



วิทยานิพนธ์

การศึกษาต้นทุนด้านพลังงานในการสร้างมวลชีวภาพ
และองค์ประกอบทางชีวเคมีของน้ำยาง

**STUDY ON THE BIOENERGETIC COSTS OF BIOMASS AND
BIOCHEMICAL COMPONENTS OF PARA RUBBER LATEX**

นางสาวกาญจนา ดู่กั๋

บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

พ.ศ. 2550



ใบรับรองวิทยานิพนธ์

บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

วิทยาศาสตร์มหาบัณฑิต (เกษตรศาสตร์)

ปริญญา

พืชไร่นา

พืชไร่นา

สาขา ภาควิชา

เรื่อง การศึกษาต้นทุนด้านพลังงานในการสร้างมวลชีวภาพและองค์ประกอบทางชีวเคมี
ของน้ำยาง

Study on the Bioenergetic Costs of Biomass and Biochemical Components of Para
Rubber Latex

นามผู้วิจัย นางสาวกาญจนา ลุ่งกี

ได้พิจารณาเห็นชอบโดย

ประธานกรรมการ

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์พูนพิภพ เกษมทรัพย์, Ph.D.)

กรรมการ

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์สรปราชญ์ ธนาสิริวรรณ, Dr.Sci.)

กรรมการ

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ปราโมทย์ สฤตสินรัตน์, Dr.Ing.)

หัวหน้าภาควิชา

(รองศาสตราจารย์สนธิชัย จันทน์เปรม, Ph.D.)

บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์รับรองแล้ว

รองศาสตราจารย์วินัย) อาจคงหาญ, M.A.

คณบดีบัณฑิตวิทยาลัย

วันที่ เดือน พ.ศ.

วิทยานิพนธ์

เรื่อง

การศึกษาต้นทุนด้านพลังงานในการสร้างมวลชีวภาพและองค์ประกอบทางชีวเคมีของน้ำยาง

Study on the Bioenergetic Costs of Biomass and Biochemical Components of Para Rubber Latex

โดย

นางสาวกาญจนา ลุ่งกี

เสนอ

บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

เพื่อความสมบูรณ์แห่งปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต (เกษตรศาสตร์)

พ.ศ. 2550

กาญจนา ลุ่ง่ 2550: การศึกษาต้นทุนด้านพลังงานในการสร้างมวลชีวภาพและองค์ประกอบทางชีวเคมีของน้ำยาง ปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต (เกษตรศาสตร์) สาขาวิชาพืชไร่นา ภาควิชาพืชไร่นา ปรธานกรรมการที่ปรึกษา: ผู้ช่วยศาสตราจารย์พูนพิภพ เกษมทรัพย์, Ph.D. 98 หน้า

วัตถุประสงค์ในการศึกษาเพื่อประเมินต้นทุนด้านพลังงานในการสร้างมวลชีวภาพของส่วนต่าง ๆ ของต้นยางและปริมาณของแข็งทั้งหมดในน้ำยางด้วยวิธีวิเคราะห์ธาตุที่เป็นองค์ประกอบของมวลชีวภาพ และเพื่อศึกษาอิทธิพลของสารเอทีฟอนต่อต้นทุนด้านพลังงานในการสร้างปริมาณของแข็งทั้งหมดในน้ำยางและองค์ประกอบทางชีวเคมีในน้ำยาง ผลการวิเคราะห์ธาตุที่เป็นองค์ประกอบของมวลชีวภาพ พบว่า เกือบทุกส่วนของยางพาราพันธุ์ RRIM600 ได้แก่ แผ่นใบ ก้านใบ แผ่นใบร่วง ก้านใบร่วง เนื้อไม้ เปลือกไม้ รากแก้ว รากแขนงใหญ่ รากแขนงเล็ก กิ่งแก่สีน้ำตาล กิ่งอ่อนสีเขียว เนื้อเมล็ด และเปลือกเมล็ด มีปริมาณคาร์บอนมากที่สุด รองลงมาคือออกซิเจน ไฮโดรเจน ไนโตรเจน และซัลเฟอร์ ตามลำดับ ยกเว้นเปลือกของรากแก้วที่พบว่ามีปริมาณธาตุออกซิเจนมากที่สุด รองลงมาได้แก่ คาร์บอน ไฮโดรเจน ไนโตรเจน และซัลเฟอร์ตามลำดับ และเมื่อคำนวณต้นทุนด้านพลังงานในการสร้างมวลชีวภาพโดยเทียบเป็นมวลของกลูโคสที่ใช้ในการสร้างมวลชีวภาพ 1 กรัม พบว่าต้นทุนในการสร้างเนื้อเมล็ดมากที่สุด รองลงมาคือ แผ่นใบ แผ่นใบร่วง ก้านใบร่วง ก้านใบ เนื้อไม้ กิ่งแก่สีน้ำตาล รากแขนงใหญ่ เปลือกเมล็ด เปลือกไม้ กิ่งอ่อนสีเขียว รากแก้ว รากแขนงเล็ก และเปลือกรากแก้ว ตามลำดับ ผลการวิเคราะห์ธาตุที่เป็นองค์ประกอบของมวลชีวภาพในน้ำยางทั้ง 3 พันธุ์ พบปริมาณธาตุคาร์บอนมีมากที่สุด รองลงมาคือ ไฮโดรเจน ออกซิเจน ไนโตรเจน และซัลเฟอร์ตามลำดับ ต้นทุนด้านพลังงานในการสร้างปริมาณของแข็งทั้งหมดในน้ำยางช่วงฤดูกรีดของพันธุ์ PB235 ใกล้เคียงกับพันธุ์ GT1 และมากกว่าพันธุ์ RRIM600 นอกจากนี้ พบว่าพันธุ์ RRIM600 และ GT1 ใช้กลูโคสในการสร้างปริมาณของแข็งทั้งหมดในน้ำยาง 1 กรัมมากที่สุดในเดือนธันวาคม แต่พันธุ์ PB235 ใช้มากที่สุดในเดือนมกราคม และพบอิทธิพลของสารเอทีฟอนทำให้องค์ประกอบทางชีวเคมีในน้ำยางและต้นทุนในการสร้างปริมาณของแข็งทั้งหมดในน้ำยางเปลี่ยนแปลงในยางพาราทั้ง 3 พันธุ์

Kanjana Lungkee 2007: Study on the Bioenergetic Costs of Biomass and Biochemical Components of Para Rubber Latex. Master of Science (Agriculture), Major Field: Agronomy, Department of Agronomy. Thesis Advisor: Assistant Professor Poonpipope Kasemsap, Ph.D. 98 pages.

The objectives of this study were to evaluate bioenergetic costs of biomass and total solid content (TSC) of latex of Para Rubber by elemental analysis method and to study the effects of ethephon on bioenergetic costs of biomass and TSC of latex. The results showed that most parts of rubber tree clone RRIM600 including leaf, petiole, fallen leaf, fallen petiole, trunk wood, trunk bark, taproot wood, lateral root, fibrous root, brown branch, green branch, seed endosperm and seed coat contained large amount of C, and smaller amount of O, H, N, and S, respectively. The taproot bark, however, contained large amount of O with smaller amount of C, H, N, and S, respectively. The researcher found that seed endosperm had the greatest bioenergetic costs of biomass synthesis (specific cost for synthesis) while leaf, fallen leaf, fallen petiole, petiole, trunk wood, brown branch, lateral root, seed coat, trunk bark, green branch, taproot wood, fibrous root and taproot bark had smaller bioenergetic costs, respectively. Furthermore, element composition analysis showed that TSC of latex contained large amount of C and smaller amount of H, O, N, and S, respectively. Bioenergetic costs of TSC of PB235 and GT1 latex were similar and they were greater than that of RRIM600. The bioenergetic cost of TSC of RRIM600 and GT1 latex peaked in December while that of PB235 peaked in January. Finally, ethephon significantly affected both biochemical composition and bioenergetic costs of TSC of latex in all three rubber clones.

Student's signature

Thesis Advisor's signature

____ / ____ / ____

กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จสมบูรณ์ได้ด้วยความกรุณาเป็นอย่างสูงจาก ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. พูนพิภพ เกษมทรัพย์ ประธานกรรมการที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ ที่ให้คำปรึกษา คำแนะนำ ความรู้ ให้แง่คิด แนวทางแก้ไขปัญหา ข้อเสนอแนะและการตรวจแก้ไข ตลอดทั้งช่วยเหลือด้าน เงินทุนสนับสนุนการวิจัยตลอดระยะเวลาของการทำวิทยานิพนธ์ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. ศร ปรากฏ ฐโนสวรวรางค์กูร กรรมการวิชาเอก ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. ปราโมทย์ สฤณรัตน์ ธีรกร กรรมการวิชาการ และดร. ดวงพร วรสุนทรโรสถ ผู้แทนบัณฑิตวิทยาลัยที่กรุณาให้คำแนะนำ ปรึกษาและตรวจแก้ไขเพื่อให้วิทยานิพนธ์ฉบับนี้มีความสมบูรณ์ยิ่งขึ้น จึงขอขอบพระคุณทุกท่าน ไว้ ณ โอกาสนี้

ขอขอบพระคุณศูนย์วิจัยยางจะเข้เกรา คุณพิศมัย จันทุมมา และเจ้าหน้าที่ทุกท่านใน ห้องปฏิบัติการวิเคราะห์น้ำยาง ที่ให้คำแนะนำ ช่วยเหลือ สอนวิธีการวิเคราะห์ อำนวยความสะดวกในการใช้เครื่องมือในห้องปฏิบัติการ และอนุเคราะห์แปลงทดลอง รวมถึงพนักงานกรีดยางทุกท่านที่มาช่วยเหลือในการเก็บตัวอย่างในแปลงทดลอง

ที่สุดขอกราบขอบพระคุณคุณแม่สมศรีและครอบครัวที่ให้สติปัญญา การสนับสนุนทางด้านการ ศึกษา เป็นแรงผลักดันและให้กำลังใจตลอดมา รวมทั้งรุ่นพี่รุ่นน้องและเพื่อน ๆ ทั้งภาควิชาพืชไร่นาและพืชสวน มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ทุกคน ที่ให้ความช่วยเหลือ คำแนะนำและคอยเป็นกำลังใจในการทำวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ให้สำเร็จลุล่วงด้วยดี

กาญจนา ลุ่งกี
สิงหาคม 2550

สารบัญ

หน้า

สารบัญ	(1)
สารบัญตาราง	(2)
สารบัญภาพ	(5)
คำนำ	1
วัตถุประสงค์	3
การตรวจเอกสาร	4
ลักษณะทางชีววิทยาของยางพารา	4
กระบวนการหายใจของพืช	10
การประเมินการเจริญเติบโตและวิเคราะห์ธาตุที่เป็นองค์ประกอบหลักของพืช	13
การวิเคราะห์น้ำยาง	18
การเพิ่มประสิทธิภาพการผลิตน้ำยางโดยใช้เอทีฟอน	21
อุปกรณ์และวิธีการ	22
ผลและวิจารณ์	33
ธาตุที่เป็นองค์ประกอบหลักในส่วนต่าง ๆ ของต้นยาง	33
ประเมินต้นทุนด้านพลังงานในการสร้างส่วนต่าง ๆ ของต้นยาง	41
ธาตุที่เป็นองค์ประกอบหลักของปริมาณของแข็งทั้งหมดในน้ำยาง	53
ประเมินต้นทุนด้านพลังงานในการสร้างปริมาณของแข็งทั้งหมดในน้ำยาง	60
องค์ประกอบทางชีวเคมีในน้ำยางและผลผลิต	67
สรุป	79
เอกสารและสิ่งอ้างอิง	81
ภาคผนวก	90
คำนิยามน้ำยางพาราที่ผ่านขั้นตอนต่าง ๆ	91
ค่าอ้างอิงมาตรฐานองค์ประกอบทางชีวเคมีในน้ำยาง	93
ค่าอ้างอิงข้อมูลน้ำหนักมวลชีวภาพ	96
ประวัติการศึกษาและการทำงาน	98

สารบัญตาราง

ตารางที่	หน้า
1 การวิเคราะห์ธาตุที่เป็นองค์ประกอบหลักจากเนื้อเยื่อส่วนต่างๆ ของยางพาราพันธุ์ RRIM600	36
2 การวิเคราะห์ธาตุที่เป็นองค์ประกอบหลักจากส่วนของเนื้อไม้และเปลือกที่ระดับความสูงต่าง ๆ ของยางพาราพันธุ์ RRIM600	37
3 การวิเคราะห์ธาตุที่เป็นองค์ประกอบหลักจากส่วนของใบยางพาราพันธุ์ RRIM600	39
4 ต้นทุนด้านพลังงานในการสร้างมวลชีวภาพส่วนต่าง ๆ ของต้นยางพาราพันธุ์ RRIM600	43
5 ต้นทุนด้านพลังงานในการสร้างมวลชีวภาพส่วนเนื้อไม้และเปลือกของลำต้นยางพาราพันธุ์ RRIM600	45
6 ต้นทุนด้านพลังงานในการสร้างมวลชีวภาพส่วนใบของยางพาราพันธุ์ RRIM600	47
7 ปริมาณกลูโคสที่ใช้สร้างมวลชีวภาพเฉพาะที่มีอยู่ ณ เวลาที่เก็บข้อมูล (Standing biomass) ของต้นยางพาราพันธุ์ RRIM600	49
8 สัดส่วนของปริมาณกลูโคสที่ใช้สร้างมวลชีวภาพเฉพาะที่มีอยู่ ณ เวลาที่เก็บข้อมูล (Standing biomass) ของต้นยางพาราพันธุ์ RRIM600	50
9 การหายใจเพื่อการเจริญเติบโตในการสร้างมวลชีวภาพเฉพาะที่มีอยู่ ณ เวลาที่เก็บข้อมูล (Standing biomass) ของต้นยางพาราพันธุ์ RRIM600	51
10 ปริมาณกลูโคสที่สูญเสียไปกับการทิ้งเศษซากพืช (Littering) ในแต่ละปีของยางพาราพันธุ์ RRIM600	52
11 การหายใจเพื่อการเจริญเติบโตในการสร้างมวลชีวภาพซึ่งสูญเสียไปกับการทิ้งเศษซากพืช (Littering) ในแต่ละปีของยางพาราพันธุ์ RRIM600	53
12 วิเคราะห์ธาตุที่เป็นองค์ประกอบหลักของปริมาณของแข็งทั้งหมดในน้ำยางของยางพาราในช่วงฤดูกาลกรีดยาง	55
13 วิเคราะห์ธาตุที่เป็นองค์ประกอบหลักของปริมาณของแข็งทั้งหมดในน้ำยางเมื่อได้รับสารเอทีฟอนที่ความถี่ต่าง ๆ	59

สารบัญตาราง (ต่อ)

ตารางที่		หน้า
14	ประเมินต้นทุนด้านพลังงานในการสร้างปริมาณของแข็งทั้งหมดในน้ำยางในช่วงฤดูกาลกรีดยาง	61
15	ประเมินต้นทุนด้านพลังงานในการสร้างปริมาณของแข็งทั้งหมดในน้ำยางเมื่อได้รับสารเอทีฟอนที่ความถี่ต่าง ๆ	64
16	การตอบสนองของปริมาณน้ำตาลซูโครสของยางพารา 3 พันธุ์ ต่อการใช้สารเอทีฟอนที่ความถี่ต่าง ๆ (ในช่วงเดือนกันยายน - ตุลาคม)	73
17	การตอบสนองของปริมาณอินทรีย์ฟอสฟอรัสของยางพารา 3 พันธุ์ ต่อการใช้สารเอทีฟอนที่ความถี่ต่าง ๆ (ในช่วงเดือนกันยายน - ตุลาคม)	74
18	การตอบสนองของปริมาณไทออลของยางพารา 3 พันธุ์ ต่อการใช้สารเอทีฟอนที่ความถี่ต่าง ๆ (ในช่วงเดือนกันยายน - ตุลาคม)	75
19	การตอบสนองของปริมาณเนื้อยางแห้งของยางพารา 3 พันธุ์ ต่อการใช้สารเอทีฟอนที่ความถี่ต่าง ๆ (ในช่วงเดือนกันยายน - ตุลาคม)	76
20	การตอบสนองของปริมาณผลผลิตสะสม (กิโลกรัม/ต้น/ปี) ของยางพารา 3 พันธุ์ ต่อการใช้สารเอทีฟอนที่ความถี่ต่าง ๆ (ในช่วงเดือนกันยายน - ตุลาคม)	77
ตารางผนวกที่		
1	ค่าอ้างอิงมาตรฐานองค์ประกอบทางชีวเคมีในน้ำยาง ของยางพาราพันธุ์ PB235 ของพื้นที่ศูนย์วิจัยยางยะโฮร์ (CRRC)	93
2	ค่าอ้างอิงมาตรฐานองค์ประกอบทางชีวเคมีในน้ำยาง ของยางพาราพันธุ์ RRIM600 ของพื้นที่ศูนย์วิจัยยางยะโฮร์ (CRRC)	94
3	ค่าอ้างอิงมาตรฐานองค์ประกอบทางชีวเคมีในน้ำยาง ของยางพาราพันธุ์ GT1 ของพื้นที่ศูนย์วิจัยยางยะโฮร์ (CRRC)	94

สารบัญตาราง (ต่อ)

ตารางผนวกที่	หน้า
4 คำอ้างอิงมาตรฐานองค์ประกอบทางชีวเคมีในน้ำยาง ของยางพาราพันธุ์ PB235 ของประเทศอินโดนีเซีย จัดทำโดย CIRAD	94
5 คำอ้างอิงมาตรฐานองค์ประกอบทางชีวเคมีในน้ำยาง ของยางพาราพันธุ์ RRIM600 ของประเทศอินโดนีเซีย จัดทำโดย CIRAD	95
6 คำอ้างอิงมาตรฐานองค์ประกอบทางชีวเคมีในน้ำยาง ของยางพาราพันธุ์ GT1 ของประเทศอินโดนีเซีย จัดทำโดย CIRAD	95
7 ข้อมูลทางด้านเกษตรของต้นยางพันธุ์ RRIM600 ที่อายุ 2 – 25 ปี ของ Chantuma <i>et al.</i> (2004)	96
8 ปริมาณการทิ้งเศษซากพืชในแต่ละปี ของยางพาราพันธุ์ RRIM600 ของ Chantuma <i>et al.</i> (2004)	97

สารบัญภาพ

ภาพที่	หน้า
1 โครงสร้าง 3 มิติของเปลือกยาง	6
2 การวิเคราะห์ธาตุที่เป็นองค์ประกอบหลักจากเนื้อเยื่อส่วนต่าง ๆ ของยางพาราพันธุ์ RRIM600	35
3 มวลจำเพาะและปริมาณไนโตรเจนในใบของยางพาราพันธุ์ RRIM600 ที่ระดับความสูงต่าง ๆ จากปลายยอด	40
4 ความสัมพันธ์ระหว่างมวลจำเพาะและปริมาณไนโตรเจนในใบของยางพาราพันธุ์ RRIM600	41
5 เปรียบเทียบการหายใจเพื่อการเจริญเติบโตในการสร้างเนื้อเยื่อส่วนต่าง ๆ ของยางพาราพันธุ์ RRIM600	44
6 การเปลี่ยนแปลงธาตุที่เป็นองค์ประกอบหลักของปริมาณของแข็งทั้งหมดในน้ำยางของยางพาราในช่วงฤดูกาลกรีดยาง	57
7 การเปลี่ยนแปลงการหายใจเพื่อการเจริญเติบโตของการสร้างปริมาณของแข็งทั้งหมดในน้ำยางในช่วงฤดูกาลกรีดยาง	63
8 เปรียบเทียบการหายใจเพื่อการเจริญเติบโตในการสร้างปริมาณของแข็งทั้งหมดในน้ำยางที่ได้รับสารเอทีฟอนที่ความถี่ต่างๆ	66
9 การเปลี่ยนแปลงของปริมาณ (ก) เนื้อยางแห้ง (DRC) (ข) ซูโครส (ค) อนินทรีย์ฟอสฟอรัส และ (ง) ไทออลในน้ำยางในช่วงฤดูกาลกรีดยาง (กรกฎาคม 2548 – กุมภาพันธ์ 2549)	69
10 เปรียบเทียบองค์ประกอบทางชีวเคมีในน้ำยาง 3 พันธุ์ (กันยายน – ตุลาคม 2548)	71
11 เปรียบเทียบผลผลิตของยางพารา 3 พันธุ์	72
12 (ก) ความยาวนานแสงแดด (ข) อุณหภูมิ (ค) ความชื้นสัมพัทธ์ (ง) ปริมาณน้ำฝน ณ ศูนย์วิจัยยางชะเชิงตรา ในช่วงงานทดลองเดือนมกราคม 2548 – กุมภาพันธ์ 2550	78

สารบัญภาพ (ต่อ)

ภาพผนวกที่

หน้า

- 1 ชื่อเรียกน้ำยางพาราที่ผ่านขั้นตอนต่าง ๆ

91

การศึกษาต้นทุนด้านพลังงานในการสร้างมวลชีวภาพและองค์ประกอบทางชีวเคมี
ของน้ำยาง

Study on the Bioenergetic Costs of Biomass and Biochemical Components
of Para Rubber Latex

คำนำ

ไทยเป็นประเทศผู้ผลิตและส่งออกยางธรรมชาติมากที่สุดในโลก มีสัดส่วนการผลิตประมาณร้อยละ 34 ของปริมาณการผลิตของโลก และส่งออกร้อยละ 47 ของปริมาณการส่งออกยางทั้งหมดของโลก รายได้จากการส่งออกยางในรูปวัตถุดิบของไทยในปี 2549 มีมูลค่าถึง 205,361 ล้านบาท ซึ่งส่วนใหญ่ส่งออกไปยังจีน ญี่ปุ่น มาเลเซีย และสหรัฐอเมริกา (สำนักงานเศรษฐกิจการเกษตร, 2550) ขณะที่ระดับราคายางพาราตั้งแต่ปี 2545 ถึงปี 2549 ปรับตัวเพิ่มขึ้นมาอยู่ในระดับสูง เนื่องจากกลุ่มประเทศผู้ผลิตน้ำมันมีนโยบายลดกำลังการผลิตเพื่อยกระดับราคาน้ำมัน ทำให้ราคายางสังเคราะห์สูง ความต้องการใช้ยางธรรมชาติเพื่อทดแทนยางสังเคราะห์มากขึ้น

การสร้างมวลชีวภาพของพืชขึ้นอยู่กับสารที่ได้จากกระบวนการสังเคราะห์ด้วยแสงที่จะนำมาใช้สร้างคาร์บอนส่วนที่เป็นโครงสร้าง (Carbon skeletons) พลังงานรีดิวซ์ (Reducing power) และพลังงานเคมีเพื่อสังเคราะห์หน่วยย่อยของมวลชีวภาพที่แปรผันไปตามองค์ประกอบทางเคมีของเนื้อเยื่อพืช (Gary *et al.*, 1998) ซึ่งไขมันใช้ต้นทุนในการสร้างสูงกว่าคาร์โบไฮเดรต (Loomis and Connors, 1992) ในกระบวนการสร้างน้ำยางน้ำตาลที่ได้จากกระบวนการสังเคราะห์ด้วยแสงจะถูกนำมาใช้เป็นสารตั้งต้นเพื่อสร้างผลผลิต ประสิทธิภาพในการสร้างน้ำยางจึงขึ้นอยู่กับปริมาณน้ำตาล พลังงาน น้ำ และแร่ธาตุในสภาพแวดล้อมที่เหมาะสม (Jacob *et al.*, 1995) ทั้งนี้ องค์ประกอบส่วนใหญ่ของน้ำยางประกอบด้วย ไอโซพรีน (Isoprene) น้ำ โปรตีน ไขมัน และคาร์โบไฮเดรต (Eng and Tanaka, 1993) ที่มีสัดส่วนขององค์ประกอบแต่ละชนิดแปรปรวนไปตามปัจจัยต่าง ๆ เช่น พันธุ์ยาง อายุยาง ฤดูกาลกรีดยาง ฯลฯ ซึ่งองค์ประกอบทางชีวเคมีของน้ำยางที่เปลี่ยนแปลงไปจะส่งผลต่อต้นทุนการสร้างน้ำยางและปริมาณผลผลิตที่ได้ นอกจากนี้การใช้สารเคมีเร่งน้ำยางที่นิยมใช้กันในปัจจุบันเพื่อลดแรงงานและเพิ่มความสามารถในการให้น้ำยางอาจ

ส่งผลให้องค์ประกอบทางชีวเคมีของน้ำยางเปลี่ยนแปลงไป ซึ่งมีผลให้ต้นทุนการสร้างน้ำยางเปลี่ยนแปลงไปด้วย

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้จึงมีวัตถุประสงค์เพื่อที่จะประเมินต้นทุนของกลูโคสที่ใช้ในการสร้างองค์ประกอบของน้ำยางและมวลชีวภาพส่วนต่าง ๆ ของต้นด้วยวิธีวิเคราะห์ธาตุที่เป็นองค์ประกอบหลัก (Elemental analysis) ของมวลชีวภาพ โดยการศึกษาปัจจัยบางประการที่มีอิทธิพลต่อต้นทุนการสร้างน้ำยาง ได้แก่ พันธุ์ยาง ความถี่ของการใช้สารเอทีฟอนเร่งน้ำยาง และระยะเวลาตลอดฤดูกาลกรีดยางในรอบปี ร่วมกับการวิเคราะห์น้ำยาง (Latex diagnosis) ที่สัมพันธ์กับกลไกการไหลและการสังเคราะห์น้ำยางหรืออนุภาคน้ำยาง

วัตถุประสงค์

1. ประเมินต้นทุนด้านพลังงานในการสร้างปริมาณของแข็งทั้งหมดในน้ำยางและมวลชีวภาพส่วนต่าง ๆ ของต้นยางด้วยวิธีวิเคราะห์ธาตุที่เป็นองค์ประกอบหลักของมวลชีวภาพ
2. ศึกษาองค์ประกอบทางชีวเคมีในน้ำยาง
3. ศึกษาอิทธิพลของเอทีฟอนต่อต้นทุนด้านพลังงานในการสร้างปริมาณของแข็งทั้งหมดในน้ำยางและองค์ประกอบทางชีวเคมีในน้ำยาง

การตรวจเอกสาร

ลักษณะทางชีววิทยาของยางพารา

ผลผลิตยางธรรมชาติมากกว่า 90% มาจากยางที่มีชื่อวิทยาศาสตร์ว่า *Hevea brasiliensis* (A.Juss) Muell. Arg. ซึ่งเดิมยางชนิดนี้ซื้อขายกันที่เมืองพารา ประเทศบราซิล ทวีปอเมริกาใต้ เพียงแห่งเดียว เพื่อสะดวกในการซื้อขายกันจึงเรียกกยางชนิดนี้ว่า ยางพารา ปัจจุบันปลูกกันมากในแถบทวีปเอเชียรวมถึงประเทศไทย (สถาบันวิจัยยาง, 2545; สมควร, 2545)

1. ลักษณะทางพฤกษศาสตร์ของพันธุ์ยาง

ยางพาราเป็นพืชยืนต้นผลัดใบ จะผลัดใบในฤดูแล้งของทุกปี ยกเว้นยางต้นเล็กที่ยังไม่แตกกิ่งก้านสาขาหรือมีอายุไม่ถึง 3 ปี จะไม่ผลัดใบ มีใบเลี้ยงคู่เป็นแบบใบประกอบโดยทั่วไป 1 ก้านใบจะมี 3 ใบย่อย ใบยางจะแตกออกมาเป็นชั้น ๆ เรียกว่าฉัตร เป็นไม้เนื้ออ่อนที่มีอายุยืน ลักษณะลำต้นสูงใหญ่ประกอบด้วยส่วนสำคัญ 3 ส่วน คือ เนื้อไม้ เนื้อเยื่อ และเปลือกไม้ รากเป็นระบบรากแก้ว ดอกมีลักษณะเป็นช่อมีทั้งดอกตัวผู้และดอกตัวเมียอยู่ในช่อเดียวกัน โดยการผสมแบบเปิด ดอกจะออกตามปลายกิ่งของยางหลังจากที่ต้นยางผลัดใบ ผลมีลักษณะเป็นพู่โดยปกติจะมี 3 พู่ในแต่ละพู่จะมีเมล็ดอยู่ภายใน ผลอ่อนมีสีเขียวผลแก่มีสีน้ำตาลและแข็ง เมล็ดมีสีน้ำตาลลายขาวคล้ายสีของเมล็ดมะม่วง ขาวประมาณ 2 - 2.5 เซนติเมตร กว้างประมาณ 1.5 - 2.5 เซนติเมตร หนักประมาณ 3 - 6 กรัม เมล็ดยางเมื่อร่วงหล่นใหม่ ๆ จะมีเปอร์เซ็นต์ความงอกสูงมาก แต่เปอร์เซ็นต์ความงอกนั้นจะลดลงอย่างรวดเร็ว ในสภาพปกติเมล็ดยางจะรักษาความงอกไว้ได้ประมาณ 20 วัน (สถาบันวิจัยยาง, 2545; สมควร, 2545) ยางพาราที่ปลูกเป็นพืชเศรษฐกิจในประเทศไทยมีหลายพันธุ์ ได้แก่

1.1 พันธุ์ PB235

เป็นยางที่ได้จากการผสมพันธุ์ระหว่างแม่พันธุ์ PB5/51 กับพ่อพันธุ์ PBS78 มีแหล่งกำเนิดในประเทศมาเลเซีย จากใบมีรูปร่างป้อมกลางใบ สีเขียว ฉัตรใบลักษณะเป็นรูปกรวยระยะยางอ่อนแตกกิ่งเร็ว พุ่มใบค่อนข้างทึบ ลักษณะลำต้นตรงดี กิ่งมีขนาดเล็กจำนวนมาก เมื่ออายุมากกิ่งก้านมาก พุ่มใบบาง ทรงพุ่มมีขนาดใหญ่เป็นรูปกลม เริ่มผลัดใบช้าและทยอยผลัดใบใน

ระยะก่อนเปิดกรีด เจริญเติบโตดีในทุกพื้นที่และระหว่างกรีดการเจริญเติบโตปานกลาง เปลือกเดิมหนาปานกลาง เปลือกงอกใหม่บาง ผลผลิตเนื้อยาง 10 ปีกรีดเฉลี่ย 330 กิโลกรัมต่อไร่ต่อปี ต้นยางแสดงอาการเปลือกแห้งได้ง่าย ด้านทานโรคใบร่วงที่เกิดจากเชื้อไฟทอปโทราและโรคเส้นดำระดับปานกลาง อ่อนแอมากต่อโรคราแป้งและโรคใบจุดนูน ด้านทานโรคราสีชมพูระดับดี และด้านทานลมระดับปานกลาง ให้ผลผลิตเนื้อยางและเนื้อไม้สูง ปลุกได้ในพื้นที่ทั่วไป ยกเว้นในพื้นที่ลาดชัน พื้นที่ที่มีหน้าดินตื้นและพื้นที่ที่มีระดับน้ำใต้ดินสูง (สมควร, 2545; สถาบันวิจัยยาง, 2547)

1.2 พันธุ์ RRIM600

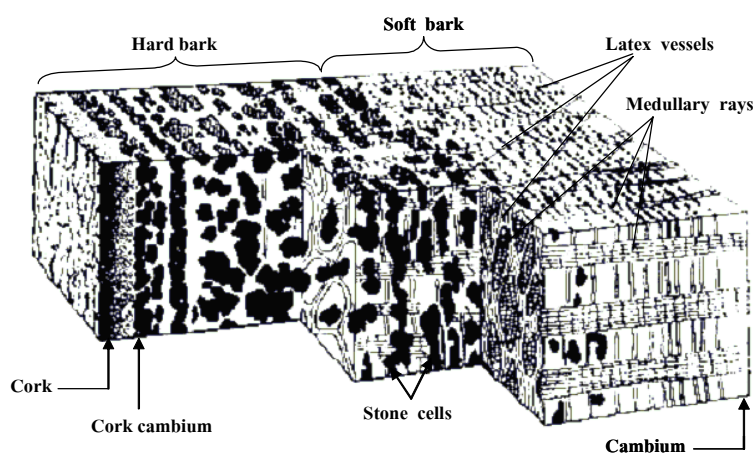
ได้จากการผสมพันธุ์ระหว่างแม่พันธุ์ TJIR1 กับพ่อพันธุ์ PB86 มีแหล่งกำเนิดในประเทศไทย เลื้อย ใบมีรูปร่างป้อมปลาย ลักษณะก้านใบเป็นรูปกรวย มีขนาดเล็ก ในระยะ 2 ปีแรกต้นยางจะมีลักษณะลำต้นตรง แต่เร็วแล้ว การแตกกิ่งช้า ลักษณะการแตกกิ่งเป็นมุมแหลม กิ่งที่แตกค่อนข้างยาว ทรงพุ่มมีขนาดปานกลางเป็นรูปพัด เริ่มผลัดใบเร็ว ในระยะก่อนเปิดกรีดและระหว่างกรีดการเจริญเติบโตปานกลาง เปลือกเดิมบาง เปลือกงอกใหม่หนาปานกลาง ผลผลิตระยะแรกอยู่ในระดับปานกลางแต่จะเพิ่มขึ้นเรื่อย ๆ ในปีต่อมา ให้ผลผลิตเนื้อยาง 10 ปีกรีดเฉลี่ย 289 กิโลกรัมต่อไร่ต่อปี มีจำนวนต้นเปลือกแห้งน้อย อ่อนแอมากต่อโรคใบร่วงที่เกิดจากเชื้อไฟทอปโทราและโรคเส้นดำ ด้านทานโรคราแป้งและโรคใบจุดนูนในระดับปานกลาง อ่อนแอต่อโรคราสีชมพู ด้านทานลมระดับปานกลาง การปรับตัวและให้ผลผลิตได้ดีในเกือบทุกพื้นที่ ทนทานต่อการกรีดถี่ได้มากกว่าพันธุ์อื่น ๆ และมีจำนวนต้นเปลือกแห้งน้อย (สมควร, 2545; สถาบันวิจัยยาง, 2547)

1.3 พันธุ์ GT1

เป็นพันธุ์ดั้งเดิมของประเทศอินโดนีเซีย ใบเรียวยาวแหลมหัวแหลมท้าย ฉัตรเป็นรูปกรวย ทรงพุ่มขนาดปานกลาง มีลำต้นแข็งแรง สามารถต้านทานแรงลมได้ดีมาก การเจริญเติบโตในระยะก่อนกรีดอยู่ในระดับปานกลาง แต่ในระหว่างกรีดต้นยางจะเจริญเติบโตได้ดีกว่า ผลผลิตช่วง 2 ปีแรกระดับปานกลาง และเพิ่มขึ้นในปีต่อมา ส่วนในระยะผลัดใบผลผลิตจะลดลงเพียงเล็กน้อย ซึ่งทยอยผลัดใบไปเรื่อย ๆ ไม่ผลัดใบทีเดียวหมดต้นเหมือนพันธุ์อื่น เปลือกหนาปานกลางเปลือกงอกใหม่ค่อนข้างบาง น้ำยางสีขาวและมีเปอร์เซ็นต์เนื้อยางแห้งปานกลางพื้นที่ปลูกที่

เหมาะสมส่วนใหญ่ปลูกในพื้นที่ลาดชันที่มีหน้าดินตื้น ระดับน้ำใต้ดินและความชื้นในดินสูง ทนทานต่อสภาพความแห้งแล้งได้ดี ด้านทานโรคเส้นดำและราสีชมพูได้ดี ด้านทานโรคเปลือกแห้งและใบร่วงไฟทอปทอราปานกลาง อ่อนแอต่อโรคใบจุดคอลเลคโทตริกัมและใบจุดออยเดียม (กลุ่มยางพารา, 2533; สมควร, 2545)

2. โครงสร้างเปลือกยาง



ภาพที่ 1 โครงสร้าง 3 มิติของเปลือกยาง

ที่มา: Kekwick (2001)

เปลือกไม้ (Bark) ห่อหุ้มอยู่ภายนอกต้นยาง เป็นส่วนของท่ออาหารที่เกิดจากการแบ่งตัวออกมาทางด้านนอกของเยื่อเจริญ (Cambium) ซึ่งเป็นเนื้อเยื่อชั้นบาง ๆ อยู่ระหว่างเนื้อไม้ และเปลือกไม้ เป็นส่วนที่สร้างความเจริญเติบโตให้กับต้นยางและเป็นส่วนที่มีการแบ่งตัวตลอดเวลา ถ้าแบ่งตัวออกทางด้านนอกจะกลายเป็นเปลือกยางและแบ่งตัวเข้าทางด้านในจะเป็นเนื้อไม้ โดยสร้างเปลือกยางใหม่ขึ้นมาแทนที่เปลือกที่กริดไป หากเยื่อเจริญถูกทำลายจะไม่มีการสร้างเปลือกใหม่ขึ้นทดแทน ในการศึกษาเกี่ยวกับผลผลิตของต้นยางจะเน้นที่เปลือกยางซึ่งเป็นแหล่งเก็บเกี่ยวผลผลิตเท่านั้นเพราะเป็นที่อยู่ของท่อน้ำยาง ส่วนในเนื้อไม้จะไม่มีน้ำยางเพราะไม่มีท่อน้ำยางแต่จะมีท่อน้ำเลี้ยงน้ำ (Xylem) อยู่

ในส่วนของเปลือกยาง เนื้อเยื่อที่ถูกสร้างขึ้นใหม่ก็จะดันเนื้อเยื่อส่วนที่เกิดขึ้นก่อนออกมาทางด้านนอก ดังนั้นเนื้อเยื่อที่อยู่ใกล้เยื่อเจริญจึงเป็นเนื้อเยื่อที่เกิดขึ้นใหม่และมีความสมบูรณ์ที่สุด

เมื่อต้นยางมีอายุมากขึ้นเนื้อเยื่อที่เกิดขึ้นก่อนซึ่งอยู่ไกลจากเนื้อเยื่อเจริญ โดยเฉพาะเซลล์พาราเรงคิมา (Parenchyma) บางเซลล์จะมีผนังหนาขึ้น เนื่องจากมีสารลิกนินมาสะสมที่ผนังเซลล์เกิดเป็น stone cell ที่มีขนาดของเซลล์ขยายใหญ่ขึ้นกว่าเดิมมาก ซึ่ง stone cell เหล่านี้เมื่อขยายรูกล้ำเข้าไปในชั้นหรือวงของท่อน้ำยาง จะทำให้ท่อน้ำยางในวงนั้น ๆ ไม่สมบูรณ์ขาดการติดต่อกัน stone cell นี้ถ้ามองด้วยตาเปล่าจะเห็นมีลักษณะคล้ายเม็ดทราย และเป็นส่วนที่ทำให้เปลือกยางแข็งมากขึ้น ซึ่งจะเห็นได้ว่าต้นยางที่ปลูกในที่ที่ไม่เหมาะสมหรือการดูแลรักษาไม่ดีนอกจากจะให้ผลผลิตต่ำแล้วเปลือกยางยังแข็งและกริดยากกว่าปกติ การเกิด stone cell จะมากหรือน้อยขึ้นอยู่กับสาเหตุหลายประการ เช่น พันธุ์ยาง อายุของต้นยาง สภาพแวดล้อม ความชื้นในดิน และความอุดมสมบูรณ์ของดิน (สถาบันวิจัยยาง, 2546) เปลือกยางแบ่งออกเป็น 3 ชั้น ตามลักษณะของเนื้อเยื่อและการเกิดของ stone cell ในเปลือกยาง ดังนี้

