การเปลี่ยนแปลงของธาตุอาหาร และองค์ประกอบทางชีวเคมีของน้ำยางในรอบปี และความสัมพันธ์กับเนื้อยางแห้ง

Change of Plant Nutrients and Bio-chemical Compositions in Rubber Latex During the year and their Relations to Dry Rubber Content

ณัฐพงศ์ ศรีสมบัติ
Nuttapong Srisombut

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญา
วิทยาศาสตรมหาบัณฑิตสาขาวิชาการจัดการทรัพยากรดิน
มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์
A Thesis Submitted in Partial Fulfillment of the Requirements for
the Degree ofMaster of Science in Soil Resources Management
Prince of Songkla University
2557

ลิขสิทธิ์ของมหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์

ชื่อวิทยานิพนธ์ การเปลี่ยนแปลงของธาตุอาหาร และองค์ประกอบทางชีวเคมีของน้ำยางในรอบปี และความสัมพันธ์กับเนื้อยางแห้ง
ผู้เขียน นายณัฐพงศ์ ศรีสมบัติ
สาขาวิชา การจัดการทรัพยากรดิน

อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก

…………………………………………....
(รองศาสตราจารย์ ดร.จำเป็น อ่อนทอง)

คณะกรรมการสอบ

……………………………...ประธานกรรมการ
(ดร.จุฑามาศ แก้วมโน)

………..……………………………กรรมการ
(รองศาสตราจารย์ ดร.จำเป็น อ่อนทอง)

………..……………………………กรรมการ
(รองศาสตราจารย์ ดร.วิเชียร จาฎุพจน์)

……………………………………..กรรมการ
(ดร.ระวี เจียรวิภา)

บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ อนุมัติให้นับวิทยานิพนธ์ฉบับนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษา ตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาการจัดการทรัพยากรดิน

....
(รองศาสตราจารย์ ดร.ธีระพล ศรีชนะ)
คณบดีบัณฑิตวิทยาลัย

ขอรับรองว่า ผลงานวิจัยนี้มาจากการศึกษาวิจัยของนักศึกษาเอง และได้แสดงความขอบคุณบุคคลที่มีส่วนช่วยเหลือแล้ว

ลงชื่อ……………………………………..
(รองศาสตราจารย์ ดร.จำเป็น อ่อนทอง)
อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์

ลงชื่อ……………………………………..
(นายณัฐพงศ์ ศรีสมบัติ)
นักศึกษา

ข้าพเจ้าขอรับรองว่า ผลงานวิจัยนี้ไม่เคยเป็นส่วนหนึ่งในการอนุมัติปริญญาในระดับใดมาก่อน และไม่ได้ถูกใช้ในการยื่นขออนุมัติปริญญาในขณะนี้

ลงชื่อ..
(นายณัฐพงศ์ ศรีสมบัติ)
นักศึกษา

ชื่อวิทยานิพนธ์ การเปลี่ยนแปลงของธาตุอาหาร และองค์ประกอบทางชีวเคมีของน้ำยางในรอบปี และความสัมพันธ์กับเนื้อยางแห้ง
ผู้เขียน นายณัฐพงศ์ ศรีสมบัติ
สาขาวิชา การจัดการทรัพยากรดิน
ปีการศึกษา 2556

บทคัดย่อ

น้ำยางเป็นผลผลิตหลักที่ได้จากต้นยางพารา การซื้อขายน้ำยางจะใช้ปริมาณเนื้อยางแห้งที่อยู่ในน้ำยางเป็นตัวกำหนดราคา โดยปริมาณเนื้อยางแห้ง และผลผลิตน้ำยางที่ได้รับเกี่ยวข้องกับหลายปัจจัยด้วยกัน ดังนั้น วัตถุประสงค์ของการศึกษานี้ คือ 1) ศึกษาตำแหน่งและช่วงเวลาที่เหมาะสมในการเก็บตัวอย่างน้ำยางเพื่อวิเคราะห์องค์ประกอบทางชีวเคมีและธาตุอาหารในน้ำยาง และ 2) ความสัมพันธ์ขององค์ประกอบทางชีวเคมีและธาตุอาหารในน้ำยางต่อปริมาณเนื้อยางแห้ง และวิธีการหาเนื้อยางแห้งที่เหมาะสม การศึกษาครั้งนี้ประกอบด้วย 4 การทดลอง ดังนี้

เปรียบเทียบวิธีการวิเคราะห์เนื้อยางแห้ง ศึกษาความแตกต่างของค่าปริมาณเนื้อยางแห้งที่ได้จาก 4 วิธี คือ 1) วิธีมาตรฐานในห้องปฏิบัติการ 2) วิธีตกตะกอนด้วย Trichloroaceticacid (TCA) 3) วิธีวัดด้วยการใช้เครื่องไมโครเวฟ และ 4) วิธีวัดโดยใช้การอบ พบว่า เนื้อยางแห้งที่ได้จากทั้ง 4 วิธีมีความสัมพันธ์ในเชิงบวกสูง วิธีการหาเนื้อยางแห้งโดยการอบด้วยเครื่องไมโครเวฟจะให้ค่าเนื้อยางแห้งที่ต่ำกว่าวิธีมาตรฐานในห้องปฏิบัติการ แต่มีความสัมพันธ์กันสูง (r = 0.999) และในการวิจัยที่ทำการวิเคราะห์องค์ประกอบทางชีวเคมีในน้ำยางโดยการตกตะกอนด้วย TCA สามารถใช้วิธีนี้ในการหาค่าเนื้อยางแห้งแทนวิธีมาตรฐานในห้องปฏิบัติการ เนื่องจากปริมาณเนื้อยางแห้งที่ได้ไม่แตกต่างทางสถิติกับวิธีมาตรฐานในห้องปฏิบัติการ นอกจากนั้น วิธี TCA ใช้น้ำยางที่น้อยกว่า และมีขั้นตอนที่สะดวกกว่า

การเปลี่ยนแปลงของปริมาณธาตุอาหารและองค์ประกอบทางชีวเคมีในน้ำยาง และปริมาณธาตุอาหารในใบยางพาราในรอบปี ศึกษาการเปลี่ยนแปลงของปริมาณธาตุอาหารและองค์ประกอบทางชีวเคมีในน้ำยาง และปริมาณธาตุอาหารในใบยางพาราในแปลงที่มีการใส่ปุ๋ย (29-5-18 อัตรา 1 กก./ต้น/ปี) และไม่ใส่ปุ๋ย พบว่า ในแปลงที่มีการใส่ปุ๋ยและไม่ใส่ปุ๋ยมีการเปลี่ยนแปลงของปริมาณธาตุอาหารและองค์ประกอบทางชีวเคมีในน้ำยาง และปริมาณธาตุอาหารในใบยางพาราไปในทิศทางเดียวกัน การเปลี่ยนแปลงของฟอสฟอรัสและโพแทสเซียมในใบ และการเปลี่ยนแปลงของอนินทรีย์ฟอสฟอรัสและโพแทสเซียมในน้ำยางมี

รูปแบบการเปลี่ยนแปลงไปในทิศทางเดียวกัน การใส่ปุ๋ยส่งผลให้ผลผลิตน้ำยางสูงขึ้น โดยธาตุอาหารส่วนใหญ่ในน้ำยางมีแนวโน้มเพิ่มขึ้น และในช่วงเดือนตุลาคมถึงธันวาคมเป็นช่วงที่ธาตุอาหารและองค์ประกอบทางชีวเคมีในน้ำยางมีความแปรปรวนต่ำเหมาะที่จะเก็บตัวอย่างน้ำยางไปวิเคราะห์

