการปลูกหญ้าหรือถั่วอาหารสัตว์ (บุญฤา, 2536) ยังคงใช้ทุ่งหญ้าธรรมชาติและเศษพืชเป็นอาหารซึ่งมีคุณค่าทางอาหารต่ำ ทำให้เกิดปัญหาต่อการเลี้ยงสัตว์ (วัลลภ และประวิตร, 2524) ดังนั้นจึงมีความจำเป็นอย่างยิ่งที่นักวิชาการที่เกี่ยวข้องควรจะทำให้ความสนใจที่จะปรับปรุง ส่งเสริม และวิจัยเกี่ยวกับพืชอาหารสัตว์เพื่อเป็นประโยชน์แก่เกษตรกรต่อไป

#### 1.1 พืชอาหารสัตว์

พืชอาหารสัตว์ (forage crops) หมายถึงพืชชนิดใด ๆ ก็ตามที่ใช้เป็นอาหารสัตว์ ส่วนมากเป็นพืชตระกูลหญ้า (Poaceae หรือ Gramineae) และพืชตระกูลถั่ว (Fabaceae หรือ Leguminosae) พืชอาหารสัตว์อาจแยกตามลักษณะของการปลูกได้เป็น pasture crops และ fodder crops ซึ่ง pasture crops หมายถึงหญ้าและถั่วพืชอาหารสัตว์ที่เหมาะสมสำหรับปลูกเพื่อใช้เป็นอาหารสัตว์ถาวร ส่วน fodder crops หมายถึงหญ้าและถั่วอาหารสัตว์ที่เหมาะสมสำหรับปลูกเพื่อเป็นอาหารสัตว์ในช่วงเวลาใดเวลาหนึ่ง เพื่อขจัดปัญหาการขาดแคลนพืชอาหารสัตว์ (บุญฤา, 2536)

ชนิดของพืชอาหารสัตว์ แบ่งออกได้ดังนี้ (วัลลภ และประวิตร, 2524)

1. พืชอาหารสัตว์เขตหนาว (Temperate forage crops) หมายถึง หญ้าและถั่วที่เจริญเติบโตในสภาพอากาศหนาว เช่น ryegrass, fescue
  2. พืชอาหารสัตว์เขตร้อน (Tropical forage crops) หมายถึงพืชอาหารสัตว์ที่เจริญเติบโตได้ดีในสภาพอากาศร้อน ได้แก่ หญ้าเนเปียร์ หญ้าขน หญ้ากินนี หญ้าแพรง เป็นต้น
- หญ้าเขตร้อนจะมีความสามารถให้ผลผลิตสูงกว่าหญ้าเขตหนาวมากแต่หญ้าเขตร้อนจะมีคุณค่าทางอาหารต่ำกว่าหญ้าเขตหนาวคือ มีปริมาณโปรตีนต่ำกว่า มีปริมาณลิกนินสูงกว่า จึงทำให้หญ้าเขตร้อนมีความน่ากิน (palatability) ต่ำกว่าด้วย

ความสำคัญของพืชอาหารสัตว์

พืชอาหารสัตว์มีบทบาทสำคัญต่อการเกษตร เศรษฐกิจและความเป็นอยู่ของมนุษย์ พืชอาหารสัตว์นอกจากจะใช้เป็นอาหารเลี้ยงสัตว์ซึ่งเป็นแหล่งอาหารโปรตีนแล้ว ยังมีบทบาทในการปรับปรุงดิน สภาพแวดล้อม การป้องกันสภาพมลภาวะ และเพิ่มประสิทธิภาพการใช้ทรัพยากรธรรมชาติให้สูงขึ้น อาจกล่าวได้ว่าพืชอาหารสัตว์มีประโยชน์หลายประการเช่น

1. พืชอาหารสัตว์ในทุ่งหญ้าเลี้ยงสัตว์ ทำให้มีธาตุอาหารต่าง ๆ หมุนเวียนในระบบตลอดเวลา ซึ่งช่วยประหยัดปุ๋ยในการเพาะปลูกและลดต้นทุนการผลิตได้มาก จึงทำให้เป็นแหล่งอาหารสัตว์ที่มีราคาถูกที่สุด
2. พืชอาหารสัตว์ เป็นพืชที่ให้ผลผลิตน้ำหนักแห้งต่อหน่วยพื้นที่สูง ไม่ว่าจะเป็นค่านโภชนะที่ย่อยได้ทั้งหมดและปริมาณโปรตีน โดยเฉพาะเมื่อมีถั่วอาหารสัตว์ร่วมด้วย
3. พืชอาหารสัตว์ สามารถเจริญเติบโตได้ในที่ซึ่งพืชอื่นไม่สามารถเจริญได้ เนื่องจากสภาพภูมิประเทศและดินไม่ดี
4. พืชอาหารสัตว์ ถ้ามีการจัดการที่ดีและถูกต้อง สามารถใช้เป็นอาหารเลี้ยงสัตว์ได้นาน โดยไม่ต้องมีการปลูกสร้างใหม่

สภาพพื้นที่ของสถานีทดลองหอยโข่ง ซึ่งมีลักษณะที่เป็นบริเวณน้ำท่วมขัง ดินเป็นกรดจัดถึงจัดมาก และดินมีความสามารถในการดูดซับธาตุอาหารต่ำ (กรมพัฒนาที่ดิน, 2530) ซึ่งไม่เหมาะสมต่อการทำการเกษตรแต่อาจจะมีศักยภาพในการปลูกพืชอาหารสัตว์ได้ หญ้าขนเป็นพืชอาหารสัตว์ชนิดหนึ่งที่ขยายพันธุ์ได้ง่าย ให้ผลผลิตสูงและมีคุณภาพดี นิยมใช้ในการเลี้ยงสัตว์ นำที่จะมีการปรับตัวในสภาพแวดล้อมดังกล่าวได้ดี จึงเป็นพืชที่น่าสนใจในการที่จะศึกษาสรุปรณีวิทยาของพืชชนิดนี้ เพื่อที่จะได้นำข้อมูลมาใช้ในการจัดการการปลูกพืชอาหารสัตว์ต่อไป

## 1.2 หญ้าขน

หญ้าขนมีชื่อวิทยาศาสตร์ว่า *Brachiaria mutica* (Forsk.) Stapf มีชื่อพ้อง (synonym) อื่นอีก เช่น *Panicum muticum* Forsk., *P. purpurascens* Raddi., *P. barbinode* Trin (Whyte et al., 1959) หญ้าขนมีชื่อสามัญหลายชื่อ เช่น Mauritius grass (South Africa) Para grass (Africa, Australia, USA) Angola grass, Capin angola (Brazil), Parana (Cuba), Egipto (Mexico), Penhalonga grass (Madagascar) และชื่อสามัญในภาษาไทยว่า หญ้าขน หรือหญ้ามอริซัส

หญ้าขนเป็นพืชใบเลี้ยงเดี่ยว (monocot) อยู่ใน Family Gramineae หรือ Poaceae อยู่ใน Subfamily Panicoideae, Tribe Paniceae (วิภาวี, 2526) หญ้าขนเป็นพืชพื้นเมืองของทวีปแอฟริกา (Pearsons, 1972) ได้ถูกนำเข้าไปในอเมริกาใต้โดยเหตุบังเอิญ และต่อมามีการนำเข้าในประเทศไทยบราซิลประมาณปี ค.ศ. 1820 เนื่องจากหญ้าขนเป็นหญ้าที่โตเร็ว ปลูกและขยายพันธุ์ได้ง่ายด้วยส่วนของลำต้น ดังนั้นจึงพบหญ้านี้แพร่กระจายทั่วไปในเขตร้อนของอเมริกาใต้ รวมทั้งเขตร้อนส่วนอื่นของโลก หญ้าขนถูกนำเข้ามาในประเทศไทยโดย นายอาร์ ที โจนส์ ที่ปรึกษาฝ่ายสัตวแพทย์ของกรมปศุสัตว์ เมื่อปี พ.ศ. 2472 โดยนำมาจากประเทศมาเลเซียพร้อมด้วยหญ้านินิและหญ้านเนเปียร์ (สายัณห์, 2522)

หญ้าขนเป็นหญ้าประเภทข้ามปี ขณะที่ออกดอกอาจมีความสูงถึง 1-2 เมตร ลำต้นจะเอนทอดนอนไปตามหน้าดิน และมีรากเกิดตามข้ออย่างรวดเร็ว ทำให้หญ้าสามารถคลุมหน้าดินได้หนาแน่น ใบเรียบ แต่ในบางโอกาสอาจมีขนอยู่บ้าง ใบมีลักษณะเรียวยาว หรือคล้ายหอกมีความยาว 10-30 เซนติเมตร กว้าง 8-20 เซนติเมตร ช่อดอกแบบ panicle ประกอบด้วยช่อดอกย่อยเป็นแบบ raceme ที่อยู่เดี่ยวหรือเป็นคู่หรืออยู่รวมกันหลายอัน spikelet จะเรียงกันอยู่ 2 แถว แต่ละ spikelet มีความยาว 3-4 มิลลิเมตร และจะมีสีเหลืองเมื่อแก่ (เฉลิมพล, 2535ข)

การปลูกหญ้าขนใช้ส่วนของลำต้นที่มีข้อ 2-3 ข้อ ซึ่งยาวประมาณ 20-23 เซนติเมตร ระยะปลูก 60-90 เซนติเมตรหรือจะใช้เมล็ดในอัตรา 1.1-2.2 กิโลกรัมต่อเฮกตาร์ (220-240 กรัมต่อไร่) อย่างไรก็ตามการใช้เมล็ดปลูกไม่นิยมปฏิบัติเพราะเมล็ดมีเปอร์เซ็นต์การงอกต่ำ (สายัณห์, 2522) หลังจากการปลูกอาจมีปัญหาเรื่องวัชพืชบ้าง แต่เมื่อหญ้าตั้งตัวแล้วปัญหานี้จะหมดไป Robert (1970) รายงานว่า ไมยราบ (*Mimosa pudica*) เป็นวัชพืชชนิดหนึ่งที่หญ้าขนไม่สามารถแก่งแย่งเอาชนะได้

หญ้าขนปลูกร่วมกับถั่วเขตร้อนได้หลายชนิดเช่น ในบริเวณที่มีการระบายน้ำดีสามารถปลูกร่วมกับ ถั่วเซนโตรซีมา (*Centrosema pubescens*) สะไตโล (*Stylosanthes guianensis*) และเพอโร (*Pueraria phasecoloides*) ส่วนในบริเวณที่ชื้นและสามารถปลูกร่วมกับ ถั่วฝัก หรือถั่วขาว (*Macroptilium lathyroides*) และกรีนลิฟแคสโมเดียม (*Desmodium intortum*) ได้ (สายัณห์, 2522) ในการปลูกจะปลูกถั่วดังกล่าวไว้เป็นแถว ๆ ก่อนประมาณ 2-3 เดือนแล้วจึงปลูกหญ้าลงระหว่างแถวถั่วนั้น (เฉลิมพล, 2535)

หญ้าขนไม่เหมาะจะทำหญ้าแห้งเพราะมีความชื้นสูง และไม่ทนแล้ง สายัณห์ (2522) อ้างถึงชาอุซัย (2519)ว่า สายพันธุ์ของหญ้าขนในเมืองไทยขึ้นได้ดีในที่ดอนหรือแม่แต่ดินโพนพิสัยซึ่งมีลูกรังปนอยู่ชั้นล่างก็ขึ้นได้ดี หญ้าขนเมื่อปลูกเรียบร้อยและเจริญเติบโตแล้วสามารถนำสัตว์เข้าแทะเล็มได้ 2.5 ตัวต่อเฮกตาร์ (0.4 ตัวต่อไร่) แต่หญ้าขนไม่ทนทานต่อการแทะเล็มของสัตว์

ความสูงและระยะเวลาของการตัด เป็นปัจจัยหนึ่งที่มีผลต่อผลผลิตของหญ้า การตัดต่ำมีแนวโน้มให้ผลผลิตสูงกว่า เสรีและงามชื่น (2509) รายงานว่าหญ้าขนที่ตัดสูงจากพื้น 12.5 เซนติเมตรจะให้ผลผลิตต่ำกว่าหญ้าที่ตัดสูงจากพื้นดิน 2.5, 5.0 และ 7.5 เซนติเมตร เฉลิมพล (2535ข) ได้กล่าวถึงการจัดการด้านความสูงและความถี่ของการตัดหญ้าขนภายใต้สภาพของจังหวัดเชียงใหม่พบว่า การตัดที่ความสูง 5, 15 และ 30 เซนติเมตรจากผิวดินได้ผลผลิตของน้ำหนักแห้งไม่แตกต่างกัน แต่การตัดทุก ๆ 8 สัปดาห์ให้ผลผลิตน้ำหนักแห้งรวมสูงกว่าการตัดทุก ๆ 6 และ 4 สัปดาห์ ตลอดระยะเวลาการทดลอง 48 สัปดาห์ แต่การตัดทุก ๆ 6 สัปดาห์ ให้ผลผลิตรวมของโปรตีนต่อเฮกตาร์สูงที่สุด นอกเหนือจากการจัดการเรื่องการตัดแล้วพบว่า ปุ๋ยไนโตรเจนนับเป็นปัจจัยหนึ่งที่มีอิทธิพลต่อผลผลิตและโปรตีนของหญ้า เฉลิมพล (2535ข) อ้างถึงการทดลองของ Rai และคณะ (1966)

รายงานจากการทดลองในประเทศอินเดียว่าการใส่ปุ๋ยไนโตรเจนในอัตรา 100 กิโลกรัมต่อเฮกตาร์ จะเพิ่มผลผลิตและโปรตีน 42.9% และ 233 % ตามลำดับ เกลิมพล (2535ข) ให้ข้อสังเกตว่าหญ้าขนนอกจากจะตอบสนองต่อปุ๋ยไนโตรเจนแล้วยังตอบสนองต่อปุ๋ยโพตัสเซียมอีกด้วย

บินชัย (2538) ศึกษาการตั้งตัวของหญ้าขน ที่ปลูกบนดินตะกอนน้ำท่วมของจังหวัดสงขลา สรุปได้ว่า ดินดังกล่าวมีข้อจำกัดคือ มีความอุดมสมบูรณ์ต่ำ ดังนั้นในการปลูกหญ้าขนบนดินตะกอนน้ำท่วมจำเป็นต้องแก้ไขข้อจำกัดด้วยการใส่ปุ๋ยไนโตรเจนในอัตราปุ๋ยไนโตรเจน 200 กิโลกรัมไนโตรเจนต่อเฮกตาร์ และปุ๋ยฟอสฟอรัส 200 กิโลกรัมต่อเฮกตาร์

ผลผลิตของหญ้าขนมีความแปรผันมากตั้งแต่ 9-135 ตัน (น้ำหนักสด) หรือ 3-39 ตัน (น้ำหนักแห้ง) ต่อเฮกตาร์ ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับการจัดการและสภาพแวดล้อม (เกลิมพล, 2535ข) มีรายงานของประเทศเปอร์โตริโก (Vasquez, 1965) ว่า ภายใต้การชลประทานและใส่ปุ๋ยไนโตรเจนในอัตรา 450 กิโลกรัมต่อเฮกตาร์ พบว่าหญ้าขนให้ผลผลิตน้ำหนักแห้งถึง 39 ตันต่อเฮกตาร์ นับว่าเป็นผลผลิตของหญ้าขนที่สูงสุดเท่าที่มีรายงาน

ในภาคใต้มีการปลูกหญ้าขนเพื่อใช้เป็นอาหารสัตว์กันพอสมควร โดยเฉพาะอย่างยิ่งในจังหวัดพัทลุง มีการปลูกสร้างแปลงหญ้าชนิดต่าง ๆ ได้แก่ แปลงหญ้ารูซี่ 255 ไร่ แปลงหญ้าขน 661.5 ไร่ และแปลงหญ้าอื่น ๆ 308 ไร่ รวมแปลงหญ้าทั้งหมด 1624.5 ไร่ สำหรับแปลงหญ้าขนมีการปลูก 40.7% ของจำนวนแปลงหญ้าทั้งหมด (สำนักงานปศุสัตว์จังหวัดพัทลุง, 2538)

### 1.3 การสังเคราะห์แสง (Photosynthesis)

การสังเคราะห์แสงเป็นกระบวนการเปลี่ยนพลังงานรังสีดวงอาทิตย์มาเป็นพลังงานทางชีวเคมี ในรูปของแป้งและน้ำตาล ความสำคัญของการสังเคราะห์แสงอยู่ที่การสังเคราะห์จากสารประกอบที่มีพลังงานน้อยได้แก่น้ำและคาร์บอนไดออกไซด์มาเป็นสารประกอบคาร์บอนที่มีพลังงานสูงจำพวกน้ำตาลและแป้ง และพลังงานที่อยู่ในสารประกอบคาร์บอนนี้จะถูกนำไปใช้ในกระบวนการต่าง ๆ ของพืช โดยผ่านการหายใจ (respiration) (นิวัติ, 2535) การสังเคราะห์แสงจัดเป็นกระบวนการ reduction ของคาร์บอนไดออกไซด์ ดังนั้นจึงสามารถวัดการสังเคราะห์แสงได้โดยวัดจากอัตราการแลกเปลี่ยนก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ระหว่างบรรยากาศกับใบพืช

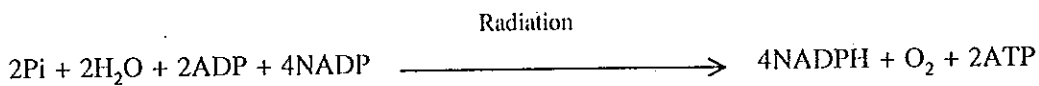
การสังเคราะห์แสงของพืชประกอบด้วย 3 ขั้นตอน คือ (อภิสิทธิ์ และคณะ, 2535)

1. การแพร่ของคาร์บอนไดออกไซด์ (carbondioxide diffusion; Pn) เป็นกระบวนการแพร่ของคาร์บอนไดออกไซด์จากอากาศบริเวณรอบผิวใบไปยังศูนย์กลางการสังเคราะห์แสง อัตราการแพร่ของคาร์บอนไดออกไซด์ขึ้นอยู่กับความแตกต่างของความเข้มข้นของคาร์บอนไดออกไซด์ในอากาศกับในคลอโรพลาสต์ และแรงต้าน (resistance) ต่าง ๆ ที่จะเกิดขึ้นในระหว่างทางที่

คาร์บอนไดออกไซด์แพร่ไป ซึ่งอาจแยกออกเป็นแรงต้านที่สำคัญคือ แรงต้านของอากาศ ( $r_a$ ) แรงต้านของปากใบ ( $r_s$ ) แรงต้านของเนื้อเยื่อชั้นมีโซฟิล ( $r_m$ ) ความสัมพันธ์สรุปได้ดังสมการ (เกลิมพล, 2535ก)

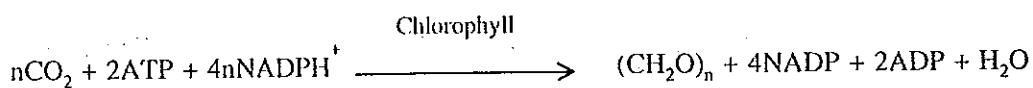
$$P_n = \frac{[CO_2]_{air} - [CO_2]_{Chloroplast}}{r_a + r_s + r_m}$$

2. การเปลี่ยนพลังงานรังสีดวงอาทิตย์เป็นพลังงานชีวเคมีในพืช (light reaction) ในกระบวนการนี้มีปฏิกิริยาออกซิเดชันของน้ำเกิดขึ้นพร้อมกันไป ทำให้ได้ทั้งพลังงานชีวเคมีและออกซิเจน



ในกระบวนการนี้พลังงานรังสีดวงอาทิตย์เป็นปัจจัยหลัก จึงมักเรียกว่าเป็นปฏิกิริยาแสง (light reaction) ปฏิกิริยาแสงเกิดขึ้นในไทลาคอยด์ของคลอโรพลาสต์ กระบวนการนี้ใช้พลังงานจากรังสีดวงอาทิตย์ในการแตกตัวของน้ำเรียกว่า โฟโตลิซิส หรือโฟโตออกซิเดชัน ได้ไฮโดรเจนไอออน อิเล็กตรอน และออกซิเจน นอกจากนี้จะได้สารพลังงานคือ ATP และ NADPH ซึ่งจะถูกนำไปใช้ในปฏิกิริยาชีวเคมีในกลไกที่สาม (สมบูรณ์, 2536)

3. ชีวเคมีในการตรึงคาร์บอนไดออกไซด์ (biochemical process หรือ  $CO_2$  fixation) เป็นกระบวนการที่ Rubisco ริ้วคาร์บอนไดออกไซด์ให้ไปเป็นน้ำตาล หรือคาร์โบไฮเดรต โดยใช้พลังงานเคมี ATP และ NADPH ดังสมการ



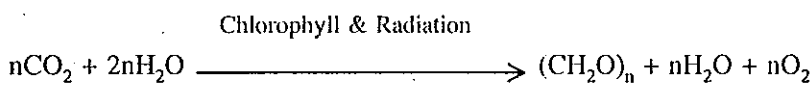
กระบวนการนี้ไม่ต้องใช้แสงจึงมักเรียกว่าเป็นปฏิกิริยามืด (dark reaction) ปฏิกิริยามืดจะทำการสังเคราะห์น้ำตาลจากคาร์บอนไดออกไซด์โดยไม่ใช้แสงโดยตรง แต่ใช้ผลผลิตจากปฏิกิริยาแสง คือพลังงานในรูป NADPH และ ATP ปฏิกิริยามืดนี้เกิดขึ้นในสโตรมาของคลอโรพลาสต์ และมีวิถีที่แตกต่างกันไปตามรูปแบบของการตรึงคาร์บอนไดออกไซด์ ซึ่งทำให้สามารถแบ่งพืชออกเป็นกลุ่มพืช  $C_3$ ,  $C_4$  และ CAM

พืช  $C_3$  เป็นพืชที่ตรึงคาร์บอนไดออกไซด์จากอากาศรวมตัวกับ ribulose-1,5-bis-phosphate (RuBP) โดยใช้เอนไซม์ RuBP carboxylase แล้วแตกตัวให้ 3-phosphoglyceric acid (3-PGA) ซึ่งเป็นสารที่มีคาร์บอน 3 อะตอม จากนั้น 3-PGA จะเปลี่ยนเป็นสารประกอบอื่น ๆ ต่อไปจนถึง ribulose-1,5-bis-phosphate ในที่สุด พืชพวกนี้ได้แก่ ถั่วเหลือง ยาสูบ และพืชเขตอบอุ่นส่วนใหญ่

พืช  $C_4$  ส่วนใหญ่เป็นพืชเขตร้อน พืชกลุ่มนี้มีโครงสร้างทางกายภาพเป็นแบบ Kranz anatomy ซึ่งหมายถึงว่ามีเซลล์ bundle sheath (เซลล์ล้อมรอบท่อลำเลียง) ที่มีคลอโรพลาสต์อยู่ด้วย ดังนั้นพืชกลุ่มนี้มีการตรึงคาร์บอนไดออกไซด์ถึง 2 ครั้ง ครั้งแรกเกิดขึ้นในเซลล์มีโซฟิลล์ของใบโดยการคาร์บอนไดออกไซด์จะเข้าทำปฏิกิริยากับ phosphoenol pyruvate (PEP) โดยอาศัยกิจกรรมของเอนไซม์ PEP carboxylase ได้สารประกอบที่มีคาร์บอน 4 อะตอม (malate, aspartate และ oxaloacetate) จึงเรียกว่าพืช  $C_4$  สารประกอบนี้จะถูกส่งไปในเซลล์ bundle sheath และถูกเปลี่ยนเป็น pyruvate และ  $CO_2$  เพื่อใช้ในวัฏจักรคัลวินต่อไป พืชพวกนี้ได้แก่ อ้อย ข้าวโพด ข้าวฟ่าง และพืชตระกูลหญ้าเขตร้อน

พืชกลุ่ม CAM (Crassulacean Acid Metabolism-pathway) เป็นพืชที่ขึ้นได้ในที่แห้งแล้งได้แก่ พืชทะเลทรายและพืชอวบน้ำ มีการตรึงคาร์บอนไดออกไซด์เพื่อสร้างเป็นสารประกอบคาร์บอนในรูปกรดอินทรีย์ในเวลากลางคืนเช่น กรดมาลิก แล้วในตอนกลางวันจะปลดปล่อย คาร์บอนไดออกไซด์นี้ให้แก่วัฏจักรคัลวินในเซลล์มีโซฟิลล์เพื่อสร้างน้ำตาล

กระบวนการสังเคราะห์แสงของพืชสรุปเป็นสมการเคมีได้ดังนี้



ในทางปฏิบัติการวัดอัตราการสังเคราะห์แสงของพืช (photosynthetic rate) สามารถทำได้โดยการวัดอัตราการแลกเปลี่ยนคาร์บอนไดออกไซด์ระหว่างใบพืชหรือกลุ่มพืชกับบรรยากาศรอบๆพืช ดังนั้นจึงอาจเรียกว่าอัตราการแลกเปลี่ยนคาร์บอนไดออกไซด์ (Carbondioxide Exchange Rate; CER) หรือ  $CO_2$  assimilation rate แทนการเรียกว่าอัตราการสังเคราะห์แสง

ปัจจัยที่มีผลต่อการสังเคราะห์แสง

แบ่งออกเป็น 2 กลุ่มคือปัจจัยเกี่ยวกับพืชและปัจจัยเกี่ยวกับสิ่งแวดล้อม

1. ปัจจัยเกี่ยวกับพืช หมายถึงชนิดของพืช สภาพทางสรีรวิทยาของพืช สภาพทางพันธุกรรม ตลอดจนอายุหรือช่วงวงชีวิตของพืช (สมบุญ, 2535) และอายุของใบ (leaf age) จะเกี่ยวข้องกับความสามารถในการสังเคราะห์แสงด้วยแต่ทั้งนี้ก็ขึ้นอยู่กับสภาพแวดล้อม (Jones and Lazenby, 1988)

หน้าที่จัดเป็นพืช  $C_4$  ซึ่งโครงสร้างของใบ จะเรียกว่า Kranz anatomy (Gardner et al., 1985) โดยจะมีคลอโรพลาสต์ ทั้งใน mesophyll cells และใน bundle sheath cells ดังนั้นในการ



สังเคราะห์แสงของพืช  $C_4$  จึงเกิดขึ้นทั้งใน mesophyll cells และใน bundle sheath cells ในขณะที่พืช  $C_3$  เกิดขึ้นใน mesophyll cells เพียงอย่างเดียว

พูนพิภพและคณะ (2536) ได้ศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างใบและอัตราการสังเคราะห์แสงสุทธิของใบมันสำปะหลัง 3 พันธุ์พบว่า อัตราการสังเคราะห์แสงสุทธิสูงสุด ( $P_{max}$ ) ลดลงเมื่อตำแหน่งใบเพิ่มขึ้น เมื่อเปรียบเทียบระหว่างตำแหน่งใบในทั้ง 3 พันธุ์ พบว่า  $P_{max}$  เฉลี่ยของใบตำแหน่ง 1 ถึงตำแหน่ง 6 ของทุกพันธุ์ไม่แตกต่างกัน แต่แตกต่างจาก  $P_{max}$  เฉลี่ยของใบตำแหน่งที่ 8, 10, และ 12 อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ

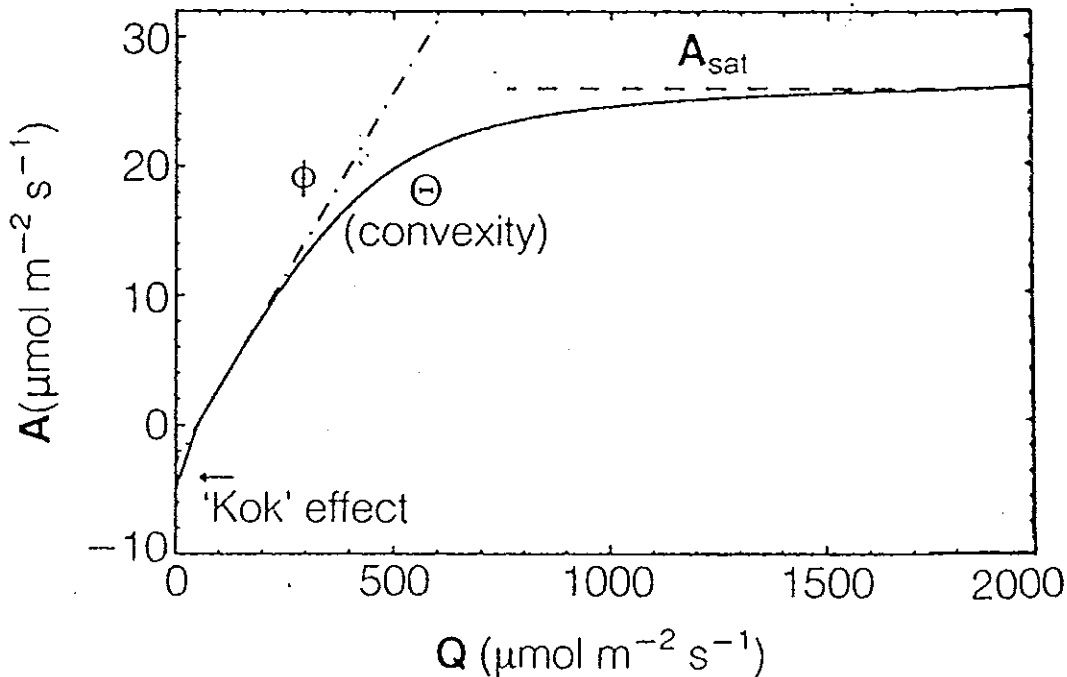
พื้นที่ใบก็มีความสำคัญต่อการสังเคราะห์แสงคือถ้ามีใบมากหรือมีเนื้อที่พื้นผิวมาก ปริมาณการสังเคราะห์แสงของพืชก็มากไปด้วย ปกติอัตราการสังเคราะห์น้ำตาเฉลี่ยอยู่ระหว่าง 0.8-1.8 กรัมต่อชั่วโมงต่อเนื้อที่พื้นผิวใบหนึ่งตารางเมตร ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับชนิดพืช พื้นที่ใบจึงมีความสำคัญในเรื่องของผลผลิตทุ่งหญ้า (นิวัตติ, 2535)

## 2. ปัจจัยเกี่ยวกับสิ่งแวดล้อมได้แก่

### 2.1 แสง

แสงเป็นแหล่งพลังงานของพืชที่ใช้ในการสังเคราะห์แสง จากการศึกษาที่ผ่านมารายงานว่า แสงได้ถูกใช้ในการสังเคราะห์แสงโดยเฉลี่ย 1-5 % ของแสงทั้งหมดที่ส่องมายังต้นพืชเท่านั้น หรือ 3-10% ในขณะที่ leaf area index เหมาะสม (เฉลิมพล, 2535ก)

การตอบสนองของอัตราการสังเคราะห์แสง ( $CO_2$  assimilation rate; A) ต่อปริมาณแสง (quanta; Q) จะเป็นไปดังภาพที่ 1 เรียกว่า light response curve ความสัมพันธ์ของ A กับ Q มีลักษณะเป็น curvilinear ประกอบด้วยระยะต่าง ๆ ดังนี้ เริ่มจากในสภาพมืดจะมีเฉพาะการหายใจ ค่า A จะติดลบ แต่เมื่อ Q เพิ่มขึ้นค่า A จะค่อยเพิ่มขึ้นจนถึงจุดที่ A เท่ากับ 0 เรียกว่า light compensation point โดยก่อนถึงจุดนี้อาจพบ Kok effect ซึ่งเกิดจากการเพิ่มขึ้นของ A อย่างรวดเร็วเมื่อ Q เพิ่ม และเมื่อเกินจากจุดนี้แล้ว A จะตอบสนองต่อ Q แบบเส้นตรง ในช่วงระหว่าง Q เท่ากับ 50-200  $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$  ค่า slope ของความสัมพันธ์ระหว่าง A กับ Q คือ quantum yield ( $\phi$ ) ของการสังเคราะห์แสงเมื่อ Q เกินจากจุดนี้แล้วการตอบสนองของ A จะเป็นในแนวโค้ง ( $\theta$  convexity) จนกระทั่งถึงบริเวณที่อัตราการสังเคราะห์แสงอิ่มตัว (A saturated) หรือเรียกแสงตรงนั้นว่า light saturated point ส่วนอัตราการสังเคราะห์แสงเรียกว่า  $A_{sat}$  สำหรับค่า quantum yield ( $\phi$ ) จะหมายถึงจำนวนโมลของคาร์บอนไดออกไซด์ที่ถูกตรึงโดยใบพืชต่อหนึ่งโมลของแสงที่ตกลงบนใบพืช (Hall et al., 1993) ซึ่งบอกถึงประสิทธิภาพในการใช้แสงของพืชนั้น