2.1 เปลือกชั้นในสุด (Soft bark zone)

อยู่บริเวณที่ติดกับเนื้อเจริญหรือใกล้กับเนื้อไม้ เป็นเนื้อเยื่อและท่อน้ำยางที่สร้างขึ้นใหม่ จึงเป็นชั้นที่มีจำนวนวงท่อน้ำยางหนาแน่นและสมบูรณ์ที่สุด แต่ความหนาของเปลือกยางชั้นนี้ค่อนข้างบางคือ ประมาณ 20 - 30% ของความหนาของเปลือกทั้งหมด และจะไม่มี stone cell เลย จึงทำให้เนื้อเยื่อในชั้นนี้ค่อนข้างอ่อนนุ่ม

2.2 เปลือกชั้นนอก (Hard bark zone)

อยู่ถัดจากเปลือกชั้นในสุดออกมาทางด้านนอก เป็นชั้นที่เนื้อเจริญสร้างขึ้นก่อนแล้วถูกดันออกมาทางด้านนอกเมื่อมีการสร้างเนื้อเยื่อใหม่ขึ้นมาแทนที่ ในชั้นนี้จะมี stone cell เกิดขึ้น ซึ่ง stone cell เหล่านี้จะทำให้เปลือกยางแข็ง ท่อน้ำยางไม่สมบูรณ์ขาดเป็นช่วง ๆ ไม่ติดต่อกัน เป็นผลให้บริเวณนี้มีผลผลิตค่อนข้างต่ำถึงแม้จะเป็นชั้นของเปลือกที่หนากว่าชั้นอื่น ซึ่งมีความหนาถึง 70 - 80% ก็ตาม

2.3 ชั้นของคอร์ก (Cork)

เป็นชั้นของเปลือกนอกสุด ประกอบด้วยเนื้อเยื่อที่ตายแล้วทำหน้าที่ห่อหุ้ม ป้องกันและรักษาความชื้นให้แก่ส่วนของเปลือกที่อยู่ถัดเข้าไปด้านใน

3. ท่อน้ำยาง

ท่อน้ำยาง (Laticiferous vessel) เกิดจากการแบ่งตัวของเนื้อเยื่อเจริญ โดยที่กลุ่มเซลล์ชนิดเดียวกันมาเชื่อมต่อกัน แล้วผนังเซลล์หุ้มท้ายสลายตัว อาจเพียงบางส่วนหรือสลายตัวหมด กลายเป็นท่อเดียวกัน แล้วแตกสาขาและยังเชื่อมต่อกับเซลล์ชนิดเดียวกันที่อยู่ข้างเคียง โดยการสลายตัวของผนังเซลล์ด้านข้าง เกิดเป็นช่องเปิดติดต่อกันได้ ทำให้มีลักษณะคล้ายร่างแหหรือเป็นลักษณะที่เรียกว่า articulated anastomosing laticifer ท่อน้ำยางจะเรียงตัวกันเป็นวงรอบลำต้น น้ำยางจึงสามารถติดต่อกันได้ทางรอยเปิดดังกล่าวภายในวงเดียวกันรอบลำต้น แต่ไม่สามารถติดต่อกันได้ระหว่างวง โดยระหว่างวงของท่อน้ำยางจะมีเซลล์พวกพารังคิมา ขนาบทั้งสองข้างเป็นชั้น ๆ สลับกัน

ลักษณะของท่อน้ำยางเมื่อส่องดูภายใต้กล้องจุลทรรศน์ธรรมดา พบว่าถ้าตัดเปลือกยางทางด้านตัดขวาง (Cross section) จะเห็นท่อน้ำยางตรงบริเวณหน้าตัดมีลักษณะกลม เรียงตัวกันเป็นวงรอบลำต้น และเมื่อดูทางด้านยาว (Long section) จะเห็นเป็นท่อเดี่ยว ๆ เรียงตัวเป็นแถว ซึ่งโดยทั้งสองวิธีจะเห็นเซลล์พารังคิมาคั่นอยู่ระหว่างวงท่อน้ำยาง แต่เมื่อตัดเปลือกยางทางด้าน tangential section ซึ่งจะตั้งฉากกับ long section แล้ว จะเห็นว่าท่อน้ำยางไม่เป็นท่อเดี่ยว ๆ แต่จะประสานตัวคล้ายร่างแห มีรอยเปิดถึงกันได้ภายในวงเดียวกัน

การเรียงตัวของท่อน้ำยาง จะเรียงตัวรอบลำต้นตามแนวตั้งเป็นชั้น ๆ โดยทั่วไปอยู่ในลักษณะเอียงไปทางขวาจากแนวตั้งเล็กน้อย ประมาณ 2.1 - 2.7 องศา ในบางพันธุ์อาจพบว่าท่อน้ำยางวางตัวเอียงไปทางซ้ายจากแนวตั้งประมาณ 3.2 - 3.8 องศา แต่มีเพียงส่วนน้อยที่มีลักษณะเช่นนี้ ดังนั้นจึงต้องกรีดยางจากซ้ายไปขวาในแนวเอียง เพื่อให้ตัดจำนวนท่อน้ำยางได้มากกว่าทำให้การไหลน้ำยางอยู่ในอัตราความเร็วที่เหมาะสมและไหลได้นาน ซึ่งทำให้ได้รับผลผลิตสูงขึ้น (ปีพมา, 2539)

4. การสร้างน้ำยาง

ทุกส่วนของต้นยางสามารถผลิตน้ำยางได้ แต่มีเพียงน้ำยางจากส่วนเปลือกของต้นเท่านั้นที่สามารถนำมาใช้ประโยชน์ โดยท่อน้ำยางจะเป็นบริเวณที่ทำหน้าที่สังเคราะห์ยาง โดยน้ำและแร่ธาตุถูกเคลื่อนย้ายมาจากรากผ่านทางท่อลำเลียงน้ำ โมเลกุลของน้ำตาล กรดอะมิโน ฮอร์โมนและ

อื่น ๆ เคลื่อนย้ายมาจากใบซึ่งเป็นแหล่งสร้างที่สำคัญ โดยส่งมาทาง sieve tubes สู่เปลือกที่อยู่ติดกับแคมเปียมเข้าสู่เซลล์ท่อน้ำยาง ในกระบวนการสร้างน้ำยางมีเอนไซม์มากกว่า 20 ชนิดเข้ามาเกี่ยวข้องเพื่อเปลี่ยนแปลง (Transformation) ซูโครสที่เป็นสารตั้งต้นไปเป็น cis-1, 4-polyisoprene ซึ่งโครงสร้างทางเคมีของหน่วยย่อยของยางธรรมชาติประกอบด้วยคาร์บอน 5 อะตอม และไฮโดรเจน 8 อะตอม (C_5H_8) มีชื่อทางเคมีว่า isoprene แล้วเชื่อมโยงเป็นโมเลกุลเรียงตัวกันในแบบ cis-configuration เป็นโมเลกุลยางที่ชื่อว่า cis-1, 4-polyisoprene (สุรศักดิ์, 2532) โดยกระบวนการสร้างเริ่มจากเปลี่ยนซูโครสไปเป็น acetyl CoA ในกระบวนการไกลโคไลซิสด้วยเอนไซม์ที่สำคัญได้แก่ เอนไซม์ invertase แล้วเกิดกระบวนการเปลี่ยน acetyl CoA เป็นโมเลกุล Isopentenyl pyrophosphate (IPP) และ Dimethyl allylpyrophosphate (DMAPP) ซึ่งมีเอนไซม์ 9 ชนิดเข้ามาเกี่ยวข้องกับกระบวนการนี้ หลังจากนั้นจะเข้าสู่กระบวนการเปลี่ยนแปลงเป็น cis-1, 4-polyisoprene ที่เป็นอนุภาคยาง (Jacob *et al.*, 1989) มีปัจจัยหลายประการที่ควบคุมเมแทบอลิซึมกระบวนการสร้างน้ำยาง เช่น ระดับปริมาณน้ำตาลซูโครส เมแทบอลิซึมในกระบวนการเปลี่ยนน้ำตาลซูโครสเป็นอนุภาคยาง และพลังงานที่นำไปใช้ในกระบวนการสังเคราะห์น้ำยาง นอกจากนี้การกรีดยางยังเป็นการกระตุ้นให้เกิดการสร้างน้ำยางทดแทน (Jacob *et al.*, 1995) ประสิทธิภาพในการสร้างน้ำยางจะขึ้นอยู่กับปริมาณน้ำตาลที่เป็นสารตั้งต้น พลังงาน น้ำ และธาตุอาหารในสภาพแวดล้อมที่เหมาะสม

5. อาการเปลือกแห้ง

อาการเปลือกแห้งเกิดจากสาเหตุหลายประการประกอบกัน ได้แก่ ขาดการบำรุงรักษา ใส่ปุ๋ยไม่ตรงกับเวลาที่กำหนด กรีดเอาน้ำยางออกมากเกินไป กรีดถี่เกินไปและใช้ระบบกรีดไม่ถูกต้อง (กลุ่มยางพารา, 2533) ทำให้เนื้อเยื่อบริเวณนั้นได้รับอาหารไม่เพียงพอ เกิดอาการผิดปกติภายในท่อน้ำยางและเปลือกแห้งตายในที่สุด สำหรับต้นที่แสดงอาการสังเกตได้จากหลังการกรีดยาง จะพบน้ำยางแห้งเป็นจุด ๆ อยู่ตามรอยกรีดยาง และเปลือกยางมีสีน้ำตาลอ่อน หลังจากนั้นเปลือกยางก็จะแห้งไม่มีน้ำยางไหลออกมา และมีเปลือกใหม่งอกออกมาแทน (สมควร, 2545) เมื่อต้นยางแสดงอาการเปลือกแห้ง ต้องหยุดกรีดยางประมาณ 6 - 12 เดือน ต้นยางที่แสดงอาการเปลือกแห้งชั่วคราวจะสามารถกรีดเอาน้ำยางได้อีกหลังจากหยุดกรีด (สถาบันวิจัยยาง, 2547) โดยปกติแล้วอาการเปลือกแห้งของยางพารา เป็นความผิดปกติทางสรีรวิทยาที่เกิดขึ้นเองตามธรรมชาติทางกายภาพภายในท่อน้ำยาง ซึ่งเกิดจากการอุดตันของท่อน้ำยางที่หน้ากรีด โดยเซลล์ไทโลส

(Tylose) ที่มีสารลิกนินมาสะสมที่ผนังเซลล์ชั้นหนา แล้วอุดตันท่อน้ำยาง เห็นได้ชัดเมื่อย้อมด้วยสีฟลอโรกลูซิน (Phloroglucin) แล้วส่องดูด้วยกล้องจุลทรรศน์ (ปีทมา และคณะ, 2537)

จากการศึกษาความสัมพันธ์ของการกรีดหักโหม และการใช้สารเคมีเร่งน้ำยางกับอาการเปลือกแห้งของยางพาราพันธุ์ RRIM600 ในท้องที่แห้งแล้ง พบว่า ไม่ควรใช้ระบบกรีดถี่กว่าสองวันเว้นวัน (1/2 2d/3) และไม่ควรรีดยางมากกว่า 2.5% หรือ 5% ทุก 3 เดือน กับต้นยางที่ใช้ระบบกรีดครั้งละต้นวันเว้นวัน (1/2S d/2) เนื่องจากต้นยางจะแสดงอาการเปลือกแห้งเพิ่มมากขึ้น นอกจากนี้การรักษาต้นยางพันธุ์ GT1 ที่แสดงอาการเปลือกแห้งโดยการชุบเปลือกแล้วทาด้วยส่วนผสม lanolin, KNO_3 , benomyl, activated charcoal และสารควบคุมการเจริญเติบโต 4 ชนิด คือ BA (6-benzyladenine), IBA (3-indolebutyric acid) และ GA_3 (gibberellic acid) อัตรา 500 และ 1,000 ppm พบว่าไม่มีผลต่อการพัฒนาของเปลือกงอกใหม่ และการชุบเปลือกสามารถกำจัดไทลอส ในต้นที่แสดงอาการเปลือกแห้งได้ระยะหนึ่งและสามารถเกิดขึ้นได้อีก (สถาบันวิจัยยาง, 2542)

กระบวนการหายใจของพืช

การหายใจเป็นกระบวนการออกซิเดชัน (Oxidation) ของสารประกอบอินทรีย์โดยมี O_2 โมเลกุลเป็นสารรับอิเล็กตรอนตัวสุดท้าย ในขณะที่เดียวกันก็มีการปลดปล่อยพลังงาน น้ำ และ CO_2 ออกมา ซึ่งพลังงานที่ปลดปล่อยออกมาจะอยู่ในรูป Reduced nucleotides (NADH, NADPH และ $FADH_2$) และ ATP ถูกนำมาใช้ในกระบวนการสังเคราะห์สารต่าง ๆ ที่จำเป็นต่อการเจริญเติบโตของพืช นอกจากนั้นยังให้คาร์บอนโครงสร้างที่จำเป็นสำหรับกระบวนการสังเคราะห์สารประกอบอินทรีย์อื่น ๆ ซึ่งถูกนำไปใช้เป็นโครงสร้างถาวร (Permanent structure) ของพืช สารตั้งต้นที่ใช้ในการหายใจอาจเป็นคาร์โบไฮเดรต ไขมัน หรือโปรตีน แต่ส่วนใหญ่คาร์โบไฮเดรตจะเป็นสารตั้งต้นที่ใช้ในการหายใจ คาร์โบไฮเดรตไม่ว่าจะอยู่ในรูปของแป้ง ซูโครส หรือฟรุคโทแซน จะถูกย่อยเป็นกลูโคสหรือฟรุคโทสก่อนแล้วจึงเข้าสู่ขั้นตอนของการหายใจ ส่วนไขมันและโปรตีน พืชจะใช้เป็นสารตั้งต้นของการหายใจบางสภาวะเท่านั้น (Bryce and Thornton, 1996; Taiz and Zeiger, 2002)

McCree (1970) แบ่งการหายใจของพืชตามวัตถุประสงค์เป็นสองกลุ่ม ได้แก่ การหายใจเพื่อการเจริญเติบโต (Growth respiration, R_g) หรือสร้างเนื้อเยื่อใหม่ และการหายใจเพื่อการ

บำรุงรักษา (Maintenance respiration, R_m) เนื้อเยื่อที่มีอยู่เดิม การหายใจในเมล็ดที่เจริญเติบโตเต็มที่จัดได้ว่าเป็นการหายใจเพื่อการบำรุงรักษาแทบทั้งหมด เนื่องจากเมล็ดในระยะนี้ไม่มีการสร้างสารใหม่ แต่ในเนื้อเยื่อส่วนอื่นที่อยู่ในระยะการเจริญเติบโตทางลำต้นและใบจะพบทั้งการหายใจเพื่อการสร้างและการบำรุงรักษาเกิดขึ้นพร้อม ๆ กัน

1. การหายใจเพื่อบำรุงรักษา (Maintenance respiration, R_m)

กิจกรรมเพื่อการบำรุงรักษาในพืชรวมถึงการสร้างโปรตีนและไขมันเพื่อการทดแทน (Turnover) และการรักษาความต่างศักย์ของสารเคมีและไฟฟ้าข้ามเยื่อหุ้มต่าง ๆ (Penning de Vries, 1975) ทั้งโปรตีนและไขมันจะสลายตัวอย่างช้า ๆ หรืออาจถูกไฮโดรไลซิส (Hydrolysis) และพืชต้องใช้ ATP เพื่อสร้างสารขึ้นมาใหม่ทดแทนในตำแหน่งเดิม กระบวนการสร้างสารเพื่อทดแทนนี้ไม่มีการเพิ่มปริมาตรสุทธิจึงจัดเป็นกิจกรรมเพื่อการบำรุงรักษา เพราะไม่มีการเจริญเติบโตเพิ่มขึ้น ซึ่งแตกต่างจากความชราภาพและการเคลื่อนย้าย นอกจากนี้เอนไซม์หลายชนิดมีอัตราการสลายตัวอย่างรวดเร็วและพืชต้องสร้างทดแทนอย่างรวดเร็วเช่นกัน ในขณะที่โปรตีนและไขมันที่ทำหน้าที่เป็นโครงสร้างจะสลายตัวช้า ๆ ในเซลล์หลายชนิดใช้การหายใจเพื่อรักษาความต่างศักย์ของสารเคมีและไฟฟ้าข้ามเยื่อหุ้มต่าง ๆ ในสัดส่วนที่มาก นอกจากนี้สารประกอบภายในเซลล์และแวคิวโอล เช่น โปแตสเซียมไอออนและน้ำตาลอาจรั่วออกไปยังนอกเซลล์จำนวนมาก และพืชต้องเสีย ATP จำนวนหนึ่งเพื่อเคลื่อนย้ายสารเหล่านี้ข้ามเยื่อหุ้มกลับเข้ามาเช่นเดิม (Loomis and Connors, 1992)

โดยทั่วไปพืชในเขตร้อนหรือมีไนโตรเจนมากจะมีอัตราการหายใจเพื่อการบำรุงรักษา สูงกว่าพืชในเขตหนาวหรือเขตอบอุ่นหรือขาดไนโตรเจน และเมื่อพืชมีขนาดเพิ่มขึ้น ค่า Specific R_m (การหายใจเพื่อบำรุงรักษาต่อกรัมน้ำหนักแห้ง) จะลดลง เพื่อชดเชยกับการมีเนื้อเยื่อที่ไม่สามารถสังเคราะห์ด้วยแสงได้แต่ต้องการการบำรุงรักษา เช่น ลำต้น กิ่ง ก้าน เพิ่มขึ้น แต่ขนาดที่เพิ่มขึ้นทำให้สัดส่วนของ Assimilate ถูกใช้ในกระบวนการบำรุงรักษาเพิ่มมากขึ้นลักษณะเช่นนี้สังเกตได้ชัดเจนจากพืชที่เจริญเติบโตเต็มที่แล้ว อัตราการสังเคราะห์แสงของเรือนพุ่มคงที่ในขณะที่มวลชีวภาพเพิ่มขึ้นและ R_m ก็เพิ่มขึ้น ดังนั้นการลดการสูญเสียจาก R_m อาจเป็นแนวทางที่ใช้ในการเพิ่มประสิทธิภาพการผลิตพืชได้ ตัวอย่างเช่น Wilson and Jones (1982) ได้คัดเลือกพันธุ์ ryegrass ที่มี R_m ของใบต่ำ ทำให้มีผลผลิตสูงกว่าต้นพ่อแม่ได้

2. การหายใจเพื่อการเจริญเติบโต (Growth respiration, R_g)

การเจริญเติบโตต้องการสารตั้งต้นประเภทสารประกอบคาร์บอน เพื่อสร้างและประกอบขึ้นมาเป็นสารใหม่ รวมถึงเป็นแหล่งให้พลังงานและพลังงานรีดิวส์ ในการสร้างสารชนิดต่าง ๆ ส่วนประกอบทางชีวเคมีของมวลชีวภาพที่สร้างขึ้นใหม่มีอิทธิพลเป็นอย่างมากต่อค่า R_g เนื่องจากจำนวนกลูโคสที่ต้องใช้ในการสร้างคาร์บอนโครงสร้าง พลังงานรีดิวส์ และพลังงานเคมีที่ใช้สังเคราะห์หน่วยย่อยของมวลชีวภาพ จะแปรผันไปตามองค์ประกอบทางเคมีของเนื้อเยื่อพืช (Gary *et al.*, 1998) ซึ่งสูงที่สุดในอวัยวะที่มีไขมันหรือลิกนิน และต่ำสุดในอวัยวะที่มีคาร์โบไฮเดรตจำนวนมาก ใบพืชที่มีสารประกอบโปรตีนและไขมันมากจะมีต้นทุนด้านพลังงาน (Bioenergetic costs) ในการสร้างมากกว่ารากและลำต้น ถ้าสมมติให้ข้าวโพดและถั่วเหลืองมีปริมาณกลูโคสจากกระบวนการสังเคราะห์ด้วยแสงที่จะนำไปสร้างเมล็ดเท่ากัน พบว่าผลผลิตของเมล็ดถั่วเหลืองซึ่งมีสัดส่วนของโปรตีนและไขมันสูงจะมีน้ำหนักน้อยกว่าผลผลิตเมล็ดข้าวโพดเสมอ นอกจากนี้ในทางปฏิบัติพบความแตกต่างของผลผลิตมากขึ้นกว่านี้ เนื่องจากข้าวโพดเป็นพืช C4 ที่สามารถสังเคราะห์แสงเพื่อสร้างอาหารได้มากกว่าถั่วเหลืองซึ่งเป็นพืช C3 (Loomis and Connors, 1992)

ต้นทุนด้านพลังงานในการสร้างมวลชีวภาพยังแปรตามชนิดของไนโตรเจนเริ่มต้นที่ได้รับ โดยในการคำนวณเพื่อประเมินต้นทุนการตรึงไนโตรเจนแบบอนุรักษ์ (Conservative) การคำนวณต้นทุนจากการตรึงไนโตรเจนในรูปแอมโมเนียจะไม่รวมต้นทุนการรีดิวส์ไนโตรเจน และต้นทุนที่ใช้สร้างมวลชีวภาพในกรณีที่ได้รับไนโตรเจนในรูปไนเตรตจะมากกว่ากรณีที่ได้รับในรูปแอมโมเนียประมาณ 11% ในขณะที่ต้นทุนด้านพลังงานในการสร้างมวลชีวภาพในกรณีที่ต้องตรึงแก๊สไนโตรเจนจะมากกว่ากรณีที่ได้รับไนโตรเจนในรูปแอมโมเนียถึง 32% แสดงว่าหากถั่วเหลืองไม่ต้องตรึงไนโตรเจนจากอากาศจะมีศักยภาพในการสร้างผลผลิตมากขึ้นถึง 1.3 เท่าตัว ซึ่งสนับสนุนผลการวิจัยของนักวิทยาศาสตร์หลายท่านที่พบว่าถั่วเหลืองที่ได้รับปุ๋ยไนโตรเจนจะให้ผลผลิตมากกว่าถั่วเหลืองที่สร้างปมที่รากเพื่อตรึงไนโตรเจน (Silsbury, 1977; Piha and Munns, 1987) นอกจากนี้ Griffin *et al.*, (1993) พบว่า หากความเข้มข้นของคาร์บอนไดออกไซด์สูง ต้นทุนด้านพลังงานในการสร้างจะสูงเมื่อไนโตรเจนที่เป็นประโยชน์มีจำนวนมาก ส่งผลให้มีปริมาณโปรตีนในใบสูง แต่ปริมาณคาร์โบไฮเดรตแบบไม่มีโครงสร้าง (Non-structure) ต่ำ

ปัจจัยสภาพแวดล้อมส่งผลต่อต้นทุนด้านพลังงานในการสร้างของพืช ภายใต้สภาวะที่น้ำมีปริมาณจำกัดต้นทุนด้านพลังงานในการสร้างสารใหม่ของพืชทั้งต้นมีแนวโน้มที่ลดต่ำลง แต่ถ้าอยู่ในสภาวะขาดน้ำจะชักนำให้เกิดการเคลื่อนย้ายพลังงานไปสร้างเนื้อเยื่อที่ใช้ต้นทุนต่ำ เช่น ราก โดยไม่มีการเปลี่ยนแปลงองค์ประกอบของราก (Griffin, 1994) ในการสร้างมวลชีวภาพที่มีต้นทุนด้านพลังงานในการสร้างสูง ค่า growth yield จะต่ำ สามารถอธิบายลักษณะความสัมพันธ์แบบผกผันระหว่างน้ำหนักผลผลิตกับปริมาณโปรตีนหรือไขมันในผลผลิตได้ นอกจากนี้ความสัมพันธ์แบบผกผันยังพบได้ในงานปรับปรุงพันธุ์พืชที่เปลี่ยนแปลงสัดส่วนของชนิดโปรตีนที่เป็นส่วนประกอบในผลผลิต เช่น ในธัญพืชได้ทดลองเพิ่มสัดส่วนของกรดอะมิโนไลซีน ที่มีต้นทุนด้านพลังงานในการสร้างสูง ทำให้น้ำหนักผลผลิตลดลง (Bhatia and Rabson, 1976)

การประเมินการเจริญเติบโตและวิเคราะห์ธาตุที่เป็นองค์ประกอบหลักของพืช

1. การประเมิน True growth yield (Y_g) และ R_g

Loomis and Connors (1992) ให้คำจำกัดความของ apparent growth yield (Y) ว่าเป็นอัตราส่วนระหว่างมวลชีวภาพที่สร้างใหม่ต่อมวลชีวภาพของสารตั้งต้นที่ใช้ในช่วงระยะเวลาการสร้างสารใหม่ ดังสมการ $Y = W / (S + R_g + R_m)$ เมื่อ S คือ สารตั้งต้นที่เข้าไปเป็นส่วนประกอบของสารใหม่ W คือ มวลชีวภาพที่สร้างใหม่ R_g และ R_m คือการหายใจเพื่อการเจริญเติบโตและเพื่อการบำรุงรักษา โดย S , R_g และ R_m มีหน่วยเทียบเท่าปริมาณของกลูโคสที่เป็นสารตั้งต้น และ Y มีหน่วยเป็นกรัมของผลผลิตต่อกรัมของกลูโคสที่ใช้ในกรณีที่พิจารณาเฉพาะสารตั้งต้นที่ใช้ในกระบวนการเจริญเติบโตเท่านั้นโดยไม่รวมกระบวนการบำรุงรักษา จะจัดเป็น true growth yield (Y_g)

ในการศึกษาเกี่ยวกับ carbon budgets ของพืช จะต้องประเมินความต้องการใช้คาร์บอนในการสร้างคาร์บอนที่เป็นโครงสร้างทางชีวเคมีของมวลชีวภาพ การหายใจเพื่อการเจริญเติบโต ซึ่งเป็นแหล่งพลังงานสำหรับสร้างมวลชีวภาพใหม่ และการหายใจเพื่อบำรุงรักษาที่ให้พลังงานสำหรับการบำรุงรักษามวลชีวภาพที่มีอยู่เดิม รวมถึงการเกิด protein turnover การรักษาความต่างศักย์ทางเคมีและไฟฟ้าของเยื่อหุ้มเซลล์ และการปรับตัวของพืชต่อสภาพแวดล้อมที่เปลี่ยนแปลงไป (Penning de Vries, 1975) ซึ่งกลูโคสจะเป็นแหล่งสำคัญที่ให้โครงสร้างและพลังงานให้แก่ต้นพืช การควบคุม Partitioning (การแบ่งปันสารไปให้ส่วนรับต่าง ๆ ของพืชในปริมาณไม่เท่ากัน)

ของสารประกอบคาร์บอนภายในต้นพืชและสารประกอบคาร์บอนที่จะถูกนำไปใช้เป็นปัจจัยสำคัญที่กำหนดผลผลิต ถ้าจำนวนสารประกอบคาร์บอนที่ได้จากการสังเคราะห์ด้วยแสงและที่ต้องการนำไปใช้ในการเจริญเติบโตของพืช ไม่สมดุลกันโดยที่ความต้องการใช้มีมากกว่าที่ได้จากการสังเคราะห์ด้วยแสง จะทำให้การสร้างผลผลิตลดลง

วิธีการที่ใช้ในการประเมินต้นทุนด้านพลังงานในการสร้างมวลชีวภาพของเนื้อเยื่อพืช มีทั้งการประเมินปริมาณพลังงานของมวลชีวภาพทางตรงและทางอ้อม ในปัจจุบันมีการนำข้อมูลจากการวิเคราะห์มาใช้ ได้แก่ (1) Heat of combustion (Williams *et al.*, 1987) (2) Elemental composition (McDermitt and Loomis, 1981) และ (3) Carbon content (Vertregt and Penning de Vries, 1987) มาใช้ในการประเมินซึ่งวิธีการทั้ง 3 นี้ใช้ในการเปรียบเทียบค่าระหว่างการทดลองกับทฤษฎี ซึ่ง heat of combustion และ degree of reduction ที่คำนวณได้จาก elemental composition จะสัมพันธ์กันเป็นเส้นตรง

Penning de Vries *et al.*, (1974) ได้ประเมินต้นทุนที่ใช้ในการเจริญเติบโตของพืช โดยพิจารณาจากกระบวนการชีวสังเคราะห์ (Biosynthetic pathways) ของตัวอย่างพืชที่นำมาวิเคราะห์แล้วคำนวณหาจำนวนกลูโคสที่ต้องใช้ในการสร้างคาร์บอนโครงสร้าง ซึ่งสัมพันธ์กับ ATP และ NADH ต่อมา McDermitt and Loomis (1981) ได้พัฒนาวิธีโดยใช้ข้อมูลจากปริมาณธาตุที่เป็นองค์ประกอบหลัก (Elemental components) ของมวลชีวภาพ ประเมิน Y_g และ R_g ได้ โดยคำนวณค่า Product value (PV) จากจำนวนอิเล็กตรอนของสารตั้งต้นที่ยังคงเหลืออยู่ในผลผลิต เช่นในการสร้างเอทานอลจากแป้งข้าวโพด เริ่มจากการไฮโดรไลซ์แป้งเป็นน้ำตาล แล้วหมักด้วยยีสต์จนกลายเป็นเอทานอล ($C_6H_{12}O_6 \rightarrow C_2H_6O$) และกำหนดจำนวนของคาร์บอนอะตอมอิเล็กตรอนที่ได้จากกลูโคสเพื่อใช้สังเคราะห์มวลชีวภาพ ปริมาณของกลูโคสที่ถูกนำไปใช้ (GV) มีหน่วยเป็นกรัมของผลผลิตต่อกรัมของกลูโคส ซึ่งใกล้เคียงกับค่าที่คำนวณโดย Penning de Vries (1974) มาก

สำหรับมวลชีวภาพที่ซับซ้อน เช่น พืชทั้งต้น พบว่า ค่า PV จาก Penning de Vries (1975) มีค่าเท่ากับ 0.88 ± 0.01 ของค่า PV ที่ได้จากการวิเคราะห์ธาตุที่เป็นองค์ประกอบหลักของมวลชีวภาพ และจากวิธีนี้สามารถคำนวณค่า heat of combustion ได้ด้วย จากการทราบ PV สามารถคำนวณปริมาณของ CO_2 ที่พืชปลดปล่อยออกมาโดยการเจริญเติบโตได้เช่นเดียวกับผลการคำนวณของ Penning de Vries ที่ใช้ pathway analysis ในมวลชีวภาพซับซ้อนที่ประกอบด้วยสารเคมี

หลายชนิด นำตัวแปร E_G มาใช้เชื่อมโยงความสัมพันธ์ GV กับ PV ดังสมการ $PV_{\text{biomass}} = E_G \text{ GV}$ เมื่อ E_G เป็น สัดส่วนของอิเล็กตรอนทั้งหมดในสารตั้งต้นที่ยังคงพบอยู่ในสารผลิตภัณฑ์ ผลการวิจัยพบว่า E_G ของมวลชีวภาพพืชมีค่าค่อนข้างคงที่ระหว่าง 0.84 ถึง 0.89 ซึ่งแสดงว่าประมาณ 90% ของพลังงานอิสระ (Free energy) ในกลูโคสจะถูกเก็บไว้ในสารประกอบที่ได้จากกระบวนการสังเคราะห์มวลชีวภาพ (Lafitte and Loomis, 1988) แสดงว่ามีโอกาสน้อยที่จะปรับปรุงพันธุ์พืชโดยมุ่งกลไกการเพิ่มประสิทธิภาพของกระบวนการสังเคราะห์มวลชีวภาพเนื่องจาก E_G มีความแปรปรวนน้อย

การศึกษาธาตุที่เป็นองค์ประกอบหลักของมวลชีวภาพ เป็นเครื่องมือสำคัญที่ทำให้ นักวิทยาศาสตร์สามารถเข้าใจ growth yield และส่วนประกอบของมวลชีวภาพพืช (Biomass composition) ได้ ส่วนใหญ่การคำนวณจะเริ่มต้นจากการใช้น้ำตาลกลูโคสและไนเตรดเป็นสารตั้งต้น แต่อาจใช้ amides เป็นสารตั้งต้นได้เช่นกัน ในอดีตนักวิทยาศาสตร์สามารถวิเคราะห์ปริมาณธาตุคาร์บอน ไฮโดรเจน ไนโตรเจน และซัลเฟอร์ ในมวลชีวภาพพืชได้อย่างถูกต้องและแม่นยำโดยใช้วิธี Dumas pyrolysis method แต่ไม่อาจวิเคราะห์ธาตุออกซิเจนได้อย่างถูกต้องและแม่นยำในระดับเดียวกันได้ จึงต้องประเมินจากส่วนต่างของปริมาณธาตุคาร์บอน ไฮโดรเจน ไนโตรเจน และซัลเฟอร์ และธาตุอาหารอื่นๆ ซึ่งอาจประเมินจากค่าประมาณ 60% ของมวลถ้ำ แต่ในปัจจุบันมีเครื่องมือในการวิเคราะห์ที่ทันสมัยมากยิ่งขึ้น เช่น เครื่อง CHNS 932 Determinator ที่สามารถวิเคราะห์ธาตุคาร์บอน ไฮโดรเจน ไนโตรเจน และซัลเฟอร์ได้พร้อมกัน และวิเคราะห์ธาตุออกซิเจนได้โดยตรงโดยใช้ Solid state IR Detector 3 ตัว แยกตรวจวัดธาตุคาร์บอน ไฮโดรเจน และซัลเฟอร์และใช้ TCD ในการตรวจวัดธาตุไนโตรเจน ส่วนธาตุออกซิเจนจะใช้ Solid state IR Detector ของคาร์บอนไดออกไซด์เป็นตัวตรวจวัด โดยธาตุออกซิเจนจากการเผาตัวอย่างจะถูกเปลี่ยนให้อยู่ในรูปของคาร์บอนไดออกไซด์ การแยกตัวตรวจวัดสำหรับตรวจแต่ละธาตุ จะทำให้ไม่มีการรบกวนจากธาตุอื่น มีความไว (Sensitivity) สูง ใช้เวลาในการตรวจวัดน้อยและให้ผลที่น่าเชื่อถือสูง (Anonymous, 2007)

จากการศึกษามูลค่าการเจริญเติบโตของใบ ลำต้น และรากฝอยของต้นก๊วในแต่ละรอบปี และประเมิน R_m โดยวิธีวิเคราะห์ธาตุหลักที่เป็นองค์ประกอบของมวลชีวภาพ ในกิ่งของต้นก๊วที่เจริญเติบโตเต็มที่ เพื่อใช้อธิบายถึงระยะเวลาที่ต้องการสารตั้งต้นสูงที่สุดในการเจริญเติบโต และการบำรุงรักษา พบว่า หลังจากแตกยอดใหม่ 60 – 160 วัน ต้นจะต้องการคาร์โบไฮเดรตสูงที่สุด และในช่วงแรกของการเจริญเติบโตของผลจะเป็นช่วงเดียวกับที่ใบเจริญเติบโตสูงสุดและมี

การเพิ่มมูลค่าเพื่อใช้ในการเจริญเติบโตของลำต้น ส่งผลเสียต่อการเจริญและพัฒนาของผล (Walton and Fowke, 1995)

2. ธาตุที่เป็นองค์ประกอบหลักในมวลชีวภาพ

ธาตุคาร์บอน ไฮโดรเจน และออกซิเจน เป็นธาตุที่พืชได้มาจากอากาศและน้ำ ธาตุอื่น ๆ นอกจากนี้พืชจะได้รับจากดิน ซึ่งจะต้องอยู่ในรูปที่เป็นประโยชน์ (Available form) พืชจึงจะดูดไปใช้ได้ เมื่อพืชดูดไอออนของธาตุอาหารที่จำเป็นเข้าไปแล้ว กระบวนการเมแทบอลิซึมในพืชจะเปลี่ยนรูปไอออนต่าง ๆ เหล่านี้ให้เป็นสารประกอบอินทรีย์ (Assimilation of nutrients) ซึ่งอินทรีย์สารต่าง ๆ เหล่านี้ก็จะทำหน้าที่ในการเจริญเติบโตของพืชต่อไป อย่างไรก็ตามธาตุบางชนิด นอกจากจะเปลี่ยนรูปเป็นสารประกอบอินทรีย์แล้วยังอาจจะคงอยู่ในรูปของไอออนและทำหน้าที่กระตุ้นการทำงานของเอนไซม์ เช่น โพแทสเซียม แคลเซียม แมกนีเซียม แมงกานีส สังกะสี ทองแดง คลอรีน นอกจากนี้ธาตุบางธาตุยังคงอยู่ในรูปไอออนเพื่อทำหน้าที่เป็นออสโมเรกูเลเตอร์ (Osmoregulator) เช่น โพแทสเซียมและคลอรีน (สมบุญ, 2544; ศรีสม, 2547)

Mengel and Kirby (1978) ได้จำแนกธาตุอาหารตามสมบัติของธาตุด้านสรีรวิทยาและชีวเคมี โดยอาศัยบทบาทและหน้าที่ของธาตุอาหารต่อพืชมาใช้ในการจำแนก ธาตุอาหาร C, H, N, O และ S จัดอยู่ในกลุ่มเดียวกันซึ่งเป็นองค์ประกอบหลักของอินทรีย์สาร ทำหน้าที่เป็น 1) องค์ประกอบหลักของอินทรีย์สาร 2) ประกอบกันเป็นกลุ่มอะตอมที่มีความสำคัญในกระบวนการที่ใช้เอนไซม์ และ 3) ถูกนำไปใช้และกลายเป็นองค์ประกอบในโมเลกุลของอินทรีย์สารโดยกระบวนการออกซิเดชัน - รีดักชัน (ยงยุทธ, 2546)

2.1 คาร์บอน

CO_2 และ HCO_3^- เป็นรูปที่เป็นประโยชน์ของคาร์บอน และเมื่อเข้าไปในพืชแล้วจะกลายเป็นองค์ประกอบของคาร์โบไฮเดรต ไขมัน และสารประกอบอินทรีย์อื่น ๆ พืชใช้ประโยชน์ CO_2 ในกระบวนการคาร์บอกซิเลชัน (Carboxylation) สร้างหมู่คาร์บอกซิลใหม่ ๆ

