



ใบรับรองวิทยานิพนธ์  
บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

.....  
วิทยาศาสตร์มหาบัณฑิต (เกษตรศาสตร์)

ปริญญา

.....  
พืชไร่นา

.....  
พืชไร่นา

.....  
สาขา

.....  
ภาควิชา

เรื่อง การศึกษาอัตราการแลกเปลี่ยนก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ของลำต้นยางพาราที่เปิดกรีดแล้ว  
และยังไม่เปิดกรีด

Study on Stem CO<sub>2</sub> Exchange Rates of Tapped and Untapped Rubber Trees

นามผู้วิจัย นายพงษ์พันธุ์ ศิริพรภักดีกุล

ได้พิจารณาเห็นชอบโดย

ประธานกรรมการ

.....  
( รองศาสตราจารย์พูนพิภพ เกษมทรัพย์, Ph.D. )

กรรมการ

.....  
( รองศาสตราจารย์ศรปราชญ์ ฐโนสวรราชกูร, Dr. Sci. )

กรรมการ

.....  
( รองศาสตราจารย์กุ่มท สังขศิลา, Ph.D. )

หัวหน้าภาควิชา

.....  
( รองศาสตราจารย์รังสฤษฎ์ กาวีตะ, Ph.D. )

บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์รับรองแล้ว

.....  
( รองศาสตราจารย์กัญญา ชีระกุล, D.Agr. )

คณบดีบัณฑิตวิทยาลัย

วันที่ ..... เดือน ..... พ.ศ. ....

สิงสิงห์ มทววิทยาลัยเกษตรศาสตร์

วิทยานิพนธ์

เรื่อง

การศึกษาอัตราการแลกเปลี่ยนก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ของลำต้นยางพาราที่เปิดกรีดแล้ว  
และยังไม่เปิดกรีด

Study on Stem CO<sub>2</sub> Exchange Rates of Tapped and Untapped Rubber Trees

โดย

นายพงษ์พันธุ์ ศิริพรภักดีกุล

เสนอ

บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์  
เพื่อความสมบูรณ์แห่งปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต (เกษตรศาสตร์)

พ.ศ. 2553

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

พงษ์พันธุ์ สิริพรภักดีกุล 2553: การศึกษาอัตราการแลกเปลี่ยนก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์  
ของลำต้นยางพาราที่เปิดกรีดแล้วและยังไม่เปิดกรีด ปรินญาวิทยาศาสตร์มหาบัณฑิต  
(เกษตรศาสตร์) สาขาพืชไร่นา ภาควิชาพืชไร่นา ปรธานกรรมการที่ปรึกษา:  
รองศาสตราจารย์พูนพิภพ เกษมทรัพย์, Ph.D. 78 หน้า

ศึกษาอัตราการแลกเปลี่ยนก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ที่ตำแหน่งต่าง ๆ บนลำต้นยางพาราที่  
เปิดกรีดแล้วและยังไม่เปิดกรีด เปรียบเทียบทรีตเมนต์ต่าง ๆ ดังต่อไปนี้ ต้นที่ไม่เปิดกรีดยาง (A)  
ต้นที่เปิดกรีดยางแต่ไม่ใช้สารเร่งน้ำยาง Ethrel (B) และต้นที่เปิดกรีดและใช้สารเร่งน้ำยาง Ethrel  
(C) โดยพัฒนาชุดอุปกรณ์อัตโนมัติเพื่อใช้วัดอัตราการแลกเปลี่ยนก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ของ  
ลำต้นยางพาราแบบระบบเปิด ผลการทดสอบระบบพบว่า ระบบที่พัฒนาขึ้นเพื่อวัดอัตราการ  
แลกเปลี่ยนก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ทำงานได้ดีมีประสิทธิภาพ สามารถควบคุมอัตราการไหล  
ของอากาศผ่านแต่ละ chamber ให้มีความสม่ำเสมอตลอดทั้งวัน และมีความแตกต่างของความ  
เข้มข้นก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ในระดับที่เหมาะสม และเปลี่ยนแปลงตามช่วงเวลาในรอบวัน  
ในขณะที่อัตราการหายใจของเปลือกยางพาราเปลี่ยนแปลงตามช่วงการเจริญเติบโต โดยมีค่ามาก  
ที่สุดในช่วงเดือนพฤศจิกายนก่อนเริ่มผลัดใบจากนั้นมีแนวโน้มลดลงเมื่อเข้าสู่ฤดูแล้ง หรือช่วง  
ผลัดใบ (เดือนธันวาคมถึงต้นเดือนกุมภาพันธ์) โดยในภาพรวม ต้นที่เปิดกรีดยางแต่ไม่ใช้สารเร่ง  
น้ำยาง มีอัตราการแลกเปลี่ยนก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์มากกว่าต้นที่เปิดกรีดยางและใช้สารเร่ง  
น้ำยาง และต้นที่ไม่เปิดกรีดยาง ตามลำดับ และพบความแตกต่างของอัตราการแลกเปลี่ยนก๊าซ  
คาร์บอนไดออกไซด์ที่ตำแหน่งต่าง ๆ ของลำต้นใน 9 จาก 14 การทดลองย่อย ในขณะที่ไม่พบ  
ความสัมพันธ์ระหว่าง อัตราการแลกเปลี่ยนก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์เฉลี่ยในรอบวันกับอุณหภูมิ  
เฉลี่ยในรอบวัน แต่พบความสัมพันธ์ระหว่าง อัตราการแลกเปลี่ยนก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์กับ  
อุณหภูมิในช่วงเวลาในรอบหนึ่งวัน

ลายมือชื่อนิสิต

ลายมือชื่อประธานกรรมการ

Pongphan Siripornpukdeekul 2010: Study on Stem CO<sub>2</sub> Exchange Rates of Tapped and Untapped Rubber Trees. Master of Science (Agriculture), Major Field: Agronomy, Department of Agronomy. Thesis Advisor: Associate Professor Poonpipope Kasemsap, Ph.D. 78 pages.

Carbon dioxide exchange rates of tapped and untapped rubber trees were studied at different positions on main stems. Treatments in this study included (A) untapped trees, (B) tapped trees without stimulation, and (C) tapped trees with ethylene stimulation. The automated, open system of gas exchange apparatus with 24 chambers were developed and then tested. It was found that the developed system worked well. The air flow rates of all chambers were uniformed and adjustable as needed. It was relatively easy to maintain differences in carbon dioxide concentration between reference and sample airs of all chambers to be within the limit required by infrared gas analyzer. The results showed that stem carbon dioxide exchange rates varied with season and growth stages of rubber trees. Stem carbon dioxide exchange rates was greatest during October to beginning of November, before leaf shedding began. It decreased during the dry season, when rubber trees shed leaves. Tapped trees had significantly greater stem carbon dioxide exchange rates than untapped trees while tapped trees without stimulation had greater stem carbon dioxide exchange rates than tapped trees with ethylene stimulation. The difference among carbon dioxide exchange rates of various stem positions were found in 9 out of 14 sub-experiments. Daily averaged air temperature did not correlated to daily averaged stem carbon dioxide exchange rates during the entire experimental period. However, stem carbon dioxide exchange rates was highly correlated to air temperature within the same day.

---

Student's signature

---

Thesis Advisor's signature

## กิตติกรรมประกาศ

ขอกราบขอบพระคุณ รองศาสตราจารย์ ดร.พูนพิภพ เกษมทรัพย์ ประธานกรรมการที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ ที่กรุณาให้คำปรึกษา ให้ความรู้และคำแนะนำ รวมทั้งแนวคิดและแนวทางแก้ไข ปัญหา ตลอดจนสนับสนุนเงินทุนวิจัยตลอดมา รองศาสตราจารย์ ดร.ศรปราชญ์ ฐโนสวรราชกูร กรรมการวิชาเอก รองศาสตราจารย์ ดร.กฤษณ์ สังขศิลา กรรมการวิชารอง และผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.สุเทพ ทองแพ ผู้แทนบัณฑิตวิทยาลัย ที่กรุณาให้คำแนะนำปรึกษาและตรวจแก้ไขเพื่อให้ วิทยานิพนธ์ฉบับนี้ มีความสมบูรณ์มากยิ่งขึ้น Dr.Philippe THALER ที่กรุณาให้คำแนะนำการเก็บ ข้อมูล ดร.เจษฎา ภัทรเลอพงศ์ ที่ให้คำแนะนำในการประมวลผลข้อมูล ดร.ทิวา พาโคกทม และ คุณโสภิตา ชิดชื่นเชย ที่ให้ความช่วยเหลือในการแก้ไข ตรวจสอบเล่มวิทยานิพนธ์ฉบับนี้จนมีความ สมบูรณ์ รวมทั้งพี่ ๆ เพื่อน ๆ และ น้อง ๆ ที่ให้ความช่วยเหลือและให้กำลังใจตลอดมา ขอขอบคุณ ดร.พิสมัย จันทุมма นักวิชาการและเจ้าหน้าที่ของศูนย์วิจัยยางชะเชิงเทรา ที่ให้ความอนุเคราะห์และ อำนวยความสะดวกในการใช้สถานที่ในการทำวิทยานิพนธ์เป็นอย่างดี ขอขอบพระคุณคณาจารย์ ภาควิชาพืชไร่นา ที่ประสิทธิ์ประสาทวิชาตลอดมา

สุดท้ายขอกราบขอบพระคุณ ครอบครัวศิริพรภักดีกุล ที่ให้สติปัญญา การสนับสนุน ทางด้านการศึกษา เป็นแรงผลักดันและให้กำลังใจตลอดมา

พงษ์พันธุ์ ศิริพรภักดีกุล

มกราคม 2553

## สารบัญ

	หน้า
สารบัญ	(1)
สารบัญตาราง	(2)
สารบัญภาพ	(3)
คำอธิบายสัญลักษณ์และคำย่อ	(6)
คำนำ	1
วัตถุประสงค์	3
การตรวจเอกสาร	4
อุปกรณ์และวิธีการ	18
อุปกรณ์	18
วิธีการ	20
ผลและวิจารณ์	38
สรุปและข้อเสนอแนะ	63
สรุป	63
ข้อเสนอแนะ	64
เอกสารและสิ่งอ้างอิง	65
ภาคผนวก	72
ประวัติการศึกษาและการทำงาน	78

## สารบัญตาราง

ตารางที่		หน้า
1	ระบบการเรียกชื่อสิ่งทดลอง	23
2	แผนการดำเนินงานและบันทึกข้อมูล โดย X แทน หน้าเปิดกริด และ Y แทน หน้าไม่เปิดกริด ตัวเลขกำหนดให้แทนระดับความสูงของการติดตั้ง chamber	31
3	ค่าเฉลี่ยอัตราการไหลของอากาศเข้า chamber ความต่างความเข้มข้นของก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ระหว่างอากาศเข้าและออกจาก chamber และอัตราการแลกเปลี่ยน ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ในแต่ละต้นของต้นที่ไม่เปิดกริด (1 chamber ต่อต้น) และต้นที่เปิดกริดแต่ไม่ใช้สารเร่งน้ำยาง (4 chamber บน 4 ตำแหน่งของลำต้นต้น)	40
4	ค่าเฉลี่ยอัตราการแลกเปลี่ยนก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ (CER) ของต้นที่ไม่เปิดกริดที่ตำแหน่ง $X_{1,0}$ ตั้งแต่เดือนตุลาคม 2547 ถึงกุมภาพันธ์ 2548	48
5	ค่าเฉลี่ยอัตราการแลกเปลี่ยนก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ที่ตำแหน่งต่าง ๆ ของแต่ละทรีตเมนต์ในทุกการทดลองตั้งแต่เดือนตุลาคม ถึง กุมภาพันธ์	52
6	อัตราการแลกเปลี่ยนก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์เฉลี่ยในช่วงเวลาต่าง ๆ ในรอบวันของต้น A (ต้นที่ไม่เปิดกริด) ตำแหน่ง $X_{1,0}$ ตลอดการทดลอง	54
ตารางผนวกที่		
1	ข้อมูลทางอุตุนิยมิวิทยาของศูนย์วิจัยยางชะเชิงเทราในปี พ.ศ. 2547	76
2	ข้อมูลทางอุตุนิยมิวิทยาของศูนย์วิจัยยางชะเชิงเทราในปี พ.ศ. 2548	77

## สารบัญภาพ

ภาพที่		หน้า
1	ลักษณะประจำพันธุ์ของยางพาราพันธุ์ RRIM 600	9
2	โครงสร้าง 3 มิติของเปลือกยางพารา ทั้งด้านตัดขวางและแนวตั้ง	11
3	ต้นยางพาราพันธุ์ RRIM 600 ที่ใช้ในการทดลองนี้ ตามหมายเลขที่กำหนดในแผนการทดลอง	22
4	การวางตำแหน่งของ chamber บนลำต้นยางพารา	23
5	แผนผังสรุปการคำนวณค่าอัตราการแลกเปลี่ยนก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์	25
6	การติดตั้ง chamber และ thermocouple บนลำต้นในแต่ละทริตเมนต์	27
7	การทำงานของระบบควบคุมแบบ multi-chamber	28
8	ขั้นตอนการจัดการข้อมูลที่ได้จากการทดลอง	32
9	การพัฒนาโปรแกรมที่ใช้จัดการข้อมูลโดยโปรแกรมภาษา Python	33
10	การพัฒนาโปรแกรมที่ใช้แยกข้อมูลให้เป็นรายวัน โดยโปรแกรมภาษา Python	34
11	ข้อมูลชนิด text file ซึ่งเป็น out put จากโปรแกรม PDAQ ของ data acquisition ที่เปิดแสดงใน โปรแกรม note pad	35
12	ข้อมูลชนิด text file ซึ่งเป็น out put จากโปรแกรม PDAQ ของ data acquisition มีขนาดใหญ่ (20,000-50,000 Kb.) ซึ่งเปิดแสดงใน โปรแกรม Microsoft excel ไม่ได้	36
13	ข้อมูลชนิด text file ซึ่งเป็น file output จากโปรแกรมจัดการข้อมูลที่เขียนด้วยภาษา Python สามารถเปิดแสดงใน โปรแกรม Microsoft excel และใช้ในการศึกษาวิเคราะห์ต่อไปได้	37
14	อัตราการไหลของอากาศที่ผ่านเข้า chamber ในช่วงระยะเวลาการทดสอบระบบ ในวันที่ 30 ตุลาคม 2547	39
15	ความแตกต่างของความเข้มข้นก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ที่เข้าและออกจาก chamber ( $\Delta\text{CO}_2$ ) ของต้นไม้เปิดกรีดยาง ต้น A1, A2 และ A4 บนตำแหน่ง $X_{1,0}$	41
16	ความแตกต่างของความเข้มข้นก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ที่เข้าและออกจาก chamber ( $\Delta\text{CO}_2$ ) ของต้นที่เปิดกรีดแต่ไม่ใช้สารเร่งน้ำยาง	42

## สารบัญภาพ (ต่อ)

ภาพที่		หน้า
17	(A) ความแตกต่างของความเข้มข้นก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ (B) อัตราการไหลของอากาศ (C) อัตราการแลกเปลี่ยนก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ และ (D) อุณหภูมิภายใน chamber บนดิน B1 ที่ระดับความสูง 0.5 เมตร จากพื้นดิน	43
18	อัตราการแลกเปลี่ยนก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ในรอบวันของ (A) ดินที่ไม่เปิดกรีด และ (B) ดินที่เปิดกรีดแต่ไม่ใช้สารเร่งน้ำยาง ที่ตำแหน่งต่าง ๆ บนลำต้น	45
19	อัตราการแลกเปลี่ยนก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์เฉลี่ยรายวันของดินที่ไม่เปิดกรีด (untapped) ดินที่เปิดกรีดแต่ไม่ใช้สารเร่งน้ำยาง (tapped) และดินที่เปิดกรีดและใช้สารเร่งน้ำยาง (Et 8/y)	46
20	อัตราการแลกเปลี่ยนก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ (CER) เฉลี่ยรายเดือนของดินที่ไม่เปิดกรีดที่ตำแหน่ง $X_{1.0}$ ตลอดการทดลอง แสดงร่วมกับปริมาณน้ำฝนรายเดือน	48
21	อัตราการแลกเปลี่ยนก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ (CER) ของลำต้นยางพาราเฉลี่ยรายวันในทริตเมนต์ต่าง ๆ (A, B และ C) เปรียบเทียบกับ CER ลำต้นยางพาราบนตำแหน่ง $X_{1.0}$ ของดินไม่เปิดกรีด ตลอดช่วงระยะเวลาการทดลอง	50
22	อัตราการแลกเปลี่ยนก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ของต้นยางพาราเฉลี่ยตลอดการทดลองในทริตเมนต์ต่าง ๆ (A, B และ C) เปรียบเทียบกับ CER ลำต้นยางพาราบนตำแหน่ง $X_{1.0}$ ของดินไม่เปิดกรีดยาง	50
23	อัตราการแลกเปลี่ยนก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์เฉลี่ยในรอบ 24 ชั่วโมงของต้นยางพาราที่ไม่เปิดกรีด บนตำแหน่ง $X_{1.0}$ จำนวน 3 ต้น	53
24	อัตราการแลกเปลี่ยนก๊าซของดินที่ไม่เปิดกรีดบนตำแหน่ง $X_{1.0}$ ในช่วงเวลาต่าง ๆ ในรอบวัน	55
25	อัตราการแลกเปลี่ยนก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ของลำต้นเฉลี่ยในรอบวัน และ อุณหภูมิอากาศในที่ร่มเฉลี่ยในรอบวันของดินที่ไม่เปิดกรีดยางที่ตำแหน่ง $X_{1.0}$	56

## สารบัญภาพ (ต่อ)

ภาพที่		หน้า
26	(A) อุณหภูมิของลำต้นภายใน chamber เฉลี่ยในรอบวัน (B) อัตราการแลกเปลี่ยนก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ของลำต้นเฉลี่ยในรอบวัน และ(C) ความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการแลกเปลี่ยนก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ของลำต้นกับอุณหภูมิของลำต้นของต้น A1 (ต้นที่ไม่เปิดกรีดยาง) ที่ตำแหน่ง $X_{1,0}$	57
27	(A) อุณหภูมิของลำต้นภายใน chamber เฉลี่ยในรอบวัน (B) อัตราการแลกเปลี่ยนก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ของลำต้นเฉลี่ยในรอบวัน และ (C) ความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการแลกเปลี่ยนก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ของลำต้นกับอุณหภูมิของลำต้นของต้น A2 (ต้นที่ไม่เปิดกรีดยาง) ที่ตำแหน่ง $X_{1,0}$	58
28	(A) อุณหภูมิของลำต้นภายใน chamber เฉลี่ยในรอบวัน (B) อัตราการแลกเปลี่ยนก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ของลำต้นเฉลี่ยในรอบวัน และ (C) ความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการแลกเปลี่ยนก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ของลำต้นกับอุณหภูมิของลำต้นของต้น A4 (ต้นที่ไม่เปิดกรีดยาง) ที่ตำแหน่ง $X_{1,0}$	59
29	(A) อุณหภูมิของลำต้นภายใน chamber (B) อัตราการแลกเปลี่ยนก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ของลำต้น และ (C) ความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการแลกเปลี่ยนก๊าซ $CO_2$ ของลำต้นกับอุณหภูมิของลำต้น ในช่วงระยะเวลาต่าง ๆ ในรอบวันของต้น A2 ไม่เปิดกรีดยาง ที่ตำแหน่ง $X_{1,0}$ ในวันที่ 12 พฤศจิกายน 2547	61
30	ความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการแลกเปลี่ยนก๊าซกับอุณหภูมิของลำต้น	62
<b>ภาพผนวกที่</b>		
1	แผนที่แสดงตำแหน่งแปลงทดลอง TE01 ของศูนย์วิจัยยางยะเชิงเทรา	73
2	เครื่องตรวจวัดความเข้มข้นของก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ (Infrared gas analyzer) Portable photosynthesis รุ่น LI-6200 (Licor Inc., U.S.A.)	74
3	เครื่องวัดอัตราการไหลของอากาศ TSI® รุ่น 4100 (TSI Inc., U.S.A)	74
4	ค่า constant เพื่อใช้แปลงค่า voltage จาก IRGA ของ LI-6200 เป็นค่าความแตกต่างของ $CO_2$ ระหว่าง sample กับ reference	75

### คำอธิบายสัญลักษณ์และคำย่อ

1/2 S d/3 d/4	=	ระบบกริดครึ่งลำต้น (1/2 S) กริดวันเว้นสอง และสามวัน (กริดทุกวันพุธ และเสาร์)
Ethrel 8/y	=	ใช้สารเร่งน้ำยางเอทิลิน (2.5%) อัตรา 0.6 กรัมต่อต้น ทาที่บริเวณเหนือรอยกริด 8 ครั้งต่อปี
CER	=	อัตราการแลกเปลี่ยนก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ (Carbondioxide exchange rate) มีหน่วยเป็น ( $\mu\text{mol CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ )
$\Delta\text{CO}_2$	=	ความแตกต่างของความเข้มข้นก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ ระหว่าง $\text{CO}_2$ ใน sample air และ reference air มีหน่วยเป็น ( $\mu\text{mol mol}^{-1}$ )
RRIM 600	=	พันธุ์ยางพารา พันธุ์หนึ่งที่พัฒนาขึ้น โดย Rubber Research Institute of Malaysia

## การศึกษาอัตราการแลกเปลี่ยนก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ของลำต้นยางพาราที่เปิดกรีดแล้วและยังไม่เปิดกรีด

### Study on Stem CO<sub>2</sub> Exchange Rates of Tapped and Untapped Rubber Trees

#### คำนำ

ยางพารา (*Hevea brasiliensis* Muell.Arg.) เป็นพืชเศรษฐกิจ ที่มีมูลค่าส่งออกเป็นอันดับหนึ่งนำรายได้เข้าสู่ประเทศเป็นจำนวนมากในปี 2551 มีมูลค่าโดยรวมมากถึงสองแสนล้านบาท (สำนักงานเศรษฐกิจการเกษตร, 2552) เพื่อเป็นการรักษาสภาพการผลิต และส่งออกไม่ให้ลดต่ำกว่าที่เป็นอยู่ในปัจจุบัน จึงควรมีการพัฒนาความรู้และมีการปรับปรุงสวนยางให้ดี โดยเพิ่มผลผลิตต่อไร่ เพิ่มพื้นที่เพาะปลูกให้มากขึ้น ตามนโยบายภาครัฐที่ขยายพื้นที่ปลูกในภาคตะวันออกเฉียงเหนือ และภาคเหนือ ซึ่งนอกจากจะช่วยเพิ่มรายได้จากน้ำยางให้เกษตรกรแล้ว ยังเป็นการปรับปรุงสภาพแวดล้อมอีกด้วย (มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, 2551) ยางพารามีลักษณะของการให้ผลผลิตต่างจากพืชเศรษฐกิจอื่น ๆ เนื่องจากน้ำยาง (latex) ไม่ได้มาจากส่วนสะสมอาหาร ดอก หรือ ผล ซึ่งเกิดขึ้นตามวงจรในชีวะจักรของพืช แต่ได้มาจากส่วนของไซโตพลาสซึมภายในเซลล์น้ำยาง (latex cell) โดยมีองค์ประกอบหลัก คือ rubber particle ผลผลิตหรือน้ำยางสร้างขึ้น จากการถูกกระตุ้นด้วยการกรีดยาง (tapping) ซึ่งไม่ได้เป็นสิ่งที่เกิดขึ้นตามธรรมชาติของพืช การกรีดยางเป็นการกระตุ้นให้เกิด artificial sink ที่สำคัญภายในลำต้นยางพารา และนำไปสู่การเปลี่ยนแปลงการจัดสรรคาร์บอนภายในต้น ซึ่งแตกต่างจากต้นที่ไม่ได้ถูกกรีดอย่างสิ้นเชิง การศึกษาการสร้างและจัดสรรคาร์บอนภายในต้นยางพารา จึงมีความสำคัญและจำเป็นที่จะต้องนำเทคนิควิจัยหลายวิธีการมาเป็นเครื่องมือในการศึกษาและประเมินร่วมกัน

กระบวนการสังเคราะห์น้ำยางทดแทน (latex regeneration) เป็นกระบวนการที่ต้องการพลังงานจากกระบวนการหายใจระดับเซลล์อย่างมาก ตั้งแต่กระบวนการลำเลียงซูโครสเข้าสู่เซลล์น้ำยาง และปฏิกิริยาเคมีในกระบวนการของการสังเคราะห์ polyisoprene และองค์ประกอบอื่น ๆ ของเซลล์ เพื่อชดเชยส่วนที่สูญเสียไปเมื่อมีการกรีดยาง การศึกษาอัตราการหายใจโดยการตรวจวัดอัตราการแลกเปลี่ยนก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ในยางพาราที่เปิดกรีดแล้ว จะทำให้ทราบถึงพลังงานที่พืชต้องใช้เพื่อการสร้างน้ำยางทดแทน

กระบวนการหายใจให้พลังงานที่จำเป็นทั้งเพื่อการเจริญเติบโตและการดำรงอยู่ของเซลล์ การหายใจเพื่อให้ได้พลังงาน ATP, NADH และสารประกอบต่าง ๆ สำหรับใช้ในกระบวนการที่เกี่ยวข้องกับการสังเคราะห์มวลชีวภาพของพืช เรียกว่า Growth respiration (Rg) ส่วนการหายใจเพื่อให้พลังงานสำหรับการดำรงอยู่ของเซลล์เกี่ยวข้องกับ protein turnover การรักษาสมดุลของ ion gradients และการปรับตัวของพืชให้เข้ากับสภาพแวดล้อมที่เปลี่ยนแปลงไป โดยไม่เกี่ยวข้องกับการสังเคราะห์มวลชีวภาพเพิ่มขึ้น เรียกว่า Maintenance respiration (Rm) (Penning de Vries, 1972; Amthor, 1984)

กระบวนการหายใจได้รับอิทธิพลจากปัจจัยด้านสรีรวิทยา และปัจจัยด้านสภาพแวดล้อม การศึกษาอัตราการหายใจอย่างต่อเนื่องที่ประเมินด้วยอัตราการแลกเปลี่ยนก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ จะทำให้ทราบการตอบสนองของกระบวนการหายใจต่อปัจจัยสภาพแวดล้อมต่าง ๆ เช่น อุณหภูมิ และอุณหภูมิของต้นยางพาราได้

## วัตถุประสงค์

1. พัฒนาระบบที่ใช้ศึกษาอัตราการแลกเปลี่ยนก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ของลำต้นยางพารา
2. ศึกษาอัตราการแลกเปลี่ยนก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ของลำต้นยางพารา
  - 2.1 อิทธิพลของการกรีดยางและการใช้สารเร่งน้ำยาง
  - 2.2 ความแปรปรวนเนื่องจากตำแหน่งบนลำต้น
  - 2.3 อิทธิพลของอุณหภูมิ

## การตรวจเอกสาร

ยางพารา (*Hevea brasiliensis* Muell.Arg.) อยู่ในวงศ์ Euphobiaceae (อุดม, 2541; Nugawela *et al.*, 1995) เป็นพืชใบเลี้ยงคู่ มีลักษณะลำต้นสูงใหญ่ เป็นไม้เนื้ออ่อนที่มีอายุยืน และสามารถเก็บเกี่ยวผลผลิตได้หลายปี (สมควร, 2545) มีถิ่นกำเนิดในทวีปอเมริกาใต้ แถบประเทศบราซิล (รัตน์, 2514) นำเข้ามาปลูกในประเทศไทยครั้งแรก เมื่อปี พ.ศ. 2442-2444 (สมศักดิ์, 2531 และ เรวัตติ, 2541) พันธุ์แรกนำเข้ามาปลูก เรียกว่าพันธุ์พื้นเมือง ซึ่งต่อมาผสมพันธุ์ใหม่ขึ้นอีกหลายพันธุ์ ในปัจจุบันประเทศไทยมีพื้นที่ปลูกยางพารากระจายกันอยู่ในภาคใต้ ภาคตะวันออก และภาคตะวันออกเฉียงเหนือ ซึ่งเป็นแหล่งปลูกยางพาราแหล่งใหม่ (องค์การสวนยาง, 2551)

### 1. ลักษณะทางพฤกษศาสตร์ของยางพารา

#### ราก (roots)

ยางพารามีระบบรากเป็นแบบระบบรากแก้ว (tap root system) ประกอบด้วยรากแก้ว (tap root) ที่มีความยาวโดยเฉลี่ยตามความลึกของดินประมาณ 2.5 เมตร เมื่อต้นกล้าอายุ 1 เดือน รากแก้วเจริญเติบโต และเติบโตเต็มที่เมื่ออายุ 3 ปี (อุดม, 2541) โดยรากแก้วทำหน้าที่ยึดเกาะพวงลำต้นไม่ให้โค่นล้ม เมื่อลมแรงหรือมีน้ำท่วม รากแขนง (lateral root) แตกแขนงออกมาจากชั้น pericycle ของรากแก้ว มีความยาวเฉลี่ย 7-10 เมตร เจริญอยู่ในระดับผิวดินบริเวณทรงพุ่ม ทำหน้าที่ดูดน้ำ และธาตุอาหารส่งไปยังใบเพื่อกระบวนการสังเคราะห์ด้วยแสง

#### ลำต้น (stem)

ลำต้นยางพาราแบ่งออกเป็น 2 ชนิด (อุดม, 2541) ตามชนิดของวัสดุปลูกคือ ลำต้นรูปกรวย (cone) เป็นลำต้นที่เกิดจากการปลูกด้วยเมล็ด (seedling tree) จะสังเกตเห็นได้ชัดว่า ส่วนฐานของลำต้นจะโตแล้วค่อยเล็กลงตามความสูง ลำต้นอีกชนิดหนึ่งคือ ลำต้นรูปทรงกระบอก (cylinder) เป็นลำต้นที่เกิดจากการปลูกด้วยต้นติดตา (budded stump) ลักษณะของลำต้นส่วนล่างสุดมีขนาดใหญ่มากเรียกว่า "เท้าช้าง" เลยจากจุดนี้ขึ้นไปจะเป็นลำต้นที่มีขนาดเท่ากันทั้งส่วนโคนต้นและส่วนปลาย ในช่วงแรกของการเจริญเติบโตพบว่า ลำต้นทั้งสองชนิดมีเกล็ดใบ (scale leaves) อยู่ตรงส่วน