ปริมาณธาตุอาหารและองค์ประกอบทางชีวเคมีในน้ำยางที่เก็บจากตำแหน่งที่ต่างกัน ศึกษาความแตกต่างของค่าวิเคราะห์ปริมาณธาตุอาหารและองค์ประกอบทางชีวเคมีในน้ำยางที่เก็บจากตำแหน่งกึ่งกลางใต้รอยกรีด 5 เซนติเมตร และตำแหน่ง 170 เซนติเมตรจากพื้นดิน พบว่า ตำแหน่งการเก็บน้ำยางมีผลต่อความเข้มข้นของธาตุอาหารส่วนใหญ่ในน้ำยางน้อย แต่จะมีผลมากกับองค์ประกอบทางชีวเคมีในน้ำยาง โดยเฉพาะที่ตำแหน่งกึ่งกลางใต้รอยกรีดซึ่งเป็นตำแหน่งที่สะท้อนพารามิเตอร์ที่เกี่ยวข้องกับการสังเคราะห์น้ำยาง โดยมีค่าซูโครส ไทออล อนินทรีย์ฟอสฟอรัสต่ำ แต่ปริมาณของแข็งทั้งหมดสูง และเป็นตำแหน่งที่เก็บตัวอย่างน้ำยางเพื่อวิเคราะห์องค์ประกอบทางชีวเคมี ดังนั้น ตำแหน่งใต้รอยกรีด 5 เซนติเมตรจึงเป็นตำแหน่งที่เหมาะสำหรับการเก็บตัวอย่างน้ำยางมาวิเคราะห์

ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณเนื้อยางแห้งกับปริมาณธาตุอาหารและองค์ประกอบทางชีวเคมีในน้ำยาง ศึกษาในยางพาราก่อนเปิดกรีด และหลังเปิดกรีด พบว่าในช่วงก่อนเปิดกรีดและช่วงที่พักกรีด เนื้อยางแห้งจะมีสัมพันธ์เชิงบวกกับอนินทรีย์ฟอสฟอรัส แต่จะมีความสัมพันธ์เชิงลบกับ แอมโมเนียม โพแทสเซียม แคลเซียม และแมกนีเซียม ซึ่งอาจเกิดจากยางพารานำธาตุอาหารพืชไปพัฒนาการเจริญเติบโต และช่วงที่มีการกรีดถี่เนื้อยางแห้งจะมีความสัมพันธ์เชิงลบกับอนินทรีย์ฟอสฟอรัส และไทออล ชี้ให้เห็นว่า การกรีดถี่จะกระตุ้นให้มีอนินทรีย์ฟอสฟอรัส และไทออลเพิ่มสูงขึ้น แต่ปริมาณเนื้อยางจะลดต่ำลง

วิธีการหาปริมาณเนื้อยางแห้งแต่ละวิธีมีความเหมาะสมแตกต่างกันออกไป วิธีอบด้วยเครื่องไมโครเวฟเหมาะสำหรับการซื้อขายน้ำยางเนื่องจากสะดวกและรวดเร็ว ส่วนวิธีการการตกตะกอนด้วย TCA นอกจากจะให้ค่าเนื้อยางแห้งที่ไม่แตกต่างกับวิธีมาตรฐานในห้องปฏิบัติการแล้ว ยังสามารถนำส่วนของซีรัมที่ได้จากการตกตะกอนมาทำการหาปริมาณธาตุอาหารและองค์ประกอบทางชีวเคมีได้อีกด้วย สำหรับการเก็บตัวอย่างน้ำยางเพื่อทำการวิเคราะห์ ควรทำการเก็บที่บริเวณกึ่งกลางใต้รอยกรีด 5 เซนติเมตร เนื่องจากตำแหน่งดังกล่าวสะท้อนถึงพารามิเตอร์ที่เกี่ยวข้องกระบวนการสร้างน้ำยางได้ดี และควรเก็บตัวอย่างน้ำยางในช่วงเดือนตุลาคมถึงธันวาคม เนื่องจากในช่วงเวลาดังกล่าวปริมาณธาตุอาหารและองค์ประกอบทางชีวเคมีในน้ำยางจะมีการแปรปรวนต่ำ ดังนั้น การวิเคราะห์องค์ประกอบทางชีวเคมีและปริมาณธาตุอาหารในน้ำยางจึงน่าจะเป็นแนวทางหนึ่งที่สะดวก และสามารถนำไปใช้ในการประเมินสถานะและจัดการธาตุอาหาร รวมทั้งปรับระบบกรีดให้มีความเหมาะสมกับยางพารา

Thesis Title Change of Plant Nutrients and Bio-chemical Compositions in Rubber Latex During the year and their Relations to Dry Rubber Content
Author Mr. Nuttapong Srisombut
Major Program Soil Resources Management
Academic Year 2013

ABSTRACT

Rubber latex is the main yield of rubber trees. The amount of dry rubber content (DRC) is used to determine the price in rubber latex trading. In addition, the amount of rubber latex and DRC have been associated with many factors. The objectives of this study were to 1) study the position and suitable period to collect samples for analysis of biochemical compositions and plant nutrients in latex, and 2) to calculate the correlation between DRC and biochemical compositions and plant nutrients in latex and the appropriate method for DRC determination. This study consisted of 4 experiments, as follows.

Comparison of methods of dry rubber content determination. This study investigated DRC derived by 4 methods: 1) Laboratory method (actual DRC) 2) Trichloroacetic acid method (TCA) 3) Microwave method and 4) Oven method. The results showed that DRC using the 4 methods had high positively correlations. DRC derived by using the Microwave method was lower than that of the Laboratory method. However, there was high positive correlation between DRC determined by Laboratory and Microwave methods ($r = 0.999$). In the research that determined the biochemical composition in latex by precipitation with TCA can use this method for determining DRC instead of Laboratory method because DRC by the TCA method was not significantly different from the Laboratory method. Moreover, the TCA method used less latex than the Laboratory method and was more convenient.

Seasonal change of plant nutrients and biochemical compositions in latex, and plant nutrients in rubber leaves. This study investigated changes of plant nutrients and biochemical compositions in latex and plant nutrients in rubber leaves in a

rubber plot with mixed fertilizer applied (29-5-18 at the rate of 1 kg/tree/year) and no fertilizer. The results showed that changes of plant nutrients and biochemical compositions in latex and plant nutrients in rubber leaves in the fertilized and unfertilized rubber plots were consistent. Phosphorus (P) and potassium (K) in the rubber leaves and inorganic phosphorus (Pi) and K in latex had similar patterns of change. Fertilizer application increased latex yield. Most nutrients latex tended to increase because of fertilizer application. Plant nutrients and biochemical compositions in latex had a low variation during October to December, thus this period was suitable to collect latex samples for analysis.

Plant nutrients and biochemical compositions in latex collected from different positions. This study investigated the comparisons of plant nutrients and biochemical compositions in latex collected at 5 cm below the middle tapping cut and 170 cm above ground. The results showed that the positions of latex collecting slightly influenced the concentrations of latex nutrients. However, the position highly affected biochemical compositions in latex. The position at 5 cm below the middle tapping cut reflected higher activity of rubber synthesis than the others. In such a position there were low values of sucrose, Thiol (R-SH) and Pi but a high total solid content (TSC), and this position was used to collect latex samples for biochemical composition analysis. Thus, the position at 5 cm below the middle tapping cut is an appropriate position to collect latex samples for analysis.

Correlation between dry rubber content and biochemical compositions and plant nutrients in rubber latex. This study investigated on immature and mature rubber trees. The results showed that DRC in immature rubber trees and the rest period of immature trees negatively correlated with latex ammonium, potassium, calcium and magnesium, possibly caused by translocation of plant nutrients to growing organs for development of rubber trees. The DRC of high frequency tapping trees showed negative correlations with Pi and R-SH. It indicated that high frequency tapping increased Pi and R-SH but decreased DRC.