2.2 ไฮโดรเจน

H_2O เป็นรูปที่เป็นประโยชน์ของไฮโดรเจน ในกระบวนการสังเคราะห์แสง H_2O จะถูกรีดิวซ์ในขั้นตอนโฟโตไลซิส (Photolysis) ได้ไฮโดรเจน ซึ่งต่อมาถูกถ่ายโอนเป็นขั้นตอนจนถึงการรีดิวซ์ $NADP^+$ เป็น $NADPH$ ซึ่งสารนี้เป็นโคเอนไซม์ที่มีบทบาทสำคัญในกระบวนการออกซิเดชัน-รีดักชัน เนื่องจาก $NADPH$ สามารถถ่ายโอน H ให้สารประกอบหลายชนิด เช่น คาร์โบไฮเดรต ไขมัน และสารประกอบอินทรีย์อื่น ๆ

2.3 ไนโตรเจน

ในน้ำหนักแห้งของพืชจะมีไนโตรเจนเป็นองค์ประกอบประมาณ 2 - 4% เป็นธาตุอาหารที่พืชนำไปใช้ในรูปของไนเตรต (NO_3^-) และแอมโมเนียม (NH_4^+) ไนโตรเจนเป็นองค์ประกอบที่สำคัญของสารประกอบอินทรีย์ในพืช ได้แก่ กรดนิวคลีอิก นิวคลีโอไทด์ กรดอะมิโน โปรตีน คลอโรฟิลล์ อัลคาลอยด์ (Alkaloids) โคเอนไซม์ (Co-enzymes) ฮอร์โมนบางชนิด $NADP$ ATP และสารประกอบอื่น ๆ ซึ่งไนโตรเจนในพืชประมาณ 70 เปอร์เซ็นต์ อยู่ในคลอโรพลาสต์ เมื่อพืชได้รับไนเตรตมาแล้วก็รีดิวซ์ก่อนจะส่งเข้าร่วมในกระบวนการอะมิเนชัน (Amination)

2.4 ออกซิเจน

O_2 และ H_2O เป็นรูปที่เป็นประโยชน์ของออกซิเจน และเมื่อเข้าไปในพืชแล้วจะกลายเป็นองค์ประกอบของคาร์โบไฮเดรต ไขมัน และสารประกอบอินทรีย์อื่น ๆ (ศรีสม, 2547) ในกระบวนการสังเคราะห์ด้วยแสงนั้น H_2O ถูกรีดิวซ์ในขั้นตอนโฟโตไลซิสได้ไฮโดรเจน ซึ่งต่อมาก็ถูกถ่ายโอนเป็นขั้นตอนจนถึงการรีดิวซ์ $NADP^+$ เป็น $NADPH$ ซึ่งสารนี้เป็นโคเอนไซม์ที่มีบทบาทที่สำคัญและกว้างขวางในกระบวนการออกซิเดชัน-รีดักชัน เนื่องจาก $NADPH$ สามารถถ่ายโอน H^+ ให้สารประกอบหลายชนิด

2.5 ซัลเฟอร์

ในน้ำหนักแห้งของพืชจะประกอบด้วยซัลเฟอร์ประมาณ 0.2 - 0.5 % โดย SO_4^{2-} และ SO_2 เป็นรูปที่เป็นประโยชน์ของซัลเฟอร์ และเมื่อเข้าไปในพืชแล้วจะกลายเป็นองค์ประกอบของ กรดอะมิโน คือ ซีสเทอีนและเมไทโอนีน โคเอนไซม์เอ โปรตีน ไทอะมิน ไพรอฟอสเฟต กลูตาไทออน ไบโอติน อะดีโนซีน-5-ฟอสโฟซัลเฟต 3-ฟอสโฟอะดีโนซีน กรดลิโปอิก และเอสเซนเชียลออยล์ พืชต้องรีดิวซ์ SO_4^{2-} ให้เป็นหมู่ -SH แล้วนำไปใช้เพื่อสังเคราะห์อินทรีย์สารต่าง ๆ

ปฏิกิริยาต่าง ๆ ที่กล่าวข้างต้น ทำให้ C, H, N, O และ S เข้าร่วมกับอินทรีย์สาร เป็นกระบวนการหลักส่วนหนึ่งในเมแทบอลิซึมของพืช กล่าวได้ว่าการใช้ประโยชน์จากธาตุกลุ่มนี้ เป็นกระบวนการที่สลับซับซ้อน ซึ่งแตกต่างไปจากธาตุอาหารอื่น ๆ อย่างมาก (ยงยุทธ, 2546)

การวิเคราะห์น้ำยาง

เทคนิคการวิเคราะห์น้ำยาง (Latex diagnosis) เป็นวิธีการตรวจหาค่าพารามิเตอร์ของ องค์ประกอบทางชีวเคมีที่สัมพันธ์กับกลไกการไหล (Flow) และการสังเคราะห์น้ำยางหรืออนุภาค ยางทดแทน (Regeneration) (Jacob *et al.*, 1989) การหาค่าพารามิเตอร์บางตัวจะใช้วิธีการ วิเคราะห์ปริมาณโดยการวัดการดูดกลืนแสงของสารที่มีสี (Colorimetric method) ที่วัดการดูดกลืน ของสารที่มีสี (Absorption spectrophotometry) แล้วเปรียบเทียบกับความเข้มของสีของสารละลาย ตัวอย่างกับความเข้มสีของสารละลายมาตรฐานโดยใช้เครื่องสเปกโตรโฟโตมิเตอร์ (Spectrophotometer) หลักการของวิธีนี้คือ ธาตุหรือไอออนที่ต้องการวิเคราะห์ปริมาณต้องมีสี หรือสามารถทำปฏิกิริยากับสารอื่นแล้วทำให้เกิดสารที่มีสี ความเข้มของสีต้องมากพอที่จะวัดการ ดูดกลืนแสงได้ถึงแม้สารนั้นจะมีปริมาณเพียงเล็กน้อย สารเคมีที่ทำปฏิกิริยากับธาตุหรือไอออนที่ ต้องการวิเคราะห์ต้องไม่มีสีหรือดูดกลืนแสงที่มีช่วงคลื่นเดียวกับสารมีสีที่เกิดขึ้น เมื่อไอออนที่ ต้องการวิเคราะห์ทำปฏิกิริยากับสารเคมีที่ทำให้เกิดสีต้องให้สารที่มีสีชนิดเดียวกัน และต้องไม่มีสารอื่นที่ทำให้เกิดสีเดียวกัน หรือสีอื่นที่จะทำให้การเกิดสีหรือการคงตัวของสีผิดไป (ศรีสม, 2547) โดยทั่วไปการวิเคราะห์น้ำยางจะมี 4 พารามิเตอร์ที่ใช้อธิบายในกระบวนการทางสรีรวิทยา ได้ชัดเจน ได้แก่

1. ปริมาณซูโครส

ซูโครสมีบทบาทสำคัญในการผลิตน้ำยางเนื่องจากเป็นสารตั้งต้นที่เคลื่อนย้ายเข้ามาภายในเซลล์ท่อน้ำยางเพื่อใช้สร้างอนุภาคยางซึ่งเป็นสาร secondary metabolite ของต้น (Jacob *et al.*, 1985) การวิเคราะห์ปริมาณซูโครสจะอาศัยหลักการของปฏิกิริยา colorimetric ซึ่งในสารละลายที่เป็นกรดสูง ๆ น้ำตาลเฮกโซสจะแตกตัวให้อนุพันธ์ที่เรียกว่า Furfuric derivative โดยฟรุกโตสจะทำปฏิกิริยาอย่างรวดเร็วกับ Anthrone ขณะที่ยังคงเป็นส่วนหนึ่งของโมเลกุลซูโครส ส่วนกลูโคสจะต้องนำมาอุ่นจึงจะทำปฏิกิริยาได้ แล้วนำไปอ่านค่าการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 627 นาโนเมตร ดังนั้นการใช้ความร้อนจะช่วยทำให้สามารถวัดปริมาณของซูโครสได้ทั้งหมด (Ashwell, 1957; Gohet and Chuntuma, 1999)

ในธรรมชาติปริมาณซูโครสในน้ำยางสูง อาจหมายถึงผลผลิตยางที่เพิ่มขึ้นเนื่องจากมีการเคลื่อนย้ายซูโครสเข้ามาในเซลล์ท่อน้ำยางจำนวนมากเพื่อใช้สร้างผลผลิต แต่ในทางกลับกัน ปริมาณซูโครสสูงอาจจะเกิดจากเมแทบอลิซึมที่จะนำซูโครสมาใช้มีประสิทธิภาพต่ำ ทำให้สะสมอยู่ในเซลล์ท่อน้ำยางจำนวนมาก (Prevot *et al.*, 1984; Jacob *et al.*, 1985) นอกจากนี้ปริมาณซูโครสในน้ำยางอาจมีผลกระทบมาจากการเปลือกแห้ง ทำให้ปริมาณน้ำตาลสูงกว่าต้นปกติ และการใช้เอทิลีนเร่งน้ำยางจะส่งผลทำให้ปริมาณน้ำซูโครสในท่อน้ำยางสูงขึ้น เพื่อดึงซูโครสมาใช้ในเซลล์ท่อน้ำยางปริมาณมาก (Tupy and Primot, 1976)

2. ปริมาณอนินทรีย์ฟอสฟอรัส (Pi)

ในน้ำยางปริมาณอนินทรีย์ฟอสฟอรัสเป็นอนุภาคที่ให้พลังงาน ซึ่ง Free inorganic phosphate ในไซโตซอลมีผลกับพลังงานที่ใช้ในกระบวนการเมแทบอลิซึมการสร้างน้ำยางที่สัมพันธ์กับปริมาณของ ATP และ ATP/ADP ratio และการต่อกันของสาย Polyisoprene (Jacob *et al.*, 1985) หลักการของปฏิกิริยา Colorimetric ที่ใช้วิเคราะห์หาปริมาณอนินทรีย์ฟอสฟอรัส คือ อนินทรีย์ฟอสฟอรัสจะสร้างพันธะกับโมลิบเดตและวานาเดตเกิดเป็นสารประกอบซึ่งดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 410 นาโนเมตร (Taussky and Shorr, 1953; Gohet and Chuntuma, 1999) ปริมาณอนินทรีย์ฟอสฟอรัสสัมพันธ์ทางบวกกับผลผลิตยาง การใช้สารเร่งน้ำยางจะกระตุ้นเมแทบอลิซึมของการผลิตน้ำยาง ส่งผลให้ปริมาณอนินทรีย์ฟอสฟอรัสเพิ่มสูงขึ้น

แต่ในขณะที่ใบหลูคร่วงปริมาณนินทรีฟอสฟอรัสในน้ำยางมีแนวโน้มที่จะลดลง (Lyon, 1969; Gidrol and Chrestin, 1984)

3. ปริมาณไทออล (R-SH)

ไทออลประกอบด้วย Cysteine, Methionine และ Glutathione บทบาทสำคัญของไทออลในน้ำยาง คือทำงานร่วมกับ Ascorbic acid สร้างโมเลกุลรีดิวซ์ในน้ำยางแล้วทำหน้าที่เป็นสารแอนติออกซิแดนซ์บริเวณเมมเบรนของเซลล์ท่อน้ำยาง โดยเกิดออกซิเดชันกับ Toxic O₂ และกระตุ้นการทำงานของเอนไซม์ที่สำคัญบางชนิดในเซลล์ท่อน้ำยาง เช่น Invertase และ Pyruvate kinase (Jacob *et al.*, 1989) หลักการของปฏิกิริยา Colorimetric ที่ใช้เพื่อวิเคราะห์หาปริมาณไทออล โดยไทออลจะทำปฏิกิริยากับ Dithio bisnitrobenzoic acid (DTNB) เกิดสารประกอบ TNB ซึ่งดูดกลืนแสงที่ 412 นาโนเมตร (Boyne and Ellman, 1972; Gohet and Chuntuma, 1999) ปริมาณไทออลสัมพันธ์ทางบวกกับผลผลิต หากมีปริมาณต่ำจะส่งผลต่อ Decompartmentation และ Metabolic activity ของเซลล์ท่อน้ำยาง ทำให้ผลผลิตลดลง (Chrestin *et al.*, 1984)

4. ปริมาณเนื้อยางแห้ง (DRC)

ปริมาณเนื้อยางแห้งหรือ Dry rubber content (DRC) หมายถึงปริมาณอนุภาคยางที่มีอยู่ในน้ำยาง ปริมาณเนื้อยางแห้งสัมพันธ์กับการไหลของน้ำยางขณะกรีด ค่าปริมาณเนื้อยางแห้งสูง ความหนืดของน้ำยางเพิ่มและสามารถหยุดการไหลได้ แต่ถ้าปริมาณเนื้อยางแห้งต่ำแสดงว่ามีประสิทธิภาพในการส่งเคราะห์ยางต่ำ (Jacob *et al.*, 1989) ในช่วงฤดูฝนความหนืดของน้ำยางลดลง การไหลของน้ำยางยาวนานขึ้นปริมาณผลผลิตจึงสูง แต่บางครั้งปริมาณเนื้อยางแห้งสูงผลผลิตก็จะสูงได้ เช่น ในช่วงเริ่มต้นของฤดูร้อน เนื่องจากได้รับแสงแดดเต็มที่และมีอุณหภูมิต่ำในตอนเช้า ช่วยส่งเสริมการไหลและการสร้างน้ำยางทดแทน (Yeang and Paranjothy, 1982) จากงานทดลองของนภาพรรณ และคณะ (2544) พบว่า อุณหภูมิสูง ปริมาณฝนต่ำ การระเหยของน้ำจากดินและการคายน้ำจากใบยางสูงทำให้ความหนืดของเนื้อยางสูง แต่ในเดือนที่อุณหภูมิต่ำ ปริมาณเนื้อยางแห้งจะมีค่าสูง การใช้เอทิลีนเร่งน้ำยาง ส่งผลให้น้ำเคลื่อนที่เข้าไปในเซลล์ท่อน้ำยางมากยิ่งขึ้น ทำให้ค่าปริมาณเนื้อยางแห้งลดลง แต่เพิ่มเวลาการไหลของน้ำยางยาวนานขึ้น ทำให้ผลผลิตเพิ่มขึ้น (Jacob *et al.*, 1989)

การเพิ่มประสิทธิภาพการผลิตน้ำยางโดยใช้เอทีฟอน

สารเคมีเร่งน้ำยาง หมายถึง สารเคมีที่เมื่อใช้กับต้นยางแล้วจะเพิ่มเวลาการไหลของน้ำยางมากขึ้น ทำให้ได้ผลผลิตมากขึ้นหลังจากที่ได้มีการกรีด หรือการเจาะต้นยางในส่วนพื้นที่ที่อยู่ใกล้ ๆ กับบริเวณที่ใช้สารเคมีเร่งน้ำยาง (สถาบันวิจัยยาง, 2547) สารเคมีเร่งน้ำยางที่นิยมใช้ในปัจจุบัน ได้แก่ แก๊สเอทิลีน (Ethylene) ซึ่งนอกเหนือจากการสังเคราะห์โดยพืชชั้นสูง เชื้อรา และแบคทีเรียแล้ว ก็ยังมีสารสังเคราะห์ที่ผลิตมาในเชิงการค้าและสามารถปลดปล่อยเอทิลีนได้ และเป็นประโยชน์ในทางการเกษตร เช่น เอทีฟอน (Ethephon) ซึ่งเป็นสารปลดปล่อยเอทิลีนที่ผลิตขึ้นเมื่อ ค.ศ. 1964 โดยนักวิทยาศาสตร์ชาวรัสเซีย โดยใช้ชื่อว่าเอทีฟอน ต่อมา ค.ศ. 1965 ได้ผลิตภายใต้ชื่อการค้าว่า Ethrel, Florel, Cepha และ CEPHA (สมพร, 2546)

สาร 2-chloroethylphosphonic acid ซึ่งมีชื่อสามัญว่า เอทีฟอน สามารถปล่อยแก๊สเอทิลีนออกมาช้า ๆ หรือการให้แก๊สเอทิลีนโดยตรง แก๊สนี้จะกระจายและซึมเข้าสู่เปลือกชั้นในเข้าสู่ท่อน้ำยางทำให้น้ำสามารถไหลผ่านผนังเซลล์ได้ดีขึ้น กระตุ้นการทำงานของ ATPase ในการลำเลียงซูโครสเข้าสู่เซลล์ ซูโครสจึงเคลื่อนย้ายเข้าสู่เซลล์น้ำยางมากขึ้น เพิ่มประสิทธิภาพการเปลี่ยนแปลงน้ำตาลซูโครส เพิ่มความดันภายในท่อน้ำยาง เพิ่มบริเวณพื้นที่ให้น้ำยาง ชะลอการจับตัวของเม็ดยางในน้ำยาง การอุดตันจึงช้าลงทำให้น้ำยางไหลได้นานขึ้น (Tupy, 1985) ปัจจุบันมีการใช้สารเคมีเร่งน้ำยางหลายวิธี เช่น ทาสารเคมีเร่งน้ำยางในรอยบาก ใช้สารเคมีเร่งน้ำยางทาเหนือรอยกรีด ใช้สารเคมีเร่งน้ำยางชนิดแก๊ส อัดแก๊สบริเวณเปลือกหน้าสูงที่ต้องการกรีด จากการศึกษา พบว่า การตอบสนองของยางพาราต่อสารเคมีเร่งน้ำยางมีความแตกต่างกัน เช่น พันธุ์ยาง BPM1 ตอบสนองสารเคมีเร่งน้ำยางดี พันธุ์สงขลา36 PB255 PB260 PR255 RRIC110 RRIM600 และ GT1 ตอบสนองสารเร่งน้ำยางปานกลาง ส่วนพันธุ์ยาง BPM24 PB235 และสถาบันวิจัยยาง 250 ตอบสนองสารเร่งน้ำยางต่ำ (สถาบันวิจัยยาง, 2547)

อุปกรณ์และวิธีการ

อุปกรณ์

1. การวิเคราะห์ธาตุที่เป็นองค์ประกอบหลักของมวลชีวภาพ

1. หลอดทดลองพร้อมฝาปิด
2. แท่งเจ้าน้ำยาง
3. เครื่องชั่งทศนิยม 4 ตำแหน่ง
4. เครื่องอบแห้งที่อุณหภูมิต่ำ ภายใต้สุญญากาศ (Freeze dryer) รุ่น CRYODOS-50
5. ตู้เย็นเก็บตัวอย่าง
6. เครื่องวิเคราะห์ธาตุ C, H, N, O และ S (CHNS 932 Determinator) รุ่น VTF-900
7. อุปกรณ์ในการโค่นต้นยาง ได้แก่ เลื่อย จอบ และมีด
8. อุปกรณ์เก็บตัวอย่าง เช่น ถุงกระดาษ ถุงพลาสติก
9. สายวัด
10. ถังใส่น้ำแข็ง
11. เครื่องบดเนื้อไม้

2. การวิเคราะห์น้ำยาง

1. เครื่อง Spectrophotometer
2. เครื่อง Vortex mixer
3. เครื่อง Water bath
4. Autopipette และ Tips
5. อุปกรณ์เครื่องแก้วทั่วไปในห้องปฏิบัติการ เช่น หลอดทดลอง กระบอกตวง ฯลฯ
6. ตู้ดูดควัน
7. กระดาษกรอง
8. ถังใส่น้ำแข็ง
9. แท่งเจ้าน้ำยาง

10. เครื่องชั่งทศนิยม 2 ตำแหน่ง
11. ตู้อบตัวอย่างพืช
12. สารที่ใช้หาปริมาณซูโครส ได้แก่ กรดซัลฟูริกเข้มข้น และแอนโทรน
13. สารที่ใช้หาปริมาณ Pi ได้แก่ แอมโมเนียมโมลิบเดต และแอมโมเนียมเมตาวานาเดต
14. สารที่ใช้หาปริมาณไทออล ได้แก่ TRIS, DTNB และ EDTA
15. TCA (Trichloro acetic acid)
16. เครื่องใช้สำนักงาน และอุปกรณ์อื่น ๆ ที่จำเป็น
17. สารเร่งการไหลน้ำยางเอทีฟอน (Ethephon, ET) ชื่อทางการค้า Ethrel® 5LS
18. น้ำมันปาล์ม

วิธีการ

1. การวางแผนการทดลอง

1.1 การศึกษาต้นทุนด้านพลังงานในการสร้างปริมาณของแข็งทั้งหมดในน้ำยางและองค์ประกอบทางชีวเคมีในน้ำยาง

1.1.1 เปรียบเทียบระหว่างพันธุ์ยางพารา 3 พันธุ์ วางแผนการทดลองแบบ Completely Randomize Design (CRD) มี 4 ซ้ำ (จำนวน 1 ต้น/ซ้ำ) ได้แก่

- พันธุ์ PB235
- พันธุ์ RRIM600
- พันธุ์ GT1

1.1.2 เปรียบเทียบความถี่ของการใช้สารเอทีฟอนมี 4 ระดับ ในยางพารา 3 พันธุ์ ได้แก่ พันธุ์ PB235 RRIM600 และ GT1 วางแผนการทดลองแบบ Randomize Complete Block Design (RCBD) มี 4 ซ้ำ (จำนวน 1 ต้น/ซ้ำ) ได้แก่

- ไม่ใช้สารเอทีฟอน (control)
- ใช้สารเอทีฟอน 2 ครั้ง/ปี
- ใช้สารเอทีฟอน 5 ครั้ง/ปี

- ใช้สารเอทีฟอน 8 ครั้ง/ปี

โดยเก็บข้อมูลเดือนละครั้งตลอดฤดูกาลกริดยางการเก็บตัวอย่างจะกระทำเมื่อสิ้นสุดรอบระยะเวลาให้สารเอทีฟอนเพื่อเร่งการสร้างน้ำยาง (Ethephon stimulation cycle) โดยเก็บตัวอย่างในการกริดยางครั้งสุดท้าย (เก็บตัวอย่างให้เสร็จก่อนกริดยางในวันนั้น) ก่อนจะถึงรอบการให้สารครั้งต่อไปหรือห่างจากวันให้สารครั้งสุดท้ายอย่างน้อย 20 วัน

1.2 การศึกษาด้านทุนด้านพลังงานในการสร้างส่วนต่าง ๆ ของต้นยาง ได้แก่ แผ่นใบ ก้านใบ แผ่นใบร่วง ก้านใบร่วง เนื้อไม้ เปลือกไม้ รากแก้ว เปลือกของรากแก้ว รากแขนงใหญ่ รากแขนงเล็ก กิ่งแก่สีน้ำตาล กิ่งอ่อนสีเขียว เนื้อเมล็ด และเปลือกเมล็ดของยางพันธุ์ RRIM600 โดยวางแผนการทดลองแบบ Completely Randomomize Design (CRD) มี 6 ซ้ำ (จำนวน 1 ต้น/ซ้ำ)

2. การวิเคราะห์ธาตุที่เป็นองค์ประกอบหลักของมวลชีวภาพ

การเก็บตัวอย่างน้ำยางจะเก็บพร้อมกับตัวอย่างที่นำไปวิเคราะห์น้ำยาง และเก็บวิธีการเดียวกัน แตกต่างตรงที่หลอดทดลองไม่มีสารละลายอยู่ เก็บหลอดตัวอย่างไว้ในที่เย็น เมื่อมาถึงห้องปฏิบัติการแล้ว นำหลอดซึ่งบรรจุน้ำยางมาชั่งน้ำหนักน้ำยางสด แล้วนำเข้าเครื่องอบแห้งที่อุณหภูมิต่ำภายใต้สูญญากาศ (Freeze dryer) เพื่อดึงน้ำออกจากโมเลกุลของน้ำยาง นานจนกระทั่งน้ำหนักเนื้อยางที่ได้คงที่ ชั่งน้ำหนักสุดท้ายแล้วนำก้อนยางแห้งที่ได้เก็บไว้ในถุงซิปล็อค แล้วนำไปวิเคราะห์ธาตุที่เป็นองค์ประกอบหลักของมวลชีวภาพ และในส่วนของต้นจะเก็บส่วนต่าง ๆ ได้แก่ แผ่นใบ ก้านใบ แผ่นใบร่วง ก้านใบร่วง เนื้อไม้ เปลือกไม้ รากแก้ว เปลือกของรากแก้ว รากแขนงใหญ่ รากแขนงเล็ก กิ่งแก่สีน้ำตาล กิ่งอ่อนสีเขียว เนื้อเมล็ด และเปลือกเมล็ด นำเข้าเครื่องอบแห้งแล้ววัดตัวอย่างให้ละเอียด นำไปวิเคราะห์ ธาตุคาร์บอน ไฮโดรเจน ไนโตรเจน และซัลเฟอร์ ด้วยเครื่อง CHNS 932 Determinator โดยสามารถวิเคราะห์ธาตุคาร์บอน ไฮโดรเจน ไนโตรเจน และซัลเฟอร์ได้พร้อมกันในเวลา 3 นาที โดยใช้ Solid state IR Detector 3 ตัว แยกตรวจวัดธาตุคาร์บอน ไฮโดรเจน และซัลเฟอร์ และใช้ Thermal conductivity detection ในการตรวจวัดไนโตรเจน ชั่งน้ำหนักเถ้า (Ash) ของตัวอย่างหลังการเผาไหม้เพื่อนำไปใช้ประกอบการคำนวณหาปริมาณธาตุออกซิเจน

2.1 คำนวณธาตุออกซิเจนได้จากสมการ (Vertregt and Penning de Vries, 1987)

$$\text{Organic oxygen} = \text{original weight} - (\text{weight C} + \text{H} + \text{N} + \text{S} + 0.67\text{ash})$$

โดยที่ organic oxygen = ปริมาณธาตุออกซิเจน (มิลลิกรัม)
 original weight = ปริมาณตัวอย่างที่ใช้วิเคราะห์ (มิลลิกรัม)
 weight C = ปริมาณธาตุคาร์บอน (มิลลิกรัม)
 weight H = ปริมาณธาตุไฮโดรเจน (มิลลิกรัม)
 weight N = ปริมาณธาตุไนโตรเจน (มิลลิกรัม)
 weight S = ปริมาณธาตุซัลเฟอร์ (มิลลิกรัม)
 ash = ปริมาณเถ้าที่ซั่งได้หลังการวิเคราะห์ตัวอย่าง (มิลลิกรัม)

2.2 นำค่าปริมาณธาตุ C, H, N, O และ S ที่ได้จากการวิเคราะห์ไปคำนวณหาค่า ต้นทุนด้านพลังงานในการสร้างมวลชีวภาพ โดยวิธีของ McDermitt and Loomis (1981) และในการคำนวณกำหนดให้ nitrate nitrogen (NO_3^-) เป็นรูปสถานะพื้น (ground state) ที่ให้ไนโตรเจนแก่พืช ดังนี้

2.2.1 สูตรเอมพิริคัล (Empirical formula) ของสารซึ่งเป็นสูตรเคมีที่เขียนขึ้นจากการประมาณดูตามสัดส่วนของธาตุ ดังนี้



โดยที่ c, h, x, n และ s เป็นโมลของ C, H, O, N และ S ตามลำดับ

คำนวณหาจำนวน โมลของธาตุแต่ละตัวได้ ดังนี้

$$\text{จำนวนโมลของ C} = \frac{\text{ปริมาณธาตุ C (เปอร์เซ็นต์)}}{\text{น้ำหนักอะตอมของธาตุ C (12)}}$$

$$\text{จำนวนโมลของ H} = \frac{\text{ปริมาณธาตุ H (เปอร์เซ็นต์)}}{\text{น้ำหนักอะตอมของธาตุ H (1)}}$$

$$\text{จำนวนโมลของ O} = \frac{\text{ปริมาณธาตุ O (เปอร์เซ็นต์)}}{\text{น้ำหนักอะตอมของธาตุ O (16)}}$$

$$\text{จำนวนโมลของ N} = \frac{\text{ปริมาณธาตุ N (เปอร์เซ็นต์)}}{\text{น้ำหนักอะตอมของธาตุ N (14)}}$$

$$\text{จำนวนโมลของ S} = \frac{\text{ปริมาณธาตุ S (เปอร์เซ็นต์)}}{\text{น้ำหนักอะตอมของธาตุ S (32)}}$$

2.2.2 ค่าระดับรีดักชันของธาตุคาร์บอนซึ่งอาจมีเลขออกซิเดชันจาก -4 จนถึง $+4$

$$r + h - 2x + kn + ms = 0$$

โดยที่ h, x, n และ s เป็นโมลของ H, O, N และ S ตามลำดับ

k = oxidation number ของไนโตรเจน ($k = 5$ สำหรับ NO_3^-)

m = oxidation number ของซัลเฟอร์ ($m = 6$ สำหรับ SO_4^{2-})

$r = +$ (เมื่ออิเล็กตรอนถูกปลดปล่อยระหว่างการสร้างผลิตภัณฑ์)

$= -$ (เมื่อใช้อิเล็กตรอนเพื่อทำให้ C, N และ S จากสถานะพื้นมาเป็นระดับรีดักชันของผลิตภัณฑ์)

$= 0$ (เมื่อเป็นคาร์โบไฮเดรต, $[\text{CH}_2\text{O}]_n$)

2.2.3 ค่า Glucose equivalent (GE) คือ จำนวนโมลของกลูโคสที่ใช้สำหรับสร้างคาร์บอนโครงสร้างและให้อิเล็กตรอนเพื่อสร้างสาร 1 โมล

$$GE = c/6 - r/24 \quad \text{mol glucose mol}^{-1} \text{ product}$$

โดยที่ $c/6$ = จำนวนโมลของกลูโคสที่นำมาใช้สร้างคาร์บอนโครงสร้าง (ซึ่ง 1 โมลของกลูโคสให้คาร์บอนโครงสร้างได้ 6 ตัว)

$r/24$ = จำนวนโมลของกลูโคสที่ถูกออกซิไดซ์เพื่อให้อิเล็กตรอนกับผลิตภัณฑ์สุดท้าย (โดย 1 โมลของกลูโคสให้ 24 อิเล็กตรอน)

2.2.4 ค่า Glucose value (GV) คือ จำนวนกรัมของมวลชีวภาพใหม่ที่สร้างมาจากกลูโคสจำนวน 1 กรัม

$$GV = \left[GE \times \frac{\text{molecular weight glucose}}{\text{molecular weight compound}} \right]^{-1} \text{ g biomass g}^{-1} \text{ glucose}$$

โดยที่ GE = จำนวนโมลของกลูโคสที่ใช้สำหรับสร้างคาร์บอนโครงสร้างและให้อิเล็กตรอนเพื่อสร้างสาร 1 โมล (mol glucose mol⁻¹ product)

molecular weight glucose = 180 กรัม

molecular weight compound = คำนวณจากสูตรเคมี

$$[C_c H_h O_x N_n S_s] = 12(c) + 1(h) + 16(x) + 14(n) + 32(s) \text{ กรัม}$$

เนื่องจากกลูโคสจะให้คาร์บอนโครงสร้าง อิเล็กตรอนสำหรับรีดิวซ์คาร์บอน ไนโตรเจน ซัลเฟอร์ และอิเล็กตรอนสำหรับรีดิวซ์ตัวรับภายนอกที่ไม่ถูกเก็บไว้ในมวลชีวภาพแห้ง (Dry biomass) ดังนั้นจะมีส่วนหนึ่งของกลูโคสที่สูญหายไปไม่ได้เก็บไว้ในมวลชีวภาพ จากงานทดลองของ McDermitt and Loomis (1981) พบว่า Growth efficiency ซึ่งเป็นสัดส่วนของ อิเล็กตรอนทั้งหมดในสารตั้งต้นที่ยังคงอยู่ในสารผลิตภัณฑ์ของเมล็ดพืชหลายชนิดเป็นค่าคงที่ เท่ากับ 0.88 นำมาใช้ในการคำนวณเพื่อให้ได้ค่า True growth yield หรือ Production value

2.2.5 ค่า True growth yield (Y_g) คือ น้ำหนักของสารมวลชีวภาพใหม่ที่แท้จริงที่ สร้างจากกลูโคสจำนวน 1 กรัม

$$Y_g = E_G \times GV \quad \text{g biomass g}^{-1} \text{ glucose}$$

โดยที่ E_G = Growth efficiency เป็นสัดส่วนของอิเล็กตรอนทั้งหมดในสาร ตั้งต้นที่ยังคงอยู่ในสารผลิตภัณฑ์เป็นค่าคงที่เท่ากับ 0.88

$$GV = \text{จำนวนกรัมของมวลชีวภาพใหม่ที่สร้างมาจากกลูโคส 1 กรัม} \\ (\text{g biomass g}^{-1} \text{ glucose})$$

2.2.6 ค่า Specific costs of synthesis หรือค่า Glucose requirement (GR) คือ ความ ต้องการปริมาณกลูโคสเพื่อสร้างมวลชีวภาพจำนวน 1 กรัม

$$GR = \frac{1}{Y_g} \quad \text{g glucose g}^{-1} \text{ biomass}$$

โดยที่ Y_g = น้ำหนักของสารมวลชีวภาพใหม่ที่แท้จริงที่สร้างจากกลูโคส จำนวน 1 กรัม ($\text{g biomass g}^{-1} \text{ glucose}$)

2.2.7 ค่า Growth respiration (R_g) คือ การหายใจเพื่อการเจริญเติบโต ซึ่งถูกกำหนดจากสารประกอบทางชีวเคมีของมวลชีวภาพที่สร้างขึ้นใหม่

$$R_g = 2.64 \left[\frac{GE}{E_G} \frac{(1 - E_G)}{24} - \frac{r}{24} \right] \text{ g CO}_2 \text{ g}^{-1} \text{ biomass}$$

โดยที่ GE = จำนวนโมลของกลูโคสที่ใช้สำหรับสร้างคาร์บอนโครงสร้างและให้อิเล็กตรอนเพื่อสร้างสาร 1 โมล (mol glucose mol⁻¹ product)

E_G = Growth efficiency เป็นสัดส่วนของอิเล็กตรอนทั้งหมดในสารตั้งต้นที่ยังคงอยู่ในสารผลิตภัณฑ์เป็นค่าคงที่เท่ากับ 0.88

r = ระดับรีดักชันของธาตุคาร์บอนซึ่งอาจมีเลขออกซิเดชันจาก -4 จนถึง +4

3. การเก็บและวิเคราะห์น้ำยาง

3.1 การเก็บตัวอย่างน้ำยาง

เก็บตัวอย่างน้ำยางในแปลงแบบ 1 ต้น/ตัวอย่าง (One tree plot design) โดยใช้แท่งเหล็กเจาะเปลือกต้นยางเข้าไปยังเนื้อไม้ (ต่ำกว่ารอยกรีดประมาณ 5 ซม.) แทะหลอดดูดน้ำเข้าไปในรูที่เจาะเพื่อช่วยลำเลียงน้ำยาง ทั้งน้ำยาง 2 หยดแรกที่ไหลออกมาเพื่อป้องกันการปนเปื้อน จากนั้นเก็บน้ำยาง 10 หยดต่อมาใส่หลอดทดลองที่มีสารละลาย EDTA 0.01% เก็บหลอดตัวอย่างไว้ในที่เย็น

3.2 การวิเคราะห์น้ำยาง

เมื่อมาถึงห้องปฏิบัติการ นำหลอดซึ่งบรรจุน้ำยางมาเติม TCA 20% เพื่อให้น้ำยางจับตัวเป็นก้อน อาจเก็บทิ้งไว้ได้นาน 8 ชั่วโมงที่อุณหภูมิห้องหรือนาน 48 ชั่วโมงที่อุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียส จากนั้นนำไปกรอง ส่วนของสารละลายสีที่ได้นำไปวิเคราะห์หาปริมาณของพารามิเตอร์ ได้แก่ ปริมาณซูโครสในน้ำยาง ปริมาณอินทรีย์ฟอสฟอรัส และปริมาณไทออกส่วนของก้อนยางนำไปหาปริมาณเนื้อยางแห้ง โดยใช้วิธีการวิเคราะห์ที่ Gohet and Chuntuma (1999) ได้พัฒนาวิธีการและปรับปรุงจาก Eschbach *et al.* (1984); Jacob *et al.* (1995) ซึ่งเป็นวิธีการที่ใช้ในห้องปฏิบัติการเคมีและวิเคราะห์น้ำยาง ที่ศูนย์วิจัยยางยะเซ็งเทรา ดังนี้

3.2.1 ปริมาณซูโครส

ดูดสารละลายที่กรองได้ปริมาตร 100 ไมโครลิตร เติม 2.5% TCA 400 มิลลิลิตร และสารละลาย anthrone 3 มิลลิลิตร ลงในหลอดทดลองที่มีฝาปิด เขย่าให้เข้ากันโดยใช้ vortex (เนื่องจาก anthrone reactive มีความหนืดสูง) จากนั้นอุ่นสารละลายใน water bath ที่อุณหภูมิ 90 องศาเซลเซียส เป็นเวลานาน 10 นาที ทิ้งสารละลายไว้ให้เย็น นำไปวัดค่าการดูดกลืนแสง (OD) ที่ความยาวคลื่น 627 นาโนเมตร แล้วคำนวณปริมาณซูโครส จากสมการ

$$\text{ปริมาณซูโครส} = \text{OD} \times K \times [(\text{FLW} + w1 + w2) / \text{FLW}] \quad \text{mM l}^{-1} \text{ latex}$$

โดยที่ K = สัมประสิทธิ์การแปลงค่าของ standard curve

FLW = น้ำหนักน้ำยางสด (กรัม)

w1 = น้ำหนักน้ำกลั่นต่อหลอด (กรัม)

w2 = น้ำหนักของ TCA 20% ซึ่งใช้เพื่อชักนำให้เกิดการตกตะกอน

3.2.2 ปริมาณอินทรีย์ฟอสฟอรัส

ดูดสารละลายที่กรองได้ปริมาตร 500 ไมโครลิตร เติม 2.5% TCA 1 มิลลิลิตร และสารละลาย molybdate/metavanadate 3 มิลลิลิตร ลงในหลอดทดลอง เขย่าให้เข้ากันทิ้งไว้ 5

นาที นำไปวัดค่าการดูดกลืนแสง (OD) ที่ความยาวคลื่น 410 นาโนเมตร แล้วคำนวณหาปริมาณอินทรีฟอสฟอรัส จากสมการ

$$\text{ปริมาณ Pi} = \text{OD} \times K \times [(\text{FLW} + w1 + w2) / \text{FLW}] \quad \text{mM l}^{-1} \text{ latex}$$