- เปลือกแห้ง (corky bark) เปลือกที่อยู่ส่วนนอกสุดของลำต้นมีสีน้ำตาลถึงดำ ไม่มีท่อน้ำยางอยู่ภายใน เกิดจากการสร้าง outer soft cell ของชั้น cortex ที่ยังมีชีวิตอยู่ที่เรียกว่า bark cambium ต่อมาเมื่อสารพวกลิกนิน ซิวเบอร์ลิน มาสะสมทำให้เห็นเป็นสีน้ำตาล โดยทั่วไปเปลือกชั้นนี้มีความหนาประมาณ 10 เปอร์เซ็นต์ของเปลือกทั้งหมด

- เปลือกแข็ง (hard bark) อยู่ถัดจากเปลือกแห้งเข้ามา มีสีส้ม หรือสีน้ำตาลอ่อน เกิดจากการแบ่งเซลล์ของ bark cambium แล้วเจริญเข้าทางด้านใน มีการสะสมสารพวกลิกนิน และ ซิวเบอร์ลินน้อยกว่าเปลือกแห้ง แต่มี stone cell อยู่เป็นจำนวนมาก กระจายอยู่ทั่วไปในชั้นนี้ ทำให้ท่อน้ำยางมีลักษณะขาดตอน (interrupted latex vessel) และมีจำนวนน้อย ชั้นนี้อาจเรียกว่า outer cortex

- เปลือกอ่อน (soft bark) เป็นเปลือกชั้นในสุดถัดจากเปลือกแข็งเข้าไปเกือบใกล้เนื้อไม้ เป็นส่วนของ inner cortex ประกอบด้วยเนื้อเยื่อที่อ่อนนุ่ม มีชีวิต และหนาซึ่งเป็นเนื้อเยื่อลำเลียงอาหาร (sieve tube) โดยวางตัวอยู่ในแนวตั้ง ภายในเป็นแหล่งสะสมอาหารจำนวนมาก เนื้อเยื่อดังกล่าวติดต่อกันตลอดทั้งในลำต้น กิ่งก้าน และใบ อาหารที่มาสะสมคือน้ำยางนั่นเอง ซึ่งเรียกว่า latex น้ำยางที่ถูกสร้างขึ้นเป็นโพลิเมอร์ของ cis-1, 4-polyisoprene ส่วนของเนื้อเยื่อลำเลียงอาหารก็คือ ท่อน้ำยาง (lacifer) ที่มีลักษณะเชื่อมติดต่อกันตลอดไม่ขาดตอน (continuous latex vessel) มีการจัดเรียงตัวในแนวเอียง ทำมุม 2-5 องศากับแนวตั้ง ด้านบนขวามายังซ้ายล่าง ในชั้นนี้ยังพบเนื้อเยื่ออีกชนิดหนึ่งรอบ ๆ เนื้อเยื่อลำเลียงอาหารคือ medulla rays มีองค์ประกอบส่วนใหญ่เป็นน้ำทำหน้าที่ควบคุมความเข้มข้นของน้ำยางในท่อน้ำยาง และช่วยรักษาความเต่ง สภาพสมดุลของท่อน้ำยางด้วย ชั้นเปลือกอ่อนมีความหนาแน่นของท่อน้ำยางสูง จึงทำให้ขนาดของท่อน้ำยางเล็กกว่าในชั้นเปลือกแข็ง (สนิท, 2524)

## ใบ (leaf)

ใบยางพาราจัดเป็นใบประกอบ (compound leaf) แบบ palmate ใบประกอบชนิดหนึ่งของยางพารามี 3 ใบย่อย ซึ่งเรียกว่า trifoliage leaves ใบย่อยแต่ละใบจะมีก้านใบย่อย (petiole) ซึ่งมีความยาวโดยเฉลี่ยประมาณ 0.5-2.5 เซนติเมตร แดกออกตรงส่วนปลายของก้านใบ (petiole) จากจุดเดียวกัน ก้านใบยางพาราจะมีความยาวโดยเฉลี่ย 15 เซนติเมตร (รัตน์, 2514; อุดม, 2541) การเรียงตัวของใบในฉัตรเป็นแบบเกลียว (spiral) ใบที่แก่ที่สุดของกลุ่มใบย่อยคือ ใบที่ใหญ่ที่สุด และมีก้านใบย่อยยาวกว่าใบย่อยอื่น แผ่นใบมีขนาดแตกต่างกันออกไป โดยเฉลี่ยแล้วมีความกว้างเป็นครึ่งหนึ่ง ถึงหนึ่งในสามของความยาวใบ (เรวัตติ, 2541) ส่วนรูปร่างของแผ่นใบนั้นแบ่งออกได้เป็น 4 แบบ คือ

- elliptical type มีลักษณะปลายใบและ โคนใบแหลม ความยาวใบประมาณ 3 เท่าของความกว้างใบ โดยส่วนที่กว้างที่สุดจะอยู่ที่ส่วนกลาง
- obovate type มีลักษณะปลายใบมนและ โคนใบแหลม ส่วนกว้างที่สุดของแผ่นใบจะอยู่กึ่งกลางถึงปลายใบ
- ovate type มีลักษณะคล้ายรูปไข่ ส่วนที่กว้างที่สุดของใบอยู่ระหว่าง โคนใบกับกึ่งกลางใบ
- diamond type ลักษณะคล้าย elliptical type แต่ขอบใบส่วนปลายและ โคนใบค่อนข้างเป็นเส้นตรง คล้ายผลึกเพชร เส้นใบ (vein) จะมีการแตกเป็นแบบขนนก (pinnate) โดยทั่ว ๆ ไป แล้วมีจำนวนคู่ของเส้นใบประมาณ 20 คู่ในใบหนึ่ง ๆ (Cobley and Steele, 1976)

ต่อมน้ำหวาน (extrafloral nectary) พบที่โคนก้านใบย่อย จำนวน 3 ต่อมน้ำหวาน ช่วงที่ต้นยางผลัดใบ ทางภาคใต้ของประเทศไทยต้นยางผลัดใบในช่วงเดือนกุมภาพันธ์ ถึงเดือนพฤษภาคม ส่วนภาคตะวันออกเฉียงเหนือเดือนกุมภาพันธ์ ถึงเดือนเมษายน (อุดม, 2541) และพบว่าต่อมน้ำหวานมีไข(cutin) เคลือบด้วย (Esau, 1967)

## ดอก (flowers)

ดอกยางพาราเกิดเป็นจำนวนมาก จากตาบริเวณซอกใบ (axillary bud) มีลักษณะเป็นช่อสั้น บริเวณฐานของกลุ่มใบใหม่ ช่อดอกยางพาราเป็นแบบ compound raceme หรือ panicle ในช่อดอกหนึ่ง ๆ ประกอบด้วย แกนใหญ่ของช่อเรียกว่า main axis และมีการแตกแขนงของช่อดอกเป็นแขนงย่อยอีกจำนวนมาก แขนงย่อยแรกที่แตกจาก main axis เรียกว่า primary branch แขนงย่อยที่ 2 แยกจาก primary branch เรียกว่า secondary branch อันเป็นที่ตั้งของก้านชูดอก (peduncle) และก้านชูดอก (pedicel) การแตกแขนงของช่อดอกในลักษณะดังกล่าวจะลดหลั่นกัน มองดูแล้วคล้ายรูปสามเหลี่ยม ในช่อดอกจะประกอบไปด้วยดอก 2 ชนิดแยกกัน คือ

- ดอกตัวเมีย (pistillated flowers) มีขนาดใหญ่ ตั้งอยู่ส่วนปลายสุดของแขนงช่อดอก ประกอบด้วยชั้นต่าง ๆ ดังนี้ กลีบเลี้ยงสีเหลือง จำนวน 5 กลีบ เมื่อบานจะมีลักษณะคล้ายระฆัง (bell-shape) กลีบดอกไม่มีเกสรตัวเมียซึ่งประกอบด้วย รังไข่ 3 พู และยอดเกสรตัวเมียที่ไม่มีก้านชูเกสรตัวเมีย (sessile stigma) มีลักษณะ 3 แฉก และเกสรตัวผู้ซึ่งเป็นหมัน (staminode) จำนวน 5 อัน

- ดอกตัวผู้ (staminated flowers) มีขนาดเล็ก ตั้งอยู่ในตำแหน่งที่ต่ำกว่าดอกตัวเมียในแขนงเดียวกันของช่อดอก ในช่อดอกหนึ่ง ๆ จะมีดอกตัวผู้ประมาณ 60-80 ดอก ประกอบด้วยชั้นต่าง ๆ ดังนี้ กลีบเลี้ยงจำนวน 5 กลีบ กลีบดอกไม่มีเกสรตัวผู้ที่ไม่มีก้านชูละอองเกสร (sessile stamen) จำนวน 10 อัน เรียงกันเป็นวง 2 วง วงละ 5 อัน รอบ corollar tube

หลังจากแทงช่อดอกแล้วระยะเวลา 2 สัปดาห์ ช่อดอกมีการพัฒนาเต็มที่ พร้อมทั้งจะบานโดยดอกตัวผู้จะบานก่อน ช่วงการบานของดอกตัวผู้ 1 วันก็จะร่วง ส่วนดอกตัวเมียจะบานในช่วงเวลาถัดมา ดอกอาจบานนาน 3-5 วัน (Webster and Baulkwill, 1989)

## ผล (fruit)

ดอกตัวเมียที่สามารถผสมติดให้ผลเพียง 30-50 เปอร์เซ็นต์ ส่วนดอกที่ผสมไม่ติดจะร่วงหล่นไป หลังจากผสมแล้วรังไข่จะพัฒนามาเป็นผล ภายในระยะเวลา 3 เดือน จากนั้นอีก 3 เดือน ผลจะสุก ผลที่แก่มีขนาดใหญ่ มีเส้นผ่านศูนย์กลาง 3-5 เซนติเมตร ประกอบด้วย 3 พู แต่ละพูจะมีเมล็ดจำนวน 1 เมล็ด ส่วนประกอบของผล มีเปลือกผล (epicarp) ซึ่งแบ่งเป็นเปลือกผลชั้นกลาง

## เมล็ด (seed)

เมล็ดมีขนาดใหญ่ แข็ง รูปร่างกลมถึงรี แตกต่างกันในแต่ละพันธุ์ เมล็ดแน่นเป็นมัน มีความยาว 2.0-3.5 เซนติเมตร กว้าง 1.5-3.0 เซนติเมตร เปลือกของเมล็ด (seed coat) มีสีน้ำตาลอ่อนถึงสีเทา มีจุดสีน้ำตาลเข้ม ประปรายด้านท้องของเมล็ด ตรงปลายสุดด้านหนึ่งจะเป็นที่ตั้งของขั้วเมล็ด (hilum) และ micropyle ซึ่งเป็นทางงอกของรากอ่อน ถัดมาเป็นรอยที่ funiculus อ้อมมาติดกับเมล็ด ตรงขั้วเรียกว่า raphe รูปร่างของเมล็ดขึ้นอยู่กับการกดของผล ซึ่งมีเมล็ดบรรจุอยู่ภายใน ภายในเมล็ดมีอาหารสะสมเป็นพวกไขมัน เมื่อมีชีวิตอยู่จะเป็นมันสีขาวและเปลี่ยนเป็นสีเหลืองเมื่อแก่ ส่วนของอาหารสะสมสามารถนำมาสกัดน้ำมันใช้ในอุตสาหกรรมต่าง ๆ ได้ กากที่เหลือนำมาใช้เป็นอาหารสัตว์หรือทำปุ๋ย ชั้นของอาหารสะสมดังกล่าวล้อมรอบแกนต้นอ่อนซึ่งประกอบด้วยยอดอ่อน รากอ่อน และใบเลี้ยง เมื่อได้รับสภาพแวดล้อมที่เหมาะสมจะงอกเป็นต้นใหม่ได้ น้ำหนักของเมล็ดโดยเฉลี่ย 2-4 กรัมต่อเมล็ด (Wright, 1912)

## 2. ลักษณะประจำพันธุ์ของยางพารา RRIM 600

พันธุ์ RRIM 600 เป็นยางพันธุ์ชั้น 1 เป็นพันธุ์ผสมที่มาจากพันธุ์ Tjir 1 และพ่อพันธุ์ PB 86 ซึ่งมีแหล่งกำเนิดมาจากประเทศมาเลเซีย (เรวัตติ, 2541) มีการเจริญเติบโตของลำต้นปานกลาง ทั้งในระยะก่อนเปิดกรีด และระหว่างเปิดกรีด มีความสม่ำเสมอของลำต้นทั้งแปลงในระดับปานกลาง ความหนาของเปลือกเดิมบาง เปลือกงอกใหม่หนาปานกลาง แตกกิ่งช้า กิ่งมีขนาดปานกลาง ทิ้งกิ่งมาก ทรงพุ่มมีขนาดปานกลาง เป็นรูปพัด เริ่มผลัดใบเร็ว ผลผลิตสูงทั้งในระยะ 2 ปีแรก และปีกรีดต่อ ๆ มา ในช่วงผลัดใบ ผลผลิตทางภาคใต้ลดลงเล็กน้อย แต่ลดลงมากในพื้นที่แห้งแล้ง ผลผลิตเพิ่มขึ้นระดับปานกลาง เมื่อใช้สารเคมีเร่งน้ำยาง ระบบกรีดครึ่งต้น วันเว้นวัน (1/2 S d/2) ลักษณะความต้านทานโรคราแป้ง และใบจุดนูนระดับความต้านทานปานกลาง อ่อนแอต่อโรคใบร่วงที่เกิดจากเชื้อไฟทอปโทรา และเส้นดำ มีต้นเปลือกแห้งจำนวนน้อย ต้านทานลมปานกลาง ปลูกได้ในพื้นที่ลาดชัน ไม่แนะนำให้ปลูกในพื้นที่มีหน้าดินตื้น และพื้นที่มีระดับน้ำใต้ดินสูง ไม่ควรปลูกในที่



ทรงพุ่ม แผลรูปพัด

ฉัตรเปิด

ใบย่อยมีรูปร่างขนาดเท่า ๆ กัน

ภาพที่ 1 ลักษณะประจำพันธุ์ของยางพาราพันธุ์ RRIM 600

ที่มา: สมศักดิ์ (2531)

### 3. ระบบกรีดและการเปิดกรีดยาง

การกรีดยางในระยะ 3 ปีแรก ระบบกรีดที่เหมาะสมควรเป็น

- กรีดครั้งต้น วันเว้นสองวัน (1/2 S d/3) ใช้กับยางทุกพันธุ์
- กรีดครั้งต้น วันเว้นวัน (1/2 S d/2) ไม่ใช้กับพันธุ์ RRIM 628, PB 28/59 และ PB 5/63
- กรีดครั้งต้น วันเว้นสองวัน (1/2 S d/3) ร่วมกับการใช้สารเคมีเร่งน้ำยางความเข้มข้น 2.5% เหมาะสำหรับ ยางพาราที่ให้ผลผลิตต่ำในระยะแรกของการกรีด

การกรีดยางหลังจาก 3 ปี ไปแล้ว ระบบกรีดที่เหมาะสมควรเป็น

- กรีดครั้งต้น วันเว้นสองวัน (1/2 S d/3) เหมาะกับพันธุ์ที่เป็นโรคเปลือกแห้งได้ง่าย
- กรีดครั้งต้น วันเว้นวัน (1/2 S d/2) ใช้กับยางทุกพันธุ์ ยกเว้นพันธุ์เป็นโรคเปลือกแห้งง่าย

- กรีดครึ่งต้น วันเว้นสองวัน (1/2 S d/3) ร่วมกับสารเคมีเร่งน้ำยาง เหมาะกับยางที่ให้ผลผลิตต่ำ

#### การกรีดเปลือกงอกใหม่

- กรีดครึ่งต้น วันเว้นวัน (1/2 S d/2) ใช้กับยางทุกพันธุ์
- กรีดครึ่งต้น วันเว้นสองวัน (1/2 S d/3) ใช้กับยางพันธุ์ที่เป็นโรคเปลือกแห้งได้ง่าย
- กรีดครึ่งต้น วันเว้นสามวัน (1/2 S d/4) หรือกรีดครึ่งต้นวัน เว้นสองวัน (1/2 S d/3) ร่วมกับสารเคมี เร่งน้ำยาง (สถาบันวิจัยยาง, 2552)

#### 4. พันธุ์ยางที่แนะนำ

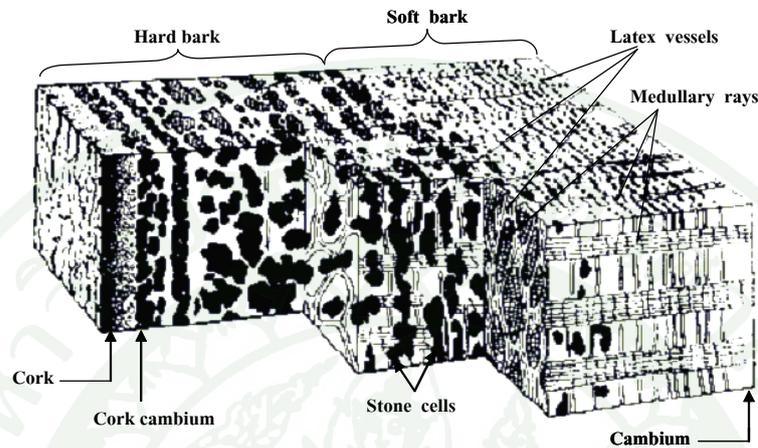
พันธุ์ยางเพื่อผลผลิตน้ำยาง ปลูกในพื้นที่ปลูกยางเดิม

1. พันธุ์ยางชั้น 1 หมายถึง ยางพันธุ์ดี ที่แนะนำให้ปลูกไม่จำกัดพื้นที่ปลูก พันธุ์ยางชั้นนี้ได้ผ่านการทดสอบและศึกษาลักษณะต่าง ๆ อย่างละเอียด ในปี 2550 พันธุ์ยางชั้น 1 ได้แก่ พันธุ์สถาบันวิจัยยาง 251, สถาบันวิจัยยาง 226, BPM 24 และ RRIM 600

2. พันธุ์ยางชั้น 2 หมายถึง ยางพันธุ์ดีที่แนะนำให้ปลูกซึ่งจำกัดพื้นที่ปลูก โดยปลูกได้ไม่เกินร้อยละ 30 ของเนื้อที่ปลูกยางที่ถือครอง แต่ละพันธุ์ควรปลูกไม่น้อยกว่า 7 ไร่ พันธุ์ยางชั้นนี้อยู่ระหว่างการศึกษาลักษณะบางประการเพิ่มเติม ในปี พ.ศ. 2550 พันธุ์ยางชั้น 2 ได้แก่ พันธุ์สถาบันวิจัยยาง 209, สถาบันวิจัยยาง 214, สถาบันวิจัยยาง 218, สถาบันวิจัยยาง 225, สถาบันวิจัยยาง 250, สถาบันวิจัยยาง 319, สถาบันวิจัยยาง 405, สถาบันวิจัยยาง 406, สถาบันวิจัยยาง 410, สถาบันวิจัยยาง 411, สถาบันวิจัยยาง 416, Haiken 2, PR 302, PR 305, RRIC 100 และ RRIC 101 (สถาบันวิจัยยาง, 2550)

## 5. ปัจจัยภายในและภายนอกที่มีผลต่อการสังเคราะห์น้ำยาง

### โครงสร้างเปลือกยางพารา



ภาพที่ 2 โครงสร้าง 3 มิติของเปลือกยางพารา ทั้งด้านตัดขวางและแนวตั้ง

ที่มา: Kekwick (2001)

### เปลือกยาง (bark)

เปลือกยางห่อหุ้มอยู่ภายนอกต้นยางพารา เป็นส่วนของท่ออาหาร ที่เกิดจากการแบ่งตัวออกมาทางด้านนอกของเนื้อเยื่อเจริญ (cambium) ซึ่งเป็นเนื้อเยื่อชั้นบาง ๆ อยู่ระหว่างเนื้อไม้ และเปลือกไม้ เป็นส่วนที่สร้างความเจริญเติบโตให้กับต้นยาง และเป็นส่วนที่มีการแบ่งตัวตลอดเวลา ถ้าแบ่งตัวออกทางด้านนอกจะกลายเป็นเปลือกยาง แบ่งตัวเข้าทางด้านในจะเป็นเนื้อไม้ โดยยางจะสร้างเปลือกงอกใหม่ขึ้นมาแทนที่เปลือกที่กริดไป หากเนื้อเยื่อเจริญถูกทำลาย จะไม่มีการสร้างเปลือกใหม่ขึ้นทดแทน ในการศึกษาเกี่ยวกับผลผลิตของต้นยางจะเน้นที่เปลือกยาง ซึ่งเป็นแหล่งเก็บเกี่ยวผลผลิตเท่านั้น เพราะเป็นที่อยู่ของท่อน้ำยาง ส่วนในเนื้อไม้จะไม่มือน้ำยางเพราะไม่มีท่อน้ำยางแต่จะมีท่อน้ำเลี้ยงน้ำ (xylem) อยู่

ในส่วนของเปลือกยาง เนื้อเยื่อที่ถูกสร้างขึ้นใหม่จะดันเนื้อเยื่อส่วนที่เกิดขึ้นก่อนออกมาทางด้านนอก ดังนั้นเนื้อเยื่อที่อยู่ใกล้เยื่อเจริญจึงเป็นเนื้อเยื่อที่เกิดขึ้นใหม่และมีความสมบูรณ์ที่สุด เมื่อต้นยางมีอายุมากขึ้น เนื้อเยื่อที่เกิดขึ้นก่อนซึ่งอยู่ไกลจากเนื้อเยื่อเจริญ โดยเฉพาะเซลล์พาราเรนไค-

### ท่อน้ำยาง (laticiferous vessel)

ท่อน้ำยางเกิดจากการแบ่งตัวของเนื้อเยื่อเจริญ โดยที่กลุ่มเซลล์ชนิดเดียวกันมาเชื่อมต่อกัน แล้วผนังเซลล์หัวท้ายสลายตัว อาจเพียงบางส่วนหรือสลายตัวหมด กลายเป็นท่อเดียวกันแล้วแตกสาขา และยังเชื่อมต่อกับเซลล์ชนิดเดียวกันที่อยู่ข้างเคียง โดยการสลายตัวของผนังเซลล์ด้านข้าง เกิดเป็นช่องเปิดติดต่อกันได้ ทำให้มีลักษณะคล้ายร่างแห หรือเป็นลักษณะที่เรียกว่า articulated anastomosing laticifer ท่อน้ำยางจะเรียงตัวกันเป็นวงรอบลำต้น น้ำยางจึงสามารถติดต่อกันได้ทางรอบเปิดดังกล่าวภายในวงเดียวกันรอบลำต้น แต่ไม่สามารถติดต่อกันได้ระหว่างวง โดยระหว่างวงของท่อน้ำยาง จะมีเซลล์พวกวางโคมา ขนาบทั้งสองข้างเป็นชั้น ๆ สลับกัน

ลักษณะของท่อน้ำยางเมื่อส่องดูภายใต้กล้องจุลทรรศน์ พบว่าถ้าตัดเปลือกยางทางด้านตัดขวาง (cross section) จะเห็นท่อน้ำยางตรงบริเวณหน้าตัดมีลักษณะกลม เรียงตัวกันเป็นวงรอบลำต้น และเมื่อดูทางด้านยาว (long section) จะเห็นเป็นท่อเดี่ยว ๆ เรียงตัวเป็นแถว ซึ่งทั้งสองวิธีจะเห็นเซลล์พวกวางโคมา คั่นอยู่ระหว่างวงท่อน้ำยาง แต่เมื่อตัดเปลือกยางทางด้าน tangential section ซึ่งจะตั้งฉากกับ long section แล้ว จะเห็นว่าท่อน้ำยางไม่ได้เป็นท่อเดี่ยว ๆ แต่จะประสานตัวคล้ายร่างแห มีรอยเปิดถึงกันได้ภายในวงเดียวกัน (ภาพที่ 2)

การเรียงตัวของท่อน้ำยาง จะเรียงตัวรอบลำต้นตามแนวคิ่งเป็นชั้น ๆ โดยทั่วไปอยู่ในลักษณะเอียงไปทางขวาจากแนวคิ่งเล็กน้อย ประมาณ 2.1-2.7 องศา ในบางพันธุ์อาจพบว่า ท่อน้ำยางวางตัวเอียงไปทางซ้ายจากแนวคิ่งประมาณ 3.2-3.8 องศา แต่มีเพียงส่วนน้อยที่มีลักษณะเช่นนี้ ดังนั้นจึงต้องกรีดยางจากซ้ายไปขวาในแนวเอียง เพื่อให้ตัดจำนวนท่อน้ำยางได้มากกว่า

ทำให้การไหลของน้ำยางอยู่ในอัตราความเร็วที่เหมาะสมและไหลได้นาน ซึ่งทำให้ได้รับผลผลิตสูงขึ้น (ปีทมา, 2539)

#### เซลล์น้ำยาง (latex cell)

น้ำยางมีลักษณะเป็นน้ำสีขาวคล้ายน้ำมัน ได้มาจากการกรีด ซึ่งไหลออกมาจากท่อน้ำยาง โดยเฉพาะในพืชตระกูล Euphorbiaceae (*Hevea brasiliensis* Muell.Arg.) ซึ่งพบกลุ่มของท่อน้ำยางอยู่มากและหนาแน่นที่สุดในชั้นเปลือกอ่อน (soft bark) ซึ่งเป็นบริเวณที่ชั้นเปลือกแข็งเชื่อมต่อกับชั้นเปลือกอ่อน ท่อน้ำยางเหล่านี้จะเวียนขึ้นสู่ยอดของลำต้น ทวนเข็มนาฬิกา ทำมุมประมาณ 3.5 องศากับแนวดิ่ง ยกเว้นยางพาราบางพันธุ์เช่น พันธุ์คอหงษ์ 13 (KPS 13) (อุดม, 2541) ในกรณีนี้เปลือกผ่านการเปิดกรีดเพื่อเอาน้ำยางแล้ว ต้นยางสามารถสร้างเปลือกขึ้นใหม่เหมือนเดิมภายในเวลา 1-2 ปี (de Fay and Jacob, 1989)

#### กระบวนการสังเคราะห์น้ำยางทดแทน (latex regeneration)

เป็นกระบวนการที่ต้องการพลังงานเป็นอย่างยิ่ง โดยทั่วไปการเปิดกรีดยาง จะทำให้ทราบถึงกลไกและกระบวนการในการสังเคราะห์น้ำยางทดแทน กระบวนการสังเคราะห์น้ำยางจะถูกสร้างขึ้นใหม่เพื่อชดเชยน้ำยางที่สูญเสียไปในระหว่างการกรีดแต่ละครั้ง ในการสร้างน้ำยาง น้ำ และแร่ธาตุถูกเคลื่อนย้ายจากรากผ่านทางท่อลำเลียงน้ำ โมเลกุลของน้ำตาล กรดอะมิโน ฮอร์โมนและอื่น ๆ เคลื่อนย้ายจากใบซึ่งเป็นแหล่งสร้างที่สำคัญ โดยส่งมาทาง sieve tubes สู่เปลือกที่อยู่ติดกับแคมเบียมเข้าสู่เซลล์ท่อน้ำยาง ในกระบวนการสร้างน้ำยางมีเอนไซม์มากกว่า 20 ชนิดเข้ามาเกี่ยวข้อง เพื่อเปลี่ยนแปลง (transformation) ซิวโครสที่เป็นสารตั้งต้นไปเป็น cis-1, 4-polyisoprene ซึ่งโครงสร้างทางเคมีของหน่วยย่อยของยางธรรมชาติ จะประกอบด้วยคาร์บอน 5 อะตอม และไฮโดรเจน 8 อะตอม ( $C_5H_8$ ) มีชื่อทางเคมีว่า Isoprene แล้วเชื่อมโยงเป็นโมเลกุลเรียงตัวกันในแบบ cis-configuration เป็นโมเลกุลยาวที่ชื่อว่า cis-1, 4-polyisoprene (สุรศักดิ์, 2532) โดยกระบวนการสร้างเริ่มจากเปลี่ยนซิวโครสไปเป็น acetyl CoA ในกระบวนการไกลโคไลซิส ด้วยเอนไซม์ที่สำคัญ ได้แก่ เอนไซม์ invertase แล้วเกิดกระบวนการเปลี่ยน acetyl CoA เป็นโมเลกุล isopentenyl pyrophosphate (IPP) และ dimethyl allylpyrophosphate (DMAPP) ซึ่งมีเอนไซม์ 9 ชนิดเข้ามาเกี่ยวข้องเกี่ยวกับกระบวนการนี้ หลังจากนั้นจะเข้าสู่กระบวนการเปลี่ยนแปลงไปเป็น cis-1, 4-polyisoprene ที่เป็นอนุภาคยาว (Jacob *et al.*, 1989) และยังมีปัจจัยอีกหลายประการที่มีผลควบคุม

เมตาบอลิซึมของกระบวนการสร้างน้ำยาง เช่น ระดับของปริมาณน้ำตาลซูโครส เมตาบอลิซึมในกระบวนการเปลี่ยนน้ำตาลซูโครสเป็นอนุภาคยาง และพลังงานที่นำไปใช้ในกระบวนการสังเคราะห์น้ำยาง นอกจากนี้การกรีดยางยังเป็นการกระตุ้นให้เกิดการสร้างน้ำยางทดแทน (Jacob *et al.*, 1995) ประสิทธิภาพในการสร้างน้ำยางจะขึ้นอยู่กับปริมาณน้ำตาลที่เป็นสารตั้งต้น พลังงาน น้ำ และธาตุอาหารในสภาพแวดล้อมที่เหมาะสม