ภาพที่ 1 แสดง Light response curve (Hall et al., 1993)

โดยทั่วไปการสังเคราะห์แสงจะเพิ่มขึ้นตามความเข้มของแสงที่เพิ่มขึ้นแต่พืชก็มีขีดจำกัดในการรับแสงได้ เช่น ในเขตเมืองหนาว A จะถึงจุดอิ่มตัวด้วยแสงที่ความเข้มของแสงประมาณ 15,000-20,000 lux ในขณะที่หญ้าเขตร้อนมีจุดอิ่มตัวด้วยแสง (light saturation point) สูงกว่าพวกหญ้าเขตหนาว (เกลิมพล, 2535ก)

Sophanodora (1993) ได้ศึกษา light response curve ของหญ้าอาหารสัตว์ 4 ชนิดคือ *Brachiaria mutica*, *B. humidicola*, *Panicum maximum* cv Hamil และ *P. maximum* cv TD58 ซึ่งเป็นพืช  $C_4$  กับ *Stenotaphrum secundatum* ซึ่งเป็นพืช  $C_3$  ในห้องปฏิบัติการ ผลการทดลองแสดงให้เห็นว่าหญ้า *Brachiaria* ทั้ง 2 ชนิด มีค่า quantum yield สูงกว่าหญากลุ่ม *Panicum* โดยที่ *B. mutica* มีค่า  $A_{sat}$  เป็น  $25.56 \mu\text{molCO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$  ซึ่งสูงกว่า *B. humidicola* และสูงกว่าหญ้าชนิดอื่น ๆ นอกจากนี้ light response curve ของ *Brachiaria* ทั้งสองชนิดมีจุดอิ่มตัวแสงที่มากกว่า  $600 \mu\text{molPPFDm}^{-2} \text{ s}^{-1}$  (PPFD หมายถึง Photosynthetically Photon Flux Density) เมื่อเปรียบเทียบกับผลการทดลองในทุ่ง ซึ่งเป็นพืช  $C_3$  Intieri และคณะ (1995) รายงานว่าใบของทุ่ง จะมีจุดอิ่มตัวที่แสงประมาณ  $400 \mu\text{molPPFDm}^{-2} \text{ s}^{-1}$

## 2.2 อุณหภูมิ

ในปฏิกิริยามีผลของกระบวนการสังเคราะห์แสงขึ้นอยู่กับการทำงานของเอนไซม์ซึ่งมักจะตอบสนองต่อการเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิอย่างมาก โดยทั่วไปพืชแต่ละชนิดมีช่วงอุณหภูมิที่เหมาะสมในการสังเคราะห์แสงที่ต่างกันตั้งแต่ 5-40 องศาเซลเซียส ในสภาพอุณหภูมิสูง พืช  $C_4$  จะมีการสังเคราะห์แสงดีกว่าพืช  $C_3$  (สมบุญ, 2536) พืช  $C_3$  จะมีอัตราการสังเคราะห์แสงได้สูงสุดในช่วงอุณหภูมิ 10-25 องศาเซลเซียส ส่วนพืช  $C_4$  จะมีอัตราการสังเคราะห์แสงได้สูงสุดในช่วงอุณหภูมิ 30-45 องศาเซลเซียส (อารมย์, 2525)

นอกจากนี้อุณหภูมียังจะมีบทบาทต่ออัตราการหายใจด้วยคือ อัตราการหายใจของใบพืชจะสูงขึ้นเมื่ออุณหภูมิสูงขึ้น ดังนั้นหากอุณหภูมิสูงเกินช่วงอุณหภูมิที่เหมาะสมต่อการสังเคราะห์แสงจะทำให้อัตราการหายใจมีมากกว่าอัตราการสังเคราะห์แสงส่งผลให้อัตราการสังเคราะห์แสงสุทธิ (net photosynthesis) ลดลง (เฉลิมพล, 2535ก)

หญ้าเขตร้อนจะเจริญเติบโตได้ดีภายใต้สภาพที่มีอุณหภูมิสูงกว่าพวกหญ้าเขตหนาวกล่าวคือ อุณหภูมิที่เหมาะสมแก่การเจริญเติบโตของหญ้าเขตร้อนอยู่ระหว่าง 30-35 องศาเซลเซียส แต่สำหรับหญ้าเขตหนาวจะอยู่ระหว่าง 20-25 องศาเซลเซียส มีรายงานจากรัฐควีนส์แลนด์เกี่ยวกับการมีชีวิตอยู่ของหญ้าบางชนิด (Jones, 1969) ว่าที่อุณหภูมิ -10 องศาเซลเซียส หญ้ากินนี่ (*Panicum maximum*) จะมีชีวิตอยู่รอดได้เพียง 0-6 % เท่านั้นในขณะที่พันธุ์กึ่งร้อนเช่นหญ้า *Paspalum dilatatum* และหญ้าไคญู (*Pennisetum clandestinum*) มีชีวิตอยู่รอด 100% ส่วนหญ้าซีทาเรีย (*Setaria anceps*) จะมีชีวิตรอด 23-90 % ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับสายพันธุ์ของหญ้าแต่ละชนิด (เฉลิมพล, 2535ข)

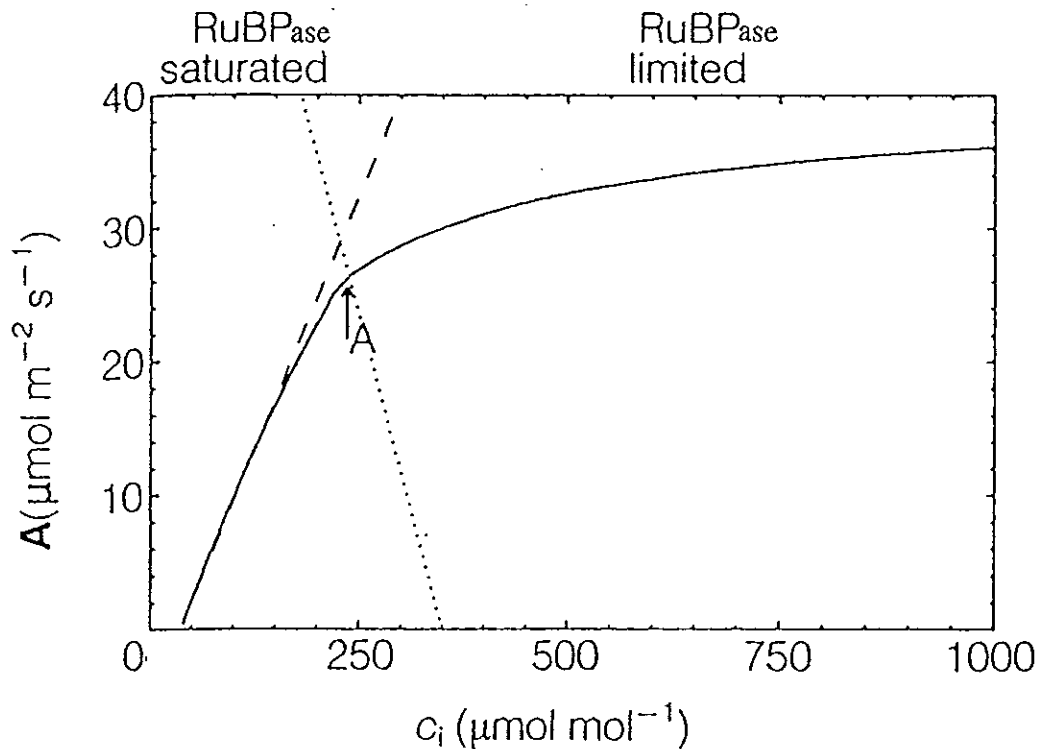
Christie และ Detling (1982) รายงานว่าที่อุณหภูมิกลางวันต่อกลางคืนประมาณ 30/15 องศาเซลเซียส หญ้า *Bouteloua curtipendula* ซึ่งเป็นพืช  $C_4$  จะมีอัตราการสังเคราะห์แสงมากกว่า *Agropyron smithii* ซึ่งเป็นหญ้ายุ่มพืช  $C_3$

จะเห็นได้ว่า ความเข้มของแสงและอุณหภูมิเป็นปัจจัยจำกัดอัตราการสังเคราะห์แสงและประสิทธิภาพในการสังเคราะห์แสงของพืช และพืชแต่ละชนิดมีระดับอุณหภูมิและความเข้มของแสงเหมาะสมที่สุดในการสังเคราะห์แสงต่างกัน พืชในเขตอบอุ่นมีระดับที่เหมาะสมของปัจจัยดังกล่าวต่ำกว่าพืชในเขตร้อน ถึงแม้ว่าความเข้มของแสงต่ำ ๆ มักจะจำกัดอัตราการสังเคราะห์แสงของพืชส่วนใหญ่ แต่ถ้าพืชได้รับแสงที่มีความเข้มแสงสูงเป็นระยะเวลาสั้น กระบวนการสังเคราะห์แสงก็อาจหยุดได้เช่นเดียวกัน (อุแก้ว, 2531) ทั้งนี้เพราะเกิดสภาวะ photoinhibition ซึ่งปริมาณแสงที่มากเกินไปนี้จะทำให้การทำงานของรงควัตถุที่เกี่ยวข้องกับการสังเคราะห์แสงผิดปกติไป ส่งผลกระทบถึงระบบศูนย์กลางการสังเคราะห์แสง (Krause and Weis, 1991)

### 2.3 การบ่งชี้คาร์บอนไดออกไซด์

ในการสังเคราะห์แสงนั้น การบ่งชี้คาร์บอนไดออกไซด์ในบรรยากาศแพร่ผ่านเข้าสู่พืชทางปากใบ ผ่านช่องว่างระหว่างเซลล์เข้าสู่ผนังเซลล์มีโซฟิลล์ ไซโตพลาสซึมและคลอโรพลาสต์ในที่สุด อัตราการแพร่ผ่านนี้ขึ้นอยู่กับผลต่างของความเข้มข้นของคาร์บอนไดออกไซด์ในบรรยากาศและในใบพืช เราอาจวัดความสามารถของคลอโรพลาสต์ในการที่จะลดความเข้มข้นของคาร์บอนไดออกไซด์ในใบ หรือใช้คาร์บอนไดออกไซด์ในการสังเคราะห์แสงได้ โดยการหาค่าจุดทดแทนคาร์บอนไดออกไซด์ ( $\text{CO}_2$  compensation point) ซึ่งหมายถึง สภาพสมดุลเมื่อปริมาณคาร์บอนไดออกไซด์ที่พืชปล่อยออกมาเนื่องจากการหายใจ เท่ากับปริมาณที่แพร่ผ่านเข้าไปเพื่อใช้ในการสังเคราะห์แสง (อุแก้ว, 2531)

ในภาพที่ 2 แสดงให้เห็นความสัมพันธ์ของอัตราการสังเคราะห์แสง (A) ต่อความเข้มข้นของคาร์บอนไดออกไซด์ภายในปากใบพืช (internal  $\text{CO}_2$ ;  $C_i$ ) ที่มีการตอบสนองเป็นแบบ hyperbolic หรือ asymptotic จากกราฟ A/ $C_i$  จะประกอบด้วยส่วนที่เป็น initial linear response ในการตรึงคาร์บอนไดออกไซด์ ค่า initial slope ของกราฟ A/ $C_i$  แสดงถึง carboxylation efficiency หรือประสิทธิภาพของเอนไซม์ Rubisco นอกจากนี้กราฟ A/ $C_i$  ยังอธิบายว่า A อาจถูกจำกัดด้วยปริมาณและประสิทธิภาพของ Rubisco ในกระบวนการ carboxylation ในบริเวณปลายของกราฟ A/ $C_i$  แสดงถึงความสามารถของใบพืชที่จะสร้างเอนไซม์ RuBP<sub>ase</sub> มาใช้ในกระบวนการตรึงคาร์บอนไดออกไซด์ (Hall et al., 1993)



ภาพที่ 2 แสดง A/Ci response curve (ดัดแปลงจาก Hall *et al.*, 1993)

คาร์บอนไดออกไซด์ในบรรยากาศมีประมาณ 0.034% (340ppm) (Gardner *et al.*, 1985) ภายใต้สภาพที่พลังงานแสงไม่เป็นตัวจำกัด อัตราการสังเคราะห์แสงของใบพืชสามารถเพิ่มขึ้นตามความเข้มข้นของคาร์บอนไดออกไซด์ถึง 1,000-15,000 ppm (เกลิมพล, 2535ก) พืชพวก C<sub>4</sub> สามารถตรึงคาร์บอนไดออกไซด์ไว้ในกลุ่มเนื้อเยื่อ mesophyll cells แล้วนำไปใช้ในวัฏจักรคัลวินในส่วนของ bundle sheath cells ต่อไปได้ จึงทำให้หญ้าเขตร้อนมีประสิทธิภาพการใช้คาร์บอนไดออกไซด์ได้ดีกว่าพวกหญ้าเขตหนาว นอกจากนั้นพืช C<sub>4</sub> ยังสามารถสังเคราะห์แสงได้ในสภาพที่มีคาร์บอนไดออกไซด์ต่ำกว่าพืช C<sub>3</sub> (เกลิมพล, 2535ก) จากการศึกษาของ Cooper (1970) ในห้องทดลองพบว่า หญ้าเขตร้อนสามารถสังเคราะห์แสงสูงสุดได้ถึง 50-70 mgCO<sub>2</sub>dm<sup>2</sup>hr<sup>-1</sup> ในขณะที่หญ้าเขตหนาวจะมีอัตราการสังเคราะห์แสงสูงสุดเพียง 20-30 mgCO<sub>2</sub>dm<sup>2</sup>hr<sup>-1</sup> หรือเทียบเป็นน้ำหนักแห้งได้เท่ากับ 30-50 กรัมต่อตารางเมตรต่อวันสำหรับหญ้าเขตร้อน และประมาณ 20 กรัมเท่านั้นสำหรับหญ้าเขตหนาว (เกลิมพล, 2535ข)

มีการศึกษาเกี่ยวกับผลของความเข้มข้นของคาร์บอนไดออกไซด์ต่อการตอบสนองของปากใบในพืชแต่ละชนิดพบว่าการตอบสนองที่แตกต่างกัน จากการศึกษาของ Apel (1989) และ Eamus และ Jarvis (1989) ในข้าวโพดเมื่อเพิ่มความเข้มข้นของคาร์บอนไดออกไซด์ให้ตั้งแต่แรก

ปลูกจนพืชมีการเจริญเติบโตเต็มที่แล้วทำการศึกษาปริมาณปากใบ พบว่าความหนาแน่นของปากใบเพิ่มขึ้นเมื่อความเข้มข้นของคาร์บอนไดออกไซด์เพิ่มขึ้น แต่ Malone และคณะ (1993) กลับพบว่าความเข้มข้นของคาร์บอนไดออกไซด์ที่เพิ่มขึ้นทำให้ความหนาแน่นของปากใบลดลง ดังนั้นจึงสรุปได้ว่า การเพิ่มความเข้มข้นของคาร์บอนไดออกไซด์ในข้าวโพดซึ่งเป็นพืช  $C_4$  ทำให้ความหนาแน่นของปากใบตอบสนองทั้งในทางเพิ่มขึ้นและลดลง ซึ่งแสดงให้เห็นว่าอาจไม่มีความสัมพันธ์กันระหว่างความหนาแน่นของปากใบกับความเข้มข้นของคาร์บอนไดออกไซด์ แต่ในการทดลองเพิ่มความเข้มข้นของคาร์บอนไดออกไซด์ให้กับหญ้า *Andropogon gerardii* ซึ่งเป็นพืช  $C_4$  พบว่าความหนาแน่นของปากใบลดลงอย่างมีนัยสำคัญ (Knapp et al., 1994)

มีรายงานการศึกษาของ Curtis และคณะ (1990) พบว่า การเพิ่มความเข้มข้นของคาร์บอนไดออกไซด์ไม่มีผลต่อการเจริญเติบโตของรากและต่อปริมาณไนโตรเจนในใบของหญ้า *Spartina patens* ไม่ว่าหญ้าชนิดนี้จะขึ้นเดี่ยว ๆ หรือขึ้นอยู่ร่วมกับ *Scirpus olneyi* ซึ่งเป็นพวกวัชพืชประเภทกก

#### 2.4 ความชื้นและปริมาณน้ำ

น้ำเป็นสารตั้งต้นที่สำคัญในการสังเคราะห์แสง แต่พืชใช้น้ำในกระบวนการสังเคราะห์แสงประมาณ 0.1% ของน้ำที่รากพืชดูดไปใช้ทั้งหมดเท่านั้น น้ำเป็นแหล่งให้อิเล็กตรอนที่ใช้ในกระบวนการสังเคราะห์แสง ถ้าพืชขาดน้ำจะทำให้ปากใบปิด คาร์บอนไดออกไซด์ไม่สามารถถูกนำไปใช้ในการสังเคราะห์แสงได้ การสังเคราะห์แสงจะลดลง ในสภาพน้ำท่วมดินชุ่มไปด้วยน้ำทำให้รากพืชขาดออกซิเจนที่ใช้ในการหายใจ ต้นพืชจึงขาดพลังงานในการดูดน้ำไปใช้และมีผลกระทบถึงอัตราการสังเคราะห์แสงด้วย (สมบุญ, 2536)

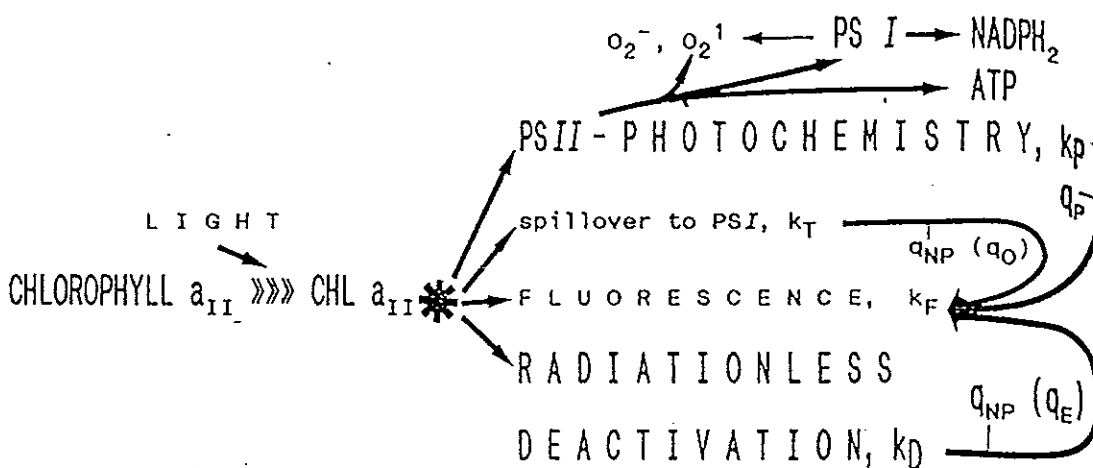
ระดับน้ำภายในต้นพืชมีความสำคัญต่อการควบคุมปากใบของพืช ปากใบของพืชมีบทบาทต่อกระบวนการเมตาโบลิซึมต่าง ๆ เช่น การสังเคราะห์แสงและการหายใจ การที่พืชปิดปากใบเพื่อลดการคายน้ำเมื่ออยู่ในภาวะขาดน้ำ จะมีผลทำให้อัตราการสังเคราะห์แสงและการหายใจลดลง ดังนั้นกระบวนการหายใจ การสังเคราะห์แสง และการคายน้ำจะมีความสัมพันธ์กันไม่สามารถแยกจากกันได้

นงลักษณ์ (2530) อ้างถึง Troughton (1969) ที่ได้ศึกษาเปรียบเทียบการคายน้ำของข้าวสาลี (พืช  $C_3$ ) และข้าวฟ่าง (พืช  $C_4$ ) พบว่าอัตราการคายน้ำของข้าวฟ่างมีแนวโน้มต่ำกว่าข้าวสาลี แต่กลับมีอัตราการสังเคราะห์แสงสูงกว่าข้าวสาลี ซึ่งเป็นข้อยืนยันว่า พืช  $C_4$  มีประสิทธิภาพการใช้น้ำสูงกว่าพืช  $C_3$

1.4 คลอโรฟิลล์ฟลูออเรสเซนซ์ (Chlorophyll fluorescence)

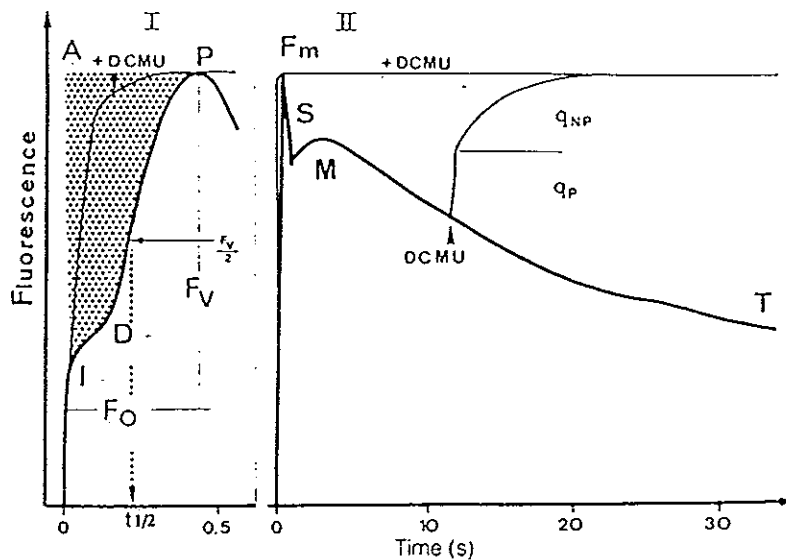
การดูดกลืนแสงของโมเลกุลของสารใด ๆ นั้น จะขึ้นอยู่กับระดับพลังงานหรือช่วงคลื่นของแสงแต่ละชนิด แสงในช่วงที่ตามองเห็นจะมีความยาวช่วงคลื่นประมาณ 380-760 นาโนเมตร เมื่อโมเลกุลของสารดูดแสงช่วงคลื่นนี้จะทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงระดับพลังงานของโมเลกุลทำให้มีอิเล็กตรอนอยู่ในสภาพเร่งเร้า (excited state) ในสภาพปกติก่อนที่โมเลกุลจะดูดพลังงานแสง โมเลกุลอยู่ในสภาพเสถียรหรือคงตัว (ground state) พลังงานของอิเล็กตรอนหรือโมเลกุลที่สูงขึ้นจากระดับปกติและอยู่ในสภาพเร่งเร้านี้เรียกว่า พลังงานเร่งเร้า (excitation energy) ซึ่งเป็นพลังงานที่ไม่คงตัวและเกิดในสภาพสั้นมากเพียงเสี้ยววินาที ถ้าต้องการใช้พลังงานนี้ให้เป็นประโยชน์ จะต้องส่งถ่ายอิเล็กตรอนหรือพลังงานผ่านโมเลกุลของรงควัตถุที่อยู่ติดกันเป็นทอด ๆ โดยต่อเนื่องกันจนถึงศูนย์กลางของปฏิกิริยาการสังเคราะห์แสง ถ้าพลังงานเร่งเร้านี้ไม่สามารถส่งถ่ายอิเล็กตรอนไปยังสารอื่นได้ภายในระยะเวลา  $10^{-9}$  วินาที พลังงานเร่งเร้านี้จะต้องขจัดออกไปจากระบบในรูปของความร้อน หรือเปลี่ยนเป็นแสงที่มีความยาวคลื่นมากกว่าเดิมหรือเกิดการเรืองแสงที่เรียกว่า ฟลูออเรสเซนซ์ (fluorescence) (สมบุญ, 2536)

สำหรับพืชโดยทั่วไปแล้วพลังงานแสงจะถูกดูดกลืนด้วยโมเลกุลของคลอโรฟิลล์ เพื่อนำไปใช้ในปฏิกิริยาการสังเคราะห์แสง อย่างไรก็ตามจะมีพลังงานอีกส่วนหนึ่งที่ไม่ได้ใช้ในปฏิกิริยานี้ พืชจึงมีกลไกในการปลดปล่อยพลังงานนี้ออกมาในลักษณะต่าง ๆ (ภาพที่ 3) เช่น การสะท้อนกลับของรังสีและการเปล่งรังสีฟลูออเรสเซนซ์ (Hall et al., 1993)



ภาพที่ 3 แสดงกลไกการปลดปล่อยพลังงานในส่วนที่ไม่ถูกใช้ในกระบวนการสังเคราะห์แสงโดยวิธีต่าง ๆ (Hall, et al., 1993)

ในสภาพปกติเมื่อใบพืชได้รับความมืดประมาณ 30 นาที พบว่าส่วนของตัวรับอิเล็กตรอน (electron acceptor) ใน Photosystem II (PSII) จะอยู่ในสภาพ ground state และสามารถเปิดรับพลังงานจากรังสีดวงอาทิตย์ได้สูงสุด แต่อย่างไรก็ตามในสภาพนี้คลอโรฟิลล์ก็สามารถแปลงฟลูออเรสเซนซ์ออกมาได้ต่ำสุดเรียกว่า  $F_0$  (minimum fluorescence) ในทันทีที่พืชได้รับรังสีดวงอาทิตย์ electron acceptor จะเปลี่ยนไปอยู่ในสภาพ excited state และการแปลงรังสีฟลูออเรสเซนซ์จากคลอโรฟิลล์ก็จะเพิ่มไปสู่สภาพสูงสุดเรียกว่า  $F_m$  (maximum fluorescence) จากนั้นค่านี้ก็จะลดลงสู่ระดับ  $F_0$  อีกเมื่อพลังงานถูกส่งต่อไปยัง Photosystem I (PSI) ส่วนของ electron acceptor ก็จะสามารถรับพลังงานจากรังสีดวงอาทิตย์ได้อีกต่อไป ปรากฏการณ์เปลี่ยนแปลงค่าคลอโรฟิลล์ฟลูออเรสเซนซ์นี้เรียกว่า Kautsky curve (ภาพที่ 4) ความแตกต่างระหว่างค่า  $F_m$  และ  $F_0$  เรียกว่า variable fluorescence ( $F_v$ ) อัตราส่วนของ  $F_v/F_m$  แสดงถึงความสามารถของ PSII ในคลอโรฟิลล์พืชในการรับพลังงานจากรังสีดวงอาทิตย์ และถ่ายทอดไปสู่ PSI ค่านี้มีความสัมพันธ์กับประสิทธิภาพของปฏิกิริยาเคมีของการใช้แสงในกระบวนการสังเคราะห์แสงที่เรียกว่า quantum yield (Bjorkman and Demming, 1978)



ภาพที่ 4 แสดงลักษณะของ Kautsky curve (Hall et al., 1993)



ดังนั้นการวัดค่าคลอโรฟิลล์ฟลูออเรสเซนซ์จึงเป็นวิธีการหนึ่งที่สามารถบ่งบอกถึงประสิทธิภาพของกระบวนการสังเคราะห์แสง ปัจจุบันนี้ได้มีการปรับปรุงเทคนิคนี้โดยการนำมาใช้เป็นเครื่องมือศึกษาการตอบสนองทางสรีรวิทยาของพืชต่อสภาพความเครียดของสิ่งแวดล้อม (Flagella *et al.*, 1994) เทคนิคนี้เมื่อนำมาใช้ร่วมกับคอมพิวเตอร์จะสามารถวัดได้ง่าย รวดเร็ว ไม่รบกวนต้นพืช (Selmani and Wassom, 1993) ทั้งยังสามารถใช้ได้ทั้งภาคสนามและห้องปฏิบัติการ (Olaf and Snel, 1990)

Flagella และคณะ (1994) ได้ศึกษาคลอรอโรฟิลล์ฟลูออเรสเซนซ์ในข้าวสาลี ซึ่งเป็นพืช  $C_4$  พบว่าข้าวสาลีที่เจริญในสภาพน้ำมากจะให้ค่า Fv/Fm สูงและให้ผลผลิตสูงกว่าข้าวสาลีที่เจริญในสภาพน้ำน้อย Selmani และ Wassom (1993) รายงานว่า ในการทดลองวัดค่าคลอโรฟิลล์ฟลูออเรสเซนซ์ของข้าวสาลีในสภาพที่มีน้ำมากจะมีค่า Fv/Fm สูงกว่าในสภาพที่มีน้ำน้อย

Hidekaza และคณะ (1994) ศึกษาคลอโรฟิลล์ฟลูออเรสเซนซ์ในใบแดงกว่าพบว่า ค่า Fv/Fm มีความสัมพันธ์ในเชิงเส้นตรงกับค่า quantum yield ของการสังเคราะห์แสง ซึ่งแสดงให้เห็นว่า ค่าคลอโรฟิลล์ฟลูออเรสเซนซ์สามารถใช้อธิบายถึงประสิทธิภาพในการสังเคราะห์แสงของพืชได้

### 1.5 การศึกษามวลชีวภาพและการวิเคราะห์การเจริญเติบโต

ในการสังเคราะห์แสงของพืชโดยใช้พลังงานจากรังสีดวงอาทิตย์ น้ำ และคาร์บอนไดออกไซด์เป็นวัตถุดิบ จะได้ผลผลิตออกมาเป็นน้ำตาลซึ่งเป็นผลผลิตขั้นต้น (primary production) ขณะเดียวกันพืชก็สูญเสียพลังงานโดยการหายใจ และมีพลังงานส่วนที่เหลือที่พืชจะนำไปสร้างเป็นเนื้อเยื่อใหม่หรือนำไปใช้ในการเจริญเติบโต

การเจริญเติบโตหมายถึง การเปลี่ยนแปลงน้ำหนัก ขนาด หรือจำนวนพืช ดังนั้นการเจริญเติบโตจะขึ้นอยู่กับผลผลิตขั้นต้น ซึ่งการเจริญเติบโตนี้จะรวมถึงการสะสมและการเคลื่อนย้ายสารอาหารนั้นขึ้นอยู่กับอัตราของพันธุกรรมพืชและปัจจัยสภาพแวดล้อม (เฉลิมพล, 2535ก)

การวัดน้ำหนักแห้งของพืชถือว่าเป็นวิธีการวัดการเจริญเติบโตที่ถูกต้องและเหมาะสมมากที่สุด การเจริญเติบโตของพืชในแง่ของการสะสมน้ำหนักแห้ง เป็นผลมาจากพื้นฐานของกระบวนการทางสรีรวิทยา ดังนี้

$$\text{Dry weight} = \text{Photosynthesis} - \text{Respiration} - \text{Loss}$$

ถ้าหากไม่มีการสูญเสียส่วนของพืชออกจากต้นพืช (loss) เช่น ถูกศัตรูพืชทำลายหรือถูกสัตว์กัดกินไป การเจริญเติบโตของพืชจะขึ้นอยู่กับกระบวนการหลักคือ การสังเคราะห์แสง และการหายใจ (อภินันท์ และคณะ, 2535)

การหาน้ำหนักแห้งของพืชส่วนใหญ่มักแบ่งเป็นสองส่วนคือ ส่วนที่อยู่เหนือพื้นดินกับส่วนที่อยู่ใต้ดิน โดยส่วนที่อยู่เหนือดินหมายถึง ลำต้น ใบ ดอก หรือผลที่อาจแบ่งออกเป็น 3 พวกคือ พวกยังมีชีวิตและเขียวอยู่ (standing live) พวกที่ตายแล้ว (standing dead) แต่ยังเป็นต้นอยู่ และพวกสุดท้ายได้แก่ ซากเหลือ (litter) ที่ร่วงหล่นทับถมอยู่บนพื้นดิน สำหรับส่วนที่อยู่ใต้ดินนั้นคือรากทั้งที่มีชีวิตและตายแล้ว (นิวัติ, 2535)

การวิเคราะห์การเจริญเติบโตของพืช (growth analysis) เป็นเครื่องมือที่สำคัญในการศึกษาผลกระทบของปัจจัยด้านสิ่งแวดล้อมและพันธุกรรมที่มีผลต่อน้ำหนักแห้งของพืชและกระบวนการทางสรีรวิทยา ในการวิเคราะห์การเจริญเติบโตของพืช สามารถทำได้โดยการบันทึกพื้นที่ใบและน้ำหนักแห้งที่ระยะการเจริญต่าง ๆ ของพืช อาจจะทำทุก ๆ 1-2 สัปดาห์หรือ 2-3 วัน ซึ่งขึ้นอยู่กับความจำเป็นและอายุของพืช จากค่าเฉลี่ยของพื้นที่ใบและน้ำหนักแห้งดังกล่าวสามารถนำไปวิเคราะห์หาเหตุผลทางสรีรวิทยาและหาความสัมพันธ์ต่าง ๆ ระหว่างเวลากับการเจริญของพืชได้เพื่ออธิบายถึงความเป็นไปได้หรือความแตกต่างของการเจริญเติบโตที่เกิดขึ้นได้