Methods of measuring DRC are specific to the particular purpose. The microwave method is practical in latex trading because this method can be done quickly and easily. DRC from the TCA method is not different from DRC from the laboratory method and the serum derived from precipitation by TCA can also lead to analysis of plant nutrients and biochemical compositions as well. Latex sampling for analysis should be performed at the position of 5 cm below the middle tapping cut due to this position indicating parameters for rubber synthesis as well. Latex sampling should be collected during October to December because plant nutrients and biochemical compositions in latex in this period showed low variations. Thus, analysis of plant nutrients and biochemical compositions in latex would be convenient to evaluate for the nutrient status to be managed, as well as suitable tapping systems for rubber trees to be adjusted.

กิตติกรรมประกาศ

ผู้เขียนขอขอบพระคุณรองศาสตราจารย์ ดร.จำเป็น อ่อนทอง ประธานกรรมการที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์เป็นอย่างสูงที่ได้กรุณาเสียสละเวลา ให้ความช่วยเหลือและสนับสนุนในการทำวิทยานิพนธ์ตั้งแต่เริ่มต้น ด้วยการให้คำปรึกษา คำแนะนำ ให้กำลังใจและข้อคิดในด้านต่างๆ ตลอดจนช่วยตรวจสอบ และแก้ไข จนทำให้วิทยานิพนธ์ฉบับนี้มีความสมบูรณ์และสำเร็จลุล่วงได้ดี

ขอขอบพระคุณประธานกรรมการสอบวิทยานิพนธ์ กรรมการสอบวิทยานิพนธ์ที่กรุณาให้คำปรึกษาและแก้ไขข้อบกพร่องในด้านการเขียนวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ให้มีความสมบูรณ์มากยิ่งขึ้น

ขอขอบพระคุณคณาจารย์ภาควิชาธรณีศาสตร์ทุกท่านที่ได้ประสิทธิ์ประสาทความรู้ และวิชาการด้านต่างๆ ขอขอบคุณเจ้าหน้าที่ภาควิชาธรณีศาสตร์ทุกท่านที่ให้คำแนะนำและความช่วยเหลือ ขอขอบคุณพี่ๆ เจ้าหน้าที่ประจำสถานีวิจัยเทพา และเจ้าของสวนยางพาราที่ได้เอื้อเฟื้อสวนยางพาราสำหรับทำการศึกษาในครั้งนี้ และขอขอบคุณพี่ๆ เพื่อนๆ น้องๆ ภาควิชาธรณีศาสตร์ทุกคนที่คอยให้กำลังใจ และให้ความช่วยเหลือในการทำวิทยานิพนธ์

สุดท้ายนี้ผู้เขียนขอขอบพระคุณ คุณพ่อธงชัย และคุณแม่หทัยรัตน์ ศรีสมบัติ ผู้ให้ชีวิต สนับสนุนให้มีโอกาสทางการศึกษา และเป็นผู้ให้กำลังใจจนเป็นแรงผลักดันให้มีความอดทน และความมุมานะจนสามารถทำวิทยานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จลุล่วงได้ด้วยดี

ณัฐพงศ์ ศรีสมบัติ

สารบัญ

หน้า

สารบัญ (11)
รายการตาราง (12)
รายการรูป (13)

บทที่

1. บทนำ

บทนำต้นเรื่อง 1
การตรวจเอกสาร 3
วัตถุประสงค์ของการวิจัย 20

2. วัสดุ อุปกรณ์ และวิธีการ

วัสดุและสารเคมี 21
อุปกรณ์ 22
วิธีการทดลอง 23
3. ผลการทดลอง 32
4. วิจารณ์ผลการทดลอง 64
5. สรุปและข้อเสนอแนะ 82
เอกสารอ้างอิง 85
ประวัติผู้เขียน 95

รายการตาราง

ตารางที่ **หน้า**

3.1 สัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ระหว่างปริมาณเนื้อยางแห้งที่ได้จากทั้ง 4 วิธี 33
3.2 สมบัติของดินก่อนการทดลอง 35
3.3 สมบัติของดินหลังสิ้นสุดการทดลอง 35
3.4 อิทธิพลทางตรงและทางอ้อมขององค์ประกอบทางชีวเคมีและธาตุอาหารพืชต่อปริมาณเนื้อยางแห้งในน้ำยางพาราในยางก่อนเปิดกรีด (กันยายน พ.ศ. 2554) 62
3.5 อิทธิพลทางตรงและทางอ้อมขององค์ประกอบทางชีวเคมีและธาตุอาหารพืชต่อปริมาณเนื้อยางแห้งในน้ำยางพาราในยางก่อนเปิดกรีด (พฤษภาคม พ.ศ. 2555) 62
3.6 อิทธิพลทางตรงและทางอ้อมขององค์ประกอบทางชีวเคมีและธาตุอาหารพืชต่อปริมาณเนื้อยางแห้งในน้ำยางพาราในยางหลังเปิดกรีด (กันยายน พ.ศ. 2554) 63
3.7 อิทธิพลทางตรงและทางอ้อมขององค์ประกอบทางชีวเคมีและธาตุอาหารพืชต่อปริมาณเนื้อยางแห้งในน้ำยางพาราในยางหลังเปิดกรีด (พฤษภาคม พ.ศ. 2555) 63

รายการรูป

รูปที่ หน้า

1.1 กระบวนการเคลื่อนย้ายน้ำตาลซูโครสเข้าสู่ท่อน้ำยาง และการสร้างน้ำยาง 6
1.2 กระบวนการสร้างยางในต้นยางพารา 7
1.3 การเชื่อมตัวของอนุภาคยางแบบ cis เป็น cis-polyisoprene 7
2.1 แสดงแผนผังการเก็บตัวอย่างต้นยางที่ศึกษาข้อมูล 25
3.1 ปริมาณเนื้อยางแห้งที่ได้จากวิธีมาตรฐานในห้องปฏิบัติการ 33
3.2 ปริมาณน้ำฝน อุณหภูมิเฉลี่ยรายเดือน และการดูแลรักษาสวนยางพาราในระหว่างทำการทดลอง 34
3.3 จำนวนวันฝนตกและวันกรีดยางในระหว่างทำการทดลอง 34
3.4 การเปลี่ยนแปลงของปริมาณผลผลิตน้ำยางสดต่อต้นต่อครั้งกรีด 36
3.5 การเปลี่ยนแปลงของปริมาณผลผลิตน้ำยางสดต่อต้นต่อเดือน 37
3.6 การเปลี่ยนแปลงของปริมาณของแข็งทั้งหมดในน้ำยาง 38
3.7 การเปลี่ยนแปลงของความเข้มข้นของน้ำตาลซูโครสในน้ำยาง 39
3.8 การเปลี่ยนแปลงของความเข้มข้นของอนินทรีย์ฟอสฟอรัสในน้ำยาง 40
3.9 การเปลี่ยนแปลงของความเข้มข้นของไทออลในน้ำยาง 41
3.10 การเปลี่ยนแปลงของความเข้มข้นของแอมโมเนียมในน้ำยาง 42
3.11 การเปลี่ยนแปลงของความเข้มข้นของไนเทรตในน้ำยาง 43
3.12 การเปลี่ยนแปลงของความเข้มข้นของโพแทสเซียมในน้ำยาง 44
3.13 การเปลี่ยนแปลงของความเข้มข้นของแคลเซียมในน้ำยาง 45
3.14 การเปลี่ยนแปลงของความเข้มข้นของแมกนีเซียมในน้ำยาง 46
3.15 การเปลี่ยนแปลงของความเข้มข้นของไนโตรเจนทั้งหมดในใบยาง 47
3.16 การเปลี่ยนแปลงของความเข้มข้นของฟอสฟอรัสทั้งหมดในใบยาง 48
3.17 การเปลี่ยนแปลงของความเข้มข้นของโพแทสเซียมทั้งหมดในใบยาง 49
3.18 การเปลี่ยนแปลงของความเข้มข้นของแคลเซียมทั้งหมดในใบยาง 50
3.19 การเปลี่ยนแปลงของความเข้มข้นของแมกนีเซียมทั้งหมดในใบยาง 51
3.20 การเปลี่ยนแปลงของความเข้มข้นของคาร์โบไฮเดรตในใบยาง 52
3.21 ปริมาณของแข็งทั้งหมดในน้ำยาง 53
3.22 ความเข้มข้นของซูโครสในน้ำยาง 54
3.23 ความเข้มข้นของอนินทรีย์ฟอสฟอรัสในน้ำยาง 55
3.24 ความเข้มข้นของไทออลในน้ำยาง 56