โดยที่ K = สัมประสิทธิ์การแปลงค่าของ standard curve

FLW = น้ำหนักน้ำยางสด (กรัม)

w1 = น้ำหนักน้ำกลั่นต่อหลอด (กรัม)

w2 = น้ำหนักของ TCA 20% ซึ่งใช้เพื่อชักนำให้เกิดการตกตะกอน

3.2.3 ปริมาณไทออล

ดูดสารละลายที่กรองได้ปริมาตร 500 ไมโครลิตร เติม 0.5M Tris 1 มิลลิลิตร และสารละลาย 20 mM DTNB 50 ไมโครลิตร ลงในหลอดทดลอง เขย่าให้เข้ากันทิ้งไว้ 5 นาที นำไปวัดค่าการดูดกลืนแสง (OD) ที่ความยาวคลื่น 412 นาโนเมตร แล้วคำนวณปริมาณไทออล จากสมการ

$$\text{ปริมาณ R-SH} = \text{OD} \times K \times [(\text{FLW} + w1 + w2) / \text{FLW}] \quad \text{mM l}^{-1} \text{ latex}$$

โดยที่ K = สัมประสิทธิ์การแปลงค่าของ standard curve

FLW = น้ำหนักน้ำยางสด (กรัม)

w1 = น้ำหนักน้ำกลั่นต่อหลอด (กรัม)

w2 = น้ำหนักของ TCA 20% ซึ่งใช้เพื่อชักนำให้เกิดการตกตะกอน

3.2.4 ปริมาณเนื้อเยื่อแห้ง

เมื่อปล่อยให้ยางตกตะกอนโดยใช้ TCA 20% แล้ว จากนั้นนำไปกรอง แยกก้อนน้ำยางออก นำมาวางเรียงบนแผ่นกระดาษแข็งซึ่งใส่หมายเลขประจำหลอดไว้แล้ว ใช้เข็มหมุดยึดก้อนยางให้ติดบนแผ่นกระดาษ จากนั้นนำก้อนยางไปใส่ตู้อบที่อุณหภูมิ 70 องศาเซลเซียส นาน 24 ชั่วโมง แล้วนำมาชั่งน้ำหนัก คำนวณค่าปริมาณเนื้อเยื่อแห้ง จากสมการ

$$\text{ปริมาณ DRC} = (W_r / W_{lf}) \times 100 \quad \text{เปอร์เซ็นต์}$$

$$\begin{aligned} \text{โดยที่ } W_r &= \text{น้ำหนักยางแห้ง (กรัม)} \\ W_{lf} &= \text{น้ำหนักน้ำยางสด (กรัม)} \end{aligned}$$

4. การวิเคราะห์ข้อมูล

นำข้อมูลที่บันทึกได้จากการวิเคราะห์น้ำยาง การคำนวณหาต้นทุนด้านพลังงานในการสร้างมวลชีวภาพและผลผลิตไปวิเคราะห์ความแปรปรวน (Analysis of variance, ANOVA) เปรียบเทียบระหว่างพันธุ์และระดับของการใช้สารเอทีฟอน 4 ระดับ (ไม่ใช้สารเอทีฟอน ใช้สารเอทีฟอน 2 ครั้ง/ปี ใช้สารเอทีฟอน 5 ครั้ง/ปี และใช้สารเอทีฟอน 8 ครั้ง/ปี) เมื่อพบความแตกต่างระหว่างสิ่งทดลองอย่างมีนัยสำคัญ ตรวจสอบความแตกต่างของค่าเฉลี่ยโดยวิธี Duncan's multiple range test (DMRT) ที่ระดับความเชื่อมั่น 95% และทำ regression analysis ระหว่างข้อมูลต่าง ๆ

5. สถานที่และระยะเวลาทำการทดลอง

5.1 สถานที่ทดลอง

เก็บตัวอย่างน้ำยางในแปลงทดลองและวิเคราะห์น้ำยาง ณ ห้องปฏิบัติการเคมีและวิเคราะห์น้ำยาง ที่ศูนย์วิจัยยางยะเชิงเทรา อ.สนามชัยเขต จ. ยะเชิงเทรา เก็บตัวอย่างมวลชีวภาพของต้นยางพันธุ์ RRIM600 ณ แปลงเกษตรกร อ.สีเกา จ.ตรัง และวิเคราะห์ธาตุคาร์บอน ไฮโดรเจน ไนโตรเจน และซัลเฟอร์ ที่คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ วิทยาเขตบางเขน

5.2 ระยะเวลาในการทดลอง

โดยมีระยะเวลาในการศึกษา ณ แปลงทดลองและห้องปฏิบัติการตั้งแต่เดือนมิถุนายน พ.ศ. 2548 จนถึงเดือนกุมภาพันธ์ พ.ศ. 2550

ผลและวิจารณ์

1. ธาตุที่เป็นองค์ประกอบหลักในส่วนต่าง ๆ ของต้นยาง

พืชดูดใช้ธาตุอาหารเพื่อการเจริญเติบโตซึ่งจะสะสมในรูปของมวลชีวภาพ และใช้ในการสร้างผลผลิต เช่น เมล็ด ดอก ผล และราก (Wild, 1988) จากการวิเคราะห์ธาตุ C, H, N, S ได้โดยตรงและธาตุ O ที่ประเมินจากปริมาณเถ้าที่เหลือจากการเผาไหม้ในเนื้อเยื่อส่วนต่าง ๆ ของต้นยางพาราพันธุ์ RRIM600 (ภาพที่ 2) พบว่า ส่วนต่าง ๆ ของต้นยางพาราเกือบทุกส่วน ได้แก่ แผ่นใบ ก้านใบ แผ่นใบร่วง ก้านใบร่วง เนื้อไม้ เปลือกไม้ รากแก้ว รากแขนงใหญ่ รากแขนงเล็ก กิ่งแก่สีน้ำตาล กิ่งอ่อนสีเขียว เนื้อเมล็ดและเปลือกเมล็ดจะมีปริมาณคาร์บอนสูงที่สุด รองลงมาคือออกซิเจน ไฮโดรเจน ไนโตรเจนและซัลเฟอร์ตามลำดับ ยกเว้น เปลือกของรากแก้วที่พบว่ามีปริมาณธาตุออกซิเจนสูงที่สุด รองลงมาได้แก่ คาร์บอน ไฮโดรเจน ไนโตรเจน และซัลเฟอร์ตามลำดับ (ภาพที่ 1) จากงานทดลองของ Poorter and Bergkotte (1992) พบว่ารากของพืชป่า 24 ชนิด มีปริมาณของเฮมิเซลลูโลส (Hemicellulose) น้ำตาลรูปที่ละลายและไม่ละลายน้ำสูง ซึ่งอาจเป็นสาเหตุที่ทำให้ในส่วนของเปลือกรากแก้วยางพารามีปริมาณออกซิเจนสูงกว่ามวลชีวภาพส่วนอื่น ๆ และจากที่ธาตุคาร์บอนเป็นธาตุที่พบมากที่สุดเซลล์ เนื่องจากเกือบจะทุกโมเลกุลในเซลล์ประกอบด้วยธาตุคาร์บอนเพราะมีความสามารถในการสร้างพันธะโควาเลนต์ที่แข็งแรงได้ถึง 4 พันธะกับอะตอมอื่น ๆ และสามารถต่อกับอะตอมของธาตุคาร์บอนอื่นได้ เพื่อสร้างเป็นโมเลกุลแบบลูกโซ่หรือวงแหวน ทำให้เกิดโมเลกุลเป็นจำนวนมากที่มีขนาดใหญ่และซับซ้อน (คณัย และ อังสนา, 2540)

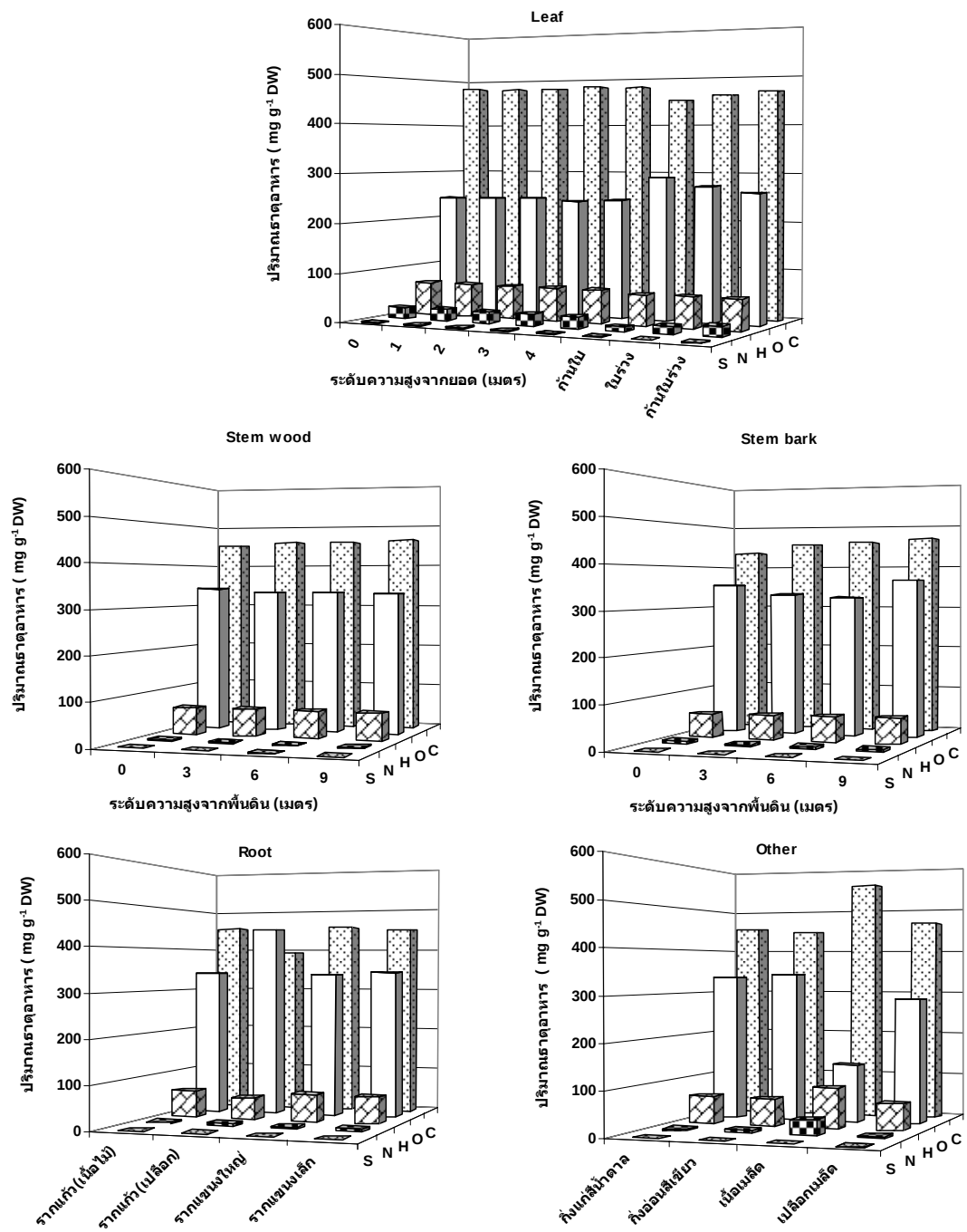
ผลการวิเคราะห์จากตารางที่ 1 พบว่า ลำต้นส่วนที่เป็นเนื้อไม้มีปริมาณธาตุคาร์บอนและออกซิเจนมากกว่าส่วนเปลือกไม้เล็กน้อยแต่ปริมาณของธาตุไฮโดรเจนในเนื้อไม้มากกว่าส่วนเปลือกอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ นอกจากนี้พบว่าส่วนของเปลือกมีปริมาณไนโตรเจนมากกว่าส่วนเนื้อไม้ประมาณ 2 เท่า และมีปริมาณซัลเฟอร์มากกว่าเล็กน้อย

กิ่งแก่สีน้ำตาลและกิ่งอ่อนสีเขียวจะมีปริมาณคาร์บอน ($445.75 - 454.95 \text{ mg g}^{-1}$) ไฮโดรเจน ($60.89 - 62.72 \text{ mg g}^{-1}$) และออกซิเจน ($336.78 - 343.70 \text{ mg g}^{-1}$) ใกล้เคียงกัน แต่ปริมาณไนโตรเจนและซัลเฟอร์ของกิ่งอ่อนสีเขียวมากกว่ากิ่งแก่สีน้ำตาลประมาณ 2 เท่า

รากทั้ง 3 ประเภท ได้แก่ รากแก้ว รากแขนงใหญ่ และรากแขนงเล็ก มีปริมาณคาร์บอน (448.2 – 454.5 mg g⁻¹) ไฮโดรเจน (61.6 – 62.2 mg g⁻¹) ซัลเฟอร์ (0.16 – 0.25 mg g⁻¹) และ ออกซิเจน (336.9 – 342.7 mg g⁻¹) ใกล้เคียงกัน แต่ปริมาณไนโตรเจนในรากแขนงเล็ก (5.13 mg g⁻¹) มากกว่ารากแขนงใหญ่ (4.06 mg g⁻¹) และรากแก้ว (3.00 mg g⁻¹) อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ใน ส่วนของเปลือกรากแก้วมีปริมาณคาร์บอน ไฮโดรเจน น้อยกว่าในรากแก้ว แต่ปริมาณไนโตรเจน และซัลเฟอร์ (0.41 มิลลิกรัม) มากกว่าในรากแก้ว

เมล็ดเมื่อแยกวิเคราะห์ส่วนเนื้อและเปลือก พบว่าเนื้อเมล็ดมีปริมาณคาร์บอน ไฮโดรเจน ไนโตรเจนและซัลเฟอร์มากกว่าเปลือกเมล็ดอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ยกเว้นออกซิเจนที่ส่วน เปลือกเมล็ดมีปริมาณมากกว่า ดังนั้น ในเนื้อเมล็ดจะมีปริมาณคาร์บอน (558.2 mg g⁻¹) ไฮโดรเจน (90.2 mg g⁻¹) ไนโตรเจน (33.8 mg g⁻¹) ซัลเฟอร์ (0.62 mg g⁻¹) และออกซิเจน (175.1 mg g⁻¹) ส่วนในเปลือกเมล็ดจะมีปริมาณ คาร์บอน (464.6 mg g⁻¹) ไฮโดรเจน (59.9 mg g⁻¹) ไนโตรเจน (4.04 mg g⁻¹) ซัลเฟอร์ (0.14 mg g⁻¹) และออกซิเจน (286.4 mg g⁻¹)

เมื่อเปรียบเทียบแผ่นใบที่ยังไม่หลุดร่วงกับแผ่นใบร่วง พบว่า มีปริมาณคาร์บอน ไฮโดรเจน ไนโตรเจนและซัลเฟอร์มากกว่าอย่างมีนัยสำคัญ สอดคล้องกับการศึกษาของพงษ์ศักดิ์ และคณะ (2538) ที่พบว่ามีการเคลื่อนย้ายธาตุอาหารออกจากใบเหลืองของยางพาราในภาค ตะวันออกประมาณ 21.54% และเกิดการเคลื่อนย้ายธาตุอาหารออกจากใบแห้งก่อนที่ใบจะร่วง ประมาณ 13.02% โดยเฉพาะไนโตรเจน ซึ่งเป็นธาตุที่มีการเคลื่อนย้ายได้ง่ายจึงมีการดึงดูดกลับได้ สูง นอกจากนี้ยังพบว่า ก้านใบร่วงมีปริมาณไนโตรเจนและซัลเฟอร์เพิ่มขึ้นมาก เมื่อเปรียบเทียบกับก้านใบปกติ ซึ่งแสดงให้เห็นว่ามีการเคลื่อนย้ายธาตุอาหารจากแผ่นใบไปยังก้านใบเกิดขึ้น ใน ส่วนของก้านใบเมื่อเปรียบเทียบกับแผ่นใบที่ไม่หลุดร่วง พบว่า มีปริมาณไนโตรเจนน้อยกว่า ประมาณ 14 mg g⁻¹ ไนโตรเจนน้อยกว่าประมาณ 4 mg g⁻¹ และซัลเฟอร์ต่ำกว่าเล็กน้อยประมาณ 0.4 mg g⁻¹



ภาพที่ 2 การวิเคราะห์ธาตุที่เป็นองค์ประกอบหลักจากเนื้อเยื่อส่วนต่าง ๆ ของยางพารา พันธุ์ RRIM600

ตารางที่ 1 การวิเคราะห์ธาตุที่เป็นองค์ประกอบหลักจากเนื้อเยื่อส่วนต่าง ๆ ของยางพารา
พันธุ์ RRIM600

ส่วนของเนื้อเยื่อ	C (mg g ⁻¹)	H (mg g ⁻¹)	N (mg g ⁻¹)	S (mg g ⁻¹)	O (mg g ⁻¹)
ลำต้น - เนื้อไม้	457.2def	62.6c	2.36i	0.26e	335.5bc
- เปลือก	452.9efg	56.3d	5.18g	0.37de	331.1c
กิ่ง - กิ่งแก่สีน้ำตาล	454.9defg	62.7c	3.17hi	0.24e	336.8bc
- กิ่งอ่อนสีเขียว	445.7g	60.8c	6.94f	0.58cd	343.7b
ราก - รากแก้ว (เนื้อไม้)	453.4efg	62.2c	3.00hi	0.16e	339.1bc
- รากแก้ว (เปลือก)	392.3h	49.6e	6.67f	0.41de	446.5a
- รากแขนงใหญ่	454.5defg	62.0c	4.06h	0.25e	336.9bc
- รากแขนงเล็ก	448.2fg	61.6c	5.13g	0.23e	342.7bc
เมล็ด - เนื้อเมล็ด	558.2a	90.2a	33.82a	0.62cd	132.3h
- เปลือกเมล็ด	464.6cd	59.9c	4.04h	0.14e	286.4d
ใบ - แผ่นใบ	480.4b	66.7b	23.2b	1.49a	243.3g
- ก้านใบ	451.6efg	62.3c	9.3e	1.05b	290.8d
- แผ่นใบร่วง	461.50cde	62.5c	15.8d	0.76c	274.5e
- ก้านใบร่วง	468.00c	62.36c	20.8c	1.34a	262.5f
<i>P-value</i>	<.0001	<.0001	<.0001	<.0001	<.0001
C.V. (%)	1.86	3.66	9.07	36.51	3.41

หมายเหตุ ค่าเฉลี่ยตามด้วยตัวอักษรที่เหมือนกันในแนวดิ่ง ไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ
ที่ระดับความเชื่อมั่น 95% เปรียบเทียบโดยวิธี DMRT

จากการเปรียบเทียบปริมาณธาตุที่เป็นองค์ประกอบหลักส่วนเนื้อไม้และเปลือกของลำต้นที่
ระดับความสูงระดับผิวดิน 3 6 และ 9 เมตร จากพื้นดิน พบว่า ในเนื้อไม้ที่ระดับผิวดิน มี
ปริมาณธาตุไนโตรเจน ซัลเฟอร์ และออกซิเจนมากกว่าที่ระดับความสูง 3 6 และ 9 เมตร จาก

พื้นดินอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ แต่มีปริมาณธาตุคาร์บอนและไฮโดรเจนน้อยกว่าที่ระดับความสูง 3 6 และ 9 เมตรจากพื้นดินอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (ตารางที่ 2) ในส่วนเปลือกของลำต้น พบความแตกต่างคล้ายคลึงกับในเนื้อไม้ คือเปลือกที่ระดับผิวดิน มีปริมาณธาตุไนโตรเจน ซัลเฟอร์ และออกซิเจนมากกว่า แต่ปริมาณธาตุคาร์บอนและไฮโดรเจนน้อยกว่าเปลือกที่ระดับความสูง 3 6 และ 9 เมตร จากพื้นดินอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ และที่ระดับความสูง 9 เมตรจากพื้นดิน มีปริมาณธาตุคาร์บอนและไฮโดรเจนมากที่สุด

ตารางที่ 2 การวิเคราะห์ธาตุที่เป็นองค์ประกอบหลักจากส่วนของเนื้อไม้และเปลือกที่ระดับความสูงต่าง ๆ ของยางพาราพันธุ์ RRIM600

ส่วนของเนื้อเยื่อ	C (mg g ⁻¹)	H (mg g ⁻¹)	N (mg g ⁻¹)	S (mg g ⁻¹)	O (mg g ⁻¹)
ลำต้น					
- เนื้อไม้ ระดับผิวดิน	450.6b	62.0b	2.93a	0.45a	341.9a
สูง 3 ม. จากพื้นดิน	458.2a	62.8a	2.26b	0.21b	334.4b
สูง 6 ม. จากพื้นดิน	457.7a	62.7a	2.20b	0.17b	335.0b
สูง 9 ม. จากพื้นดิน	462.1a	62.9a	2.08b	0.19b	330.6b
P-value	0.0039	0.0363	0.0096	0.0411	0.0031
C.V. (%)	1.03	0.85	17.68	12.41	1.34
- เปลือก ระดับผิวดิน	433.1c	54.1c	6.20a	0.61a	351.9a
สูง 3 ม. จากพื้นดิน	453.7b	55.8b	4.58b	0.34b	331.7b
สูง 6 ม. จากพื้นดิน	458.6ab	56.9b	5.00b	0.28b	325.1bc
สูง 9 ม. จากพื้นดิน	466.1a	58.3a	4.95b	0.25b	316.2c
P-value	< .0001	< .0001	0.0125	0.0170	< .0001
C.V. (%)	1.69	1.98	15.4	78.5	2.5

หมายเหตุ ค่าเฉลี่ยตามด้วยตัวอักษรที่เหมือนกันในแนวดิ่ง ไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95% เปรียบเทียบโดยวิธี DMRT

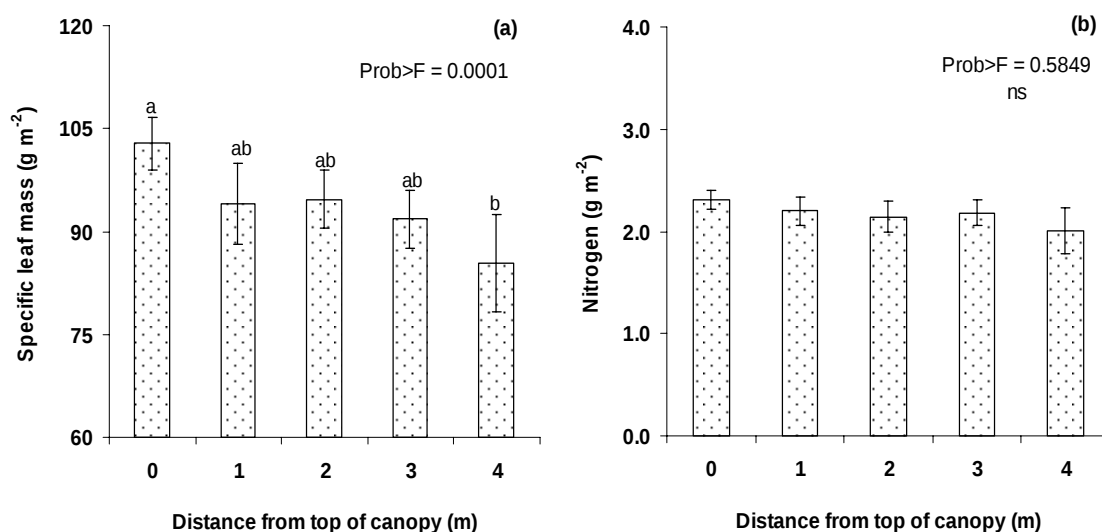
จากตารางที่ 3 ไม่พบความแตกต่างระหว่างปริมาณธาตุคาร์บอน ไฮโดรเจน ไนโตรเจน ซัลเฟอร์และออกซิเจนในแผ่นใบทั้ง 5 ระดับความสูง (0 1 2 3 และ 4 เมตรจากยอดลงมา) แต่พบความแตกต่างของธาตุอาหารระหว่างแผ่นใบกับก้านใบ แผ่นใบร่วง และก้านใบร่วง ดังนี้ ปริมาณธาตุคาร์บอนและไนโตรเจน พบมากที่สุดในส่วนของแผ่นใบ รองลงมาคือก้านใบร่วง แผ่นใบร่วง และก้านใบตามลำดับ ปริมาณธาตุไฮโดรเจนในก้านใบ แผ่นใบร่วง และก้านใบร่วง มีปริมาณใกล้เคียงกันและน้อยกว่าในแผ่นใบอย่างมีนัยสำคัญ ปริมาณธาตุซัลเฟอร์ของแผ่นใบ ก้านใบ และก้านใบร่วงใกล้เคียงกัน และลดต่ำมากในแผ่นใบร่วง ส่วนปริมาณธาตุออกซิเจน พบในก้านใบมากที่สุด รองลงมาคือ แผ่นใบร่วง ก้านใบร่วง และแผ่นใบตามลำดับ ซึ่งปริมาณธาตุคาร์บอน ไฮโดรเจน ไนโตรเจน และซัลเฟอร์ ที่วิเคราะห์ได้ในแผ่นใบ ใกล้เคียงกับที่วิเคราะห์ได้จากใบแก่ของแอปเปิ้ล แต่ในใบอ่อนจะมีปริมาณธาตุคาร์บอน ไฮโดรเจน และไนโตรเจน ต่ำกว่าในใบแก่ซึ่งพัฒนาเต็มที่แล้ว (Walton *et al.*, 1999)

ตารางที่ 3 การวิเคราะห์ธาตุที่เป็นองค์ประกอบหลักจากส่วนใบของยางพาราพันธุ์ RRIM600

ส่วนของเนื้อเยื่อ	C (mg g ⁻¹)	H (mg g ⁻¹)	N (mg g ⁻¹)	S (mg g ⁻¹)	O (mg g ⁻¹)
ใบ					
- แผ่นใบ สูง 0 ม. จากยอดลงมา	481.4a	66.4a	22.5ab	1.53a	243.3d
สูง 1 ม. จากยอดลงมา	479.2a	66.8a	23.4a	1.71a	243.9d
สูง 2 ม. จากยอดลงมา	479.3a	66.2a	22.7ab	1.48ab	245.4d
สูง 3 ม. จากยอดลงมา	482.5a	67.2a	23.8a	1.43ab	240.2d
สูง 4 ม. จากยอดลงมา	479.6a	66.9a	23.5a	1.32ab	243.8d
- ก้านใบ	451.6d	62.3b	9.3d	1.05bc	290.8a
- แผ่นใบร่วง	461.5c	62.5b	15.8c	0.76c	274.5b
- ก้านใบร่วง	468.0b	62.4b	20.8b	1.34ab	262.6c
P-value	<.0001	<.0001	<.0001	0.0021	<.0001
C.V. (%)	1.16	1.62	8.64	27.67	3.02

หมายเหตุ ค่าเฉลี่ยตามด้วยตัวอักษรที่เหมือนกันในแนวดิ่ง ไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ
ที่ระดับความเชื่อมั่น 95% เปรียบเทียบโดยวิธี DMRT

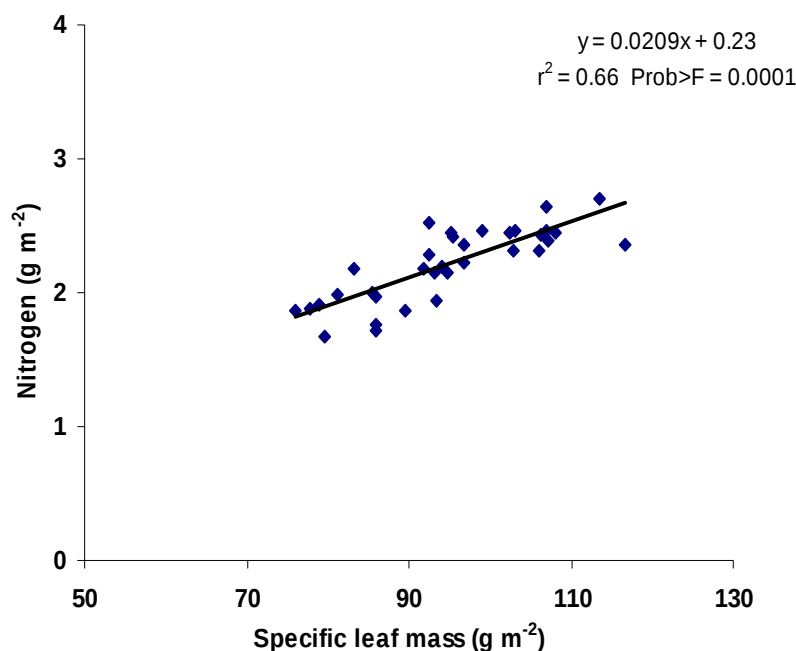
มวลจำเพาะของใบ ที่ระดับความสูง 0 เมตรจากยอดลงมา มีค่ามากกว่าที่ระดับความสูง 4 เมตรจากยอดลงมาอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (ภาพที่ 3a) และเมื่อระยะห่างของตำแหน่งใบจากปลายยอดเพิ่มขึ้น ค่ามวลจำเพาะของใบมีแนวโน้มลดต่ำลง ดังนั้นใบที่อยู่ด้านบนเรือนยอดและได้รับแสงเต็มที่ (Sun leaf) จะมีใบที่หนากว่า จากงานทดลองของ Larcher (1995) พบว่าใบที่อยู่ด้านบนของเรือนยอดและใบในที่ร่มภายใต้เรือนยอด (Shade leaf) มีคุณสมบัติที่เกี่ยวข้องกับการสังเคราะห์ด้วยแสงแตกต่างกัน ใบที่ได้รับแสงเต็มที่มีประสิทธิภาพในการใช้แสงที่ระดับความเข้มแสงสูงได้ดีกว่าและมีอัตราการสังเคราะห์ด้วยแสงที่จุดอิ่มตัว (Light saturated photosynthesis) สูงกว่า ซึ่ง Evans (1989) พบว่า ความแตกต่างดังกล่าวน่าจะมีผลมาจากปริมาณไนโตรเจนในใบที่แตกต่างกัน และจากงานทดลองนี้พบว่า ค่ามวลจำเพาะของใบที่ลดต่ำลงสอดคล้องกับปริมาณไนโตรเจนของใบ ที่มีแนวโน้มว่าลดต่ำลงเช่นเดียวกัน (ภาพที่ 3b)



ภาพที่ 3 มวลจำเพาะและปริมาณไนโตรเจนในใบของยางพารา พันธุ์ RRIM600 ที่ระดับความสูงต่าง ๆ จากปลายยอด

หมายเหตุ ค่าเฉลี่ยตามด้วยตัวอักษรที่เหมือนกัน ไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ ที่ระดับความเชื่อมั่น 95% เปรียบเทียบโดยวิธี DMRT

มวลจำเพาะของใบซึ่งบ่งบอกถึงความหนาของใบ (Leaf thickness) เมื่อมวลจำเพาะของใบมากแสดงว่าใบหนา โอกาสที่จะมีปริมาณคลอโรฟิลล์ในใบและเอนไซม์ที่เกี่ยวข้องกับการสังเคราะห์ด้วยแสงมากกว่าในใบบาง และจากการหาความสัมพันธ์ระหว่างค่ามวลจำเพาะกับปริมาณไนโตรเจนในใบ (ภาพที่ 4) พบว่า มีความสัมพันธ์กันในทางบวก เมื่อใบมีค่ามวลจำเพาะเพิ่มสูงขึ้น ปริมาณไนโตรเจนในใบเพิ่มสูงขึ้น ($r^2 = 0.63$, Prob>F = 0.0001) ซึ่งไนโตรเจนเป็นธาตุที่สำคัญที่เป็นองค์ประกอบในการสร้างสารประกอบในกระบวนการสังเคราะห์ด้วยแสง (ภาพที่ 3b) ทั้งนี้การเพิ่มขึ้นของปริมาณไนโตรเจนต่อพื้นที่ใบในใบที่มีพัฒนาการในที่ที่ได้รับแสงเต็มที่ ถือเป็นการปรับตัวเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพในการสังเคราะห์ด้วยแสง (Hirose and Werger, 1987)



ภาพที่ 4 ความสัมพันธ์ระหว่างมวลจำเพาะและปริมาณไนโตรเจนในใบของยางพาราพันธุ์ RRIM600

2. ประเมินต้นทุนด้านพลังงาน ในการสร้างส่วนต่าง ๆ ของต้นยาง

2.1 ประเมินต้นทุนด้านพลังงานในการสร้างเนื้อเยื่อแต่ละส่วน

จากการประเมินต้นทุนด้านพลังงานในการสร้างมวลชีวภาพส่วนต่าง ๆ ของต้นยางพาราพันธุ์ RRIM600 โดยวิธีของ McDermitt and Loomis (1981) พบว่า ส่วนของลำต้นทั้งเนื้อไม้และเปลือกมีค่า Glucose value (GV) True growth yield (Y_g) และค่า Specific cost ใกล้เคียงกัน แต่ค่าการหายใจเพื่อการเจริญเติบโต (R_g) ในการสร้างส่วนเนื้อไม้มากกว่าส่วนเปลือกของลำต้น (ตารางที่ 4)

กิ่งแก่สีน้ำตาลใช้ต้นทุนด้านพลังงานในการสร้างใกล้เคียงกับกิ่งอ่อนสีเขียว ซึ่งกิ่งอ่อนสีเขียวมีค่า GV และ Y_g สูงกว่ากิ่งแก่สีน้ำตาลเล็กน้อย แต่ค่า Specific cost ของกิ่งแก่น้ำตาลมากกว่าเล็กน้อย โดยเท่ากับ $1.805 \text{ g glucose g}^{-1}$ และในกิ่งอ่อนสีเขียวมีค่า Specific cost เท่ากับ $1.760 \text{ g glucose g}^{-1}$ ซึ่งเป็นผลให้กิ่งแก่น้ำตาลมีอัตราการหายใจเพื่อการเจริญเติบโตใน

การสร้างมวลชีวภาพใกล้เคียงกับกิ้งอ่อนสีเขียว โดยใช้ $0.603 \text{ g CO}_2 \text{ g}^{-1}$ แต่กิ้งอ่อนสีเขียวใช้ $0.580 \text{ g CO}_2 \text{ g}^{-1}$

รากทั้ง 3 ประเภท มีการใช้ต้นทุนด้านพลังงานในการสร้างมวลชีวภาพของรากใกล้เคียงกันทั้งรากแก้ว รากแขนงใหญ่ และรากแขนงเล็ก ดังนี้ ค่า GV ประมาณ $0.662 - 0.673 \text{ g g}^{-1} \text{ glucose}$ เมื่อพิจารณาในแง่ของ Growth efficiency พบว่าค่า Y_g จากการคำนวณของรากมีค่าอยู่ในช่วง $0.556 - 0.565 \text{ g g}^{-1} \text{ glucose}$ ค่า Specific cost อยู่ในช่วง $1.770 - 1.800 \text{ g glucose g}^{-1}$ และค่า R_g $0.583 - 0.590 \text{ g CO}_2 \text{ g}^{-1}$ แต่ในส่วนของเปลือกกรากแก้วใช้ต้นทุนด้านพลังงานในการสร้างต่ำกว่าส่วนเนื้อไม้ของราก ดังนี้ ค่า GV $0.940 \text{ g g}^{-1} \text{ glucose}$ ส่วน Y_g เท่ากับ $0.790 \text{ g g}^{-1} \text{ glucose}$ ค่า Specific cost เท่ากับ 1.266 กรัมกลูโคสต่อกรัมน้ำหนักแห้ง และค่า R_g $0.225 \text{ g CO}_2 \text{ g}^{-1}$ ซึ่งต่ำกว่าทั้งรากแขนงใหญ่และรากแขนงเล็ก จินตนา (2545) พบว่ารากขนาดเล็กจะมีความเข้มข้นของธาตุอาหารสูงกว่ารากขนาดใหญ่ และเป็นไปได้ที่รากขนาดเล็กที่มีพื้นที่ผิวสัมผัสดินมากกว่า ทำหน้าที่ดูดซับน้ำและธาตุอาหาร ต้องใช้เอนไซม์และโพแทสเซียมเพื่อช่วยในการเคลื่อนย้าย อีกทั้งส่วนที่เป็นเนื้อไม้มีน้อย รากขนาดเล็กจึงมีความเข้มข้นของไนโตรเจนและโพแทสเซียมสูง

เนื้อเมล็ดและเปลือกเมล็ดใช้น้ำตาลกลูโคสในการสร้างแตกต่างกันมาก โดยส่วนของเนื้อเมล็ดจะใช้ต้นทุนมากกว่าส่วนของเปลือกอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ซึ่งเนื้อเมล็ด GV เท่ากับ $0.400 \text{ g g}^{-1} \text{ glucose}$ ส่วน Y_g มีค่า $0.336 \text{ g g}^{-1} \text{ glucose}$ ค่า Specific cost เท่ากับ $2.979 \text{ g glucose g}^{-1}$ และค่า R_g $1.444 \text{ g CO}_2 \text{ g}^{-1}$ แต่ในเปลือกเมล็ด ค่า GV เท่ากับ $0.602 \text{ g g}^{-1} \text{ glucose}$ ส่วน Y_g มีค่า $0.506 \text{ g g}^{-1} \text{ glucose}$ ค่า Specific cost เท่ากับ $1.977 \text{ g glucose g}^{-1}$ และค่า R_g $0.660 \text{ g CO}_2 \text{ g}^{-1}$ และจากการประเมินต้นทุนการสร้างเนื้อเยื่อส่วนต่าง ๆ ของต้นยางจะพบว่าเนื้อเมล็ดใช้ปริมาณน้ำตาลในการสร้างต่อกรัมน้ำหนักแห้งสูงที่สุด แต่อย่างไรก็ตามยังน้อยกว่าเมื่อเปรียบเทียบกับปริมาณของแข็งทั้งหมดในน้ำยาง

ในส่วนของใบ พบว่า ค่า GV และ Y_g ของก้านใบมากที่สุด รองลงมาคือ แผ่นใบ ร่วง ก้านใบร่วง และแผ่นใบ ตามลำดับ ซึ่งในส่วน of แผ่นใบ ค่า Specific cost มากที่สุด รองลงมาคือ แผ่นใบร่วง ก้านใบร่วง และก้านใบ ตามลำดับ ดังนั้นในการสร้างแผ่นใบจำนวน 1 กรัม จะต้องใช้จำนวนกรัมของกลูโคสมากกว่าส่วนอื่น ๆ ของใบ ถึงแม้ว่าส่วนของใบและเมล็ดจะมีพลังงานสะสมอยู่ในปริมาณมาก แต่ก็เป็นส่วนที่ต้องหลุดร่วงออกไปทุกปี ซึ่งทำให้เกิดการ