การวิเคราะห์การเจริญเติบโตของพืชอาจทำเป็นรายต้นหรือกลุ่มของพืช การวิเคราะห์การเจริญเติบโตเป็นรายต้นนิยมทำในระยะแรกของการเจริญของพืชเท่านั้น ซึ่งเป็นระยะที่พืชยังเล็กอยู่ การแข่งขันกันในปัจจัยเพื่อการเจริญเติบโตยังไม่มีหรือมีน้อยมาก (เฉลิมพล, 2535ก) ค่าที่ใช้ในการวิเคราะห์ประกอบด้วย

1. Relative Growth Rate (RGR) อัตราการเจริญเติบโตสัมพัทธ์ หมายถึง การสะสมน้ำหนักแห้งต่อหนึ่งหน่วยน้ำหนักเริ่มต้นต่อหนึ่งหน่วยเวลา

2. Leaf Area Ratio (LAR) เป็นค่าที่บ่งบอกว่าพืชนั้น ๆ มีพื้นที่ใบต่อหน่วยน้ำหนักแห้งของต้นพืชมากน้อยแค่ไหน สำหรับการวิเคราะห์การเจริญของพืชปลูก นิยมอธิบายเป็นดัชนีพื้นที่ใบ (leaf area index; LAI) ซึ่งหมายถึงพื้นที่ใบต่อหน่วยพื้นที่ซึ่งพืชนั้นเจริญเติบโตอยู่ มาใช้แทนค่า LAR

3. Net Assimilation Rate หรือ Unit Leaf Rate (NAR หรือ ULR) จะเป็นดัชนีบ่งบอกประสิทธิภาพในการสร้างน้ำหนักแห้งของต้นพืชต่อหน่วยพื้นที่ใบต่อหน่วยเวลา

4. Crop Growth Rate (CGR) เป็นการเปลี่ยนแปลงน้ำหนักแห้งของพืชในพื้นที่หนึ่งต่อหนึ่งหน่วยเวลา หรือคืออัตราการเจริญเติบโตของพืชปลูกนั่นเอง

5. Leaf Area Index (LAI) เป็นดัชนีบ่งบอกปริมาณพื้นที่ใบต่อหนึ่งหน่วยพื้นที่ดิน

จากการศึกษาของ Sakpob (2535) ซึ่งได้ทำการศึกษาผลผลิตขั้นต้นของทุ้งหญ้าแบบชาวันนา ในภาคใต้ของประเทศไทย โดยประเมินค่าจากมวลชีวภาพทั้งส่วนเหนือดินและส่วนใต้ดินเปรียบเทียบกันในสภาพที่มีการเผาและไม่มีการเผา พบว่า อัตราผลผลิตขั้นต้นต่อปีไม่มีความแตกต่างกัน

ในทั้งสองสภาพ นอกจากนี้ยังกล่าวอีกด้วยว่า มีตัวแปรหลักที่ทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงของผลผลิตขั้นต้นคือ อุณหภูมิอากาศ การคายน้ำ ช่วงเวลาที่พืชได้รับแสง และปริมาณน้ำฝน นอกจากนี้มีรายงานของ Allard และคณะ (1991) ที่ได้ศึกษาในหญ้า tall fescue ขณะได้รับปริมาณแสงน้อย (30%) ทำให้พื้นที่ใบลดลงอันเป็นผลให้ของน้ำหนักแห้งลดลงตามไปด้วย

สำหรับการศึกษาในหญ้าขน มีรายงานการศึกษาของ ทวี และคณะ (2527) พบว่า การใส่ปุ๋ยมูลสัตว์เพื่อเป็นการเพิ่มธาตุอาหารแก่ดิน จะให้ผลดีทั้งในแง่ผลผลิตหญ้าขนและในแง่เศรษฐกิจ ซึ่งสอดคล้องกับการศึกษาของสนั่น (2509) ซึ่งรายงานว่าอายุในการตัดและอัตราการใช้ปุ๋ยไนโตรเจนจะมีอิทธิพลต่อผลผลิตของหญ้าขนอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ และอายุการตัดที่เหมาะสมควรอยู่ระหว่าง 40-60 วัน

จากการค้นคว้ารายงานการศึกษาต่าง ๆ ที่ทำการทดลองในหญ้าขนปรากฏว่า การศึกษาส่วนใหญ่จะมุ่งเน้นไปในด้านการจัดการผลผลิตของหญ้าขนเช่น การจัดการในเรื่องการให้ปุ๋ย ตัวอย่างเช่น การศึกษาของปิ่นชัย (2538) เรื่องผลของธาตุอาหารพืชต่อการตั้งตัวของหญ้ามอร์ริซซ์ที่ปลูกบนดินตะกอนน้ำท่วมของจังหวัดสงขลา การศึกษาของเสรีและงามชื่น (2509) ในเรื่องการตัดหญ้าขนเพื่อใช้เป็นอาหารสัตว์เพื่อให้ได้ผลผลิตสูงสุด แต่มีการศึกษาน้อยมากที่เกี่ยวกับกระบวนการทางสรีรวิทยาของหญ้าขนหรือปัจจัยต่าง ๆ ทั้งปัจจัยภายในและปัจจัยสภาพแวดล้อมที่จะมีผลต่อการปรับตัวของหญ้าขนในสภาพต่าง ๆ ซึ่งเป็นข้อมูลที่จำเป็นอย่างยิ่งในการใช้เป็นพื้นฐานในการจัดการหญ้าขน ดังนั้นในการทดลองครั้งนี้จึงมุ่งเน้นเพื่อจะศึกษาข้อมูลพื้นฐานทางสรีรวิทยา อันได้แก่กระบวนการสังเคราะห์แสง คลอโรฟิลล์ฟลูออเรสเซนซ์ และการเจริญเติบโตของหญ้าขนที่อายุต่าง ๆ กันเพื่อนำความรู้ที่ได้ไปใช้ในการจัดการหญ้าขนต่อไป สำหรับเทคนิคในการวัดอัตราการสังเคราะห์แสงนี้ยังไม่พบรายงานการศึกษาที่กล่าวว่าจะเลือกวัดเมื่อต้นพืชมีอายุเท่าไร และควรเลือกใช้ใบตำแหน่งใดในการวัด นอกจากนี้ยังไม่มีข้อสรุปถึงความแตกต่างของการวัดในสภาพแปลงทดลองและในห้องปฏิบัติการ ดังนั้นการศึกษาค้นคว้าครั้งนี้จึงน่าจะมีประโยชน์ในการค้นหาคำตอบในเรื่องนี้ เพื่อให้การศึกษาเกี่ยวกับการสังเคราะห์แสงมีความถูกต้องและน่าเชื่อถือมากที่สุด

## วัตถุประสงค์

1. เพื่อศึกษาอัตราการสังเคราะห์แสงและคลอโรฟิลล์ฟลูออเรสเซนซ์ของหญ้าขนที่มีอายุและตำแหน่งใบที่ต่างกันทั้งในแปลงทดลองและในห้องปฏิบัติการ
2. เพื่อศึกษาอัตราการเจริญเติบโตกับอัตราการสังเคราะห์แสงของหญ้าขน
3. เพื่อศึกษาปัจจัยทางสภาพแวดล้อม ได้แก่ ปริมาณแสง ปริมาณน้ำฝน ลม และความชื้นสัมพัทธ์ต่อการสังเคราะห์แสงและการเจริญเติบโตของหญ้าขน

## บทที่ 2

### วัสดุอุปกรณ์และวิธีการ

#### 2.1 ขอบเขตการศึกษา

พืชที่ทำการศึกษาคือ *Brachiaria mutica* (Forsk) Stapf. ซึ่งมีชื่อสามัญในภาษาไทยว่า หญ้าขน หรือหญ้ามอริซัส

แหล่งที่ตั้งของพื้นที่ทำการศึกษา

พื้นที่ทำการศึกษายู่ในพื้นที่ส่วนหนึ่งของสถานีวิจัยและฝึกภาคสนาม คณะทรัพยากรธรรมชาติ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ ตั้งอยู่ที่บ้านคลองหอยโข่ง ตำบลคลองหอยโข่ง กิ่งอำเภอคลองหอยโข่ง จังหวัดสงขลา ละติจูด (latitude)  $6^{\circ}5' N$  ลองจิจูด (longitude)  $100^{\circ} 20' E$  สูงจากระดับน้ำทะเล 30 เมตร ห่างจากมหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ประมาณ 26 กิโลเมตร

สภาพภูมิอากาศ

สภาพภูมิอากาศเป็นแบบมรสุมเขตร้อนชื้น การกระจายของฝนแบ่งเป็น 2 ช่วง เพราะอิทธิพลของมรสุมทั้งสองฤดูคือ มรสุมตะวันตกเฉียงใต้ ระหว่างเดือน พฤษภาคม-กันยายน และมรสุมตะวันออกเฉียงเหนือระหว่างเดือนตุลาคม-มกราคม อุณหภูมิอยู่ระหว่าง 23-33 องศาเซลเซียส ความยาวช่วงวัน 12.5-13.3 ชั่วโมง

สภาพดินบริเวณสถานีวิจัยคลองหอยโข่ง

ดินจัดอยู่ในชนิด low humic gley (นงลักษณะ, 2530) พื้นที่เป็นที่ลุ่มเกิดจากตะกอนลำนํ้าทับถม ดินบนเป็นดินซึ่งมีการระบายน้ำดี มีเนื้อดินเป็นดินร่วนปนทรายและอาจมีกรวดลูกครึ่งปน ลึกจากผิวดินประมาณ 50-70 เซนติเมตร เนื้อดินชั้นล่างจะมีชั้นดินดานแข็งไม่สามารถให้นํ้าซึมผ่านได้ ดังนั้นบริเวณนี้จึงมักมีนํ้าท่วมขัง หรือดินบนมีลักษณะอิ่มตัวด้วยนํ้าเป็นระยะเวลายาวนานตลอดช่วงฤดูฝน ปฏิกิริยาดินเป็นกรดจัดถึงกรดจัดมากตลอดชั้นดิน ดินมีความสามารถในการดูดซับธาตุอาหารต่ำมาก (กรมพัฒนาที่ดิน, 2530) สุมาลี และคณะ (2535) ได้ศึกษาความต้องการของธาตุอาหารพืชอาหารสัตว์ตระกูลถั่วบางชนิดที่ปลูกในดินชุดนี้ พบว่าดินชุดนี้เป็นกรดจัด (pH 4.64) มีปริมาณธาตุอาหารที่จำเป็นต่อการเจริญเติบโตของพืชตระกูลถั่วอาหารสัตว์ต่ำ โดยเฉพาะอย่างยิ่งธาตุฟอสฟอรัส จังหวัดสงขลามีลักษณะของพื้นที่และดินที่คล้ายคลึงกับบริเวณสถานีวิจัยคลองหอยโข่ง ประมาณ 310,655 ไร่ หรือร้อยละ 6.723 ของพื้นที่การเกษตรในจังหวัดสงขลา ซึ่งกรมพัฒนาที่ดิน (2530) ได้กำหนดให้พื้นที่ดังกล่าวเหมาะที่จะทำเป็นทุ่งหญ้าเลี้ยงสัตว์

## 2.2 วัสดุอุปกรณ์

### 2.2.1 วัสดุ

2.2.1.1 ปุ๋ยเคมีสูตร 15-15-15, Triple super phosphate (TSP) และ KCl

2.2.1.2 Silica gel

2.2.1.3 Sodalime

### 2.2.2 อุปกรณ์

2.2.2.1 แปลงหญ้าขน

2.2.2.2 เครื่องมือวัดอัตราการสังเคราะห์แสงด้วย ADC รุ่น LCA2 ซึ่งประกอบด้วย

- Infra - red gas analyser (IRGA)

- Flow meter (pump)

- Parkinson leaf chamber (PLC) ซึ่งมีพื้นที่ 5.2x2 ตารางเซนติเมตร

- Computer ซึ่งใช้โปรแกรม Gasex ในการคำนวณควบคุมการทำงานและการหา

ค่าต่าง ๆ

2.2.2.3 เครื่องมือวัดค่าคลอโรฟิลล์ฟลูออเรสเซนซ์ (Plant Efficiency Analyser; PEA) ซึ่งประกอบด้วย control box ที่ใช้ในการคำนวณค่าต่าง ๆ ด้วยโปรแกรม Firmware เวอร์ชัน PO2.001 โปรแกรม Analyser เวอร์ชัน 2.01 และโปรแกรม Summary เวอร์ชัน 2.01 ควบคุมเครื่อง PEA sensor ใช้ในการให้แสงแก่ใบพืช และ leaf clip ซึ่งใช้ในการหนีบใบพืช

2.2.2.4 ชุดเครื่องมือบันทึกข้อมูลภูมิอากาศได้แก่ Data logger, เครื่องวัดแสงด้วย Sky, เครื่องวัดลม (Anemometer)

2.2.2.5 เครื่องมือวัดพื้นที่ใบ (leaf area meter)

2.2.2.6 อุปกรณ์ที่ใช้ในการเก็บตัวอย่างพืชได้แก่ quadrat ขนาด 1x0.25 ตารางเมตร, กรรไกรตัดหญ้า และตู้อบตัวอย่างพืชแบบ forced - draft oven

2.2.2.7 เครื่องชั่ง

2.2.2.8 อุปกรณ์การทดลองอื่น ๆ ที่จำเป็นเช่น โคมไฟ กล้องพลาสติก ถุงกระดาษ

## 2.3. วิธีการ

### 2.3.1. การวางแผนการทดลอง

วางแผนการทดลองแบบสุ่มตลอด (Completely randomized design; CRD) จำนวน 5 ซ้ำ จัดสิ่งทดลองแบบแฟกตอเรียล ประกอบด้วย 2 ปัจจัย ได้แก่

- อายุของหนุ่ขาน 6 ช่วง คือ 2, 4, 6, 8, 10 และ 12 สัปดาห์ภายหลังการตัด
- ตำแหน่งของใบบนต้นหนุ่ขาน 5 ใบ คือ ใบที่ 1 ถึงใบที่ 5 เริ่มต้นจากใบบนสุดของต้นลงมายังโคนต้น ยกเว้นการศึกษาที่ 2 สัปดาห์ที่มีใบเพียง 4 ใบ

### 2.3.2. การเตรียมแปลงหนุ่

เดือนมีนาคม 2537 ทำการตัดหนุ่ขานในแปลงทดลองเดิมของป็นชัย (2535) ที่ระดับความสูง 5 เซนติเมตร กวาดเอาเศษพืชออกให้สะอาดไม่ให้มีซากพืชหลงเหลืออยู่ จากนั้นทำการแบ่งแปลงทดลองออกเป็นแปลงทดลองย่อย (plot) แต่ละ plot มีพื้นที่ 2.5x3.5 ตารางเมตร หลังจากตัดหนุ่แล้วใส่ปุ๋ยสูตร 15-15-15, TSP และ KCl เพื่อเพิ่มธาตุ N, P, K ให้แก่ดินในอัตรา 100 กิโลกรัมต่อเฮกตาร์ และใส่ปุ๋ยซ้ำอีกเป็นครั้งที่สองเมื่อหนุ่มีอายุได้ 6 สัปดาห์ หลังจากเตรียมแปลงหนุ่แล้วทำการศึกษาอัตราการสังเคราะห์แสงของใบพืช คลอโรฟิลล์ฟลูออเรสเซนซ์ และมวลชีวภาพทุก ๆ 2 สัปดาห์ โดยเมื่อครบสัปดาห์ 2 สัปดาห์ทำการศึกษาอัตราการสังเคราะห์แสงติดต่อกัน 5 วัน หลังจากนั้นทำการศึกษาคลอโรฟิลล์ฟลูออเรสเซนซ์และเก็บตัวอย่างมวลชีวภาพในวันต่อมา

### 2.3.3. การศึกษาอัตราการสังเคราะห์แสงของใบพืช

ในช่วงเช้าเวลาประมาณ 8.00 น. ศึกษาโดยการวัดอัตราการสังเคราะห์แสงของใบตำแหน่งต่าง ๆ กันของต้นหนุ่ขาน โดยทำการทดลองทั้งในแปลงหนุ่และในห้องปฏิบัติการโดยใช้เครื่องมือวัดอัตราการสังเคราะห์แสงชนิดเคลื่อนที่ได้ ตามลำดับดังนี้

#### การศึกษาในแปลงหนุ่

ทำการศึกษาการตอบสนองต่อปริมาณแสงของใบบนสุดบนต้นพืช โดยทำการแปรผันสภาพแสงเหนือ Parkinson leaf chamber ด้วยผ้าดำ แล้วบันทึกอัตราการสังเคราะห์แสงของใบพืชที่ความเข้มแสงปกติ และที่ 600, 500, 200, 150, 100, 50, และ 0  $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$  ทำการทดลองเช่นเดียวกันในใบถัดไปของต้นพืชลำดับจากใบบนสุดของต้นลงไปจนถึงใบที่ 5 ซึ่งอยู่ล่างสุดของลำต้น (ภาพที่ 5) ทำการบันทึกค่าอัตราการสังเคราะห์แสงและนำมาคำนวณ quantum yield และ quantum requirement

### การศึกษาในห้องปฏิบัติการ

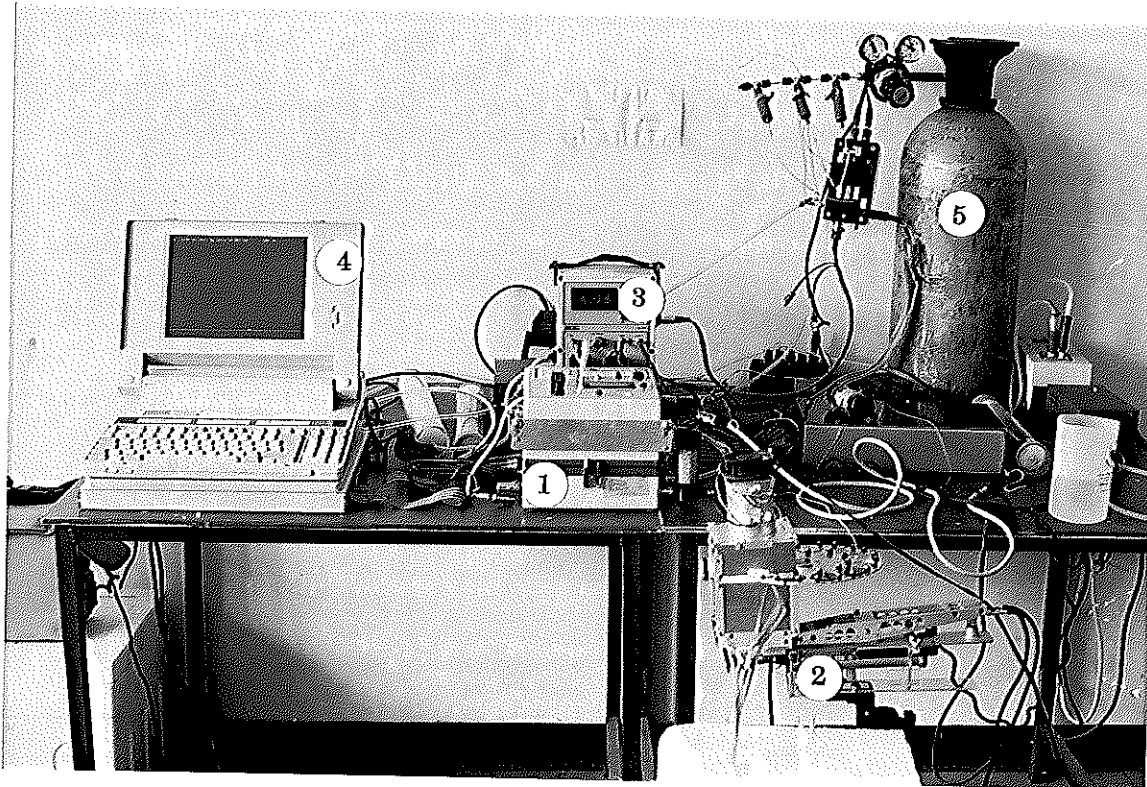
หลังจากทำการศึกษาในแปลงเสร็จแล้ว ก็ทำการตัดต้นพืชต้นเดิมที่ระดับผิวดิน แซ่โคนต้นในน้ำแล้วนำไปยังห้องปฏิบัติการซึ่งอยู่ห่างจากแปลงทดลองประมาณ 250 เมตร ในห้องปฏิบัติการที่ควบคุมอุณหภูมิอยู่ระหว่าง 28-29 องศาเซลเซียส จากนั้นใช้มีดคมตัดโคนต้นพืชใต้น้ำ เพื่อป้องกันไม่ให้ฟองอากาศเข้าไปในท่อน้ำ

ทำการวัดอัตราการสังเคราะห์แสงของใบพืชแต่ละใบเริ่มจากใบบนสุด โดยการแปรผันสภาพแสงเหนือ Parkinson leaf chamber ด้วยการให้แสงจากหลอดฮาโลเจน (ยี่ห้อ Osram 50W) บันทึกอัตราการสังเคราะห์แสงของใบพืช และปรับความเข้มของแสงให้ได้ประมาณ 600, 500, 300, 200, 150, 100, 50 และ 0  $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$  ด้วยชุดกระจกกรองแสงที่ติดอยู่เหนือ leaf chamber ทำการทดลองเช่นเดียวกันกับทุกใบของต้นพืช โดยเรียงลำดับจากใบบนสุดของต้นลงไปถึงโคนต้น (ภาพที่ 5) ซึ่งสาเหตุที่ได้กำหนดช่วยความเข้มของแสงเป็น 0-600  $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$  ทั้งนี้ได้ทำการทดสอบเบื้องต้นแล้วว่า หากความเข้มแสงสูงกว่า 600  $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$  จะไม่เหมาะสมต่อการวัดอัตราการสังเคราะห์แสงเพราะใบพืชจะได้รับความร้อนมากจนเกิดอาการเหี่ยวในเวลาอันรวดเร็ว และค่าอัตราการสังเคราะห์แสงก็จะต่ำลงมาก

จากนั้นทำการทดลองศึกษาการตอบสนองของอัตราการสังเคราะห์แสงต่อปริมาณก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ โดยบ่มคาร์บอนไดออกไซด์จากถังซึ่งได้จากการผสมระหว่างคาร์บอนไดออกไซด์บริสุทธิ์กับอากาศที่ไม่มีคาร์บอนไดออกไซด์ ( $\text{CO}_2$  free air) ทำการแปรผันปริมาณก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์เป็น 600, 500, 300, 200, 150, 100, 50 และ 0  $\mu\text{mol mol}^{-1}$  ตามลำดับ ทำการทดลองเช่นเดียวกันในทุกใบของต้นพืช (ภาพที่ 5) บันทึกค่าอัตราการสังเคราะห์แสงและคำนวณหาค่า rubisco activity

ทำการทดลองในแต่ละช่วงอายุพืชจะใช้ต้นพืชทั้งหมด 5 ต้น และในแต่ละต้นใช้ใบพืชทุกใบที่ปรากฏอยู่ในขณะที่ทำการทดลอง





ภาพที่ 5 แสดงชุดเครื่องมือวัดอัตราการสังเคราะห์แสง ซึ่งประกอบด้วย 1) IRGA 2) PLC  
3) Flowmeter 4) Computer 5) ถังก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์พร้อมชุดปรับปริมาณก๊าซ

#### 2.3.4. การศึกษาคลอโรฟิลล์ฟลูออเรสเซนซ์

ทุก ๆ 2 สัปดาห์ ทำการศึกษาค่าคลอโรฟิลล์ฟลูออเรสเซนซ์ของต้นหญ้าขน โดยศึกษา  
ทุกใบ ทำการทดลองโดยใช้ต้นพืช 5 ต้น

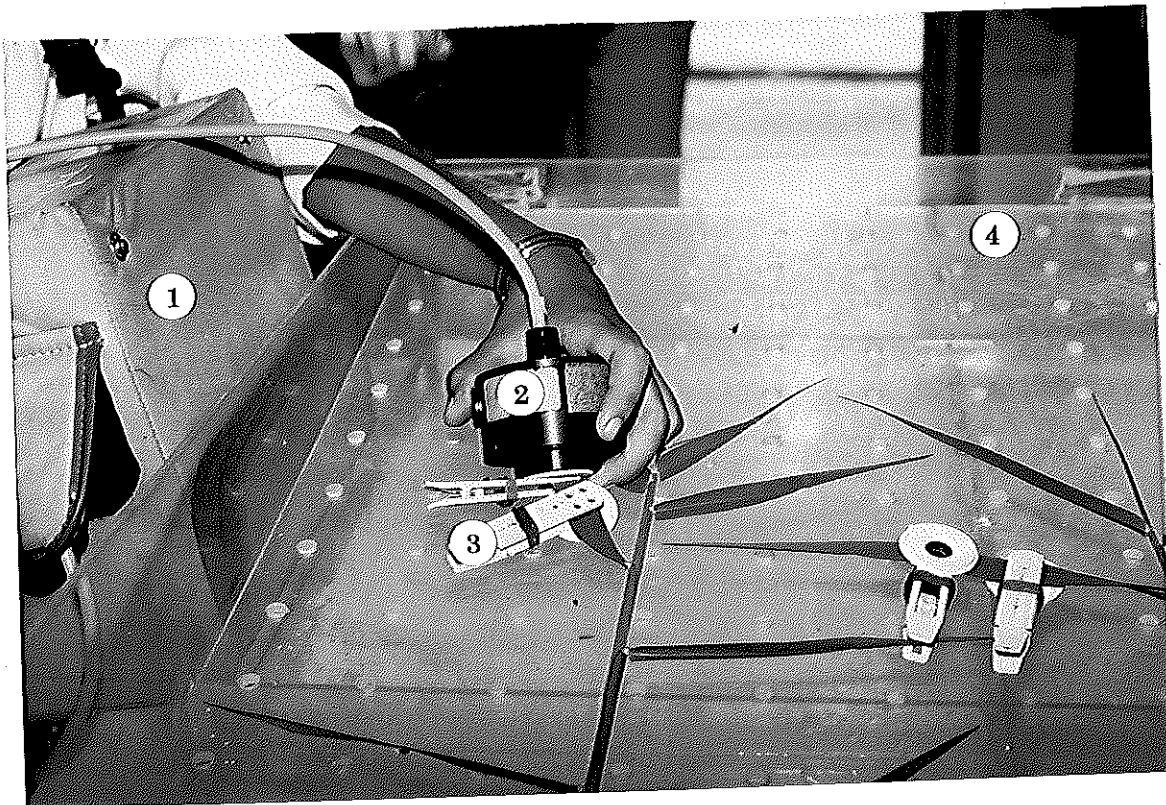
การวัดค่าคลอโรฟิลล์ฟลูออเรสเซนซ์ ใช้เครื่อง PEA (ภาพที่ 6) ตามวิธีการดังนี้

1. ทำการศึกษาในเวลา 12.00 น โดยเลือกต้นพืชจากแปลงทดลองจำนวน 5 ต้น มา  
ศึกษาคลอโรฟิลล์ฟลูออเรสเซนซ์จากทุกใบบนต้นที่เลือกมา
2. ปิดส่วนของใบพืชด้วย leaf clip เป็นเวลา 30 นาที เพื่อให้ electron acceptor ของใบ  
พืชอยู่ในสภาพ ground state
3. ใช้ sensor ของเครื่อง PEA ครอบ leaf clip แล้วเปิด leaf clip จากนั้นให้แสงแก่ใบ  
พืช เพื่อวัดค่าคลอโรฟิลล์ฟลูออเรสเซนซ์ในสภาพ  $F_m$  และ  $F_o$  ตามลำดับ
4. ตัดต้นพืชชนิดนี้ด้วยวิธีการเดียวกับ 2.3 แล้วนำเข้ามายังห้องปฏิบัติการที่ควบคุม  
อุณหภูมิประมาณ 28-29 องศาเซลเซียส

5. วางต้นพืชในกล่องพลาสติก โดยให้โคนต้นพืชจุ่มอยู่ในน้ำตลอดเวลาใช้มีดคมตัดต้นพืชได้น้ำเพื่อป้องกันไม่ให้มีอากาศเข้าไปในท่อน้ำ ปิดฝากล่องแล้วปล่อยให้พืชอยู่ในสภาพพื้นผิวเป็นเวลา 24 ชั่วโมง โดยมีแสงจากหลอดไฟส่องตลอดเวลา

6. ระหว่างเวลาการฟื้นตัวของต้นพืช ทำการวัดค่าคลอโรฟิลล์ฟลูออเรสเซนซ์ จากทุกใบตามขั้นตอนที่ 2-3 ที่เวลา 0.5, 1, 2, 3, 4, 5 และ 24 ชั่วโมงหลังจากต้นพืชอยู่ในกล่องพลาสติกยกเว้นในช่วงที่พืชมีอายุ 2 สัปดาห์หลังการตัด

ในการทดลองครั้งนี้ได้วางแผนการศึกษาเพื่อทำการเปรียบเทียบค่า  $F_v/F_m$  ของใบหญ้าขนที่อายุต่าง ๆ ทั้งด้านบน (upper) และด้านล่าง (lower) ของใบตลอดจนเพื่อศึกษาการฟื้นตัวของค่า  $F_v/F_m$  ภายหลังจากการนำไปไว้ในกล่องพลาสติกที่มีสภาพอุณหภูมิ 27 องศาเซลเซียสและความชื้นสูงเป็นเวลา 0.5, 1, 2, 3, 4, 5 และ 24 ชั่วโมงตามลำดับ



ภาพที่ 6 แสดงเครื่องมือวัดค่าคลอโรฟิลล์ฟลูออเรสเซนซ์ (Plant Efficiency Analyser; PEA)

1) control box 2) sensor 3) leaf clip 4) กล่องพลาสติกสำหรับแช่ต้นพืชเพื่อวัดการฟื้นตัว

### 2.3.5. การศึกษามวลชีวภาพและการวิเคราะห์การเจริญเติบโต

ทำการเก็บตัวอย่างในส่วนที่เหนือผิวดิน (above-ground biomass) ทุก ๆ 2 สัปดาห์ ครั้งละ 5 ตัวอย่าง โดยการใช้ quadrat ขนาด 1x0.25 ตารางเมตร เลือกกลุ่มตัวอย่าง แล้วทำการเก็บตัวอย่างโดยตัดต้นพืชจนถึงโคนต้นด้วยกรรไกรแยกตัวอย่างพืชแต่ละชนิดออกเป็น ส่วน ๆ คือ ใบที่ยังเขียวอยู่ (ใบเป็น) ใบตาย ต้นที่ยังเขียวอยู่ (ต้นเป็น) และ ต้นตาย สำหรับตัวอย่างใบสดของพืชทุก ๆ ชนิดนำไปวัดพื้นที่ใบด้วยเครื่อง leaf area meter หลังจากนั้นนำตัวอย่างพืชทั้งหมดไปอบที่อุณหภูมิประมาณ 80 องศาเซลเซียสประมาณ 2-3 วันจนน้ำหนักคงที่ แล้วนำมาชั่งเพื่อหาน้ำหนักแห้ง

#### การวิเคราะห์การเจริญเติบโต

นำข้อมูลน้ำหนักแห้งและพื้นที่ใบมาวิเคราะห์การเจริญเติบโตโดยมีการศึกษา

##### 1. Relative Growth Rate (RGR)

$$RGR = (\ln W_2 - \ln W_1) / (T_2 - T_1)$$

มีหน่วยเป็น  $g\ g^{-1}\ d^{-1}$

##### 2. Leaf Area Ratio (LAR)

$$LAR = LA/W$$

$$= (LA_2/W_2 + LA_1/W_1)/2$$

มีหน่วยเป็น  $m^2\ g^{-1}$

##### 3. Net Assimilation Rate หรือ Unit Leaf Rate

$$NAR = (W_2 - W_1) / (T_2 - T_1) \cdot (\ln LA_2 - \ln LA_1) / (LA_2 - LA_1)$$

มีหน่วยเป็น  $g\ m^{-2}\ d^{-1}$

##### 4. Leaf Area Index (LAI)

$$LAI = ((LA_2 + LA_1) / 2) \cdot 1/PA$$

##### 5. Crop Growth Rate (CGR)

$$CGR = 1/PA \cdot (W_2 - W_1) / (T_2 - T_1)$$

มีหน่วยเป็น  $g\ m^{-2}\ d^{-1}$

เมื่อ LA1 และ LA2 = พื้นที่ใบ จากการตัดครั้งที่ 1 และ 2 ตามลำดับ

LW1 และ LW2 = น้ำหนักใบ จากการตัดครั้งที่ 1 และ 2 ตามลำดับ

T = เวลา

W1 และ W2 = น้ำหนักของต้นพืช จากการตัดครั้งที่ 1 และ 2 ตามลำดับ

PA = พื้นที่เก็บเกี่ยวเท่ากับ 0.25 ตารางเมตร

d = วัน

m = เมตร

g = กรัม

### 2.3.6. การเก็บข้อมูลทางอุตุนิยมวิทยา

โดยใช้ Data logger เพื่อบันทึกความชื้นสัมพัทธ์ อุณหภูมิอากาศ อุณหภูมิดิน ปริมาณน้ำฝน ทำการวัดแสงโดยใช้เครื่องมือวัดแสง และวัดลมโดยใช้เครื่องมือวัดลม ทำการบันทึกข้อมูลทุก ๆ วันในช่วงระหว่างทำการทดลอง