รายการรูป (ต่อ)

รูปที่		หน้า
3.25	ความเข้มข้นของแอมโมเนียมในน้ำยาง	57
3.26	ความเข้มข้นของไนเทรตในน้ำยาง	58
3.27	ความเข้มข้นของโพแทสเซียมในน้ำยาง	59
3.28	ความเข้มข้นของแคลเซียมในน้ำยาง	60
3.29	ความเข้มข้นของแมกนีเซียมในน้ำยาง	61
4.1	ความสัมพันธ์ของเนื้อยางแห้งที่ได้จากวิธีมาตรฐานในห้องปฏิบัติการ และวิธีอบด้วยเครื่องไมโครเวฟ	66

บทที่ 1

บทนำ

1. บทนำต้นเรื่อง

ยางพาราเป็นพืชเศรษฐกิจที่สำคัญของไทย ในปัจจุบันมีพื้นที่ปลูก 16.89 ล้านไร่ของประเทศ (สถาบันวิจัยยาง, 2553) วัตถุประสงค์หลักของการปลูกยาง คือ ต้องการน้ำยางซึ่งเป็นส่วนของไซโตพลาสซึม (cytoplasm) ที่อยู่ภายในเซลล์พาเรนไคมา (parenchyma) มาใช้ประโยชน์ เมื่อเซลล์น้ำยางเชื่อมต่อกันหลายเซลล์ เรียกว่า ท่อน้ำยาง ซึ่งเป็นแหล่งในการสร้างน้ำยางจากน้ำตาลซูโครสที่ได้จากการสังเคราะห์ด้วยแสงในใบยาง เมื่อซูโครสเคลื่อนย้ายเข้าสู่โฟลเอม (phloem) และเข้าสู่ท่อน้ำยางจะเกิดกระบวนการไกลโคไลซิส (glycolysis) ทำให้ซูโครสกลายเป็นอะซิทิลโคเอ (Acetyl-CoA) ที่มีคาร์บอน 2 อะตอม ซึ่งอะซิทิลโคเอจะเปลี่ยนไปเป็นกรดเมวาโลนิค (mevalonic acid : MVA) และเมื่อ MVA รวมตัวกับฟอสฟอรัสได้เป็นกรดเมวาโลนิคไพโรฟอสเฟต (MVA pyrophosphate) และกลายเป็นไอโซเพนทีนิลไพโรฟอสเฟต (isopentenyl pyrophosphate) และเป็นไดเมทิลอัลลิลไพโรฟอสเฟต (dimethylallyl pyrophosphate) ซึ่งสุดท้ายจะกลายเป็นเนื้อยาง

น้ำยางประกอบด้วย 2 ส่วน คือ ส่วนที่เป็นเนื้อยาง โดยปกติเนื้อยางจะมีอยู่ประมาณ 35 เปอร์เซ็นต์ และส่วนที่ไม่ใช่เนื้อยางประมาณ 65 เปอร์เซ็นต์ ปริมาณน้ำยางที่ได้รับจะขึ้นอยู่กับปัจจัยต่างๆ ได้แก่ พันธุ์ยาง สภาพแวดล้อมของพื้นที่ปลูก ระบบกรีดการใช้ปุ๋ย ฤดูกาล การใช้สารเร่งน้ำยาง และอายุของยางพารา เป็นต้น (สถาบันวิจัยยาง, 2553 ; สายัณห์ และคณะ, 2553) นอกจากนี้ยังมีปัจจัยที่สำคัญอีก คือ ปัจจัยด้านองค์ประกอบทางชีวเคมี และปัจจัยด้านธาตุอาหาร ปัจจัยด้านองค์ประกอบทางชีวเคมีจะประกอบด้วย ซูโครส ปริมาณของแข็งทั้งหมด อนินทรีย์ฟอสฟอรัส และไทออล โดยซูโครสจะเป็นสารตั้งต้นในการสร้างน้ำยางหากมีระดับของซูโครสต่ำอาจจะส่งผลทำให้ผลผลิตยางลดต่ำลงได้ (Dibi *et al.*, 2010) ไทออลจะเป็นสารที่ทำปฏิกิริยากับสารพิษกลุ่มออกซิเจนที่เป็นพิษจึงช่วยป้องกันเยื่อหุ้มส่วนต่างๆ ของเซลล์ท่อน้ำยางซึ่งเป็นส่วนที่เกิดการสร้างน้ำยาง (Jacob *et al.*, 2000) อนินทรีย์ฟอสฟอรัสจะสะท้อนถึงระดับพลังงานในกระบวนการเมทาบอลิซึมซึ่งสำคัญต่อการสร้างเนื้อยางหากมีอนินทรีย์ฟอสฟอรัสมากในน้ำยางก็จะแสดงถึงการสร้างเนื้อยางได้สูง (พิศมัย , 2543) และของแข็งทั้งหมดในน้ำยาง หากมีน้อยเกินไปเมื่อนำน้ำยางไปขายก็จะได้ราคาต่ำ แต่หากมีมากเกินไปก็จะทำให้น้ำยางหนืดและหยุดไหลเร็วทำให้ได้ผลผลิตที่ต่ำ (พิศมัย, 2543 ;

Jacob *et al.*, 2000) ปริมาณของแข็งทั้งหมดมีความสัมพันธ์เชิงบวกกับเนื้อยางแห้ง โดยประมาณ 90 เปอร์เซ็นต์ของของแข็งทั้งหมดเป็นส่วนของเนื้อยางแห้ง ในปัจจุบันเนื้อยางแห้งเป็นปัจจัยสำคัญในการซื้อขายน้ำยาง วิธีที่ใช้ในการหาเนื้อยางแห้งเพื่อใช้ในการซื้อขายคือ วิธีเมโทรแลค หรือไฮโดรมิเตอร์ (พรพรรณ, 2529) แต่ในปัจจุบันจะใช้วิธีอบด้วยเครื่องไมโครเวฟซึ่งเป็นวิธีที่ง่ายและสะดวกกว่าวิธีเหล่านี้จะใช้ในการซื้อขายในพ่อค้ารายย่อย (นุชนาฏ, 2553) แต่หากเป็นการซื้อขายในระดับโรงงานจะใช้วิธีการวัดโดยวิธีมาตรฐานในห้องปฏิบัติการ (พรพรรณ, 2529 ; Jabatan *et al.*, 1982) จะเป็นการวัดค่าเนื้อยางแห้งที่แท้จริงในน้ำยาง นอกจากนี้ยังมีการใช้วิธีการวัดโดยใช้การตกตะกอนด้วยกรดไตรคลอโรอะซิติก (Trichloroaceticacid : TCA) (พเยาว์ และคณะ, 2546) และการอบด้วยตู้อบ (Sumahin *et al.*, 2009) ซึ่งเป็นวิธีการวัดส่วนของเนื้อยางและใช้ทั่วไปในงานวิจัย (พเยาว์ และคณะ, 2546 ; Sumahin *et al.*, 2009)