#### สารเคมีเร่งน้ำยางเอทิลีน (Ethylene stimulation)

เอทิลีนเป็นฮอร์โมนพืช (plant hormone) ที่มีผลต่อการเจริญเติบโตและเมตาบอลิซึมต่างๆ ภายในเซลล์พืช โดยเฉพาะการหายใจอาจเรียกว่า ฮอร์โมนควบคุมการสุกแก่ (ripening hormone) นำมาใช้ประโยชน์ทางการเกษตร เช่น เร่งการสุกของผลไม้ ในยางพาราใช้เอทิลีน ในรูปสารละลายอีเทรล (etheal) ซึ่งมีผลต่อการไหลของน้ำยาง โดยช่วยเพิ่มผลผลิตขึ้น 50-100 % (ศูนย์วิจัยการยาง, 2514) การศึกษาผลของสารเคมีเร่งน้ำยางที่มีอิทธิพลต่อความเข้มข้นของน้ำตาลซูโครสในท่อน้ำยางของยางพารา โดยใช้สารกัมตภาพรังสี U14-C ฉีดเข้าในส่วนเปลือกยางพารา ที่ทำการเพาะเลี้ยงเนื้อเยื่อ พบสาร U14-C ในไซโทซอลและน้ำยาง สรุปว่าการใช้สารเคมีเร่งน้ำยางมีการเพิ่มขึ้นของการไหลของน้ำตาลซูโครส และมีรายงานว่าเอทิลีนมีผลต่อการดึงโปรตอน ATPase จากท่อลำเลียงอาหารเข้าสู่เซลล์น้ำยาง (Lacrotte *et al.*, 1985) เอทิลีนจึงมีผลต่อการสร้างชีวมวลน้ำยาง ปัจจุบันมีการใช้สารเคมีเร่งน้ำยางหลายวิธี เช่น ทาสารเคมีเร่งน้ำยางในรอยกรีด ใช้สารเคมีเร่งน้ำยางทาเหนือรอยกรีด ใช้สารเคมีเร่งน้ำยางชนิดแก๊สอัดบริเวณเปลือกหน้าสูงที่ต้องการกรีด จากการศึกษาพบว่า การตอบสนองของยางพาราต่อสารเคมีเร่งน้ำยางมีความแตกต่างกันเช่น พันธุ์ยาง BPM 1 ตอบสนองสารเคมีเร่งน้ำยางดี พันธุ์สงขลา 36, PB 255, PB 260, PR 255, RRIC 110, RRIM 600 และ GT 1 ตอบสนองสารเร่งน้ำยางปานกลาง ส่วนยางพาราพันธุ์ BPM 24, PB 235 และพันธุ์สถาบันวิจัยยาง 250 ตอบสนองสารเคมีเร่งน้ำยางต่ำ (สถาบันวิจัยยาง, 2547)

#### 6. กระบวนการหายใจ (respiration)

กระบวนการหายใจของพืชเป็นกระบวนการออกซิเดชัน ของสารประกอบอินทรีย์โดยมีโมเลกุลของออกซิเจนเป็นสารรับอิเล็กตรอนตัวสุดท้าย ในขณะที่เดียวกันก็มีการปลดปล่อยพลังงาน น้ำ และคาร์บอนไดออกไซด์ออกมา ซึ่งพลังงานที่ปลดปล่อยออกมา จะอยู่ในรูป reduced nucleotides (NADH, NADPH และ FADH<sub>2</sub>) และ ATP ซึ่งถูกนำมาใช้ในกระบวนการสังเคราะห์

McCree (1970) แบ่งการหายใจของพืชตามวัตถุประสงค์เป็นสองกลุ่ม ได้แก่ การหายใจเพื่อการเจริญเติบโต (growth respiration,  $R_g$ ) หรือสร้างเนื้อเยื่อใหม่ และการหายใจเพื่อการบำรุงรักษา (maintenance respiration,  $R_m$ ) เนื้อเยื่อที่มีอยู่เดิม การหายใจในเมล็ดที่เจริญเติบโตเต็มที่ จัดได้ว่าเป็นการหายใจเพื่อการบำรุงรักษาแทบทั้งหมด เนื่องจากเมล็ดในระยะนี้ไม่มีการสร้างสารใหม่ แต่ในเนื้อเยื่อส่วนอื่นที่อยู่ในระยะการเจริญเติบโตทางลำต้นและใบจะพบการหายใจทั้งสองแบบเกิดขึ้นพร้อม ๆ กัน

#### 6.1 การหายใจเพื่อบำรุงรักษา (Maintenance respiration, $R_m$ )

กิจกรรมเพื่อการบำรุงรักษาในพืชรวมถึงการสร้างโปรตีนและไขมันเพื่อการทดแทน (turnover) และการรักษาความต่างศักย์ของสารเคมีและไฟฟ้าข้ามเยื่อหุ้มต่าง ๆ (Penning de Vries, 1975) ทั้งโปรตีนและไขมันจะสลายตัวอย่างช้า ๆ หรืออาจถูกไฮโดรไลซิส (hydrolysis) และพืชต้องใช้ ATP เพื่อสร้างสารขึ้นมาใหม่ทดแทนในตำแหน่งเดิม กระบวนการสร้างสารเพื่อทดแทนนี้ไม่มีการเพิ่มปริมาตรสุทธิ จึงจัดเป็นกิจกรรมเพื่อการบำรุงรักษา เพราะไม่มีการเจริญเติบโตเพิ่มขึ้น ซึ่งแตกต่างจากความชราภาพและการเคลื่อนย้าย นอกจากนี้เอนไซม์หลายชนิดมีอัตราการสลายตัวอย่างรวดเร็ว และพืชต้องสร้างทดแทนอย่างรวดเร็วเช่นกัน ในขณะที่โปรตีนและไขมันที่ทำหน้าที่เป็นโครงสร้างจะสลายตัวอย่างช้า ๆ ในเซลล์หลายชนิดใช้การหายใจเพื่อรักษาความต่างศักย์ของ

โดยทั่วไปพืชในเขตร้อนหรือพืชที่มีไนโตรเจนมากจะมีอัตราการหายใจเพื่อการบำรุงรักษา สูงกว่าพืชในเขตหนาวหรือเขตอบอุ่นหรือพืชที่ขาดไนโตรเจน และเมื่อพืชมีขนาดเพิ่มขึ้น ค่าการหายใจจำเพาะเพื่อการบำรุงรักษา (specific Rm) (การหายใจเพื่อการบำรุงรักษาต่อกรัมของน้ำหนักแห้ง) จะลดลง เพื่อชดเชยกับการมีเนื้อเยื่อที่ไม่สามารถสังเคราะห์ด้วยแสงได้ แต่ถ้าส่วนที่ต้องการการบำรุงรักษา เช่น ลำต้น กิ่ง ก้าน เพิ่มมากขึ้น ขนาดที่เพิ่มขึ้นจะทำให้สัดส่วนของ assimilate ถูกใช้ในกระบวนการบำรุงรักษาเพิ่มมากขึ้น ลักษณะเช่นนี้สังเกตได้ชัดเจนจากพืชที่เจริญเติบโตเต็มที่แล้ว อัตราการสังเคราะห์แสงของเรือนพุ่มคงที่ในขณะที่ชีวมวลเพิ่มขึ้นและ maintenance respiration เพิ่มขึ้น ดังนั้นการลดการสูญเสียจาก maintenance respiration อาจเป็นแนวทางที่ใช้ในการเพิ่มประสิทธิภาพการผลิตพืชได้ ตัวอย่างเช่น Wilson and Jones (1982) ได้คัดเลือกพันธุ์ ryegrass ที่มี maintenance respiration ของใบต่ำ ทำให้ได้ผลผลิตสูงกว่าต้นพ่อแม่

## 6.2 การหายใจเพื่อการเจริญเติบโต (Growth respiration, Rg)

การเจริญเติบโตต้องการสารตั้งต้นประเภทสารประกอบคาร์บอน เพื่อสร้างและประกอบขึ้นมาเป็นสารใหม่ รวมถึงเป็นแหล่งให้พลังงานและพลังงานรีดิวส์ ในการสร้างสารชนิดต่าง ๆ ส่วนประกอบทางชีวเคมีของชีวมวลที่สร้างขึ้นใหม่มีอิทธิพลเป็นอย่างมากต่อค่า growth respiration เนื่องจากจำนวนกลูโคสที่ต้องใช้ในการสร้างคาร์บอน โครงสร้าง พลังงานรีดิวส์ และพลังงานเคมีที่ใช้สังเคราะห์หน่วยย่อยของชีวมวล จะแปรผันไปตามองค์ประกอบทางเคมีของเนื้อเยื่อพืช (Gary *et al.*, 1998) ซึ่งสูงที่สุดในอวัยวะที่มีไขมันหรือลิกนิน และต่ำสุดในอวัยวะที่มีคาร์โบไฮเดรตจำนวนมาก ใบพืชที่มีสารประกอบโปรตีนและไขมันมากจะมีต้นทุนในการสร้างมากกว่ารากและลำต้น ถ้าสมมติให้ข้าวโพดและถั่วเหลืองมีปริมาณกลูโคสจากกระบวนการสังเคราะห์ด้วยแสงที่จะนำไปสร้างเมล็ดเท่ากัน พบว่าผลผลิตของเมล็ดถั่วเหลืองซึ่งมีสัดส่วนของโปรตีนและไขมันสูงจะมีน้ำหนักน้อยกว่าผลผลิตเมล็ดข้าวโพดเสมอ นอกจากนี้ในทางปฏิบัติพบความแตกต่างของผลผลิตมากขึ้นกว่านี้ เนื่องจากข้าวโพดเป็นพืช C4 ที่สามารถสังเคราะห์แสงเพื่อสร้างอาหารได้มากกว่าถั่วเหลือง ซึ่งเป็นพืช C3 (Loomis and Connors, 1992)

ต้นทุนในการสร้างชีวมวลยังแปรตามชนิดของไนโตรเจนเริ่มต้นที่ได้รับ โดยในการคำนวณเพื่อประเมินต้นทุนการตรึงไนโตรเจนแบบ conservative การคำนวณต้นทุนจากการตรึงไนโตรเจนในรูปแอมโมเนียจะไม่รวมต้นทุนการรีดิวส์ไนโตรเจน ต้นทุนที่ใช้สร้างชีวมวลในกรณีที่ได้รับไนโตรเจนในรูปไนเตรทจะมากกว่ากรณีที่ได้รับในรูปแอมโมเนียประมาณ 11% ในขณะที่ต้นทุนในการสร้างชีวมวลในกรณีที่ต้องตรึงก๊าซไนโตรเจนจะมากกว่ากรณีที่ได้รับไนโตรเจนในรูปแอมโมเนียถึง 32% แสดงว่าหากถั่วเหลืองไม่ต้องตรึงไนโตรเจนจากอากาศจะมีศักยภาพในการสร้างผลผลิตมากขึ้นถึง 1.3 เท่าตัว ซึ่งสนับสนุนผลการวิจัยของนักวิทยาศาสตร์หลายท่าน ที่พบว่าถั่วเหลืองที่ได้รับปุ๋ยไนโตรเจนจะให้ผลผลิตมากกว่า ถั่วเหลืองที่สร้างปมรากเพื่อตรึงไนโตรเจน (Silbury, 1977; Pihl and Munns, 1987) นอกจากนี้ Griffin *et al* (1993) พบว่าหากความเข้มข้นของคาร์บอนไดออกไซด์สูงต้นทุนการสร้างจะสูง เมื่อไนโตรเจนที่เป็นประโยชน์มีจำนวนมาก ส่งผลให้มีปริมาณโปรตีนในใบสูง แต่ปริมาณคาร์โบไฮเดรตแบบไม่มีโครงสร้าง (non-structure) จะต่ำ

ปัจจัยสภาพแวดล้อมส่งผลต่อต้นทุนการสร้างของพืช ภายใต้สภาวะที่น้ำมีปริมาณจำกัด ต้นทุนในการสร้างสารใหม่ของพืชทั้งต้นมีแนวโน้มที่ลดต่ำลง แต่ถ้าอยู่ในสภาวะขาดน้ำจะชักนำให้เกิดการเคลื่อนย้ายพลังงานไปสร้างเนื้อเยื่อที่ใช้ต้นทุนต่ำ เช่น ราก โดยไม่มีการเปลี่ยนแปลงองค์ประกอบของราก (Griffin, 1994) ในการสร้างชีวมวลที่มีต้นทุนการสร้างสูง ค่า growth yield จะต่ำ สามารถอธิบายลักษณะความสัมพันธ์แบบผกผันระหว่างน้ำหนักผลผลิตกับปริมาณโปรตีนหรือไขมันในผลผลิตได้ นอกจากนี้ความสัมพันธ์แบบผกผันยังพบได้ในงานปรับปรุงพันธุ์พืช ที่เปลี่ยนแปลงสัดส่วนของชนิดโปรตีนที่เป็นส่วนประกอบในผลผลิต เช่น ในธัญพืชโดยได้ทดลองเพิ่มสัดส่วนของกรดอะมิโนไลซีน ที่มีต้นทุนในการสร้างสูงทำให้น้ำหนักผลผลิตลดลง (Bhatia and Rabson, 1976)

## อุปกรณ์และวิธีการ

### อุปกรณ์

#### 1. อุปกรณ์การตรวจวัดอัตราการแลกเปลี่ยนก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์

1.1 เครื่องตรวจวัดความเข้มข้นของก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ (Infrared gas analyzer) Portable photosynthesis LI-6200 (Licor Inc., U.S.A.)

1.2 เครื่องตรวจวัดความเข้มข้นของก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์และน้ำ (Infrared gas analyzer) LI-6262 CO<sub>2</sub>/H<sub>2</sub>O gas analyzer (Licor Inc., U.S.A.)

#### 2. อุปกรณ์การตรวจวัดอุณหภูมิ

2.1 Thermocouple (copper-constantan; type T)

#### 3. อุปกรณ์การตรวจวัดอัตราการไหลของอากาศ

3.1 ชุดวาล์วควบคุมการไหลของอากาศ 2 และ 3 ทิศทาง (solenoid valve) จำนวน 3 ชุด

3.2 ชุดควบคุมการทำงานวาล์ว Programmable Logic Controller รุ่น S-200 (Siemens Inc., Germany)

3.3 Chamber คัดแปลงโดยใช้ท่อพีวีซี ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 10 เซนติเมตร ความลึก 4 เซนติเมตร ปริมาตรประมาณ 300 ลูกบาศก์เซนติเมตร ภายในติดโฟมที่มีช่องว่างแบบปิด (close pore) เพื่อป้องกันการรั่วของอากาศขณะติดตั้งบนลำต้นยางพารา

3.4 เครื่องวัดอัตราการไหลของอากาศ TSI<sup>®</sup> รุ่น 4100 (TSI Inc., U.S.A)

3.5 ปัมลม ขนาด 0.5 แรงม้า ความจุ 92 ลิตร

#### 4. อุปกรณ์สำหรับบันทึกข้อมูลและประมวลผล

4.1 เครื่องบันทึกข้อมูลอัตโนมัติ Data acquisition รุ่น OMB DAQ-55 (Omega Inc., U.S.A.)

4.2 เครื่องคอมพิวเตอร์ สำหรับเป็นเครื่องเก็บข้อมูลและติดตั้งโปรแกรม PDAQ ที่ใช้งานร่วมกับระบบ Data acquisition ของ Omega

4.3 โปรแกรมภาษา Python สำหรับจัดการข้อมูลให้มีขนาดเล็กลง โดยการตัดข้อมูลที่ไม่ต้องการออกและจัดเรียงข้อมูลใหม่ เพื่อง่ายต่อการจัดการและทำให้ไฟล์มีขนาดเล็กลง ซึ่งเป็นโปรแกรมที่สามารถดาวน์โหลดได้จาก [www.python.org](http://www.python.org)

#### 5. ต้นยางพารา

การศึกษาครั้งนี้ทำในแปลงทดลองของศูนย์วิจัยยางจะเขิงเทรา กรมวิชาการเกษตร หมายเลขแปลงทดลอง TE01 พื้นที่แปลงนี้มีขนาด 2.5 ไร่ ซึ่งทางกรมวิชาการเกษตรได้ปลูกยางพาราพันธุ์ RRIM 600 จำนวน 250 ต้น ในปี พ.ศ. 2536 ระยะปลูกระหว่างต้น 2.5 เมตร และระยะห่างระหว่างแถว 7.0 เมตร ในปี พ.ศ. 2544 ได้เปิดกรีดที่ระดับความสูง 1.3 เมตรจากพื้นดิน โดยใช้ระบบกรีด 1/2 S d/3 d/4 (กรีดครั้งลำดับต้น โดยกรีดวันเว้นสอง และสามวัน)

## วิธีการ

### 1. การวางแผนการทดลอง

การทดลองประกอบด้วย 3 ทรีตเมนต์ ในแต่ละทรีตเมนต์บันทึกข้อมูลจำนวน 4 ซ้ำ (โดยกำหนดให้ ยางพารา 1 ต้นเป็น 1 ซ้ำ) แต่ละทรีตเมนต์ (ภาพที่ 3) ประกอบด้วย

**ทรีตเมนต์ที่ 1 (A)** คือ ต้นที่ไม่เปิดกรีดยาง (untapped trees) จำนวน 4 ต้น กำหนดหมายเลขต้นคือ A1, A2, A4 และ A6 ตามลำดับ ติดตั้ง chamber ดังนี้

- 1)  $X_{0.5}$  คือ ตำแหน่งที่ติดตั้ง chamber บนหน้ากรีดของลำต้นยางพารา ที่ความสูง 0.5 เมตร จากพื้นดิน
- 2)  $X_{1.0}$  คือ ตำแหน่งที่ติดตั้ง chamber บนหน้ากรีดของลำต้นยางพารา ที่ความสูง 1.0 เมตร จากพื้นดิน
- 3)  $X_{1.5}$  คือ ตำแหน่งที่ติดตั้ง chamber บนหน้ากรีดของลำต้นยางพารา ที่ความสูง 1.5 เมตร จากพื้นดิน
- 4)  $X_{2.0}$  คือ ตำแหน่งที่ติดตั้ง chamber บนหน้ากรีดของลำต้นยางพารา ที่ความสูง 2.0 เมตร จากพื้นดิน
- 5)  $Y_{1.5}$  คือ ตำแหน่งที่ติดตั้ง chamber บนหน้าไม่กรีดของลำต้นยางพารา ที่ความสูง 1.5 เมตร จากพื้นดิน

**ทรีตเมนต์ที่ 2 (B)** คือ ต้นที่เปิดกรีดยาง (tapped trees) โดยใช้ระบบกรีดครึ่งลำต้น คือในหนึ่งสัปดาห์กรีด 2 วัน (พุธและเสาร์) โดยไม่ใช้สารเร่งน้ำยาง จำนวน 4 ต้น กำหนดหมายเลขต้นคือ B1, B2, B3 และ B4 ตามลำดับ ติดตั้ง chamber ดังนี้

- 1)  $X_{0.5}$  คือ ตำแหน่งที่ติดตั้ง chamber บนหน้ากรีดของลำต้นยางพารา ที่ความสูง 0.5 เมตร จากพื้นดิน
- 2)  $X_{1.0}$  คือ ตำแหน่งที่ติดตั้ง chamber บนหน้ากรีดของลำต้นยางพารา ที่ความสูง 1.0 เมตร จากพื้นดิน
- 3)  $X_{1.5}$  คือ ตำแหน่งที่ติดตั้ง chamber บนหน้ากรีดของลำต้นยางพารา ที่ความสูง 1.5 เมตร จากพื้นดิน

4)  $Y_{2.0}$  คือ ตำแหน่งที่ติดตั้ง chamber บนหน้าไม้กรีดยางพารา ที่ความสูง 2.0 เมตร จากพื้นดิน

5)  $Y_{1.5}$  คือ ตำแหน่งที่ติดตั้ง chamber บนหน้าไม้กรีดยางพารา ที่ความสูง 1.5 เมตร จากพื้นดิน ซึ่งย้ายมาจากตำแหน่ง  $Y_{0.5}$  หลังจากติดตั้งแล้ว 1 สัปดาห์

**ทรีตเมนต์ที่ 3 (C)** คือ ต้นเปิดกรีดยาง (tapped trees) โดยใช้ระบบกรีด ครั้งลำต้น คือ ในหนึ่งสัปดาห์กรีด 2 วัน (พุธและเสาร์) ใช้สารเร่งน้ำยาง Ethrel (2.5% a.i.) ทาที่บริเวณเหนือรอยกรีด (panel application) อัตรา 0.6 กรัมต่อต้น 8 ครั้งต่อปี (tapped Et 8/y) จำนวน 4 ต้น กำหนดหมายเลขต้นคือ C1, C3, C5 และ C7 ตามลำดับ ติดตั้ง chamber ดังนี้

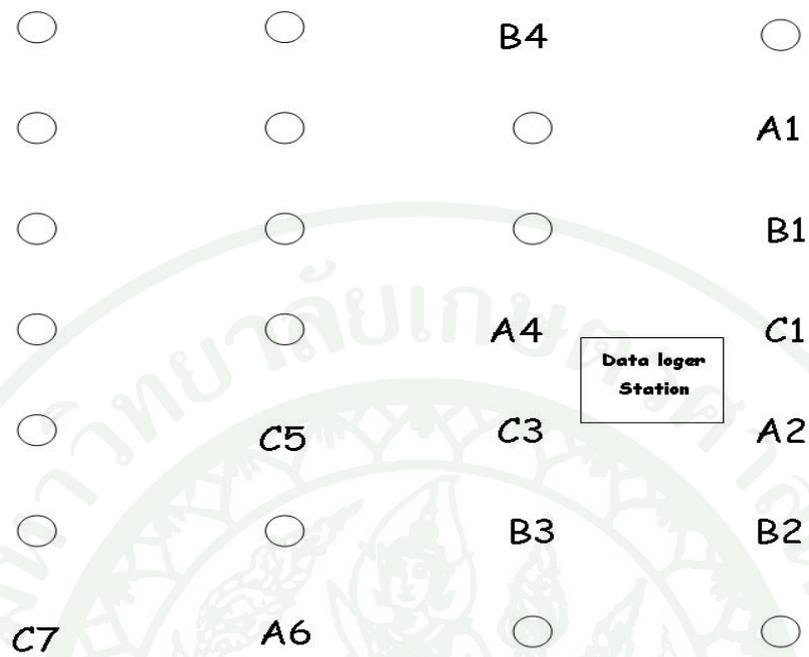
1)  $X_{0.5}$  คือ ตำแหน่งที่ติดตั้ง chamber บนหน้าไม้กรีดยางพารา ที่ความสูง 0.5 เมตร จากพื้นดิน

2)  $X_{1.5}$  คือ ตำแหน่งที่ติดตั้ง chamber บนหน้าไม้กรีดยางพารา ที่ความสูง 1.5 เมตร จากพื้นดิน

3)  $X_{2.0}$  คือ ตำแหน่งที่ติดตั้ง chamber บนหน้าไม้กรีดยางพารา ที่ความสูง 2.0 เมตร จากพื้นดิน

4)  $Y_{0.5}$  คือ ตำแหน่งที่ติดตั้ง chamber บนหน้าไม้กรีดยางพารา ที่ความสูง 0.5 เมตร จากพื้นดิน

5)  $Y_{1.5}$  คือ ตำแหน่งที่ติดตั้ง chamber บนหน้าไม้กรีดยางพารา ที่ความสูง 1.5 เมตร จากพื้นดิน ซึ่งย้ายมาจากตำแหน่ง  $Y_{0.5}$  หลังจากติดตั้งแล้ว 1 สัปดาห์



ภาพที่ 3 ต้นยางพาราพันธุ์ RRIM 600 ที่ใช้ในการทดลองนี้ ตามหมายเลขที่กำหนดในแผนการทดลอง

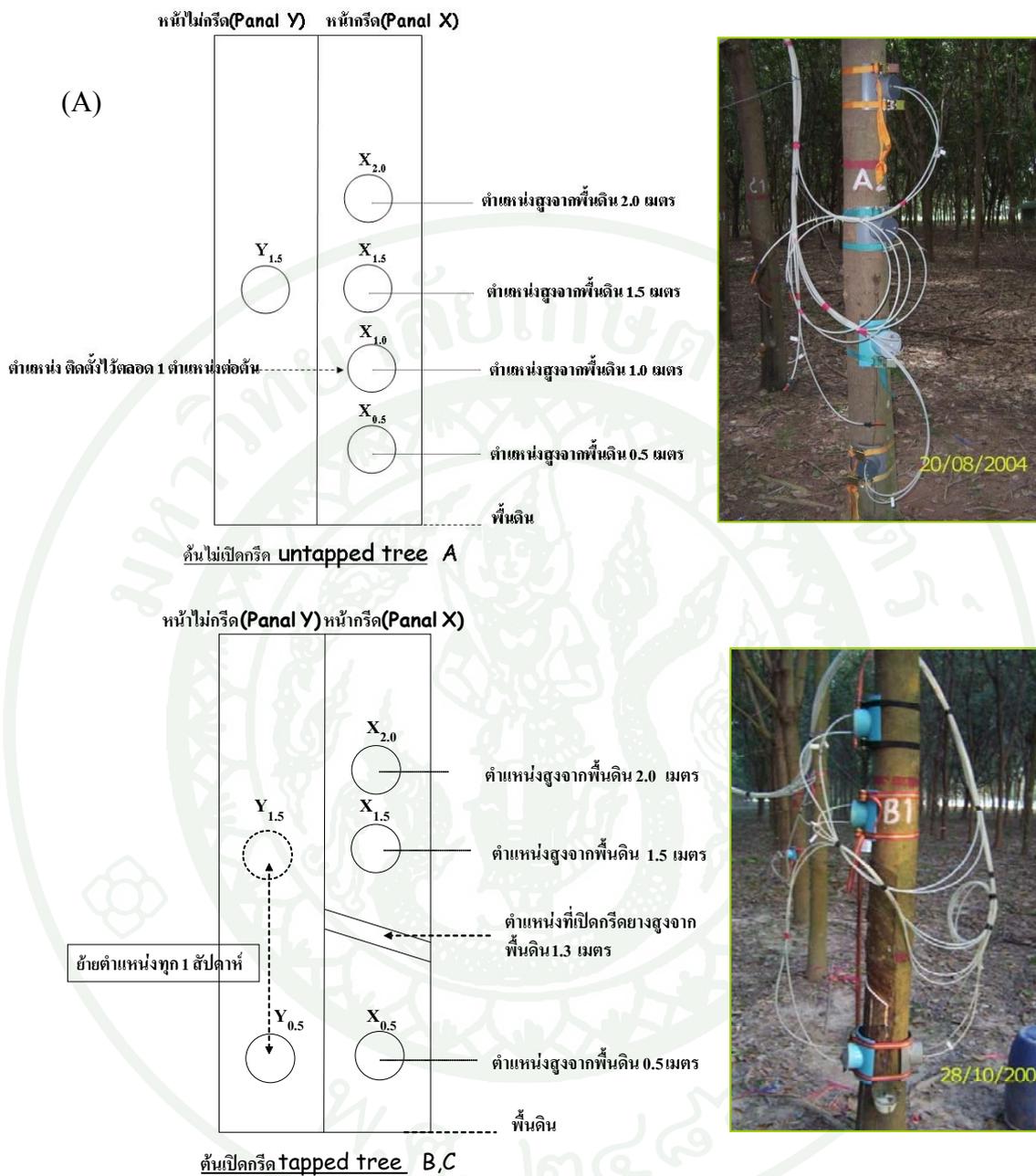
กำหนดให้มีการติดตั้ง chamber บนลำต้นยางพาราในต้นต่าง ๆ ตามแผนการทดลองและตามผังแปลง ดังภาพที่ 3 และติดตั้งในตำแหน่งต่าง ๆ โดยกำหนดให้มีระบบการเรียกชื่อ chamber ดัง ตารางที่ 1

ตารางที่ 1 ระบบการเรียกชื่อสิ่งทดลอง

ทรีตเมนต์	ลำดับต้น	ตำแหน่งติดตั้ง	ระดับความสูง (เมตร)	คำอธิบาย
A				ต้นยางพาราไม่เปิดกรีด
B				ต้นยางพาราเปิดกรีดแต่ไม่ใช้สารเร่งน้ำยาง
C	1, 2, 3, 4, 5, 6, 7	X Y	0.5, 1.0, 1.5, 2.0 Fix หรือ $X_{1.0}$	ต้นยางพาราที่เปิดกรีด และใช้สารเร่งน้ำยาง Ethrel (2.5% a.i.) หมายเลขกำกับต้นยางพารา ลำต้นยางพารา ด้านที่มีการเปิดกรีด ลำต้นยางพารา ด้านตรงข้ามหน้ากรีด ความสูงในการติดตั้ง chamber มีหน่วยเป็น เมตรจากพื้นดิน ตำแหน่งที่มีการติดตั้ง chamber อย่างต่อเนื่องไม่มีการย้ายตำแหน่ง (สูง 1.0 เมตรจากพื้นดิน)

หมายเหตุ 1) ลำดับต้น คือ ลำดับเลขที่ของต้นยางพาราในแปลงปลูก

2) ระดับความสูง กำหนดให้เป็นตัวเลขกำกับตำแหน่งที่ติดตั้ง (X และ Y) เพื่อระบุความสูงในการติดตั้ง



ภาพที่ 4 การวางตำแหน่งของ chamber บนลำต้นยางพารา

(A) ตำแหน่งของ chamber บนลำต้นยางพาราในทรีดเมนต์ที่ 1 (A) คือต้นไม้ที่ไม่เปิดกรีด (untapped tree)

(B) ตำแหน่งของ chamber บนลำต้นยางพาราในทรีดเมนต์ที่ 2 (B) และทรีดเมนต์ที่ 3 (C) ซึ่งเป็นต้นไม้ที่มีการเปิดกรีด (tapped tree)

## 2. การตรวจวัดอัตราการแลกเปลี่ยนก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์

ศึกษาอัตราการแลกเปลี่ยนของก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ในส่วนของลำต้นยางพารา (Carbondioxide exchange rate; CER) ที่ระดับความสูง 0.5-2.0 เมตรจากพื้นดิน โดยใช้เครื่องมือ Portable photosynthesis LI-6200 (Licor Inc., U.S.A.) บันทึกข้อมูลในช่วงเวลา ตั้งแต่เดือนตุลาคม 2547 ถึงเดือนกุมภาพันธ์ 2548

### 2.1 การวัดอัตราการไหลของอากาศ (flow rate)

ใช้ปั๊มลม ขนาด 0.5 แรงม้า ความจุ 92 ลิตร อัดอากาศเข้าสู่ระบบ โดยปรับให้ความดันอากาศที่ผ่านเข้าสู่ chamber อยู่ที่ในระดับ 25-30 ปอนด์ต่อตารางนิ้ว วัดอัตราการไหลของอากาศในท่อลมที่เข้าสู่ chamber โดยเครื่องวัดอัตราการไหลของอากาศ รุ่น TSI-4100 ซึ่งมีหน่วยเป็น ลิตรต่อ นาที ( $l \text{ min}^{-1}$ ) และแปลงหน่วยให้เป็น ( $\text{mol s}^{-1}$ )

### 2.2 การวัดความแตกต่างของความเข้มข้นก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์

ตรวจวัดความแตกต่างของความเข้มข้นก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ภายในท่อนำอากาศเข้า chamber และความเข้มข้นก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ภายใน chamber ด้วยเครื่องวัดความเข้มข้นก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ ระบบ IRGA (Infrared Gas Analyzer) รุ่น LI-6200 (Licor Inc., U.S.A.)