### 2.3.7. การวิเคราะห์ข้อมูล

โดยการนำค่าการวัดอัตราการแลกเปลี่ยนก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ ค่าคลอโรฟิลล์ฟลูออเรสเซนซ์ พื้นที่ใบและน้ำหนักแห้งของแต่ละใบในช่วงเวลาต่าง ๆ มาเปรียบเทียบกัน ใช้โปรแกรม IRRISTAT 93 วิเคราะห์ความแปรปรวนของสิ่งทดลอง และเปรียบเทียบความแตกต่างของค่าเฉลี่ยของสิ่งทดลองโดยใช้วิธี DMRT โดยใช้แผนการทดลองแบบ CRD และวิเคราะห์หาความสัมพันธ์กับปัจจัยสิ่งแวดล้อมคืออุณหภูมิ แสง ความชื้นสัมพัทธ์และปริมาณน้ำฝน

## บทที่ 8

### ผลการศึกษา

#### 8.1. ภูมิอากาศของสถานที่ศึกษา

ตลอดช่วงเวลาการทดลองตั้งแต่เดือนมีนาคมถึงเดือนพฤษภาคมได้ทำการบันทึกข้อมูลรายวันของปริมาณน้ำฝน ความเร็วลม ความชื้นสัมพัทธ์ในอากาศ ปริมาณแสง อุณหภูมิอากาศ และอุณหภูมิดิน ผลการศึกษาดังนี้ (ภาพที่ 7 ก-ค)

ความเร็วลมในระหว่างการทดลอง พบว่าในเดือนพฤษภาคมมีความเร็วลมเฉลี่ยสูงสุด ส่วนในเดือนมีนาคมและเมษายนจะมีค่าที่ใกล้เคียงกัน ความเร็วลมเฉลี่ยสูงสุดเป็น 6.63 กิโลเมตรต่อชั่วโมงในการเก็บตัวอย่างครั้งที่ 5 หรือในสัปดาห์ที่ 10 และความเร็วลมเฉลี่ยต่ำสุดเท่ากับ 2.35 กิโลเมตรต่อชั่วโมง (ภาพที่ 7ก)

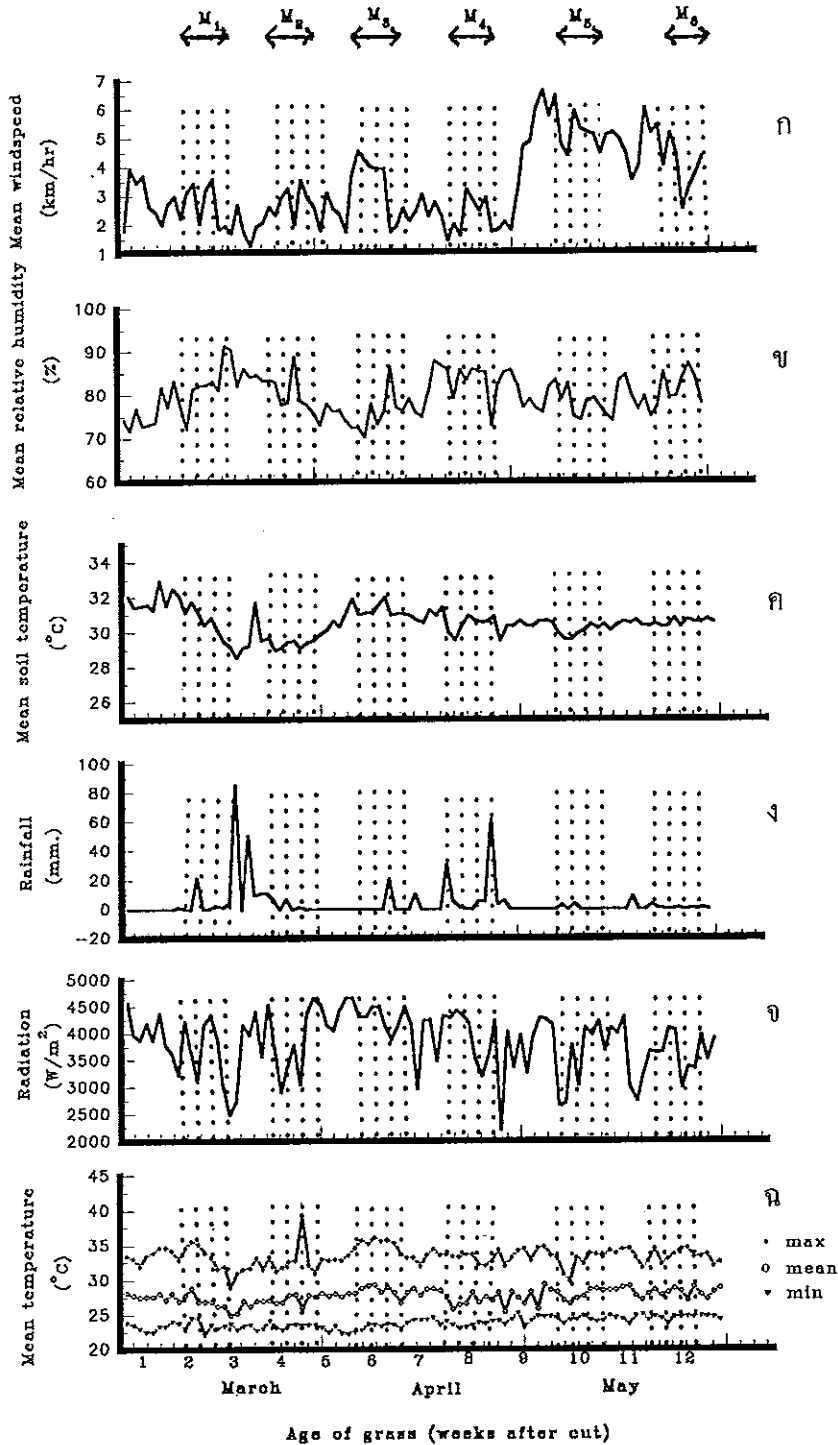
ความชื้นสัมพัทธ์ในอากาศระหว่างการทดลอง พบว่ามีค่าใกล้เคียงกันอยู่ในช่วง 70-92% โดยความชื้นจะสูงในช่วงการเก็บตัวอย่างครั้งที่ 1 และ 2 และต่ำสุดในช่วงการเก็บตัวอย่างครั้งที่ 3 หรือในสัปดาห์ที่ 6 ของการทดลอง (ภาพที่ 7 ข)

อุณหภูมิดิน ในการเก็บข้อมูลอุณหภูมิดินตลอดการทดลองพบว่า อุณหภูมิดินจะแปรผันไม่มาก โดยจะมีค่าใกล้เคียงกันตลอดการทดลองคืออยู่ในช่วง 28.5-31.9 องศาเซลเซียสในช่วงสัปดาห์ที่ 2 และ 6 ของการทดลองหรือช่วงการเก็บข้อมูลครั้งที่ 1 และ 3 เป็นช่วงที่มีอุณหภูมิดินค่อนข้างสูง (ภาพที่ 7ค)

ปริมาณน้ำฝนระหว่างการทดลองมีการกระจายตัวไม่สม่ำเสมอ โดยสรุปช่วงการเก็บตัวอย่างครั้งที่ 1 มีฝนตกมากที่สุดรองมาคือ ช่วงการเก็บตัวอย่างครั้งที่ 3 หรือสัปดาห์ที่ 6 ปริมาณฝนสูงสุดเท่ากับ 85.0 มิลลิเมตรในสัปดาห์ที่ 4 ของการทดลองหรือช่วงการเก็บข้อมูลครั้งที่ 2 ในระยะเวลาที่ทำการทดลองมีวันที่ฝนตก 32 วันและวันที่ฝนไม่ตก 60 วัน (ภาพที่ 7ง)

ปริมาณแสงในระหว่างการทดลอง โดยสรุปแล้วปริมาณแสงจะอยู่ในช่วง 2202-4658.6  $Wm^{-2}$  ปริมาณแสงมีค่าไม่สม่ำเสมอ โดยจะมีการแปรผันอยู่ตลอดเวลาซึ่งปริมาณแสงจะสูงที่สุดในสัปดาห์ที่ 6 ซึ่งมีค่าเท่ากับ 4658.6  $Wm^{-2}$  (ภาพที่ 7จ)

อุณหภูมิของอากาศตลอดการทดลองจะมีค่าใกล้เคียงกันมีค่าเฉลี่ยอยู่ในช่วง 22.1-36.1 องศาเซลเซียส และอุณหภูมิเฉลี่ยสูงสุดมีค่าเท่ากับ 34.16 องศาเซลเซียส ในช่วงการเก็บข้อมูลครั้งที่ 3 ส่วนอุณหภูมิเฉลี่ยต่ำสุดมีค่าเป็น 26.75 องศาเซลเซียส ในช่วงการเก็บข้อมูลครั้งที่ 2 ของการทดลอง (ภาพที่ 7ฉ)



ภาพที่ 7 (ก-ฉ) แสดง ก) ความเร็วลมเฉลี่ย ข) เปอร์เซ็นต์ความชื้นสัมพัทธ์ของอากาศ ค) อุณหภูมิดิน ง) ปริมาณน้ำฝน จ) ปริมาณแสง และ ฉ) อุณหภูมิในระหว่างการทดลองในเดือนมีนาคมถึงเดือนพฤษภาคม 2537 (M แสดงช่วงเวลาการเก็บข้อมูลการทดลองในแต่ละครั้งซึ่งประกอบด้วย การวัดอัตราการสังเคราะห์แสง 5 วัน วัดคลอโรฟิลล์ฟลูออเรสเซนซ์ 1 วัน และการเก็บตัวอย่างพืช 1 วัน)

## 3.2. ผลการศึกษาอัตราการสังเคราะห์แสง

### 3.2.1 การศึกษาในแปลงหญ้า

การศึกษ้อัตราการสังเคราะห์แสง (A) ของใบพืชจากใบตำแหน่งต่าง ๆ บนต้น และจากต้นพืชที่มีอายุหลังการตัดต่างกัน (2-12 สัปดาห์) ในสภาพพลังงานแสง (Q) เฉลี่ยตั้งแต่ 0-600  $\mu\text{molm}^{-2}\text{s}^{-1}$  อุณหภูมิประมาณ 30 องศาเซลเซียส แล้วใช้วิธีการผันแปรสภาพแสงธรรมชาติด้วยผ้าให้เกิดร่มเงา เพื่อให้ได้แสงระดับต่าง ๆ จนถึง 0  $\mu\text{molm}^{-2}\text{s}^{-1}$  ทำให้สามารถสร้างเป็นความสัมพันธ์ระหว่าง Q กับ A ซึ่งเรียกว่า light response curve

#### 3.2.1.1 Light Response Curve (LRC)

ภาพที่ 8 แสดงการตอบสนองของ A ต่อ Q ของใบหญ้าจากตำแหน่งต่าง ๆ บนต้นที่มีอายุต่างกันตั้งแต่ 2-12 สัปดาห์หลังการตัด โดยทั่วไปค่า A ของใบหญ้าบนทุกใบเพิ่มขึ้นเมื่อความเข้มแสงเพิ่มขึ้น และจะถึงจุดสูงสุดเมื่อความเข้มของแสงประมาณ 500-600  $\mu\text{molm}^{-2}\text{s}^{-1}$  และ A ไม่ลดต่ำลงถึง 0 แม้ว่าความเข้มของแสงจะเป็น 0  $\mu\text{molm}^{-2}\text{s}^{-1}$  ใบหญ้าจากแปลงที่มีอายุ 2 สัปดาห์มีแนวโน้มการตอบสนองของอัตราการสังเคราะห์แสงสูงกว่าอัตราการสังเคราะห์แสงของใบหญ้าที่มีอายุมากขึ้น และพบว่าในทุกช่วงอายุยกเว้นในสัปดาห์ที่ 12 ใบหญ้าที่อยู่ตำแหน่งตอนล่าง มีการตอบสนองของอัตราการสังเคราะห์แสงสูงกว่าใบหญ้าที่อยู่บริเวณตอนบน (ภาพที่ 8 (ก-ค)) เมื่อมีการเพิ่มความเข้มของแสง

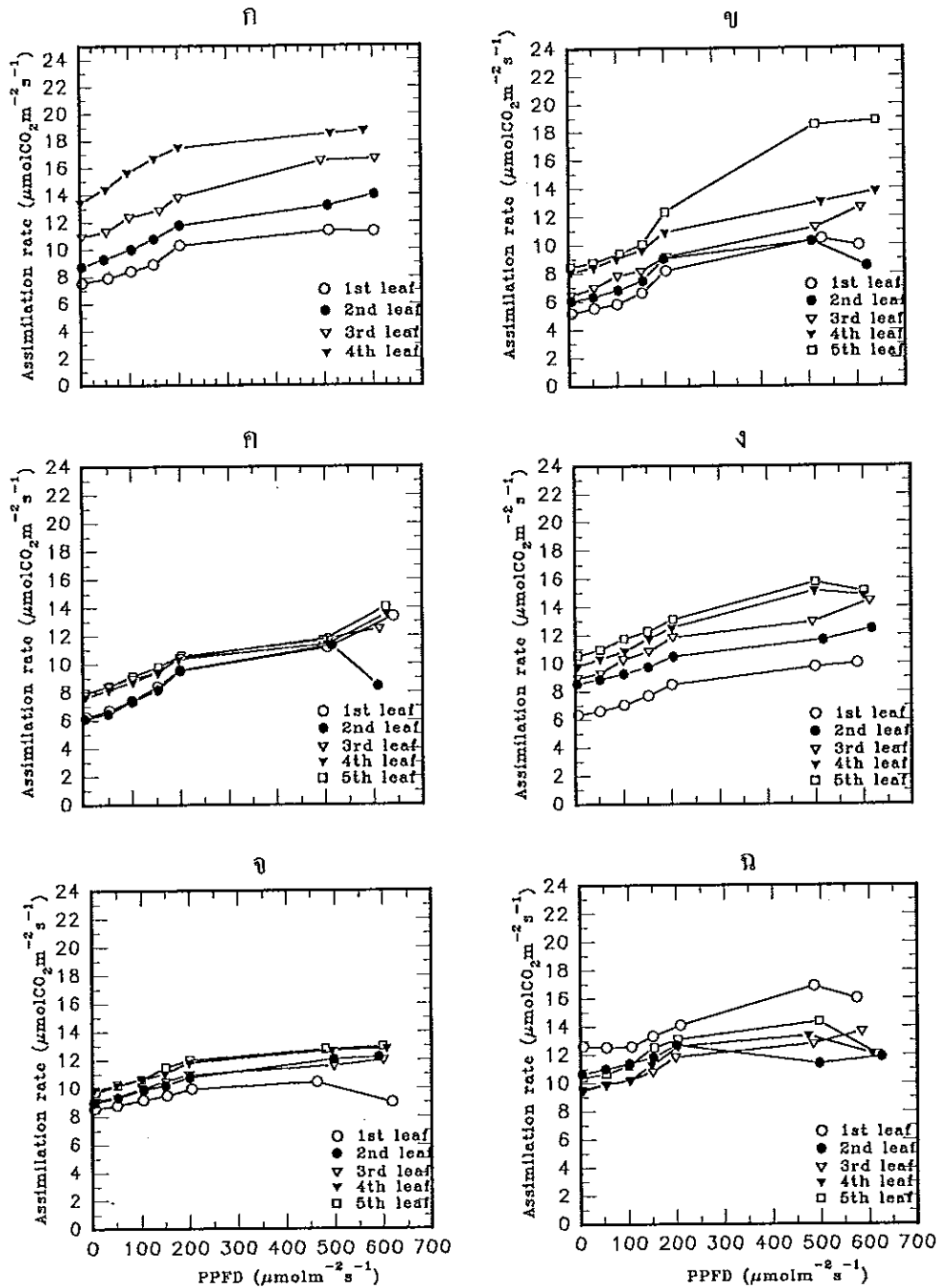
#### 3.2.1.2 อัตราการสังเคราะห์แสงสูงสุด ( $A_{\text{max}}$ )

ภาพที่ 9 และตารางที่ 1 แสดงอัตราการสังเคราะห์แสงสูงสุด ( $A_{\text{max}}$ ) ที่ความเข้มแสงประมาณ 600  $\mu\text{molm}^{-2}\text{s}^{-1}$  พบว่าอิทธิพลของอายุและตำแหน่งใบของต้นหญ้าที่มีต่อค่า  $A_{\text{max}}$  จะมีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญยิ่งทางสถิติ (ตารางภาคผนวกที่ 1) และยังพบปฏิกริยาสัมพันธ์ระหว่างอายุของต้นหญ้าและตำแหน่งของใบบนต้นหญ้าต่อ  $A_{\text{max}}$  อย่างมีนัยสำคัญยิ่งทางสถิติ จากการเปรียบเทียบความแตกต่างของค่าเฉลี่ยโดยวิธี DMRT พบว่า  $A_{\text{max}}$  ลดลงเมื่ออายุของหญ้าเพิ่มขึ้น โดยต้นหญ้าในสัปดาห์ที่ 2 มีค่าเฉลี่ยเป็น 15.01  $\mu\text{molCO}_2\text{m}^{-2}\text{s}^{-1}$  สูงกว่าต้นหญ้าที่มีอายุอื่น ๆ อย่างมีนัยสำคัญ ส่วนที่ 4, 6, 8, 10 สัปดาห์ไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ เมื่อพิจารณาผลของตำแหน่งของใบต่อ  $A_{\text{max}}$  พบว่า  $A_{\text{max}}$  ของใบตอนล่างมีค่าสูงกว่า  $A_{\text{max}}$  ของใบตอนบน โดยในใบที่ 5 มี  $A_{\text{max}}$  มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 16.38  $\mu\text{molCO}_2\text{m}^{-2}\text{s}^{-1}$  ซึ่งสูงกว่าใบอื่น ๆ อย่างมีนัยสำคัญยิ่งทางสถิติ ส่วนใบตำแหน่งที่ 4, 3 (14.31, 13.81  $\mu\text{molCO}_2\text{m}^{-2}\text{s}^{-1}$  ตามลำดับ)

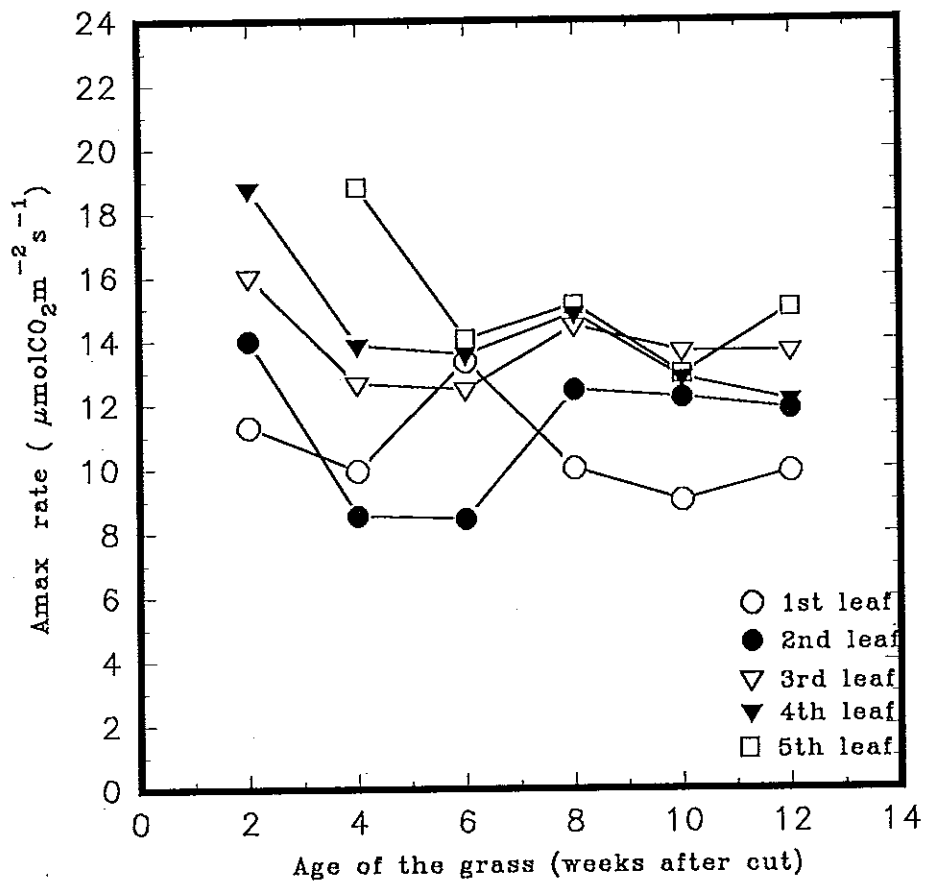
ซึ่งจะเห็นว่าแตกต่างจากใบที่ 2 และ 1 ( $11.25$  และ  $10.58 \mu\text{molCO}_2\text{m}^{-2}\text{s}^{-1}$ ) อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติเช่นเดียวกัน

ปฏิกิริยาสัมพันธ์ระหว่างช่วงอายุและตำแหน่งใบพบว่า ใบตำแหน่งที่ 5 ในช่วงสัปดาห์ที่ 4 และใบตำแหน่งที่ 4 ในช่วงสัปดาห์ที่ 2 จะให้ค่า  $A_{\text{max}}$  สูงกว่าที่ช่วงอายุและตำแหน่งใบอื่น ๆ อย่างมีนัยสำคัญคือ  $18.80$  และ  $18.75 \mu\text{molCO}_2\text{m}^{-2}\text{s}^{-1}$  ตามลำดับ ในขณะที่ใบที่อยู่ในตำแหน่งที่ 1 และที่ 2 จะมีค่า  $A_{\text{max}}$  ต่ำในแต่ละช่วงอายุ ส่วนใบในตำแหน่งที่ 3 และ 4 จะมีค่า  $A_{\text{max}}$  อยู่ในเกณฑ์ปานกลางประมาณ  $14 \mu\text{molCO}_2\text{m}^{-2}\text{s}^{-1}$  ตั้งแต่สัปดาห์ที่ 4-12 ซึ่งใกล้เคียงกับค่า  $A_{\text{max}}$  ของใบที่ 5 ในช่วงสัปดาห์ที่ 4-12 หลังการตัด





ภาพที่ 8 (ก-ฉ) แสดง light response curve ของอัตราการสังเคราะห์แสง (CO<sub>2</sub> assimilation rate; μmolCO<sub>2</sub>m<sup>-2</sup>s<sup>-1</sup>) ต่อปริมาณแสง (PPFD; μmolm<sup>-2</sup>s<sup>-1</sup>) ของใบหูกวางตำแหน่งที่ 1-5 จากต้นหูกวางที่มีอายุ ก) 2 สัปดาห์ ข) 4 สัปดาห์ ค) 6 สัปดาห์ ง) 8 สัปดาห์ จ) 10 สัปดาห์ ฉ) 12 สัปดาห์ ในสภาพแปลงหูกวาง



ภาพที่ 9 แสดงอัตราการสังเคราะห์แสงสูงสุด ( $\mu\text{molCO}_2\text{m}^{-2}\text{s}^{-1}$ ) ที่ความเข้มแสงประมาณ  $600 \mu\text{molm}^{-2}\text{s}^{-1}$  ของใบหญ้าขนจากแปลงหญ้าที่มีอายุ 2, 4, 6, 8, 10 และ 12 สัปดาห์หลังการตัด

ตารางที่ 1 แสดงค่าเฉลี่ยของอัตราการสังเคราะห์แสงสูงสุด ( $\mu\text{molCO}_2\text{m}^{-2}\text{s}^{-1}$ ) ที่ความเข้มแสงประมาณ 600  $\mu\text{molm}^{-2}\text{s}^{-1}$  ของใบหญ้าขนจากแปลงหญ้าที่มีอายุ 2, 4, 6, 8, 10 และ 12 สัปดาห์ หลังการตัด

ตำแหน่งที่ของใบ	อายุของต้นหญ้าขน									
	2 สัปดาห์	4 สัปดาห์	6 สัปดาห์	8 สัปดาห์	10 สัปดาห์	12 สัปดาห์	เฉลี่ย			
1	11.30 <sup>c-h</sup>	9.95 <sup>jk</sup>	13.35 <sup>ghi</sup>	10.00 <sup>k</sup>	9.00 <sup>k</sup>	9.90 <sup>k</sup>	10.58 <sup>c</sup>			
2	14.00 <sup>hij</sup>	8.55 <sup>k</sup>	8.45 <sup>k</sup>	12.45 <sup>ij</sup>	12.20 <sup>ij</sup>	11.85 <sup>j</sup>	11.25 <sup>c</sup>			
3	16.00 <sup>bc</sup>	12.65 <sup>fi</sup>	12.47 <sup>ghi</sup>	14.45 <sup>efg</sup>	13.65 <sup>ij</sup>	13.65 <sup>ij</sup>	13.81 <sup>b</sup>			
4	18.75 <sup>a</sup>	13.80 <sup>fi</sup>	13.56 <sup>ei</sup>	14.83 <sup>de</sup>	12.83 <sup>f</sup>	12.10 <sup>ei</sup>	14.31 <sup>b</sup>			
5	-	18.80 <sup>a</sup>	14.05 <sup>ei</sup>	15.10 <sup>cde</sup>	12.95 <sup>ef</sup>	14.00 <sup>ei</sup>	16.38 <sup>a</sup>			
เฉลี่ย	15.01 <sup>a</sup>	12.75 <sup>bc</sup>	12.37 <sup>c</sup>	13.36 <sup>b</sup>	12.12 <sup>c</sup>	12.30 <sup>c</sup>				

ตัวเลขที่มีอักษรเหมือนกันไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซ็นต์โดยวิธี DMRT

### 3.2.1.3 Quantum yield ( $\Phi$ ) และ Quantum requirement

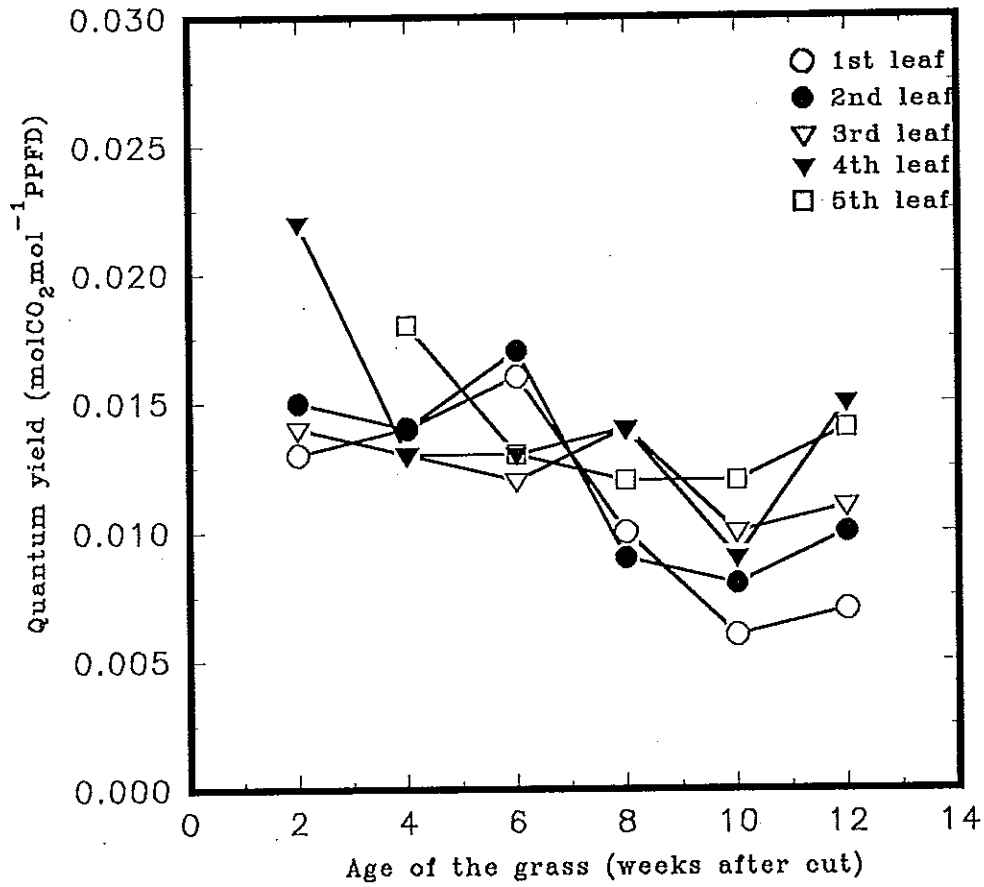
Quantum yield ( $\Phi$ ) คือประสิทธิภาพของการใช้แสงในกระบวนการสังเคราะห์แสงของพืช ซึ่งหมายถึงจำนวนโมลของคาร์บอนไดออกไซด์ที่ถูกตรึงโดยใบพืชต่อหนึ่งโมลของแสงที่ตกกระทบใบพืช ค่า  $\Phi$  คำนวณจากค่า initial slope ของ light response curve ในช่วงปริมาณแสง 0-200  $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$  นอกจากนี้เรายังอาจพิจารณาในลักษณะของ quantum requirement ซึ่งก็คือ จำนวนโมลของแสงที่พืชต้องการเพื่อการตรึงคาร์บอนไดออกไซด์ 1 โมล ซึ่งก็คือส่วนกลับของ quantum yield นั่นเอง

จากการวิเคราะห์ความแปรปรวนของค่า  $\Phi$  ในแปลงทดลองพบว่า อิทธิพลของอายุ ตำแหน่งใบและปฏิกริยาสัมพันธ์ระหว่างอายุกับตำแหน่งของใบหญ้านั้นมีผลต่อความแปรปรวนของ  $\Phi$  อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (ตารางภาคผนวกที่ 1) และเมื่อทำการทดสอบความแตกต่างของค่าเฉลี่ยโดยวิธี DMRT (ตารางที่ 2 และภาพที่ 10) พบว่า ค่า  $\Phi$  ลดลงตามอายุที่มากขึ้น โดยมีค่าเฉลี่ยสูงสุดเมื่อต้นหญ้านมีอายุ 2 สัปดาห์มีค่าเท่ากับ 0.016  $\text{mol CO}_2 \text{mol}^{-1} \text{PPFD}$  ซึ่งสูงกว่าหญ้านที่มีอายุ 4, 6, 8, 10 และ 12 สัปดาห์อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ส่วนค่า  $\Phi$  ต่ำสุดมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 0.009  $\text{mol CO}_2 \text{mol}^{-1} \text{PPFD}$  เมื่อหญ้านมีอายุได้ 10 สัปดาห์ ซึ่งแตกต่างจากหญ้านที่มีอายุอื่น ๆ อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ นอกจากนี้ยังพบว่า ใบหญ้านที่ตำแหน่งที่ 1 มีค่า  $\Phi$  ต่ำกว่าใบหญ้านที่ตำแหน่งอื่น ๆ อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติโดยมีค่าเฉลี่ยเป็น 0.011  $\text{mol CO}_2 \text{mol}^{-1} \text{PPFD}$  ส่วนใบหญ้านที่ตำแหน่ง 2, 3, 4 และ 5 มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 0.012, 0.012, 0.014 และ 0.014  $\text{mol CO}_2 \text{mol}^{-1} \text{PPFD}$  ตามลำดับโดยไม่มี ความแตกต่างทางสถิติ