ธาตุอาหารพืชมีความสำคัญต่อการให้ผลผลิตน้ำยางพารา ได้มีการรายงานว่า เมื่อใส่ปุ๋ยไนโตรเจน ฟอสฟอรัส โพแทสเซียม และแมกนีเซียมส่งผลให้ปริมาณน้ำยางเพิ่มขึ้นเมื่อเปรียบเทียบกับแปลงที่ไม่มีการใส่ปุ๋ย (นุชนารถ และคณะ, 2537) โดยไนโตรเจนเป็นองค์ประกอบของกรดอะมิโน ซึ่งเป็นสารตั้งต้นของสารประกอบหลายชนิดรวมถึงคลอโรฟิลล์ด้วย จึงส่งผลถึงการสังเคราะห์ด้วยแสง และปริมาณซูโครสที่ได้จากการสังเคราะห์แสงเพื่อใช้ในสร้างน้ำยาง ฟอสฟอรัสเป็นองค์ประกอบของอะดีโนซีนไทรฟอสเฟต (ATP) เป็นพลังงานที่ใช้ในการสร้างน้ำยาง ส่วนโพแทสเซียมและแมกนีเซียมเกี่ยวข้องกับการกระตุ้นการทำงานของเอนไซม์ต่างๆ โดยเฉพาะอะดีโนซีนไทรฟอสฟาเทส (ATPase) จะเกี่ยวข้องกับการเคลื่อนย้ายซูโครสเข้าสู่เซลล์ท่อน้ำยางและการสังเคราะห์ยาง อีกทั้งโพแทสเซียมยังส่งผลถึงการไหลของน้ำยางเนื่องจากมีบทบาทส่งเสริมการเคลื่อนย้ายภายในเซลล์ ขณะที่แมกนีเซียมเป็นองค์ประกอบของคลอโรฟิลล์จึงส่งผลถึงการสังเคราะห์แสงด้วย แต่ถ้าหากได้รับธาตุบางชนิดมากเกินไปอาจจะก่อให้เกิดความไม่สมดุลของธาตุอาหารได้ เช่น หากต้นยางพาราได้รับปุ๋ยโพแทสเซียมคลอไรด์มากจะส่งผลให้ลดระดับของแมกนีเซียมในน้ำยาง (Waston, 1989) หรือหากได้รับแมกนีเซียมมากเกินไปก็จะมีปัญหาในเรื่องการตกตะกอนของน้ำยางที่เร็วกว่ากำหนด เนื่องจากแมกนีเซียมจะไปทำปฏิกิริยากับไดไฮโดรเจนฟอสเฟตในน้ำยางได้เป็นแมกนีเซียมไดไฮโดรเจนฟอสเฟต (นุชนารถ, 2542) อย่างไรก็ตามการใส่ปุ๋ยให้เหมาะสมต่อความต้องการของต้นยางพาราจะส่งผลให้ต้นยางพาราเจริญเติบโตสมบูรณ์ และมีความพร้อมในการเปิดกรีดได้เร็วขึ้น (สิทธิชัย และคณะ, 2556)

ดังนั้นธาตุอาหารพืชและองค์ประกอบทางชีวเคมีในน้ำยางจึงอาจเป็นตัวชี้วัดถึงศักยภาพในการให้ผลผลิต และความสมบูรณ์ของต้นยางพาราที่เกี่ยวข้องกับการจัดการดินและปุ๋ย และสัมพันธ์กับค่าเนื้อยางแห้ง การศึกษาการเปลี่ยนแปลงของธาตุอาหาร และองค์ประกอบ

ทางชีวเคมีในรอบปี และความสัมพันธ์กับปริมาณเนื้อยางแห้งในน้ำยางพารา จะสามารถทำให้ทราบถึงช่วงเวลาที่เหมาะสมต่อการเก็บตัวอย่างน้ำยาง เพื่อมาประเมินสถานะของธาตุอาหารในต้นยาง และปัจจัยที่ส่งผลต่อปริมาณเนื้อยางแห้งในน้ำยางพาราได้

2. การตรวจเอกสาร

2.1 ประวัติยางพารา

ยางพารามีถิ่นกำเนิดในทวีปอเมริกาใต้แถบลุ่มน้ำอเมซอนของประเทศบราซิลในปี พ.ศ. 2036 คริสโตเฟอร์ โคลัมบัส สำรวจทวีปอเมริกาครั้งที่ 2 ได้พบชาวพื้นเมืองของเกาะไฮติกำลังเล่นลูกบอลยาง นับเป็นครั้งแรกที่ชาวยุโรปได้เห็นและเริ่มรู้จักยางพารา จนกระทั่งหลายร้อยปีต่อมามีการนำยางพารามาใช้ประโยชน์มากขึ้นจนไม่พอกับความต้องการชาวยุโรปจึงหาทางนำยางไปปลูกในแหล่งใหม่ที่ต่างจากอเมริกาใต้ซึ่งเป็นแหล่งผลิตยางเดิม ในปี พ.ศ. 2419 เซอร์ เฮนรี วิคแฮม ชาวอังกฤษ ได้นำเมล็ดยางพาราจากประเทศบราซิลและเปรู ไปปลูกที่ประเทศศรีลังกา และสิงคโปร์ หลังจากนั้นในปี พ.ศ. 2420 จึงส่งต้นกล้าที่โตแล้วจากประเทศศรีลังการไปปลูกที่สวนพฤกษชาติประเทศสิงคโปร์ และรัฐเปรัค ประเทศมาเลเซีย และกลายเป็นพ่อพันธุ์-แม่พันธุ์ที่ปลูกกันในแถบเอเชีย ได้แก่ ประเทศไทย อินโดนีเซีย และมาเลเซีย ซึ่งเป็นแหล่งผลิตยางธรรมชาติที่ใหญ่ที่สุดของโลกในปัจจุบัน (องค์การสวนยาง, 2555)

ยางพาราเป็นพืชอุตสาหกรรมที่สำคัญของประเทศไทย เริ่มนำเข้ามาปลูกในประเทศไทยโดยมาพระยารัษฎานุประดิษฐ์มหิศรภักดี (คอซิมบี้ ณ ระนอง) ได้นำยางจากประเทศมาเลเซีย มาปลูกที่อำเภอกันตัง จังหวัดตรัง ในปี พ.ศ. 2443 ต่อมาในปี พ.ศ. 2451 หลวงราชไมตรี (ปูม ปุณศรี) ได้นำยางพาราไปปลูกครั้งแรกในภาคตะวันออกที่จังหวัดจันทบุรี หลังจากนั้นมีผู้นำยางพาราไปปลูกกระจายทั่วทุกภาคของประเทศไทย ในภูมิภาคอาเซียนประเทศไทยเป็นผู้ผลผลิตและส่งออกยางเป็นอันดับหนึ่งของโลก ในปี พ.ศ. 2552 ไทยมีมูลค่าการส่งออกยางดิบ ผลิตภัณฑ์ยาง รวมทั้งอุตสาหกรรมผลิตภัณฑ์ไม้ยางพาราคิดเป็น 402,563 ล้านบาท มูลค่านี้ได้จากน้ำหนักยางธรรมชาติ 2,726,193 ตัน ปัจจุบันประเทศไทยมีพื้นที่ปลูกยาง 18.76 ล้านไร่ (สำนักงานเศรษฐกิจการเกษตร, 2555) การขยายพื้นที่ปลูกยางที่เพิ่มขึ้นทำให้มีการส่งเสริมการปลูกยางตามหลักวิชาการเพิ่มมากขึ้น เพื่อให้พื้นที่ปลูกยางสามารถให้ผลผลิตที่สูง

2.2 พฤกษศาสตร์ยางพารา

ยางพารามีชื่อวิทยาศาสตร์ว่า *Hevea brasiliensis* Muell. Arg. จัดอยู่ในวงศ์ Euphorbiaceae ยางพาราเป็นไม้ยืนต้นมีระบบรากแก้ว (tap root system) ขนาดใหญ่ และ