คำนวณค่าความแตกต่างของความเข้มข้นก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ตามสมการ

$$\Delta\text{CO}_2 = C_e - C_c \quad \text{Eq. (1)}$$

กำหนดให้  $C_e$  = ความเข้มข้นก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ภายในท่อนำอากาศเข้า chamber ( $\mu\text{mol mol}^{-1}$ ) หรือ reference air

$C_c$  = ความเข้มข้นก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ภายใน chamber ( $\mu\text{mol mol}^{-1}$ ) หรือ sample air

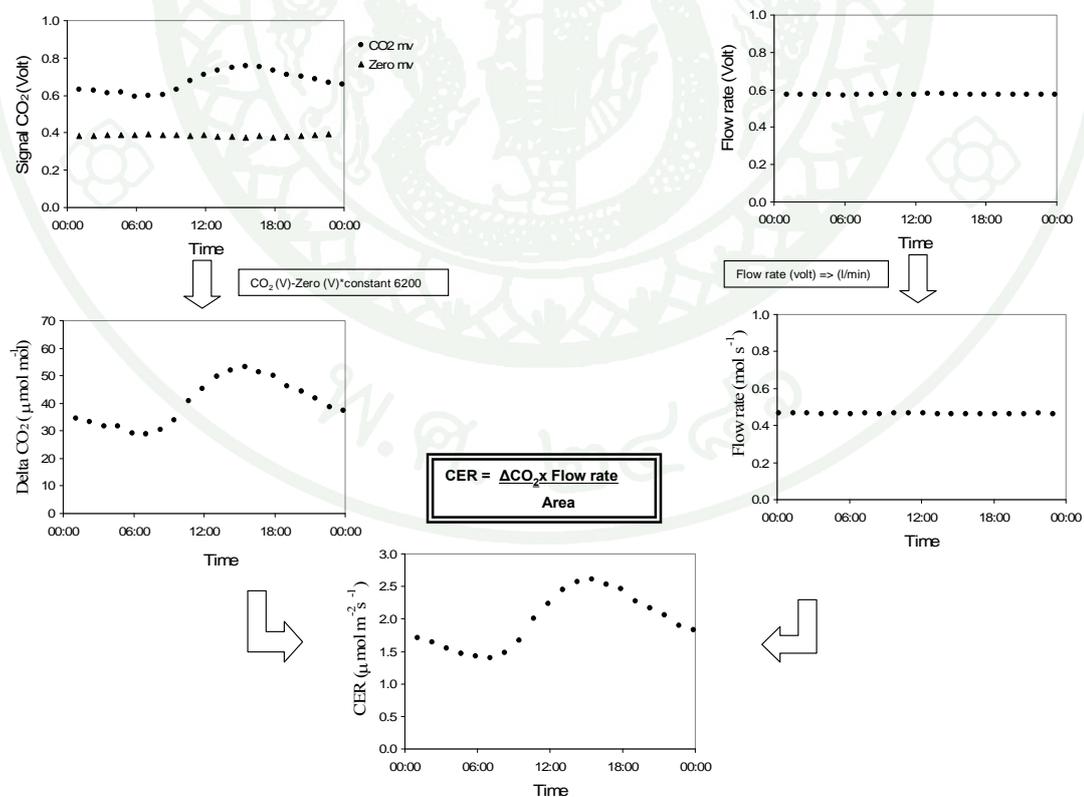
### 2.3 จำนวนอัตราการแลกเปลี่ยนก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ (Carbondioxide exchange rate)

จำนวนอัตราการแลกเปลี่ยนก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ตามสมการดังต่อไปนี้

$$\text{CER} = \frac{\Delta\text{CO}_2 \times \text{Flow rate}}{\text{Area}} \quad \text{Eq. (2)}$$

กำหนดให้ CER = อัตราการแลกเปลี่ยนก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ ( $\mu\text{mol CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ )  
 $\Delta\text{CO}_2$  = ความแตกต่างของความเข้มข้นก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ ระหว่าง  
 ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ใน sample air และ reference air ( $\mu\text{mol mol}^{-1}$ )  
 Flow rate = อัตราการเคลื่อนที่ของอากาศผ่านเข้าสู่ chamber ( $\text{mol s}^{-1}$ )  
 Area = พื้นที่ผิวของลำต้นยางพาราที่ติดกับ chamber ( $\text{m}^2$ )

โดยมีแผนผังสรุปการคำนวณค่าอัตราการแลกเปลี่ยนก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ ดังภาพที่ 5



ภาพที่ 5 แผนผังสรุปการคำนวณค่าอัตราการแลกเปลี่ยนก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์

## 2.4 การวิเคราะห์ข้อมูลอัตราการแลกเปลี่ยนก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์

2.4.1 เปรียบเทียบอัตราการแลกเปลี่ยนก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ของลำต้นยางพาราในต้นที่เปิดกริด และไม่เปิดกริด

2.4.2 เปรียบเทียบอัตราการแลกเปลี่ยนก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ของลำต้นยางพาราในตำแหน่งที่มีการติดตั้ง chamber ต่างกัน

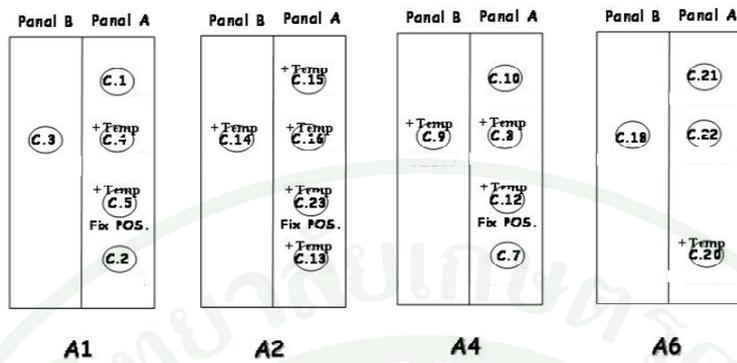
2.4.3 ศึกษาปัจจัยสภาพแวดล้อมที่ส่งผลต่ออัตราการแลกเปลี่ยนก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ของลำต้นยางพารา

- 1) การใช้สารเร่งน้ำยาง
- 2) ช่วงเวลารอบวัน
- 3) ช่วงเวลาการเจริญเติบโต
- 4) อุณหภูมิ

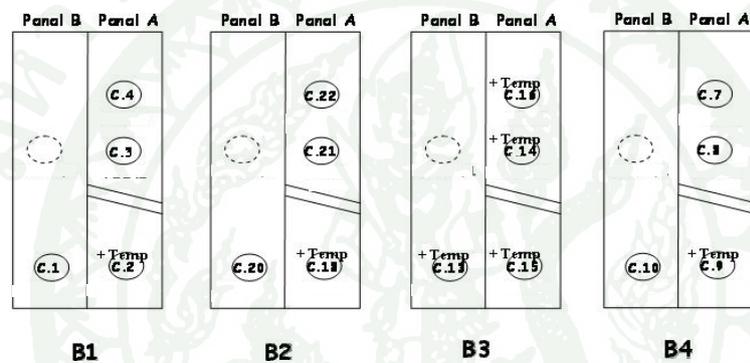
### 3. การวัดอุณหภูมิของลำต้น

การติดตั้ง thermocouple เพื่อวัดค่าอุณหภูมิภายในแต่ละ chamber มีตำแหน่งติดตั้ง thermocouple ดังภาพที่ 6

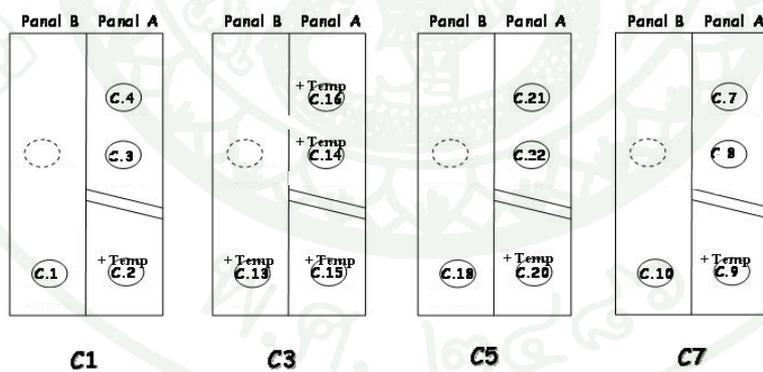
### Untapped Tree A



### Tapped Tree B



### Tapped Tree+Ethrel C



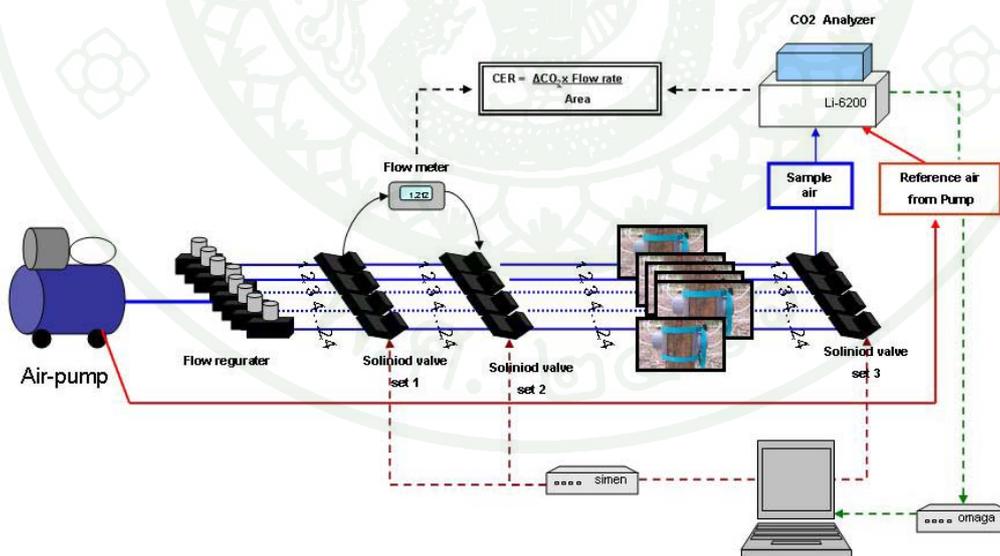
ภาพที่ 6 การติดตั้ง chamber และ thermocouple บนลำต้นในแต่ละทรีดเมนต์  
 ทรีดเมนต์ที่ 1 (A) ต้นไม่เปิดกรีดยาง (untapped)  
 ทรีดเมนต์ที่ 2 (B) ต้นเปิดกรีดยางแต่ไม่ใช้สารเร่งน้ำยาง (tapped)  
 ทรีดเมนต์ที่ 3 (C) ต้นเปิดกรีดยางและใช้สารเร่งน้ำยาง(Et 8/y)  
 โดย “Temp” แสดงถึงการติดตั้ง thermocouple ที่ chamber ตำแหน่งนั้น

#### 4. การพัฒนาระบบ multi chamber ในการวัดอัตราการแลกเปลี่ยนก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์

##### 4.1 การใช้วาล์วไฟฟ้าในการควบคุมการไหลของอากาศ

พัฒนาระบบ multi chamber เพื่อวัดอัตราการแลกเปลี่ยนก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ เป็นระบบที่ใช้วาล์วไฟฟ้า (solenoid valve) ซึ่งเป็นอุปกรณ์ควบคุมการไหลของอากาศในแต่ละ chamber และสามารถวัดอัตราการแลกเปลี่ยนก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ได้ครั้งละหลายตัวอย่างและมีความต่อเนื่อง ซึ่งระบบที่พัฒนามีขึ้นสามารถตรวจวัดอัตราการแลกเปลี่ยนก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ได้ครั้งละ 24 ตัวอย่าง

หลักการวัดอัตราการแลกเปลี่ยนก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ในระบบเปิด (open system) (ภาพที่ 7) เป็นการวัดความแตกต่างของความเข้มข้นก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ ( $\Delta\text{CO}_2$ ) ในอากาศก่อนเข้า (reference air) และหลังออกจาก chamber (sample air) มีหน่วยเป็น  $\mu\text{mol mol}^{-1}$  พร้อมทั้งวัดอัตราการไหลของอากาศก่อนเข้าสู่ chamber เพื่อนำมาคำนวณอัตราการแลกเปลี่ยนก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ในลักษณะของ mass flow



ภาพที่ 7 การทำงานของระบบควบคุมแบบ multi-chamber

ชุดควบคุม Programmable Logic Controller รุ่น S-200 (Siemens Inc., Germany) เป็นอุปกรณ์ที่ใช้ในการควบคุมการปิด-เปิดวาล์วไฟฟ้า (solenoid valve) ซึ่งใช้กระแสไฟฟ้า 24 โวลต์ ควบคุมการปิด-เปิดวาล์ว เพื่อควบคุมการไหลของอากาศ บันทึกข้อมูลด้วยเครื่องบันทึกข้อมูลอัตโนมัติ Omega รุ่น OMB DAQ-55 (Omega Inc., U.S.A.) โดยบันทึกเป็นสัญญาณไฟฟ้าออก (analog out) จาก flow meter และ CO<sub>2</sub> Analyzer (ภาพที่ 7) และบันทึกข้อมูลตามแผนการเก็บข้อมูล ดังตารางที่ 2

**ตารางที่ 2** แผนการดำเนินงานและบันทึกข้อมูล โดย X แทน หน้าเปิดกริด และ Y แทน หน้าไม่เปิดกริด ตัวเลขกำหนดให้แทนระดับความสูงของการติดตั้ง chamber

ช่วงเวลา (วันที่)	ทริตเมนต์ ที่ศึกษา	ติดตั้ง chamber บน ต้น	ตำแหน่งบนลำต้น	
			หน้ากริด	หน้าไม่กริด
30 ต.ค.47 ถึง 3 พ.ย.47	ทริตเมนต์ที่ 2 (B1)	B1, B2, B3 และ B4	X <sub>2.0</sub> , X <sub>1.5</sub> , X <sub>0.5</sub>	Y <sub>0.5</sub>
		A1, A2, A4	X <sub>1.0</sub>	
5 -18 พ.ย.47	ทริตเมนต์ที่ 2 (B2)	B1, B2, B3 และ B4	X <sub>2.0</sub> , X <sub>1.5</sub> , X <sub>0.5</sub>	Y <sub>1.5</sub>
		A1, A2, A4	X <sub>1.0</sub>	
20 -25 พ.ย.47	ทริตเมนต์ที่ 3 (C1)	C1, C3, C5 และ C7	X <sub>2.0</sub> , X <sub>1.5</sub> , X <sub>0.5</sub>	Y <sub>0.5</sub>
		A1, A2, A4	X <sub>1.0</sub>	
27 พ.ย. 47 ถึง 2 ธ.ค.47	ทริตเมนต์ที่ 3 (C2)	C1, C3, C5 และ C7	X <sub>2.0</sub> , X <sub>1.5</sub> , X <sub>0.5</sub>	Y <sub>1.5</sub>
		A1, A2, A4	X <sub>1.0</sub>	
14 -19 ธ.ค.47	ทริตเมนต์ที่ 1 (A)	A1, A2, A4 และ A6	X <sub>2.0</sub> , X <sub>1.5</sub> , X <sub>1.0</sub> , X <sub>0.5</sub>	Y <sub>1.5</sub>
21 -26 ธ.ค.47	ทริตเมนต์ที่ 2 (B1)	B1, B2, B3 และ B4	X <sub>2.0</sub> , X <sub>1.5</sub> , X <sub>0.5</sub>	Y <sub>0.5</sub>
		A1, A2, A4	X <sub>1.0</sub>	
6 -10 ม.ค.48	ทริตเมนต์ที่ 2 (B2)	B1, B2, B3 และ B4	X <sub>2.0</sub> , X <sub>1.5</sub> , X <sub>0.5</sub>	Y <sub>1.5</sub>
		A1, A2, A4	X <sub>1.0</sub>	
12 -16 ม.ค.48	ทริตเมนต์ที่ 3 (C1)	C1, C3, C5 และ C7	X <sub>2.0</sub> , X <sub>1.5</sub> , X <sub>0.5</sub>	Y <sub>0.5</sub>
		A1, A2, A4	X <sub>1.0</sub>	
28 ม.ค.48 ถึง 1 ก.พ.48	ทริตเมนต์ที่ 3 (C2)	C1, C3, C5 และ C7	X <sub>2.0</sub> , X <sub>1.5</sub> , X <sub>0.5</sub>	Y <sub>1.5</sub>
		A1, A2, A4	X <sub>1.0</sub>	
2 -8 ก.พ.48	ทริตเมนต์ที่ 1 (A)	A1, A2, A4 และ A6	X <sub>2.0</sub> , X <sub>1.5</sub> , X <sub>1.0</sub> , X <sub>0.5</sub>	Y <sub>1.5</sub>

**หมายเหตุ** ทริตเมนต์ (B2 และ C2) ติดตั้ง chamber ที่ตำแหน่ง Y<sub>1.5</sub> โดยการย้าย chamber จากตำแหน่ง Y<sub>0.5</sub> ในทริตเมนต์ (B1 และ C1)

## 4.2 การบันทึกข้อมูล

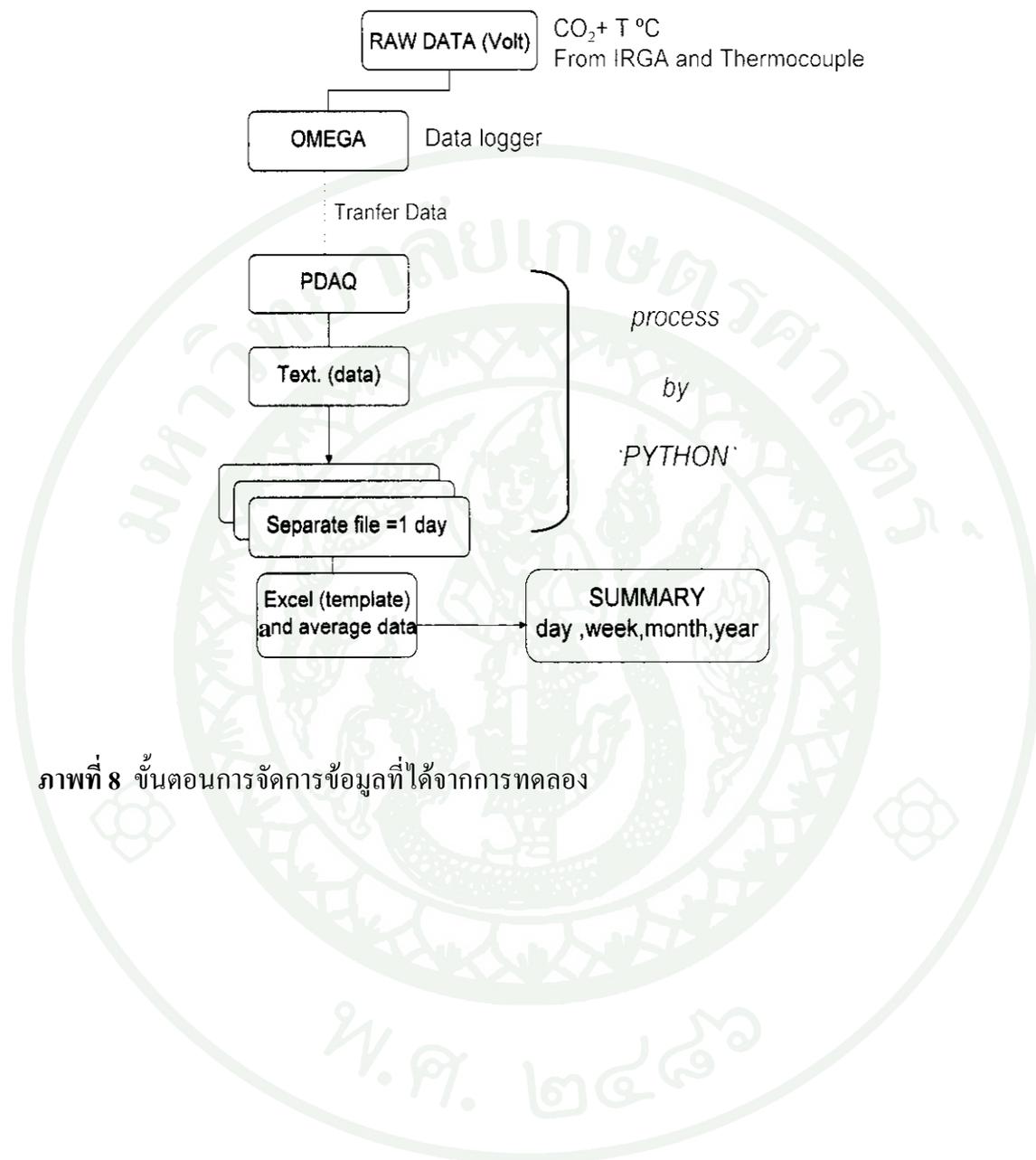
บันทึกข้อมูลอัตราการไหลของอากาศ ความแตกต่างของความเข้มข้นก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์และอุณหภูมิ ของแต่ละ chamber จะตรวจวัด และบันทึกค่าทุก ๆ 3 วินาที แต่ละ chamber ใช้เวลาบันทึกข้อมูล 3 นาที เก็บข้อมูลจนครบ 24 chamber ใช้เวลารวมทั้งสิ้น 72 นาที โดยบันทึกข้อมูลอย่างต่อเนื่องในแต่ละรอบของการบันทึกข้อมูลจะเลือกเก็บค่าเฉพาะข้อมูลของนาฬิกาที่ 2 จากการวัด เพื่อลดความผิดพลาดของข้อมูลขณะเปลี่ยน chamber โดยการพัฒนาโปรแกรมภาษา Python เพื่อจัดการข้อมูลโดยแยกข้อมูลออกเป็นรายวัน และตัดข้อมูลที่ไม่ใช้ (ภาพที่ 8, 9 และ 10)

## 4.3 การจัดการข้อมูล

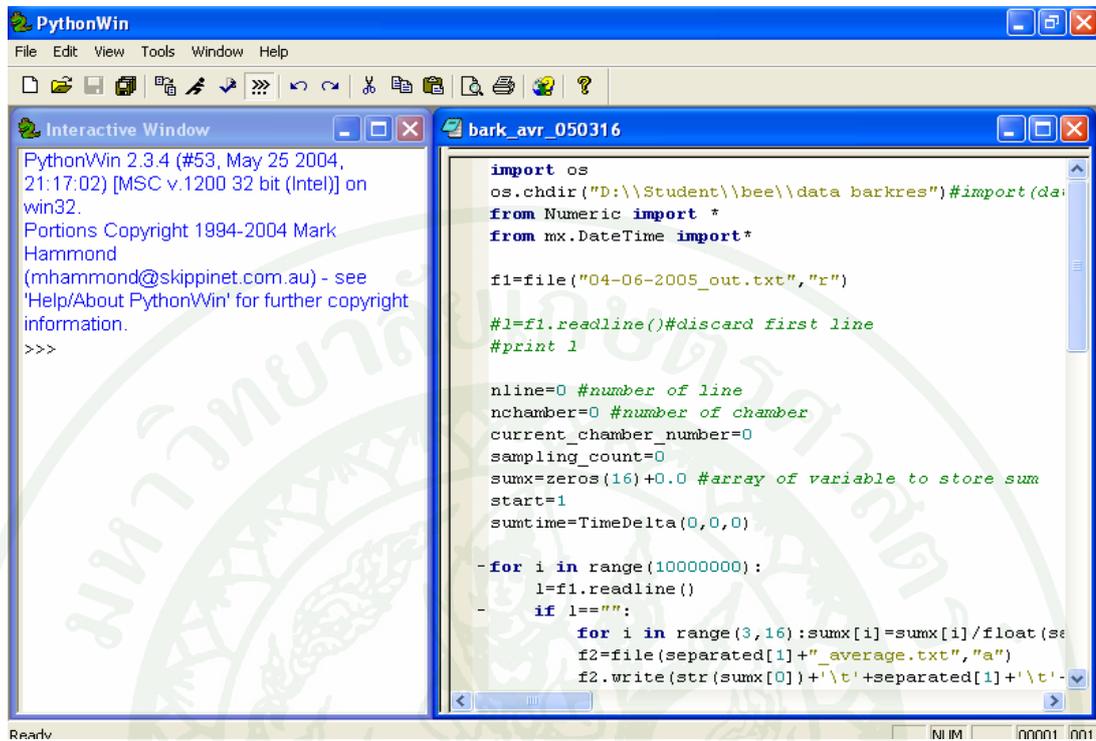
เนื่องจากข้อมูลที่ได้เป็นไฟล์ ASCII ที่เป็น text file ได้จากการถ่ายข้อมูล 1 ครั้งต่อสัปดาห์ ทำให้ข้อมูลที่ได้มีขนาดใหญ่ (20,000-50,000 Kb.) เมื่อนำข้อมูลมาประเมินด้วยโปรแกรม Microsoft excel จะไม่สามารถเปิดข้อมูลทั้งหมดได้ในคราวเดียว (ภาพที่ 11 และ 12) และข้อมูลที่ได้เป็นข้อมูลจริง (real time) ที่เก็บค่าทุก ๆ 3 วินาที ยังไม่ได้เฉลี่ยเป็นนาที จึงต้องพัฒนาโปรแกรมในการจัดการข้อมูล โดยมีขั้นตอนต่าง ๆ ตามรายละเอียดในภาพที่ 8

การจัดการข้อมูลที่มีขนาดใหญ่และไม่สามารถจัดการข้อมูลทั้งหมดได้ด้วยโปรแกรม Microsoft excel จึงได้นำโปรแกรม Python มาพัฒนาใช้ในการจัดการข้อมูล เพื่อให้โปรแกรมที่พัฒนาขึ้นนี้ สามารถตัดข้อมูลในส่วนที่ไม่ต้องการออกไป (ภาพที่ 13) และประเมินค่าเฉลี่ยข้อมูลที่ได้อีกครั้ง (ภาพที่ 8) จึงทำให้ขนาดของไฟล์ข้อมูลที่ได้ลดลงเหลือเพียง 98 Kb. ซึ่งมีขนาดเล็กและจัดการได้ง่ายขึ้นในโปรแกรม Microsoft excel (ภาพที่ 13)

## การจัดการข้อมูล (Data Manipulation)



ภาพที่ 8 ขั้นตอนการจัดการข้อมูลที่ได้จากการทดลอง



PythonWin 2.3.4 (#53, May 25 2004, 21:17:02) [MSC v.1200 32 bit (Intel)] on win32.  
 Portions Copyright 1994-2004 Mark Hammond  
 (mhammond@skippinet.com.au) - see 'Help/About PythonWin' for further copyright information.  
 >>>

```

import os
os.chdir("D:\\Student\\bee\\data barkres")#import(da
from Numeric import *
from mx.DateTime import*

f1=file("04-06-2005_out.txt","r")

#l=f1.readline()#discard first line
#print l

nline=0 #number of line
nchamber=0 #number of chamber
current_chamber_number=0
sampling_count=0
sumx=zeros(16)+0.0 #array of variable to store sum
start=1
sumtime=TimeDelta(0,0,0)

-for i in range(10000000):
    l=f1.readline()
    - if l!="":
        for i in range(3,16):sumx[i]=sumx[i]/float(se
        f2=file(separated[1]+"_average.txt","a")
        f2.write(str(sumx[0])+'\t'+separated[1]+'\t'-
  
```

ภาพที่ 9 การพัฒนาโปรแกรมที่ใช้จัดการข้อมูลโดยโปรแกรมภาษา Python

PythonWin 2.3.4 (#53, May 25 2004, 21:17:02) [MSC v.1200 32 bit (Intel)] on win32.  
 Portions Copyright 1994-2004 Mark Hammond  
 (mhammond@skippinet.com.au) - see 'Help/About PythonWin' for further copyright information.  
 >>> |

```

import os
os.chdir("D:\\Student\\bee\\data barkres")
from Numeric import *
#execfile("D:\\Student\\bee\\data barkres\\bark_04121

- def get_chamber(volt):
    if 0.2<=volt<0.3:return 1
    if 0.3<=volt<0.5:return 2
    if 0.5<=volt<0.7:return 3
    if 0.7<=volt<1.0:return 4
    if 1.0<=volt<1.2:return 5
    if 1.2<=volt<1.45:return 6
    if 1.45<=volt<1.7:return 7
    if 1.7<=volt<1.95:return 8
    if 1.95<=volt<2.2:return 9
    if 2.2<=volt<2.4:return 10
    if 2.4<=volt<2.75:return 11
    if 2.75<=volt<2.9:return 12
    if 2.9<=volt<3.15:return 13
    if 3.15<=volt<3.4:return 14
    if 3.4<=volt<3.6:return 15
    if 3.6<=volt<3.8:return 16
    if 3.8<=volt<4.1:return 17
  