จากการศึกษาปฏิกริยาสัมพันธ์ระหว่างอายุกับตำแหน่งใบพบว่า ตำแหน่งใบที่ 4 ในช่วงอายุ 2 สัปดาห์แรกจะมีค่า  $\Phi$  สูงที่สุด (0.022  $\text{mol CO}_2 \text{mol}^{-1} \text{PPFD}$ ) แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญจากใบในตำแหน่งและช่วงอายุอื่น ๆ ทั้งหมดโดยมีใบในตำแหน่งที่ 5 ในสัปดาห์ที่ 4 และใบในตำแหน่งที่ 2, 1 ในสัปดาห์ที่ 6 มีค่ารองลงมาคือ 0.018, 0.017 และ 0.016  $\text{mol CO}_2 \text{mol}^{-1} \text{PPFD}$  นอกจากนั้นจะมีค่าโดยประมาณต่ำกว่า 0.015  $\text{mol CO}_2 \text{mol}^{-1} \text{PPFD}$  ในทุกตำแหน่งของใบและช่วงอายุของตน โดยมีตำแหน่งใบที่ 1 และ 2 มีค่าต่ำกว่า 0.010  $\text{mol CO}_2 \text{mol}^{-1} \text{PPFD}$  ในช่วงสัปดาห์ที่ 8-12 (ตารางที่ 2)

เนื่องจากเมื่อ Q เป็น 0  $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$  แล้วค่า A ยังไม่ติดลบ ดังนั้นการคำนวณ initial slope ของค่าเหล่านี้เพื่อหา  $\Phi$  จึงไม่อาจนำมาใช้ได้เหมาะสม

สำหรับผลการศึกษา quantum requirement (ตารางที่ 2) ซึ่งเป็นผลที่ตรงกันข้ามกับ quantum yield คือ quantum requirement เพิ่มขึ้นเมื่อหญ้านมีอายุมากขึ้น และในกลุ่มใบตอนบนจะมีมีค่า quantum requirement สูงกว่ากลุ่มใบตอนล่าง



ภาพที่ 10 แสดง quantum yield (molCO<sub>2</sub>mol<sup>-1</sup>PPFD) ของใบหญ้าขนจากต้นในแปลงทดลองที่ อายุ 2-12 สัปดาห์หลังการตัด โดยคำนวณจาก initial slope ของ LRC

ตารางที่ 2 แสดงค่า quantum yield ( $\text{molCO}_2\text{mol}^{-1}\text{PPFD}$ ) และ quantum requirement (ค่าในวงเล็บ) ของใบหญ้าจากต้นในแปลงหญ้า ที่อายุ 2-12

สัปดาห์หลังการตัด โดยคำนวณจาก LRC

ตำแหน่งที่ของใบ	อายุของต้นหญ้า									
	2 สัปดาห์	4 สัปดาห์	6 สัปดาห์	8 สัปดาห์	10 สัปดาห์	12 สัปดาห์	เฉลี่ย			
1	0.013 <sup>d-h</sup> (76.9)	0.014 <sup>bcd</sup> (71.4)	0.016 <sup>bc</sup> (62.5)	0.010 <sup>jk</sup> (100.0)	0.006 <sup>m</sup> (166.6)	0.007 <sup>lm</sup> (142.8)	0.011 <sup>b</sup> (103.3)			
2	0.015 <sup>bcd</sup> (66.6)	0.014 <sup>bcd</sup> (71.4)	0.017 <sup>b</sup> (58.8)	0.009 <sup>ijk</sup> (111.1)	0.008 <sup>lm</sup> (125.0)	0.010 <sup>h-k</sup> (100.0)	0.012 <sup>a</sup> (88.8)			
3	0.014 <sup>bcd</sup> (71.4)	0.013 <sup>d-h</sup> (76.9)	0.012 <sup>f-i</sup> (83.3)	0.014 <sup>bcd</sup> (71.4)	0.010 <sup>h-k</sup> (100.0)	0.011 <sup>f-i</sup> (90.9)	0.012 <sup>a</sup> (82.8)			
4	0.022 <sup>a</sup> (45.4)	0.013 <sup>d-h</sup> (76.9)	0.013 <sup>d-h</sup> (76.9)	0.014 <sup>bcd</sup> (71.4)	0.009 <sup>kl</sup> (111.1)	0.015 <sup>bcd</sup> (66.6)	0.014 <sup>a</sup> (74.7)			
5	-	0.018 <sup>b</sup> (55.5)	0.013 <sup>d-h</sup> (76.9)	0.012 <sup>f-i</sup> (83.3)	0.012 <sup>f-i</sup> (83.3)	0.014 <sup>bcd</sup> (71.4)	0.014 <sup>a</sup> (74.7)			
เฉลี่ย	0.016 <sup>a</sup> (65.1)	0.014 <sup>b</sup> (70.4)	0.014 <sup>b</sup> (71.7)	0.011 <sup>c</sup> (87.4)	0.009 <sup>d</sup> (117.2)	0.011 <sup>c</sup> (94.3)				

ตัวเลขที่มีอักษรเหมือนกัน ไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซ็นต์โดยวิธี DMRT

### 3.2.2 ผลการศึกษาในห้องปฏิบัติการ

การศึกษา light response curve ในห้องปฏิบัติการทำเช่นเดียวกับในแปลงหญ้า โดยการตัดต้นพืชต้นเดิมในแปลงหญ้ามาทำการวัดในห้องปฏิบัติการ ซึ่งสามารถผันแปรแสงได้ตั้งแต่ 0-600  $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$  ในสภาพอุณหภูมิประมาณ 27 องศาเซลเซียส และความเข้มข้นของคาร์บอนไดออกไซด์ในบรรยากาศประมาณ 340 ppm ทำการแปรผันแสงด้วยกระจกรองแสงแล้ววัดค่า A ของใบพืช เช่นเดียวกันกับที่วัดในแปลงหญ้า

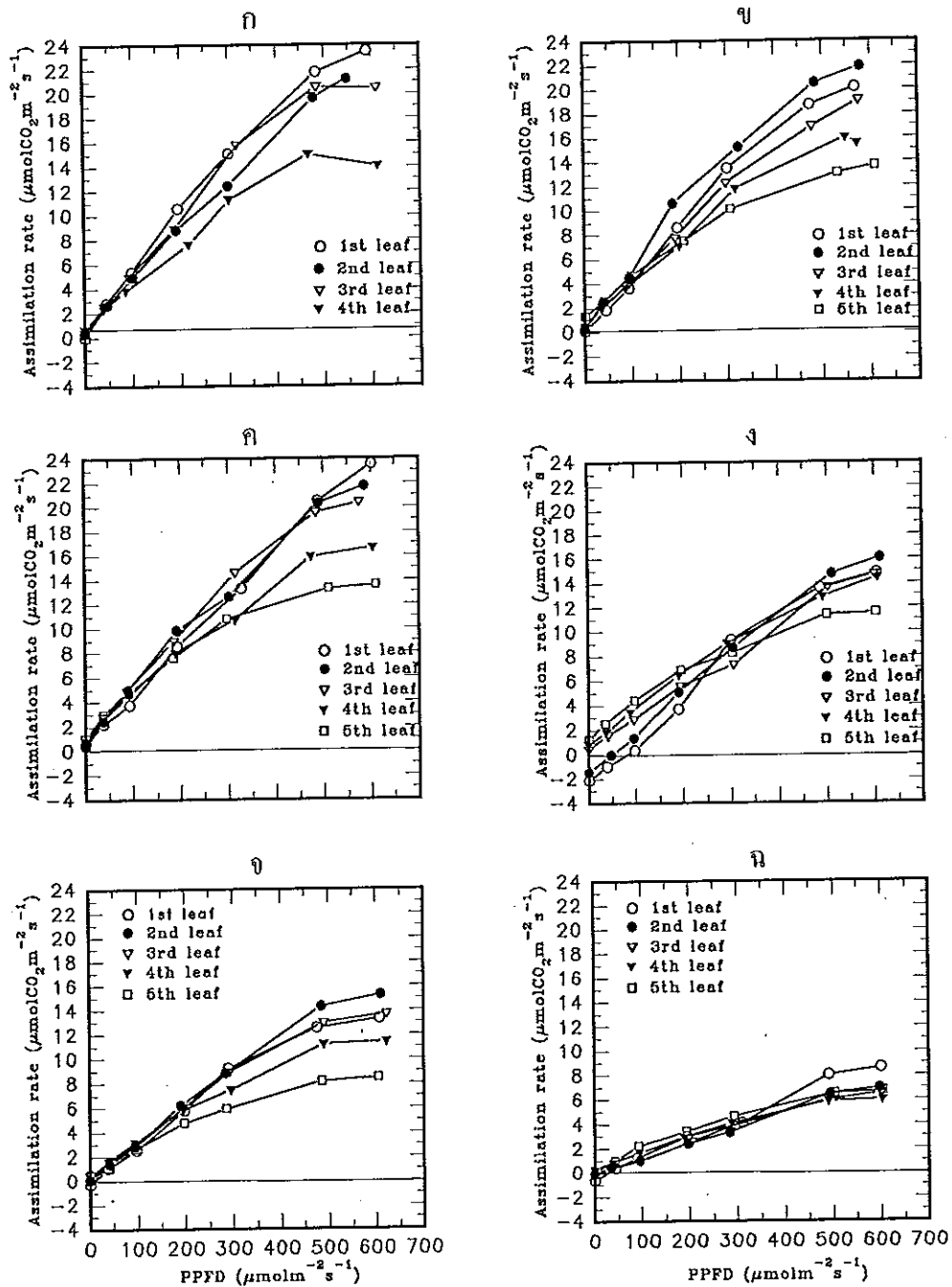
#### 3.2.2.1 Light response curve (LRC)

ภาพที่ 11 (ก-ค) แสดง light response curve ซึ่งทำการศึกษาในห้องปฏิบัติการพบว่า แล้วอัตราการสังเคราะห์แสงของใบหญ้าจะเพิ่มขึ้นเมื่อความเข้มของแสงเพิ่มขึ้น เมื่อพิจารณาอายุของต้นจะพบว่า ต้นหญ้าที่มีอายุ 2-6 สัปดาห์มีการตอบสนองของอัตราการสังเคราะห์แสงสูงกว่าต้นที่มีอายุมากกว่าคือ 8-10 สัปดาห์ และน้อยที่สุดเมื่อหญ้าที่มีอายุ 12 สัปดาห์ เมื่อพิจารณาถึงตำแหน่งของใบพบว่า ใบตำแหน่งที่ 1 และ 2 ตอบสนองต่อแสงสูงกว่าใบตำแหน่งที่ 4 และ 5 และมีแนวโน้มว่าจะมีการตอบสนองของใบตำแหน่งต่าง ๆ ใกล้เคียงกันเมื่อใบมีอายุมากขึ้น โดยเฉพาะอย่างยิ่งเมื่อใบมีอายุ 12 สัปดาห์

#### 3.2.2.2 อัตราการสังเคราะห์แสงสูงสุด ( $A_{\text{max}}$ )

เมื่อนำผลการทดลองมาวิเคราะห์ความแปรปรวนทางสถิติของ  $A_{\text{max}}$  ในห้องปฏิบัติการ พบว่า อายุของต้นหญ้าและตำแหน่งใบของหญ้ามียผลต่ออัตราการสังเคราะห์แสงสูงสุดอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ แต่ไม่พบปฏิกริยาสัมพันธ์ระหว่างอายุกับตำแหน่งใบของหญ้า ต่อ  $A_{\text{max}}$  (ตารางภาคผนวกที่ 1) จากตารางที่ 3 แสดงการเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยของ  $A_{\text{max}}$  ที่ความเข้มแสงประมาณ 600  $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$  พบว่าหญ้าที่มีอายุ 2, 4 และ 6 สัปดาห์จะมีค่า  $A_{\text{max}}$  เท่ากับ 19.78, 18.05 และ 19.17  $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$  ตามลำดับซึ่งไม่แตกต่างกันทางสถิติแต่จะสูงกว่าค่า  $A_{\text{max}}$  ของต้นที่มีอายุมากขึ้นที่ 8, 10 และ 12 สัปดาห์อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ โดยที่ต้นหญ้าที่มีอายุ 12 สัปดาห์จะมีค่า  $A_{\text{max}}$  ต่ำที่สุด (6.94  $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ ) และแตกต่างจาก  $A_{\text{max}}$  ของต้นหญ้าที่มีอายุ 8 และ 10 สัปดาห์อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ

เมื่อพิจารณาถึงตำแหน่งของใบพบว่า  $A_{\text{max}}$  ของใบที่ 1 และ 2 (17.29 และ 17.27) สูงกว่าใบที่ 3, 4 และ 5 (15.78, 13.00 และ 10.77) อย่างมีนัยสำคัญ



ภาพที่ 11 (ก-ฉ) แสดง light response curve ของอัตราการสังเคราะห์แสง ( $\text{CO}_2$  assimilation rate;  $\mu\text{molCO}_2\text{m}^{-2}\text{s}^{-1}$ ) ต่อปริมาณแสง (PPFD;  $\mu\text{molm}^{-2}\text{s}^{-1}$ ) ของใบหูกวางตำแหน่งที่ 1-5 จากต้นหูกวางที่มีอายุ ก) 2 สัปดาห์ ข) 4 สัปดาห์ ค) 6 สัปดาห์ ง) 8 สัปดาห์ จ) 10 สัปดาห์ ฉ) 12 สัปดาห์ ในสภาพการทดลองในห้องปฏิบัติการ



ตารางที่ 3 แสดงค่าเฉลี่ยของอัตราการสังเคราะห์แสงสูงสุด ( $\mu\text{molCO}_2\text{m}^{-2}\text{s}^{-1}$ ) ที่ความเข้มแสงประมาณ 600  $\mu\text{molm}^{-2}\text{s}^{-1}$  ของใบหน่อยางนแต่ละช่วงอายุที่ตัด มาศึกษาในหองปฏิบัติการ

ตำแหน่งที่ของใบ	อายุของต้นหน่อยางน									
	2 สัปดาห์	4 สัปดาห์	6 สัปดาห์	8 สัปดาห์	10 สัปดาห์	12 สัปดาห์	เฉลี่ย			
1	23.45	20.09	23.54	14.81	13.29	8.61	17.29 <sup>a</sup>			
2	21.18	21.83	21.75	16.10	15.24	6.92	17.17 <sup>a</sup>			
3	20.46	19.05	20.38	14.68	13.65	6.51	15.78 <sup>b</sup>			
4	14.05	15.49	16.65	14.43	11.40	6.00	13.00 <sup>b</sup>			
5	-	13.64	13.56	11.54	8.44	6.70	10.77 <sup>c</sup>			
เฉลี่ย	19.78 <sup>a</sup>	18.05 <sup>a</sup>	19.17 <sup>a</sup>	14.31 <sup>bc</sup>	12.40 <sup>c</sup>	6.94 <sup>d</sup>				

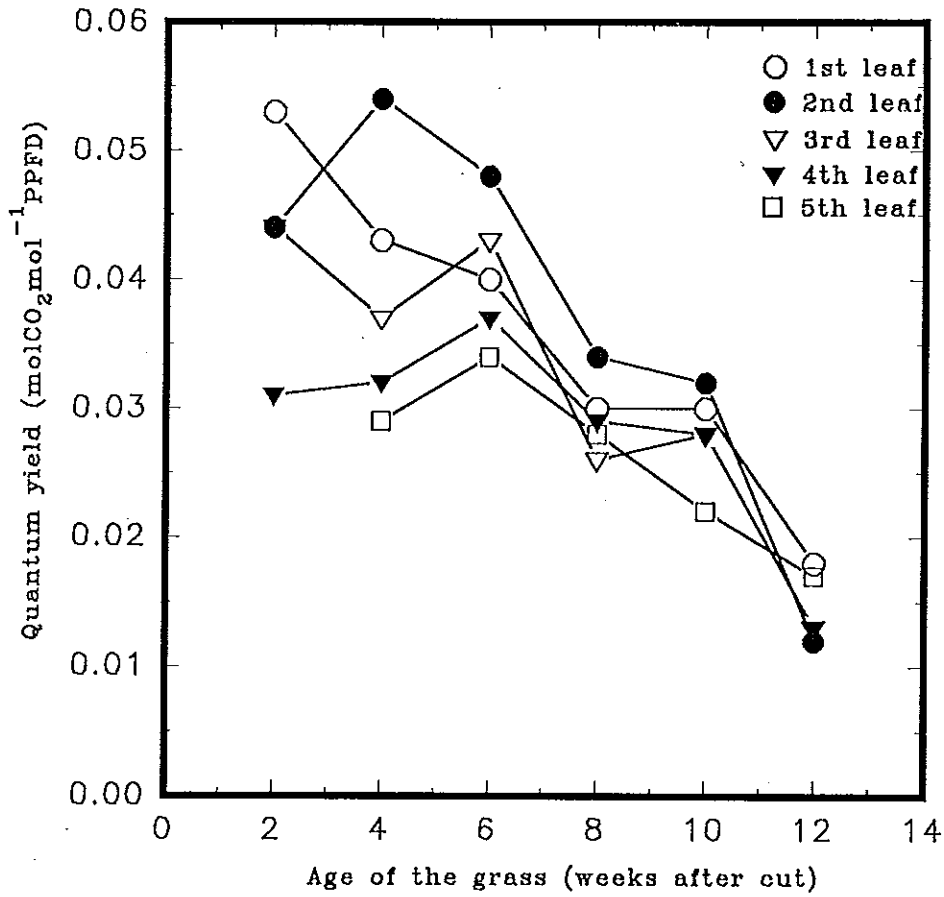
ตัวเลขที่มีอักษรเหมือนกันไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซ็นต์โดยวิธี DMRT

### 3.2.2.3 Quantum yield และ Quantum requirement

ผลการวิเคราะห์ความแปรปรวนทางสถิติของค่า quantum yield ( $\phi$ ) ในห้องปฏิบัติการพบว่า อายุของต้นหนุ่ยขานและตำแหน่งของใบมีผลต่อค่า quantum yield และยังพบว่า มีปฏิริยาสัมพันธ์ระหว่างอายุของหนุ่ยขานกับตำแหน่งของใบต่อค่า quantum yield ด้วย (ตารางภาคผนวกที่ 1) ผลการศึกษาแสดงในภาพที่ 12 และตารางที่ 4 ซึ่งพบว่า เมื่อหนุ่ยขานมีอายุมากขึ้น ค่า quantum yield จะมีค่าเฉลี่ยต่ำลง โดยเมื่อต้นหนุ่ยขานมีอายุ 2 สัปดาห์จะมีค่า  $\phi$  สูงสุดเท่ากับ  $0.043 \text{ molCO}_2\text{mol}^{-1}\text{PPFD}$  ซึ่งแตกต่างทางสถิติกับต้นหนุ่ยขานที่มีอายุอื่น ๆ และจะมีค่า  $\phi$  ต่ำสุดเป็น  $0.014 \text{ molCO}_2\text{mol}^{-1}\text{PPFD}$  เมื่ออายุ 12 สัปดาห์ ซึ่งแตกต่างจากต้นหนุ่ยขานในช่วงอายุอื่นอย่างมีนัยสำคัญยิ่งทางสถิติเช่นกัน (ตารางที่ 4) เมื่อพิจารณาดำแหน่งของใบพบว่า ใบในตำแหน่งที่ 2 มีค่าสูงสุด ( $0.037 \text{ molCO}_2\text{mol}^{-1}\text{PPFD}$ ) โดยไม่แตกต่างจากใบตำแหน่งที่ 1 และที่ 3 ( $0.035$  และ  $0.031 \text{ molCO}_2\text{mol}^{-1}\text{PPFD}$  ตามลำดับ) ส่วนใบในตำแหน่งที่ 5 จะมีค่าต่ำสุด ( $0.026 \text{ molCO}_2\text{mol}^{-1}\text{PPFD}$ ) ไม่แตกต่างจากใบในตำแหน่งที่ 4 ( $0.028 \text{ molCO}_2\text{mol}^{-1}\text{PPFD}$ ) แต่จะแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญกับใบในตำแหน่งที่ 1 และ 2

ผลการเปรียบเทียบปฏิริยาสัมพันธ์ระหว่างอายุกับตำแหน่งใบพบว่า ใบตำแหน่งที่ 1 ในช่วงอายุ 2 สัปดาห์ และใบตำแหน่งที่ 2 ในช่วงอายุ 4 สัปดาห์มีค่า  $\phi$  สูงสุด ( $0.053$  และ  $0.054 \text{ molCO}_2\text{mol}^{-1}\text{PPFD}$  ตามลำดับ) แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญกับตำแหน่งใบในช่วงอื่น ๆ ทั้งหมดโดยที่ใบที่ 2 ในช่วงอายุ 6 และ 4 สัปดาห์จะมีค่ารองลงมาก็คือ  $0.048$  และ  $0.044 \text{ molCO}_2\text{mol}^{-1}\text{PPFD}$  ตามลำดับซึ่งไม่แตกต่างจากใบที่ 1 อายุที่ 4 สัปดาห์และใบที่ 3 อายุที่ 6 สัปดาห์ ( $0.043 \text{ molCO}_2\text{mol}^{-1}\text{PPFD}$  เท่ากัน) หลังจากนั้นแล้วใบในตำแหน่งที่ 1-3 จะลดลงตามลำดับอยู่ในระดับเดียวกันกับใบในตำแหน่งที่ 4 และ 5 หลังจากอายุมากกว่า 6 สัปดาห์ โดยในช่วงสัปดาห์ที่ 12 จะมีค่าต่ำกว่า  $0.020$  ในทุกตำแหน่งใบ

สำหรับผลการศึกษา quantum requirement (ตารางที่ 4) ซึ่งเป็นค่าสัดส่วนกลับกันของ quantum yield พบว่าเมื่อหนุ่ยขานมีอายุ 12 สัปดาห์จะมีค่า quantum requirement สูงที่สุดมีค่าเท่ากับ  $70.31 \text{ molPPFDmol}^{-1}\text{CO}_2$  และค่า quantum requirement จะมีค่าต่ำที่สุดเมื่ออายุของต้นหนุ่ยขานเป็น 2 สัปดาห์โดยมีค่าเท่ากับ  $24.1 \text{ molPPFDmol}^{-1}\text{CO}_2$  และค่า quantum requirement ของตำแหน่งใบที่ 5 จะมีค่ามากกว่าค่า quantum requirement ของใบหนุ่ยขานที่ตำแหน่งที่ 4, 3, 2 และ 1 โดยมีค่าเป็น  $39.6, 37.3, 34.3$  และ  $31.5 \text{ molPPFDmol}^{-1}\text{CO}_2$  ตามลำดับ



ภาพที่ 12 แสดง quantum yield (molCO<sub>2</sub> mol<sup>-1</sup> PPF) ของใบหญ้าขนจากต้นพืชอายุ 2-12 สัปดาห์หลังการตัด โดยคำนวณจาก initial slope ของ light response curve ที่ทดลองในห้องปฏิบัติการ

ตารางที่ 4 แสดงค่า quantum yield ( $\text{molCO}_2\text{mol}^{-1}\text{PPFD}$ ) และ quantum requirement (ตัวเลขในวงเล็บ) ของใบหนุ่ยจากต้นพีชอายุ 2-12 สัปดาห์หลังการตัด โดยคำนวณจาก initial slope ของ light response curve ที่ทดลองในห้องปฏิบัติการ

ตำแหน่งที่ของใบ	อายุของต้นหนุ่ย									
	2 สัปดาห์	4 สัปดาห์	6 สัปดาห์	8 สัปดาห์	10 สัปดาห์	12 สัปดาห์	เฉลี่ย			
1	0.053 <sup>a</sup> (18.8)	0.043 <sup>c</sup> (23.2)	0.040 <sup>dc</sup> (25.0)	0.030 <sup>i</sup> (33.3)	0.030 <sup>hi</sup> (33.3)	0.018 <sup>l</sup> (55.5)	0.085 <sup>a</sup> (81.5)			
2	0.044 <sup>bc</sup> (22.7)	0.054 <sup>a</sup> (18.5)	0.048 <sup>b</sup> (20.8)	0.034 <sup>e</sup> (29.4)	0.032 <sup>f</sup> (31.2)	0.012 <sup>m</sup> (83.3)	0.087 <sup>a</sup> (84.8)			
3	0.044 <sup>bc</sup> (22.7)	0.037 <sup>ef</sup> (27.0)	0.043 <sup>c</sup> (23.2)	0.026 <sup>j</sup> (38.4)	0.028 <sup>ij</sup> (35.7)	0.013 <sup>m</sup> (76.9)	0.031 <sup>ab</sup> (37.8)			
4	0.031 <sup>fg</sup> (32.2)	0.032 <sup>e</sup> (31.2)	0.037 <sup>ef</sup> (27.0)	0.029 <sup>ij</sup> (34.4)	0.028 <sup>ij</sup> (35.7)	0.013 <sup>m</sup> (76.9)	0.028 <sup>bc</sup> (39.6)			
5	-	0.029 <sup>ij</sup> (34.4)	0.034 <sup>e</sup> (29.4)	0.028 <sup>ij</sup> (35.7)	0.022 <sup>k</sup> (45.4)	0.017 <sup>l</sup> (58.8)	0.026 <sup>c</sup> (40.7)			
เฉลี่ย	0.048 <sup>a</sup> (24.1)	0.039 <sup>b</sup> (26.9)	0.040 <sup>b</sup> (25.1)	0.029 <sup>c</sup> (34.2)	0.028 <sup>c</sup> (36.2)	0.014 <sup>d</sup> (70.8)				

ตัวเลขที่มีอักษรเหมือนกัน ไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซ็นต์โดยวิธี DMRT

### 3.2.2.4 A/Ci response curve

การศึกษาในห้องปฏิบัติการ เพื่อที่จะดูการตอบสนองของใบหญ้าชนตต่อปริมาณคาร์บอนไดออกไซด์ที่เพิ่มขึ้น ในสภาพความเข้มแสงประมาณ  $600 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$  ที่อุณหภูมิประมาณ 27 องศาเซลเซียส สามารถสร้างเป็นความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการสังเคราะห์แสงกับความเข้มข้นของคาร์บอนไดออกไซด์ใต้อากาศ (Ci) เรียกว่า A/Ci response curve

ภาพที่ 13 (ก-จ) แสดง A/Ci response curve ของใบหญ้าชนตจากต้นที่มีอายุ 2, 4, 6, 8, 10 และ 12 สัปดาห์ จะเห็นได้ว่าอัตราการสังเคราะห์แสงของใบหญ้าชนตทุกใบเพิ่มขึ้นเมื่อความเข้มข้นของคาร์บอนไดออกไซด์เพิ่มขึ้น และจะตอบสนองตามอายุของหญ้าที่เพิ่มขึ้นกล่าวคืออัตราการสังเคราะห์แสงที่วัดได้ในสัปดาห์ที่ 2 จะสูงที่สุดประมาณ  $22-24 \mu\text{mol CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$  และลดลงตามลำดับจนถึงต่ำสุดในสัปดาห์ที่ 12 ซึ่งมีค่าประมาณ  $6-8 \mu\text{mol CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$  และตำแหน่งใบในลำดับที่ 1 และที่ 2 จะมีประสิทธิภาพมากกว่าตำแหน่งใบที่รองลงมาเกือบทุกช่วงอายุ

### 3.2.2.5 Rubisco Activity

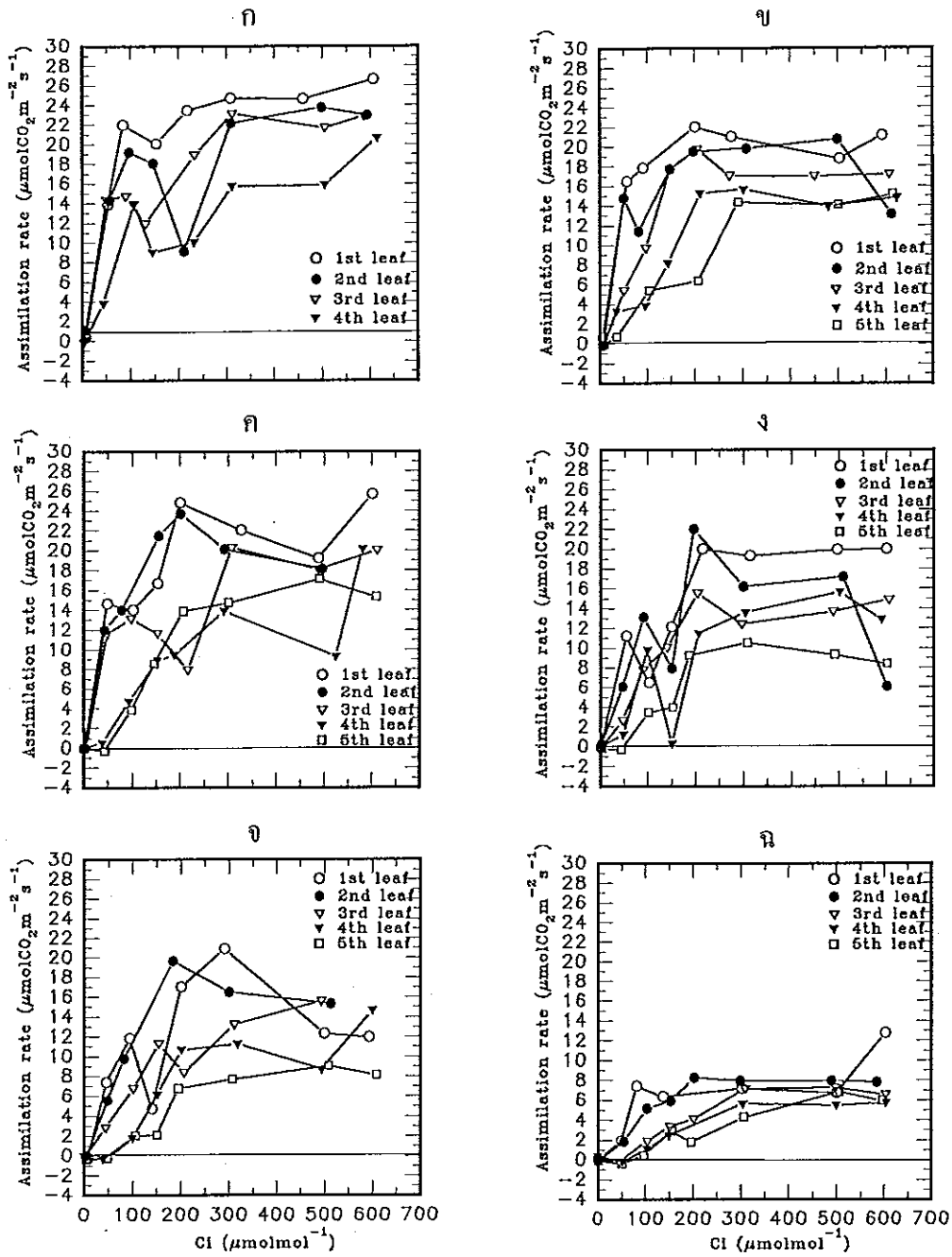
Rubisco activity แสดงถึงประสิทธิภาพของปฏิกิริยา carboxylation ในกระบวนการสังเคราะห์แสงในหน่วยของ  $\text{mol m}^{-2} \text{ s}^{-1}$  ซึ่งคำนวณจาก initial slope ของ A/Ci response curve

ภาพที่ 14 และตารางที่ 5 แสดง rubisco activity ของใบหญ้าชนตจากต้นที่มีอายุ 2-12 สัปดาห์ภายหลังการตัด พบว่าค่า rubisco activity ของต้นหญ้าชนตในแต่ละสัปดาห์แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (ตารางภาคผนวกที่ 1) จากการวิเคราะห์พบว่า ในช่วงที่หญ้าชนตมีอายุ 2 สัปดาห์หลังการตัดประสิทธิภาพของเอนไซม์ Rubisco จะดีที่สุดคือมีค่าเฉลี่ย  $0.199 \text{ mol m}^{-2} \text{ s}^{-1}$  แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญกับช่วงอายุอื่น ๆ หลังจากนั้นแล้วประสิทธิภาพจะลดลงเมื่ออายุเพิ่มขึ้นตามลำดับ โดยค่าต่ำสุดจะพบในสัปดาห์ที่ 12 คือ  $0.032 \text{ mol m}^{-2} \text{ s}^{-1}$