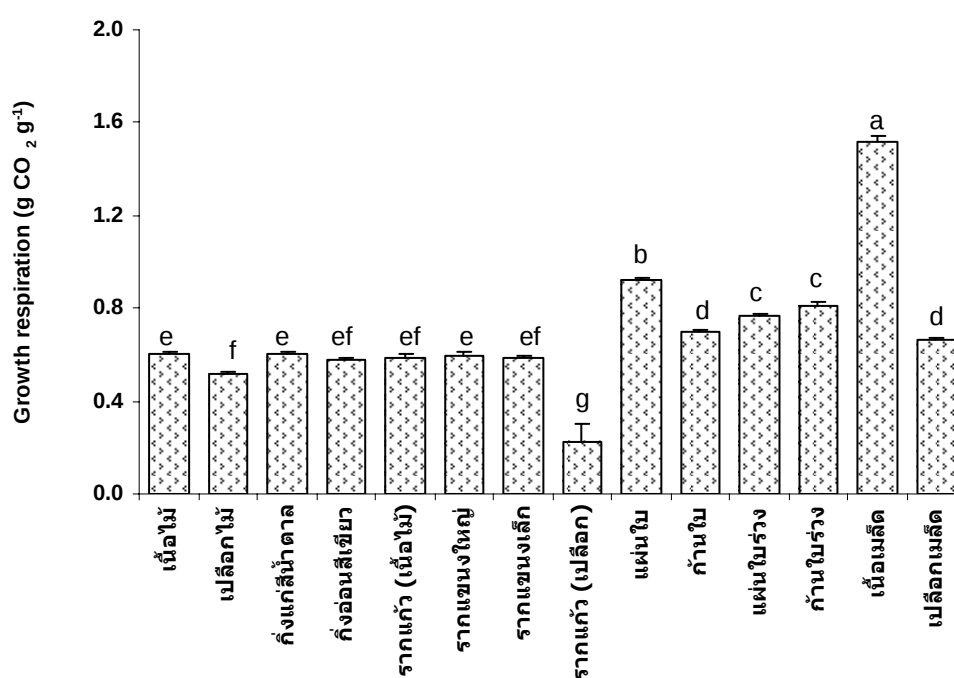
สูญเสียพลังงานไปจากต้น ในขณะที่พลังงานที่สะสมไว้ในส่วนองค์ประกอบของเซลล์กิ่งก้านและลำต้น จะสามารถนำมาใช้เป็นอาหารสำรองที่หมุนเวียนออกมาใช้ในช่วงระยะเวลาที่ใบชุดเก่าหลุดร่วง และใบใหม่ยังพัฒนาไม่เต็มที่

ตารางที่ 4 ต้นทุนด้านพลังงานในการสร้างมวลชีวภาพส่วนต่าง ๆ ของต้นยางพาราพันธุ์ RRIM600

ส่วนของเนื้อเยื่อ	GV (g g ⁻¹ glucose)	Y _g (g g ⁻¹ glucose)	Specific cost (g glucose g ⁻¹)	R _g (g CO ₂ g ⁻¹)
ลำต้น - เนื้อไม้	0.657b	0.552b	1.810e	0.601e
- เปลือก	0.673b	0.566b	1.770e	0.536f
กิ่ง - กิ่งแก่สีน้ำตาล	0.659b	0.554b	1.805e	0.603e
- กิ่งอ่อนสีเขียว	0.676b	0.568b	1.760e	0.580ef
ราก - รากแก้ว (เนื้อไม้)	0.665b	0.558b	1.791e	0.590ef
- รากแก้ว (เปลือก)	0.940a	0.790a	1.266f	0.225g
- รากแขนงใหญ่	0.662b	0.556b	1.800e	0.598e
- รากแขนงเล็ก	0.673b	0.565b	1.770e	0.583ef
เมล็ด - เนื้อเมล็ด	0.400f	0.336f	2.979a	1.514a
- เปลือกเมล็ด	0.602c	0.506c	1.977d	0.660d
ใบ - แผ่นใบ	0.530e	0.445e	2.245b	0.922b
- ก้านใบ	0.604c	0.507c	1.972d	0.701d
- แผ่นใบร่วง	0.579cd	0.486cd	2.057c	0.767c
- ก้านใบร่วง	0.562de	0.472de	2.116c	0.814c
<i>P-value</i>	<.0001	<.0001	<.0001	<.0001
<i>C.V. (%)</i>	5.76	5.76	3.26	7.12

หมายเหตุ ค่าเฉลี่ยตามด้วยตัวอักษรที่เหมือนกันในแนวดิ่ง ไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ
ที่ระดับความเชื่อมั่น 95% เปรียบเทียบโดยวิธี DMRT

จากการประเมินการหายใจเพื่อการเจริญเติบโตในการสร้างเนื้อเยื่อส่วนต่าง ๆ ของต้นยางพารา สามารถเรียงลำดับจากมากไปหาน้อยได้ ดังนี้ เนื้อเมล็ดสูงที่สุด รองลงมาคือ แผ่นใบ แผ่นใบร่วง ก้านใบร่วง ก้านใบ เนื้อไม้ กิ่งแก่สีน้ำตาล รากแขนงใหญ่ เปลือกเมล็ด เปลือกไม้ กิ่งอ่อนสีเขียว รากแก้ว รากแขนงเล็ก และเปลือกรากแก้ว ตามลำดับ (ภาพที่ 5) เนื้อเมล็ดประกอบด้วยเอ็มบริโอและเอนโดสเปิร์มซึ่งเป็นสารให้พลังงานสูงจึงต้องใช้พลังงานในการสร้างมากที่สุด ผลที่ได้แสดงว่าในช่วงเวลาที่ต้นยางสร้างใบชุดใหม่จะเกิดการเคลื่อนย้ายพลังงานที่สะสมไว้ในต้นมาสร้างมวลชีวภาพจำนวนมาก เนื่องจากส่วนของใบต้องการพลังงานในการสร้างสูง และในช่วงที่มีการพัฒนาของผลก็เช่นเดียวกัน แต่พลังงานที่นำมาใช้สร้างไม่น่าจะเป็นพลังงานที่สะสมไว้ในต้น เนื่องจากใบชุดใหม่พัฒนาเต็มที่แล้ว อย่างไรก็ตามทั้ง 2 ช่วงเวลาดังกล่าว มีผลกระทบต่อปริมาณน้ำยางซึ่งเป็นผลผลิตอย่างแน่นอน เนื่องจากต้องใช้สารตั้งต้นในกระบวนการหายใจเพื่อการสร้างจำนวนมาก



ภาพที่ 5 เปรียบเทียบการหายใจเพื่อการเจริญเติบโตในการสร้างมวลชีวภาพส่วนต่าง ๆ ของยางพาราพันธุ์ RRIM600

หมายเหตุ ค่าเฉลี่ยตามด้วยตัวอักษรที่เหมือนกัน ไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ ที่ระดับความเชื่อมั่น 95% เปรียบเทียบโดยวิธี DMRT

ผลจากการประเมินต้นทุนด้านพลังงานในการสร้างเนื้อไม้ที่ระดับความสูง (ตารางที่ 5) พบว่า ค่า GV และ Y_g ที่ระดับผิวดินมากกว่าที่ระดับความสูง 3 6 และ 9 เมตรจากพื้นดิน อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ แต่ค่า Specific cost ในการสร้างเนื้อไม้ที่ระดับผิวดิน และค่า R_g น้อยกว่าที่ระดับความสูงอื่น ๆ อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ในส่วนเปลือกของลำต้น พบว่า เปลือกที่ระดับผิวดิน มีค่า GV และ Y_g มากที่สุด รองลงมาคือ ที่ระดับความสูง 3 6 และ 9 เมตรจากพื้นดิน ตามลำดับ ซึ่งแสดงว่า ตำแหน่งเปลือกที่ความสูงเพิ่มขึ้นจากพื้นดิน จะใช้ต้นทุนด้านพลังงานในการสร้างสารต่อหน่วยน้ำหนักเพิ่มมากขึ้นเมื่อเปรียบเทียบกับระดับความสูงที่น้อยกว่า นอกจากนี้ค่า R_g เพิ่มสูงขึ้นเช่นกัน

ตารางที่ 5 ต้นทุนด้านพลังงานในการสร้างมวลชีวภาพส่วนเนื้อไม้และเปลือกของลำต้นยางพารา พันธุ์ RRIM600

ลำต้น	GV (g g ⁻¹ glucose)	Y_g (g g ⁻¹ glucose)	Specific cost (g glucose g ⁻¹)	R_g (g CO ₂ g ⁻¹)
- เนื้อไม้ ระดับผิวดิน	0.670a	0.563a	1.776b	0.582b
สูง 3 ม. จากพื้นดิน	0.655b	0.551b	1.816a	0.605a
สูง 6 ม. จากพื้นดิน	0.656b	0.551b	1.814a	0.604a
สูง 9 ม. จากพื้นดิน	0.648b	0.545b	1.836a	0.616a
P-value	0.0017	0.0017	0.0020	0.0033
C.V. (%)	1.27	1.27	1.27	2.29
- เปลือก ระดับผิวดิน	0.719a	0.604a	1.655c	0.465c
สูง 3 ม. จากพื้นดิน	0.674b	0.566b	1.766b	0.527b
สูง 6 ม. จากพื้นดิน	0.660bc	0.554bc	1.805ab	0.557b
สูง 9 ม. จากพื้นดิน	0.641c	0.538c	1.857a	0.595a
P-value	< .0001	< .0001	< .0001	< .0001
C.V. (%)	2.66	2.66	2.60	5.80

หมายเหตุ ค่าเฉลี่ยตามด้วยตัวอักษรที่เหมือนกันในแนวดัง ไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95% เปรียบเทียบโดยวิธี DMRT

เปรียบเทียบใบที่ระดับความสูงจากปลายยอด 0 1 2 3 และ 4 เมตร (ตารางที่ 6) ใช้ต้นทุนด้านพลังงานในการสร้างใกล้เคียงกัน โดยค่า GV ประมาณ $0.526 - 0.534 \text{ g g}^{-1} \text{ glucose}$ ส่วน Y_g มีค่า $0.442 - 0.448 \text{ g g}^{-1} \text{ glucose}$ ค่า Specific cost อยู่ในช่วง $2.244 - 2.265 \text{ g glucose g}^{-1}$ และค่า R_g $0.909 - 0.938 \text{ g CO}_2 \text{ g}^{-1}$ ซึ่งไม่สอดคล้องกับงานทดลองของสาพิศ (2545) ที่พบว่าต้นทุนในการสร้างใบคิดเป็นปริมาณกลูโคสต่อพื้นที่ใบของต้นกระถินเทพาและกระถินณรงค์ ที่ได้จากค่า heat of combustion ตามวิธีการของ Williams *et al* (1987) ลดลงจากด้านบนของเรือนยอดไปสู่ด้านล่างของเรือนยอดตามลำดับ ซึ่งการลดลงแสดงความสัมพันธ์อย่างใกล้ชิดกับปริมาณแสงที่ลดลง แต่เมื่อพิจารณาจากลักษณะเรือนพุ่มของยางพาราพันธุ์ RRIM600 จะพบว่ามีทรงพุ่มแบบรูปพัดขนาดปานกลาง การกระจายแสงภายในเรือนพุ่มจึงน่าจะเกิดขึ้นได้ดีกว่าต้นกระถินเทพาและกระถินณรงค์ที่มีเรือนพุ่มแบบทรงตรง (Columnar shape) ที่ใบบังแสงกันมากกว่า

และเมื่อเปรียบเทียบส่วนของแผ่นใบ ก้านใบ แผ่นใบร่วงและก้านใบร่วง พบว่า ก้านใบมีค่า GV และ Y_g มากที่สุด รองลงมาคือ แผ่นใบร่วง และแผ่นใบตามลำดับ ซึ่งแผ่นใบร่วงมีค่า Specific cost ต่ำกว่าใบที่ยังไม่หลุดร่วง ทั้งนี้เนื่องจากก่อนการร่วงของใบมักจะมีสารถูกเคลื่อนย้ายออกจากใบไปยังลำต้น จึงทำให้แผ่นใบร่วงมีสารต่าง ๆ ลดต่ำกว่าใบปกติ ปริมาณกลูโคสที่เป็นต้นทุนด้านพลังงานที่ใช้ในการสร้างส่วนนี้คงเหลืออยู่ในมวลชีวภาพเพียง $1.972 \text{ g glucose g}^{-1}$ แต่แผ่นใบปกติต้องใช้กลูโคส $2.244 - 2.265 \text{ g}$ ในการสร้างแผ่นใบ 1 g แต่เมื่อเปรียบเทียบก้านใบปกติกับก้านใบร่วงกลับพบว่าก้านใบร่วงกลับมีค่า Specific cost มากกว่าก้านใบที่ยังไม่ร่วงอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ แสดงว่าปริมาณสารบางชนิดของก้านใบที่ยังไม่ร่วงและก้านใบร่วงมีความแตกต่างกัน

ตารางที่ 6 ต้นทุนด้านพลังงานในการสร้างมวลชีวภาพส่วนใบของยางพาราพันธุ์ RRIM600

ส่วนของเนื้อเยื่อ	GV (g g ⁻¹ glucose)	Y _g (g g ⁻¹ glucose)	Specific cost (g glucose g ⁻¹)	R _g (g CO ₂ g ⁻¹)
ใบ				
- แผ่นใบ สูง 0 ม. จากยอด	0.531d	0.446d	2.243a	0.916a
สูง 1 ม. จากยอด	0.531d	0.446d	2.243a	0.924a
สูง 2 ม. จากยอด	0.534d	0.448d	2.231a	0.909a
สูง 3 ม. จากยอด	0.526d	0.442d	2.265a	0.938a
สูง 4 ม. จากยอด	0.530d	0.446d	2.244a	0.925a
- ก้านใบ	0.604a	0.507a	1.972d	0.701d
- แผ่นใบร่วง	0.579b	0.486b	2.057c	0.767c
- ก้านใบร่วง	0.562c	0.472c	2.116b	0.814b
P-value	<.0001	<.0001	<.0001	<.0001
C.V. (%)	1.98	1.98	2.07	4.09

หมายเหตุ ค่าเฉลี่ยตามด้วยตัวอักษรที่เหมือนกันในแนวดัง ไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ
ที่ระดับความเชื่อมั่น 95% เปรียบเทียบโดยวิธี DMRT

2.2 ประเมินต้นทุนด้านพลังงานในการสร้างทั้งต้น

ยางพาราสร้างสารประกอบไฮโดรคาร์บอนซึ่งทำให้เกิดการรักษาสมดุลระหว่างมวลชีวภาพและคาร์บอนไดออกไซด์ในอากาศ (Greek, 1991) เมื่อคาร์บอนไดออกไซด์ถูกตรึงไว้จะถูกเปลี่ยนไปอยู่ในรูปของกลูโคสซึ่งเคลื่อนย้ายมาเป็นสารตั้งต้นในการสร้างมวลชีวภาพต่อไป เมื่อประเมินปริมาณกลูโคสที่ใช้สร้างมวลชีวภาพเฉพาะที่มีอยู่ ณ เวลาที่เก็บข้อมูล (Standing biomass) ที่อายุต่าง ๆ (ตารางที่ 7) พบว่า ต้นยางที่มีอายุเพิ่มมากขึ้น ปริมาณกลูโคสต่อต้นที่ใช้สร้างมวลชีวภาพเพิ่มขึ้นไปตามปริมาตรของต้นที่เพิ่ม โดยส่วนของลำต้นและกิ่งจะเพิ่มขึ้นอย่างมาก เปรียบเทียบที่อายุ 2 - 5 ปี ค่าต้นทุนด้านพลังงานในการสร้างมวลชีวภาพของลำต้นและกิ่งเพิ่มมากขึ้นเกือบ 100 เท่า จาก 11.66 kg glucose tree⁻¹ เป็น 1,025.95 kg glucose tree⁻¹ และเมื่อคิดเป็นสัดส่วน พบว่า ส่วนของลำต้นและกิ่งมีสัดส่วนมากที่สุดต่อต้น โดยในช่วงอายุ 2.5 - 4.0 ปี คิดเป็น 72.1 - 77.1% ของน้ำหนักต้นทั้งหมด และเมื่ออายุเพิ่มขึ้นที่ 9 - 25 ปี สัดส่วนของลำต้น

ใกล้เคียงกันระหว่าง 85.6 - 87.4% ถึงแม้ว่ายางพาราจะเป็นพืชที่มีการทิ้งกิ่งจำนวนมากในแต่ละปี แต่สัดส่วนของกิ่งยังคงที่ (ตารางที่ 8) นั้นแสดงว่าต้นมีการสร้างมวลชีวภาพใหม่ขึ้นมาทดแทนตลอดเวลา

การสร้างใบจะสูงที่สุดเมื่ออายุ 20 ปี เท่ากับ $23.75 \text{ kg glucose tree}^{-1}$ และลดลงเมื่ออายุ 25 ปี เป็น $19.31 \text{ kg glucose tree}^{-1}$ ซึ่งปกติยางพาราจะทิ้งใบทุกปีในช่วงปลายเดือนมกราคม ดังนั้นในทุก ๆ ปี ต้นยางจะต้องเคลื่อนย้ายกลูโคสมาสร้างมวลของใบใหม่ทดแทนที่หลุดร่วงไป หากต้นมีอายุมากก็จะต้องเคลื่อนย้ายสารมาสร้างในปริมาณที่มากกว่าต้นที่อายุน้อย เนื่องจากจำนวนใบที่มากกว่า เมื่อคิดเป็นสัดส่วนต่อต้น พบว่า ต้นที่อายุน้อยสัดส่วนของใบต่อต้นจะสูงมาก ที่อายุ 2.5 ปี คิดเป็น 8% ของน้ำหนักต้นทั้งหมด ที่อายุ 4 ปี ลดลงเป็น 6.8% และลดลงมากเป็น 1.3% ที่อายุ 9 ปี เมื่ออายุเพิ่มมากขึ้นไปอีกสัดส่วนเริ่มคงที่ อยู่ในช่วง 1.6 – 2.7% ของน้ำหนักต้นทั้งหมด การผลัดใบในรอบปีจะทำให้มีการสูญเสียพลังงานในการสร้างมวลชีวภาพ แต่เมื่อเปรียบเทียบสัดส่วนกับมวลชีวภาพทั้งต้นที่อายุต่าง ๆ ในต้นยางขนาดใหญ่ พบว่าสูญเสียในสัดส่วนที่น้อย

จากทั้ง 3 ประเภท ต้องใช้กลูโคสในการสร้างมวลชีวภาพส่วนของรากแก้วและลำต้นที่ระดับผิวดินมากที่สุด รองลงมาคือ รากแขนง และรากฝอยตามลำดับ ต้นทุนด้านพลังงานในการสร้างรากแก้วจะเพิ่มตามอายุและสูงที่สุดที่อายุ 25 ปี คิดเป็น $101.91 \text{ kg glucose tree}^{-1}$ ในรากแขนงก็เช่นเดียวกันจะสูงที่สุดเมื่ออายุ 25 ปี เท่ากับ $26.82 \text{ kg glucose tree}^{-1}$ ต้นทุนด้านพลังงานในการสร้างรากฝอยต่อต้นต่ำกว่าส่วนอื่น ๆ อยู่ในช่วง $0.53 - 5.13 \text{ kg glucose tree}^{-1}$ เมื่อคิดเป็นสัดส่วนต่อต้น รากแก้วและลำต้นที่ระดับผิวดินที่อายุ 2.5 ปี มากที่สุด คิดเป็น 17.7% ของน้ำหนักต้นทั้งหมดและค่อย ๆ ลดลงอยู่ในช่วง 8.0 - 11.9% ที่อายุ 4 - 25 ปี สัดส่วนของรากแขนงเปลี่ยนแปลงน้อยประมาณ 1.9 - 3.1% เมื่ออายุ 2.5 - 25 ปี และรากฝอยก็มีสัดส่วนน้อยมากอยู่ในช่วง 0.1 - 1.0% ที่อายุ 2.5 - 25 ปี ซึ่งสอดคล้องกับปริมาณธาตุอาหารที่จินตนา (2545) ได้รายงานว่าเป็นต้นยางขนาดเล็ก ปริมาณธาตุอาหารเกินครึ่งหนึ่งอยู่ในส่วนของราก เมื่อต้นยางมีขนาดใหญ่ขึ้น ปริมาณธาตุอาหารในส่วนของใบจะเป็นสัดส่วนที่ลดลง ในขณะที่สัดส่วนของลำต้นเพิ่มมากขึ้น นอกจากนี้พงษ์ศักดิ์และวารินทร์ (2531) พบว่า ต้นยางที่อายุ 25 – 30 ปี เป็นช่วงอายุที่ให้ผลผลิตน้อย และเตรียมที่จะตัดต้นยางออก ซึ่งถือว่าเป็นช่วงอายุที่เหมาะสม เนื่องจากที่อายุ 20 – 25 ปี ต้นยางมีการสะสมมวลชีวภาพในส่วนของลำต้นและกิ่งเพิ่มในปริมาณที่มาก หากรีบตัดโค่นต้นที่อายุน้อยกว่า 25 ปี จะสูญเสียโอกาสที่จะได้ปริมาณเนื้อไม้เพิ่มจำนวนมาก

ตารางที่ 7 ปริมาณกลูโคสที่ใช้สร้างมวลชีวภาพเฉพาะที่มีอยู่ ณ เวลาที่เก็บข้อมูล (standing biomass) ของต้นยางพาราพันธุ์ RRIM600

เส้นรอบ								
อายุ (ปี)	ลำต้น (ซม.)	ความสูง (ซม.)	Bioenergetic costs of biomass synthesis (kg glucose tree ⁻¹)					
			ลำต้น		รากแก้วและ			รวม
			และ กิ่ง	ใบ	ลำต้นที่ ระดับผิวดิน	ราก แขนง	ราก ฝอย	
2.5	17.8	6.5	11.66	1.29	2.87	0.36	0.00	16.18
4.0	27.1	7.0	40.48	3.58	6.27	1.62	0.53	52.48
9.0	51.3	16.0	328.40	4.92	36.18	7.38	0.53	377.40
12.0	56.0	19.5	431.31	10.59	44.42	10.80	1.24	498.36
15.0	62.1	19.8	575.43	18.27	56.77	16.56	5.13	672.17
20.0	74.9	20.9	884.28	23.75	80.42	18.72	4.07	1011.23
25.0	85.0	24.7	1025.95	19.31	101.91	26.82	1.06	1175.05

หมายเหตุ อ้างอิงข้อมูลน้ำหนักมวลชีวภาพต้นยางพาราของ Chantuma *et al.* (2004)

ตารางที่ 8 สัดส่วนของปริมาณกลูโคสที่ใช้สร้างมวลชีวภาพเฉพาะที่มีอยู่ ณ เวลาที่เก็บข้อมูล (standing biomass) ของต้นยางพาราพันธุ์ RRIM600

อายุ (ปี)	สัดส่วน (%)				
	รากแก้วและ				
	ลำต้น และกิ่ง	ใบ	ลำต้นที่ ระดับผิวดิน	รากแขนง	รากฝอย
2.5	72.1	8.0	17.7	2.2	0.0
4.0	77.1	6.8	11.9	3.1	1.0
9.0	87.0	1.3	9.6	2.0	0.1
12.0	86.5	2.1	8.9	2.2	0.2
15.0	85.6	2.7	8.4	2.5	0.8
20.0	87.4	2.3	8.0	1.9	0.4
25.0	87.3	1.6	8.7	2.3	0.1

นอกจากจะเป็นการอนุรักษ์คาร์บอนไดออกไซด์จากอากาศไว้ในรูปมวลชีวภาพแล้ว ยางพารายังปลดปล่อยคาร์บอนไดออกไซด์ออกมาในช่วงที่สร้างมวลชีวภาพใหม่อีกด้วย แต่ก็เป็นสัดส่วนที่น้อยกว่าเมื่อเทียบกับที่ตรึงไว้ จากตารางที่ 9 พบว่า การหายใจเพื่อการเจริญเติบโตในการสร้างมวลชีวภาพส่วนต่าง ๆ นั้น ลำต้นและกิ่งมีค่าสูงที่สุด รองลงมาคือ รากแก้วและลำต้นที่ระดับผิวดิน ใบ รากแขนง และรากฝอย ตามลำดับ การหายใจเพื่อการเจริญเติบโตของต้นยางที่อายุ 2.5 ปี เท่ากับ $5.44 \text{ kg CO}_2 \text{ tree}^{-1}$ และเพิ่มมากที่สุดเมื่ออายุ 25 ปี คิดเป็น $391.10 \text{ kg CO}_2 \text{ tree}^{-1}$ ทั้งลำต้น กิ่ง รากแก้ว คอโคน และรากแขนง เนื่องจากพิจารณาตามปริมาณของมวลชีวภาพที่มีอยู่ ณ เวลาที่เก็บข้อมูล การหายใจเพื่อการเจริญเติบโตจึงเพิ่มมากขึ้นตามอายุ แต่ใบที่เกิดการหลุดร่วงทุกปีกลับลดต่ำลงเมื่ออายุ 25 ปี รวมทั้งรากฝอยที่ลดลงเมื่ออายุ 20 และ 25 ปี

ตารางที่ 9 การหายใจเพื่อการเจริญเติบโตในการสร้างมวลชีวภาพเฉพาะที่มีอยู่ ณ เวลาที่เก็บข้อมูล (standing biomass) ของต้นยางพาราพันธุ์ RRIM600

เส้นรอบ								
อายุ (ปี)	ลำต้น (ซม.)	ความสูง (ซม.)	Growth respiration (kg CO ₂ tree ⁻¹)					
			ลำต้น		รากแก้วและ ลำต้นที่ระดับ		ราก	
			และ กิ่ง	ใบ	ผิวดิน	แขนง	ฝอย	รวม
2.5	17.8	6.5	3.87	0.50	0.94	0.12	0.00	5.44
4.0	27.1	7.0	13.45	1.38	2.07	0.54	0.17	17.61
9.0	51.3	16.0	109.10	1.89	11.92	2.45	0.17	125.54
12.0	56.0	19.5	143.29	4.08	14.63	3.59	0.41	165.99
15.0	62.1	19.8	191.17	7.03	18.70	5.50	1.69	224.09
20.0	74.9	20.9	293.77	9.13	26.49	6.22	1.34	336.96
25.0	85.0	24.7	340.84	7.43	33.57	8.91	0.35	391.10

หมายเหตุ อ้างอิงข้อมูลน้ำหนักมวลชีวภาพต้นยางพาราของ Chantuma *et al.* (2004)

2.3 ประเมินต้นทุนด้านพลังงานในการสร้างมวลชีวภาพของส่วนที่สูญเสียไปกับการทิ้งเศษซากพืช

ยางพาราเป็นไม้เนื้ออ่อนที่เกิดการหลุดร่วงของกิ่งตลอดทั้งปี รวมถึงเมล็ดที่เป็นส่วนขยายพันธุ์ นอกจากนี้ยังมีการผลัดใบทั้งต้นเกิดขึ้นในช่วงฤดูแล้งของทุกปีในต้นยางพาราที่อายุมากกว่า 2 ปี จากการประเมินปริมาณกลูโคสที่สูญเสียไปกับการทิ้งเศษซากพืชต่อปีของต้นยางพารา 3 ช่วงอายุ ได้แก่ อายุ 11 - 12 ปี 15 - 17 ปี และ 20 - 21 ปี (ตารางที่ 10) พบว่า เมื่อต้นยางอายุ 11 - 12 ปี ปริมาณกลูโคสที่สูญเสียไปกับการทิ้งเศษซากในส่วนของกิ่งเล็กแห้งมากที่สุด (769 kg glucose ra⁻¹ year⁻¹) รองลงมาคือก้านใบ (543 kg glucose ra⁻¹ year⁻¹) กิ่งใหญ่แห้ง (496 kg glucose ra⁻¹ year⁻¹) ใบ (176 kg glucose ra⁻¹ year⁻¹) และเมล็ด (80 kg glucose ra⁻¹ year⁻¹) ตามลำดับ ซึ่งต้นยางจะต้องสูญเสียปริมาณกลูโคสที่ได้จากการสังเคราะห์ด้วยแสงไปกับการสร้างส่วนที่หลุดร่วงในแต่ละปี โดยรวมทุกส่วนของลำต้นเมื่ออายุ 11 - 12 ปี มากถึง 2,065 kg glucose

rai⁻¹ year⁻¹ นอกจากนี้ปริมาณกลูโคสที่สูญเสียไปกับการทิ้งเศษซากพืชในแต่ละปียังเปลี่ยนแปลงไปตามช่วงอายุของต้นยางพารา จากข้อมูลปริมาณกลูโคสที่สูญเสียไปกับการหลุดร่วงของกิ่งใหญ่ แห้งและกิ่งเล็กแห้ง พบว่า ต้นยางที่อายุ 11 - 12 ปี สูงที่สุด (1,265 kg glucose rai⁻¹ year⁻¹) รองลงมาคืออายุ 15 - 17 ปี (946 kg glucose rai⁻¹ year⁻¹) และอายุ 20 - 21 ปี (594 kg glucose rai⁻¹ year⁻¹) ตามลำดับ แต่อย่างไรก็ตามการหลุดร่วงของใบและกิ่งลงสู่พื้นดิน ถือเป็นการหมุนเวียนธาตุอาหารในพื้นที่ปลูกยาง ซึ่งมีการสูญเสียธาตุอาหารออกนอกระบบหมุนเวียนน้อย โดยสูญเสียไปกับผลผลิตน้ำยางเป็นส่วนใหญ่ (Webster and Baulkmill, 1989) และจะเห็นได้ว่ายางพารามีการสะสมพลังงานไว้ในรูปของมวลชีวภาพมากกว่าการสูญเสียไปกับซากพืชที่หลุดร่วง

ตารางที่ 10 ปริมาณกลูโคสที่สูญเสียไปกับการทิ้งเศษซากพืช (Littering) ในแต่ละปี ของยางพารา พันธุ์ RRIM600

ส่วนของลำต้น	Specific costs of synthesis (kg glucose rai ⁻¹ year ⁻¹)		
	อายุ 11-12 ปี	อายุ 15-17 ปี	อายุ 20-21 ปี
กิ่งใหญ่แห้ง	496	260	87
กิ่งเล็กแห้ง	769	686	507
ใบ	176	ไม่มีข้อมูล	ไม่มีข้อมูล
ก้านใบ	543	ไม่มีข้อมูล	ไม่มีข้อมูล
เมล็ด	80	ไม่มีข้อมูล	ไม่มีข้อมูล
รวม	2,065	ไม่มีข้อมูล	ไม่มีข้อมูล

หมายเหตุ อ้างอิงข้อมูลปริมาณการทิ้งเศษซากยางพาราของ Chantuma *et al.* (2004)

ค่าการหายใจเพื่อการเจริญเติบโตในการสร้างมวลชีวภาพที่หลุดร่วงในแต่ละปี (ตารางที่ 11) เมื่อพิจารณาแยกแต่ละส่วนของลำต้น พบว่า ที่อายุ 11 - 12 ปี ในการสร้างกิ่งเล็ก แห้งสูงสุด (253 kg CO₂ rai⁻¹ year⁻¹) รองลงมาคือก้านใบ (202 kg CO₂ rai⁻¹ year⁻¹) กิ่งใหญ่แห้ง (166 kg CO₂ rai⁻¹ year⁻¹) ใบ (68 kg CO₂ rai⁻¹ year⁻¹) และเมล็ด (42 kg CO₂ rai⁻¹ year⁻¹) ตามลำดับ ซึ่งจะหายใจเพื่อการเจริญเติบโตในการสร้างมวลชีวภาพที่ทั้งลงสู่พื้นดินทุกส่วนรวมกันต่อปี ประมาณ 731 kg CO₂ rai⁻¹ นอกจากนี้การหายใจเพื่อการเจริญเติบโตเพื่อการสร้างกิ่งใหญ่ แห้ง และกิ่งเล็กแห้งที่อายุ 11 - 12 ปี ประมาณ 419 kg CO₂ rai⁻¹ year⁻¹ แต่เมื่ออายุ 15 - 17 ปี ลดลง

เหลือ $313 \text{ kg CO}_2 \text{ rai}^{-1} \text{ year}^{-1}$ และลดต่ำลงอีกเมื่ออายุ 20 – 21 ปี ประมาณ $196 \text{ kg CO}_2 \text{ rai}^{-1} \text{ year}^{-1}$

ตารางที่ 11 การหายใจเพื่อการเจริญเติบโตในการสร้างมวลชีวภาพซึ่งสูญเสียไปกับการทิ้งเศษซากพืช (Littering) ในแต่ละปีของยางพาราพันธุ์ RRIM600

ส่วนของลำต้น	Growth respiration ($\text{kg CO}_2 \text{ rai}^{-1} \text{ year}^{-1}$)		
	อายุ 11-12 ปี	อายุ 15-17 ปี	อายุ 20-21 ปี
กิ่งใหญ่แห้ง	166	87	29
กิ่งเล็กแห้ง	253	226	167
ใบ	68	ไม่มีข้อมูล	ไม่มีข้อมูล
ก้านใบ	202	ไม่มีข้อมูล	ไม่มีข้อมูล
เมล็ด	42	ไม่มีข้อมูล	ไม่มีข้อมูล
รวม	731	ไม่มีข้อมูล	ไม่มีข้อมูล

หมายเหตุ อ้างอิงข้อมูลปริมาณการทิ้งเศษซากยางพาราของ Chantuma *et al.* (2004)

3. ธาตุที่เป็นองค์ประกอบหลักของปริมาณของแข็งทั้งหมดในน้ำยาง

3.1 การเปลี่ยนแปลงในรอบปี

จากการวิเคราะห์ธาตุที่เป็นองค์ประกอบหลัก (คาร์บอน ไฮโดรเจน ไนโตรเจน ซัลเฟอร์ และออกซิเจน) ของ TSC ในน้ำยางพารา 3 พันธุ์ ในช่วงฤดูการกรีดยาง ตั้งแต่เดือนกรกฎาคม – กุมภาพันธ์ พบว่าใน TSC ปริมาณ 1 g จะมีธาตุคาร์บอนสูงที่สุด ($798.48 - 831.48 \text{ mg g}^{-1}$) รองลงมาคือ ไฮโดรเจน ($109.75 - 116.70 \text{ mg g}^{-1}$) ออกซิเจน ($32.20 - 64.28 \text{ mg g}^{-1}$) ไนโตรเจน ($4.16 - 10.34 \text{ mg g}^{-1}$) และซัลเฟอร์ ($0.12 - 1.32 \text{ mg g}^{-1}$) ตามลำดับ (ตารางที่ 12) ซึ่งน้ำยางสดจะประกอบด้วยน้ำ 52 – 70% อนุภาคยาง 35 – 50% ส่วนที่ไม่ใช่อนุภาคยาง ได้แก่ โปรตีน 1.5 – 2.8% ไขมัน 1.0 – 2.0% คาร์โบไฮเดรต 0.2 – 0.9% และอื่น ๆ ที่เปลี่ยนแปลงไปตามพันธุ์ยาง ผลผลิต และสภาพแวดล้อม (Eng and Tanaka, 1993) จากการที่น้ำยางมีองค์ประกอบหลักคืออนุภาคยางที่มีชื่อทางเคมีว่าไอโซพรีน ประกอบด้วยคาร์บอน 5 อะตอม

และไฮโดรเจน 8 อะตอม (C_5H_8) จึงทำให้ผลการวิเคราะห์พบ ธาตุคาร์บอนและไฮโดรเจนสูงกว่า อีก 3 ธาตุ

ธาตุที่เป็นองค์ประกอบหลักทั้ง 5 ชนิด ใน TSC ของน้ำยางเปลี่ยนแปลงตลอด ช่วงฤดูกรีด (ตารางที่ 12) จากผลการวิเคราะห์ TSC ของน้ำยางทั้ง 3 พันธุ์ พบว่า ปริมาณธาตุ คาร์บอนของพันธุ์ PB235 และ RRIM600 มากกว่าพันธุ์ GT1 อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติในเดือน กรกฎาคม ตุลาคม พฤศจิกายน มกราคม และกุมภาพันธ์ (ตารางที่ 12ก) ธาตุไฮโดรเจนของ ยางพาราทั้ง 3 พันธุ์ มีค่าใกล้เคียงกัน ยกเว้นในเดือนกุมภาพันธ์ ที่พบว่ามีความแตกต่างกันอย่างมี นัยสำคัญทางสถิติ โดยที่พันธุ์ PB235 มีธาตุไฮโดรเจนมากที่สุด รองลงมาคือพันธุ์ GT1 และ RRIM600 ตามลำดับ (ตารางที่ 12ข) และปริมาณธาตุไฮโดรเจนเพิ่มสูงในช่วงเดือนธันวาคม – มกราคม ส่วนปริมาณไนโตรเจนนั้นมีความแตกต่างระหว่างพันธุ์อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติเกือบ ตลอดทั้งปี ซึ่งปริมาณไนโตรเจนพบมากที่สุด ใน TSC ของน้ำยางพันธุ์ RRIM600 ($6.91 - 10.34 \text{ mg g}^{-1}$) รองลงมาคือ GT1 ($5.74 - 8.24 \text{ mg g}^{-1}$) และ PB235 ($4.16 - 6.78 \text{ mg g}^{-1}$) ตามลำดับ ปริมาณไนโตรเจนของพันธุ์ PB235 ต่ำในเดือนสิงหาคม – พฤศจิกายน และเพิ่มสูงขึ้นในช่วง ปลายปี ส่วนพันธุ์ GT1 พบว่าลดต่ำในช่วงเดือนพฤศจิกายน แต่ RRIM600 ค่าค่อนข้างคงที่และ เพิ่มสูงมากในเดือนกุมภาพันธ์ (ตารางที่ 12ค) ปริมาณธาตุซัลเฟอร์ในแต่ละเดือนของยางพันธุ์ PB235 มีการเปลี่ยนแปลงมากกว่าพันธุ์อื่น ๆ และในเดือนกันยายน ยางพันธุ์ PB235 มีปริมาณ ธาตุซัลเฟอร์สูงกว่าพันธุ์ RRIM600 และ GT1 อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (ภาพที่ 12ง) ธาตุออกซิเจน พบใน TSC ของน้ำยางพันธุ์ RRIM600 มากที่สุด ในเดือนกรกฎาคม ตุลาคม พฤศจิกายนและ กุมภาพันธ์และแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติกับพันธุ์ PB235 และ GT1 (ภาพที่ 12จ)