```

ภาพที่ 10 การพัฒนาโปรแกรมที่ใช้แยกข้อมูลให้เป็นรายวัน โดยโปรแกรมภาษา Python

```

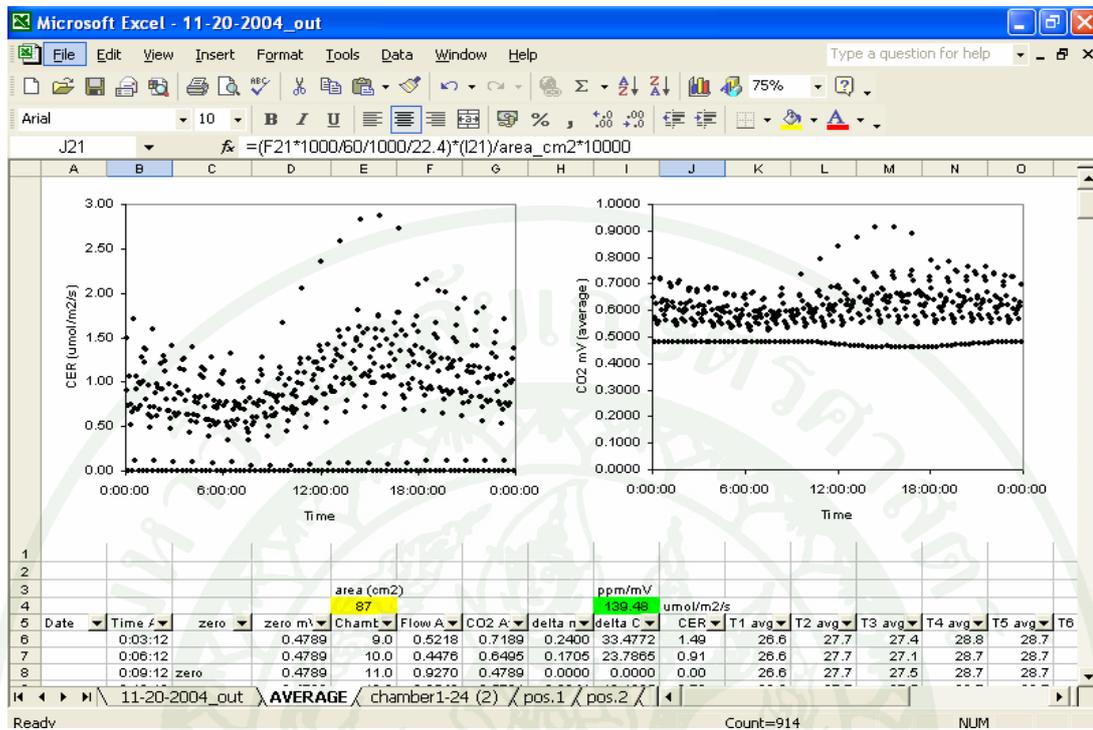
BarkRes_26-11-04 - Notepad
File Edit Format View Help
siemen flow co2 T_a1p2 T_b1p1 T_ref T_b2p1 T_a4p2 T_a2p2 T_b4p1 T_b3p1 T_b3p2 T
V V V ?C ?C ?C ?C ?C ?C ?C ?C ?C ?C
14:32:06 11-26-2004 2.806420e+000 8.913982e-003 8.562658e-001 3.003856e+001
14:32:09 11-26-2004 2.806298e+000 6.010557e-002 8.561560e-001 3.006360e+001
14:32:11 11-26-2004 2.806346e+000 1.153090e-001 8.548999e-001 3.006536e+001
14:32:14 11-26-2004 2.806359e+000 1.515992e-001 8.519242e-001 3.008142e+001
14:32:17 11-26-2004 2.806359e+000 1.803899e-001 8.483753e-001 3.007690e+001
14:32:20 11-26-2004 2.806395e+000 2.042663e-001 8.464363e-001 3.001901e+001
14:32:23 11-26-2004 2.806395e+000 2.268379e-001 8.433020e-001 3.005770e+001
14:32:26 11-26-2004 2.806322e+000 2.481047e-001 8.232527e-001 3.002864e+001
14:32:29 11-26-2004 2.806322e+000 2.656522e-001 7.871786e-001 2.999653e+001
14:32:32 11-26-2004 2.806346e+000 2.832242e-001 7.513728e-001 3.002123e+001
14:32:35 11-26-2004 2.806346e+000 2.99523e-001 7.298723e-001 3.001925e+001
14:32:38 11-26-2004 2.806371e+000 3.145269e-001 7.663122e-001 3.000838e+001
14:32:41 11-26-2004 2.806395e+000 3.283064e-001 7.819224e-001 3.001654e+001
14:32:44 11-26-2004 2.806359e+000 3.407690e-001 7.504338e-001 3.002138e+001
14:32:47 11-26-2004 2.806359e+000 3.533534e-001 7.362505e-001 3.003191e+001
14:32:50 11-26-2004 2.806334e+000 3.646453e-001 7.768125e-001 2.999478e+001
14:32:53 11-26-2004 2.806346e+000 3.758275e-001 8.211795e-001 3.000238e+001
14:32:56 11-26-2004 2.806310e+000 3.872291e-001 8.321676e-001 2.999015e+001
14:32:59 11-26-2004 2.806310e+000 3.972406e-001 8.246352e-001 2.999018e+001
14:33:02 11-26-2004 2.806322e+000 4.072887e-001 8.185697e-001 2.999108e+001
14:33:05 11-26-2004 2.806359e+000 4.173002e-001 8.202893e-001 2.999815e+001
14:33:08 11-26-2004 2.806383e+000 4.273239e-001 8.283748e-001 2.997914e+001
14:33:11 11-26-2004 2.806359e+000 4.360550e-001 8.399848e-001 2.997658e+001
14:33:14 11-26-2004 2.806310e+000 4.436032e-001 8.542291e-001 3.000391e+001
14:33:17 11-26-2004 2.806298e+000 4.536147e-001 8.714003e-001 2.994698e+001
14:33:20 11-26-2004 2.806359e+000 4.610533e-001 8.932301e-001 2.996387e+001
14:33:23 11-26-2004 2.806249e+000 4.686503e-001 9.271700e-001 2.995221e+001
14:33:26 11-26-2004 2.806346e+000 4.773448e-001 1.037380e+000 2.996680e+001
14:33:29 11-26-2004 2.806322e+000 4.836371e-001 1.356083e+000 2.996437e+001
14:33:32 11-26-2004 2.806249e+000 4.924413e-001 1.800119e+000 2.993717e+001
14:33:35 11-26-2004 2.806346e+000 4.986848e-001 2.145226e+000 2.992294e+001
14:33:38 11-26-2004 2.806383e+000 5.062087e-001 2.318974e+000 2.990508e+001
14:33:41 11-26-2004 2.806237e+000 5.137203e-001 2.371207e+000 2.992653e+001
14:33:44 11-26-2004 2.806286e+000 5.200248e-001 2.359292e+000 2.991663e+001
14:33:47 11-26-2004 2.806273e+000 5.275486e-001 2.315547e+000 2.991902e+001
14:33:50 11-26-2004 3.041451e+000 4.799300e-001 2.256387e+000 2.994429e+001

```

ภาพที่ 11 ข้อมูลชนิด text file ซึ่งเป็น out put จากโปรแกรม PDAQ ของ data acquisition ที่เปิดแสดงในโปรแกรม note pad

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L
1	siemen	flow	co2	T_a1p2	T_b1p1	T_ref	T_b2p1	T_a4p2	T_a2p2	T_b4p1	T_b3p1	T_b3p2
2	V	V	V	?C								
3	14:32:06	11-26-2004	2.81E+00	8.91E-03	8.56E-01	3.00E+01	2.90E+01	3.02E+01	2.91E+01	3.03E+01	3.20E+01	3.14E+01
4	14:32:09	11-26-2004	2.81E+00	6.01E-02	8.56E-01	3.01E+01	2.90E+01	3.03E+01	2.91E+01	3.03E+01	3.20E+01	3.14E+01
5	14:32:11	11-26-2004	2.81E+00	1.15E-01	8.55E-01	3.01E+01	2.90E+01	3.02E+01	2.92E+01	3.03E+01	3.20E+01	3.14E+01
6	14:32:14	11-26-2004	2.81E+00	1.52E-01	8.52E-01	3.01E+01	2.90E+01	3.02E+01	2.91E+01	3.03E+01	3.21E+01	3.14E+01
7	14:32:17	11-26-2004	2.81E+00	1.80E-01	8.48E-01	3.01E+01	2.90E+01	3.02E+01	2.91E+01	3.03E+01	3.21E+01	3.15E+01
8	14:32:20	11-26-2004	2.81E+00	2.04E-01	8.46E-01	3.00E+01	2.90E+01	3.03E+01	2.93E+01	3.03E+01	3.21E+01	3.15E+01
9	14:32:23	11-26-2004	2.81E+00	2.27E-01	8.43E-01	3.01E+01	2.91E+01	3.02E+01	2.95E+01	3.03E+01	3.21E+01	3.16E+01
10	14:32:26	11-26-2004	2.81E+00	2.48E-01	8.23E-01	3.00E+01	2.90E+01	3.02E+01	2.97E+01	3.03E+01	3.21E+01	3.15E+01
11	14:32:29	11-26-2004	2.81E+00	2.66E-01	7.87E-01	3.00E+01	2.90E+01	3.02E+01	2.98E+01	3.02E+01	3.21E+01	3.15E+01
12	14:32:32	11-26-2004	2.81E+00	2.83E-01	7.51E-01	3.00E+01	2.90E+01	3.04E+01	2.98E+01	3.02E+01	3.21E+01	3.15E+01
13	14:32:35	11-26-2004	2.81E+00	3.00E-01	7.30E-01	3.00E+01	2.90E+01	3.06E+01	2.97E+01	3.02E+01	3.21E+01	3.15E+01
14	14:32:38	11-26-2004	2.81E+00	3.15E-01	7.66E-01	3.00E+01	2.91E+01	3.08E+01	2.99E+01	3.02E+01	3.22E+01	3.15E+01
15	14:32:41	11-26-2004	2.81E+00	3.28E-01	7.82E-01	3.00E+01	2.90E+01	3.09E+01	2.99E+01	3.02E+01	3.22E+01	3.15E+01
16	14:32:44	11-26-2004	2.81E+00	3.41E-01	7.50E-01	3.00E+01	2.90E+01	3.10E+01	2.97E+01	3.02E+01	3.22E+01	3.15E+01
17	14:32:47	11-26-2004	2.81E+00	3.53E-01	7.36E-01	3.00E+01	2.90E+01	3.09E+01	2.97E+01	3.02E+01	3.21E+01	3.15E+01
18	14:32:50	11-26-2004	2.81E+00	3.65E-01	7.77E-01	3.00E+01	2.90E+01	3.09E+01	2.95E+01	3.02E+01	3.22E+01	3.15E+01
19	14:32:53	11-26-2004	2.81E+00	3.76E-01	8.21E-01	3.00E+01	2.90E+01	3.09E+01	2.94E+01	3.02E+01	3.21E+01	3.15E+01
20	14:32:56	11-26-2004	2.81E+00	3.87E-01	8.32E-01	3.00E+01	2.90E+01	3.08E+01	2.93E+01	3.02E+01	3.22E+01	3.16E+01
21	14:32:59	11-26-2004	2.81E+00	3.97E-01	8.25E-01	3.00E+01	2.90E+01	3.08E+01	2.91E+01	3.02E+01	3.21E+01	3.15E+01
22	14:33:02	11-26-2004	2.81E+00	4.07E-01	8.19E-01	3.00E+01	2.90E+01	3.07E+01	2.92E+01	3.02E+01	3.21E+01	3.15E+01
23	14:33:05	11-26-2004	2.81E+00	4.17E-01	8.20E-01	3.00E+01	2.90E+01	3.05E+01	2.91E+01	3.03E+01	3.21E+01	3.15E+01

ภาพที่ 12 ข้อมูลชนิด text file ซึ่งเป็น out put จากโปรแกรม PDAQ ของ data acquisition มีขนาดใหญ่ (20,000-50,000 Kb.) ซึ่งเปิดแสดงในโปรแกรม Microsoft excel ไม่ได้



ภาพที่ 13 ข้อมูลชนิด text file ซึ่งเป็น file output จากโปรแกรมจัดการข้อมูลที่เขียนด้วยภาษา Python สามารถเปิดแสดงในโปรแกรม Microsoft excel และใช้ในการศึกษาวิเคราะห์ต่อไปได้

### สถานที่และระยะเวลาทดลอง

สถานที่ทดลอง

ศูนย์วิจัยยางพาราละเชิงเทรา จังหวัดฉะเชิงเทรา กรมวิชาการเกษตร

ระยะเวลาทดลอง

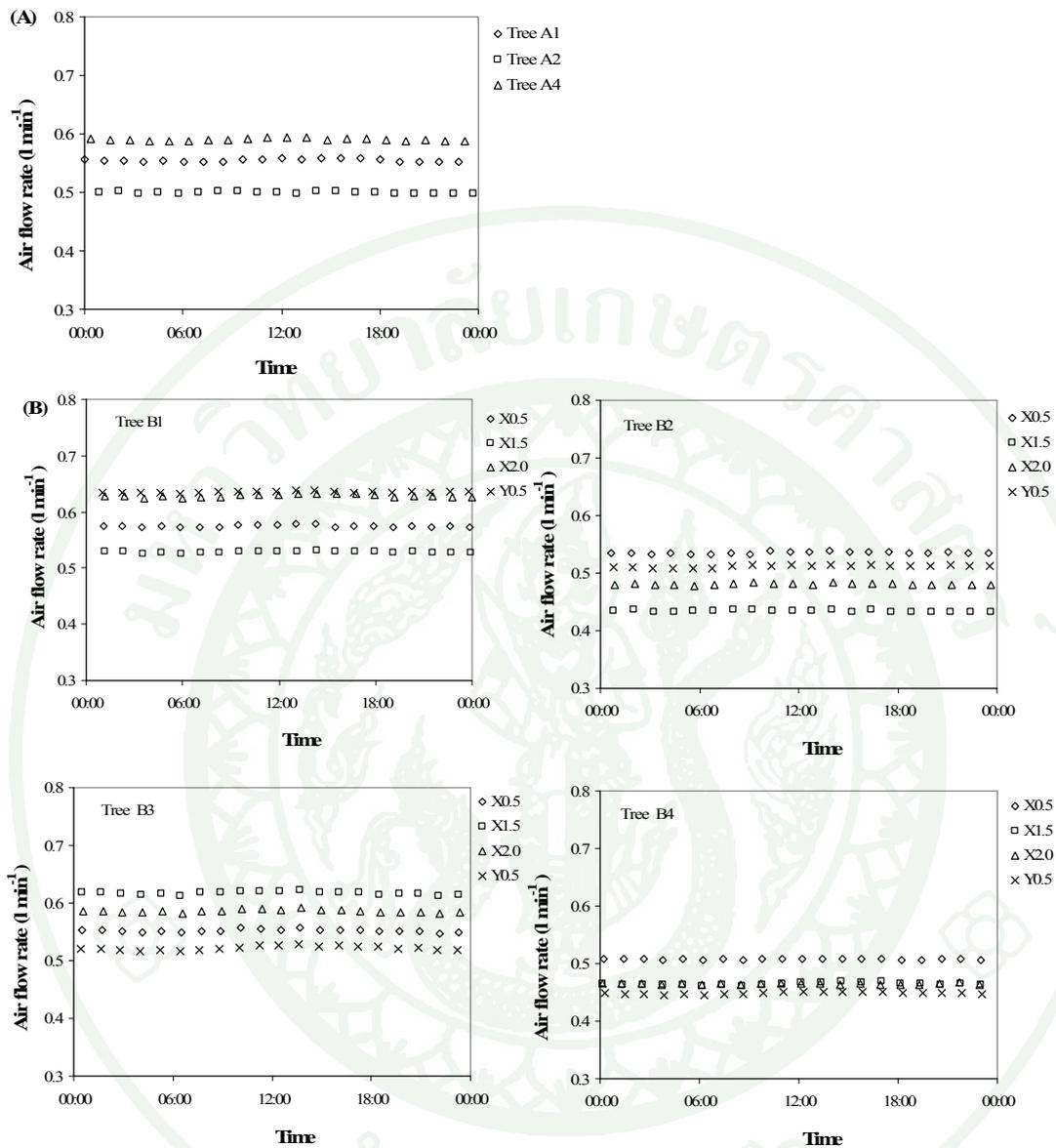
เริ่มต้นการทดลอง เดือนตุลาคม พ.ศ. 2547 สิ้นสุดการทดลอง เดือนกุมภาพันธ์ พ.ศ. 2548

## ผลและวิจารณ์

### 1. การทดสอบระบบตรวจวัดอัตราการแลกเปลี่ยนก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ของลำต้นยางพารา

#### 1.1 ระบบควบคุมการไหลของอากาศ

ติดตั้งระบบควบคุมการไหลของอากาศโดยใช้ปั๊มลมเป็นต้นกำเนิดอากาศเข้าสู่ระบบ จากนั้นทดสอบอัตราการไหลของอากาศเข้าสู่ chamber ในระบบ ใช้เครื่องมือวัดอัตราการไหลของอากาศ รุ่น TSI-4100 ผลการตรวจวัดอัตราการไหลของอากาศเบื้องต้น โดยใช้ข้อมูลในวันที่ 30 ตุลาคม 2547 ซึ่งเป็นวันที่เริ่มการทดลองพบว่า ค่าเฉลี่ยอัตราการไหลของอากาศที่ทดสอบใน ทริตเมนต์ A และ B จำนวน 19 chambers มีอัตราการไหลของอากาศสม่ำเสมอตลอด 24 ชั่วโมง ในทุก chamber (ภาพที่ 14 A และ ภาพที่ 14 B) โดยมีค่าเฉลี่ยอัตราการไหลของอากาศในรอบวัน ของ chamber ที่ติดตั้งบนต้นที่ไม่เปิดกริดยางทริตเมนต์ A (ต้น A1, A2 และ A4) และต้นที่เปิดกริด แต่ไม่ใช่สารเร่งน้ำยางทริตเมนต์ B (ต้น B1, B2, B3 และ B4) มีค่าเท่ากับ 0.55, 0.50, 0.59, 0.59, 0.49, 0.57 และ 0.47 ลิตรต่อนาทีตามลำดับ ซึ่งเป็นอัตราการไหลที่ใกล้เคียงกันในแต่ละ chamber และจากความสม่ำเสมอของอัตราการไหลตลอดวัน ทำให้ทราบว่าระบบการไหลของอากาศมี ประสิทธิภาพดี ไม่มีการรั่วไหลของอากาศออกจากระบบและสามารถตรวจวัดค่าอัตราการไหลของ แต่ละ chamber ได้จริง รวมทั้งค่าอัตราการไหลของอากาศที่ตรวจวัดได้อยู่ในช่วงที่เครื่องตรวจวัด ความเข้มข้นของก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ในอากาศ กำหนดไว้ คือ 0.2-1.0 ลิตรต่อนาที จึงแสดงว่า ระบบการควบคุมการไหลของอากาศทำงานได้ดี และสามารถนำอัตราการไหลที่ตรวจวัดได้ ดังกล่าว ไปใช้ประเมินอัตราการแลกเปลี่ยนก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ของลำต้นยางพาราต่อไปได้ (ตารางที่ 3)



ภาพที่ 14 อัตราการไหลของอากาศที่ผ่านเข้า chamber ในช่วงระยะเวลาการทดสอบระบบ ในวันที่ 30 ตุลาคม 2547

(A) ต้นไม้ไม่เปิดกรีด (untapped trees, A) จำนวน 3 ต้น ต้นละ 1 ตำแหน่ง ที่ตำแหน่ง  $X_{1.0}$

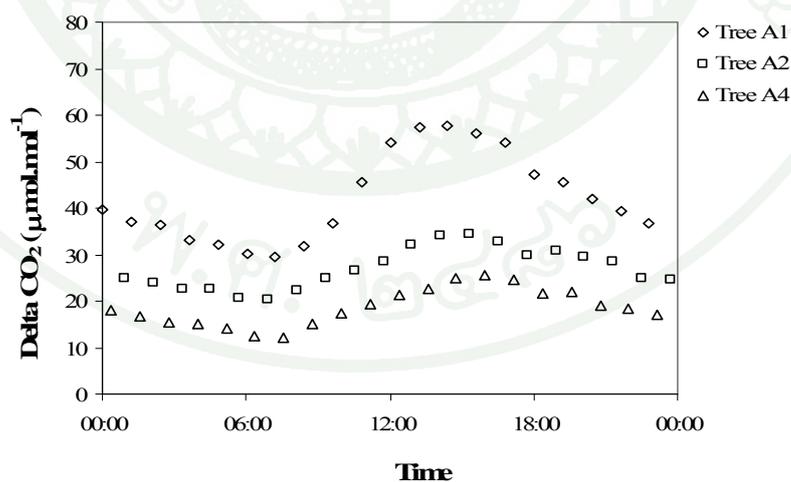
(B) ต้นไม้เปิดกรีดแต่ไม่ใช้สารเร่งน้ำยาง (tapped trees, B) จำนวน 4 ต้น ต้นละ 4 ตำแหน่ง บนตำแหน่ง  $X_{0.5}$   $X_{1.5}$   $X_{2.0}$  และ  $Y_{0.5}$

**ตารางที่ 3** ค่าเฉลี่ยอัตราการไหลของอากาศเข้า chamber ความแตกต่างของความเข้มข้นก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ระหว่างอากาศเข้าและออกจาก chamber และอัตราการแลกเปลี่ยนก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ ในแต่ละต้นของต้นยางที่ไม่เปิดกรีด (1 chamber ต่อต้น) และต้นที่เปิดกรีดแต่ไม่ใช้สารเร่งน้ำยาง (4 chamber บน 4 ตำแหน่งของลำต้น)

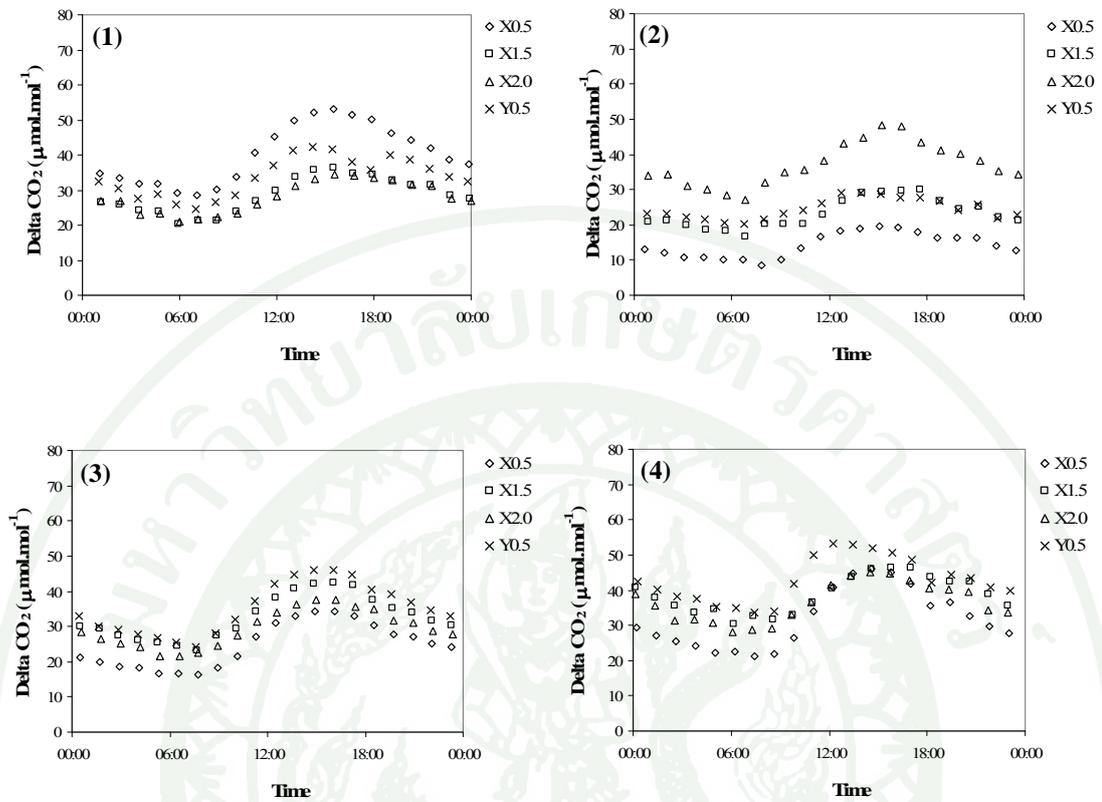
ต้นที่	ทรีตเมนต์	อัตราการไหล ของอากาศ ( $\text{l min}^{-1}$ )	ความแตกต่างของ เข้มข้นก๊าซ $\text{CO}_2$ ( $\mu\text{mol mol}^{-1}$ )	อัตราการแลกเปลี่ยน ก๊าซ $\text{CO}_2$ ( $\mu\text{mol CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ )
A1	ไม่เปิดกรีด	0.55	42.10	2.00
A2	ไม่เปิดกรีด	0.50	26.89	1.39
A4	ไม่เปิดกรีด	0.59	18.16	0.94
B1	เปิดกรีดแต่ไม่ใช้สารเร่งน้ำยาง	0.59	32.61	1.65
B2	เปิดกรีดแต่ไม่ใช้สารเร่งน้ำยาง	0.49	24.76	1.69
B3	เปิดกรีดแต่ไม่ใช้สารเร่งน้ำยาง	0.57	30.43	1.48
B4	เปิดกรีดแต่ไม่ใช้สารเร่งน้ำยาง	0.47	37.41	1.50
	เฉลี่ย	0.54	30.34	1.52

## 1.2 ความแตกต่างของความเข้มข้นก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ที่เข้าและออกจาก chamber

จากการทดสอบระบบการตรวจวัดความแตกต่างของความเข้มข้นก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ในอากาศเข้าและออกจาก chamber ( $\Delta\text{CO}_2$ ) พบว่าในทุก chamber ทั้งในส่วน of ต้นที่ไม่เปิดกรีด (ทริตเมนต์ A) (ภาพที่ 15) และต้นที่เปิดกรีดแต่ไม่ใช้สารเร่งน้ำยาง (ทริตเมนต์ B) ในแต่ละตำแหน่ง (ภาพที่ 16) มีการเปลี่ยนแปลงของ  $\Delta\text{CO}_2$  ในรูปแบบเดียวกัน คือ มีแปรปรวน  $\Delta\text{CO}_2$  น้อยในช่วงเวลากลางคืน และ  $\Delta\text{CO}_2$  เพิ่มมากขึ้นในช่วงเวลาเช้า ตั้งแต่เวลา 7.00 น. เป็นต้นไป และ  $\Delta\text{CO}_2$  มีค่ามากที่สุดในช่วงเวลาประมาณ 14.00 น. จากนั้น  $\Delta\text{CO}_2$  จะลดน้อยลงตามลำดับ โดยค่าเฉลี่ย  $\Delta\text{CO}_2$  ในรอบวันแตกต่างกัน ใน chamber ที่ติดตั้งบนต้นที่ไม่เปิดกรีด (ทริตเมนต์ A) ต้น A1, A2 และ A4 มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 42.10, 26.89 และ 18.16  $\mu\text{mol mol}^{-1}$  ตามลำดับ และใน chamber ที่ติดตั้งบนต้นที่เปิดกรีดแต่ไม่ใช้สารเร่งน้ำยาง (ทริตเมนต์ B) ต้น B1, B2, B3 และ B4 มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 32.61, 24.76, 30.43 และ 37.41  $\mu\text{mol mol}^{-1}$  ตามลำดับ (ตารางที่ 3) จากผลการตรวจวัดและการเปลี่ยนแปลง  $\Delta\text{CO}_2$  ดังกล่าวแสดงให้เห็นว่าสามารถตรวจวัด  $\Delta\text{CO}_2$  ในระบบได้ดี โดยมีค่า  $\Delta\text{CO}_2$  อยู่ในช่วงกว้างที่เหมาะสมต่อการนำค่าดังกล่าว ไปประเมินค่าอัตราการแลกเปลี่ยนก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ จึงกล่าวได้ว่าระบบที่พัฒนาขึ้นนั้น สามารถใช้ในการตรวจวัด  $\Delta\text{CO}_2$  ได้อย่างมีประสิทธิภาพ



ภาพที่ 15 ความแตกต่างของความเข้มข้นก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ที่เข้าและออกจาก chamber ( $\Delta\text{CO}_2$ ) ของต้นไม่เปิดกรีด ยาง ต้น A1, A2 และ A4 บนตำแหน่ง X<sub>1,0</sub>

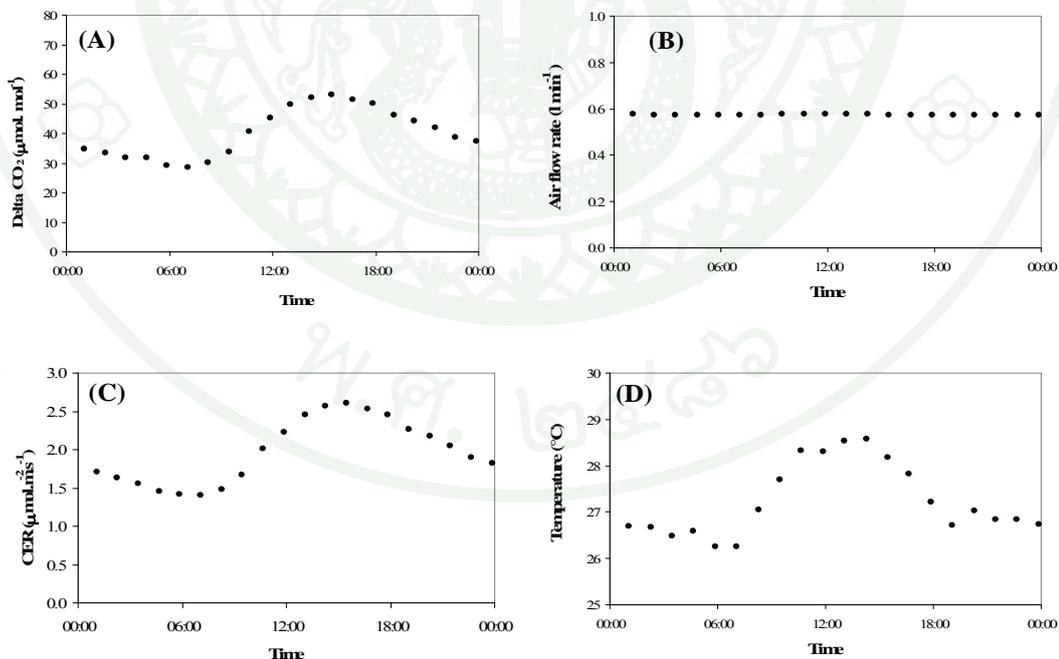


ภาพที่ 16 ความแตกต่างของความเข้มข้นก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ที่เข้าและออกจาก chamber ( $\Delta\text{CO}_2$ ) ของต้นที่เปิดกรีดแต่ไม่ใช้สารเร่งน้ำยาง