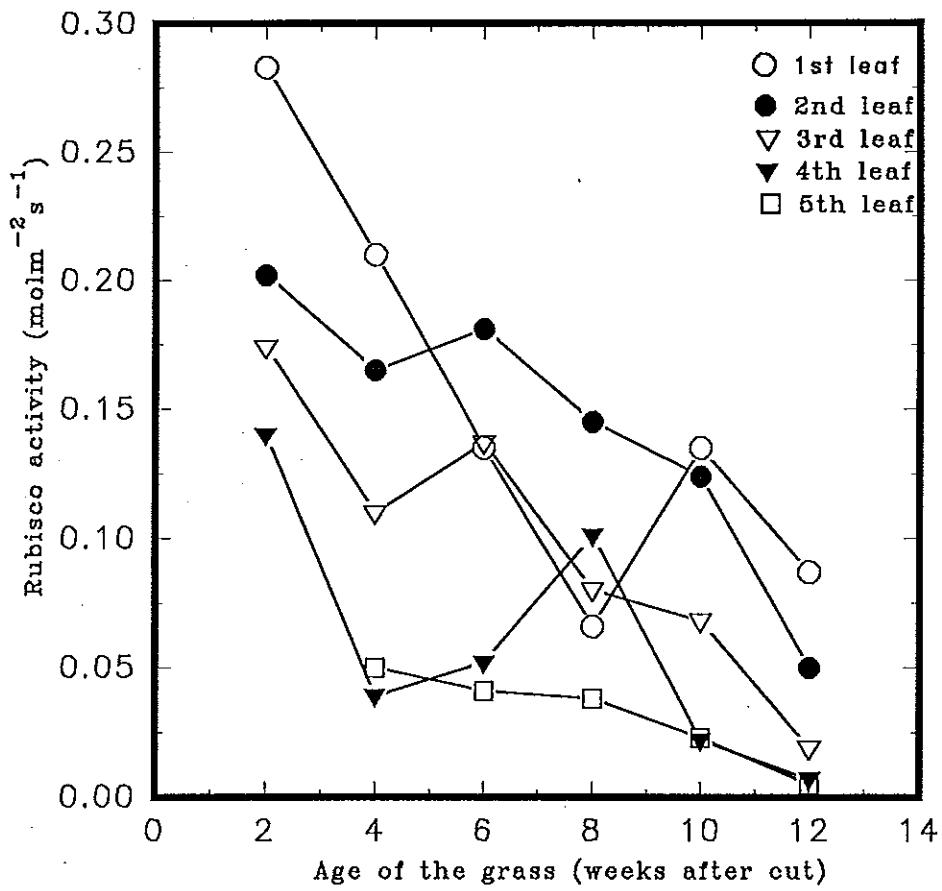
ตำแหน่งใบของหญ้าชนตมีอิทธิพลต่อค่า rubisco activity พบว่ามีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (ตารางภาคผนวกที่ 1) โดยใบในตำแหน่งที่ 1 จะมีค่าเฉลี่ยสูงที่สุดเท่ากับ  $0.152 \text{ mol m}^{-2} \text{ s}^{-1}$  ซึ่งมีค่าไม่แตกต่างทางสถิติกับใบตำแหน่งที่ 2 ( $0.144 \text{ mol m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ ) สูงกว่าใบตำแหน่งที่ 3 และ 4 ( $0.098$  และ  $0.060 \text{ mol m}^{-2} \text{ s}^{-1}$  ตามลำดับ) อย่างมีนัยสำคัญ ส่วนใบตำแหน่งที่ 5 มีค่า rubisco activity ต่ำที่สุดคือมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ  $0.031 \text{ mol m}^{-2} \text{ s}^{-1}$

นอกจากนี้ยังพบว่ามีการสัมพันธ์ระหว่างอายุของต้นหญ้าชนตกับตำแหน่งใบของหญ้าชนตต่อค่า rubisco activity ด้วย (ตารางภาคผนวกที่ 1) จากการเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยโดยวิธี DMRT พบว่ามีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติระหว่างอายุของต้นกับตำแหน่งของใบ พบว่าประสิทธิภาพของเอนไซม์ Rubisco มีค่าสูงสุด ( $0.283 \text{ mol m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ ) ในตำแหน่งใบที่ 1 เมื่อหญ้าชนตมีอายุ 2 สัปดาห์ หลังจากนั้นแล้วจะมีค่าลดลงมาเป็น  $0.210 \text{ mol m}^{-2} \text{ s}^{-1}$  ในสัปดาห์ที่ 4 ซึ่ง

เท่ากันทางสถิติกับค่าที่วัดได้จากตำแหน่งใบที่ 2 ใน 2 สัปดาห์แรก ( $0.202 \text{ molm}^{-2} \text{ s}^{-1}$ ) และแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญกับตำแหน่งใบและช่วงอายุอื่น ๆ ใบที่ 4 และใบที่ 5 ที่วัดในช่วงสัปดาห์ที่ 4 เป็นต้นไปนั้น จะมีค่าโดยเฉลี่ยแล้วต่ำกว่า  $0.050 \text{ molm}^{-2} \text{ s}^{-1}$  จัดอยู่ในกลุ่มต่ำสุด โดยที่ใบที่ 3 จะมีค่าระดับปานกลางในช่วงสัปดาห์ที่ 2, 4 และ 6 คือมีค่าเป็น 0.174, 0.110 และ  $0.137 \text{ molm}^{-2} \text{ s}^{-1}$  ตามลำดับ โดยที่ทั้งสามค่ามีความแตกต่างกันทางสถิติ ความแตกต่างกันระหว่างตำแหน่งใบนั้นจะเห็นได้ชัดเจนในช่วงสัปดาห์ที่ 2 และสัปดาห์ที่ 4 ภายหลังจากการตัดมากกว่าในช่วงอื่น ๆ ซึ่งค่าของ activity ลดลงมาอยู่ในระดับใกล้เคียงกัน (ภาพที่ 14 และตารางที่ 5)



ภาพที่ 13 (ก-ก) แสดง A/Ci response curve ของอัตราการสังเคราะห์แสง ( $\text{CO}_2$  assimilation rate;  $\mu\text{molCO}_2\text{m}^{-2}\text{s}^{-1}$ ) ต่อปริมาณคาร์บอนไดออกไซด์ภายในปากใบพืช ( $\text{C}_i$ ;  $\mu\text{molmol}^{-1}$ ) ของใบหนาขนตำแหน่งที่ 1-5 จากต้นหนุ่ยขนที่มีอายุ ก) 2 สัปดาห์ ข) 4 สัปดาห์ ค) 6 สัปดาห์ ง) 8 สัปดาห์ จ) 10 สัปดาห์ ฉ) 12 สัปดาห์ ในสภาพการทดลองในห้องปฏิบัติการ



ภาพที่ 14 แสดง rubisco activity ( $\text{molm}^{-2} \text{s}^{-1}$ ) ของใบหญ้าขนจากต้นที่มีอายุ 2-12 สัปดาห์ โดยคำนวณจาก initial slope ของความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นของคาร์บอนไดออกไซด์กับอัตราการสังเคราะห์แสง



ตารางที่ 5 rubisco activity ( $\text{molm}^{-2} \text{s}^{-1}$ ) ของใบหญ้าขนจากต้นที่มีอายุ 2-12 สัปดาห์ โดยคำนวณจาก initial slope ของความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นของคาร์บอนไดออกไซด์กับอัตราการสังเคราะห์แสง

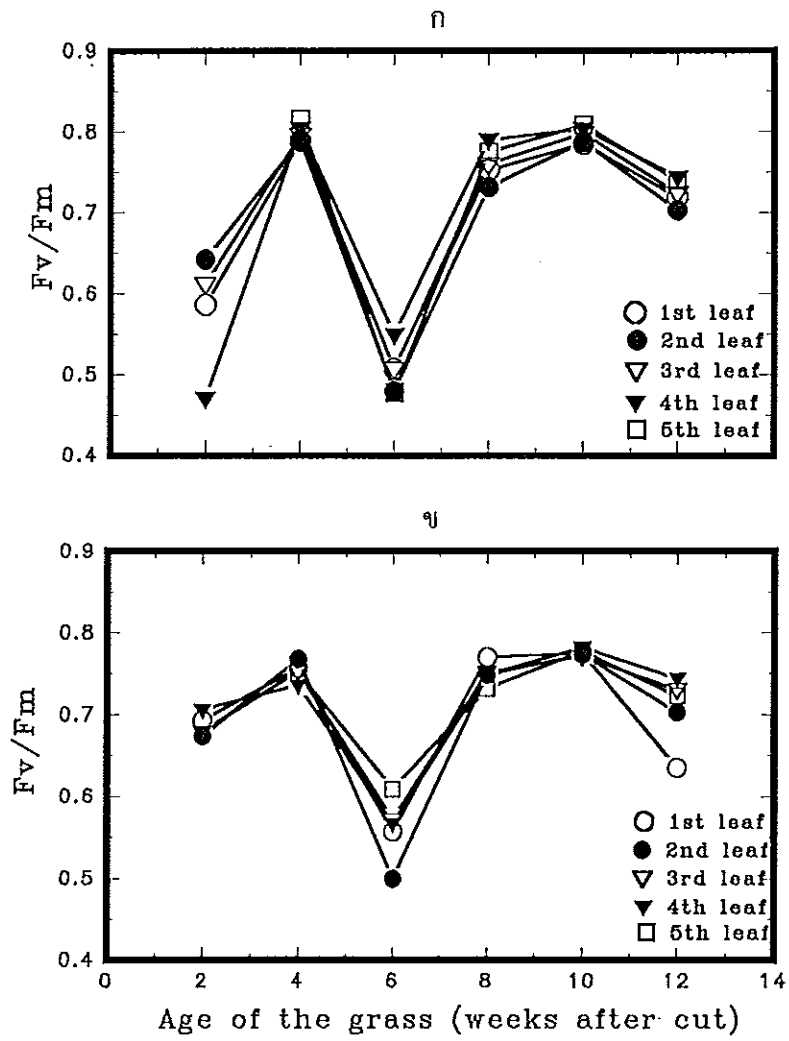
ตำแหน่งที่ของ ใบ	อายุของต้นหญ้าขน						
	2 สัปดาห์	4 สัปดาห์	6 สัปดาห์	8 สัปดาห์	10 สัปดาห์	12 สัปดาห์	เฉลี่ย
1	0.283 <sup>a</sup>	0.210 <sup>b</sup>	0.135 <sup>ghi</sup>	0.066 <sup>m</sup>	0.135 <sup>hi</sup>	0.087 <sup>l</sup>	0.152 <sup>a</sup>
2	0.202 <sup>b</sup>	0.165 <sup>dc</sup>	0.181 <sup>c</sup>	0.145 <sup>efg</sup>	0.124 <sup>ij</sup>	0.050 <sup>n</sup>	0.144 <sup>a</sup>
3	0.174 <sup>cd</sup>	0.110 <sup>jk</sup>	0.137 <sup>ghi</sup>	0.080 <sup>lm</sup>	0.068 <sup>m</sup>	0.019 <sup>pq</sup>	0.098 <sup>b</sup>
4	0.140 <sup>fgh</sup>	0.039 <sup>no</sup>	0.052 <sup>n</sup>	0.101 <sup>k</sup>	0.022 <sup>op</sup>	0.007 <sup>q</sup>	0.060 <sup>b</sup>
5	-	0.050 <sup>n</sup>	0.041 <sup>n</sup>	0.038 <sup>n</sup>	0.023 <sup>p</sup>	0.005 <sup>q</sup>	0.031 <sup>c</sup>
เฉลี่ย	0.199 <sup>a</sup>	0.114 <sup>b</sup>	0.109 <sup>b</sup>	0.086 <sup>bc</sup>	0.074 <sup>c</sup>	0.033 <sup>d</sup>	

ตัวเลขที่มีอักษรเหมือนกันไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซ็นต์โดยวิธี DMRT

### 3.3. ผลการศึกษาคลอโรฟิลล์ฟลูออเรสเซนซ์

#### 3.3.1 ผลการศึกษาค่า Fv/Fm ของหญ้าขนในแต่ละช่วงอายุ

การศึกษาคลอโรฟิลล์ฟลูออเรสเซนซ์ของใบหญ้าขนในแปลงหญ้า ทำการศึกษาทั้งด้านบนและด้านล่างของใบในทุกตำแหน่งของใบและทุกช่วงอายุของหญ้าขนหลังการตัด โดยศึกษาอัตราส่วนระหว่างค่า Fv/Fm ซึ่งแสดงถึงผลกระทบที่เกิดขึ้นต่อรงควัตถุที่ใช้ในการสังเคราะห์แสงจากปัจจัยสภาพแวดล้อมภายนอกหรือเป็นการวัดอาการที่พืชเกิดความเครียดทางอ้อม พืชที่อยู่ในสภาพเครียดจะมีค่า Fv/Fm ต่ำ เมื่อนำผลการศึกษามาวิเคราะห์ความแปรปรวนพบว่า อายุของหญ้าขนและด้านของใบมีอิทธิพลต่อค่า Fv/Fm แต่ไม่มีปฏิกริยาสัมพันธ์ระหว่างอายุของต้นหญ้าขนและด้านของใบต่อค่า Fv/Fm ส่วนตำแหน่งของใบไม่มีผลต่อค่า Fv/Fm (ตารางภาคผนวกที่ 2) ซึ่งแสดงผลดังภาพที่ 15 และตารางที่ 6 แสดงผลของการเปรียบเทียบค่า Fv/Fm เฉลี่ยพบว่า ด้านล่างใบมีค่า Fv/Fm สูงกว่าด้านบนใบอย่างมีนัยสำคัญคือ 0.707 และ 0.698 ตามลำดับ ส่วนการเปรียบเทียบระหว่างช่วงอายุพบว่า จะมีค่าต่ำสุดในช่วงสัปดาห์ที่ 6 ทั้งด้านบนและด้านล่างของใบ (0.504 และ 0.561 ตามลำดับหรือเฉลี่ย 0.532) และรองลงมาในช่วงสัปดาห์ที่ 2 มีค่าเท่ากับ 0.632 มีค่าสูงสุดในสัปดาห์ที่ 4 และ 10 คือ 0.776 และ 0.786 ตามลำดับ ส่วนในช่วงสัปดาห์ที่ 8 และ 12 จะมีค่าปานกลางอยู่ระหว่างค่าต่ำสุดกับสูงสุดคือ 0.756 และ 0.719 ตามลำดับ การที่มีค่าแตกต่างกันในระหว่างช่วงอายุไม่แน่นอนเป็นการแสดงให้เห็นว่าพืชเกิดอาการเครียดซึ่งไม่ใช่มีสาเหตุมาจากอายุของต้นพืชแต่แสดงให้เห็นว่าในช่วงอายุสัปดาห์ที่ 6 พืชมีความเครียดเกิดขึ้นมากที่สุดและรองลงมาในช่วงสัปดาห์ที่ 2, 8, 12 และ 10 ตามลำดับ ความเครียดที่เกิดขึ้นนี้มีสาเหตุมาจากปัจจัยสภาพแวดล้อมภายนอก ซึ่งจะได้วิเคราะห์ในลำดับต่อไป



ภาพที่ 15 (ก-ข) แสดงค่า  $F_v/F_m$  เฉลี่ยของใบหญ้าขนตำแหน่งที่ 1-5 ทั้ง ก) ด้านบนใบ (upper) ข) ด้านล่างใบ (lower) จากต้นที่มีอายุ 2-12 สัปดาห์หลังการตัด

ตารางที่ 6 แสดงค่า Fv/Fm เฉลี่ยของหญ้าขนที่มีอายุ 2-12 สัปดาห์หลังการตัด

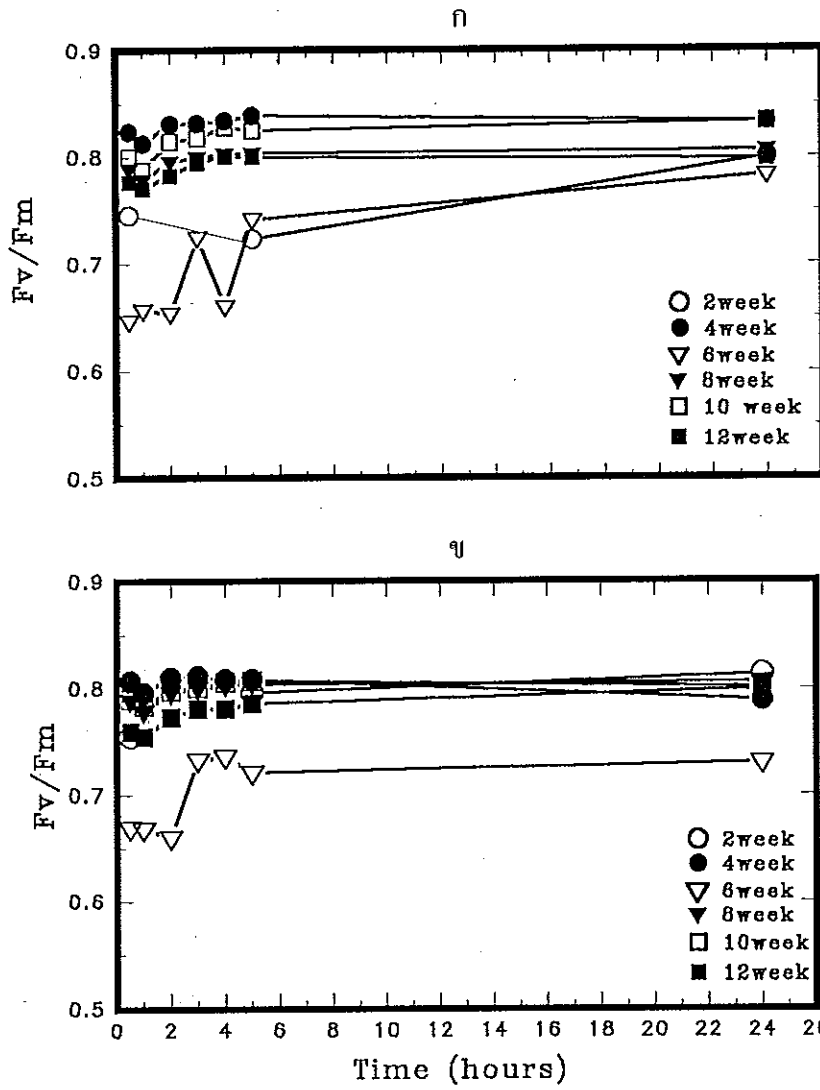
อายุของต้นหญ้าขน (สัปดาห์)	คานบนใบ (upper)	คานล่างใบ (lower)	ค่าเฉลี่ย
2	0.578 <sup>d</sup>	0.688 <sup>c</sup>	0.632 <sup>c</sup>
4	0.799 <sup>a</sup>	0.753 <sup>ab</sup>	0.776 <sup>a</sup>
6	0.504 <sup>e</sup>	0.561 <sup>d</sup>	0.532 <sup>d</sup>
8	0.762 <sup>b</sup>	0.750 <sup>ab</sup>	0.756 <sup>b</sup>
10	0.796 <sup>ab</sup>	0.776 <sup>a</sup>	0.786 <sup>a</sup>
12	0.726 <sup>c</sup>	0.712 <sup>bc</sup>	0.719 <sup>b</sup>
ค่าเฉลี่ย	0.698 <sup>b</sup>	0.707 <sup>a</sup>	

ตัวเลขที่มีอักษรเหมือนกันไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95  
เปอร์เซ็นต์ โดยวิธี DMRT

### 3.3.2 ผลการศึกษาการฟื้นตัวของค่า Fv/Fm

หลังจากการวัดค่าฟลูออเรสเซนซ์ในแปลงหญ้าแล้ว จึงทำการตัดต้นหญ้านั้นต้นเดิมนำมา ทำการศึกษาการฟื้นตัวในห้องปฏิบัติการที่มีอุณหภูมิประมาณ 27 องศาเซลเซียส โดยทำการวัดค่าฟลูออเรสเซนซ์ที่เวลา 0.5, 1, 2, 3, 4, 5 และ 24 ชั่วโมงหลังจากนำมาไว้ในกล่องพลาสติก ผลการศึกษาแสดงดังภาพที่ 16 ซึ่งเป็นค่าเฉลี่ยจากทุก ๆ ใบในแต่ละช่วงอายุนั้น พบว่า ค่า Fv/Fm ของใบหญ้านั้นทั้งด้านบนใบ (upper) และด้านล่างใบ (lower) ส่วนใหญ่ลดลงในช่วง 0.5 ชั่วโมงแรก แล้วค่อย ๆ เพิ่มขึ้นสูงสุดในชั่วโมงที่ 3-4 แต่จะค่อย ๆ ฟื้นคืนสู่สภาพเดิมเมื่อเวลาผ่านไป 24 ชั่วโมง แต่ด้านล่างใบของต้นที่มีอายุ 6 สัปดาห์จะไม่มี การฟื้นตัวแม้เวลาจะผ่านไป 24 ชั่วโมงแล้ว

การทดสอบการฟื้นตัวนี้มีผลสอดคล้องกับการวัดค่า Fv/Fm ในแปลงหญ้าคือ ในช่วงสัปดาห์ที่ 6 พืชจะได้รับความเครียดสูงสุดตามมาคือสัปดาห์ที่ 2 ตามผลการทดลองในหัวข้อ 3.1 ในสัปดาห์ที่ 6 เป็นไปได้ว่าระบบการสังเคราะห์แสงได้รับผลกระทบกระท่อนมากจนค่า Fv/Fm ไม่สามารถจะกลับสู่สภาพปกติได้แม้เวลาผ่านไป 24 ชั่วโมงแล้ว ในขณะที่ในช่วงสัปดาห์อื่น ๆ นั้นคืนสู่สภาพปกติได้อีก ดังนั้นปริมาณความรุนแรงของสภาพแวดล้อมในช่วงสัปดาห์ที่ 6 จึงก่อให้เกิดผลเสียหายต่อระบบการสังเคราะห์แสงของพืชชนิดนี้ หากมีการเกิดขึ้นบ่อยครั้งในช่วงที่พืชอยู่ในแปลงก็จะส่งผลกระทบต่อ การเจริญเติบโตของพืชได้ ปัจจัยที่ก่อให้เกิดความเครียดนี้ จะได้มีการวิเคราะห์ต่อไป



ภาพที่ 16 (ก-ข) แสดงการฟื้นตัวของค่า  $F_v/F_m$  เฉลี่ยของหญ้าขน ก) ด้านบนใบ (upper) ข) ด้านล่างใบ (lower) จากต้นที่มีอายุ 2-12 สัปดาห์

### 3.4. ผลการศึกษาการเจริญเติบโตและการวิเคราะห์การเจริญเติบโตของหญ้าขน

เมื่อต้นหญ้าขนมีอายุ 2, 4, 6, 8, 10 และ 12 สัปดาห์ ก็ทำการเก็บตัวอย่างเพื่อหาน้ำหนักแห้ง และ LAI ซึ่งแสดงผลการศึกษาพบว่า

การสะสมน้ำหนักแห้งจะค่อย ๆ เพิ่มขึ้นในช่วง 8 สัปดาห์แรก แต่หลังจากสัปดาห์ที่ 8 ไปแล้ว การสะสมน้ำหนักแห้งจะเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็วกว่า 8 สัปดาห์แรก และมีค่าสูงสุดในสัปดาห์ที่ 12 มีค่าเท่ากับ 1161.92 กรัมต่อตารางเมตร (ภาพที่ 17 ก) ค่าการสะสมน้ำหนักแห้งจะสะท้อนถึงผลรวมสุทธิของการเจริญเติบโตในแต่ละช่วงเวลาและความสามารถของกระบวนการทางสรีรวิทยาของพืชซึ่งจะมีระดับความแตกต่างกันขึ้นอยู่กับสภาพของปัจจัยแวดล้อมว่าจะเอื้ออำนวยมากน้อยเพียงใดโดยในที่นี่วัดในทุกช่วง 2 สัปดาห์ จึงเป็นการชี้ให้เห็นการตอบสนองของพืชในแต่ละช่วงที่วัด สภาพแวดล้อมต่าง ๆ จึงมีผลอย่างมากต่อการเปลี่ยนแปลงนี้

ค่าดัชนีพื้นที่ใบ (LAI) เพิ่มขึ้นตลอดการทดลองตั้งแต่ 2-12 สัปดาห์ โดยมีค่าสูงสุดที่สัปดาห์ที่ 12 เท่ากับ 3.86 (ภาพที่ 17 ข) เมื่อพิจารณาว่าค่าดัชนีพื้นที่ใบจะพบในช่วงสัปดาห์ที่ 4-6 และ 6-8 จะมีการเพิ่มขึ้นน้อยกว่าช่วงอื่น ๆ อันเป็นผลเนื่องมาจากการตอบสนองของพืชต่อสภาพแวดล้อม

การสะสมน้ำหนักแห้งและค่าดัชนีพื้นที่ใบเป็นค่าที่วัดได้โดยตรง (absolute value) สามารถที่จะนำมาหาเป็นค่าสัมพัทธ์ (relative value) สำหรับนำไปเปรียบเทียบกับพืชอื่น ๆ เพื่อดูความสามารถในการเจริญเติบโตในที่นี้ได้แก่ค่า RGR, LAR, NAR และ CGR ดังจะได้กล่าวในลำดับต่อไป

ผลการศึกษาพบว่าค่า RGR จะมีอัตราลดลงตามลำดับโดยในช่วง 2-4 สัปดาห์มีค่า RGR สูงที่สุดเท่ากับ  $0.09 \text{ g g}^{-1} \text{ d}^{-1}$  และจะลดลงอย่างรวดเร็วในช่วงสัปดาห์ที่ 4-6, 6-8 และ 10-12 โดยมีอัตราเพิ่มขึ้นในช่วงสัปดาห์ที่ 8-10 แสดงให้เห็นว่าพืชจะมีการเจริญค่อนข้างมากในช่วงแรก ๆ และอัตราจะลดลงในช่วงหลัง ๆ นอกเสียจากว่าจะมีปัจจัยสภาพแวดล้อมที่เหมาะสมเกิดขึ้นอีกในช่วงใดช่วงหนึ่งเช่นในช่วง 8-10 สัปดาห์เป็นต้น (ภาพที่ 17 ก)

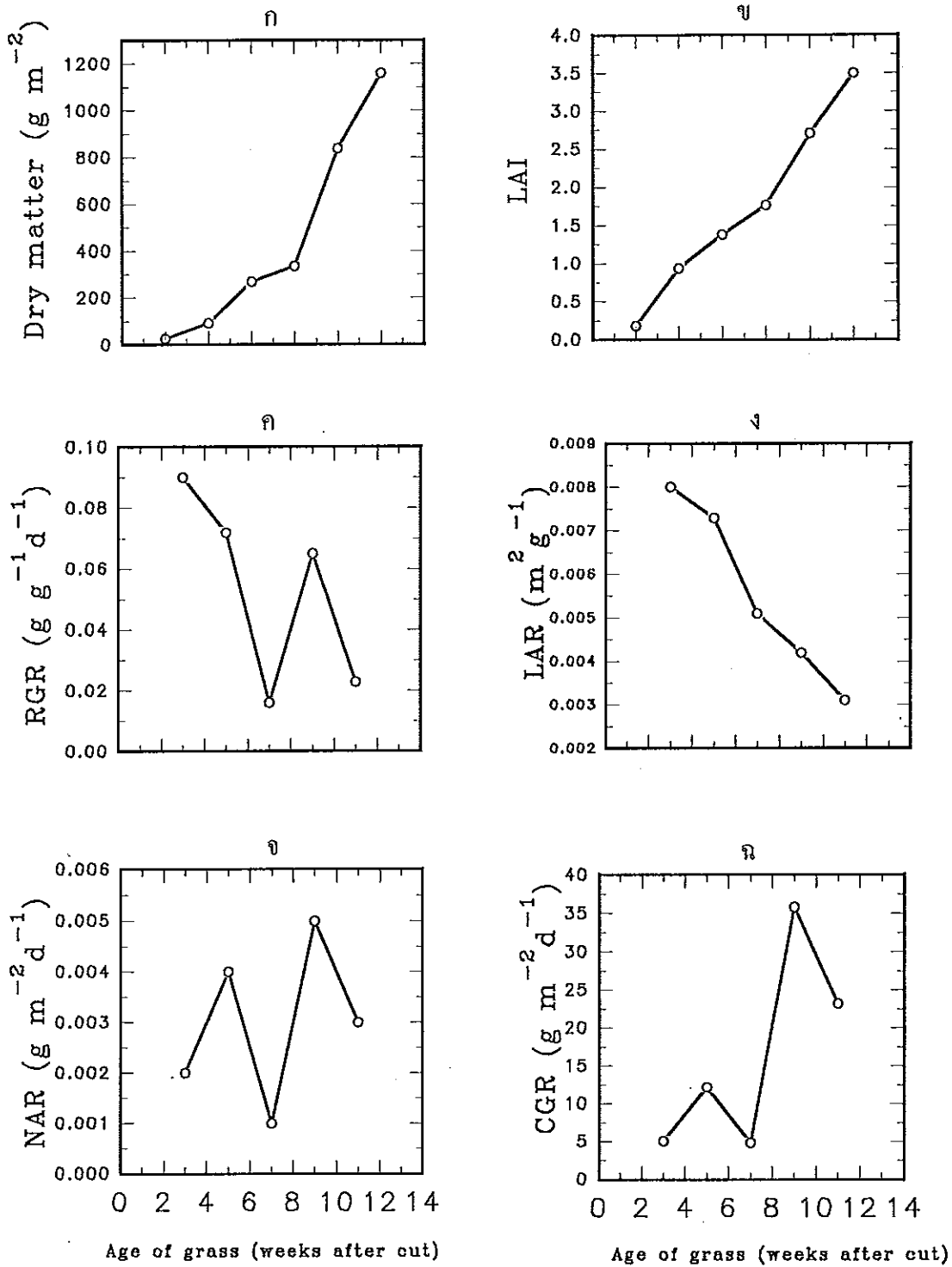
ค่า Leaf Area Ratio (LAR) ลดลงในทุกช่วงสัปดาห์โดยลดลงต่ำสุดเมื่อวัดในสัปดาห์ที่ 12 มีค่าเป็น  $0.0031 \text{ m}^2 \text{ g}^{-1}$  แสดงให้เห็นว่าอัตราที่พืชสร้างใบจากปริมาณมวลทั้งหมดที่พืชสร้างจะเกิดขึ้นในช่วงแรกของการเจริญเติบโตและเมื่อถึงสัปดาห์ที่ 12 อัตราในการสร้างใบจะลดลง (ภาพที่ 17 ข)

ค่า Net Assimilation Rate (NAR) เป็นการแสดงถึงความสามารถของการสร้างน้ำหนักแห้งของใบในแต่ละช่วงของการเจริญเติบโตซึ่งจะพบว่าพืชมีความสามารถสูงที่สุดในช่วง 8-10 สัปดาห์ ส่วนช่วงสัปดาห์อื่นนั้นก็มีค่าต่ำกว่า ในบางช่วงจะพบว่าประสิทธิภาพการสร้างน้ำหนักแห้งต่อหน่วย

พื้นที่ใบเพิ่มขึ้นบ้าง เช่นในช่วงสัปดาห์ที่ 4-6 แต่ NAR กลับลดลงต่ำสุดจะพบในช่วง 6-8 สัปดาห์ มีค่าเท่ากับ  $0.001 \text{ g m}^{-2} \text{ d}^{-1}$  ซึ่งเป็นช่วงสัปดาห์เดียวกับที่พบว่าค่า RGR และ CGR มีค่าต่ำสุดเช่นเดียวกัน (ภาพที่ 17จ)

Crop Growth Rate (CGR) เป็นดัชนีบ่งบอกอัตราการสะสมน้ำหนักแห้งของกลุ่มพืชต่อพื้นที่ดินต่อหนึ่งหน่วยเวลา ผลการวิเคราะห์ค่า CGR ของแต่ละช่วง 2 สัปดาห์พบว่า ในช่วง 6-8 สัปดาห์จะมีอัตราต่ำสุดคือ  $4.85 \text{ g m}^{-2} \text{ d}^{-2}$  และจะมีค่าเพิ่มขึ้นจนมีอัตราการสร้างน้ำหนักแห้งสูงสุดในช่วงสัปดาห์ที่ 8-10 มีค่าเท่ากับ  $35.79 \text{ g m}^{-2} \text{ d}^{-2}$  สำหรับในช่วง 6-8 สัปดาห์มีข้อน่าสังเกตว่า อัตราต่าง ๆ ที่วัดได้คือ RGR และ NAR ลดลงต่ำสุดอีกด้วย (ภาพที่ 17 ฉ)





ภาพที่ 17 (ก-ค) แสดง ก) การสะสมน้ำหนักแห้ง ข) ดัชนีพื้นที่ใบ (LAI) ค) RGR ง) LAR  
 จ) NAR ฉ) CGR ของหญ้าขนจากอายุ 0-12 สัปดาห์

## บทที่ 4

### วิจารณ์และสรุปผลการศึกษา

#### 4.1.วิจารณ์ผลการศึกษา

การศึกษาอัตราการสังเคราะห์แสง คลอโรฟิลล์ฟลูออเรสเซนซ์ และการเจริญเติบโตของหญ้าขนในครั้งนี้ มีจุดประสงค์เพื่อศึกษารายละเอียดถึงประสิทธิภาพการสังเคราะห์แสงและการเจริญเติบโตในสภาพแวดล้อมธรรมชาติที่พืชชนิดนี้ขึ้นอยู่ ศึกษาการตอบสนองต่อปัจจัยที่จำเป็นต่อการสังเคราะห์แสงคือ ปริมาณแสง และคาร์บอนไดออกไซด์ในห้องปฏิบัติการ ตลอดจนปัจจัยอื่น ๆ ที่จำกัดความสามารถของการสังเคราะห์แสงจากการศึกษาคลอโรฟิลล์ฟลูออเรสเซนซ์ และขณะเดียวกันก็ทดสอบหาช่วงอายุพืชและตำแหน่งของใบที่เหมาะสมในการใช้สำหรับวัดการสังเคราะห์แสง