จากภาพที่ 6 พบว่าธาตุทั้ง 5 ชนิด ที่วิเคราะห์ได้จาก TSC ในน้ำยางมีการ เปลี่ยนแปลงทุก ๆ เดือน และการเปลี่ยนแปลงนี้ไม่มีรูปแบบที่แน่นอนในแต่ละพันธุ์ ปริมาณธาตุ คาร์บอนที่พบ สอดคล้องกับปริมาณเนื้อยางแห้งที่ได้จากการวิเคราะห์องค์ประกอบทางชีวเคมีใน น้ำยาง (ภาพที่ 9ก) ซึ่งพบว่า พันธุ์ PB235 มีปริมาณเนื้อยางแห้งสูงที่สุด รองลงมาคือพันธุ์ GT1 และ RRIM600 ตามลำดับ ตลอดทั้งปี นอกจากนี้ยังพบว่าพันธุ์ RRIM600 มีปริมาณไนโตรเจนที่ สูงกว่า พันธุ์ GT1 และ พันธุ์ PB235 ตลอดทั้งปี ซึ่งไนโตรเจนถือเป็นองค์ประกอบที่สำคัญของ โปรตีนในน้ำยาง จากผลการศึกษาที่พบอาจนำวิธีการนี้ไปใช้ประโยชน์ในการคัดเลือกพันธุ์ ยางพาราที่มีโปรตีนในน้ำยางต่ำได้ เนื่องจากโปรตีนที่มีอยู่ในผลิตภัณฑ์ยางธรรมชาติถือเป็นสาเหตุ หลักที่ก่อให้เกิดการระคายเคืองกับผิวของคน (Deborah and Cornish, 1995)

ตารางที่ 12 วิเคราะห์ธาตุที่เป็นองค์ประกอบหลักของปริมาณของแข็งทั้งหมดในน้ำยางของ
ยางพาราในช่วงฤดูกาลกรีด

ก. ปริมาณธาตุคาร์บอน

พันธุ์	ปริมาณธาตุคาร์บอน (mg g ⁻¹)							
	ก.ค.	ส.ค.	ก.ย.	ต.ค.	พ.ย.	ธ.ค.	ม.ค.	ก.พ.
PB235	826.9a	817.9	829.0	828.4a	823.3a	832.6	831.5a	828.7a
RRIM600	809.6b	803.8	814.6	805.5b	806.1b	825.0	814.5b	798.5b
GT1	828.7a	812.2	827.4	819.1a	822.4a	829.9	814.8b	819.4a
<i>P</i> -value	0.0207	0.0770	0.1049	0.0083	0.0013	0.1975	0.0166	0.0190
C.V. (%)	1.03	0.93	1.11	0.96	0.60	0.66	0.91	1.51

ข. ปริมาณธาตุไฮโดรเจน

พันธุ์	ปริมาณธาตุไฮโดรเจน (mg g ⁻¹)							
	ก.ค.	ส.ค.	ก.ย.	ต.ค.	พ.ย.	ธ.ค.	ม.ค.	ก.พ.
PB235	114.7	110.9	113.0	112.1	111.7ab	114.6	116.7	115.0a
RRIM600	112.1	111.3	110.9	109.8	110.7b	116.2	113.9	109.9b
GT1	113.7	111.5	112.0	111.8	113.6a	116.5	114.5	112.7ab
<i>P</i> -value	0.1493	0.9500	0.4670	0.1067	0.0272	0.4499	0.2091	0.0500
C.V. (%)	1.48	2.25	2.03	1.33	1.13	1.81	1.85	2.31

ค. ปริมาณธาตุไนโตรเจน

พันธุ์	ปริมาณธาตุไนโตรเจน (mg g ⁻¹)							
	ก.ค.	ส.ค.	ก.ย.	ต.ค.	พ.ย.	ธ.ค.	ม.ค.	ก.พ.
PB235	5.47b	4.16b	5.30b	5.35b	5.70b	6.29	6.78	5.93b
RRIM600	6.91a	7.22a	7.32a	7.44a	8.10a	7.58	8.51	10.34a
GT1	6.04ab	6.25a	6.26ab	6.76a	5.74a	7.11	8.24	7.89b
<i>P</i> -value	0.0486	0.0083	0.0279	0.0013	0.0041	0.2893	0.1691	0.0037
C.V. (%)	12.84	18.21	13.73	8.35	12.85	15.52	16.11	16.43

ตารางที่ 12 (ต่อ)

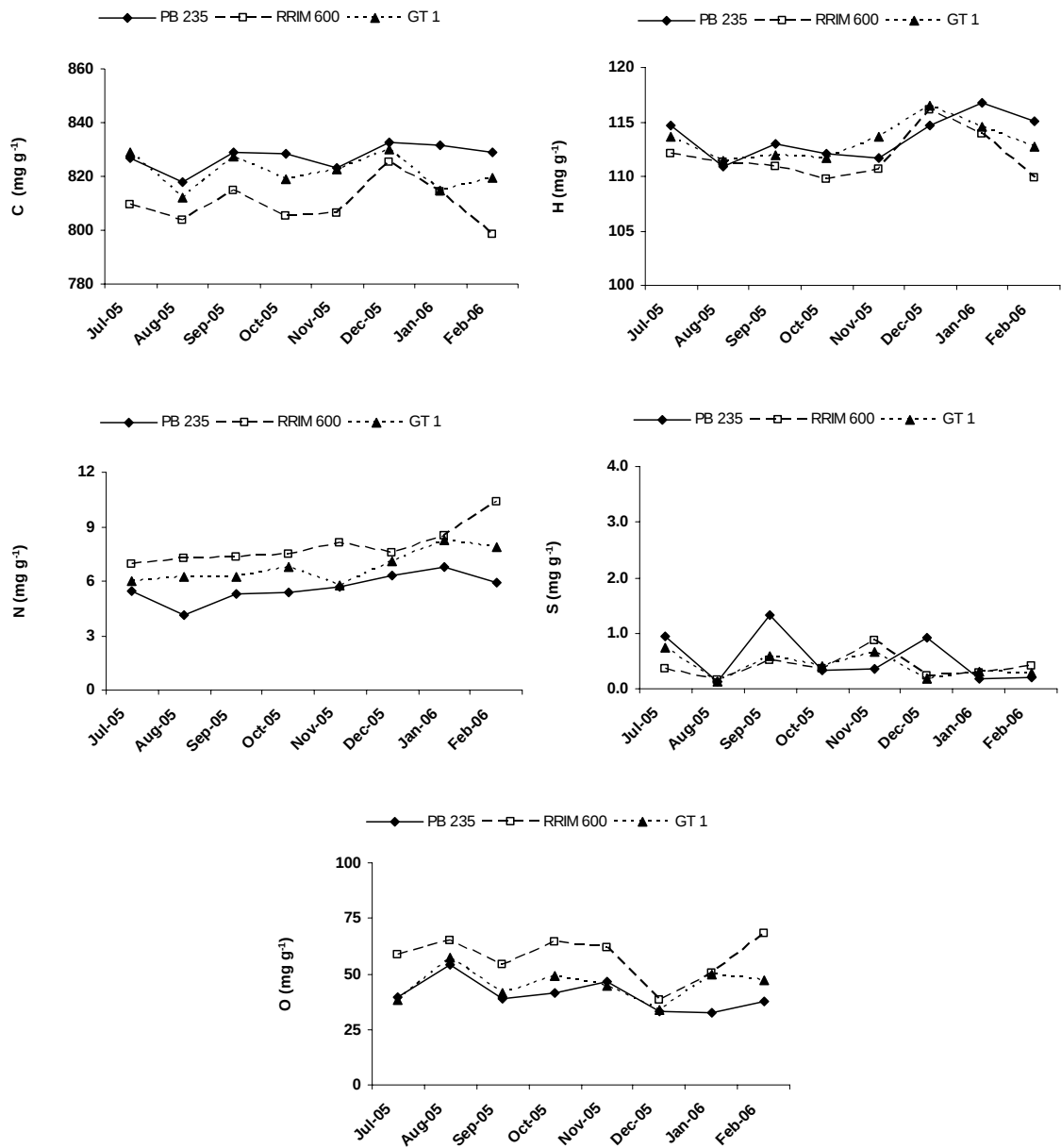
ง. ปริมาณธาตุซัลเฟอร์

พันธุ์	ปริมาณธาตุซัลเฟอร์ (mg g ⁻¹)							
	ก.ค.	ส.ค.	ก.ย.	ต.ค.	พ.ย.	ธ.ค.	ม.ค.	ก.พ.
PB235	0.94	0.14	1.32a	0.34	0.36	0.93	0.17	0.21
RRIM600	0.35	0.16	0.51b	0.36	0.87	0.24	0.28	0.41
GT1	0.74	0.12	0.58b	0.4	0.67	0.17	0.31	0.28
<i>P</i> -value	0.3955	0.8455	0.0443	0.6808	0.2141	0.1002	0.1760	0.4381
C.V. (%)	87.32	69.08	52.12	25.50	59.39	108.27	40.20	70.38

จ. ปริมาณธาตุออกซิเจน

พันธุ์	ปริมาณธาตุออกซิเจน (mg g ⁻¹)							
	ก.ค.	ส.ค.	ก.ย.	ต.ค.	พ.ย.	ธ.ค.	ม.ค.	ก.พ.
PB235	39.3b	54.2	38.7	41.1b	46.3b	32.9	32.2b	37.5b
RRIM600	58.3a	64.8	53.9	64.3a	61.6a	38.3	50.1a	68.2a
GT1	38.2b	57.3	41.1	49.3b	44.8b	33.7	49.5a	47.0b
<i>P</i> -value	0.0162	0.1314	0.1322	0.0056	0.0026	0.4023	0.0163	0.0224
C.V. (%)	19.24	11.53	22.99	14.60	10.33	16.63	17.85	25.34

หมายเหตุ ค่าเฉลี่ยตามด้วยตัวอักษรที่เหมือนกันในแนวดิ่ง ไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ
ที่ระดับความเชื่อมั่น 95% เปรียบเทียบโดยวิธี DMRT



ภาพที่ 6 การเปลี่ยนแปลงธาตุที่เป็นองค์ประกอบหลักของปริมาณของแข็งทั้งหมด
ในน้ำยางของยางพาราในช่วงฤดูกาลกรีด

3.2 อิทธิพลของสารเอทีฟอน

ผลการศึกษาอิทธิพลของสารเอทีฟอนที่มีต่อธาตุที่เป็นองค์ประกอบหลักของ TSC ในน้ำยางพารา 3 พันธุ์ พบว่า มีปริมาณธาตุคาร์บอนมากที่สุด รองลงมาคือ ไฮโดรเจน ออกซิเจน ไนโตรเจน และซัลเฟอร์ ตามลำดับ (ตารางที่ 13) ผลจากการใช้สารเอทีฟอนกับยางพันธุ์ PB235 พบว่า ปริมาณธาตุคาร์บอน ($828.43 - 836.43 \text{ mg g}^{-1}$) ไฮโดรเจน ($111.19 - 113.13 \text{ mg g}^{-1}$) และไนโตรเจน ($5.35 - 7.12 \text{ mg g}^{-1}$) ของทั้ง 4 ทรีทเมนต์ไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ แต่ปริมาณซัลเฟอร์จะพบใน TSC ในน้ำยางเมื่อใช้สารเอทีฟอน 2 ครั้ง/ปีมากที่สุด และแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติกับทรีทเมนต์อื่น ๆ ปริมาณธาตุออกซิเจน พบมากที่สุดใน TSC ในน้ำยางของทรีทเมนต์ที่ไม่ได้รับสาร (ตารางที่ 13ก)

ส่วนยางพันธุ์ RRIM600 มีปริมาณธาตุไฮโดรเจน ($109.75 - 111.53 \text{ mg g}^{-1}$) ไนโตรเจน ($7.27 - 7.44 \text{ mg g}^{-1}$) และซัลเฟอร์ ($0.24 - 0.41 \text{ mg g}^{-1}$) ทั้ง 4 ทรีทเมนต์ใกล้เคียงกัน แต่ปริมาณธาตุคาร์บอนและออกซิเจนทั้ง 4 ทรีทเมนต์แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ โดยที่ปริมาณธาตุคาร์บอน พบมากที่สุดเมื่อได้รับสารเอทีฟอน 5 ครั้ง/ปี รองลงมาคือที่ความถี่ 8 ครั้ง/ปี และ control ตามลำดับ ส่วนปริมาณธาตุออกซิเจนนั้น พบมากที่สุดใน control และแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญกับทรีทเมนต์ที่ได้รับสารเอทีฟอนทั้ง 3 ความถี่ (ตารางที่ 13ข)

TSC ของน้ำยางพันธุ์ GT1 พบปริมาณธาตุไฮโดรเจน ($111.75 - 113.04 \text{ mg g}^{-1}$) และธาตุไนโตรเจน ($6.53 - 6.76 \text{ mg g}^{-1}$) ไม่มีความแตกต่างระหว่างทรีทเมนต์ แต่การใช้สารเอทีฟอนทุกความถี่จะทำให้มีปริมาณธาตุคาร์บอนเพิ่มมากกว่า control อย่างมีนัยสำคัญ ขณะที่ปริมาณธาตุซัลเฟอร์และออกซิเจนลดต่ำกว่าการไม่ใช้สารเอทีฟอน (ตารางที่ 13ค) จากผลที่ได้แสดงว่าการใช้สารเอทีฟอนส่งผลให้ปริมาณธาตุคาร์บอนเพิ่มสูงขึ้นกว่าไม่ใช้สารทั้ง 3 พันธุ์ แต่ปริมาณธาตุคาร์บอนไม่ได้แปรผันตามกับความถี่ของการให้สารเอทีฟอน อย่างไรก็ตามปริมาณธาตุคาร์บอนที่เพิ่มขึ้น ชี้ให้เห็นว่าเซลล์ท่อน้ำยางมีการสร้างสารบางชนิดเพิ่มมากขึ้นกว่าปกติ

ตารางที่ 13 วิเคราะห์ธาตุที่เป็นองค์ประกอบหลักของปริมาณของแข็งทั้งหมดในน้ำยางเมื่อได้รับสารเอทีฟอนที่ความถี่ต่าง ๆ

ก. พันธุ์ PB235

		C	H	N	S	O
พันธุ์	ET 2.5%	(mg g ⁻¹)	(mg g ⁻¹)	(mg g ⁻¹)	(mg g ⁻¹)	(mg g ⁻¹)
PB235	control	828.4	112.1	5.35	0.34b	41.1a
	ET 2.5% 2/Y	832.0	111.2	7.12	0.65a	36.4b
	ET 2.5% 5/Y	836.4	112.2	5.49	0.20b	33.0b
	ET 2.5% 8/Y	835.1	113.1	6.20	0.32b	32.6b
	<i>P</i> -value	0.6262	0.5571	0.1832	0.0413	0.0023
	C.V. (%)	1.09	1.64	18.94	21.52	44.69

ข. พันธุ์ RRIM600

		C	H	N	S	O
พันธุ์	ET 2.5%	(mg g ⁻¹)	(mg g ⁻¹)	(mg g ⁻¹)	(mg g ⁻¹)	(mg g ⁻¹)
RRIM600	control	805.5b	109.8	7.44	0.36	64.3a
	ET 2.5% 2/Y	819.8ab	109.1	7.43	0.32	50.7b
	ET 2.5% 5/Y	823.7a	111.5	7.27	0.41	44.5b
	ET 2.5% 8/Y	821.6ab	111.5	7.36	0.24	46.6b
	<i>P</i> -value	0.0050	0.2299	0.9869	0.5147	0.0048
	C.V. (%)	1.22	1.70	10.63	46.89	17.98

ตารางที่ 13 (ต่อ)

ค. พันธุ์ GT1

		C	H	N	S	O
พันธุ์	ET 2.5%	(mg g ⁻¹)	(mg g ⁻¹)	(mg g ⁻¹)	(mg g ⁻¹)	(mg g ⁻¹)
GT1	control	819.1b	111.8	6.76	0.40a	49.3a
	ET 2.5% 2/Y	835.7a	113.0	6.63	0.12b	31.9b
	ET 2.5% 5/Y	832.8a	113.0	6.53	0.23ab	34.7b
	ET 2.5% 8/Y	832.4a	112.4	6.58	0.29ab	35.7b
	<i>P</i> -value	0.0103	0.4922	0.9717	0.0424	<.0001
	C.V. (%)	0.68	1.13	10.53	43.47	12.90

หมายเหตุ ค่าเฉลี่ยตามด้วยตัวอักษรที่เหมือนกันในแนวดิ่ง ไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ
ที่ระดับความเชื่อมั่น 95% เปรียบเทียบโดยวิธี DMRT

4. ประเมินต้นทุนด้านพลังงานในการสร้างปริมาณของแข็งทั้งหมดในน้ำยาง

4.1 การเปลี่ยนแปลงในรอบปี

ผลการประเมินต้นทุนด้านพลังงานในการสร้าง TSC ในช่วงฤดูกรีด (ตารางที่ 14) พบว่า ค่า GV และ Y_g ของพันธุ์ RRIM600 มากกว่าพันธุ์ PB235 และ GT1 อย่างมีนัยสำคัญ ในเดือนกรกฎาคม ตุลาคม พฤศจิกายน และกุมภาพันธ์ (ตารางที่ 14ก,ข) ขณะที่เดือนสิงหาคม กันยายน และธันวาคม ค่าใกล้เคียงกัน โดยที่กลูโคสจำนวน 1 กรัม สามารถสร้าง TSC ได้ประมาณ 0.3 กรัม จากการประเมินค่า Specific cost of synthesis ของ TSC พบว่า พันธุ์ PB235 และ GT1 ใช้ปริมาณกรัมกลูโคสในการสร้าง TSC จำนวน 1 กรัม มากกว่าพันธุ์ RRIM600 อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติในเดือนกรกฎาคม ตุลาคม พฤศจิกายน และกุมภาพันธ์ โดยพันธุ์ PB235 และ GT1 ต้องใช้กลูโคสประมาณ 3.5 กรัม จึงจะสร้าง TSC จำนวน 1 กรัมได้ ขณะที่ยางพันธุ์ RRIM600 ใช้กลูโคสเพียง 3.4 กรัม ก็สามารถสร้าง TSC จำนวน 1 กรัมได้ (ตารางที่ 14ค) ซึ่งแสดงให้เห็นว่าลักษณะทางพันธุกรรมมีผลต่อต้นทุนในการสร้างมาก ถึงแม้ว่าค่า Specific cost

ของ TSC ของพันธุ์ PB235 และ GT1 จะมากกว่าพันธุ์ RRIM600 อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติเฉพาะบางเดือน แต่ในช่วงเดือนอื่น ๆ ทั้ง 2 พันธุ์ ก็ยังคงมีค่า Specific cost ที่สูงกว่าพันธุ์ RRIM600

เมื่อพิจารณาการหายใจเพื่อการเจริญเติบโตในการสร้าง TSC พบความแตกต่างในเดือนกรกฎาคม ตุลาคม พฤศจิกายน และกุมภาพันธ์ ซึ่งพันธุ์ PB235 และ GT1 มีค่าการหายใจเพื่อการเจริญเติบโตมากกว่าพันธุ์ RRIM600 อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ แสดงว่าพันธุ์ PB235 และ GT1 ปลดปล่อยจำนวนกรัมของคาร์บอนไดออกไซด์ในการสร้าง TSC จำนวน 1 กรัม มากกว่าพันธุ์ RRIM600 (ตารางที่ 14ง)

ตารางที่ 14 ประเมินต้นทุนด้านพลังงานในการสร้างปริมาณของแข็งทั้งหมดในน้ำยางในช่วงฤดูการกรีดยาง

ก. Glucose Value								
พันธุ์	Glucose Value (g g ⁻¹ glucose)							
	ก.ค.	ส.ค.	ก.ย.	ต.ค.	พ.ย.	ธ.ค.	ม.ค.	ก.พ.
PB235	0.340b	0.348	0.341	0.342b	0.344b	0.337	0.336b	0.339b
RRIM600	0.349a	0.352	0.348	0.353a	0.351a	0.338	0.344a	0.355a
GT1	0.340b	0.349	0.342	0.345b	0.343b	0.336	0.344a	0.344b
P-value	0.0184	0.2477	0.1626	0.0041	0.0038	0.6975	0.0268	0.0232
C.V. (%)	1.23	0.97	1.51	1.00	0.80	0.94	1.22	1.95

ข. True growth yield								
พันธุ์	True growth yield (g g ⁻¹ glucose)							
	ก.ค.	ส.ค.	ก.ย.	ต.ค.	พ.ย.	ธ.ค.	ม.ค.	ก.พ.
PB235	0.285b	0.292	0.286	0.287b	0.289b	0.283	0.282b	0.284b
RRIM600	0.293a	0.296	0.292	0.297a	0.295a	0.284	0.289a	0.298a
GT1	0.285b	0.293	0.287	0.290b	0.288b	0.283	0.289a	0.289ab
P-value	0.0189	0.2357	0.1630	0.0041	0.0039	0.6981	0.0272	0.0240
C.V. (%)	1.23	0.97	1.51	1.00	0.81	0.95	1.22	1.95

ตารางที่ 14 (ต่อ)

ก. Specific costs of synthesis

พันธุ์	Specific cost of synthesis (g glucose g ⁻¹)								Weight
	ก.ค.	ส.ค.	ก.ย.	ต.ค.	พ.ย.	ธ.ค.	ม.ค.	ก.พ.	average
PB235	3.504a	3.421	3.497	3.482a	3.458a	3.531	3.548a	3.515a	3.504
RRIM600	3.411b	3.380	3.422	3.373b	3.389b	3.519	3.457b	3.357b	3.414
GT1	3.504a	3.412	3.481	3.446a	3.476a	3.540	3.463b	3.462ab	3.475
<i>P-value</i>	0.0191	0.2456	0.1676	0.0038	0.0042	0.6874	0.0253	0.0234	
<i>C.V. (%)</i>	1.22	0.97	1.52	0.98	0.82	0.94	1.22	1.92	

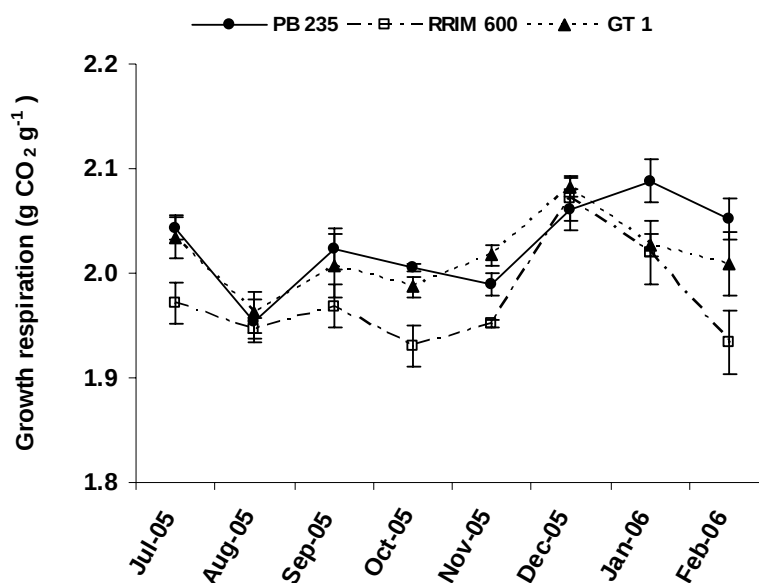
ง. Growth respiration

พันธุ์	Growth respiration (g CO ₂ g ⁻¹)							
	ก.ค.	ส.ค.	ก.ย.	ต.ค.	พ.ย.	ธ.ค.	ม.ค.	ก.พ.
PB235	2.043a	1.954	2.023	2.005a	1.989ab	2.060	2.088a	2.052a
RRIM600	1.971b	1.947	2.007	1.930b	1.952b	2.070	2.019b	1.934b
GT1	2.035a	1.962	1.968	1.987a	2.017a	2.083	2.026b	2.009ab
<i>P-value</i>	0.0318	0.8358	0.2975	0.0072	0.0115	0.7067	0.0471	0.0392
<i>C.V. (%)</i>	1.70	1.84	2.38	1.32	1.19	1.83	1.85	2.74

หมายเหตุ ค่าเฉลี่ยตามด้วยตัวอักษรที่เหมือนกันในแนวดิ่ง ไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ ที่ระดับความเชื่อมั่น 95% เปรียบเทียบโดยวิธี DMRT

จากภาพที่ 7 พบการเปลี่ยนแปลงของการหายใจเพื่อการเจริญเติบโตในการสร้าง TSC ค่าการหายใจเพื่อการเจริญเติบโตของพันธุ์ PB235 ค่อนข้างสูงในเดือนธันวาคม – กุมภาพันธ์ ขณะที่ค่าการหายใจเพื่อการเจริญเติบโตของพันธุ์ RRIM600 และ GT1 สูงที่สุดในเดือนธันวาคม และทั้ง 3 พันธุ์ ค่าการหายใจเพื่อการเจริญเติบโตลดต่ำลงในเดือนสิงหาคม โดยค่าการหายใจเพื่อการเจริญเติบโตของพันธุ์ RRIM600 ต่ำกว่าพันธุ์ PB235 และ GT1 ต้นทุนในการสร้าง TSC ที่เปลี่ยนแปลงตลอดช่วงการกรีดนี้ เกิดขึ้นเนื่องมาจากองค์ประกอบต่าง ๆ ของน้ำยางที่เปลี่ยนแปลง

ไป เช่น จากการทดลองของ Visitnonthachai (2005) พบว่า ปริมาณไขมันชนิดต่าง ๆ ในน้ำยางเปลี่ยนแปลงตลอดทั้งปี การเปลี่ยนแปลงของไขมันก็เป็นส่วนหนึ่งที่ทำให้องค์ประกอบของน้ำยางเปลี่ยนแปลงไป ส่งผลให้การนำปริมาณกลูโคสมาใช้ในการสังเคราะห์น้ำยางมีมูลค่าไม่เท่ากัน เนื่องจากมูลค่าของการสังเคราะห์สารแต่ละชนิดแตกต่างกัน ซึ่งไขมันจะใช้พลังงานสูงที่สุด รองลงมาคือโปรตีน และคาร์โบไฮเดรตต่ำสุด (Loomis and Connors, 1992) จึงทำให้การหายใจเพื่อการเจริญเติบโตเพื่อปลดปล่อยพลังงานมาใช้ในการสร้างสารมีการเปลี่ยนแปลงเกิดขึ้น ซึ่งสัดส่วนขององค์ประกอบต่าง ๆ ในน้ำยางมีความแตกต่างกันระหว่างพันธุ์ และเปลี่ยนแปลงตามสภาพแวดล้อม ทำให้คุณสมบัติของน้ำยางที่ได้แตกต่างกัน เช่น ความหนืด ความคงทน ความยืดหยุ่น



ภาพที่ 7 การเปลี่ยนแปลงการหายใจเพื่อการเจริญเติบโตของการสร้างปริมาณของแข็งทั้งหมด
ในน้ำยางในช่วงฤดูการกรีด

หมายเหตุ I = standard error of mean

4.2 อิทธิพลของสารเอทีฟอน

ผลการประเมินต้นทุนด้านพลังงานในการสร้าง TSC ในน้ำยาง ของพันธุ์ PB235 พบว่า ค่า GV และ Y_g ของ control มากกว่าอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติกับทรีทเมนต์ที่ใช้สารเอทีฟอนทุกความถี่ นอกจากนี้เมื่อใช้สารเอทีฟอน 8 ครั้ง/ปี ค่า Specific cost และ R_g มากกว่า control อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (ตารางที่ 15ก) ขณะที่ยางพันธุ์ RRIM600 มีค่า GV และ Y_g ของ control มากกว่าอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติกับการใช้สารเอทีฟอนทั้ง 3 ทรีทเมนต์ แต่ค่า Specific cost ของทั้ง 3 ทรีทเมนต์ที่ใช้สารเอทีฟอนมากกว่าอย่างมีนัยสำคัญกับ control ค่า R_g ของทรีทเมนต์ที่ใช้สารเอทีฟอน 5 ครั้ง/ปี และ 8 ครั้ง/ปี มากกว่า control อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (ตารางที่ 15ข) ในยางพันธุ์ GT1 พบว่า คล้ายคลึงกับพันธุ์ PB235 และ RRIM600 คือ ค่า GV และ Y_g ของ control มากกว่าอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติกับทรีทเมนต์ที่ใช้สารเอทีฟอนทุกความถี่ แต่ค่า Specific cost และ R_g เมื่อใช้สารเอทีฟอนทั้ง 3 ทรีทเมนต์มากกว่า control อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (ตารางที่ 15ค) แสดงให้เห็นว่า การใช้สารเอทีฟอนเร่งการสร้างน้ำยางนอกจากจะเพิ่มผลผลิตในด้านปริมาณน้ำยางแล้ว แต่ยังรวมถึงการเพิ่มต้นทุนด้านพลังงานในการสร้างต่อหน่วยน้ำหนักมากขึ้นด้วย

ตารางที่ 15 ประเมินต้นทุนด้านพลังงานในการสร้างปริมาณของแข็งทั้งหมดในน้ำยาง
เมื่อได้รับสารเอทีฟอนที่ความถี่ต่าง ๆ

ก. พันธุ์ PB235

พันธุ์	ET 2.5%	GV (g g ⁻¹ glucose)	Y_g (g g ⁻¹ glucose)	Specific cost (g glucose g ⁻¹)	R_g (g CO ₂ g ⁻¹)
PB235	control	0.352a	0.296a	3.381b	1.969b
	ET 2.5% 2/Y	0.341b	0.286b	3.496ab	2.012ab
	ET 2.5% 5/Y	0.339b	0.284b	3.517ab	2.025ab
	ET 2.5% 8/Y	0.338b	0.284b	3.524a	2.041a
	<i>P</i> -value	0.0050	0.0050	0.0050	0.0370
	C.V. (%)	1.31	1.31	1.31	1.85

ตารางที่ 15 (ต่อ)

ข. พันธุ์ RRIM600

พันธุ์	ET 2.5%	GV (g g ⁻¹ glucose)	Y _g (g g ⁻¹ glucose)	Specific cost (g glucose g ⁻¹)	R _g (g CO ₂ g ⁻¹)
RRIM600	control	0.353a	0.297a	3.373b	1.921b
	ET 2.5% 2/Y	0.348b	0.292b	3.425a	1.953ab
	ET 2.5% 5/Y	0.344b	0.289b	3.465a	1.997a
	ET 2.5% 8/Y	0.344b	0.289b	3.457a	1.993a
	<i>P</i> -value	0.0094	0.0092	0.0104	0.0500
	C.V. (%)	1.17	1.16	1.18	1.91

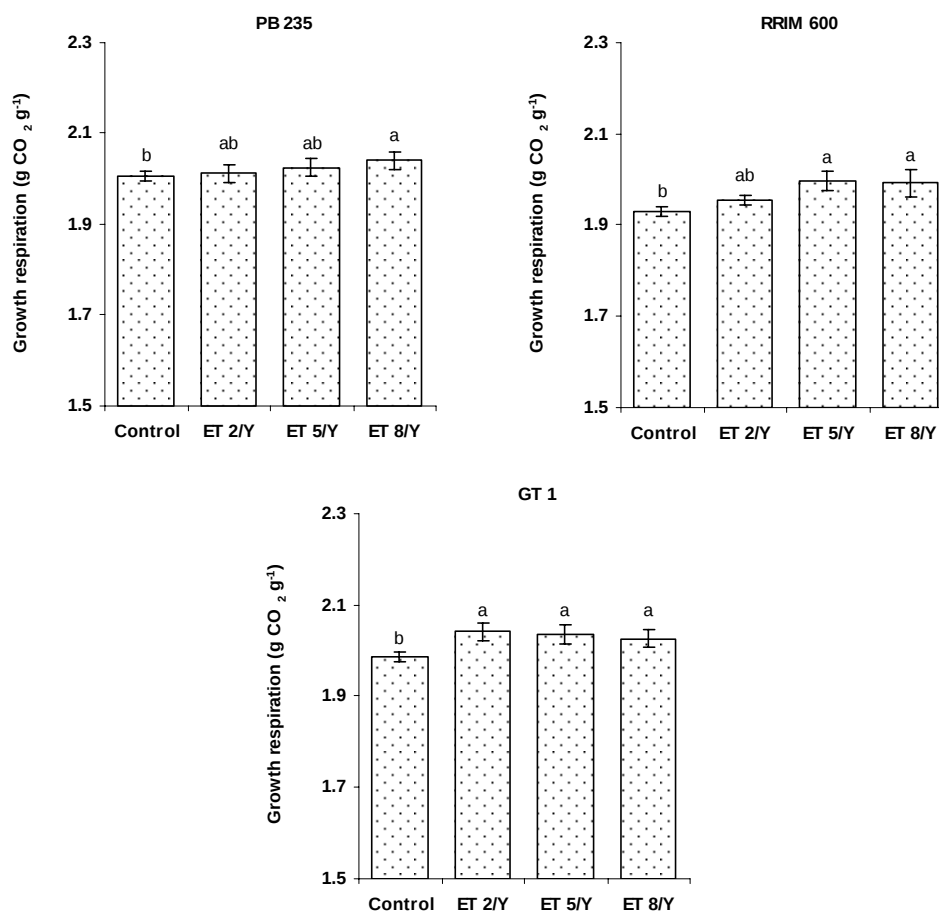
ค. พันธุ์ GT1

พันธุ์	ET 2.5%	GV (g g ⁻¹ glucose)	Y _g (g g ⁻¹ glucose)	Specific cost (g glucose g ⁻¹)	R _g (g CO ₂ g ⁻¹)
GT1	control	0.345a	0.290a	3.446b	1.961b
	ET 2.5% 2/Y	0.338b	0.284b	3.526a	2.041a
	ET 2.5% 5/Y	0.339b	0.285b	3.515a	2.036a
	ET 2.5% 8/Y	0.339b	0.285b	3.507a	2.026a
	<i>P</i> -value	<.0001	<.0001	<.0001	0.0025
	C.V. (%)	0.76	0.76	0.76	1.13

หมายเหตุ ค่าเฉลี่ยตามด้วยตัวอักษรที่เหมือนกันในแนวดิ่ง ไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ
ที่ระดับความเชื่อมั่น 95% เปรียบเทียบโดยวิธี DMRT

จากการเปรียบเทียบการหายใจเพื่อการเจริญเติบโตในการสร้าง TSC (ภาพที่ 8) พบว่า พันธุ์ PB235 การใช้สารเอทีฟอน 8 ครั้ง/ปี มีค่าสูงสุด รองลงมาคือ ใช้สารเอทีฟอน 5 ครั้ง/ปี 2 ครั้ง/ปี และไม่ใช่สารเอทีฟอน ตามลำดับ โดยการใช้สารเอทีฟอน 8 ครั้ง/ปี จะแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญกับไม่ใช่สารเอทีฟอนที่ระดับความเชื่อมั่น 95% พันธุ์ RRIM600 เมื่อใช้สารเอทีฟอน 5 ครั้ง/ปี มากที่สุด รองลงมาคือใช้สารเอทีฟอน 8 ครั้ง/ปี 2 ครั้ง/ปี และไม่ใช่สารตามลำดับ

ซึ่งการใช้สารเอทีฟอน 5 ครั้งและ 8 ครั้ง/ปี แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติกับการไม่ใช้สารเอทีฟอนที่ระดับความเชื่อมั่น 95% และพันธุ์ GT1 ใช้สารเอทีฟอน 2 ครั้ง/ปี สูงที่สุด รองลงมาคือ 5 ครั้ง/ปี 8 ครั้ง/ปี และไม่ใช้สารเอทีฟอน ตามลำดับ ซึ่งการใช้สารเอทีฟอนที่ 2 5 และ 8 ครั้ง/ปี จะแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติกับไม่ใช้สารเอทีฟอน



ภาพที่ 8 เปรียบเทียบการหายใจเพื่อการเจริญเติบโตในการสร้างปริมาณของแข็งทั้งหมด
ในน้ำยางที่ได้รับสารเอทีฟอนที่ความถี่ต่าง ๆ

หมายเหตุ ค่าเฉลี่ยตามด้วยตัวอักษรที่เหมือนกันในแนวดัง ไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ
ที่ระดับความเชื่อมั่น 95% เปรียบเทียบโดยวิธี DMRT

5. องค์ประกอบทางชีวเคมีในน้ำยางและผลผลิต

5.1 การเปลี่ยนแปลงในรอบปี

สภาพภูมิอากาศที่เหมาะสมของการปลูกยางพารา ปริมาณน้ำฝนไม่ต่ำกว่า 1200 มิลลิเมตรต่อปี และมีจำนวนวันฝนตกเฉลี่ยประมาณ 120 – 150 วัน (สถาบันวิจัยยาง, 2547) และจากข้อมูลอุตุนิยมวิทยาในช่วงงานทดลองปีพ.ศ. 2548 มีปริมาณน้ำฝนทั้งหมด 1,251 มิลลิเมตรต่อปี จำนวนวันฝนตก 107 วัน ความยาวนานของแสงในรอบวันเท่ากับ 6 ชั่วโมง อุณหภูมิอากาศเฉลี่ยเท่ากับ 28.4 องศาเซลเซียส และความชื้นสัมพัทธ์ในอากาศเฉลี่ยเท่ากับ 72% และปีพ.ศ. 2549 มีปริมาณน้ำฝนทั้งหมด 1,541 มิลลิเมตรต่อปี จำนวนวันฝนตก 118 วัน ความยาวนานของแสงในรอบวันเท่ากับ 6.6 ชั่วโมง อุณหภูมิอากาศเฉลี่ยเท่ากับ 27.8 องศาเซลเซียส และความชื้นสัมพัทธ์ในอากาศเฉลี่ยเท่ากับ 63% ดังภาพที่ 14 (ก), (ข), (ค) และ (ง)