- (1) ต้น B1
- (2) ต้น B2
- (3) ต้น B3
- (4) ต้น B4

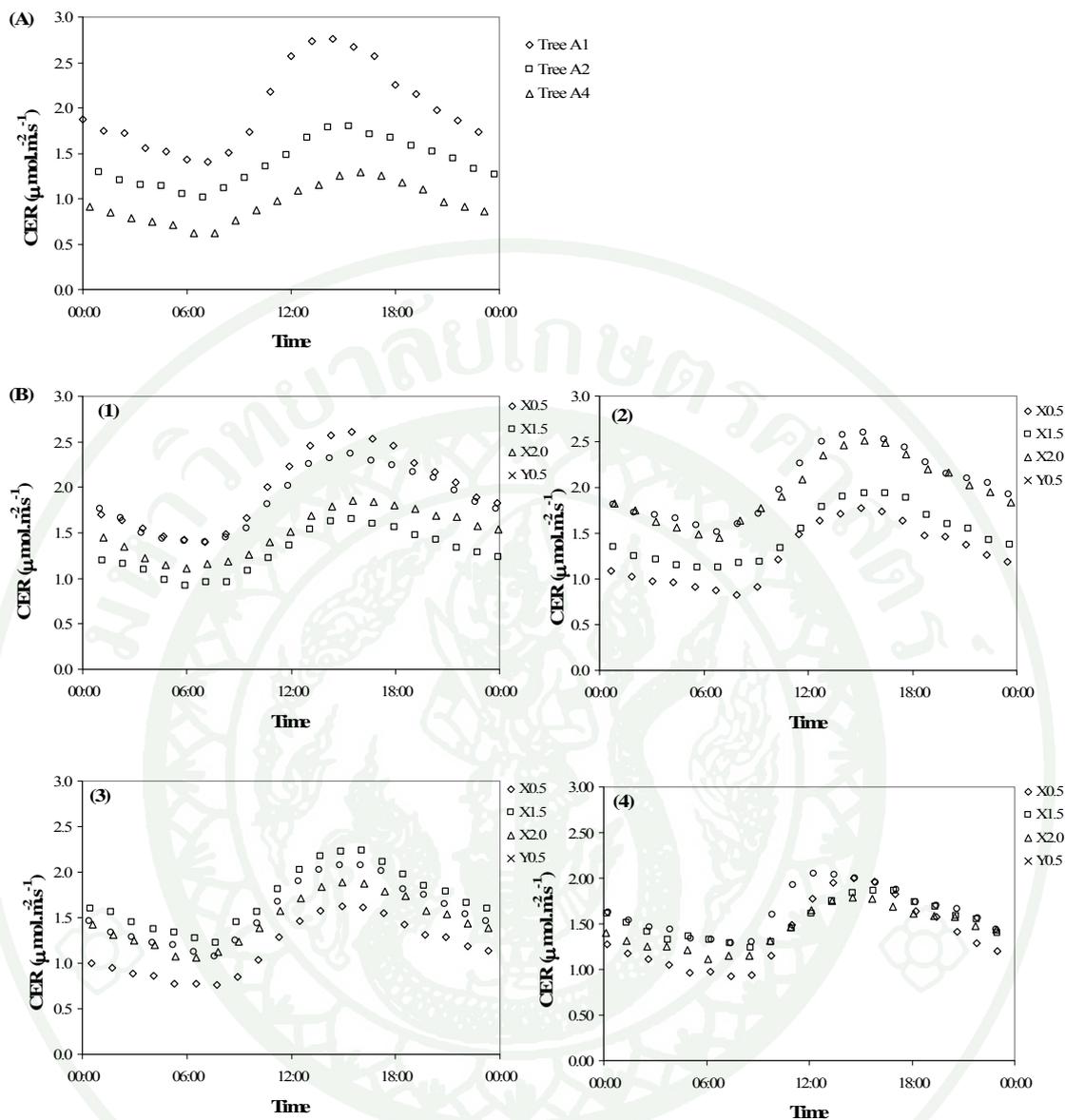
### 1.3 อัตราการแลกเปลี่ยนก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์

จากการทดสอบการคำนวณอัตราการแลกเปลี่ยนก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ของเปลือกลำต้นยางพารา โดยใช้สมการ Eq.(2) และข้อมูลของตำแหน่ง  $X_{0.5}$  ของต้น B1 ในวันที่ 30 ตุลาคม 2547 เวลา 01.05 น. พบว่า  $\Delta\text{CO}_2$  มีค่าเท่ากับ  $34.6 \mu\text{mol mol}^{-1}$  (ภาพที่ 17 A) อัตราการไหลของอากาศมีค่าเท่ากับ 0.58 ลิตรต่อนาที (ภาพที่ 17 B) และประเมินอัตราการแลกเปลี่ยนก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ของลำต้นยางพาราได้เท่ากับ  $1.72 \mu\text{mol CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$  (ภาพที่ 17 C) เมื่ออุณหภูมิใน chamber มีค่าเท่ากับ  $26.7^\circ\text{C}$  (ภาพที่ 17 D) จากนั้นจึงคำนวณค่าอัตราการแลกเปลี่ยนก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ของลำต้นยางพาราในเวลาอื่น ๆ ต่อไปตามลำดับ พบว่าอัตราการไหลของอากาศมีความสม่ำเสมอตลอดทั้งวัน ส่วน CER ตันแปรตาม  $\Delta\text{CO}_2$  และสอดคล้องกับการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิภายใน chamber โดยพบว่าอัตราการแลกเปลี่ยนก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ของลำต้นยางพารามีการเปลี่ยนแปลงน้อยในช่วงเวลากลางคืนจนถึงช่วงเวลาเช้า และเมื่ออุณหภูมิอากาศใน chamber เพิ่มขึ้นในช่วงเวลาหลัง 7.00 น. พบว่า  $\Delta\text{CO}_2$  และอัตราการแลกเปลี่ยนก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์เพิ่มขึ้นเช่นกัน และมีอุณหภูมิใน chamber สูงสุดที่  $29^\circ\text{C}$  ในช่วงเวลาประมาณ 14.00 น. และเริ่มลดลงหลังจากนั้น  $\Delta\text{CO}_2$  และ CER เปลี่ยนแปลงไปในทำนองเดียวกัน



ภาพที่ 17 (A) ความแตกต่างของความเข้มข้นก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ (B) อัตราการไหลของอากาศ (C) อัตราการแลกเปลี่ยนก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ และ (D) อุณหภูมิภายใน chamber บนต้น B1 ที่ระดับความสูง 0.5 เมตร จากพื้นดิน

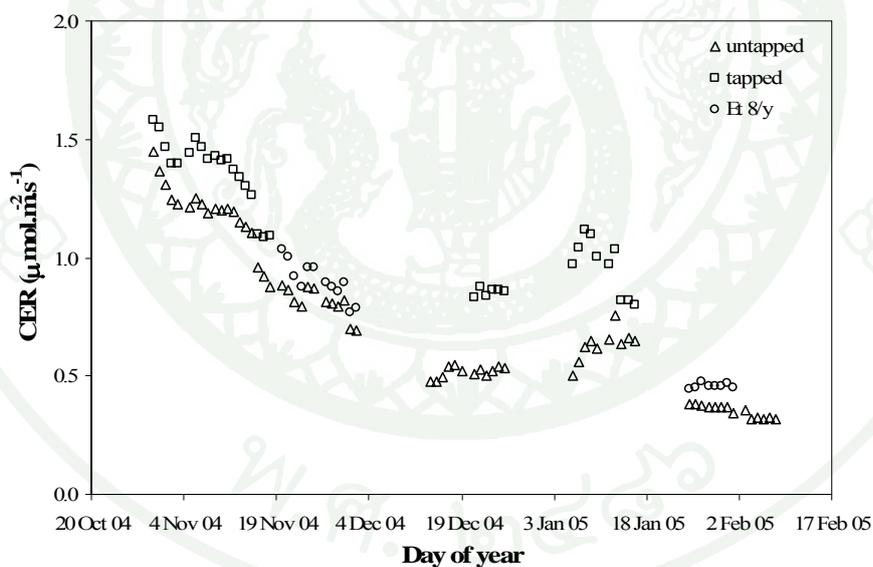
จากการตรวจวัดอัตราการแลกเปลี่ยนก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ในรอบวัน พบว่าในแต่ละ chamber ทั้งในส่วนของต้นที่ไม่เปิดกรีด (ภาพที่ 18 A) และต้นที่เปิดกรีดแต่ไม่ใช้สารเร่งน้ำยางในแต่ละตำแหน่ง (ภาพที่ 18 B) มีการเปลี่ยนแปลงของอัตราการแลกเปลี่ยนก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ในรอบวันในรูปแบบเดียวกัน คืออัตราการแลกเปลี่ยนก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์น้อยที่สุดในช่วงเช้าตรู่คือช่วงเวลา 6.00-7.00 น. จากนั้นอัตราการแลกเปลี่ยนก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์เพิ่มมากขึ้นในช่วงเวลาเช้าตั้งแต่เวลา 7.00 น. เป็นต้นไป โดยอัตราการแลกเปลี่ยนก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์มากที่สุดในช่วงเวลา 14.00-15.00 น. และลดน้อยลงตามลำดับในช่วงเวลากลางคืน จากค่าเฉลี่ยอัตราการแลกเปลี่ยนก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ในรอบวัน พบว่าใน chamber ที่ติดตั้งบนต้นทรีตเมนต์ A คือต้นที่ไม่เปิดกรีดบนต้น A1, A2 และ A3 มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 2.00, 1.39 และ 0.94  $\mu\text{mol CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$  ตามลำดับ และใน chamber ที่ติดตั้งบนต้น ทรีตเมนต์ B คือต้นที่เปิดกรีดแต่ไม่ใช้สารเร่งน้ำยางต้น B1, B2, B3 และ B4 มีค่าเท่ากับ 1.65, 1.69, 1.48 และ 1.50  $\mu\text{mol CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$  ตามลำดับ (ตารางที่ 3) จากผลการตรวจวัดอัตราการแลกเปลี่ยนก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ดังกล่าวแสดงให้เห็นว่าสามารถตรวจวัดอัตราการแลกเปลี่ยนก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ได้จริง และมีความไวเพียงพอที่ตรวจพบการเปลี่ยนแปลงของก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ในรอบวันในทุกต้น และทุกตำแหน่งของต้น จากผลการตรวจวัดดังกล่าวทำให้ทราบได้ว่าระบบที่พัฒนาขึ้น สามารถใช้ในการตรวจวัดอัตราการแลกเปลี่ยนก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ของลำต้นยางพาราได้อย่างมีประสิทธิภาพ



ภาพที่ 18 อัตราการแลกเปลี่ยนก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ในรอบวันของ (A) ต้นที่ไม่เปิดกรีด และ (B) ต้นที่เปิดกรีดแต่ไม่ใช้สารเร่งน้ำยาง ที่ตำแหน่งต่าง ๆ บนลำต้น  
 (1) ต้น B1  
 (2) ต้น B2  
 (3) ต้น B3  
 (4) ต้น B4

## 2. ศึกษาอัตราการแลกเปลี่ยนก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ของลำต้นยางพารา

จากการศึกษาอัตราการแลกเปลี่ยนก๊าซของลำต้นยางพารา โดยมีทรีตเมนต์ประกอบด้วย 3 ทรีตเมนต์ คือ ต้นที่ไม่เปิดกรีด (untapped หรือ A) ต้นที่เปิดกรีดแต่ไม่ใช้สารเร่งน้ำยาง (tapped หรือ B) และต้นที่เปิดกรีดและใช้สารเร่งน้ำยาง (Et 8/y หรือ C) (ภาพที่ 19) โดยเก็บข้อมูลในช่วงเวลาดังแต่เดือนตุลาคม 2547 ถึงเดือนกุมภาพันธ์ 2548 อย่างต่อเนื่อง พบว่าในภาพรวมทุกทรีตเมนต์มีอัตราการแลกเปลี่ยนก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์สูงในช่วงเดือนตุลาคม ซึ่งเป็นช่วงปลายฤดูฝน ต้นยางพารามีการเจริญเติบโตทางลำต้นและใบเป็นปกติ และมีแนวโน้มลดลงในช่วงเดือนพฤศจิกายน และธันวาคม ตามลำดับ ซึ่งเป็นช่วงที่มีการผลัดใบที่ต้นยางพาราจะมีเมทาบอลิซึมลดลง สอดคล้องกับ Silpi (2005) ซึ่งศึกษาอัตราการหายใจของเปลือกยางพาราในรอบปี และพบอัตราการหายใจสูงในช่วงมีการเจริญเติบโตทางลำต้น และอัตราการหายใจลดลงในช่วงผลัดใบเช่นกัน



ภาพที่ 19 อัตราการแลกเปลี่ยนก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์เฉลี่ยรายวันของต้นที่ไม่เปิดกรีด (untapped) ต้นที่เปิดกรีดแต่ไม่ใช้สารเร่งน้ำยาง (tapped) และต้นที่เปิดกรีดและใช้สารเร่งน้ำยาง (Et 8/y)

## 2.1 การเปลี่ยนแปลงอัตราการแลกเปลี่ยนก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ในช่วงเวลาที่ศึกษา

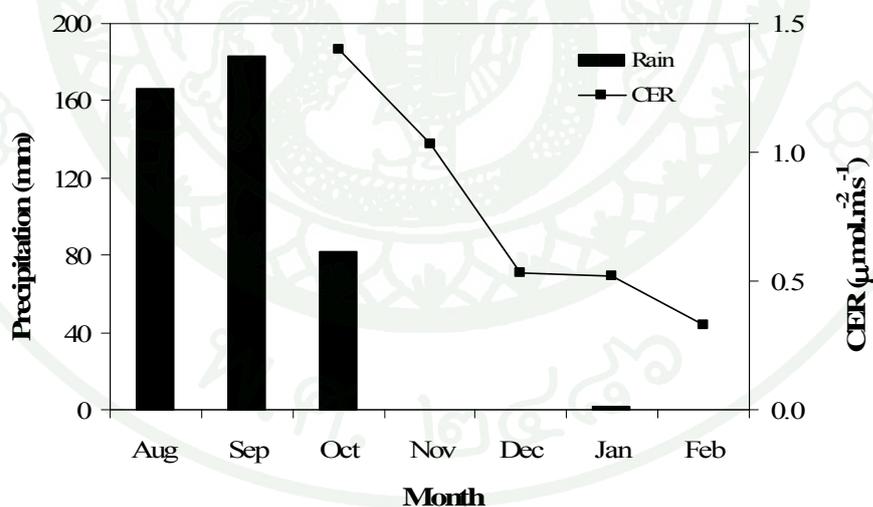
การศึกษ้อัตราการแลกเปลี่ยนก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ของลำต้นยางพาราที่ตำแหน่ง  $x_{1.0}$  ของต้นที่ไม่เปิดกรีดซึ่งเป็นตำแหน่งเดียวที่มีการติดตามตรวจวัดตลอดการทดลองพบว่า ค่าเฉลี่ยในแต่ละเดือนแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (ตารางที่ 4) โดยอัตราการแลกเปลี่ยนก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ของลำต้นยางพาราในเดือนตุลาคม 2547 ซึ่งเป็นช่วงเวลาก่อนผลัดใบ เป็นช่วงที่มีค่า CER มากที่สุด มีค่าเท่ากับ  $1.40 \mu\text{mol CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$  และเริ่มลดลงในช่วงเดือนพฤศจิกายน และธันวาคม 2547 มีค่าเท่ากับ  $1.03$  และ  $0.53 \mu\text{mol CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$  ซึ่งเป็นช่วงเวลาที่เริ่มผลัดใบ และจากผลการทดลองพบว่า เดือนกุมภาพันธ์ 2548 มีค่า CER ต่ำที่สุด มีค่าเท่ากับ  $0.33 \mu\text{mol CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$  ซึ่งเป็นช่วงเวลาที่ทิ้งใบทั้งต้น

สภาพภูมิอากาศเป็นปัจจัยสำคัญอีกปัจจัยหนึ่งที่มีอิทธิพลต่ออัตราการแลกเปลี่ยนก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ ช่วงเดือนตุลาคม อัตราการแลกเปลี่ยนก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์สูงที่สุดเท่ากับ  $1.40 \mu\text{mol CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$  เป็นช่วงปลายฤดูฝนและดินมีความชื้น จากนั้นอัตราการแลกเปลี่ยนก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ลดลง 26 เปอร์เซ็นต์ในเดือนพฤศจิกายนและลดลงอีก 36 เปอร์เซ็นต์ในเดือนธันวาคม ซึ่งเป็นช่วงเริ่มต้นของฤดูแล้งและไม่มีฝนตก แต่ในเดือนมกราคมซึ่งมีฝนตกเล็กน้อย อัตราการแลกเปลี่ยนก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ไม่เปลี่ยนแปลงจากนั้น CER ลดลงอีกครั้งถึง 14.3 เปอร์เซ็นต์ในเดือนกุมภาพันธ์ซึ่งไม่มีฝนตก (ภาพที่ 20) ในช่วงแล้งที่ต้นยางพาราขาดน้ำติดต่อกันเป็นเวลานาน จะมีการทิ้งใบ จะมีค่าศักย์ของน้ำในใบและการเปิดปากใบลดลงเพื่อลดการคายน้ำ ทำให้อัตราการสังเคราะห์ด้วยแสงลดลง (Sangsing *et al.*, 2004 ; Kositsap, 2009) และมีการเจริญเติบโตของลำต้นน้อยลงมากด้วย (Silpi, 2006)

ตารางที่ 4 ค่าเฉลี่ยอัตราการแลกเปลี่ยนก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ (CER) ของดินที่ไม่เปิดกรีดที่ตำแหน่ง  $X_{1,0}$  ตั้งแต่เดือนตุลาคม 2547 ถึงกุมภาพันธ์ 2548

เดือน	ช่วงการเจริญเติบโต	CER <sup>1/</sup> $\mu\text{mol CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$
ตุลาคม	ก่อนผลัดใบ	1.40 a
พฤศจิกายน	ก่อนผลัดใบ	1.03 b
ธันวาคม	ก่อนผลัดใบ	0.53 c
มกราคม	ผลัดใบ	0.52 c
กุมภาพันธ์	ผลัดใบ	0.33 d

<sup>1/</sup> ตัวอักษรภาษาอังกฤษตัวพิมพ์เล็กเหมือนกัน ไม่มีความแตกต่างทางสถิติ จากการวิเคราะห์ความแตกต่างด้วยวิธี DMRT ที่ระดับความเชื่อมั่น 0.05

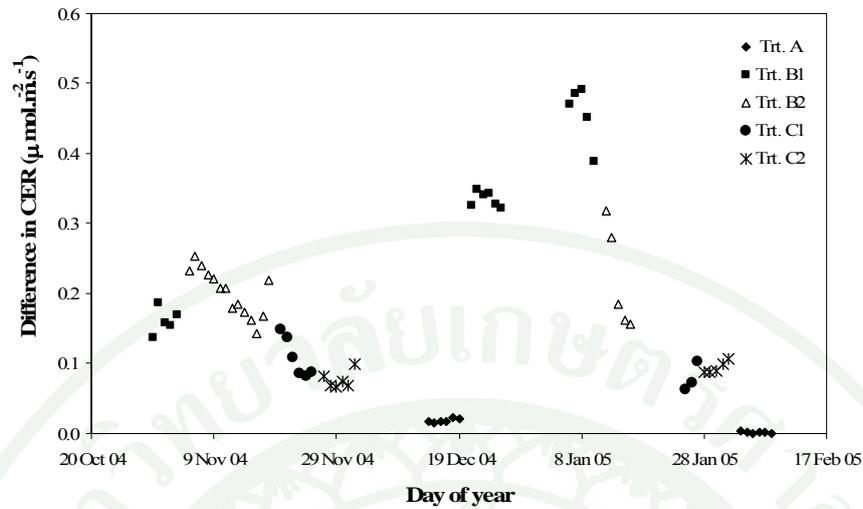


ภาพที่ 20 อัตราการแลกเปลี่ยนก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ (CER) เฉลี่ยรายเดือนของดินที่ไม่เปิดกรีดที่ตำแหน่ง  $X_{1,0}$  ตลอดการทดลอง แสดงร่วมกับปริมาณน้ำฝนรายเดือน

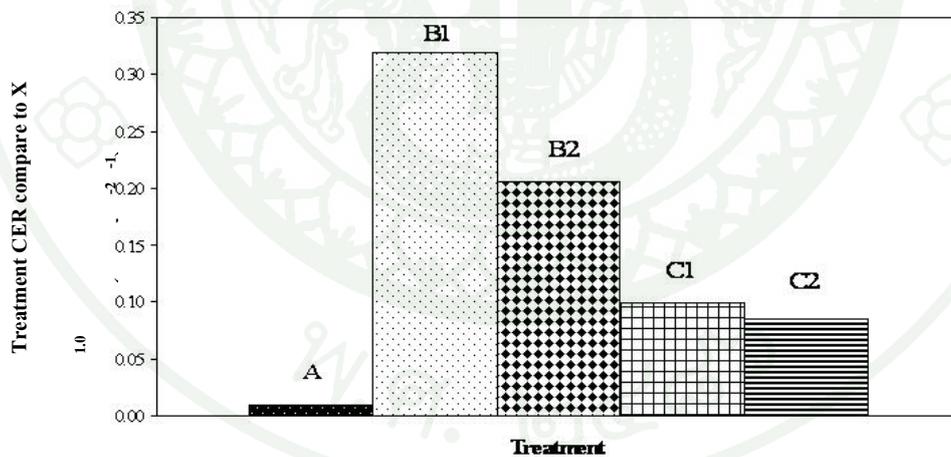
## 2.2 อิทธิพลของการกรีดยางและการใช้สารเร่งน้ำยางต่อ CER ของลำต้น

ตำแหน่ง  $x_{1.0}$  บนต้นที่ไม่ได้เปิดกรีด 3 ต้น มีการติดตั้ง chamber เก็บข้อมูลอย่างต่อเนื่องตลอดระยะเวลาทำการทดลอง จึงสามารถใช้เป็นค่า CER มาตรฐานในการเปรียบเทียบศึกษาอิทธิพลของทริตเมนต์ได้ โดยประเมินค่าความแตกต่างระหว่างค่า CER ในตำแหน่ง  $x_{1.0}$  กับค่า CER ของทริตเมนต์ต่าง ๆ (ภาพที่ 21, 22) พบว่าต้นไม่เปิดกรีดยาง (ทริตเมนต์ A) มีอัตราการแลกเปลี่ยนก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ของลำต้นไม่แตกต่างจากตำแหน่ง  $x_{1.0}$  ซึ่งบ่งชี้ว่า CER ของ  $x_{1.0}$  เป็นตัวแทนของต้นที่ไม่เปิดกรีดได้จริง

ส่วนต้นเปิดกรีดแต่ไม่ใช้สารเร่งน้ำยาง (ทริตเมนต์ B) มีอัตราการแลกเปลี่ยนก๊าซมากกว่า CER ของตำแหน่ง  $x_{1.0}$  ทั้ง B1 ซึ่งมากกว่าโดยเฉลี่ยถึง  $0.32 \mu\text{mol CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$  และ B2 ซึ่งมากกว่า  $0.21 \mu\text{mol CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$  ส่วนต้นที่เปิดกรีดและใช้สารเร่งน้ำยาง (C) มีอัตราการแลกเปลี่ยนก๊าซมากกว่า CER ของตำแหน่ง  $x_{1.0}$  ทั้ง C1 ซึ่งมากกว่าโดยเฉลี่ย  $0.10 \mu\text{mol CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$  และ C2 ซึ่งมากกว่าโดยเฉลี่ย  $0.08 \mu\text{mol CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$  และพบว่าอัตราการแลกเปลี่ยนก๊าซของทริตเมนต์ต่าง ๆ แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติโดย ต้นไม่เปิดกรีดยาง (A) ต้นเปิดกรีดแต่ไม่ใช้สารเร่งน้ำยาง (B) และต้นเปิดกรีดและใช้สารเร่งน้ำยาง (C) มี CER เฉลี่ยเท่ากับ 0.42, 1.17 และ 0.73  $\mu\text{mol CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$  ตามลำดับ จากการทดลองทำให้ทราบว่า การเปิดกรีดยางทำให้ CER ของลำต้นเพิ่มขึ้น ในขณะที่การใช้สารเร่งน้ำยางในระบบกรีดยาง จะทำให้ CER เพิ่มขึ้นเช่นกัน ซึ่งสอดคล้องกับ Silpi และคณะ (2001) ศึกษารูปแบบการกระจายตัวของน้ำตาลซูโครสของต้นยางพาราพันธุ์ RRIM 600 ในต้นยางที่ไม่เปิดกรีด ต้นเปิดกรีดไม่ใช้สารเร่งน้ำยาง และต้นเปิดกรีดและใช้สารเร่งน้ำยาง พบว่ามีปริมาณน้ำตาลซูโครสแตกต่างกันเท่ากับ 24.3, 7.9 และ 10.8  $\text{mM L}^{-1}$  ตามลำดับ ซึ่งความแตกต่างของอัตราการแลกเปลี่ยนก๊าซของทริตเมนต์ต่าง ๆ อาจเนื่องจากการนำน้ำตาลซูโครสไปใช้กระตุ้นกระบวนการสร้างน้ำยางทดแทน ซึ่งน้ำตาลยังเป็นสารตั้งต้นของกระบวนการหายใจ



ภาพที่ 21 อัตราการแลกเปลี่ยนก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ของลำต้นยางพาราเฉลี่ยรายวัน ใน ทริตเมนต์ต่าง ๆ (A, B และ C) เปรียบเทียบกับ CER ลำต้นยางพาราบนตำแหน่ง  $X_{1,0}$  ของต้นไม้เปิดกรีด ตลอดช่วงระยะเวลาการทดลอง



ภาพที่ 22 อัตราการแลกเปลี่ยนก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ (CER) ของลำต้นยางพาราเฉลี่ยตลอด การทดลองในทริตเมนต์ต่าง ๆ (A, B และ C) เปรียบเทียบกับ CER ลำต้นยางพาราที่ ตำแหน่ง  $X_{1,0}$  ของต้นไม้เปิดกรีดยาง

### 2.3 อัตราการแลกเปลี่ยนก๊าซของตำแหน่งต่าง ๆ บนลำต้น

การวิเคราะห์ความแปรปรวนของอัตราการแลกเปลี่ยนก๊าซที่ตำแหน่งต่าง ๆ บนลำต้นยางพารา ได้ผลดังตารางที่ 5 พบความแตกต่างกันทางสถิติของอัตราการแลกเปลี่ยนก๊าซระหว่างตำแหน่งต่าง ๆ บนลำต้นใน 9 จาก 14 การทดลองย่อย โดยในภาพรวม CER ของตำแหน่งบนหน้ากรีด ที่ความสูง 0.5, 1.5 และ 2.0 เมตรจากพื้นดิน ( $x_{0.5}$ ,  $x_{1.5}$  และ  $x_{2.0}$ ) และตำแหน่งบนหน้าตรงข้ามหน้ากรีด ( $y_{0.5}$  และ  $y_{1.5}$ ) มีค่าเท่ากับ 0.85, 0.87, 0.90, 0.89 และ 1.10  $\mu\text{mol CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$  ตามลำดับ โดย  $y_{1.5}$  มี CER เฉลี่ยมากกว่าตำแหน่งอื่น ๆ อย่างมีนัยสำคัญ ต้นไม้เปิดกรีดอย่างมีอัตราการแลกเปลี่ยนก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ของตำแหน่งต่าง ๆ ใกล้เคียงกัน ยกเว้นตำแหน่ง  $x_{0.5}$  ซึ่งมีค่ามากกว่าตำแหน่งอื่น ๆ ในเดือนธันวาคม และตำแหน่ง  $y_{0.5}$  ซึ่งมากกว่าตำแหน่งอื่น ๆ ในเดือนกุมภาพันธ์ ส่วนต้นเปิดกรีดแต่ไม่ใช้สารเร่งน้ำยาง มี CER ของด้านตรงข้ามหน้ากรีดทั้งเหนือและใต้รอยกรีดที่ตำแหน่ง  $y_{0.5}$  และ  $y_{1.5}$  เฉลี่ยมากกว่าตำแหน่งอื่น ๆ ในขณะที่ CER ของตำแหน่งเหนือรอยกรีดมีแนวโน้มมากกว่าตำแหน่งใต้รอยกรีด ส่วนในต้นเปิดกรีดและใช้สารเร่งน้ำยาง ไม่พบความแตกต่างของค่าเฉลี่ยอัตราการแลกเปลี่ยนก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ในแต่ละตำแหน่ง ในทั้ง 5 การทดลอง

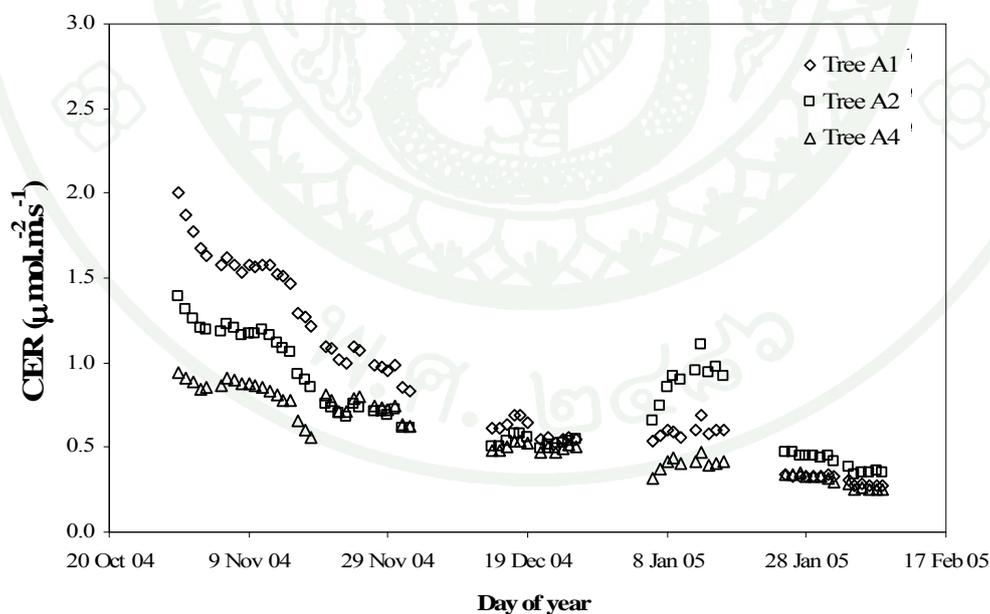
ตารางที่ 5 ค่าเฉลี่ยอัตราการแลกเปลี่ยนก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ที่ตำแหน่งต่าง ๆ ของแต่ละ  
ทรีตเมนต์ในทุกระยะการทดลองตั้งแต่เดือนตุลาคม ถึงกุมภาพันธ์