##### 4.1.1 อัตราการสังเคราะห์แสง

###### 4.1.1.1 การตอบสนองต่อปริมาณแสง

อัตราการสังเคราะห์แสงวัดโดยอัตราการแลกเปลี่ยนก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ที่มีการแปรผันปริมาณแสงตั้งแต่  $0-600 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$  ทั้งในแปลงหญ้าและในห้องปฏิบัติการ โดยวัดจากใบหญ้าขนในตำแหน่งที่ 1-5 จากยอดเมื่อหญ้าขนมีอายุ 2, 4, 6, 8, 10 และ 12 สัปดาห์ภายหลังการตัด

หญ้าขนแสดงการตอบสนองต่อปริมาณแสงที่เพิ่มขึ้น จนกระทั่งมีอัตราการสังเคราะห์แสงสูงสุด ( $A_{\text{max}}$ ) ที่วัดในแปลงหญ้าและห้องปฏิบัติการที่ระดับแสงประมาณ  $600 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$  มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 16.38 และ  $19.78 \mu\text{mol CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$  ตามลำดับ ความแปรปรวนของอัตราการสังเคราะห์แสงสูงสุดที่วัดในแปลงหญ้าและในห้องปฏิบัติการจะพบว่าขึ้นอยู่กับอายุและตำแหน่งใบของหญ้าขนและสภาพแวดล้อมที่เป็นเงื่อนไขในขณะทำการวัดการสังเคราะห์แสง

หญ้าขนจะมีค่า  $A_{\text{max}}$  สูงสุดเมื่อมีอายุน้อย (2-6 สัปดาห์) สูงกว่าเมื่อหญ้าขนมีอายุมากขึ้น (6-12 สัปดาห์) ซึ่งจะพบในการวัดทั้งในแปลงหญ้าและในห้องปฏิบัติการ โดย  $A_{\text{max}}$  สูงสุดที่พบเมื่อพืชมีอายุ 2 สัปดาห์มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 15.01 และ  $19.78 \mu\text{mol CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$  ตามลำดับ ส่วนค่าต่ำสุดจะพบในช่วงอายุ 10 สัปดาห์ที่วัดในแปลงหญ้าและ 12 สัปดาห์ที่วัดได้ในห้องปฏิบัติการ โดยมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 12.12 และ  $6.94 \mu\text{mol CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$  ตามลำดับ

ความสามารถของหญ้าขนในการใช้พลังงานแสงโดยการวัดค่า quantum yield ( $\phi$ ) พบว่าอยู่ในช่วงเดียวกันกับที่หญ้าขนมีอัตราการสังเคราะห์แสงสูงสุดกล่าวคือ ในช่วงอายุพืชที่

2 สัปดาห์มีค่าเท่ากับ  $0.016 \text{ molCO}_2\text{mol}^{-1}\text{PPFD}$  ในขณะที่เมื่อหญ่ชุ่นมีอายุมากที่สุดคือ 12 สัปดาห์จะมีประสิทธิภาพในการใช้แสงต่ำสุดคือ มีค่าเท่ากับ  $0.009 \text{ molCO}_2\text{mol}^{-1}\text{PPFD}$

ความสามารถในการสังเคราะห์แสงของใบที่เปลี่ยนจากทุกใบทั้งต้นซึ่งแปรผันไปตามอายุหญ่ชุ่นนี้มีความสอดคล้องกันทั้งการวัดในแปลงหญ่ชุ่นและในห้องปฏิบัติการ แสดงให้เห็นว่า อายุของต้นพืชเป็นปัจจัยสำคัญที่จะมีต่ออัตราการสังเคราะห์แสง ในกรณีของหญ่ชุ่นนี้หญ่ชุ่นที่มีอายุอยู่ในช่วง 2-4 สัปดาห์หลังการตัดจะมีความสามารถในการสังเคราะห์แสงได้สูงสุดและหากมีอายุมากขึ้นแล้วอัตราการสังเคราะห์แสงจะลดลง มีข้ออธิบายที่เป็นไปได้คือ หญ่ชุ่นที่มีอายุ 2-4 สัปดาห์การพัฒนาของเนื้อเยื่อที่จะใช้สังเคราะห์แสงจะมีความสมบูรณ์เต็มที่ขณะที่เมื่อพืชมีอายุมากขึ้นเนื้อเยื่อจะเสื่อมสภาพลงดังที่ Dai และคณะ (1995) ได้รายงานว่ พืชโดยทั่วไปเนื้อเยื่อที่อุดมสมบูรณ์เต็มที่อัตราการสังเคราะห์แสงจะสูงกว่าเนื้อเยื่อที่ยังอ่อนเกินไปหรือเนื้อเยื่อที่เสื่อมสภาพเนื่องจากเมื่อพืชมีอายุมากขึ้นก็จะมี การล้อมของออร์แกเนล (organelles) ที่ใช้ในการสังเคราะห์แสงซึ่งสมบูรณ์ (2536) ได้กล่าวถึงว่ เมื่อใบมีอายุมากขึ้นจะเกิดการสลายตัวของกรานา (grana) และรงควัตถุในคลอโรพลาสต์ ซึ่งการสูญเสียโครงสร้างที่สำคัญนี้มีผลทำให้การสังเคราะห์แสงลดลงอย่างมาก

สำหรับผลการศึกษาในเรื่องตำแหน่งของใบพบว่า ในแปลงหญ่ชุ่นนั้นใบตำแหน่งล่างมีอัตราการสังเคราะห์แสงสูงกว่าตำแหน่งใบที่อยู่ตอนบน โดย  $A_{\text{max}}$  ของใบที่ 5 มีค่าสูงกว่าใบอื่น ๆ ซึ่งมีค่าเท่ากับ  $16.38 \mu\text{molCO}_2\text{m}^{-2}\text{s}^{-1}$  ส่วนในห้องปฏิบัติการพบว่า  $A_{\text{max}}$  ของใบตำแหน่งที่ 1 มีค่าสูงกว่าใบตำแหน่งที่ 2, 3, 4 และ 5 โดยมีค่าเท่ากับ  $17.29 \mu\text{molCO}_2\text{m}^{-2}\text{s}^{-1}$  ซึ่งให้ผลในทางที่กลับกัน ทั้งนี้อาจจะมีเหตุผลเกี่ยวกับการดูดน้ำของพืช ซึ่งตามหลักการแล้วเมื่อพืชดูดน้ำจากดินขึ้นไปเลี้ยงส่วนยอด ใบที่อยู่ตำแหน่งล่างจะได้รับน้ำก่อนใบที่อยู่ในตำแหน่งบน (สมพร, 2529) ในสภาพแปลงหญ่ชุ่นนั้นไม่มีการให้น้ำ น้ำในดินจึงอาจมีปริมาณไม่เพียงพอเหมือนกับในห้องปฏิบัติการ ดังนั้นโอกาสที่ใบพืชในตำแหน่งบนจะได้รับน้ำจึงน้อยกว่าใบในตำแหน่งล่าง ขณะเดียวกันเมื่อใบพืชขาดน้ำปากใบก็จะปิดทำให้อัตราการสังเคราะห์แสงลดลง อีกสาเหตุหนึ่งอาจเกิดเนื่องจากอุณหภูมิของอากาศ โดยที่อุณหภูมิของอากาศสูงจะมีผลต่อกระบวนการเมตาบอลิซึมของพืช กล่าวคือทำให้อัตราการหายใจสูงขึ้น (สิทธิพร, 2536) ในกรณีนี้ใบที่อยู่ด้านบนได้รับแสงซึ่งมีพลังงานความร้อนสูงกว่าใบที่อยู่ด้านล่าง จึงทำให้ใบด้านบนมีอัตราการหายใจมากกว่าการสังเคราะห์แสงเมื่อเทียบกับใบด้านล่างซึ่งมีอุณหภูมิต่ำกว่าและมีแสงเพียงพอต่อการสังเคราะห์แสง จึงทำให้อัตราการสังเคราะห์แสงของใบตำแหน่งบนจึงต่ำกว่าใบที่อยู่ตำแหน่งด้านล่าง สำหรับในห้องปฏิบัติการนั้นพืชจะถูกตัดมาแช่โคนต้นไว้ในน้ำตลอดเวลาจึงอยู่ในสภาพที่ได้รับน้ำเต็มที่ และอุณหภูมิในห้องปฏิบัติการอยู่ในช่วงเหมาะสมและค่อนข้างคงที่ประมาณ 27-29 องศาเซลเซียส ดัง

นั้นใบตำแหน่งบนจึงมีโอกาสที่จะสังเคราะห์แสงได้ดีกว่าใบตำแหน่งล่าง การตอบสนองของพืชในห้วงปฏิบัติการจึงเป็นการแสดงถึงศักยภาพของพืชเองเมื่อพืชไม่มีปัจจัยสภาพแวดล้อมเป็นตัวจำกัด

Sophanodora (1993) ได้ทำการวัดอัตราการสังเคราะห์แสงของหญ้าขนในห้วงปฏิบัติการเช่นกันโดยทำการศึกษาในใบแรกที่แผ่เต็มที่พบว่า อัตราการสังเคราะห์แสงสูงสุดของหญ้าขนมีค่าเท่ากับ  $25.56 \mu\text{molCO}_2\text{m}^{-2}\text{s}^{-1}$  และมีค่า  $\phi$  เท่ากับ  $0.070 \text{ molCO}_2\text{mol}^{-1}\text{PPFD}$  ซึ่งสูงกว่าที่พบในการศึกษารุ่นนี้ที่มีอัตราการสังเคราะห์แสงสูงสุดเป็น  $19.78 \mu\text{molCO}_2\text{m}^{-2}\text{s}^{-1}$  และมีค่า  $\phi$  เป็น  $0.043 \text{ molCO}_2\text{mol}^{-1}\text{PPFD}$  อย่างไรก็ตามการทดลองดังกล่าวไม่ได้ให้รายละเอียดในเรื่องของปัจจัยสภาพแวดล้อมของพื้นที่ปลูกซึ่งอาจจะมี ความแตกต่างกัน

จากการศึกษารุ่นนี้พบว่าความแปรปรวนของอัตราการสังเคราะห์แสงที่วัดจากแปลงหญ้ามีมากกว่าที่วัดในห้วงปฏิบัติการ แสดงให้เห็นถึงอิทธิพลของปัจจัยสภาพแวดล้อมในธรรมชาติที่มีการผันแปรอยู่ตลอดเวลาไม่ว่าจะเป็นปริมาณแสง อุณหภูมิ ความชื้นสัมพัทธ์ ปริมาณน้ำในดิน และปริมาณน้ำฝน เป็นต้น ดังนั้นในสภาพแปลงจึงเป็นเรื่องยากที่จะนำมาสรุปแสดงถึงประสิทธิภาพการสังเคราะห์แสงอันเนื่องมาจากแต่ละปัจจัยเป็นการเฉพาะ นอกเสียจากว่าจะทำการวัดในห้วงปฏิบัติการซึ่งสามารถควบคุมสภาพแวดล้อมต่าง ๆ ได้ อย่างไรก็ตามการตอบสนองในแปลงนั้นเป็นค่าที่อ่านได้จากสภาพความเป็นจริงถ้าสามารถมีการติดตามการเปลี่ยนแปลงอย่างต่อเนื่องของปัจจัยสภาพแวดล้อมได้ จะทำให้ทราบว่า มีปัจจัยอะไรบ้างที่มีผลต่อกระบวนการสรีรวิทยาที่ทำการศึกษานั้น ๆ ได้

เมื่อตรวจสอบสภาพแวดล้อมในแปลงหญ้า ในช่วงที่มีการวัดอัตราการสังเคราะห์แสงพบว่า จะมีความผันแปรของปัจจัยสภาพแวดล้อมในแต่ละครั้งที่วัด โดยมีช่วงการผันแปรต่ำสุดถึงสูงสุดมีดังนี้คือ ปริมาณแสงตั้งแต่ 2200 ถึง  $4700 \text{ W}\cdot\text{m}^{-2}$  อุณหภูมิเฉลี่ยของอากาศเท่ากับ 22.10 ถึง 36.10 องศาเซลเซียส ความชื้นสัมพัทธ์ของอากาศอยู่ในช่วง 71.77-88.79 เปอร์เซ็นต์ ปริมาณฝนมีปริมาณแตกต่างกันตั้งแต่ 0-184.2 มิลลิเมตร เป็นต้น (ภาพที่ 7) ซึ่งมีโอกาสทำให้เกิดความผันแปรของอัตราการสังเคราะห์แสงของพืชในช่วงต่างๆ ได้แน่นอน ปริมาณความรุนแรงของปัจจัยเหล่านี้ที่จะมีผลกระทบต่อพืชจนเกิดความเครียด (stress) สามารถที่จะติดตามได้จากการทดสอบค่าคลอโรฟิลล์ฟลูออเรสเซนซ์ซึ่งจะได้มีการวิเคราะห์ในหัวข้อต่อไป

#### 4.1.1.2 การตอบสนองต่อการบ่อนโดออกไซด์

จากการศึกษาผลของการตอบสนองของอัตราการสังเคราะห์แสงต่อปริมาณของคาร์บอนไดออกไซด์ที่เพิ่มขึ้นซึ่งศึกษาในห้วงปฏิบัติการนั้นผลการทดลองพบว่าอัตราการสังเคราะห์แสงของใบหญ้าขนทุกใบเพิ่มขึ้นเมื่อความเข้มข้นของคาร์บอนไดออกไซด์เพิ่มขึ้นแม้

ความเข้มข้นของคาร์บอนไดออกไซด์สูงถึง  $600 \mu\text{mol mol}^{-1}$  อัตราการสังเคราะห์แสงสูงสุดพบเมื่อ  
 หนุ่ชานมีอายุ 2 สัปดาห์โดยมีค่าเฉลี่ยประมาณ  $23 \mu\text{mol CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$  และมีค่าต่ำสุดในสัปดาห์ที่  
 12 มีค่าเฉลี่ย  $7 \mu\text{mol CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$  อัตราการสังเคราะห์แสงของใบตำแหน่งที่ 1 ตอบสนองต่อการ  
 เพิ่มขึ้นของคาร์บอนไดออกไซด์มากกว่าใบที่อยู่ตำแหน่งล่าง ๆ

หนุ่ชานเป็นพืชพวก  $C_4$  เพราะจากการศึกษาของศศิธร (ติดต่อด่วนตัว) ทางด้าน  
 กายวิภาคของใบพบว่า หนุ่ชานจะมีโครงสร้างที่เรียกว่า Kranz cell ชนิด NADP-malic enzyme  
 (NADP-me type) ซึ่งวันเพ็ญ (2534) ได้อธิบายว่า พืชพวกนี้จะมีคลอโรพลาสต์ 2 แบบคือกรานา  
 คลอโรพลาสต์ที่อยู่ในชั้นมีไซโทพลาซึมของใบและอะกรานาคลอโรพลาสต์ที่อยู่ในเซลล์รอบมัดท่อน้ำท่อ  
 อาหาร การสังเคราะห์แสงจึงสามารถเกิดได้ทั้งสองบริเวณ และที่สำคัญพืชพวกนี้สามารถตรึง  
 คาร์บอนไดออกไซด์ได้สองครั้ง หนุ่ชานจึงจัดว่าเป็นพืชที่มีประสิทธิภาพการตรึงคาร์บอนได  
 ออกไซด์ได้ดีชนิดหนึ่ง

การประเมินประสิทธิภาพของปฏิกิริยา carboxylation จากค่า rubisco activity  
 พบว่า activity มีค่าสูงสุดคือ  $0.199 \text{ mol m}^{-2} \text{ s}^{-1}$  เมื่อหนุ่ชานมีอายุได้ 2 สัปดาห์ และ activity จะลด  
 ลงเมื่อพืชมีอายุมากขึ้นและมีค่าต่ำสุดคือ  $0.033 \text{ mol m}^{-2} \text{ s}^{-1}$  เมื่ออายุ 12 สัปดาห์ อายุของพืชจึงมี  
 ความสำคัญต่อการตรึงคาร์บอนไดออกไซด์ สมบุญ (2536) ได้รายงานว่ เมื่อใบพืชมีอายุมากขึ้น  
 บังคับภายในใบซึ่งได้แก่ ปริมาณคลอโรฟิลล์จะลดลงเนื่องจากการสลายตัวของกรานาและคลอ  
 โรพลาสต์ดั้งที่ได้กล่าวมาแล้ว นอกจากนี้ธาตุไนโตรเจนและแมกนีเซียม ซึ่งเป็นองค์ประกอบที่  
 สำคัญของโมเลกุลคลอโรฟิลล์มีปริมาณลดลงเนื่องจากธาตุอาหารทั้งสองจะมีการเคลื่อนย้ายไปสู่  
 ใบที่อ่อนกว่า ทำให้คลอโรฟิลล์เสื่อมสภาพส่งผลให้ปฏิกิริยาการบ่อกซิเลชันจากเอนไซม์ RuBP  
 carboxylase ลดน้อยลง (Evan, 1983) ซึ่ง Conner และคณะ (1993) ได้ทำการศึกษาในต้น  
 ทานตะวันพบว่า เมื่อให้ปริมาณไนโตรเจน 0.25-7.5 กรัมไนโตรเจนต่อกระถาง อัตราการอิมตัว  
 ของการสังเคราะห์แสงมีค่าสูงสุดถึง  $40 \mu\text{mol CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$  ซึ่งสูงกว่ากลุ่มควบคุมที่ไม่ให้ไนโตรเจน  
 นอกจากนี้ยังพบความสัมพันธ์เชิงบวกระหว่างการตรึงคาร์บอนไดออกไซด์กับปริมาณไนโตรเจน  
 ในใบอีกด้วย

#### 4.1.2 คลอโรฟิลล์ฟลูออเรสเซนซ์

เทคนิคการวัดค่าคลอโรฟิลล์ฟลูออเรสเซนซ์ เป็นวิธีการหนึ่งที่ใช้บ่งบอกถึงประสิทธิ  
 ภาพของกระบวนการสังเคราะห์แสง และใช้เป็นเครื่องมือศึกษาการตอบสนองทางสรีรวิทยาของ  
 พืชซึ่งเกิดความเครียดเนื่องจากสภาพแวดล้อม การศึกษาคลอโรฟิลล์ฟลูออเรสเซนซ์โดยวัดเป็น  
 อัตราส่วนของ Fv/Fm จะแสดงถึงความสามารถของ photosystem II (PS II) ในการรับพลังงานจาก  
 รังสีดวงอาทิตย์ และถ่ายทอดพลังงานไปสู่ photosystem I (PS I) ซึ่ง Schreiber และ Biler (1986)

ได้กล่าวถึงอิทธิพลของสภาพแวดล้อมที่มีผลต่อค่า  $F_v$  และ  $F_m$  ว่าค่า  $F_v$  จะมีค่าต่ำเมื่อพืชอยู่ในสภาวะเครียด (stress) เช่น ความร้อน ความเย็น โดยอุณหภูมิที่รุนแรงจะไปทำลายโครงสร้างไทลาคอยด์ (thylakoid) ในใบพืช ส่วนค่า  $F_m$  ลดลงเมื่อความเข้มแสงสูงแต่ไม่เปลี่ยนแปลงโดยอุณหภูมิ อัตราส่วนระหว่าง  $F_v/F_m$  มีความสัมพันธ์กับประสิทธิภาพในการใช้แสง (Bjorkman and Demming, 1978) ถ้าค่า  $F_v/F_m$  มีค่าสูงหมายความว่าพืชมีประสิทธิภาพการใช้แสงดี ในการทดลองนี้พบว่า ค่า  $F_v/F_m$  มีค่าประมาณ 0.600-0.750 และมีความแตกต่างกันในแต่ละช่วงอายุ โดยเฉพาะในขณะที่หญ้างรมีอายุ 6 สัปดาห์ ค่า  $F_v/F_m$  มีค่าต่ำสุดทั้งด้านบนใบและด้านล่างใบคือมีค่าเป็น 0.504 และ 0.561 ตามลำดับ รองลงมาคือสัปดาห์ที่ 2 วัดได้ 0.578 และ 0.688 ของด้านบนใบและด้านล่างใบตามลำดับ การที่มีค่าแตกต่างกันไม่แน่นอนในแต่ละช่วงสัปดาห์ที่วัดจึงไม่ใช่เป็นอิทธิพลของอายุพืชแต่เป็นอิทธิพลต่อสภาพแวดล้อมในขณะที่ทำการวัดนั้น เมื่อพิจารณาถึงปัจจัยสภาพแวดล้อมในขณะที่ทำการวัดได้แก่ อุณหภูมิอากาศ อุณหภูมิดิน แสง ฝน ความชื้นสัมพัทธ์และความเร็วลม (ภาพที่ 7) เปรียบเทียบกันแล้วจะพบว่าปริมาณแสงในช่วงสัปดาห์ที่ 6 จะสูงกว่าที่วัดได้จากสัปดาห์อื่น ๆ กล่าวคือมีค่าประมาณ  $4500 \text{ W m}^{-2}$  ต่อวัน ส่วนปัจจัยอื่น ๆ แม้วามีความแปรปรวนในแต่ละช่วงสัปดาห์ที่วัดก็ตามแต่ไม่ทำให้ค่า  $F_v/F_m$  เปลี่ยนแปลง ปริมาณแสงในช่วงสัปดาห์ที่ 6 นั้นมีค่าสูงอยู่หลายวัน ในทางทฤษฎีปริมาณแสงที่สูงมากจะมีผลกระทบต่อระบบรงควัตถุสังเคราะห์แสง PS II ดังได้กล่าวไว้ตอนต้น ปรากฏการณ์ที่ทำให้รงควัตถุสังเคราะห์แสง PS II สูญเสียสภาพในการรับแสงเรียกว่า photoinhibition จะเกิดขึ้นในชั้น thylakoids ซึ่งสภาพที่มีแสงมากเกินไปนี้จะทำให้การทำงานของรงควัตถุผิดปกติส่งผลให้ความสามารถในการดูดกลืนแสงผิดไปจากเดิม (Krause and Weis, 1991) นอกจากปัจจัยแสงจะทำให้เกิด photoinhibition แล้ว ยังมีปัจจัยอื่น ๆ ที่มีผลต่อปรากฏการณ์นี้ด้วยเช่น อุณหภูมิ ความเค็ม ความเครียดน้ำ และสภาพร่มเงา เป็นต้น (Loomis and Conner, 1992) สำหรับในการศึกษานี้พบว่านอกจากปริมาณแสงที่สูงแล้ว อุณหภูมิของดินก็มีค่าสูงกว่า 30 องศาเซลเซียส และมีปริมาณฝนน้อยกว่า 20 มิลลิเมตร ซึ่งอาจจะส่งเสริมให้พืชเกิดความเครียด และมีผลกระทบต่อกระบวนการเจริญเติบโตที่สะท้อนให้เห็นจากค่า CGR ต่ำกว่าช่วงอื่น ๆ อย่างมีนัยสำคัญ ลักษณะดังกล่าวนี้มีแนวโน้มที่จะเกิดขึ้นในช่วงสัปดาห์ที่ 2 เช่นเดียวกันแต่มีความรุนแรงน้อยกว่า

ส่วนการศึกษาการฟื้นตัวภายใน 24 ชั่วโมงของหญ้างรมีแต่ละช่วง อายุภายหลังจากการตัดพบว่าในช่วง 0.5 ชั่วโมงแรก ค่า  $F_v/F_m$  จะต่ำลงมีสาเหตุที่น่าจะสันนิษฐานได้ว่า พืชจะเกิดความเครียด (stress) เนื่องจากการสูญเสียใบ โดยที่ระบบท่อน้ำท่ออาหารได้รับการกระทบกระเทือนจากการตัดในแปลงมาก่อน และหลังจากการตัดใต้น้ำและแช่ในน้ำไประยะแรก ๆ พืชยังไม่อยู่ในสภาพฟื้นตัว แต่หลังจากนั้นต้นหญ้าจะค่อย ๆ ฟื้นตัวแสดงโดยขึ้น ค่า  $F_v/F_m$  เพิ่มสูงขึ้น

ทั้งนี้เนื่องจากได้รับปริมาณแสงและน้ำเต็มที่ พืชที่อยู่ในช่วงสัปดาห์ที่ทำการตัดต่าง ๆ ยกเว้นช่วงสัปดาห์ที่ 6 จะมีค่า  $F_v/F_m$  ประมาณ 0.800 ขณะที่ในสัปดาห์ที่ 6 จะมีค่าประมาณ 0.700 เกือบคงที่ตลอดไปแม้เวลาจะผ่านไป 24 ชั่วโมงแล้วก็ตาม แสดงว่าผลกระทบทางปัจจัยสภาพแวดล้อมซึ่งได้แก่ความเครียดที่เกิดจาก photoinhibition มีผลอย่างมากต่อระบบการสังเคราะห์แสงในครั้งนี้

การทดสอบการฟื้นตัวนี้มีผลสอดคล้องกับการวัดค่า  $F_v/F_m$  ในแปลงกล่าวคือ ในช่วงที่พืชมีอายุได้ 6 สัปดาห์ พืชได้รับความเครียดสูงสุดอันเกิดจากปริมาณแสงดังได้กล่าวไว้แล้วในตอนต้น ส่งผลให้พืชไม่สามารถฟื้นตัวได้ตามปกติ ดังนั้นปริมาณแสงที่สูงในช่วงสัปดาห์ที่ 6 และต่อเนื่องกันมาในช่วงประมาณ 2 สัปดาห์นั้นก่อให้เกิดผลเสียต่อระบบการสังเคราะห์แสงของพืชชนิดนี้ และส่งผลกระทบต่อการเจริญเติบโตโดยทั้งหมดของพืชได้

การวัดค่า  $F_v/F_m$  จากด้านล่างของใบจะให้ค่าที่แปรปรวนน้อยกว่าด้านบนใบ ซึ่งอาจจะมีสาเหตุจากความแตกต่างของโครงสร้างทั้งสองด้านแตกต่างกัน เช่น จากการสังเกตพบว่าด้านบนใบมีขนมากกว่าด้านล่างใบ ดังนั้นจึงอาจนำมาพิจารณาในการวัดค่า  $F_v/F_m$  ว่าควรจะใช้ด้านใดในการวัดจึงจะให้ค่าที่ดีกว่า

#### 4.1.3 การเจริญเติบโตและการวิเคราะห์การเจริญเติบโตของหญ้าขน

การวิเคราะห์การเจริญเติบโตของพืช (growth analysis) เป็นเครื่องมือที่สำคัญในการศึกษาผลกระทบของปัจจัยด้านสิ่งแวดล้อมที่มีผลต่อน้ำหนักแห้งและกระบวนการทางสรีรวิทยาของพืช จากผลการทดลองพบว่า การสะสมน้ำหนักแห้งจะค่อย ๆ เพิ่มขึ้นในระยะ 1-4 สัปดาห์แรกหลังจากนั้นแล้วการสะสมน้ำหนักแห้งก็เพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็วโดยมีอัตราการเพิ่มในช่วงสัปดาห์ที่ 5-7 ลดลงเล็กน้อย ลักษณะดังกล่าวจะเกิดขึ้นเช่นเดียวกับดัชนีพื้นที่ใบ ซึ่งเป็นผลที่เกิดจากกระบวนการสังเคราะห์แสงที่เกิดขึ้นในระยะเวลาต่าง ๆ ซึ่งแปรปรวนไปตามปัจจัยสภาพแวดล้อมและปัจจัยในตัวพืช ในหัวข้อนี้จะได้ทำการวิเคราะห์การเจริญเติบโตในลักษณะต่าง ๆ ดังต่อไปนี้

เมื่อนำผลการศึกษามาวิเคราะห์การเจริญเติบโต โดยมีการวิเคราะห์หาค่า RGR, LAR, CGR และ NAR พบว่าค่า RGR, NAR และ CGR มีความแปรปรวนในแต่ละช่วงสัปดาห์ที่ทำการวัด ส่วนค่า LAR นั้นลดลงตั้งแต่ช่วงสัปดาห์แรก ๆ จนถึงสัปดาห์สุดท้าย (ภาพที่ 17) ค่าต่ำสุดและสูงสุดของ RGR, LAR, NAR และ CGR โดยประมาณมีดังนี้  $0.016-0.09 \text{ g g}^{-1} \text{ d}^{-1}$ ,  $0.003-0.008 \text{ m}^2 \text{ g}^{-1}$ ,  $0.001-0.005 \text{ g m}^{-2} \text{ d}^{-1}$  และ  $4.85-35.79 \text{ g m}^{-2} \text{ d}^{-1}$  ตามลำดับ เมื่อเปรียบเทียบกับการศึกษาเกี่ยวกับพืชชนิดอื่น ๆ เช่น Ludlow และ Wilson (1986) ศึกษาเกี่ยวกับผลผลิตของทุ่งหญ้าเขตร้อน 13 ชนิด พบว่ามีค่า RGR ประมาณ  $0.41-0.55 \text{ g g}^{-1} \text{ d}^{-1}$  ซึ่งสูงกว่าในการทดลองครั้งนี้ใน ขณะที่ Robson (1968) ศึกษาในหญ้า tall fescue พบว่าในสภาพแสงเต็มที่จะมีค่า RGR เฉลี่ย  $0.106 \text{ g g}^{-1} \text{ d}^{-1}$  ส่วนการทดลองของ Humphreys (1981) พบว่า หญ้ารูซีพันธุ์เคนเนดี (*Brachiaria*

*ruzizensis* cv Kennedy) มีค่า RGR  $0.460 \text{ g g}^{-1} \text{ d}^{-1}$  ในเชิงเปรียบเทียบแล้วค่า RGR ที่ได้จากการศึกษานี้มีค่าค่อนข้างต่ำ แสดงถึงอัตราการสร้างน้ำหนักแห้งของหนุ่ยวชนที่ปลูกในสภาพแวดล้อมบริเวณสถานีวิจัยคลองหอยโข่งนี้อยู่ในระดับต่ำเมื่อเทียบกับพืชจำพวก  $C_4$  ด้วยกันในสภาพแวดล้อมอื่น อย่างไรก็ตามเมื่อพิจารณาค่า CGR พบว่ามีค่าสูงสุดถึง  $35.79 \text{ g m}^{-2} \text{ d}^{-1}$  ในช่วง 8-10 สัปดาห์ซึ่งสูงกว่าค่าเฉลี่ยโดยทั่วไปของพืชจำพวก  $C_4$  ซึ่งมีค่าประมาณ  $30 \text{ g m}^{-2} \text{ d}^{-1}$  (เฉลิมพล, 2535ก) แสดงถึงศักยภาพหนุ่ยวชนที่สามารถสร้างน้ำหนักแห้งได้ค่อนข้างสูงเมื่ออยู่ในสภาพแวดล้อมมีความเหมาะสมในช่วงดังกล่าว ซึ่งพบว่ามีปริมาณฝนโดยเฉลี่ยประมาณ 60 มิลลิเมตร ปริมาณแสงระหว่าง  $3500\text{-}4300 \text{ W m}^{-2}$  ต่อวัน อุณหภูมิอากาศและอุณหภูมิดินมีค่าใกล้เคียงกับช่วงอื่น ๆ ส่วนความเร็วลมจะสูงกว่าช่วงอื่น ๆ จึงนับได้ว่าเป็นช่วงที่มีการเจริญเต็มที่ซึ่งสังเกตจากปริมาณน้ำหนักแห้งและพื้นที่ใบที่พืชสร้างขึ้นในช่วงดังกล่าวนี้ และพบว่า NAR ซึ่งแสดงถึงความสามารถในการสังเคราะห์แสงก็มีค่าสูงสุด ( $0.005 \text{ g m}^{-2} \text{ d}^{-1}$ ) อีกด้วย

ความแปรปรวนที่ทำให้ค่า RGR, NAR และ CGR ต่ำสุดในช่วง 6-8 สัปดาห์ อาจกล่าวได้ว่าไม่ใช่ปัจจัยจากตัวพืชแต่เนื่องมาจากปัจจัยสภาพแวดล้อมภายนอก ทั้งนี้เนื่องจากหลังจากช่วงดังกล่าวแล้วพืชสามารถจะมีอัตราการสร้างน้ำหนักแห้งสูงต่อไปได้อีกในช่วงสัปดาห์ที่ 8-10 ดังกล่าวข้างต้นและมีข้อบ่งชี้ที่ชัดเจนยิ่งขึ้นเมื่อมีการวัดค่าคลอโรฟิลล์ฟลูออเรสเซนซ์ซึ่งพบว่าในช่วงสัปดาห์ที่ 6 นั้นพืชเกิดความเครียดจากปริมาณแสงสูงกว่าช่วงอื่น ๆ (ดูหัวข้อ 4.1.2) ต่อเนื่องกันจึงมีผลต่อการเจริญเติบโตที่ได้รับในช่วงสัปดาห์ที่ 6-8 ดังกล่าว