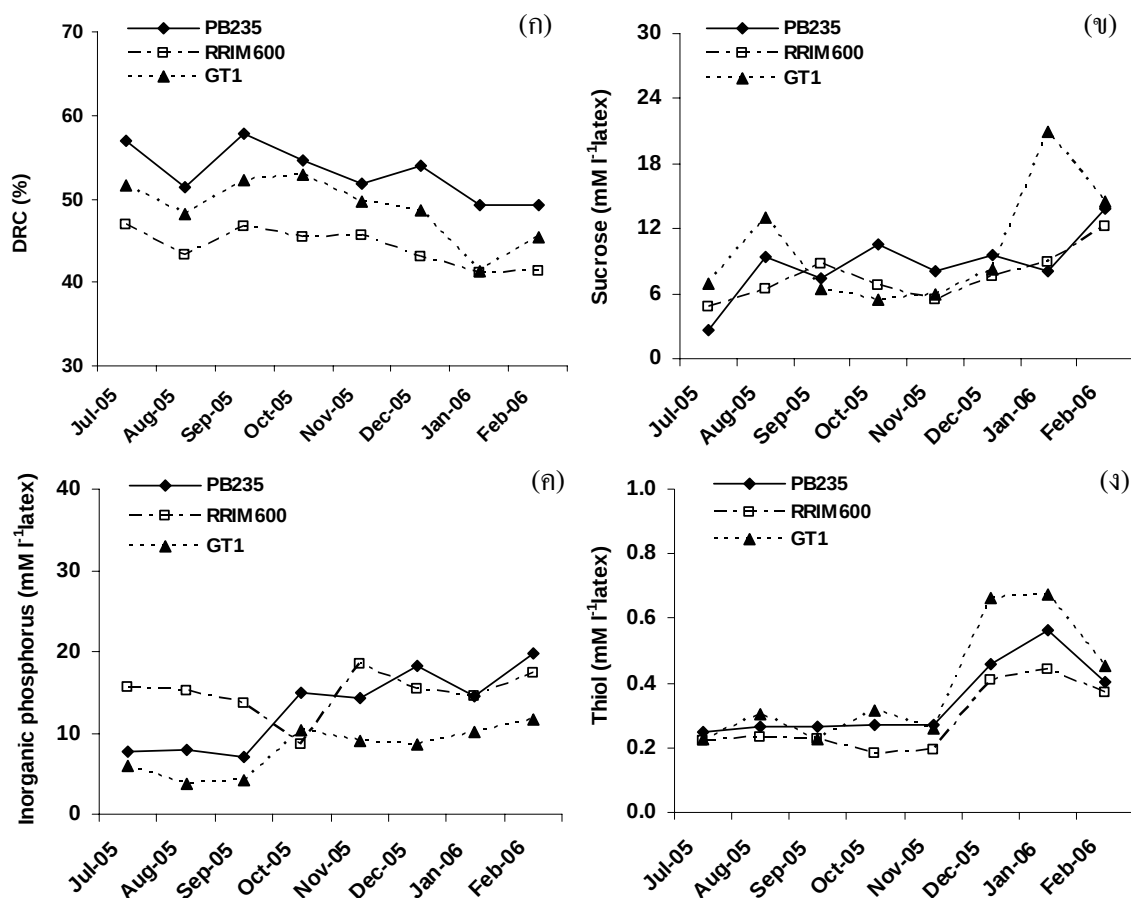
จากผลวิเคราะห์ LD แสดงให้เห็นการเปลี่ยนแปลงของปริมาณซูโครส อนินทรีย์ฟอสฟอรัส (Pi) ไทออล และปริมาณ DRC (ภาพที่ 9) ตลอดฤดูกาลกรีด พบว่า การเปลี่ยนแปลงของปริมาณ DRC ของทั้ง 3 พันธุ์มีลักษณะคล้ายคลึงกัน (ภาพที่ 9ก) โดยที่ปริมาณ DRC มีแนวโน้มค่อย ๆ ลดลงตั้งแต่เริ่มเปิดกรีดจนกระทั่งปิดกรีด ยกเว้นในเดือนสิงหาคมที่ค่าลดต่ำลงทั้ง 3 พันธุ์ ซึ่งพันธุ์ PB235 จะมีปริมาณ DRC สูงที่สุด รองลงมาคือ GT1 และ RRIM600 ตามลำดับ ซึ่งไม่สอดคล้องกับงานทดลองของนภาพรรณและคณะ (2544) ที่พบว่าปริมาณเนื้อยางแห้งมักจะมีค่าสูงสุดในเดือนที่มีอุณหภูมิต่ำ ได้แก่เดือนพฤศจิกายนและธันวาคม เนื่องจากการระเหยน้ำจากดินและใบยางน้อย ซึ่งปริมาณเนื้อยางแห้งที่สูง ทำให้ความหนืดของน้ำยางเพิ่ม มีผลต่อการไหลของน้ำยางให้ลดลงได้ แต่อุณหภูมิต่ำจะช่วยให้การไหลยาวนานได้มากขึ้น ผลผลิตก็จะสูงได้ (Jacob *et al.*, 1989)

ปริมาณซูโครสมีการเปลี่ยนแปลงแตกต่างกันทั้ง 3 พันธุ์ (ภาพที่ 9ข) ซึ่งพันธุ์ PB235 มีปริมาณซูโครสต่ำในเดือนกรกฎาคม ก่อนข้างคงที่ในช่วงสิงหาคม – มกราคม และเพิ่มสูงขึ้นในเดือนกุมภาพันธ์ ส่วนพันธุ์ GT1 ปริมาณซูโครสสูงมากในเดือนมกราคม ซึ่งเป็นช่วงเวลาที่ต้นเกิดการทิ้งใบจำนวนมาก ซูโครสเป็นวัตถุดิบสำคัญสำหรับสังเคราะห์โพลีไอโซพรีน การเคลื่อนย้ายซูโครสเข้าสู่เซลล์ท่อน้ำยางจะช่วยส่งเสริมให้เกิดการสร้างอนุภาคยางทดแทนที่สูญเสียไปกับการกรีด ปริมาณซูโครสในระดับที่พอเพียงจะจำเป็นต่อการรักษาระดับของผลผลิตยาง

(Jacob *et al.*, 1985) ซึ่งปัจจัยทางสภาพแวดล้อมจะมีผลต่อการเปลี่ยนแปลงของปริมาณซูโครสค่อนข้างมาก เนื่องจากเป็นโมเลกุลที่ได้มาจากการสังเคราะห์ด้วยแสงที่ต้องอาศัยน้ำ แสง อุณหภูมิ และสภาพแวดล้อมที่เหมาะสม (Roux *et al.*, 2000)

ปริมาณ Pi สัมพันธ์กับการกระตุ้นเมแทบอลิซึมของการสังเคราะห์ไอโซพรีนในไซโทซอลของเซลล์ท่อน้ำยางและเป็นตัวบ่งบอกถึงกระบวนการเมแทบอลิซึมของพันธุ์ยาง (Sumarmadji and Sudiman, 2000) จากผลวิเคราะห์ (ภาพที่ 9ค) พบว่า ในช่วงกรกฎาคม – กันยายน พันธุ์ GT1 และ PB235 มีปริมาณ Pi คงที่แล้วเพิ่มสูงขึ้นในช่วงหลัง ส่วนพันธุ์ RRIM600 นั้น ปริมาณ Pi ค่อนข้างสูงตลอดปีกรีด ยกเว้นในเดือน ต.ค.ที่ค่าลดต่ำมาก นอกจากนี้พันธุ์ GT1 เป็นพันธุ์ที่มีค่า Pi ต่ำกว่าอีก 2 พันธุ์ตลอดทั้งปี ซึ่งแสดงว่าเป็นพันธุ์ที่มีเมแทบอลิซึมในการสร้างน้ำยางต่ำกว่าทั้ง 2 พันธุ์ ส่วนพันธุ์ PB235 นั้น ค่าในช่วงเดือน พฤศจิกายน – กุมภาพันธ์ ใกล้เคียงกับพันธุ์ RRIM600

ส่วนปริมาณไทออลของทั้ง 3 พันธุ์ (ภาพที่ 9ง) ค่าค่อนข้างคงที่ในช่วงเดือน กรกฎาคม - พฤศจิกายน เพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็วในเดือนธันวาคม และเริ่มลดลงในช่วงปลายเดือนมกราคม ซึ่งปริมาณไทออลที่เพิ่มสูงขึ้นในช่วงปลายเดือน พฤศจิกายน – กุมภาพันธ์ จะสัมพันธ์กับปริมาณผลผลิตที่เพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็ว เนื่องจากปริมาณไทออลในเซลล์ท่อน้ำยางทำหน้าที่ในการป้องกันเซลล์จาก active oxygen ที่เกิดขึ้นจากหลายสาเหตุ เช่น การกรีด ใช้สารเร่ง ที่สร้างความเสียหายต่อเซลล์ท่อน้ำยาง (Lacote *et al.*, 2004) เมื่อน้ำยางไหลออกมามากโอกาสที่จะเกิด toxic กับเซลล์มีมากขึ้น ปริมาณไทออลจึงจะต้องเพิ่มมากขึ้นเพื่อป้องกันเซลล์จากสภาวะเครียด

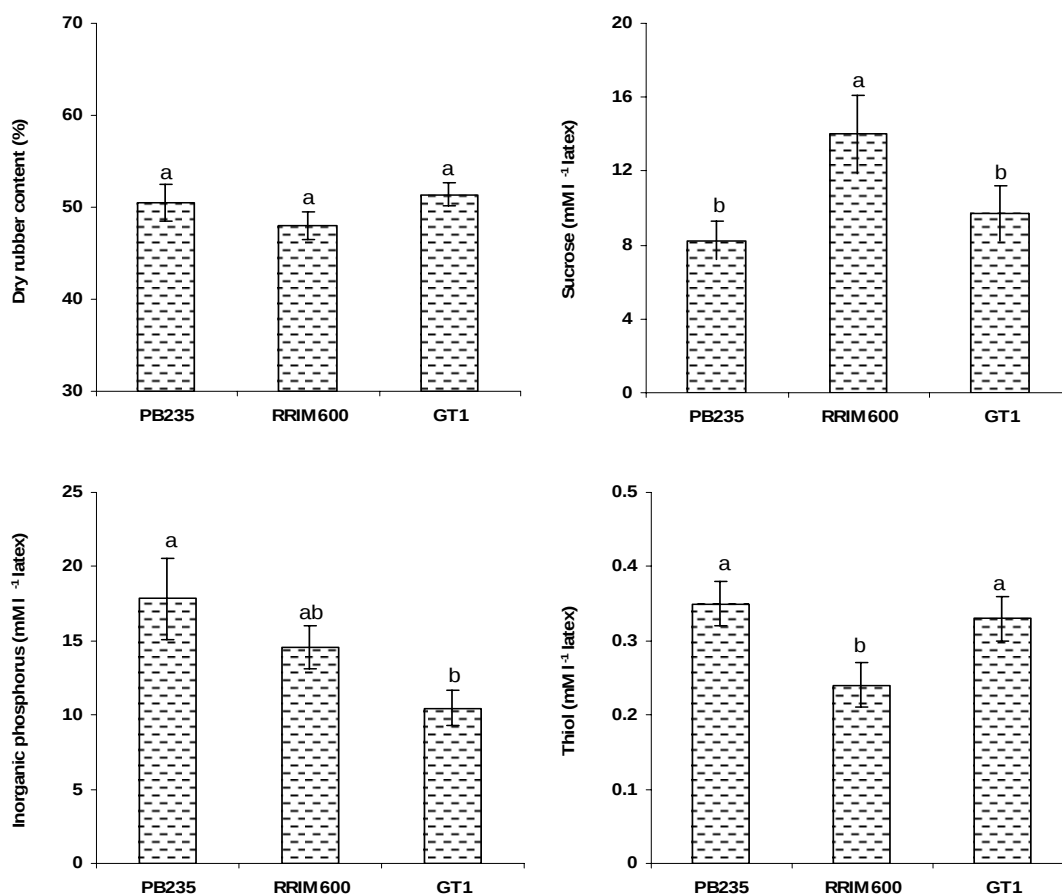


ภาพที่ 9 การเปลี่ยนแปลงของปริมาณ (ก) เนื้อยางแห้ง (DRC) (ข) ซูโครส (ค) อนินทรีย์ฟอสฟอรัส และ (ง) ไทออลในน้ำยางในช่วงฤดูกาลกรีด (กรกฎาคม 2548 – กุมภาพันธ์ 2549)

จากการเปรียบเทียบทางสถิติโดยใช้ผลการวิเคราะห์องค์ประกอบทางชีวเคมีในน้ำยางของเดือนกันยายนและตุลาคม (ภาพที่ 10) ซึ่งเป็นช่วงเวลาที่เหมาะสำหรับการวิเคราะห์ latex diagnosis เนื่องจากท่อน้ำยางมีเมแทบอลิซึมสูงสุดและมีสภาพแวดล้อมที่เหมาะสม (Chantuma *et al.*, 2001) พบว่าค่าเฉลี่ยของ DRC ทั้ง 3 พันธุ์ไม่มีความแตกต่างกัน ค่าประมาณ 48.02 – 51.36% แต่ปริมาณซูโครสของพันธุ์ RRIM600 มีปริมาณสูงและแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติกับพันธุ์ PB235 และ GT1 ซึ่งปริมาณซูโครสในน้ำยางสูงอาจหมายถึง เกิดการเคลื่อนย้ายซูโครสเข้าสู่เซลล์ท่อน้ำยางจำนวนมากเพื่อใช้สร้างผลผลิต แต่ในทางกลับกันปริมาณซูโครสสูงอาจเกิดจากเมแทบอลิซึมที่นำซูโครสมาใช้มีประสิทธิภาพต่ำ จึงเหลือในปริมาณมาก (Gohet *et al.*, 2001) และเมื่อพิจารณาปริมาณ Pi ที่มีผลต่อการเคลื่อนย้ายและใช้ซูโครสจะพบว่า พันธุ์ PB235 มีปริมาณสูงกว่าพันธุ์ GT1 อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ พันธุ์ PB235 จึงจัดเป็นพันธุ์ที่มีเมแทบอลิซึมสูง

สามารถเปลี่ยนซูโครสไปเป็นผลผลิตได้ดี ส่งผลให้มีปริมาณซูโครสในเซลล์ท่อน้ำยางต่ำ โอกาสที่จะเกิดอาการผิดปกติภายในเซลล์ท่อน้ำยางเกิดขึ้นได้ง่ายกว่าอีก 2 พันธุ์ เนื่องจากปริมาณซูโครสไม่สมดุลกับเมแทบอลิซึมของท่อน้ำยาง ส่วนปริมาณไทอลอนั้น พันธุ์ PB235 และ GT1 มีปริมาณสูงกว่าพันธุ์ RRIM600 อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ

จากภาพที่ 10 แสดงให้เห็นว่าพันธุ์ PB235 ในสภาพที่ไม่ได้รับสารเอทีฟอนเร่งการสร้างน้ำยาง เป็นพันธุ์ที่มีปริมาณซูโครสต่ำ และ Pi สูง (เมแทบอลิซึมสูง) ซึ่งปริมาณที่ต่ำจะเป็นตัวจำกัดทำให้ไม่อาจเพียงพอต่อการใช้สารเคมีเร่งน้ำยางได้ หากปริมาณซูโครสมีค่าต่ำมากจนไม่สามารถลดให้ต่ำลงได้อีก อาจส่งผลให้ยางเกิดอาการผิดปกติ เสี่ยงต่อการเปลือกแห้งได้สูงกว่าพันธุ์อื่น ๆ (Gohet *et al.*, 1997) นอกจากนี้ทางสถาบันวิจัยยาง (2547) รายงานว่าการกรีดที่มีวันกรีดติดต่อกันในพันธุ์ PB235 ต้นยางจะแสดงอาการเปลือกแห้งได้ง่าย แต่พันธุ์ RRIM600 จะทนทานต่อการกรีดได้มากกว่าและมีจำนวนต้นเปลือกแห้งน้อย พันธุ์ GT1 จะทนทานต่อการใช้สารเร่งน้ำยางสูงกว่าพันธุ์อื่น ๆ

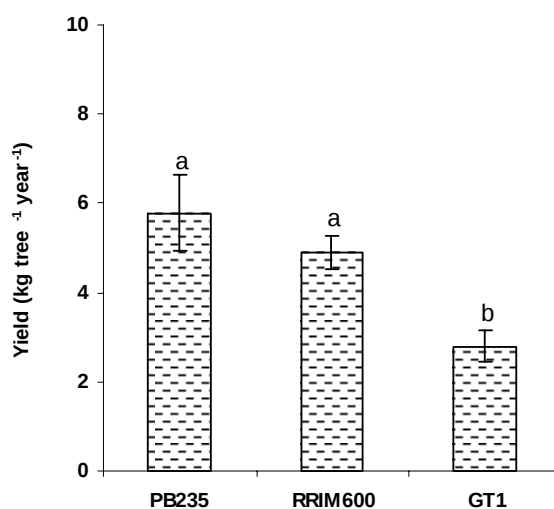


ภาพที่ 10 เปรียบเทียบองค์ประกอบทางชีวเคมีในน้ำยาง 3 พันธุ์ (กันยายน – ตุลาคม 2548)

หมายเหตุ ค่าเฉลี่ยตามด้วยตัวอักษรที่เหมือนกัน ไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ
ที่ระดับความเชื่อมั่น 95% เปรียบเทียบโดยวิธี DMRT

เมื่อเปรียบเทียบผลผลิตสะสมเฉลี่ยต่อต้นต่อปี (ภาพที่ 11) พันธุ์ PB235 (5.8 กก./ต้น/ปี) และ RRIM600 (4.9 กก./ต้น/ปี) แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติกับพันธุ์ GT1 (2.8 กก./ต้น/ปี) ซึ่งปัจจัยสำคัญที่มีต่อผลผลิตและควบคุมกระบวนการเมแทบอลิซึมในการสร้างน้ำยาง คือ ระดับปริมาณซูโครส การเปลี่ยนซูโครสเป็นเนื้อยาง และพลังงานที่ใช้ในการสังเคราะห์น้ำยาง รวมถึงการป้องกันเซลล์ท่อน้ำยางที่เกิดสภาวะเครียด (พิศมัย, 2543) พันธุ์ PB235 ซึ่งมีกระบวนการเมแทบอลิซึมสูง (Pi สูง) มีประสิทธิภาพในการสังเคราะห์น้ำยางที่ดี จึงทำให้ผลผลิตสะสมต่อต้นต่อปีของยางพันธุ์นี้สูงกว่าพันธุ์ RRIM600 และ GT1 ซึ่งพันธุ์ RRIM600 มีปริมาณ

ชูโครสที่สูงกว่า แต่ Pi ต่ำกว่าจึงสังเคราะห์น้ำตาลได้น้อยกว่า และพันธุ์ GT1 ที่มี Pi ต่ำ ชูโครสต่ำ ผลผลิตสะสมจึงต่ำที่สุด



ภาพที่ 11 เปรียบเทียบผลผลิตของยางพารา 3 พันธุ์

หมายเหตุ ค่าเฉลี่ยตามด้วยตัวอักษรที่เหมือนกัน ไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ
ที่ระดับความเชื่อมั่น 95% เปรียบเทียบโดยวิธี DMRT

3.2 อิทธิพลของสารเอทีฟอน

ผลการวิเคราะห์หาปริมาณชูโครสในน้ำยาง (ตารางที่ 16) พบว่า ค่าเฉลี่ยปริมาณชูโครสของพันธุ์ PB235 เมื่อใช้สารเอทีฟอนที่ความถี่เพิ่มขึ้นปริมาณชูโครสลดต่ำลง และน้อยที่สุดเมื่อสารเอทีฟอน 8 ครั้ง/ปี เหลือเพียง 53% เมื่อเปรียบเทียบกับไม่ใช้สารเอทีฟอน ซึ่งแสดงให้เห็นว่าการใช้สารเอทีฟอนที่ความถี่ 5 และ 8 ครั้ง/ปี ทำให้เซลล์ท่อน้ำยางมีความเสี่ยงสูงต่อการเกิดอาการเปลือกแห้งเนื่องจากระดับชูโครสในเซลล์ท่อน้ำยางลดต่ำลงมาก ขณะที่พันธุ์ RRIM600 การใช้สารเอทีฟอน 2 ครั้ง/ปี ทำให้ปริมาณชูโครสเพิ่มขึ้นกว่าไม่ใช้สาร 13% แต่เมื่อใช้สารเอทีฟอน 5 ครั้ง/ปี และ 8 ครั้ง/ปี ปริมาณชูโครสกลับลดลงตามลำดับ (86% และ 74% เมื่อเปรียบเทียบกับไม่ใช้สารเอทีฟอน) นอกจากนี้ พบว่า พันธุ์ GT1 เมื่อใช้สารเอทีฟอนเร่งน้ำยางทั้ง

3 ความถี่ ทำให้ปริมาณซูโครสเพิ่มสูงขึ้นกว่าไม่ใช้สาร ซึ่งปริมาณซูโครสเพิ่มมากที่สุดเมื่อใช้สารเอทีฟอน 5 ครั้ง/ปี และมากกว่าไม่ใช้สารถึง 18% ปริมาณซูโครสในน้ำยางมีความสัมพันธ์ทั้งทางบวกและทางลบกับผลผลิตยาง ซูโครสสูงอาจแสดงว่ามีประสิทธิภาพในการสังเคราะห์ซูโครสได้ในปริมาณมาก ขณะเดียวกันก็อาจหมายถึง มีความสามารถในการนำซูโครสไปใช้สร้างน้ำยางได้น้อยทำให้ผลผลิตต่ำ (Prevot *et al.*, 1984)

ตารางที่ 16 การตอบสนองของปริมาณน้ำตาลซูโครสของยางพารา 3 พันธุ์ ต่อการใช้สารเอทีฟอน ที่ความถี่ต่าง ๆ (ในช่วงเดือนกันยายน – ตุลาคม)

treatment	Sucrose content (mM l ⁻¹ latex)					
	PB235		RRIM600		GT1	
	mM l ⁻¹	% control	mM l ⁻¹	% control	mM l ⁻¹	% control
control	8.98a	100	7.75	100	5.99	100
ET 2.5% 2/Y	8.59a	96	8.74	113	6.37	106
ET 2.5% 5/Y	5.90ab	66	6.70	86	7.06	118
ET 2.5% 8/Y	4.79b	53	5.73	74	6.38	107
<i>P</i> -value	0.0339	-	0.3203	-	0.2655	-
C.V. (%)	26.62	-	27.41	-	20.93	-

หมายเหตุ ค่าเฉลี่ยตามด้วยตัวอักษรที่เหมือนกันในแนวดิ่ง ไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95% เปรียบเทียบโดยวิธี DMRT

ปริมาณอนินทรีย์ฟอสฟอรัส (ตารางที่ 17) ของพันธุ์ PB235 เมื่อใช้สารเอทีฟอนเร่งน้ำยางทำให้ Pi เพิ่มสูงขึ้น โดยเฉพาะการใช้เอทีฟอน 2 ครั้ง/ปี กับพันธุ์ PB235 ทำให้ปริมาณอนินทรีย์ฟอสฟอรัสมากกว่าอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติกับ control การใช้สารเอทีฟอน 5 ครั้ง/ปี และ 8 ครั้ง/ปี โดยที่การใช้เอทีฟอน 2 ครั้ง/ปี ทำให้ปริมาณ Pi เพิ่มขึ้น 93% เมื่อเพิ่มความถี่เป็น 5 ครั้ง/ปี ปริมาณ Pi เพิ่ม 35% และที่ความถี่ 8 ครั้ง/ปี ปริมาณ Pi กลับเพิ่มแค่ 28% เมื่อเปรียบเทียบกับไม่ใช้สารเอทีฟอน พันธุ์ RRIM600 เมื่อใช้เอทีฟอน 2 ครั้ง/ปี และ 5 ครั้ง/ปี ค่าใกล้เคียงกับไม่ใช้สาร แต่เมื่อใช้เอทีฟอน 8 ครั้ง/ปี ค่า Pi สูงกว่าไม่ใช้สาร 29% เมื่อใช้สารเอทีฟอนกับยางพันธุ์ GT1 สามารถเพิ่มปริมาณ Pi ได้ทุกทริทเมนต์ เช่นเดียวกับพันธุ์ PB235 แต่ปริมาณ Pi

เพิ่มขึ้นเพียงเล็กน้อยเท่านั้น โดยที่การใช้เอทีฟอน 2 ครั้ง/ปี เพิ่มขึ้น 2% เมื่อใช้เอทีฟอน 8 ครั้ง/ปี เพิ่มขึ้น 4% และใช้เอทีฟอน 5 ครั้ง/ปี เพิ่มขึ้นสูงที่สุด 10% เมื่อเปรียบเทียบกับไม่ใช้สารเอทีฟอน แสดงว่าทั้ง 3 พันธุ์เมื่อได้รับสารเอทีฟอนจะสามารถกระตุ้นเมแทบอลิซึมของเซลล์ท่อน้ำยางให้เพิ่มสูงขึ้นได้ แต่ปริมาณซูโครสที่เข้าสู่เซลล์ท่อน้ำยางก็ต้องเพียงพอด้วยจึงจะสามารถเพิ่มปริมาณผลผลิตและไม่ก่อให้เกิดสภาวะเครียดของเซลล์ท่อน้ำยาง

ตารางที่ 17 การตอบสนองของปริมาณอนินทรีย์ฟอสฟอรัสของยางพารา 3 พันธุ์ ต่อการใช้สารเอทีฟอนที่ความถี่ต่าง ๆ (ในช่วงเดือนกันยายน – ตุลาคม)

treatment	Inorganic phosphorus content (mM I ⁻¹ latex)					
	PB235		RRIM600		GT1	
	mM I ⁻¹	% control	mM I ⁻¹	% control	mM I ⁻¹	% control
control	10.97b	100	11.04b	100	7.18	100
ET 2.5% 2/Y	21.20a	193	10.96b	99	7.31	102
ET 2.5% 5/Y	14.80b	135	11.12b	101	7.92	110
ET 2.5% 8/Y	14.08b	128	14.28a	129	7.46	104
<i>P</i> -value	0.0005	-	0.0427	-	0.0563	-
C.V. (%)	15.46	-	22.91	-	17.52	-

หมายเหตุ ค่าเฉลี่ยตามด้วยตัวอักษรที่เหมือนกันในแนวดัง ไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95% เปรียบเทียบโดยวิธี DMRT

จากผลการทดลองวิเคราะห์หาปริมาณไทออล (ตารางที่ 18) ของน้ำยางพันธุ์ PB235 พบว่า การใช้สารเอทีฟอน 2 ครั้ง/ปี มีปริมาณไทออลเท่ากับ control แต่เมื่อใช้สารเอทีฟอนที่ความถี่มากขึ้นปริมาณไทออลลดต่ำกว่า control เมื่อใช้สารเอทีฟอน 5 ครั้ง/ปี ปริมาณไทออล ลดลงเหลือ 81% และเมื่อใช้สารเอทีฟอน 8 ครั้ง/ปี ปริมาณไทออลลดลงเหลือ 85% เมื่อเปรียบเทียบกับ control การเกิดความเครียดตรงบริเวณเซลล์ท่อน้ำยางสูงจะทำให้เกิดปฏิกิริยาการเสื่อมสลาย (Degradative reactions) ที่บริเวณเซลล์เมมเบรนของท่อน้ำยาง ทำให้ปริมาณไทออลลดต่ำลง (Jetro and Gobina, 2007) ซึ่งจากการทดลองเมื่อใช้สารเอทีฟอน 5 และ 8 ครั้ง/ปีกับพันธุ์ PB235 จะเพิ่มเมแทบอลิซึมสูงมากกว่าปกติ แต่ปริมาณซูโครสกลับลดต่ำลงมาก รวมถึงปริมาณ

ไทออลก็ลดต่ำลง แสดงให้เห็นว่ามีความเครียดเกิดขึ้นและอาจเป็นอันตรายต่อเซลล์ท่อน้ำยางให้เกิดความผิดปกติได้ ในพันธุ์ RRIM600 เมื่อใช้สารเอทีฟอนจะมีปริมาณไทออลสูงกว่า control ทั้ง 3 ทริทเมนต์ ซึ่งการใช้สารเอทีฟอน 2 ครั้ง/ปี และ 5 ครั้ง/ปี ปริมาณไทออลเพิ่มขึ้นจาก control 30% และเมื่อใช้สารเอทีฟอน 8 ครั้ง/ปี ปริมาณไทออลเพิ่มขึ้น 10% ส่วนในพันธุ์ GT1 นั้น เมื่อใช้สารเอทีฟอนส่งผลให้ปริมาณไทออลเพิ่มสูงขึ้นกว่า control เพียงเล็กน้อย เมื่อใช้สารเอทีฟอน 2 ครั้ง/ปี จะเพิ่มมากที่สุด 15% รองลงมาคือ 5 ครั้ง/ปี เพิ่ม 7% และ 8 ครั้ง/ปี เพิ่ม 4% ตามลำดับ ซึ่งพันธุ์ RRIM600 และ พันธุ์ GT1 ปริมาณไทออลยังไม่ลดต่ำลงเมื่อได้รับสารเอทีฟอนทุกความถี่ แสดงว่าเซลล์ท่อน้ำยางสามารถสร้างปริมาณไทออลได้เพียงพอกับสภาพเครียดที่เกิดขึ้น เซลล์ท่อน้ำยางไม่เสี่ยงต่อการเกิดอันตรายเนื่องจากสามารถป้องกันการเกิด oxidative stress ที่บริเวณเซลล์เมมเบรนของท่อน้ำยางได้เพียงพอ

ตารางที่ 18 การตอบสนองของปริมาณไทออลของยางพารา 3 พันธุ์ ต่อการใช้สารเอทีฟอนที่ความถี่ต่าง ๆ (ในช่วงเดือนกันยายน – ตุลาคม)

treatment	Thiols content (mM l ⁻¹ latex)					
	PB235		RRIM600		GT1	
	mM l ⁻¹	% control	mM l ⁻¹	% control	mM l ⁻¹	% control
control	0.27	100	0.20	100	0.27	100
ET 2.5% 2/Y	0.27	100	0.26	130	0.31	115
ET 2.5% 5/Y	0.22	81	0.26	130	0.29	107
ET 2.5% 8/Y	0.23	85	0.22	110	0.28	104
<i>P</i> -value	0.1006	-	0.4768	-	0.5290	-
C.V. (%)	3.68	-	6.50	-	5.73	-

หมายเหตุ ค่าเฉลี่ยตามด้วยตัวอักษรที่เหมือนกันในแนวตั้ง ไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95% เปรียบเทียบโดยวิธี DMRT

ปริมาณเนื้อยางแห้ง (ตารางที่ 19) ของพันธุ์ PB235 เมื่อใช้สารเอทีฟอนเร่งน้ำยางพบว่า ปริมาณเนื้อยางแห้งต่ำกว่า control เล็กน้อย แต่พันธุ์ RRIM600 เมื่อใช้สารเอทีฟอน

ปริมาณเนื้อยางแห้งกลับสูงกว่า control ส่วนพันธุ์ GT1 เมื่อใช้สารเอทีฟอนจะมีปริมาณเนื้อยางแห้งต่ำกว่า control ทุกทรีทเมนต์ (ตารางที่ 15)

ตารางที่ 19 การตอบสนองของปริมาณเนื้อยางแห้งของยางพารา 3 พันธุ์ ต่อการใช้สารเอทีฟอน ที่ความถี่ต่าง ๆ (ในช่วงเดือนกันยายน – ตุลาคม)

treatment	Dry rubber content (DRC, %)					
	PB235		RRIM600		GT1	
	%	% control	%	% control	%	% control
control	56.21	100	46.06	100	52.58	100
ET 2.5% 2/Y	52.97	94	48.68	106	47.72	91
ET 2.5% 5/Y	53.29	95	48.42	105	51.45	98
ET 2.5% 8/Y	54.75	97	47.49	103	47.99	91
<i>P</i> -value	0.1006	-	0.4215	-	0.2196	-
C.V. (%)	3.68	-	5.56	-	4.98	-

หมายเหตุ ค่าเฉลี่ยตามด้วยตัวอักษรที่เหมือนกันในแนวดัง ไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95% เปรียบเทียบโดยวิธี DMRT

ปริมาณผลผลิตสะสม (กิโลกรัม/ต้น/ปี) ของพันธุ์ PB235 เมื่อใช้สารเอทีฟอน 2 ครั้ง/ปี ผลผลิตลดลงต่ำกว่า control และเพิ่มความถี่เป็น 5 ครั้ง/ปี ผลผลิตลดลงอีก แต่เมื่อใช้สารเอทีฟอน 8 ครั้ง/ปี ผลผลิตเฉลี่ยเพิ่มได้ 6% เมื่อเปรียบเทียบกับ control พันธุ์ RRIM600 เมื่อใช้สารเอทีฟอน 8 ครั้ง/ปี เพิ่มผลผลิตได้ 25% เมื่อเปรียบเทียบกับ control ที่ระดับความถี่ 2 ครั้ง/ปี และ 5 ครั้ง/ปี ผลผลิตเฉลี่ยต่ำกว่า control ในพันธุ์ GT1 เมื่อใช้สารเอทีฟอน 2 ครั้ง/ปี ผลผลิตใกล้เคียงกับ control แต่เมื่อใช้สารที่ความถี่เพิ่มขึ้น ผลผลิตจะเพิ่มขึ้นตามลำดับ คือ สารเอทีฟอน 5 ครั้ง/ปี เพิ่มผลผลิตได้ 23% และเมื่อใช้สาร 8 ครั้ง/ปี เพิ่มผลผลิตได้ถึง 43% ตามลำดับ เมื่อเปรียบเทียบกับไม่ใช้สารเอทีฟอนร่งน้ำยาง (ตารางที่ 20) และเมื่อพิจารณาจากค่าองค์ประกอบทางชีวเคมีซึ่งได้แก่ ปริมาณซูโครส Pi ไทออลและผลผลิตของพันธุ์ PB235 การใช้สารเอทีฟอน ทำให้เมแทบอลิซึมสูงขึ้น (Pi สูง) แต่ปริมาณซูโครสและไทออลกลับลดต่ำลงทุกความถี่ของการให้สาร จึงไม่ควรใช้สารเอทีฟอนกับยางพันธุ์นี้เนื่องจากเซลล์ท่อน้ำยางไม่สามารถ

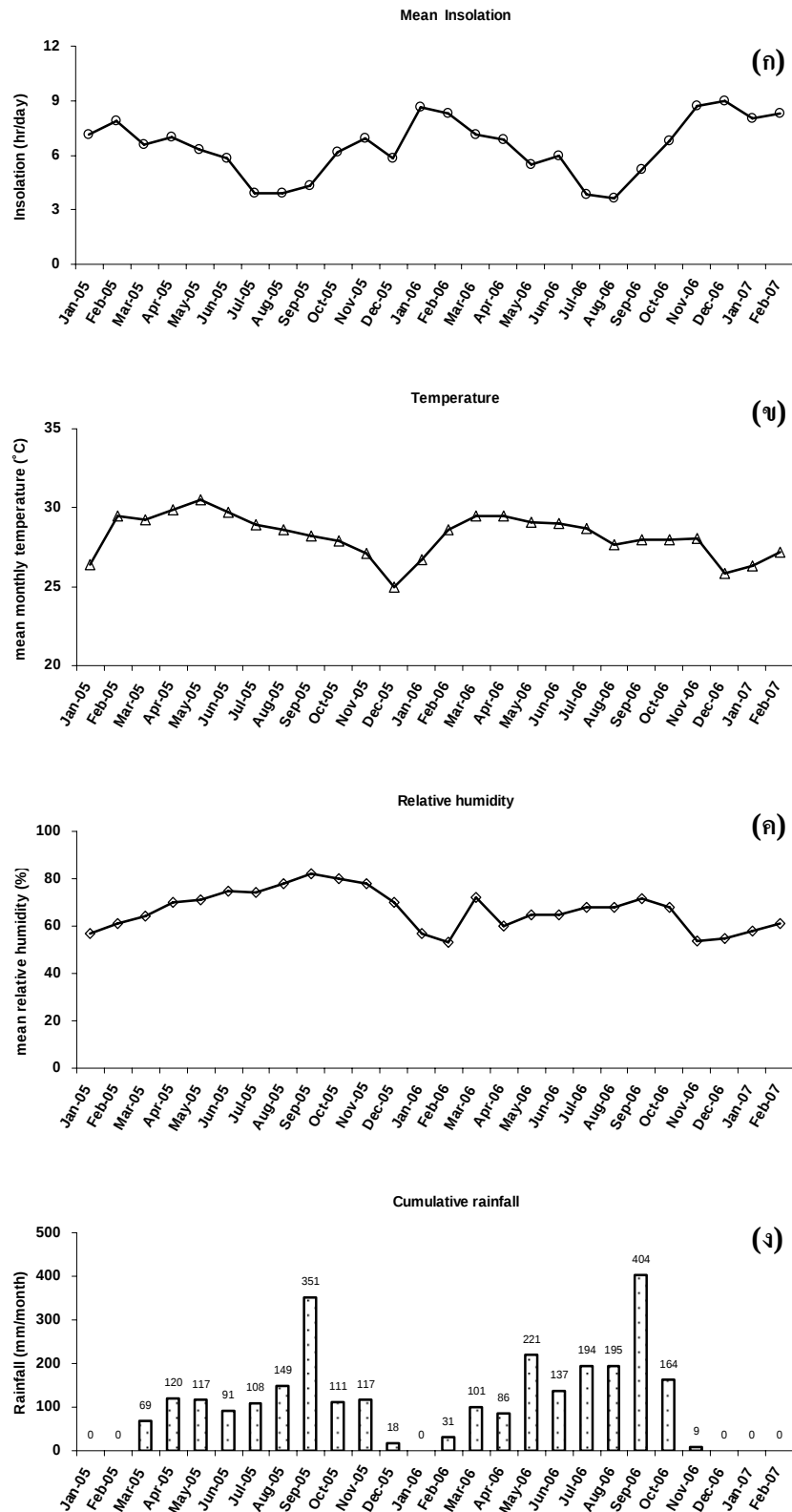
เพิ่มปริมาณซูโครสให้เพียงพอกับเมแทบอลิซึมที่เพิ่มสูงขึ้นได้ และปริมาณไทออลที่ต่อต้านการเกิดความเครียดของเซลล์ที่น้ำยางลดต่ำลงรวมถึงสามารถเพิ่มผลผลิตได้เพียง 6% ที่ความถี่ 8 ครั้ง/ปี จึงไม่คุ้มค่ากับการเสี่ยงใช้สารที่อาจทำให้เกิดอาการแพ้ได้ ถึงแม้ว่าจะไม่สามารถใช้สารเอทีฟอนเพิ่มผลผลิตกับพันธุ์นี้ได้ แต่ปกติพันธุ์ PB235 ถือว่าให้ผลผลิตต่อต้านสูง มีเมแทบอลิซึมสูงอยู่แล้วเมื่อเปรียบเทียบกับพันธุ์อื่น ๆ

ส่วนพันธุ์ RRIM600 ควรใช้สารเอทีฟอนที่ความถี่ 8 ครั้ง/ปี จะสามารถเพิ่มผลผลิตได้ 25% ซึ่งเมแทบอลิซึมที่เพิ่มสูงขึ้น ทำให้การเปลี่ยนซูโครสไปเป็นผลผลิตเพิ่มมากขึ้น และปริมาณไทออลไม่ได้ลดต่ำกว่าปกติ สำหรับพันธุ์ GT1 เป็นพันธุ์ที่ตอบสนองต่อสารเอทีฟอนดีกว่าทั้ง 2 พันธุ์ เนื่องจากสามารถเพิ่มผลผลิตได้ทุกความถี่ของการใช้สารและผลผลิตเพิ่มตามความถี่ที่ใช้สารเอทีฟอน ซึ่งปริมาณซูโครส ไทออลและ Pi จะเพิ่มขึ้นเมื่อได้รับสารเอทีฟอน โดยสามารถเพิ่มผลผลิตได้ 43% เมื่อใช้สารที่ความถี่ 8 ครั้ง/ปี จึงสามารถใช้สารที่ความถี่ระดับนี้ได้