เดือน	ทรีตเมนต์	ตำแหน่งบนลำต้นในทรีตเมนต์ <sup>1/</sup>						Prob.	เฉลี่ย (ทุกตำแหน่ง) (ทั้งเดือน)	
		X <sub>1.0</sub> (fix)	X <sub>0.5</sub>	X <sub>1.5</sub>	X <sub>2.0</sub>	Y <sub>0.5</sub>	Y <sub>1.5</sub>			
ต.ก.	B1	1.40	1.44 b	1.48 b	1.57ab	1.78 a	-	*	1.54	1.54
	B1	1.26	1.31 b	1.35 b	1.45ab	1.57 a	-	*	1.39	
พ.ย.	B2	1.13	1.26bc	1.21cd	1.35 b	-	1.50 a	*	1.30	1.17
	C1	0.85	0.89	0.96	0.98	1.00	-	ns	0.94	
	C2	0.81	0.82	0.92	0.98	-	0.81	ns	0.87	
	A	0.49	0.66 a	0.48 b	0.47 b	0.41b	-	*	0.51	
ธ.ค.	B1	0.52	0.77 b	0.83 b	0.82 b	0.99 a	-	*	0.80	0.67
	C2	0.70	0.81	0.83	0.76	-	0.71	ns	0.77	
ม.ค.	B1	0.59	0.88 c	1.08 b	1.00 b	1.24 a	-	*	0.98	0.72
	B2	0.67	0.70 c	0.93ab	0.90 b	-	1.03 a	*	0.86	
	C1	0.38	0.50	0.48	0.41	0.44	-	ns	0.45	
	C2	0.37	0.51 a	0.47ab	0.43 b	-	0.42 bc	*	0.44	
ก.พ.	A	0.33	0.32 b	0.31 b	0.29 b	0.41 a	-	*	0.33	0.35
	C2	0.35	0.51	0.46	0.43	-	0.41	ns	0.44	
	เฉลี่ย	0.74	0.85	0.87	0.90	0.89	1.10			

<sup>1/</sup> ตัวอักษรภาษาอังกฤษตัวพิมพ์เล็กเหมือนกัน ไม่มีความแตกต่างทางสถิติ จากการวิเคราะห์ความแตกต่างด้วยวิธี DMRT ที่ระดับความเชื่อมั่น 0.05

### 3. ศึกษาอิทธิพลของปัจจัยสภาพแวดล้อมต่ออัตราการแลกเปลี่ยนก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ของลำต้นยางพารา

การติดตามอัตราการแลกเปลี่ยนก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ของต้นยางพาราที่ไม่เปิดกรีด (untapped) ซึ่งมีการติดตั้ง chamber อย่างต่อเนื่อง (fixed position) ที่ตำแหน่ง  $X_{1,0}$  ของต้น A1, A2 และ A4 ตั้งแต่เดือนตุลาคม 2547 ถึงเดือนกุมภาพันธ์ 2548 ซึ่งครอบคลุมช่วงระยะเวลาของการเจริญเติบโตทางลำต้นทั้งก่อนและหลังช่วงผลัดใบ (annual leaf shedding) พบว่าในช่วงการเจริญเติบโตก่อนผลัดใบ (ตุลาคม พฤศจิกายน และธันวาคม) เป็นระยะที่มีอัตราการแลกเปลี่ยนก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์สูง โดยมีค่าเฉลี่ยอัตราการแลกเปลี่ยนก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ของแต่ละต้นเท่ากับ 1.41, 1.03 และ 0.53  $\mu\text{mol CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$  ตามลำดับ ส่วนในช่วงหลังผลัดใบ ตั้งแต่เดือนมกราคม และกุมภาพันธ์ มีอัตราการแลกเปลี่ยนก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ลดลงมากในทั้ง 3 ต้น โดยมีค่าเฉลี่ยเพียง 0.52 และ 0.33  $\mu\text{mol CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$  แสดงให้เห็นว่าอัตราการแลกเปลี่ยนก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์เปลี่ยนแปลงตามช่วงระยะเวลาการเจริญเติบโตและ ตามสภาพแวดล้อมที่เปลี่ยนไปในทั้ง 3 ต้นที่ศึกษา (ภาพที่ 23)



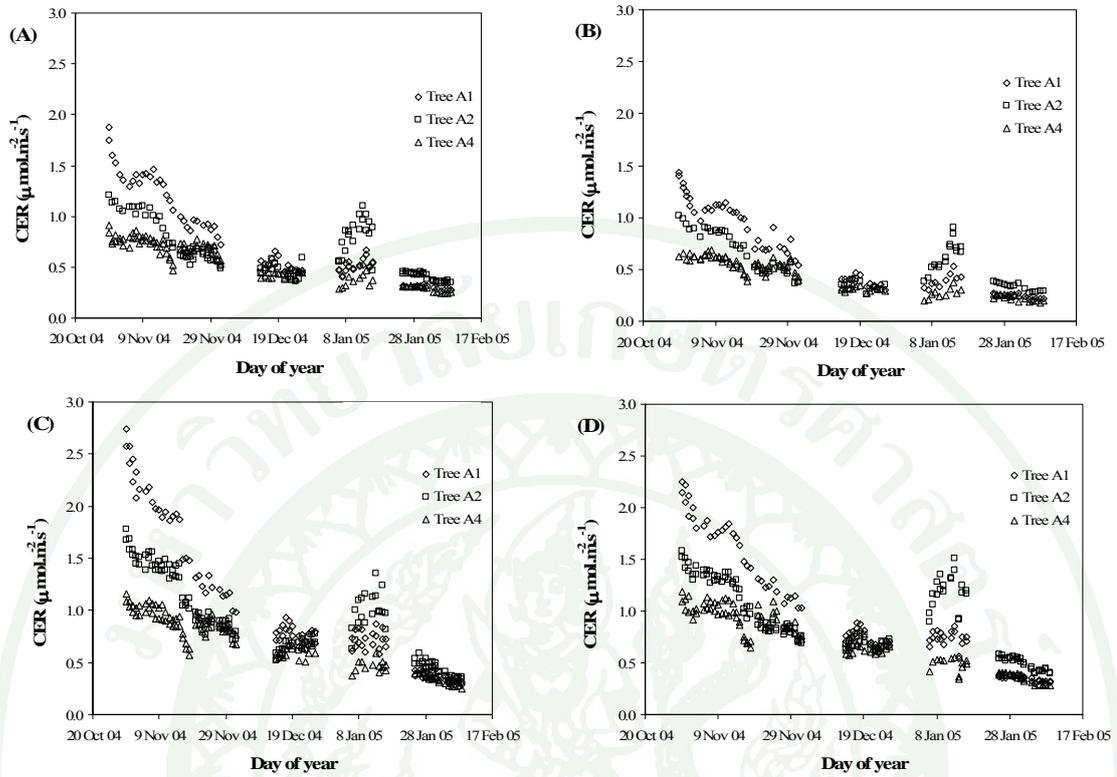
ภาพที่ 23 อัตราการแลกเปลี่ยนก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์เฉลี่ยในรอบ 24 ชั่วโมงของต้นยางพาราที่ไม่เปิดกรีด บนตำแหน่ง  $X_{1,0}$  จำนวน 3 ต้น

### 3.1 อิทธิพลของช่วงเวลาในรอบวัน

อัตราการแลกเปลี่ยนก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์เปลี่ยนแปลงไปตามช่วงเวลาในรอบวัน จากการศึกษาอัตราการแลกเปลี่ยนก๊าซของต้นที่ไม่เปิดกรีดตำแหน่ง  $X_{1,0}$  ซึ่งบันทึกข้อมูลอย่างต่อเนื่องตลอดการทดลอง พบว่าอัตราการแลกเปลี่ยนก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ในช่วงเวลา 6.00-8.00 น. เป็นช่วงเวลาที่อัตราการแลกเปลี่ยนก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์น้อยที่สุดโดยมีค่าอัตราการแลกเปลี่ยนก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์เฉลี่ยเท่ากับ  $0.53 \mu\text{mol CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$  ในขณะที่ช่วงเวลา 12.00-14.00 น. โดยมีอัตราการแลกเปลี่ยนก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์มากที่สุดเฉลี่ยเท่ากับ  $0.86 \mu\text{mol CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$  และในช่วงเวลา 0.00-2.00 น. และ 6.00-8.00 น. โดยมี CER เฉลี่ยเท่ากับ 0.64 และ  $0.53 \mu\text{mol CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$  ตามลำดับ (ตารางที่ 6) และ CER เฉลี่ยแต่ละช่วงเวลาในรอบวันมีแนวโน้มมีการเปลี่ยนแปลงคล้ายคลึงกันตลอดช่วงการทดลองตั้งแต่เดือนตุลาคม ถึงเดือนกุมภาพันธ์ (ภาพที่ 24)

**ตารางที่ 6** อัตราการแลกเปลี่ยนก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์เฉลี่ยในช่วงเวลาต่าง ๆ ในรอบวันของต้น A (ต้นที่ไม่เปิดกรีด) ตำแหน่ง  $X_{1,0}$  ตลอดการทดลอง

ช่วงเวลาในรอบวัน	CER ( $\mu\text{mol CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ )
0.00-2.00 น.	0.64
6.00-8.00 น.	0.53
12.00-14.00 น.	0.86
18.00-20.00 น.	0.72



ภาพที่ 24 อัตราการแลกเปลี่ยนก๊าซของต้นไม้ที่ไม่เปิดกรีดบนตำแหน่ง  $X_{1,0}$  ในช่วงเวลาต่างๆ ในรอบวัน

(A) ช่วงเวลา 00.00-02.00 น.

(B) ช่วงเวลา 06.00-08.00 น.

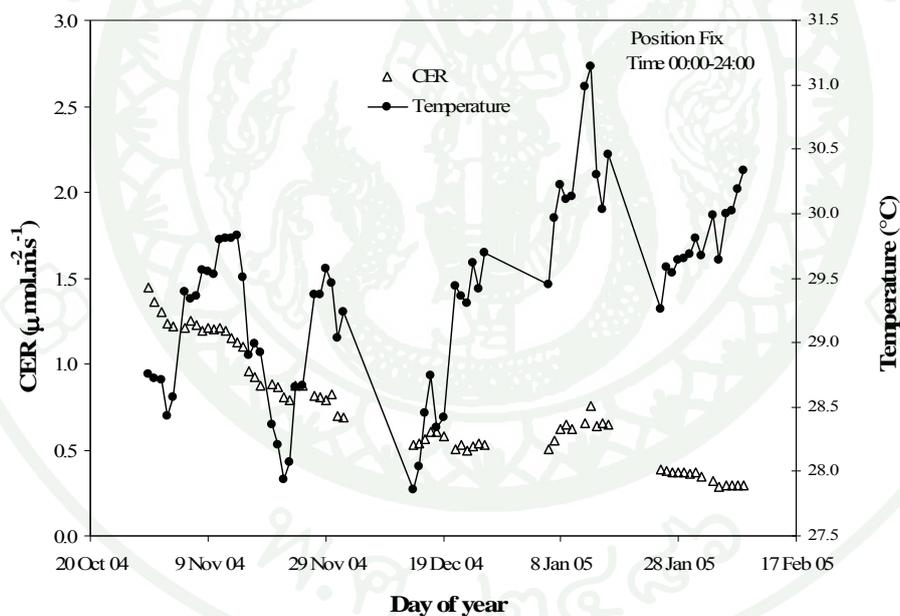
(C) ช่วงเวลา 12.00-14.00 น.

(D) ช่วงเวลา 18.00-20.00 น.

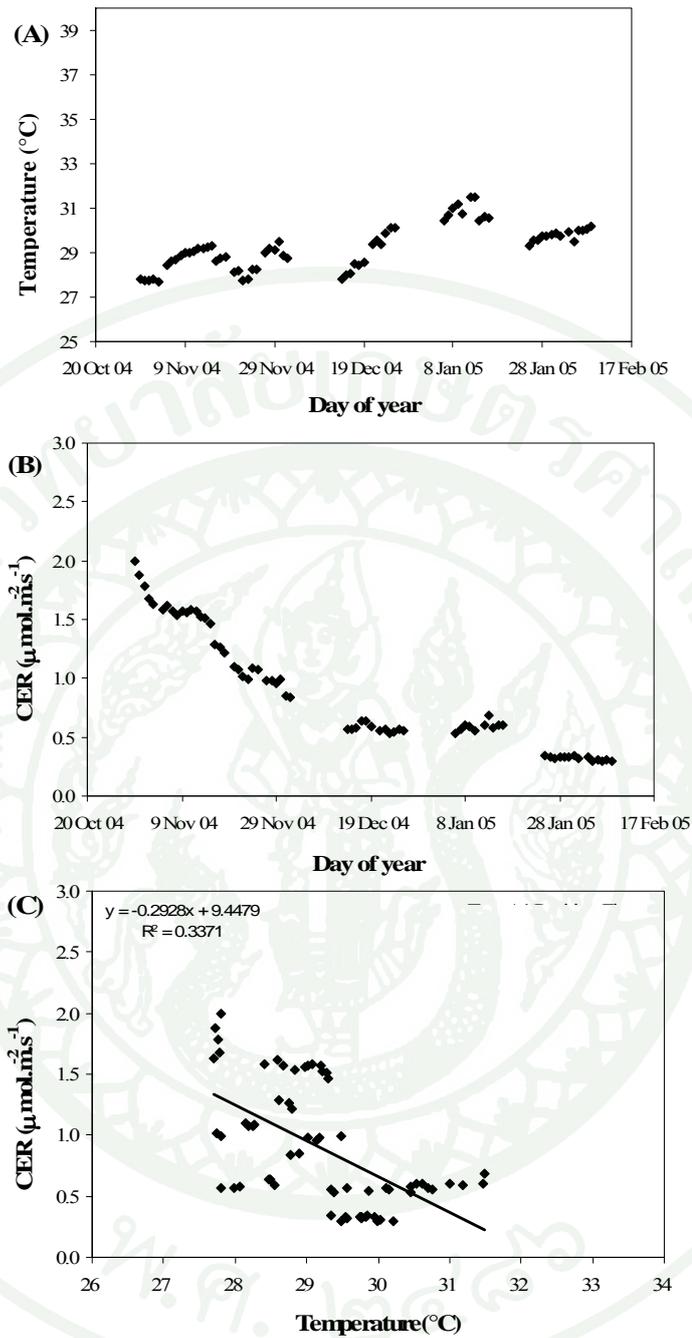
### 3.2 อิทธิพลของอุณหภูมิต่ออัตราการแลกเปลี่ยนก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์

จากการตรวจวัดอุณหภูมิอากาศในที่ร่มภายในแปลงทดลอง พบว่าในช่วงเดือนพฤศจิกายนถึงเดือนธันวาคม อุณหภูมิอากาศมีค่าเฉลี่ยในรอบวันระหว่าง 28.0-29.5 °C และอุณหภูมิเพิ่มขึ้นเป็น 29.0-31 °C ในช่วงเดือนมกราคม ถึงต้นเดือนกุมภาพันธ์ แต่ในช่วงระหว่างเดือนพฤศจิกายน ถึงเดือนกุมภาพันธ์ อัตราการแลกเปลี่ยนก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์เฉลี่ยในรอบวันกลับลดลง (ภาพที่ 25)

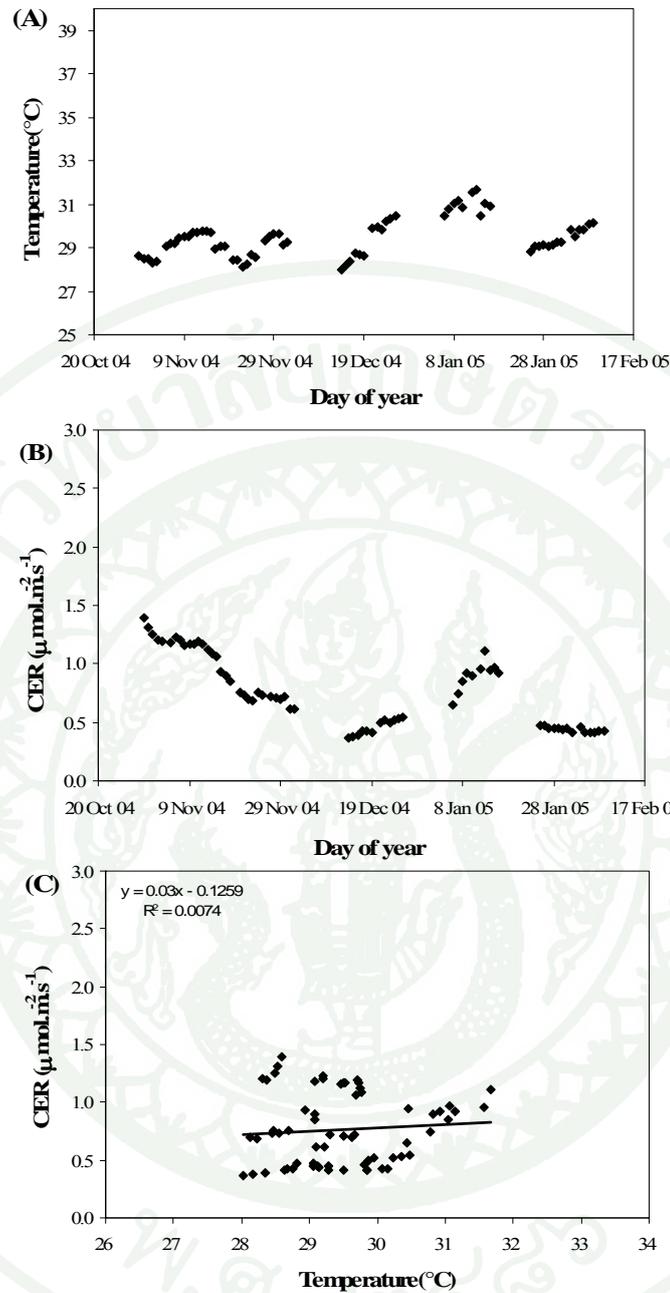
เมื่อพิจารณาความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิของลำต้นกับอัตราการแลกเปลี่ยนก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ของลำต้นเฉลี่ยในรอบวันที่ตำแหน่ง  $X_{1,0}$  ของต้นที่ไม่เปิดกรีด ต้น A1, A2 และ A4 (ภาพที่ 26, 27 และ 28) ตามลำดับ พบว่า อัตราการแลกเปลี่ยนก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ไม่มีความสัมพันธ์หรือมีความสัมพันธ์น้อยมากกับอุณหภูมิเฉลี่ยของลำต้นภายใน chamber



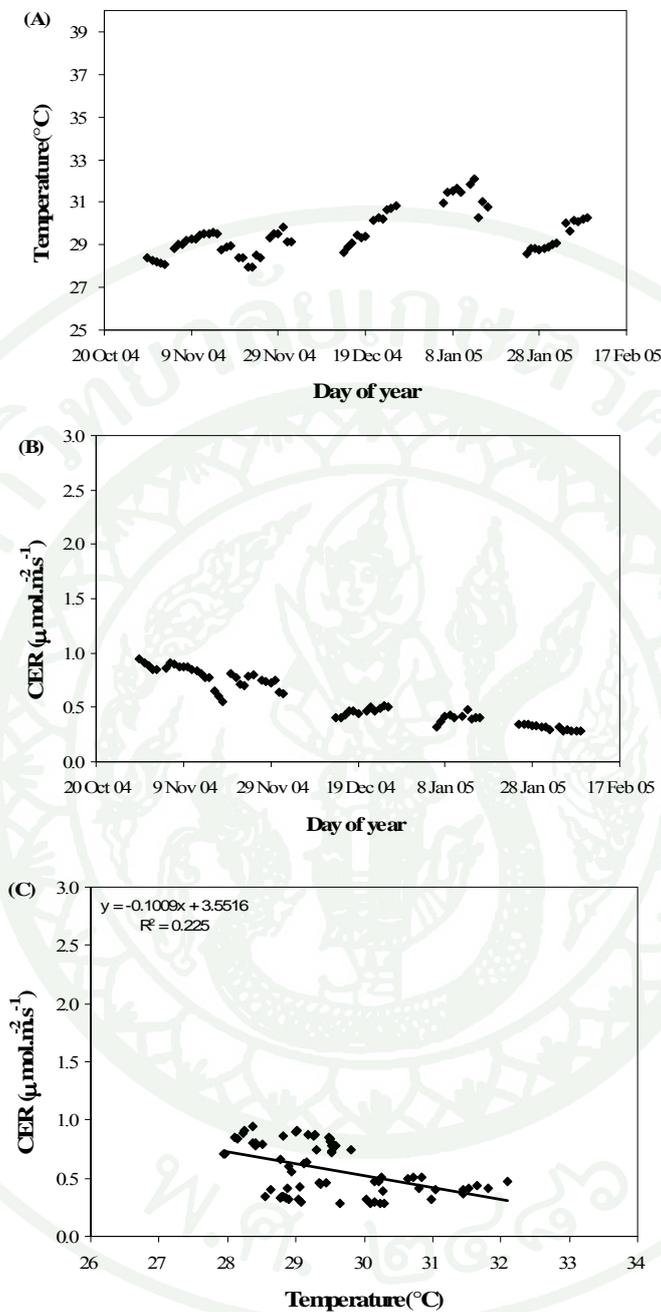
ภาพที่ 25 อัตราการแลกเปลี่ยนก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ของลำต้นเฉลี่ยในรอบวัน และอุณหภูมิอากาศในที่ร่มเฉลี่ยในรอบวันของต้นที่ไม่เปิดกรีดอย่างที่ตำแหน่ง  $X_{1,0}$



ภาพที่ 26 (A) อุณหภูมิของลำต้นภายใน chamber เฉลี่ยในรอบวัน (B) อัตราการแลกเปลี่ยนก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ของลำต้นเฉลี่ยในรอบวัน และ (C) ความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการแลกเปลี่ยนก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ของลำต้นกับอุณหภูมิของลำต้นของต้น A1 (ต้นที่ไม่เปิดกรีดยาง) ที่ตำแหน่ง  $X_{1,0}$



ภาพที่ 27 (A) อุณหภูมิของลำต้นภายใน chamber เฉลี่ยในรอบวัน (B) อัตราการแลกเปลี่ยนก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ของลำต้นเฉลี่ยในรอบวัน และ (C) ความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการแลกเปลี่ยนก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ของลำต้นกับอุณหภูมิของลำต้นของต้น A2 (ต้นที่ไม่เปิดกรีดยาง) ที่ตำแหน่ง  $X_{1,0}$

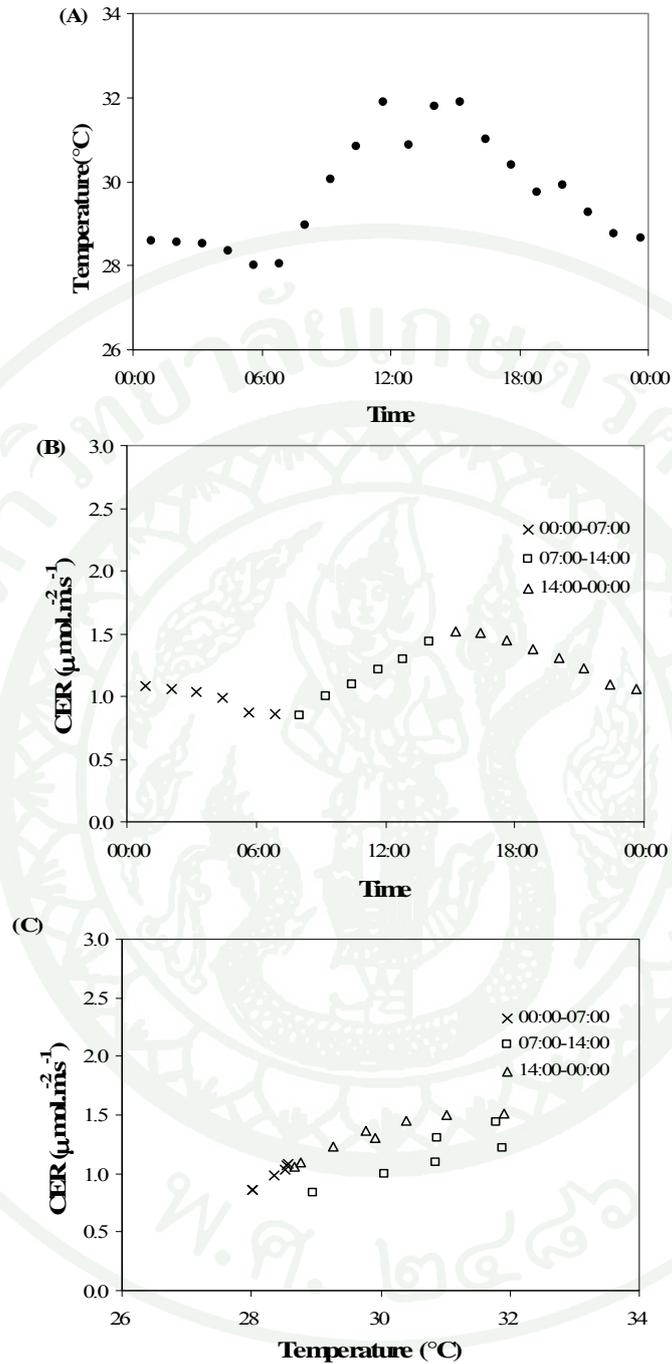


ภาพที่ 28 (A) อุณหภูมิของลำต้นภายใน chamber เฉลี่ยในรอบวัน (B) อัตราการแลกเปลี่ยนก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ของลำต้นเฉลี่ยในรอบวัน และ (C) ความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการแลกเปลี่ยนก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ของลำต้นกับอุณหภูมิของลำต้นของต้น A4 (ต้นที่ไม่เปิดกรีดยาง) ที่ตำแหน่ง  $X_{1,0}$

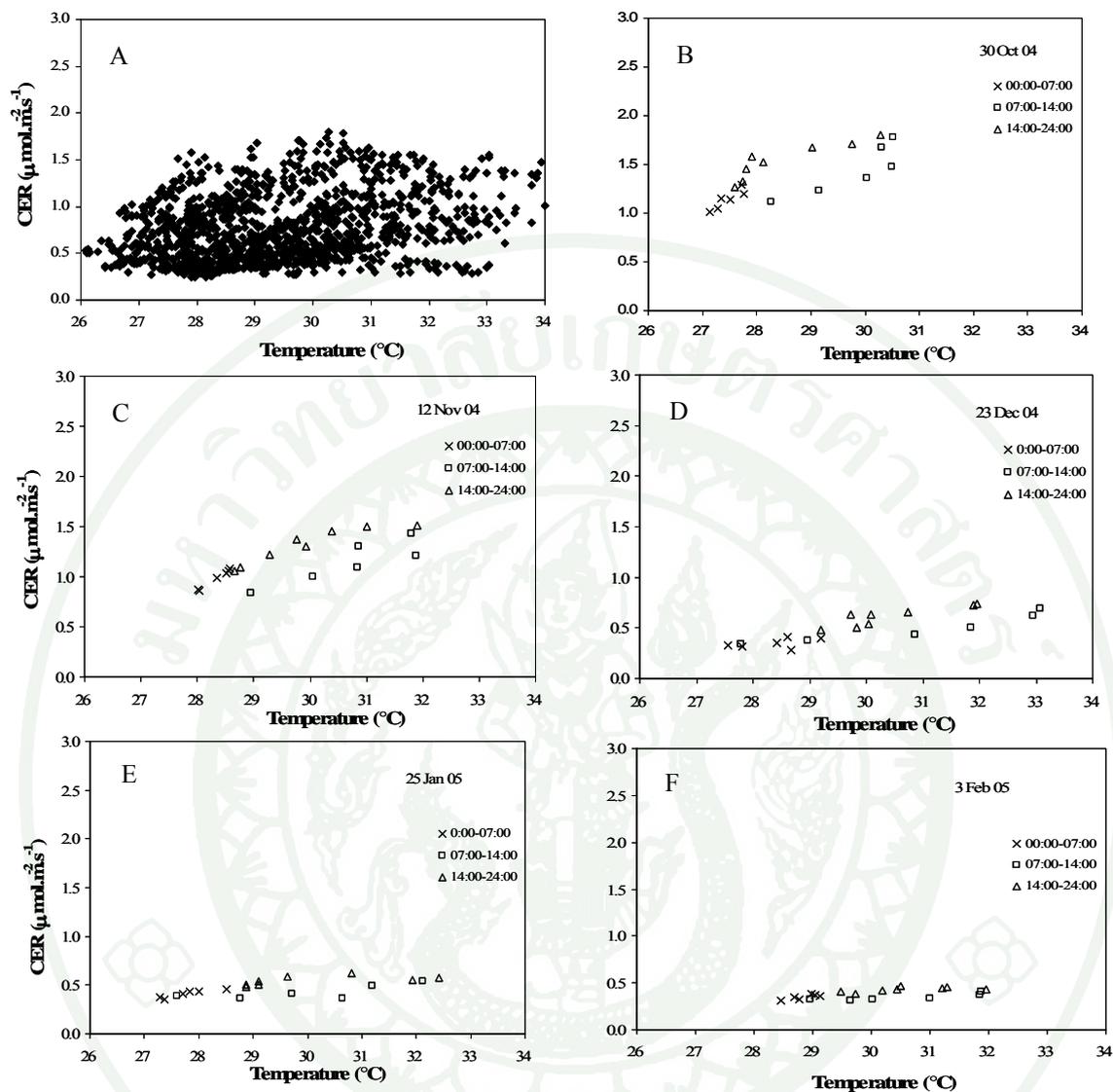
### อิทธิพลของอุณหภูมิต่อ CER ในช่วงเวลาหนึ่งวัน

ในวันที่ 12 พฤศจิกายน 2547 พบความสัมพันธ์ทางบวก ระหว่างอัตราการแลกเปลี่ยนก๊าซคาร์บอน ไดออกไซด์ของลำต้นยางพารากับอุณหภูมิของลำต้นในรอบวัน (ภาพที่ 29) โดยในช่วงเวลาเช้าเมื่ออุณหภูมิเพิ่มขึ้น อัตราการแลกเปลี่ยนก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ของลำต้นเพิ่มขึ้นเช่นกัน และในช่วงบ่ายจนถึงเที่ยงคืนอุณหภูมิลดลง CER ของลำต้นลดลงเช่นกัน ในขณะที่ช่วงเวลากลางเที่ยงคืนถึงเช้า อุณหภูมิลดลงเล็กน้อย ค่า CER ยังคงแปรผันตามอุณหภูมิ แต่เมื่อพิจารณาที่ระดับอุณหภูมิเดียวกัน ค่า CER ในช่วงเวลาเช้า (8.00-14.00 น.) ที่อุณหภูมิมีแนวโน้มเพิ่มมากขึ้น จะมีค่าน้อยกว่า CER ในช่วงบ่าย (15.00-0.00 น.) ที่อุณหภูมิมีแนวโน้มลดลง

เมื่อพิจารณาภาพรวมของความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการแลกเปลี่ยนก๊าซคาร์บอน ไดออกไซด์ของลำต้นยางพารากับอุณหภูมิ ในช่วงเวลาหนึ่งวัน ตลอดหลายเดือนที่ทำการทดลอง ระหว่าง 30 ตุลาคม 2547 ถึง 8 กุมภาพันธ์ 2548 (ภาพที่ 30 A) ไม่พบความสัมพันธ์ระหว่าง CER กับ อุณหภูมิ แต่เมื่อแยกวิเคราะห์ในแต่ละวันจะพบลักษณะความสัมพันธ์ในแต่ละวัน คล้ายคลึงกับลักษณะที่พบในวันที่ 12 พฤศจิกายน 2547 โดยความแตกต่างระหว่าง CER ในช่วงเช้า กับ CER ในช่วงบ่ายที่ระดับอุณหภูมิเดียวกันมีมาก ในช่วงแรกของการทดลอง (30 ตุลาคม 2547) และลดลงตามลำดับจนกระทั่งพบความแตกต่างน้อยที่สุด ในช่วงท้ายการทดลอง (8 กุมภาพันธ์ 2548) ซึ่งความแตกต่างระหว่าง CER ในช่วงเช้า และช่วงบ่ายมีแนวโน้มลดลงไปในทิศทางเดียวกันกับการเปลี่ยนแปลงของอัตราการแลกเปลี่ยนก๊าซคาร์บอน ไดออกไซด์



ภาพที่ 29 (A) อุณหภูมิของลำต้นภายใน chamber (B) อัตราการแลกเปลี่ยนก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ของลำต้น และ (C) ความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการแลกเปลี่ยนก๊าซ CO<sub>2</sub> ของลำต้นกับอุณหภูมิของลำต้น ในช่วงระยะเวลาต่าง ๆ ในรอบวันของต้น A2 ไม่เปิดกรีดยาง ที่ตำแหน่ง X<sub>1,0</sub> ในวันที่ 12 พฤศจิกายน 2547



ภาพที่ 30 ความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการแลกเปลี่ยนก๊าซกับอุณหภูมิของลำต้นยางพารา

A ความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการแลกเปลี่ยนก๊าซกับอุณหภูมิของต้น A2 (ต้นที่ไม่เปิดกรีด) ที่ตำแหน่ง  $X_{1,0}$  ระหว่างตุลาคม 2547 ถึง กุมภาพันธ์ 2548

B ความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการแลกเปลี่ยนก๊าซกับอุณหภูมิของลำต้น 30 ตุลาคม 2547

C ความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการแลกเปลี่ยนก๊าซกับอุณหภูมิของลำต้น 12 พฤศจิกายน 2547

D ความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการแลกเปลี่ยนก๊าซกับอุณหภูมิของลำต้น 23 ธันวาคม 2547

E ความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการแลกเปลี่ยนก๊าซกับอุณหภูมิของลำต้น 25 มกราคม 2548

F ความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการแลกเปลี่ยนก๊าซกับอุณหภูมิของลำต้น 3 กุมภาพันธ์ 2548

## สรุปและข้อเสนอแนะ

### สรุป

ระบบ multi chamber ที่พัฒนาขึ้นสามารถใช้ประเมินอัตราการแลกเปลี่ยนก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ของลำต้นได้ 20 ตำแหน่งในช่วงเวลาเดียวกันอย่างมีประสิทธิภาพดี สามารถใช้งานได้อย่างต่อเนื่อง โดยสามารถควบคุมพารามิเตอร์ต่าง ๆ ที่จำเป็นได้ดี เช่น ความแตกต่างของความเข้มข้นก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ที่ เข้าและออกจาก chamber และอัตราการไหลของอากาศผ่านเข้าสู่ chamber

อัตราการแลกเปลี่ยนก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ มีค่ามากที่สุดในช่วงปลายเดือนตุลาคมถึงต้นเดือนพฤศจิกายนและมีแนวโน้มลดลง เมื่อเข้าสู่ฤดูหนาวและฤดูแล้ง ซึ่งต้นยางพาราช่วงผลัดใบ (ปลายเดือนธันวาคมถึงต้นเดือนกุมภาพันธ์) อัตราการแลกเปลี่ยนก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ในต้นที่เปิดกรีดและใช้สารเร่งน้ำยางมีค่ามากกว่า ต้นที่ไม่เปิดกรีดยาง โดยต้นที่เปิดกรีดยางและใช้สารเร่งน้ำยางมีอัตราการแลกเปลี่ยนก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ มากกว่าต้นที่เปิดกรีดยางแต่ไม่ใช้สารเร่งน้ำยาง และพบความแตกต่างของอัตราการแลกเปลี่ยนก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ที่ตำแหน่งต่าง ๆ ของลำต้นใน 9 จาก 14 การทดลองย่อย ในขณะที่ไม่พบความสัมพันธ์ระหว่าง อัตราการแลกเปลี่ยนก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์เฉลี่ยในรอบวันกับอุณหภูมิเฉลี่ยในรอบวัน แต่พบความสัมพันธ์ระหว่าง อัตราการแลกเปลี่ยนก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์กับอุณหภูมิในช่วงเวลาในรอบหนึ่งวัน

### ข้อเสนอแนะ

การทดลองครั้งนี้จำกัด ด้วยช่วงระยะเวลาระหว่างตุลาคมถึงกุมภาพันธ์ จึงควรขยายเวลาศึกษาให้ครอบคลุมทั้งปี และการศึกษาอิทธิพลของอุณหภูมิเพียงอย่างเดียวต่อการตอบสนองของอัตราการแลกเปลี่ยนก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ของลำต้นยางพารา แต่เนื่องจากในสภาพจริงมีปัจจัยสิ่งแวดล้อมอื่น ๆ เช่น การขาดน้ำ ความชื้นของดินและอากาศ ความเข้มข้นของก๊าซออกซิเจนและคาร์บอนไดออกไซด์ อายุของพืช การผลัดใบ จึงควรมีการศึกษาเพิ่มเติมร่วมกับปัจจัยสิ่งแวดล้อมอื่น ๆ เพื่อใช้อธิบายผลของการจัดสรรคาร์บอน และรักษาสมดุลของการเปลี่ยนแปลงกระบวนการเมตาบอลิซึมในระดับลำต้นยาง ซึ่งเกี่ยวข้องกับผลผลิตของน้ำยาง

## เอกสารและสิ่งอ้างอิง

ปีทมา ชนะสงคราม. 2539. โครงสร้างของเปลือกยาง ท่อน้ำยาง และผลผลิต. วารสารยางพารา. 16 (1): 5-21.

มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์. 2551. การปลูกยางพารา. ยางพารา. แหล่งที่มา : <http://www.ku.ac.th/agi/rubber/main-rubber.htm>, 15 กรกฎาคม 2552.

รัตน์ เพชรจันทร์. 2514. ยางพารา. สำนักงานกองทุนสงเคราะห์สวนยางกระทรวงเกษตรและสหกรณ์, กรุงเทพฯ.

เรวัตติ เลิศฤทัยโยธิน. 2541. ยางพารา, น.416-445. ใน นพพร สายัมพล เรวัตติ เลิศฤทัยโยธิน รังสฤษฏ์ กาวีตะ และสนธิชัย จันท์เปรม, บรรณาธิการ. **พืชเศรษฐกิจ**. มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, กรุงเทพฯ.

ศูนย์วิจัยการยาง กรมวิชาการเกษตร. 2514. รายงานการทดลองยางเร่งน้ำยางอีเทรล พ.ศ. 2513-14. กรุงเทพฯ.

\_\_\_\_\_. 2520. คำบรรยายวิชายางสำหรับฝึกอบรมเจ้าหน้าที่. กรมวิชาการเกษตร. กรุงเทพฯ.

สถาบันวิจัยยาง. 2542. คำแนะนำพันธุ์ยางปี 2542. กรมวิชาการเกษตร กระทรวงเกษตรและสหกรณ์, กรุงเทพฯ.

\_\_\_\_\_. 2542. ผลงานวิจัยและพัฒนายางประจำปี 2541, น. 41-47. ใน การประชุมวิชาการยางพารา ครั้งที่ 2. กรมวิชาการเกษตร กระทรวงเกษตรและสหกรณ์, กรุงเทพฯ.

\_\_\_\_\_. 2545. ข้อมูลวิชาการยางพารา. กรมวิชาการเกษตร กระทรวงเกษตรและสหกรณ์, กรุงเทพฯ.

สถาบันวิจัยยาง. 2546. **คำแนะนำพันธุ์ยางปี 2546**. กรมวิชาการเกษตร กระทรวงเกษตรและสหกรณ์, กรุงเทพฯ.

\_\_\_\_\_. 2547. **คำแนะนำการปลูกยางพาราในภาคเหนือ**. กรมวิชาการเกษตร กระทรวงเกษตรและสหกรณ์, กรุงเทพฯ.

\_\_\_\_\_. 2550. **คำแนะนำพันธุ์ยางปี 2550**. กรมวิชาการเกษตร กระทรวงเกษตรและสหกรณ์, กรุงเทพฯ.

\_\_\_\_\_. 2552. การกรีดยาง. ยางพารา. แหล่งที่มา:  
<http://www.yangpara.com/tapping/tapping1.htm#tap1>, 2 สิงหาคม 2552.

สนิท สโมสร. 2524. ยางพารา: **พืชสำคัญของภาคใต้**. คณะทรัพยากรธรรมชาติ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์.

สมควร ศิริศมี. 2545. การทำสวนยางพารา. บริษัทแสงปัญญาเลิศ จำกัด, กรุงเทพฯ.

สมศักดิ์ วรรณศิริ. 2531. ยางพารา. สำนักพิมพ์ฐานเกษตรกรรม, กรุงเทพฯ.

สุรศักดิ์ สุทธิสงค์. 2532. **วิทยาศาสตร์ของน้ำยางธรรมชาติ**. สถาบันวิจัยยาง กรมวิชาการเกษตร กระทรวงเกษตรและสหกรณ์, กรุงเทพฯ.

สำนักงานเศรษฐกิจการเกษตร. 2552. มูลค่าสินค้าเกษตรส่งออกที่สำคัญ นำเข้าส่งออก. นำเข้า-ส่งออก. แหล่งที่มา: <http://www.oae.go.th/main.php?filename=agri-production>, 15 กรกฎาคม 2552.

องค์การสวนยาง. 2551. ประวัติยางพารา. แหล่งที่มา: <http://www.reothai.co.th/Para1.htm>, 15 กรกฎาคม 2552.

- เอกชัย พฤษชัยอำไพ. 2547. **คู่มือยางพารา**. พิมพ์ครั้งที่ 1. บริษัทเฟ้ท-แพล้น พับลิชชิง. กรุงเทพฯ.
- อุดม พูลเกษ. 2541. ยางพารา, น. 196-202. ใน **วาสนา วงษ์ใหญ่** วิทยา แสงแก้วสุข รั้งสถยภักดิ์ กาวีดิษฐ์ และอุดม พูลเกษ, บรรณาธิการ. **พฤกษศาสตร์พืชเศรษฐกิจ**. มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, กรุงเทพฯ.
- Amthor, J.S. 1984. The role of maintenance respiration in plant growth. **Plant Cell Environ.** 7: 561-569.
- Bhatia, C.R. and R. Rabson. 1976. Bioenergetic considerations in CEReal breeding for protein improvement. **Science** 194: 1418-1421.
- Bryce, J.H. and J.M. Thornton. 1996. Respiration and growth Metabolism, pp.43-61. In E. Zamski, and A.A. Schaffer, eds. **Photoassimilate Distribution in plants and Crops, Source-Sink Relationships**. Marcel Dekker Inc., New York.
- Cobley, L.S. and W.M. Steele. 1976. **The Botany of Tropical Crops**. The English Language Book Society, Longman, London.
- De Fay, E. and J. L. Jacob. 1989. Anatomical organization of the laticiferous system in the brak, pp. 3-14. In J. d'Auzac, J.L. Jacob and H. Chrestin, eds. **Physiology of Rubber Tree Latex**. CRC Press, Florida.
- Esau, K. 1967. **Anatomy of Seed Plants**. John Wiley and Sons Inc., New York.
- Gary, C., N. Bertin, J.S. Frossard and J. Le Bot. 1998. High mineral contents explain the low construction cost of leaves, stems, and fruits of tomato plants. **J. Exp. Bot.** 49: 49-57.

- Griffin, K.L. 1994. Calorimetric estimates of construction cost and their use in ecological studies. **Functional Ecology** 8: 551-562.
- \_\_\_\_\_, R.B. Thomas and B.R. Strain. 1993. Effect of nitrogen supply and elevated carbon dioxide on construction cost in leaves of *Pinus taeda* (L.) seedlings. **Oecologia**. 95: 575-580.
- Jacob, J.L., J.C. Prevot and R.G.O. Kekwick. 1989. General metabolism *Hevea brasiliensis* latex, pp. 102-141. In J. d'Auzac and H. Chrestin, eds. **Physiology of Rubber Tree Latex**. CRC Press. Inc. Boca Raton, Florida.
- \_\_\_\_\_, R. Lacrotte, A. Clement, E. Serres and E. Gohet. 1995. Typologie Clonale du fonctionnement des laticiferes chez *Hevea brasiliensis*. **Plantations Recherche Developpement**. 2 (5): 43-49.
- Kekwick, R.G. 2001. **Latex and laticifers**. Encyclopedia of life sciences. University of Birmingham, Birmingham, UK.
- Kositsup, B. 2009. **Photosynthesis of Rubber (*Hevea brasiliensis* Muell. Arg.) Effect of Temperature, Leaf Age and Season**. PhD thesis, Tropical Agriculture, Kasetsart University.
- Lafitte, H.R. and R.S. Loomis. 1988. Calculation of growth yield, growth respiration and heat content of grain sorghum from elemental and proximal analysis. **Ann. Bot.** 62: 353-361.
- Lacrotte, R., H. Van De Sype and H. Chrestin. 1985. Influence de ethylene sur l'utilisation du saccharose exogene par la laticiferes d' *Hevea brasileinsis*: proposition d'un mecanisme d' action. **Physiol. Veg.** 23: 187.

Loomis, R.S. and D.J. Conners. 1992. Productivity and management in agricultural systems. **Crop Ecology**. Cambridge University Press, Cambridge, UK.

McCree, K.J. 1970. An equation for the rate of respiration of white clover plants grown under controlled conditions. *In* R.S. Loomis and D.J. Conners, eds. **Crop Ecology**. Cambridge University Press, Cambridge, UK.

Nugawela, A., S.P. Long and R.K. Aluthewage. 1995. Possible use of certain physiological characteristics of young *Hevea* plants in predicting yield at maturity. **Indian Journal of Natural Rubber Research** 8(2): 100-108.

Penning de Vries, F.W.T. 1972. Respiration and growth, pp. 327-347. *In* A.P. Rees, K.E. Cockshull, D.W. Hand and R.J. Hurd, eds. **Crop Processes in Controlled Environments**. Academic Press, London.

\_\_\_\_\_, A.H.M. Brunsting and H.H. Van Laar. 1974. Products, requirements and efficiency of biological synthesis, a quantitative approach. **J. Theor. Biol.** 45: 339-377.

\_\_\_\_\_. 1975. The cost of maintenance processes in plant cells. **Ann Bot.** 39: 77-92.

Piha, M.I. and D.N. Munns. 1987. Nitrogen fixation potential of bean (*Phaseolus vulgaris* L.) compared with other grain legumes under controlled conditions. **Plant Soil.** 98: 169-182.

Purseglove, J.W. 1968. **Tropical Crops Dicotyledon**. Longman, London.

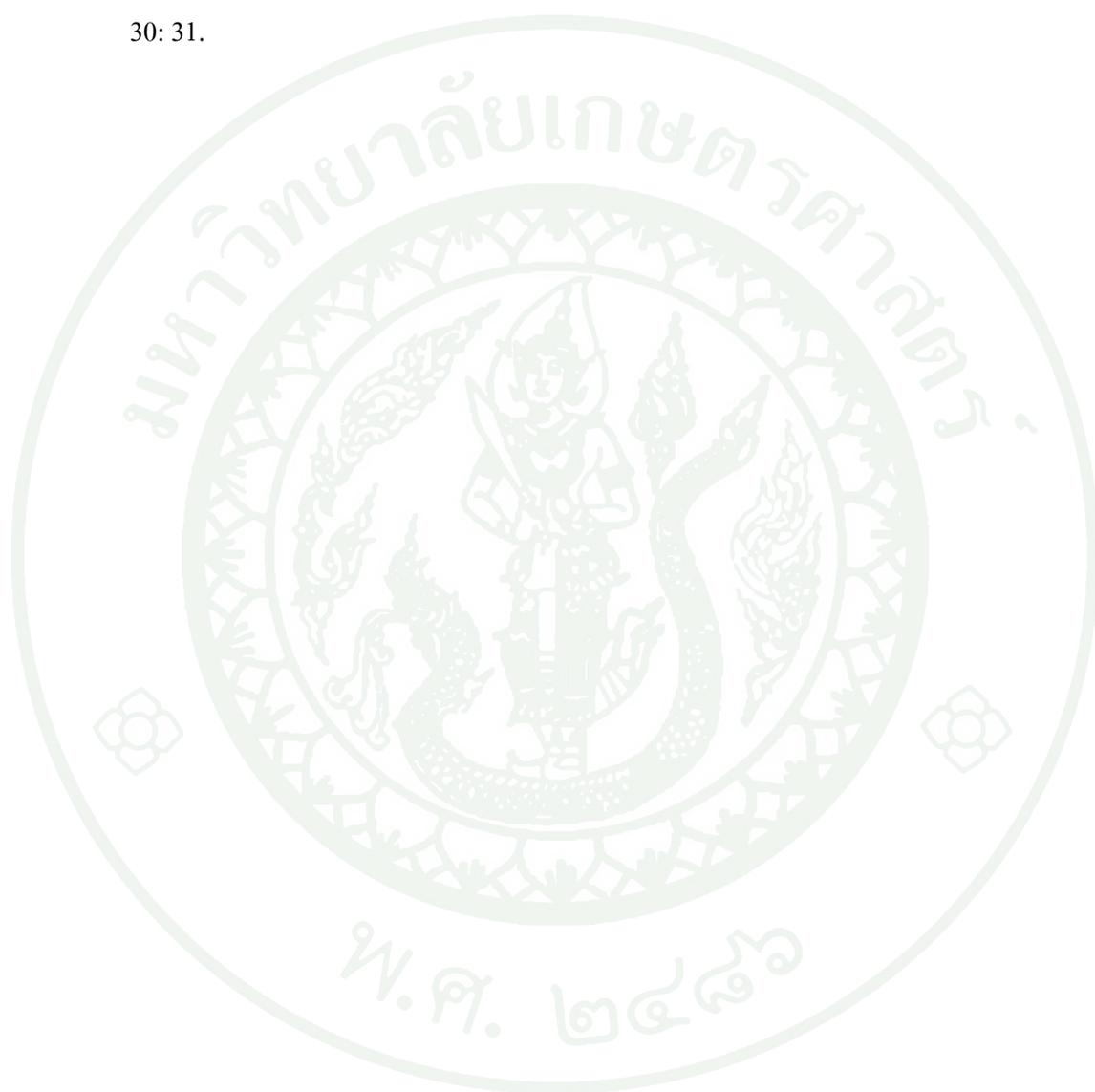
Ryan, M.G. 1991a. The effect of climate change on plant respiration. **Ecol Appl.** 1: 157-167

\_\_\_\_\_. 1991b. A simple method for estimating gross carbon budgets for vegetation in forest ecosystems. **Tree Physiol.** 9: 255-266.

- Sangsing, K., Roux, X. L., Kasemsap, P., Thanisawanyangkura, S., Sangkhasila, K., Gohet, E. and Thaler, P., 2004. Photosynthetic capacity and effect of drought on leaf gas exchange in two rubber (*Hevea brasiliensis*) clones. **Kasetsart Journal (Natural Science)** 38: 111-122.
- Silbury, J.H. 1977. Energy requirements of symbiotic nitrogen fixation. **Nature** 267: 1149-1150.
- Silpi, U., P. Chantuma, J. Kosaisawe, S. Thanisawantangkura and E. Gohet. 2001. Distribution Pattern of Latex Sucrose and Metabolic Activity in Response to Tapping and Ethrel Stimulation in Latex Producing Bark of *Hevea Brasiliensis* Müll. Arg. In "**Annual IRRDB Meeting 2001**" September, 2001. Montpellier, France
- \_\_\_\_\_. 2005. **Carbon Parttitioning in *Hevea brasiliensis* Muell. Arg. : Dynamics among Functional Sinks (Latex Regeneration, Respiration, Growth, and Reserves) at Trunk Scale.** PhD thesis, Tropical Agriculture, Kasetsart University.
- \_\_\_\_\_, A. Chantuma, P. Kasemsap, P. Thaler, S. Thanisawanyangkura, A. Lacoite, B Adam, T. Améglio and E. Gohet. 2006. Effect of tapping activity on the dynamics of radial growth of *Hevea brasiliensis* trees. **Tree Physiology** 26: 1579–1587.
- Taiz, L. and E. Zeiger. 2002. **Plant physiology.** 3<sup>rd</sup> ed. Sinauer Associates. Sunderland, MA.
- Webster, C.C. and W.J. Baulkwill. 1989. **Rubber.** Longman Group Ltd., UK.
- Wilson, D. and J.G. Jones. 1982. Effect of selection for dark respiration rate of mature leavae on crop yields of *Lolium perenne* cv.S23. **Ann Bot.** 49: 313-320.
- Whittaker, R.H. and G.M. Woodwell. 1967. Surface area relations of woody plants and forest communities. **Am J Bot.** 54: 931-939

Wright, H. 1912. *Hevea Brassiliensis or Para Rubber*. Maclaren & Sons Ltd., London.

Yeang, H.Y. and K. Paranjothy. 1982. Initial physiological changes in Hevea latex and latex flow characteristics associated with intensive tapping. **J. Rubber Res. Inst. Malays.** 30: 31.







ภาพผนวกที่ 1 แผนที่แสดงตำแหน่งแปลงทดลอง TE01 ของศูนย์วิจัยยางฉะเชิงเทรา

ที่มา: โครงการจัดทำระบบข้อมูลทรัพยากร กรมวิชาการเกษตร

### ศูนย์วิจัยยางฉะเชิงเทรา

ที่ตั้ง พิกัด  $13^{\circ} 39.56'N$ ;  $101^{\circ} 26.29'E$  สูงจากระดับน้ำทะเล 69 เมตร อุณหภูมิอากาศช่วง  $17.7-36.6^{\circ}C$  ความชื้นสัมพัทธ์อากาศ 69.5% ปริมาณน้ำฝนเฉลี่ย 1,157 มม./ปี ในปี 2547-2548 ชุดดินเป็นชุดกบินทร์บุรี ลักษณะดินเป็นดินร่วนเหนียว ปนทราย ถึง ดินเหนียวปนทราย มีฤดูแล้งประมาณ 5 เดือนตั้งแต่เดือนธันวาคม ถึงเดือนเมษายน เริ่มฤดูการกรีดยางเดือนพฤษภาคมและหยุดกรีดยางเดือนมกราคม (เปิดกรีดยาง 9 เดือน ปิดกรีดยาง 3 เดือน ซึ่งเป็นช่วงที่ต้นยางผลัดใบ)

### แปลงทดลอง TE01

ซึ่งปลูกยางพาราพันธุ์ RRIM 600 ในปี พ.ศ.2536 ระยะห่างระหว่างต้น 2.5 เมตร และระยะห่างระหว่างแถว 7.0 เมตร เปิดกรีดยางที่ความสูง 1.3 เมตร จากพื้นดิน ในปี พ.ศ. 2544 ต้นที่เปิดกรีดยางใช้ระบบกรีดยาง 1/2 S d/3 d/4 เป็นการกรีดยาง ครั้งละต้น เปิดกรีดยาง 2 ครั้งต่อสัปดาห์ในวันพุธ และวันเสาร์



ภาพผนวกที่ 2 เครื่องตรวจวัดความเข้มข้นของก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ (Infrared gas analyzer)  
Portable photosynthesis รุ่น LI-6200 (Licor Inc., U.S.A.)

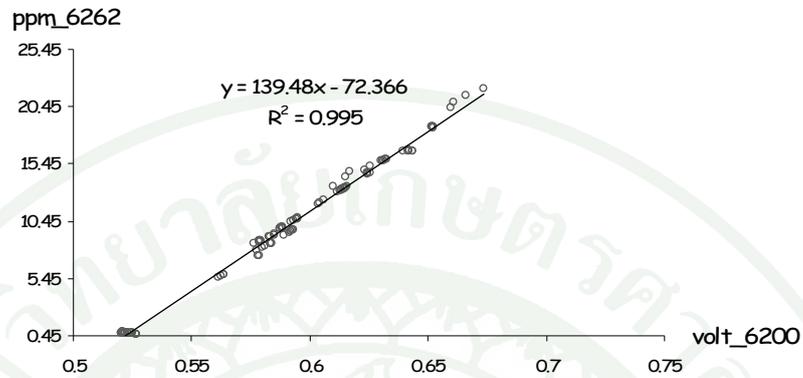
ที่มา: <http://envsupport.licor.com>



ภาพผนวกที่ 3 เครื่องวัดอัตราการไหลของอากาศ TSI® รุ่น 4100 (TSI Inc., U.S.A)

ที่มา: <http://www.tsi.com>

LICOR-6262(ppm) to LICOR6200(volt)



ภาพผนวกที่ 4 ค่า constant เพื่อใช้แปลงค่า voltage จาก IRGA ของ LI-6200 เป็นค่าความแตกต่างของ CO<sub>2</sub> ระหว่าง sample กับ reference

ค่า constant คำนวณได้จาก slope ของสมการเส้นตรงของกราฟความสัมพันธ์ระหว่างค่าความแตกต่างของ CO<sub>2</sub> ระหว่าง sample กับ reference air (ppm\_6262) ที่วัดด้วย LI-6262 กับค่า voltage ของ LI-6200

ตารางผนวกที่ 1 ข้อมูลทางอุตุนิยมวิทยาของศูนย์วิจัยยางยะเชิงเทราในปี พ.ศ. 2547

เดือน	อุณหภูมิ (°C)			ความชื้น (%)			น้ำ			จำนวน วันฝนตก (วัน)
	สูงสุด	ต่ำสุด	เฉลี่ย	สูงสุด	ต่ำสุด	เฉลี่ย	ระเหย (มม.)	แสงแดด (ชม.)	ฝน (มม.)	
ม.ค.	33.0	19.9	26.5	94	27	61	5.0	7.4	15.8	5
ก.พ.	33.2	20.5	26.9	93	30	61	5.2	7.8	27.9	5
มี.ค.	35.4	23.4	29.4	95	36	65	6.1	7.0	91.4	7
เม.ย.	36.6	24.5	30.6	95	33	64	6.3	8.0	99.9	8
พ.ค.	34.1	25.0	29.6	96	46	71	5.1	6.0	91.9	10
มิ.ย.	33.0	24.3	28.6	97	53	75	5.0	4.8	180.2	18
ก.ค.	33.2	24.4	28.8	98	49	74	4.8	4.8	123.5	20
ส.ค.	32.4	24.4	28.4	98	52	75	4.8	5.1	166.3	15
ก.ย.	32.5	23.9	28.2	96	50	73	4.2	4.7	183	15
ต.ค.	32.6	22.5	27.5	96	41	68	4.9	8.0	81.7	4
พ.ย.	34.2	21.8	28.0	93	29	61	5.8	9.0	0.0	0
ธ.ค.	32.7	17.7	25.2	90	19	55	5.5	8.9	0.0	0
รวม	402.9	272.3	337.6	1141	465	803	62.7	81.6	1061.6	107
เฉลี่ย	33.6	22.7	28.1	95	39	67	5.2	6.8	88.5	9

ที่มา: สถานีอุตุนิยมวิทยาของศูนย์วิจัยยางยะเชิงเทรา

ตารางผนวกที่ 2 ข้อมูลทางอุตุนิยมวิทยาของศูนย์วิจัยยางยะเชิงเทราในปี พ.ศ. 2548

เดือน	อุณหภูมิ (°C)			ความชื้น (%)			น้ำ			จำนวน วันฝนตก (วัน)
	สูงสุด	ต่ำสุด	เฉลี่ย	สูงสุด	ต่ำสุด	เฉลี่ย	ระเหย (มม.)	แสงแดด (ชม.)	ฝน (มม.)	
ม.ค.	32.9	19.3	26.4	89	24	57	4.7	7.1	0.4	1
ก.พ.	36.5	22.4	29.5	96	25	61	5.4	7.9	0	0
มี.ค.	35.4	23.1	29.2	95	33	64	5.7	6.6	69.3	9
เม.ย.	35.1	24.6	29.9	97	43	70	5.4	7	119.6	8
พ.ค.	35.4	24.6	30.5	97	45	71	5.3	6.3	116.9	10
มิ.ย.	33.9	25.4	29.7	98	52	75	5.3	5.8	91.3	10
ก.ค.	32.9	24.9	28.9	99	49	74	4.6	3.9	108.1	14
ส.ค.	32.8	24.4	28.6	97	58	78	4.8	3.9	149.4	14
ก.ย.	32.3	24	28.2	99	64	82	4.4	4.3	350.5	21
ต.ค.	32.2	23.6	27.9	97	62	80	4.4	6.2	111	11
พ.ย.	31.8	22.4	27.1	98	58	78	3.9	6.9	117	6
ธ.ค.	29.9	20	25	90	50	70	4.4	5.8	18.2	3
รวม	401.1	279.7	340.9	1152	563	860	58.3	71.7	1251.7	107
เฉลี่ย	33.4	23.3	28.4	96	47	72	4.9	6	104.3	9

ที่มา: สถานีอุตุนิยมวิทยาของศูนย์วิจัยยางยะเชิงเทรา

## ประวัติการศึกษาและการทำงาน

ชื่อ-นามสกุล	นายพงษ์พันธุ์ ศิริพรภักดีกุล
วัน เดือน ปี ที่เกิด	11 มิถุนายน 2522
สถานที่เกิด	อำเภอควนขนุน จังหวัดพัทลุง
ประวัติการศึกษา	วิทยาศาสตรบัณฑิต (เกษตรศาสตร์) สาขาพืชไร่นา มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ (พ.ศ. 2544)
ตำแหน่งหน้าที่การงานปัจจุบัน	เลขานุการผู้เชี่ยวชาญจากฝรั่งเศส
สถานที่ทำงานปัจจุบัน	French Agricultural Research Centre for International Development (CIRAD) ประจำประเทศไทย
ผลงานดีเด่นและรางวัลทางวิชาการ	-
ทุนการศึกษาที่ได้รับ	-