หยั่งลึกไปในดินได้ถึง 2-5 เมตร เมื่อเจริญเต็มที่ นอกจากนั้นส่วนของลำต้นยางพาราหากเจริญมาจากต้นกล้ายางพาราที่เกิดจากการติดตาลักษณะลำต้นที่ได้จะเป็นรูปทรงกระบอก โดยส่วนลำต้น และส่วนปลายลำต้นจะมีขนาดที่ใกล้เคียงกัน แต่หากเป็นต้นที่เกิดจากการเพาะด้วยเมล็ดลักษณะลำต้นที่ได้จะเป็นลักษณะของรูปกรวย โดยส่วนของลำต้นจะมีขนาดใหญ่ แล้วค่อยๆ เล็กลงตามความสูงของลำต้น ส่วนประกอบที่สำคัญของลำต้น คือ เปลือก ซึ่งแบ่งออกได้เป็น 2 ชั้น คือ เปลือกชั้นใน (soft bark) และเปลือกชั้นนอก (hard bark) ในเปลือกชั้นในมีท่อน้ำยางเรียงตัวอยู่ มีลักษณะเป็นร่างแห และเรียงตัวรอบลำต้น โดยเอียงตัวไปทางขวาจากแนวดิ่งเล็กน้อยประมาณ 2.1-2.7 องศา แต่ในบางพันธุ์ท่อน้ำยางอาจเอียงตัวไปทางซ้ายจากแนวดิ่งประมาณ 3.2-3.8 องศา (พิศมัย, 2551) ซึ่งมีเพียงส่วนน้อยที่มีลักษณะเช่นนี้ ดังนั้นจึงต้องกรีดยางจากซ้ายไปขวาในแนวเฉียงเพื่อให้ตัดท่อน้ำยางมากที่สุด โดยต้องกรีดให้ลึกถึงบริเวณเปลือกชั้นในเพื่อตัดท่อน้ำยางที่เรียงตัวอยู่บริเวณรอบลำต้น

เปลือกชั้นนอกซึ่งอยู่ถัดจากเปลือกชั้นในสุดออกมาทางด้านนอก เป็นชั้นของเยื่อเจริญที่สร้างขึ้น เมื่อกรีดต้นยาง ท่อน้ำยางจะเปิดออก และมีน้ำยางไหลออกมา ปกติแล้วจำนวนวงของท่อน้ำยางจะเพิ่มขึ้นตามระดับอายุของต้นยาง โดยเฉลี่ยจะเพิ่มประมาณ 1.74-3.14 วงต่อปี (พิศมัย, 2551) แต่จะไม่เป็นจำนวนสะสม เพราะท่อน้ำยางที่สร้างขึ้นก่อนจะถูกดันร่นออกไปด้านนอกเรื่อยๆ และจะกลายเป็นท่อน้ำยางที่ไม่สมบูรณ์อยู่ในเปลือกชั้นนอก นอกจากนั้นความหนาของเปลือกชั้นใน และจำนวนวงท่อน้ำยางยังขึ้นอยู่กับปริมาณน้ำฝน หากมีปริมาณน้ำฝนต่ำ พบว่า ท่อน้ำยางที่สร้างขึ้นจะมีปริมาณที่น้อยกว่าต้นยางที่ปลูกในเขตปลูกยางที่มีปริมาณฝนเฉลี่ยมากกว่า 1,500 มิลลิเมตรต่อปี (สถาบันวิจัยยาง, 2550)

ใบยางพาราเป็นใบประกอบ (compound leaf) ในรอบปีต้นยางจะมีการผลัดใบเพื่อทำการสะสมอาหารในช่วงประมาณ เดือนกุมภาพันธ์ถึงมีนาคม ของทุกปี หลังจากนั้นก็จะมีการผลิใบอ่อนออกมาใหม่ นอกจากนั้นยางพารายังมีช่อดอก ภายในช่อดอกประกอบด้วยเกสรดอกตัวผู้ และดอกตัวเมีย โดยเกสรดอกตัวเมียมีขนาดใหญ่กว่าดอกตัวผู้ และตั้งอยู่ปลายสุดของช่อดอก หากดอกตัวเมียได้รับการผสม รังไข่จะพัฒนาไปเป็นผลภายในเวลา 3 เดือน ผลยางพาราเมื่อโตเต็มที่จะมีขนาดใหญ่และแน่น มีเส้นผ่านศูนย์กลางประมาณ 3-5 เซนติเมตร ผลประกอบด้วย 3 พู (lobe) แต่ละพูมี 1 เมล็ด เมื่อสุกเต็มที่ผลชั้นในจะแตกออกทำให้เมล็ดเกิดการร่วงหล่นสู่ดิน ซึ่งสามารถงอก และเจริญเติบโตเป็นต้นยางพาราได้หากมีสภาพแวดล้อมเหมาะสม

2.3 น้ำยางพารา

2.3.1 น้ำยาง มีลักษณะเป็นของเหลวสีขาวขุ่นคล้ายน้ำนม เป็นผลผลิตที่ได้จากการกรีดต้นยางพารา น้ำยางเป็นส่วนของไซโตพลาสซึมอยู่ภายในเซลล์ พาเรนไคมาที่รวมตัวกันหลายเซลล์เรียกว่าท่อน้ำยาง (lacticifer) โดยท่อน้ำยางเกิดจากการแบ่งตัวของเยื่อเจริญ โดย

ที่กลุ่มเซลล์ชนิดเดียวกันมาเชื่อมต่อกันแล้วผนังเซลล์ส่วนท้าย และส่วนหัวแล้วแตกสาขาออก และยังเชื่อมต่อกับเซลล์ชนิดเดียวกันที่อยู่ข้างเคียง ซึ่งการเชื่อมต่อนี้ผนังเซลล์ด้านข้างจะเกิดเป็นช่องเปิดติดต่อกันได้ทำให้มีลักษณะคล้ายร่างแห (articulated nastomo singlaticifer) ท่อน้ำยางจะอยู่ในส่วนของเปลือกทั่วลำต้น โดยจะเรียงตัวเวียนรอบจากบนขวามาล่างซ้าย ซึ่งจะสามารถพบได้มากที่สุดในเปลือกชั้นใน ในน้ำยางประกอบด้วยอนุภาคหลายชนิดแขวนลอยรวมกันอยู่ภายใน น้ำยางแบ่งออกเป็น 2 ส่วนด้วยกัน โดยส่วนแรกจะเป็นอนุภาคยาง และส่วนที่ 2 จะเป็นส่วนของของเหลวที่เรียกว่า ซีรัม (serum) รวมถึงส่วนของอนุภาคอื่นๆ (non-rubber particle) เมื่อนำน้ำยางมาปั่นด้วยเครื่องปั่นความเร็วสูง และย้อมสีจะสามารถแยกอนุภาคหลักๆ ภายในน้ำยางได้ 3 ชนิด (พิศมัย, 2551 ; วราภรณ์, 2524) ได้แก่

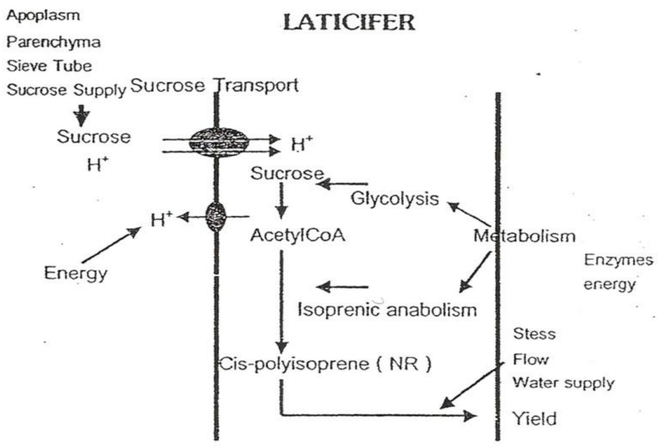
2.3.1.1 อนุภาคยาง (rubber particle) มีอยู่ประมาณ 30-45 เปอร์เซ็นต์ ของอนุภาคทั้งหมด ส่วนใหญ่มีรูปร่างกลม มีขนาดอนุภาคอยู่ระหว่าง 0.005–7 ไมโครเมตร ซึ่งโดยทั่วไปจะมีขนาด 5-6 ไมโครเมตร (เสาวนีย์, 2541) ผนังเซลล์ของอนุภาคยางประกอบด้วยสารกลุ่มโปรตีน ได้แก่ แอลฟา กลูบูลิน (α-globulin) ฟอสโฟไลปิด (phospholipid) และไขมัน ได้แก่ คาโรทินอยด์ (carotenoids) สเตอโรลเอสเตอร์ (sterol ester) สเตอโรล (sterol) เป็นต้น มีประจุเป็นลบ ทำให้สามารถแขวนลอยอยู่ในน้ำยางได้ (พิศมัย, 2543)