ความสัมพันธ์ระหว่าง LAI กับ CGR พบว่า ในช่วงระยะแรกของการเจริญเติบโตซึ่งมีค่า LAI ต่ำ ค่า CGR ก็จะต่ำด้วย เมื่อ LAI เพิ่มขึ้น CGR ก็จะเพิ่มตามไปด้วยจนถึงจุดหนึ่งที่ CGR มีค่าสูงสุดแล้ว CGR จะลดลงแม้ว่า LAI จะเพิ่มขึ้น ซึ่งเฉลิมพล (2535ก) อ้างถึง Kasanga และ Monsi (1954) เรียกว่า optimum LAI ปรากฏการณ์ดังกล่าวนี้มีสาเหตุมาจากการที่พืชมีการบังแสงซึ่งกันและกันเมื่อพืชมีใบมากขึ้นโดยใบล่างจะถูกบังแสงจากใบบน ทำให้อัตราการสังเคราะห์แสงไม่เพียงพอต่อการหายใจจึงทำให้ค่า CGR ลดลง ในการทดลองนี้ optimum LAI เกิดขึ้นในช่วง 8-10 สัปดาห์โดยค่า CGR มีค่าสูงสุดที่ LAI เท่ากับ 2.71 โดยทั่วไปพืชแต่ละชนิดจะมีลักษณะการตอบสนองต่อ LAI ที่แตกต่างกัน เนื่องจากความสัมพันธ์ระหว่างการสังเคราะห์แสงและการหายใจที่เกิดจากการเพิ่มขึ้นของพื้นที่ใบในทรงพุ่มของพืชแตกต่างกัน สำหรับการบังแสงหรือการเกิดร่มเงา (shading effect) จากการเพิ่มขึ้นของพื้นที่ใบและมีผลต่อการสร้างน้ำหนักแห้งลดลงนี้พบในพืชหลายชนิดเช่น การศึกษาในต้นทานตะวันพบว่า ถ้ามีร่มเงา 20% ของแสงทั้งหมดจะทำให้การสะสมน้ำหนักแห้งลดลง (Sinsawat, 1993) ซึ่งผลการทดลองสอดคล้องกับของ Villalobos และ



คณะ (1992) ซึ่งได้ทำการศึกษาในต้นทานตะวันเช่นกันแต่ต้องทำให้เกิดร่มเงา 50% จึงจะทำให้มวลชีวภาพและผลผลิตลดลง

ความสัมพันธ์ระหว่าง LAI กับ NAR ในขณะที่ต้นพืชยังเล็กอยู่ มีใบน้อยมีค่า LAI ต่ำ แต่ทุก ๆ ใบมีโอกาสได้รับแสงเต็มที่ ค่า NAR จะมีค่าสูง เมื่อพืชโตขึ้นค่า LAI มากขึ้นใบล่าง ๆ จะถูกบังแสงมากขึ้น จะพบว่าค่า NAR จะลดต่ำลง ดังนั้นจะเห็นได้อย่างชัดเจนว่าในขณะที่ LAI เพิ่มขึ้นก็มีผลทำให้ NAR ลดลงด้วย

ความสัมพันธ์ระหว่าง NAR กับ CGR ที่เห็นได้ชัดเจนสังเกตได้ในในช่วงสัปดาห์ที่ 6-8 CGR มีค่าต่ำลงมากที่สุดคือ  $4.85 \text{ g m}^{-2} \text{ d}^{-1}$  ซึ่งมีความสัมพันธ์กับค่า NAR ที่มีค่าลดลงต่ำในขณะที่เดียวกันด้วยด้วย (มีค่าเท่ากับ  $0.001 \text{ g m}^{-2} \text{ d}^{-1}$ ) ค่า NAR เทียบได้กับความสามารถในการสังเคราะห์แสงซึ่งให้ผลสอดคล้องกับการวัด  $A_{\max}$  ในช่วงสัปดาห์ที่ 6 มีค่าต่ำเช่นเดียวกัน(ดูหัวข้อ 3.2.1.2) สาเหตุสำคัญที่อัตราการเจริญเติบโตลดลงในช่วงสัปดาห์ที่ 6-8 นั้นเนื่องมาจากอิทธิพลของปัจจัยสภาพแวดล้อม โดยเฉพาะปริมาณแสงที่สูงไปกระทบอัตราการสังเคราะห์แสงดังกล่าวมาแล้วในหัวข้อ 4.1.1

#### 4.1.4 เทคนิคการวัดอัตราการสังเคราะห์แสงในแปลงหญ้าและในห้องปฏิบัติการ

ในการศึกษาครั้งนี้จะเห็นว่าจะต้องคำนึงถึงปัจจัยต่าง ๆ หลายประการที่จะมีผลต่อการศึกษาซึ่งสามารถจะกล่าวได้ดังนี้

4.1.4.1 จากการทดลองพบว่า อัตราการสังเคราะห์แสงที่ได้จากการวัดในแปลงหญ้าและในห้องปฏิบัติการมีความแตกต่างกัน ทั้งนี้เป็นเพราะการศึกษาในแปลงหญ้านั้นจะได้รับอิทธิพลจากความแปรปรวนของสภาพภูมิอากาศ ไม่ว่าจะเป็นปริมาณแสง อุณหภูมิ เป็นต้น ซึ่งสิ่งเหล่านี้จะมีความสำคัญต่อตัวพืชมาก และการวัดในแปลงหญ้านั้นเราสามารถจะเห็นการตอบสนองของต้นพืชได้ตามสภาพความเป็นจริง ส่วนการวัดในห้องปฏิบัติการนั้นสามารถจะควบคุมสภาพต่าง ๆ ได้อัตราการสังเคราะห์แสงที่วัดได้จึงเป็นการแสดงถึงศักยภาพของพืชในการสังเคราะห์แสงที่ค่อนข้างเต็มที่ ดังนั้นการวัดทั้งสองสภาพนั้นจะมีทั้งข้อดีและข้อเสีย ในการพิจารณาว่าจะศึกษาในสภาพใดนั้นก็ต้องแล้วแต่จุดประสงค์ของผู้ศึกษา

4.1.4.2 อายุของต้นพืชเป็นปัจจัยที่สำคัญต่อการวัดการสังเคราะห์แสง ในการวัดการสังเคราะห์แสงนั้นควรเลือกต้นพืชที่อายุไม่แก่และไม่อ่อนเกินไป เพื่อเป็นการป้องกันความเสื่อมสภาพของโครงสร้างภายในต้นพืชที่จะมีผลต่อการสังเคราะห์แสง

4.1.4.3 ในการวัดการสังเคราะห์แสงก็ต้องเลือกวัดในใบที่เหมาะสมจากการทดลองพบว่า ถ้าวัดในสภาพแปลงหญ้านั้นใบตำแหน่งบนอาจจะได้รับอิทธิพลจากอุณหภูมิของอากาศและ

ปริมาณน้ำในดินทำให้อัตราการสังเคราะห์แสงต่ำกว่าใบล่าง แต่ถ้าวัดในห้องปฏิบัติการจะสามารถควบคุมสภาพแวดล้อมให้คงที่และเหมาะสมตลอดเวลาได้

4.1.4.4 ในการวัดค่าคลอโรฟิลล์ฟลูออเรสเซนซ์ ทั้งด้านบนใบและด้านล่างใบจะให้ค่าที่แตกต่างกันได้ในสภาพแวดล้อมที่เหมือนกัน

#### 4.1.5 ข้อเสนอแนะจากการศึกษา

4.1.5.1 เทคนิคการวัดอัตราการสังเคราะห์แสงในห้องปฏิบัติการนั้นอาจจะกำหนดช่วงแสงที่มากกว่า  $600 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$  ได้ แต่ในการศึกษาครั้งนี้พบว่าถ้าเพิ่มความเข้มแสงให้มากกว่า  $600 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$  ใบพืชจะได้รับความร้อนที่สูงมาก ทำให้อุณหภูมิของใบสูงเกินกว่าปกติจนเกิดอาการเหี่ยวซึ่งไม่เหมาะสมต่อการวัด

4.1.5.2 การศึกษามวลชีวภาพ ในครั้งนี้ได้ทำการเก็บตัวอย่างเฉพาะส่วนที่อยู่เหนือดินเท่านั้น ควรจะคำนึงถึงการเก็บตัวอย่างในส่วนใต้ดินหรือรากด้วย เพื่อให้ผลการศึกษามีความสมบูรณ์และถูกต้องยิ่งขึ้น เพราะส่วนของรากเป็นส่วนที่มีการสะสมน้ำหนักแห่งที่สำคัญ หากเป็นไปได้แล้วควรจะนำมาใช้ในการประเมินมวลชีวภาพด้วยจึงจะทำให้การศึกษาในเรื่องนี้สมบูรณ์ยิ่งขึ้น แต่การศึกษาเรื่องรากจำเป็นจะต้องมีเทคนิคที่ดีพอสมควรจึงจะทำให้ได้ข้อมูลที่น่าเชื่อถือได้

4.1.5.3 การศึกษาในสภาพแปลงหญ้ามีการแปรผันของภูมิอากาศตลอดเวลา จึงควรมีการบันทึกลักษณะการเปลี่ยนแปลงของภูมิอากาศในขณะที่ทำการวัดการสังเคราะห์แสงพร้อม ๆ กันทุกครั้ง และควรมีการวัดเป็นช่วง ๆ ในรอบวันและในฤดูกาลที่แตกต่างกัน เพื่อหาสาเหตุที่แท้จริงของปัจจัยภูมิอากาศที่มีผลต่อการสังเคราะห์แสงในพื้นที่นั้น ๆ

4.1.5.4 เทคนิคในการสังเคราะห์แสงนี้ สามารถนำไปประยุกต์ใช้กับพืชชนิดอื่น ๆ ได้ เพราะสามารถกระทำได้อย่างรวดเร็ว และใช้ได้ทั้งในแปลงทดลองและในห้องปฏิบัติการ เพื่อเป็นการเพิ่มข้อมูลทางด้านสรีรวิทยาให้มากขึ้น และนำไปประยุกต์ใช้กับการจัดการพืชอาหารสัตว์เพื่อให้ได้ผลผลิตที่ดีเพียงพอสำหรับการเลี้ยงสัตว์ที่กำลังได้รับการพัฒนาต่อไป

## 4.2 สรุปผลการศึกษา

การศึกษ้อัตราการสังเคราะห์แสง คลอรอฟิลล์ฟลูออเรสเซนซ์และการเจริญเติบโตของหญ้าขน ซึ่งทำการทดลองตั้งแต่เดือนมีนาคมถึงเดือนพฤษภาคม 2537 ณ. สถานีวิจัยคลองหอยโข่ง คณะทรัพยากรธรรมชาติ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ ผลการทดลองสรุปได้ดังนี้

### 4.2.1 การศึกษ้อัตราการสังเคราะห์แสง

4.2.1.1 อัตราการสังเคราะห์แสงสูงสุด ( $A_{max}$ ) ของหญ้าขนพบว่าอยู่ในช่วงปริมาณแสงประมาณ  $500-600 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$  โดยมีค่าที่วัดจากใบแปลงหญ้า  $15.01 \mu\text{mol CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$  (quantum yield  $0.016 \text{ mol CO}_2 \text{ mol}^{-1} \text{ PPF}$ ) และในห้องปฏิบัติการ  $19.78 \mu\text{mol CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$  (quantum yield  $0.043 \text{ mol CO}_2 \text{ mol}^{-1} \text{ PPF}$ )

4.2.1.2  $A_{max}$  ของต้นหญ้าขนที่มีอายุ 2 สัปดาห์มี  $A_{max}$  สูงกว่าต้นหญ้าขนอายุอื่น ๆ การศึกษาในแปลงหญ้าพบว่า ใบตำแหน่งที่ 5 มี  $A_{max}$  สูงกว่าใบตำแหน่งอื่น ๆ แต่ในห้องปฏิบัติการ  $A_{max}$  มีค่าสูงสุดในใบตำแหน่งที่ 1 ทั้งนี้สันนิษฐานได้ว่าเกิดจากกลไกการดูดน้ำของพืชและอุณหภูมิของสภาพแวดล้อมที่แตกต่างกัน

4.2.1.3 การตอบสนองของอัตราการสังเคราะห์แสงต่อความเข้มข้นของคาร์บอนไดออกไซด์ใต้น้ำใบพืช ( $C_i$ ) เพิ่มขึ้นเมื่อมีปริมาณคาร์บอนไดออกไซด์เพิ่มขึ้น แม้ความเข้มข้นของคาร์บอนไดออกไซด์จะสูงถึง  $600 \mu\text{mol mol}^{-1}$

4.2.1.4 เมื่อหญ้าขนมีอายุมากขึ้นกว่า 2 สัปดาห์ การตอบสนองของอัตราการสังเคราะห์แสงต่อคาร์บอนไดออกไซด์ลดลง และอัตราการสังเคราะห์แสงของใบตำแหน่งที่ 1 ตอบสนองต่อการเพิ่มขึ้นของคาร์บอนไดออกไซด์มากกว่าใบที่ตำแหน่งอื่น ๆ เช่นเดียวกับประสิทธิภาพของเอนไซม์ Rubisco ก็ลดลงเมื่ออายุของหญ้าขนเพิ่มขึ้น

4.2.2 การศึกษาคลอรอฟิลล์ฟลูออเรสเซนซ์โดยการวัดค่า  $F_v/F_m$  แสดงให้เห็นว่าสภาพแวดล้อมที่ทำให้พืชเกิดความเครียดได้แก่ปริมาณแสงทำให้พืชเกิด photoinhibition ซึ่งจะมีผลต่ออัตราการสังเคราะห์แสงและการเจริญเติบโต

### 4.2.3 การวิเคราะห์การเจริญเติบโตของหญ้าขนพบว่า

4.2.3.1 การสะสมน้ำหนักแห้งสูงสุดมีค่าเท่ากับ  $1161.92 \text{ g m}^{-2}$  สำหรับการวิเคราะห์การเจริญเติบโตให้ค่าสูงสุดดังนี้  $RGR 0.09 \text{ g g}^{-1} \text{ d}^{-1}$ ,  $LAR 0.008 \text{ m}^{-2} \text{ g}^{-1}$ ,  $CGR 35.75 \text{ g m}^{-2} \text{ d}^{-1}$ ,  $NAR 0.005 \text{ g m}^{-2} \text{ d}^{-1}$  และ  $LAI 3.51$

4.2.3.2 LAI กับ CGR มีความสัมพันธ์กันในลักษณะที่เรียกว่า optimum LAI โดยค่า CGR มีค่าสูงสุดที่ LAI เท่ากับ 2.71

4.2.3.3 NAR มีความสัมพันธ์กับค่า RGR, CGR และLAR ภายใต้ความแปรปรวนของสภาพแวดล้อมได้แก่ แสง อุณหภูมิ และฝน ซึ่งจะมีความสัมพันธ์กับอัตราการสังเคราะห์แสงและคลอโรฟิลล์ฟลูออเรสเซนซ์ด้วย

4.2.4 ปัจจัยสภาพแวดล้อมที่มีผลต่อการสังเคราะห์แสงและการเจริญเติบโตพบว่า ปริมาณแสงที่สูงกว่า  $4000 \text{ W.m}^{-2}$  ต่อวันติดต่อกันหลายวันซึ่งสัมพันธ์กับอุณหภูมิที่สูงขึ้น และปริมาณฝนน้อย มีผลต่ออัตราการสังเคราะห์แสง คลอโรฟิลล์ฟลูออเรสเซนซ์และอัตราการเจริญเติบโต

4.2.5 เทคนิคการวัดอัตราการสังเคราะห์แสงที่พบจากการศึกษาในครั้งนี้สรุปได้คือ

4.2.4.1 การศึกษาในสภาพแปลงหญ้าจะให้ค่าต่ำกว่าการวัดในห้องปฏิบัติการ เพราะสภาพแวดล้อมในแปลงหญ้าแปรปรวนและมีอิทธิพลต่อกันในขณะที่ในห้องปฏิบัติการนั้นสามารถควบคุมปัจจัยสภาพแวดล้อมได้

4.2.4.2 ในการวัดการสังเคราะห์แสงควรที่จะเลือกต้นพืชที่มีอายุเหมาะสมคือมีการพัฒนาของรวงควัดในการสังเคราะห์แสงสมบูรณ์เต็มที่

4.2.4.3 ตำแหน่งใบที่ใช้ในการวัดมีความแตกต่างกันระหว่างการวัดในแปลงและในห้องปฏิบัติการ ในแปลงหญ้าใบตำแหน่งล่างได้รับสภาพแวดล้อมที่เหมาะสมกว่าใบตำแหน่งบนในขณะที่ในห้องปฏิบัติการซึ่งมีปัจจัยไม่จำกัดใบตำแหน่งบนจะให้ผลที่ดีกว่า

4.2.4.4 การวัดคลอโรฟิลล์ฟลูออเรสเซนซ์ ตำแหน่งของใบจะให้ความแปรปรวนน้อยกว่าตำแหน่งบนใบ

## บรรณานุกรม

กรมพัฒนาที่ดิน. 2530. แผนการใช้ที่ดินจังหวัดสงขลา. กรุงเทพฯ : กองวางแผนการใช้ที่ดิน  
กระทรวงเกษตรและสหกรณ์.

เฉลิมพล แซมเพชร. 2535ก. สรีรวิทยาการผลิตพืชไร่. เชียงใหม่ : ภาควิชาพืชไร่ คณะเกษตร  
ศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่.

\_\_\_\_\_ . 2535ข. หญ้าและถั่วอาหารสัตว์เมืองร้อน. เชียงใหม่ : ภาควิชาพืชไร่  
คณะเกษตรศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่.

ทวี แก้วคง, พงษ์ศิษฐ์ ยอดสุรางค์ และประกาย สมหวัง. 2527. รายงานเรื่อง “ผลผลิตและผลได้  
ทางเศรษฐกิจของหญ้าชนิดที่ใส่ปุ๋ย มูลไก่ มูลโค และมูลสุกร”. นครศรีธรรมราช : ภาควิชา  
สัตวศาสตร์ คณะเกษตรศาสตร์ วิทยาลัยเทคโนโลยีและอาชีวศึกษา วิทยาเขต  
นครศรีธรรมราช.

นงลักษณ์ เกียรติเลขากุล. 2530. การศึกษาการปรับตัวเพื่อตอบสนองต่อความเครียดน้ำของพืช  
ชนิดต่าง ๆ ในระบบนิเวศน์ธรรมชาติ. สงขลา : วิทยานิพนธ์วิทยาศาตร์มหาบัณฑิต  
สาขาวิชาวิทยาศาสตร์ชีวภาพ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์.

นิวัติ เรืองพานิช. 2535. วิทยาศาสตร์ทุ่งหญ้า. กรุงเทพฯ : คณะวนศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตร  
ศาสตร์.

บุญฤา วิไลพล. 2536. พืชอาหารสัตว์เขตร้อนและการจัดการ. ขอนแก่น : ภาควิชาสัตวศาสตร์  
คณะเกษตรศาสตร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น.

ประวิตร โสภโณคร. 2532. ปัญหาในการวิจัยและพัฒนาพืชอาหารสัตว์และทุ่งหญ้าเลี้ยงสัตว์.  
การประชุม A/cc Meeting เมื่อวันที่ 27 มกราคม 2532 สถาบันวิจัยและพัฒนา  
มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ บางเขน.

บันชัย สุขทั้งปี. 2538. ผลของธาตุอาหารพืชต่อการตั้งตัวของหนุ่่มอริซัสที่ปลูกบนดินตะกอนน้ำท่วมของจังหวัดสงขลา. สงขลา : วิทยานิพนธ์วิทยาศาสตร์มหาบัณฑิต (เกษตรศาสตร์) สาขาพืชศาสตร์ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์.

พูนพิภพ เกษมทรัพย์, เจษฎา ภัทรเลอพงษ์, เจริญศักดิ์ โรจนฤทธิ์พิเชษฐ์ และเห็น สายขุนทด. 2536. รายงานเรื่อง "ความสัมพันธ์ระหว่างตำแหน่งใบและอัตราการผลิตแสงสุทธิของใบมันสำปะหลัง 3 พันธุ์". คณะเกษตร มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

วิภาวี อินทร์แก้ว. 2526. การศึกษาทางอนุกรมวิธานของหนุ่่มสกุลหนุ่่มขาน. กรุงเทพฯ : วิทยานิพนธ์วิทยาศาสตร์มหาบัณฑิต สาขาชีววิทยา มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

วันเพ็ญ ภูติจันทร์. 2534. พฤกษศาสตร์. อุบลราชธานี: ภาควิชาชีววิทยา สหวิทยาลัยอีสานใต้.

วัลลภ สันติประชา และประวีตร โสภโณคร. 2524. พืชอาหารสัตว์. สงขลา : ภาควิชาพืชศาสตร์ คณะทรัพยากรธรรมชาติ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์.

สนั่น จันทร์คำ. 2509. สรุปผลงานวิจัยโครงการพืชอาหารสัตว์ระหว่างปี พ.ศ. 2505-2511. ภาควิชาพืชไร่นา คณะเกษตร มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

สายัณห์ หัตถศรี. 2522. หลักการทำหนุ่่มเลี้ยงสัตว์. กรุงเทพฯ : ภาควิชาพืชไร่นา คณะเกษตร มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

เสรี ต้นจันทร์พงศ์ และงามชื่น แก้ววิเชียร. 2509. สรุปผลงานวิจัยโครงการพืชอาหารสัตว์ระหว่างปี พ.ศ. 2505-2511. ภาควิชาพืชไร่นา คณะเกษตร มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

สมบุญ เตชะภิญญาวัฒน์. 2536. สรีรวิทยาการของพืช. กรุงเทพฯ : ภาควิชาพฤกษศาสตร์ คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

สมพร จันทเดช. 2529. สรีรวิทยาเบื้องต้นของพืช. ปัตตานี: คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ วิทยาเขตปัตตานี.

สิทธิพร สุขเกษม. 2536. อุดุนิยมวิทยาเกษตรเบื้องต้น. เชียงใหม่: คณะเกษตรศาสตร์ มหาวิทยาลัย เชียงใหม่.

สำนักงานปศุสัตว์จังหวัดพัทลุง. 2538. การสำรวจข้อมูลด้านการเลี้ยงโคนม. พัทลุง : สำนักงาน ปศุสัตว์.

สุมาลี สุทธิประดิษฐ์, ประวิตร โสภโณคร และปฐมพงศ์ วงศ์เลี้ยง. 2535. ศึกษาความต้องการ ธาตุอาหารของพืชอาหารสัตว์ตระกูลถั่วบางชนิดที่ปลูกในดินขุควิสัย. ว. ดินและปุ๋ย. 14 : 146-156.

อภิรักษ์ กำนำรัตน์, ประวิตร โสภโณคร และสายันท์ สดุดี. 2535. เอกสารคำสอนสรีรวิทยาการผลิตพืช. สงขลา : ภาควิชาพืชศาสตร์ คณะทรัพยากรธรรมชาติ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์.

อารมย์ ศรีพิจิตร. 2525. ข้อแตกต่างระหว่างพืช  $C_3$  และ  $C_4$  . วารสารวิทยาศาสตร์เกษตรศาสตร์. 6 : 425-432.

อุแก้ว ประกอบไวทยกิจ บีเวอร์. 2531. นิเวศวิทยา. เชียงใหม่ : ภาควิชาชีววิทยา มหาวิทยาลัย เชียงใหม่.

Allard, G., Nelson, G.J. and Pallard, S.G. 1991. Shade effects on growth of tall fescue : I. leaf anatomy and dry matter partitioning. Crop Science. 31 : 163-167.

Apel, P. '1989.' Influence of  $CO_2$  on stomatal numbers. Biologia Plantarum. 31 : 72-74.

- Bjorkman, O. and Demming, B. 1978. Photon yield of  $O_2$  evolution and chlorophyll fluorescence characteristics at 77K among vascular plants of diverse origin. *Planta*. 170 : 489-504.
- Bogdan, A.V. 1977. *Tropical Pasture and Fodder Plants*. London : Longman Group.
- Christie, E.K. and Detling, K.J. 1982. Analysis of interference between  $C_3$  and  $C_4$  grasses in relation to temperature and soil nitrogen supply. *Ecology*. 63 : 1277-1284.
- Conner, D.J., Hall, A.J. and Sadras, V.O. 1993. Effect of nitrogen content of the photosynthesis characteristic of sunflower leaf. *Australian Journal of Plant Physiology*. 20: 251-263.
- Cooper, J.P. 1970. Photosynthesis and Photorespiration. *Herbage Abstract*. 40 : 1-15.
- Curtis, P.S., Balduman, L.M., Drake, B.G. and Whigham, D.F. 1990. Elevated atmospheric  $CO_2$  effects on belowground processes in  $C_3$  and  $C_4$  estuarine marsh communities. *Ecology*. 71 : 2001-2006.
- Dai, Z., Ku, M.S.D. and Edwards, G.E. 1995.  $C_4$  photosynthesis- The effects of leaf development on the  $CO_2$  concentration mechanism and photorespiration in maize. *Plant Physiology*. 107 : 815-825.
- Eamus, D. and Jarvis, P.G. 1989. The direct effects of increase in the global  $CO_2$  concentration on nature and commercial temperate trees and forests. *Advances in Ecological Research*. 19 : 1-55.
- Evan, J.R. 1983. Nitrogen and photosynthesis in the flag leaf of wheat (*Triticum aestivum* L.). *Plant Physiology*. 72: 297-308.



- 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. *Journal of Agricultural Science*. 122 : 183-192.
- Gardner, F.P., Pearce, R.B. and Mitchell, L.R. 1985. *Physiology of Crop Plants*. Ames: Iowa State University.
- 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: Clays Ltd.
- Humphreys, L.R. 1981. *Environment Adaptation of Tropical Pasture Plant*. London: Macmillian Publishers Ltd.
- Hidekaza, S., Zhijun, L.I., Kenkou, T. and Masayuki, O.D.A. 1994. Factors affecting the measurement of chlorophyll a fluorescence in cucumber leaves. *Japan Agricultural Research Quarterly*. 28 : 242-246.
- Intrieri, C., Zerbi, G., Marchiol, L., Poni, S. and Caiado, T. 1995. Physiological response of grapevine leaves to lightflecks. *Scientia Horticulturae*. 61 : 47-59.
- Jone, R.M. 1969. Mortality of some tropical grasses and legumes following frosting in the first winter after sowing. *Tropical Grasslands*. 3: 57-63.
- Knapp, A.K., Cocks, M., Hamerlynck, P. and Owensby, E.C. 1994. Effect of elevated CO<sub>2</sub> on stomatal density and distribution in a C<sub>4</sub> grass and a C<sub>3</sub> frob under field conditions. *Annals of Botany*. 74 : 595-599.
- Krause, G.H. and Weis, E. 1991. Chlorophyll fluorescence and photosynthesis : The basics. *Plant Molecular Biology*. 42: 313-349.

Loomis, R.S. and Conner, D.J. 1992. *Crop Ecology*. New York: Red Wood Ltd.

Ludlow, M.M. and Wilson, G.L. 1969. Growth analysis photosynthesis and respiration of 20 species of grasses and legumes in a controlled environment. *Australian Journal of Agricultural Research*. 21 : 183-191.

Malone, S.R., Mayeux, H.S., Johnson, H.B. and Polley, H.W. 1993. Stomatal density and aperture length in four plant species grown across a subambient CO<sub>2</sub> gradient. *American Journal of Botany*. 80 : 1413-1418.

Jone, M.B. and Lazenby, A. 1988. *The Grass Crop*. New York: Chapman and Hall Ltd.

Olaf V. K. and Snel, J.F.H. 1990. The use of chlorophyll fluorescence nomenclature in plant stress physiology. *Photosynthesis Research*. 25 : 147-150.

Pearsons, J.J. 1972. Spread of african pasture grasses to the american tropics. *Journal of Range Management*. 25 : 12-17.

Robert, O.T. 1970. A review of pasture species in fiji. 1. Grasses. *Tropical Grasslands*. 4 : 129- 137.

Robson, M.J. 1968. *Light, Temperature and the Growth of Grass*. Harley: The Grassland Research Institute.

Sakpob, A. 1994. Effects of environmental factors on net primary production of the tropical wet savanna glassland. Hat Yai: Master of Science Thesis in Environmental Management. Prince of Songkla University.

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.
- Sinsawat, V.S. 1993. Growth of florets of sunflower (*Helianthus annuus L.*) in reaction to their position in the capitulum, shading and nitrogen supply. *Field Crops Research*. 34 : 83-100.
- Sophanodora, P. 1993. Light response curve : A criteria for species selection under plantation crop. Khon Kaen: Proc. of 3 rd Meeting on Forage Regional Working Group of South-east Asia. 31 January-6 Febuary 1993: 175-178.
- Vasquez, R. 1965. Effects of irrigation and nitrogen level on the yield of guinea grass, para grass and guinea grass-kudzu and para grass-kudzu mixtures in lajas valley. *Journal of Agriculture of the University of Puerto Rico*. 49 : 389-412.
- Villalobos, F.J., Soriano, A. and Fereres, E. 1992. Effect of shading on dry matter partition and yield of field -grown sunflower. *European Journal of Agronomy*. 1 : 102-115.
- Whyte, R.O., Moir, T.R.G. and Cooper, J.P. 1959. *Grasses in Agriculture*. Rome : FAO.

ภาคผนวก

## ตารางภาคผนวก 1 ผลการวิเคราะห์ความแปรปรวน

SV	DF	ก	ข	ค	ง	จ
Age (A)	5	**	**	**	**	**
Leaf no.(L)	4	**	**	**	**	**
AxL	19	**	**	NS	**	**
Error	115					
CV(%)		11.38	12.70	28.34	7.00	11.60

\*\* = มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญเชิงทางสถิติ ที่ระดับความเชื่อมั่น 99 เปอร์เซนต์

NS = ไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ

ก. อัตราการสังเคราะห์แสงสูงสุด ( $\mu\text{molCO}_2\text{m}^{-2}\text{s}^{-1}$ ) ที่ความเข้มแสงประมาณ  $600 \mu\text{molm}^{-2}\text{s}^{-1}$  ที่ทำการศึกษาในแปลงหญ้า

ข. Quantum yield ( $\text{molCO}_2\text{mol}^{-1}\text{PPFD}$ ) ของใบหญ้าขนที่ทำการศึกษาในแปลงหญ้า

ค. อัตราการสังเคราะห์แสงสูงสุด ( $\mu\text{molCO}_2\text{m}^{-2}\text{s}^{-1}$ ) ที่ความเข้มแสงประมาณ  $600 \mu\text{molm}^{-2}\text{s}^{-1}$  ของใบหญ้าขนที่ตัดต้นมาทำการศึกษาในห้องปฏิบัติการ

ง. Quantum yield ( $\text{molCO}_2\text{mol}^{-1}\text{PPFD}$ ) ของใบหญ้าขนที่ตัดต้นมาทำการศึกษาในห้องปฏิบัติการ

จ. Rubisco activity ( $\text{molm}^{-2}\text{s}^{-1}$ ) ของใบหญ้าขนที่ตัดต้นมาทำการศึกษาในห้องปฏิบัติการ

ตารางภาคผนวก 2 ผลการวิเคราะห์ความแปรปรวนของ Fv/Fm ของใบหญ้าขน

SV	DF	SS	MS	F
Age (A)	5	2.20800	0.44160	123.57 <sup>**</sup>
Side (S)	1	0.04889	0.04889	13.68 <sup>**</sup>
AxS	5	0.02068	0.00413	1.15 <sup>NS</sup>
Error	268	0.95772	0.00357	
Total	279	3.42149		

CV = 8.5%

\*\* = มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญยิ่งทางสถิติ ที่ระดับความเชื่อมั่น 99 เปอร์เซ็นต์

NS = ไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ

## ประวัติผู้เขียน

ชื่อ นางสาวสุกัญญา สุวรรณระ

วัน เดือน ปีเกิด 5 สิงหาคม 2514

วุฒิการศึกษา

วุฒิ	ชื่อสถาบัน	ปีที่สำเร็จการศึกษา
วิทยาศาสตรบัณฑิต (ศึกษาศาสตร์) สาขาชีววิทยา เกียรตินิยมอันดับสอง	มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์	2536

ผลงาน

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