ตารางที่ 20 การตอบสนองของปริมาณผลผลิตสะสม (กิโลกรัม/ต้น/ปี) ของยางพารา 3 พันธุ์ ต่อการใช้สารเอทีฟอนที่ความถี่ต่าง ๆ (ในช่วงเดือนกันยายน – ตุลาคม)

treatment	Yield (kg tree ⁻¹ year ⁻¹)					
	PB235		RRIM600		GT1	
	kg tree ⁻¹	% control	kg tree ⁻¹	% control	kg tree ⁻¹	% control
control	4.92ab	100	4.98ab	100	2.21b	100
ET 2.5% 2/Y	3.85ab	78	3.54b	71	2.17b	98
ET 2.5% 5/Y	3.15b	64	4.11ab	83	2.72ab	123
ET 2.5% 8/Y	5.21a	106	6.23a	125	3.16a	143
<i>P</i> -value	0.0110	-	0.0191	-	0.0046	-
C.V. (%)	18.22	-	14.58	-	14.64	-

หมายเหตุ ค่าเฉลี่ยตามด้วยตัวอักษรที่เหมือนกันในแนวนอง ไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95% เปรียบเทียบโดยวิธี DMRT



ภาพที่ 12 (ก) ความยาวนานแสงแดด (ข) อุณหภูมิ (ค) ความชื้นสัมพัทธ์ และ (ง) ปริมาณน้ำฝน ณ ศูนย์วิจัยยางยะไข่ ระหว่างงานทดลองเดือนมกราคม 2548 - กุมภาพันธ์ 2550

สรุป

มวลชีวภาพส่วนต่าง ๆ ของต้นยางพาราพันธุ์ RRIM600 เกือบทุกส่วน ได้แก่ แผ่นใบ ก้านใบ แผ่นใบร่วง ก้านใบร่วง เนื้อไม้ เปลือกไม้ รากแก้ว รากแขนงใหญ่ รากแขนงเล็ก กิ่งแก่ สีนํ้าตาล กิ่งอ่อนสีเขียว เนื้อเมล็ดและเปลือกเมล็ด มีปริมาณคาร์บอนสูงที่สุด รองลงมาคือ ออกซิเจน ไฮโดรเจน ไนโตรเจนและซัลเฟอร์ตามลำดับ ยกเว้น เปลือกของรากแก้วที่พบว่ามีปริมาณธาตุออกซิเจนสูงที่สุด รองลงมาได้แก่ คาร์บอน ไฮโดรเจน ไนโตรเจน และซัลเฟอร์ตามลำดับ

ต้นทุนด้านพลังงานในการสร้างมวลชีวภาพของต้นยางพาราพันธุ์ RRIM600 เมื่อคิดเป็นกรัมกลูโคสที่ใช้ในการสร้างมวลชีวภาพ 1 กรัม ส่วนของเนื้อเมล็ดสูงที่สุด รองลงมาคือ แผ่นใบ ก้านใบร่วง แผ่นใบร่วง เปลือกเมล็ด ก้านใบ เนื้อไม้ กิ่งแก่ สีนํ้าตาล รากแขนงใหญ่ เนื้อไม้ของรากแก้ว รากแขนงเล็ก เปลือกไม้ กิ่งอ่อนสีเขียว และเปลือกรากแก้ว ตามลำดับ และต้นยางพาราจะใช้กลูโคสไปกับการสร้างลำต้นและกิ่งในสัดส่วนที่มากที่สุด รองลงมาคือส่วนของราก และใบตามลำดับ

ธาตุที่เป็นองค์ประกอบหลักของ TSC ในน้ำยางทั้ง 3 พันธุ์ ช่วงฤดูกรีด (กรกฎาคม – กุมภาพันธ์) มีปริมาณธาตุคาร์บอนสูงที่สุด รองลงมาคือ ธาตุไฮโดรเจน ออกซิเจน ไนโตรเจน และซัลเฟอร์ ตามลำดับ พันธุ์ PB235 มีปริมาณธาตุซัลเฟอร์มากที่สุดเมื่อใช้สารเอทีฟอน 2 ครั้ง/ปี ยางพันธุ์ RRIM600 มีปริมาณธาตุคาร์บอนมากที่สุดเมื่อได้รับสารเอทีฟอน 5 ครั้ง/ปี และพันธุ์ GT1 เมื่อไม่ได้รับสารเอทีฟอนมีปริมาณธาตุซัลเฟอร์มากที่สุด และธาตุคาร์บอนจะเพิ่มขึ้นเมื่อได้รับสารเอทีฟอนทุกความถี่ ซึ่งยางทั้ง 3 พันธุ์มีปริมาณธาตุออกซิเจนเพิ่มขึ้นเมื่อได้รับสารเอทีฟอน

ต้นทุนด้านพลังงานในการสร้าง TSC ในน้ำยางช่วงฤดูกรีดยางมีการเปลี่ยนแปลงตลอด พันธุ์ PB235 และ GT1 ใช้ต้นทุนใกล้เคียงกันและสูงกว่าพันธุ์ RRIM600 ซึ่งพันธุ์ RRIM600 และ GT1 ใช้กลูโคสในการสร้าง TSC 1 กรัม สูงที่สุดในเดือนธันวาคม แต่พันธุ์ PB235 สูงที่สุดในเดือนมกราคม ต้นทุนด้านพลังงานในการสร้าง TSC ในน้ำยางเมื่อได้รับสารเอทีฟอน ทั้ง 3 พันธุ์มีต้นทุนสูงกว่าไม่ได้รับสาร แต่ตอบสนองต่อความถี่แตกต่างกัน พันธุ์ PB235 ต้นทุนด้านพลังงานในการสร้างเพิ่มสูงขึ้นตามความถี่การใช้สารเอทีฟอนที่มากขึ้น แต่พันธุ์ RRIM600

แตกต่างกันเล็กน้อย คือ ใช้สาร 5 ครั้ง/ปี สูงกว่า 8 ครั้ง/ปี ส่วนพันธุ์ GT1 การใช้สาร 2 ครั้ง/ปี สูงที่สุด รองลงมาคือ 5 ครั้ง/ปี 8 ครั้ง/ปี และไม่ใช้สาร ตามลำดับ

องค์ประกอบทางชีวเคมีในน้ำยาง ในสภาพที่ไม่ได้รับสารเอทีฟอนพันธุ์ RRIM600 มีระดับปริมาณซูโครสสูงแต่ไทออลต่ำ ส่วนพันธุ์ PB235 มีระดับซูโครสต่ำแต่ Pi สูง พันธุ์ GT1 ปริมาณซูโครสต่ำ Pi ต่ำ แต่ไทออลสูง และเมื่อได้รับสารเอทีฟอน พันธุ์ PB235 มีเมแทบอลิซึมสูงขึ้น (Pi สูง) แต่ปริมาณซูโครสและไทออลกลับลดต่ำลงทุกความถี่ของการให้สาร จึงไม่ควรใช้สารเอทีฟอนกับยางพันธุ์นี้เนื่องจากเซลล์ท่อน้ำยางไม่สามารถเพิ่มปริมาณซูโครสให้เพียงพอกับเมแทบอลิซึมที่เพิ่มสูงขึ้นได้ และปริมาณไทออลที่ต่อต้านการเกิดความเครียดของเซลล์ท่อน้ำยางลดต่ำลงรวมถึงสามารถเพิ่มผลผลิตได้เพียง 6% ที่ความถี่ 8 ครั้ง/ปี จึงไม่คุ้มค่ากับการเสี่ยงใช้สาร ส่วนพันธุ์ RRIM600 ควรใช้สารเอทีฟอนที่ความถี่ 8 ครั้ง/ปี จะสามารถเพิ่มผลผลิตได้ 25% ซึ่งสามารถเพิ่มเมแทบอลิซึมให้สูงขึ้น เปลี่ยนซูโครสไปเป็นผลผลิตได้มาก และปริมาณไทออลไม่ได้ลดต่ำลงกว่าปกติ สำหรับพันธุ์ GT1 เป็นพันธุ์ที่ตอบสนองต่อสารเอทีฟอนที่ดี ซึ่งปริมาณซูโครสไทออลและ Pi เพิ่มขึ้นเมื่อได้รับสารเอทีฟอน ผลผลิตเพิ่มตามระดับความถี่ที่ใช้สารเอทีฟอน โดยสามารถเพิ่มผลผลิตได้ 43% เมื่อใช้สารที่ความถี่ 8 ครั้ง/ปี จึงสามารถใช้สารที่ความถี่ระดับนี้ได้

เอกสารและสิ่งอ้างอิง

กลุ่มยางพารา กองส่งเสริมพืชพันธุ์ กรมส่งเสริมการเกษตร กระทรวงเกษตรและสหกรณ์. 2533.
คู่มือเจ้าหน้าที่ส่งเสริมการเกษตรเรื่องยางพารา. กระทรวงเกษตรและสหกรณ์, กรุงเทพฯ.

จินตนา บางจั่น. 2545. มวลชีวภาพและปริมาณธาตุอาหารหลักของต้นยางพาราพันธุ์ RRIM600
(*Hevea brasiliensis* MUELL, ARG.) ในภาคตะวันออก. วิทยานิพนธ์ปริญญาโท.
มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

ดนัย บุญเกียรติ และอังสนา อัครพิศาล. 2540. ชีววิทยาโมเลกุลของเซลล์. คณะเกษตรศาสตร์.
มหาวิทยาลัยเชียงใหม่, เชียงใหม่.

นภาพรรณ เลขวิวัฒน์, รัชณี รัตนวงศ์ และอนุสรณ์ แรมลี. 2544. การศึกษาชีวเคมีของยางพันธุ์
แลกเปลี่ยนระหว่างประเทศในเขตภูมิอากาศที่ 1, น. 135 - 154. ใน รายงานผลการวิจัยเรื่อง
เต็ม ประจำปี 2544. สถาบันวิจัยยาง กรมวิชาการเกษตร กระทรวงเกษตรและสหกรณ์,
กรุงเทพฯ.

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

ปัทมา ชนะสงคราม, วิสุทธิ์ สุกลรัตน์, ภัทราวุธ จิวตระกูล และโชคชัย เอนกชัย. 2537. กาย
วิภาคและลักษณะการเกิดอาการเปลือกแห้งของต้นยาง. ใน การประชุมวิชาการยางพารา
ครั้งที่ 2. สถาบันวิจัยยาง กรมวิชาการเกษตร กระทรวงเกษตรและสหกรณ์, กรุงเทพฯ.

พงษ์ศักดิ์ วิทวัสชุตินกุล, พินทิพย์ ธิติโรจวัฒน์ และสุนีย์ ศิลพิทักษ์. 2538. การเคลื่อนย้ายธาตุ
อาหารของไม้เศรษฐกิจบางชนิด. บันทึกวิจัยเล่มที่ 68 สถานีวิจัยเพื่อรักษาต้นน้ำห้วยหิน
ดาด ฝ่ายวิจัยกองอนุรักษ์ต้นน้ำ กรมป่าไม้.

พงษ์ศักดิ์ วิทวัสชติกุล และวารินทร์ จิระสุขทวีกุล. 2531. **ผลผลิตเหนือผิวดินของสวนยางพารา
ในลุ่มน้ำระยอง**. บันทึกวิจัยเล่มที่ 59 สถาบันวิจัยเพื่อศึกษาด้านน้ำห้วยหินลาด ฝ่ายวิจัยกอง
อนุรักษ์ต้นน้ำ กรมป่าไม้.

พิสมัย จันทูมา. 2543. **การวิเคราะห์น้ำยางโดยวิธีชีวเคมี. ใน เอกสารประกอบการประชุมวิชาการ
ยางพาราประจำปี 2543 ครั้งที่ 2**. สถาบันวิจัยยาง กรมวิชาการเกษตร กระทรวงเกษตรและ
สหกรณ์, กรุงเทพฯ.

ขงยุทธ โอสดสภา. 2546. **ธาตุอาหารพืช**. ภาควิชาปฐพีวิทยา คณะเกษตร
มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, กรุงเทพฯ.

ศรีสม สุวรรณวงศ์. 2547. **การวิเคราะห์ธาตุอาหารพืช**. ภาควิชาพฤกษศาสตร์ คณะวิทยาศาสตร์
มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, กรุงเทพฯ.

สถาบันวิจัยยาง กรมวิชาการเกษตร กระทรวงเกษตรและสหกรณ์. 2542. **ผลงานวิจัยและพัฒนา
ยางประจำปี 2541 ใน การประชุมวิชาการยางพารา ครั้งที่ 2**. กระทรวงเกษตรและ
สหกรณ์, กรุงเทพฯ.

สถาบันวิจัยยาง กรมวิชาการเกษตร กระทรวงเกษตรและสหกรณ์. 2542. **คำศัพท์วิชาการ
ยางพารา**. กระทรวงเกษตรและสหกรณ์, กรุงเทพฯ.

สถาบันวิจัยยาง กรมวิชาการเกษตร กระทรวงเกษตรและสหกรณ์. 2545. **ข้อมูลวิชาการยางพารา**.
กระทรวงเกษตรและสหกรณ์, กรุงเทพฯ.

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

สถาบันวิจัยยาง กรมวิชาการเกษตร กระทรวงเกษตรและสหกรณ์. 2547. **คำแนะนำการปลูก
ยางพาราในภาคเหนือ**. กระทรวงเกษตรและสหกรณ์, กรุงเทพฯ.

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

สมบุญ เตชะภิญญาวัฒน์. 2544. สรีรวิทยาของพืช. ภาควิชาพฤกษศาสตร์
คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, กรุงเทพฯ.

สมพร ณ นคร. 2546. เอกสารประกอบการสอน: วิชาสารควบคุมการเจริญเติบโตของพืช. คณะ
วิชาพืชศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีราชมงคล วิทยาเขตนครศรีธรรมราช.

สาพิศ ร้อยอำแพง. 2545. ลักษณะโครงสร้างของเรื้อนยอดและความผันแปรของคุณสมบัติของใบ
ที่อยู่ในเรื้อนยอดของลูกผสมตามธรรมชาติของกระถินเทพาและกระถินณรงค์. ใน ราย
งานวิจัยประจำปี 2545. งานวิจัยเทคโนโลยีชีวภาพ, ส่วนงานวิจัย, กรมป่าไม้.

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

สำนักงานเศรษฐกิจการเกษตร. 2550. ยางพารา: ปริมาณและมูลค่าการส่งออกรายเดือน.
แหล่งที่มา: <http://www.oae.go.th/statistic/export/1301NR.xls>, 25 สิงหาคม 2550.

Anonymous. 2007. **CHN-900/CHNS-932 Carbon, Hydrogen, Nitrogen, Sulphur and Oxygen
Determination manual.** Available Source:
<http://www.pharmacy.ankara.edu.tr/merkezlab/pdfs/CHNS932.pdf>, August 25, 2007.

Ashwell, G. 1957. Colorimetric analysis of sugars. **Methods of Enzymology.** 3: 73-105.

Bhatia, C.R. and R. Rabson. 1976. Bioenergetic considerations in cereal breeding for protein
improvement. **Science.** 194: 1418-1421.

Boyer, A.F. and G.L. Ellman. 1972. A methodology for analysis of tissue sulfhydryl
components. **Analytical Biochem.** 46: 639-653.

- Bryce, J.H. and J.M Thornton. 1996. Respiration and growth Metabolism pp. 43-61. *In* Zamski, E. and Schaffer, A.A., eds. **Photoassimilate Distribution in plants and Crops, Source-Sink Relationships**. Marcel Dekker Inc., New York.
- Chantuma, A., P. Chantuma, S. Rhutherman, P. Tsongpanich, W. Bunnuaam, K. Kongsilp and P. Kesawapitak. 2004. Carbon sequestration : direct rubber biomass measurement and visual wood weight pp. 359-365. *In* **Proceedings of IRRDB Symposium 2004 : End use and Processing technology**. Kunming, China.
- Chantuma, P., J. Kosaisawe, U. Silpi and E. Gohet. 2001. Towards a physiological latex diagnosis of thai rubber plantations : First reference values of latex physiological parameters in a non-traditional rubber growing area (Chachoengsa province, Thailand). *In* **Doras-Rubber Seminar**. KU-DORAS Center, Bangkok, Thailand.
- Chrestin, H., J. Bangratz, J. d' Auzac and J.L. Jacob. 1984. Role of the lutoidic tonoplast in the senescence and degeneration of the laticifers of *Hevea brasiliensis*. **Planzenphysiol.** 114: 261.
- Deborah, J. S. and K. Cornish. 1995. Measurement of protein in natural rubber latex. **Analytical Biochemistry**. 229: 278-281.
- Eng, A. and Y. Tanaka. 1993. Structure of natural rubber. **Trends in polymer science**. 3: 493–513.
- Evans, J.R. 1989. Photosynthesis and nitrogen relationships in leaves of C3 plants. **Oecologia**. 78: 9–19.
- Eschbach, J.M., D. Roussel, H. Van de Stpe, J.L. Jacob and J. d' Auzac. 1984. Relationships between Yield and Clonal Physiological Characteristics of Latex from *Hevea brasiliensis*. **Physiol.** 2: 295-304.

- 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.
- Gidrol, X. and H. Chrestin. 1984. Lutoidic ATPase functioning in relation to latex pH regulation and stimulation mechanisms. **C.R. Coll. Exp. Physiol. Amel. Hevea.** 81-99.
- Gohet, E., K. Dian, J.C. Prevot, S. Obouayeba, J.Z. Keli, J. d' Auzac and J.L. Jacob. 1997. Relation between latex sugar content, the metabolic activity of the latex bearing system and the production potential of *Hevea brasiliensis* clones. In **IRRDB Annual Meeting**, Ho Chi Minh City.
- Gohet, E. and P. Chuntuma. 1999. **Microdiagnostic Latex Training**. RRIT-DOA, Chachoengsao Rubber Reacherch Center.
- Gohet, E., P. Chantuma, U. Silpi, A. Chantuma, P. Thaler, S. Thanisawanyangkura and J. Kosaisawe. 2001. Competition between growth and rubber production of *Hevea brasiliensis* : Harvest index and metabolic efficiency of three clones in a non-traditional area (Chachoengsao province, Thailand), pp. 17. In **Doras-Rubber Seminar 6 - 8 June 2001**. KU-DORAS Center, Bangkok, Thailand.
- Greek, B.F. 1991. Rubber demand is expected to grow after 1991. **C & E News** 69: 37-54.
- Griffin, K.L. 1994. Calorimetric estimates of construction cost and their use in ecological studies. **Functional Ecology**. 8: 551-562.
- Griffin, K.L., 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.

- Hirose, T. and M.J.A. Werger. 1987. Maximizing daily canopy photosynthesis with respect to the leaf nitrogen allocation pattern in the canopy. **Oecologia**. 72: 520–526.
- 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.
- Jacob, J.L., J.C. Prevot, 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.
- Jacob, J.L., J.M. Eschbach, J.C. Prevot, D. Roussel, R. Lacrotte, H. Chrestin and J. d' Auzac. 1985. Physiological Basis for latex diagnosis of Functioning of the Laticiferous System in Rubber Tree, pp. 43 - 65. In J.C. Rajarao and L.L. Amin, eds. **Proceedings International Rubber Conference**. Rubber Research Institute of Malaya, Kuala Lumpur.
- Jetro N.N. and M.S. Gobina. 2007. Effect of 2-chloroethylphosphonic acid formulations as yield stimulants on *Hevea brasiliensis*. **African J. of Biotech.** 6(5): 523–528.
- Kekwick, R.G. 2001. **Latex and laticifers**. Encyclopedia of life sciences. University of Birmingham, Birmingham, UK.
- Lacote, R., S. Obouayeba, A. Clement-Demange, K. Dian, M. Gnagne and E. Gohet. 2004. Panel management in rubber (*Hevea brasiliensis*) tapping and impact on yield, growth, and latex diagnosis. **J. Rubb. Res.**, 7(3) 199–217.
- 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.

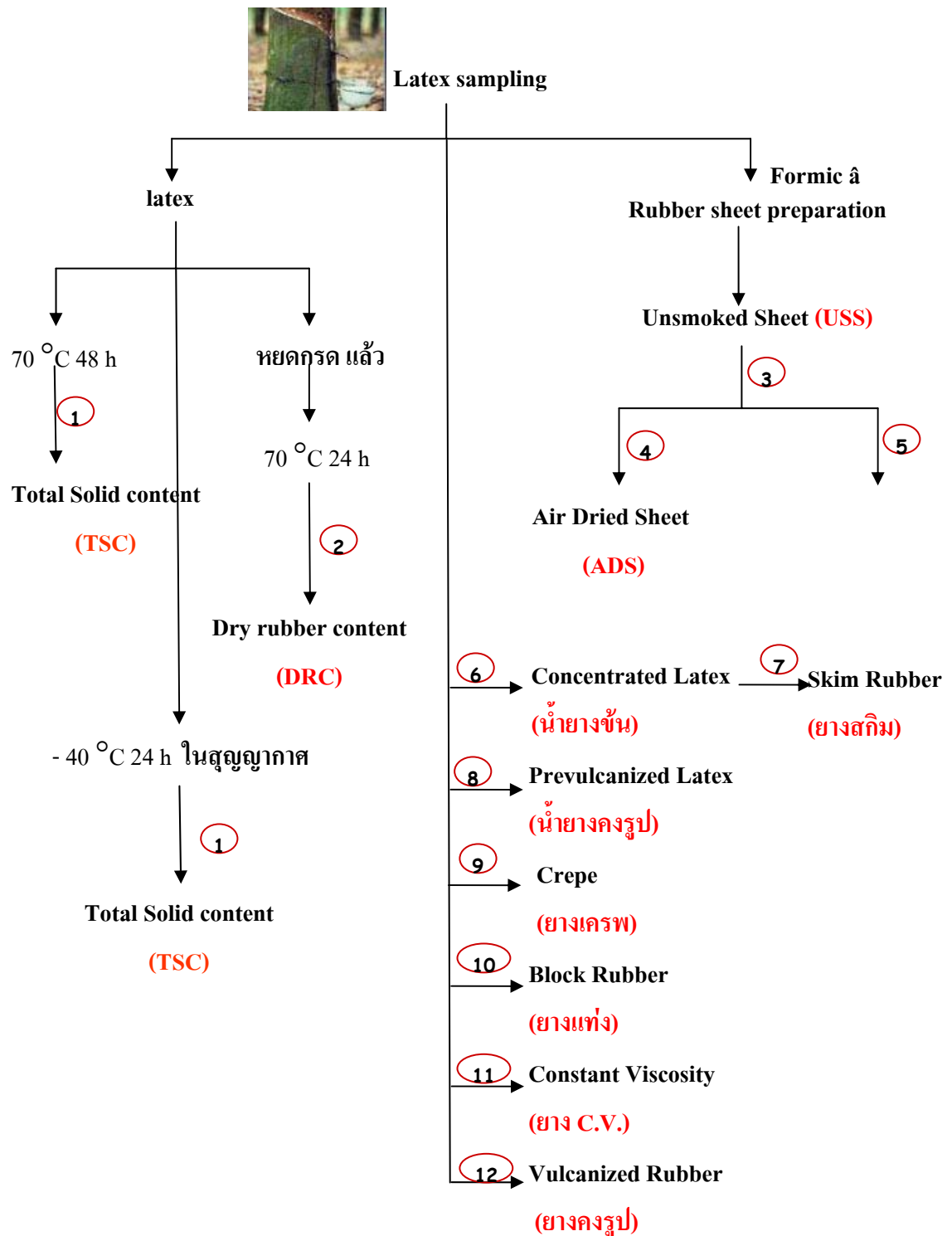
- Larcher, W. 1995. **Physiological Plant Ecology**. Ecophysiology and Stress Physiology of Functional Groups. Springer-Verlag, Berlin.
- Loomis, R.S. and D.J. Connors. 1992. **Crop Ecology**. Productivity and management in agricultural systems, Cambridge University Press, Cambridge, UK.
- Lynon F. 1969. Biochemical Problems of Rubber Synthesis. **J. Rubber Res. Inst. Malays.** 21: 389-406.
- 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. Connors. **Crop Ecology**. 1992. Productivity and management in agricultural systems, Cambridge University Press, Cambridge, UK.
- McDermitt, D.K. and R.S. Loomis. 1981. Elemental composition of biomass and its relation to energy content, growth efficiency and growth yield. **Ann. Bot.** 48: 275-290.
- Mengel, K. and E.A. Kirby. 1978. **Principle of Plant Nutrition**. International Potash Institute, Bern, Switzerland.
- Penning, de Vries F.W.T. 1975. The cost of maintenance processes in plant cells. **Ann Bot.** 39: 77-92.
- Penning, de Vries F.W.T., 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.
- 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.

- Poorter H. and M. Bergkotte. 1992. Chemical composition of 24 wild species differing in relation growth rate. **Plant, Cell and Envi.** 15: 221–229.
- Prevot, J.C., J.L. Jacob and A. Vidal. 1984. Le Potentiel d'Oxydoreduction. Etude de sa Signification Physiologique dans le latex de l' *Hevea brasiliensis*. **Son Utilisation comme Critere Physiologique, Rapport 2/84.** Inst. Rech. Caoutch, CIRAD, Montpellier.
- Roux, Y.L., E. Ehabe, J. Sainte-Beuve, J. Nkengafac, J. Nkeng, F. Ngolemasangc and S. Gobina. 2000. Seasonal and clonal variations in the latex raw rubber of *Hevea brasiliensis*. **J. Rubb. Res.** 3(3) 142-156.
- Silisbury, J.H. 1977. Energy requirements of symbiotic nitrogen fixation. **Nature.** 267: 1149-1150.
- Sumarmadji, S. and Y. Sudirman. 2000. Parameters of latex physiology to optimize the production of rubber plants (*Hevea brasiliensis* Muell. Arg.). In **Indonesian Rubber Conference and IRRDB Symposium.** Bogor, Indonesia.
- Taiz, L. and E. Zeiger. 2002. **Plant physiology.** 3rd ed. Sinauer Associates, Sunderland, MA.
- Taussky, H.H. and E. Shorr. 1953. A microcolorimetric method for the determination of Inorganic phosphorus. **J. Biol. Chem.** 202: 675-685.
- Tupy, J. 1985. Some aspects of sucrose transport and utilization in latex producing bark of *Hevea brasiliensis* Muel. **Arg. Biologia PL.** 27(1): 51-64.
- Tupy, J. and L. Primot. 1976. Control of carbohydrate metabolism by ethylene in latex vessels of *Hevea brasiliensis* Muel. In relation to rubber production. **Biol. Plant.** 18: 373.

- Vertregt, N. and F.W.T. Penning de Vries. 1987. A rapid method for determining the efficiency of biosynthesis of plant biomass. **J. Ther. Biol.** 128: 109-119.
- Visitnonthachai, D. 2005. **Characterization of lipids and their effects on mixing properties of unvulcanized raw natural rubber.** M.S. Thesis, Kasetsart University.
- Walton, E.F., P.J. Fowke. 1995. Estimation of the annual cost of kiwifruit vine growth and maintenance. **Ann. Bot.** 76: 617-623.
- Webster, C.C. and W.J. Baulkmill. 1989. **Rubber.** Longman Group UK Limited, Longman Scientific & Technical, England.
- Wild, A. 1988. **Russell's Soil Conditions and Plant Growth.** Longman Group UK Limited, Longman Scientific Technical, England.
- Williams, K., F. Percival, J. Merino and H.A. Mooney. 1987. Estimation of tissue construction cost from the heat of combustion and organic nitrogen content. **Plant Cell Environ.** 10: 725-734.
- Wilson, D, and J.G. Jones. 1982. Effect of selection for dark respiration rate of mature leavea on crop yields of *Lolium perenne* cv.S23. **Ann Bot.** 49: 313-320.
- 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.

ภาคผนวก

1. คำนิยามน้ำยางพาราที่ผ่านขั้นตอนต่าง ๆ



ภาพผนวกที่ 1 ชื่อเรียกน้ำยางพาราที่ผ่านขั้นตอนต่าง ๆ

ที่มา: สถาบันวิจัยยาง (2542); Jacob *et al.* (1995); Gohet and Chuntuma (1999)

1. Total Solid content (TSC) ปริมาณของแข็งทั้งหมดในน้ำยาง
มีค่าใกล้เคียงกับเนื้อยางแห้ง (Dry Rubber content, DRC) ซึ่งกว่า 90 เปอร์เซ็นต์
ของปริมาณของแข็งทั้งหมดในน้ำยางเป็นค่า DRC
2. Dry Rubber content (DRC) ปริมาณเนื้อยางแห้ง
ปริมาณของอนุภาคยางที่อยู่ในน้ำยาง สามารถจับตัวได้ด้วยกรด
3. Unsmoked Sheet (USS) ยางแผ่นดิบ
เป็นยางแผ่นที่ทำจากน้ำยางสดที่ทำให้จับตัวกันเป็นก้อนด้วยกรด แล้วรีดเป็นแผ่น
บาง ๆ เป็นยางแผ่นที่ยังมีความชื้นอยู่
4. Air Dried Sheet (ADS) ยางแผ่นผึ่งแห้ง
ยางแผ่นที่ทำให้แห้งโดยใช้อากาศธรรมชาติหรืออากาศร้อน มีคุณสมบัติพิเศษ คือ
มีสีใส
5. Ribbed smoked Sheet (RSS) ยางแผ่นรมควัน
ยางแผ่นที่ทำให้แห้งโดยใช้ความร้อนและปล่อยให้ควันไฟเข้าไปเคลือบยังผิวของ
แผ่นยาง
6. Concentrated latex (น้ำยางข้น)
น้ำยางที่ผสมสารเคมีป้องกันการจับตัวของเนื้อยางและผ่านขบวนการลดปริมาณ
น้ำให้มีปริมาณเนื้อยางแห้ง 60 เปอร์เซ็นต์
7. Skim Rubber (ยางสกิน)
ยางที่ผลิตมาจากหางน้ำยางซึ่งเป็นผลพลอยได้จากการทำน้ำยางข้น
8. Prevulcanized Latex (น้ำยางคงรูป)
น้ำยางที่โมเลกุลภายในอนุภาคยางเชื่อมโยงกันด้วยพันธะทางเคมี (Chemical
crosslink)

9. Crepe (ยางเครพ)

ยางที่ทำเป็นแผ่นบาง ๆ โดยผ่านเครื่องจักรรีดเครพ

10. Block Rubber (ยางแท่ง)

ยางที่ผ่านการย่อยเป็นชิ้นเล็ก ๆ และอบให้แห้งด้วยความร้อนแล้วจึงอัดเป็นแท่ง เป็นยางที่มีการกำหนดมาตรฐานคุณสมบัติทางเทคนิค

11. Constant Viscosity (ยาง C.V.)

ยางที่ผ่านการเติมสารเคมีเพื่อให้มีความแข็งแรงที่

12. Vulcanized Rubber

ยางที่ผ่านขบวนการทำให้คงรูป (Vulcanization) แล้ว

2. ค่าอ้างอิงมาตรฐานองค์ประกอบทางชีวเคมีในน้ำยาง

ตารางผนวกที่ 1 ค่าอ้างอิงมาตรฐานองค์ประกอบทางชีวเคมีในน้ำยาง ของยางพาราพันธุ์ PB235 ของพื้นที่ศูนย์วิจัยยางยะเชิงเทรา (CRRC)

PB235	Low	<	Medium	>	High
[Suc]	-----	3.2	=====	5.4	++++++
[Pi]	-----	25.5	=====	32.7	++++++
[R-SH]	-----	0.15	=====	0.28	++++++
DRC%	-----	39.8	=====	44.5	++++++

ตารางผนวกที่ 2 ค่าอ้างอิงมาตรฐานองค์ประกอบทางชีวเคมีในน้ำยาง ของยางพาราพันธุ์ RRIM600 ของพื้นที่ศูนย์วิจัยยางยะเชิงเทรา (CRRC)

RRIM600	Low	<	Medium	>	High
[Suc]	-----	3.1	=====	5.7	++++++
[Pi]	-----	15.0	=====	27.0	++++++
[R-SH]	-----	0.14	=====	0.46	++++++
DRC%	-----	44.5	=====	45.6	++++++

ตารางผนวกที่ 3 ค่าอ้างอิงมาตรฐานองค์ประกอบทางชีวเคมีในน้ำยาง ของยางพาราพันธุ์ GT1 ของพื้นที่ศูนย์วิจัยยางยะเชิงเทรา (CRRC)

GT1	Low	<	Medium	>	High
[Suc]	-----	4.2	=====	10.6	++++++
[Pi]	-----	14.2	=====	17.7	++++++
[R-SH]	-----	0.20	=====	0.43	++++++
DRC%	-----	42.3	=====	49.3	++++++

ตารางผนวกที่ 4 ค่าอ้างอิงมาตรฐานองค์ประกอบทางชีวเคมีในน้ำยาง ของยางพาราพันธุ์ PB235 ของประเทศอินโดนีเซีย จัดทำโดย CIRAD

PB235	--	Very low	-	Low	- =	Medium	= +	High	+	Very high	++
[Suc]	--	1.6	-	2.6	- =	3.6	= +	4.6	+	5.7	++
[Pi]	--	14.0	-	18.0	- =	26.0	= +	28.0	+	33.0	++
[R-SH]	--	0.25	-	0.35	- =	0.50	= +	0.65	+	0.80	++
DRC%	--	39.0	-	44.0	- =	48.0	= +	53.0	+	58.0	++

ตารางผนวกที่ 5 ค่าอ้างอิงมาตรฐานองค์ประกอบทางชีวเคมีในน้ำยาง ของยางพาราพันธุ์
RRIM600 ของประเทศอินโดนีเซีย จัดทำโดย CIRAD

RRIM600	--	Very low	-	Low	- =	Medium	= +	High	+	Very high	++
[Suc]	--	1.3	-	3.4	- =	5.4	= +	7.5	+	9.5	++
[Pi]	--	8.0	-	13.0	- =	19.0	= +	24.0	+	29.0	++
[R-SH]	--	0.25	-	0.35	- =	0.50	= +	0.65	+	0.80	++
DRC%	--	36.0	-	41.0	- =	46.0	= +	49.0	+	54.0	++

ตารางผนวกที่ 6 ค่าอ้างอิงมาตรฐานองค์ประกอบทางชีวเคมีในน้ำยาง ของยางพาราพันธุ์ GT1
ของประเทศอินโดนีเซีย จัดทำโดย CIRAD

GT1	--	Very low	-	Low	- =	Medium	= +	High	+	Very high	++
[Suc]	--	1.8	-	4.6	- =	7.4	= +	10.2	+	13.0	++
[Pi]	--	8.0	-	13.0	- =	18.0	= +	23.0	+	28.0	++
[R-SH]	--	0.25	-	0.35	- =	0.50	= +	0.65	+	0.80	++
DRC%	--	38.0	-	43.0	- =	47.0	= +	51.0	+	55.0	++

3. ค่าอ้างอิงข้อมูลน้ำหนักมวลชีวภาพ

ตารางผนวกที่ 7 ข้อมูลทางด้านเกษตรของต้นยางพันธุ์ RRIM600 ที่อายุ 2 – 25 ปี ของ Chantuma *et al.* (2004)

อายุ	เส้นรอบ		น้ำหนักแห้งของส่วนต่าง ๆ (กิโลกรัม/ต้น)					รวมมวล			ดัชนีพื้นที่ใบ
	ลำต้น	ความสูง						ชีวภาพ			
			รากแก้วและลำต้นที่	ราก	ราก	ลำต้น	รวมลำต้นที่				
								ส่วนยอด	ระดับผิวดิน	แขนง	
(ปี)	(ซม.)	(ซม.)									
2.5	17.8	6.5	7.2	1.6	0.2	0.0	9.0	71.1	6.7	20.8	0.5
4	27.1	7.0	24.3	3.5	0.9	0.3	29.0	75.9	5.7	16.1	1.4
9	51.3	16.0	185.3	20.2	4.1	0.3	210.0	86.5	1.1	11.8	5.1
12	56.0	19.5	246.8	24.8	6.0	0.7	278.4	86.3	1.8	12.0	5.2
15	62.1	19.8	331.5	31.7	9.2	2.9	375.4	85.3	2.3	12.4	7.5
20	74.9	20.9	503.5	44.9	10.4	2.3	561.1	87.7	2.0	10.3	7.8
25	85.0	24.7	582.5	56.9	14.9	0.6	655.0	87.6	1.4	11.5	ผลัดใบ
25	94.2	26.7	726.6	70.1	20.5	5.2	822.4	-	-	13.7	ผลัดใบ

ตารางผนวกที่ 8 ปริมาณการทิ้งเศษซากพืชในแต่ละปี ของยางพาราพันธุ์ RRIM600
ของ Chantuma *et al.* (2004)

ส่วนของลำต้น	ปริมาณเศษซากพืช (กิโลกรัม/ไร่/ปี)		
	อายุ 11-12 ปี	อายุ 15-17 ปี	อายุ 20-21 ปี
กิ่งใหญ่แห้ง	275	144	48
กิ่งเล็กแห้ง	437	390	288
ใบ	83	ไม่มีข้อมูล	ไม่มีข้อมูล
ก้านใบ	264	ไม่มีข้อมูล	ไม่มีข้อมูล
เปลือกผล	70	ไม่มีข้อมูล	ไม่มีข้อมูล
เมล็ด	29	ไม่มีข้อมูล	ไม่มีข้อมูล
รวม	1,294	534	336
พื้นที่ใบ/น้ำหนัก (ตารางเซนติเมตร/กรัม)	165	162	142

ประวัติการศึกษา และการทำงาน

ชื่อ –นามสกุล	นางสาวกาญจนา ลุ่งกี
เกิดวันที่	25 สิงหาคม 2523
สถานที่เกิด	โรงพยาบาลตรัง อำเภอเมือง จังหวัดตรัง
ประวัติการศึกษา	วิทยาศาสตรบัณฑิต (เกษตรศาสตร์) เกียรตินิยมอันดับหนึ่ง สาขาพืชสวน มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ (พ.ศ. 2545)
ตำแหน่งปัจจุบัน	เลขานุการผู้เชี่ยวชาญฝรั่งเศส
สถานที่ทำงานปัจจุบัน	French Agricultural Research Centre for International Development (CIRAD)
ผลงานดีเด่นและ/หรือรางวัลทางวิชาการ	-
ทุนการศึกษาที่ได้รับ	-