2.3.1.2 ลูทอยด์ (lutoid) ทำหน้าที่เหมือนแวคิวโอล (vacuole) มีอยู่ประมาณ 10-20 เปอร์เซ็นต์ ของอนุภาคทั้งหมด มีผนังหุ้มชั้นเดียว ผนังของลูทอยด์จะไวต่อการเปลี่ยนแปลงของระดับความเข้มข้นสารมาก มีรูปร่างกลม มีขนาดอนุภาคอยู่ระหว่าง 2-5 ไมโครเมตร ภายในมีของเหลวเรียกว่า B-serum ที่เกี่ยวข้องกับการหยุดไหลของน้ำยาง โดยลูทอยด์จะมีประจุเป็นลบ แต่ B-serum มีไอออนของโพแทสเซียม แคลเซียม แมกนีเซียม ฯลฯ ซึ่งมีประจุเป็นบวก (พิศมัย, 2543)

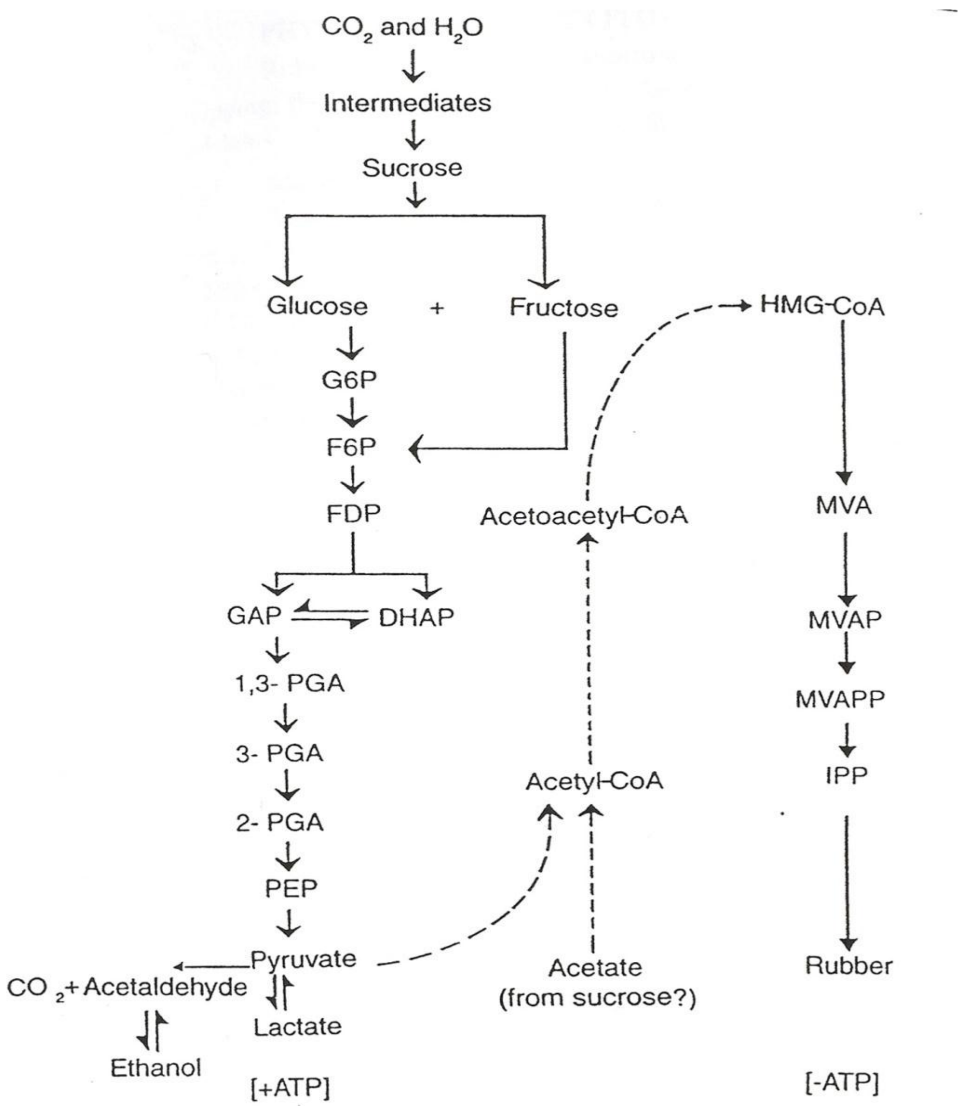
2.3.1.3 เฟรวิสลิง (Frey-Wyssling) มีอยู่ประมาณ 1-3 เปอร์เซ็นต์ มีรูปร่างกลม มีขนาดอนุภาคประมาณ 8 ไมโครเมตร ส่วนใหญ่ประกอบด้วยสารกลุ่มไลปิด (lipid) มีสีเหลือง สีน้ำตาล หรือสีส้มของคาโรทีนอยด์ มีโครงสร้างซับซ้อน ยังไม่ทราบหน้าที่ชัดเจน มีประจุเป็นลบ (พิศมัย, 2543)

อนุภาคยางประกอบด้วยสารประกอบไฮโดรคาร์บอนที่มีหน่วยย่อยๆ แต่ละหน่วยประกอบขึ้นด้วยธาตุคาร์บอน 5 อะตอม และไฮโดรเจน 8 อะตอม (C_5H_8) มีชื่อทางเคมีว่า ไอโซพรีน (isoprene) โดยโครงสร้างที่ประกอบขึ้นเป็น 1 โมเลกุลของยาง ประกอบด้วยหน่วยไอโซพรีนต่อกันแบบปลายต่อปลาย ประมาณ 500-5,000 หน่วย หรือมากกว่า จึงเรียกอนุภาคของยางว่า โพลีไอโซพรีน (polyisoprene) มีสมบัติที่สำคัญ คือ มีความยืดหยุ่น ซึ่งเกิดขึ้นเนื่องจากโครงสร้างโมเลกุลของยางเอง โดยหน่วยไอโซพรีนที่ต่อเนื่องกันเป็นหลายโมเลกุลยางไม่ได้ต่อเนื่องในลักษณะเส้นตรง แต่ต่อกันเป็นแบบขดลวด (coil long chain molecule)

2.3.2 กระบวนการสร้างน้ำยาง เกิดจากน้ำตาลซูโครส (sucrose) ที่ได้จากกระบวนการสังเคราะห์แสงในใบยาง เคลื่อนย้ายเข้าสู่โฟลเอม และถูกดึงนำไปใช้โดยจะเคลื่อนย้ายเข้าสู่ผนังเซลล์ของท่อน้ำยางแบบ อะโพพลาสต์ (apoplast) ซึ่งเป็นปฏิกิริยาการเหนี่ยวนำโปรตรอน (H^+ pump) โดยเอนไซม์ ATPase และได้รับพลังงานจาก ATP และรีดิวส์นิโคทินาไมด์อะดีนีนไดนิวคลีโอไทด์ฟอสเฟต (reduced nicotinamide adenine dinucleotide phosphate : NADPH) (รูปที่ 1.1) จากนั้นจะเข้าสู่กระบวนการสร้างยาง โดยจะแบ่งออกเป็น 3 ขั้นตอนหลัก (รูปที่1.2) คือ 1) กระบวนการไกลโคไลซีสเริ่มต้นจากน้ำตาลซูโครสถึงไพรูเวต (pyruvate) หรือการสร้าง อะซีทิลโคเอ 2) การเปลี่ยนจากอะซีทิลโคเอเป็นไอโซเพนทีนิลไพโรฟอสเฟต (isopentenyl pyrophosphate : IPP) โดยเกิดจากอะซีทิลโคเอจำนวน 2 โมเลกุลรวมตัวกันได้อะซีโทอะซีทิลโคเอแล้วรวมตัวกับอะซีทิลโคเออีก 1 โมเลกุล ได้เป็นเบทาไฮดรอกซิลเบทาเมธิลกลูทาริลโคเอ (ß-hydroxyl-ß-methylglutaryl-CoA : HMG-CoA) และเปลี่ยนเป็น MVA โดยอาศัย NADPH ซึ่ง MVA จะเปลี่ยนแปลงต่อไปเป็น IPP โดยอาศัย ATP และ 3) การสร้างเนื้อยางเป็นกระบวนการรวมกันของ IPP ซึ่งเป็นสารโมเลกุลเล็ก (monomer) เพื่อเกิดเป็นสารที่มีโมเลกุลใหญ่ (polymer) เรียกกระบวนการนี้ว่า โพลีเมอไรเซชัน (polymerization) โดยเริ่มจากการที่ IPP เกิดการเปลี่ยนแปลงโครงสร้าง (isomerization) ทำให้ได้ไดเมธิลอัลลิลไพโรฟอสเฟต (dimethylallyl pyrophosphate : DMPP) แล้ว IPP และ DMPP เกิดการเชื่อมต่อกันได้จีรานิลไพโรฟอสเฟต (geranyl pyrophosphate) ในกระบวนการนี้จะปลดปล่อยไพโรฟอสเฟต (pyrophosphate) ออกมาด้วย จากนั้นจีรานิลไพโรฟอสเฟตก็รวมตัวกับ IPP ทำให้เกิดการเชื่อมต่อเป็นสายยาวแบบ cis เรียกว่าโมเลกุลยาง (cis-polyisoprene) (รูปที่ 1.3) (พิศมัย, 2551 ; Nair, 2000)

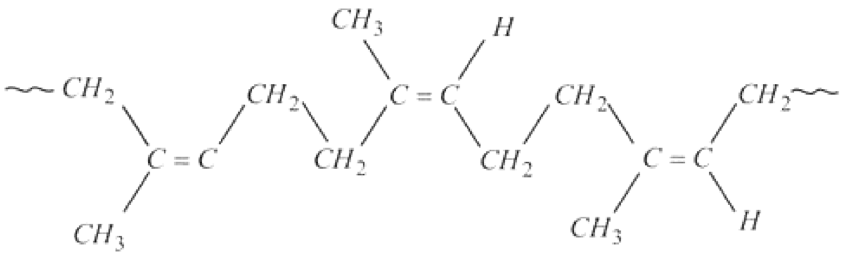

Apoplasm
Parenchyma
Sieve Tube
Sucrose Supply
LATICIFER
Sucrose Transport
Sucrose
H⁺
H⁺
Sucrose
Glycolysis
H⁺
AcetylCoA
Metabolism
Energy
Enzymes
energy
Isoprenic anabolism
Stess
Flow
Water supply
Cis-polyisoprene (NR)
Yield

รูปที่ 1.1 กระบวนการเคลื่อนย้ายน้ำตาลซูโครสเข้าสู่ท่อน้ำยาง และการสร้างน้ำยาง
ที่มา : พิศมัย (2551)


CO2 and H2O
Intermediates
Sucrose
Glucose
+
Fructose
G6P
F6P
FDP
GAP
DHAP
1,3- PGA
3- PGA
2- PGA
PEP
Pyruvate
CO 2+Acetaldehyde
Lactate
Ethanol
[+ATP]
HMG-CoA
Acetoacetyl-CoA
Acetyl-CoA
Acetate
(from sucrose?)
MVA
MVAP
MVAPP
IPP
Rubber
[-ATP]

รูปที่ 1.2 กระบวนการสร้างยางในต้นยางพารา

ที่มา : Nair (2000)


CH2
C = C
CH3
CH2
CH2
CH3
H
C = C
CH2
CH2
C = C
CH3
H
CH2

รูปที่ 1.3 การเชื่อมตัวของอนุภาคยางแบบ cis เป็น cis-polyisoprene

ที่มา : Geetika (2010)

2.4 การวิเคราะห์ธาตุอาหารพืชในใบยางพารา

การวิเคราะห์ธาตุอาหารพืชในใบเป็นวิธีที่นิยมใช้กันมากในพืชยืนต้น เนื่องจากใบพืชนอกจากจะเป็นแหล่งของกระบวนการสังเคราะห์แสง ยังเป็นแหล่งสะสมคาร์โบไฮเดรตและธาตุอาหารด้วย ใบพืชจึงเป็นแหล่งสำคัญในการสังเคราะห์สารประกอบที่จำเป็นต่อการเจริญเติบโตของพืช ดังนั้น ปริมาณธาตุอาหารที่สะสมอยู่ในส่วนของใบจึงมีความสัมพันธ์อย่างใกล้ชิดกับกับธาตุอาหารต่างๆ ในดินที่พืชดูดขึ้นนำไปใช้ได้

การวิเคราะห์ธาตุอาหารในใบยางเป็นหลักพิจารณาระดับความต้องการธาตุอาหารเพื่อให้ได้ผลผลิตสูง โดยนำค่าวิเคราะห์ธาตุอาหารในใบที่ได้ไปเปรียบเทียบกับตารางระดับวิกฤตของธาตุนั้นๆ ว่าอยู่ในระดับขาดแคลน เพียงพอ หรือสูงจนส่งผลเสียต่อการเจริญเติบโตของต้นยาง ระดับของธาตุอาหารที่วิเคราะห์ได้นั้นขึ้นอยู่กับปริมาณธาตุนั้นๆ ที่สะสมอยู่ในใบ ซึ่งจะเกี่ยวข้องกับพันธุ์ยาง อายุของใบ และตำแหน่งของใบที่นำมาวิเคราะห์จึงได้มีการศึกษาเพื่อหาตำแหน่ง และช่วงอายุของใบที่เหมาะสม เพื่อนำมาทำการวิเคราะห์ จากการศึกษาของลิขิต และคณะ (2515) ได้ทำการศึกษาวิธีการเก็บตัวอย่างของต้นยางที่เปิดกรีดแล้วเพื่อวิเคราะห์ธาตุอาหารสำหรับพิจารณาการใช้ปุ๋ย พบว่า ในช่วงอายุใบ 2-7.5 เดือน ปริมาณไนโตรเจน ฟอสฟอรัส โพแทสเซียมและแมกนีเซียมค่อยๆ ลดลงตามอายุใบที่เพิ่มขึ้น ส่วนปริมาณแคลเซียมและแมงกานีสจะค่อยๆ สูงเพิ่มขึ้นตลอดฤดูกาลที่เก็บใบ ช่วงอายุใบที่มีความแปรปรวนของค่าวิเคราะห์ธาตุอาหารอยู่ในระดับต่ำที่สุดจะอยู่ในช่วงอายุใบ 3.5-6.5 เดือน ซึ่งสอดคล้องกับการศึกษาของ Pushparajah และ Tan (1972) อ้างโดย นุชนารถ (2542) พบว่าช่วงเวลาที่ปริมาณธาตุอาหารในใบยางพารามีการเปลี่ยนแปลงน้อยที่สุด อยู่ในช่วงอายุ 3-6 เดือน โดยไนโตรเจน ฟอสฟอรัส และโพแทสเซียม จะลดลงตามอายุใบที่เพิ่มขึ้น ส่วน แคลเซียมและแมกนีเซียม จะเพิ่มขึ้นตามอายุใบยางพารา เวลาที่เหมาะสมที่สุดในการเก็บตัวอย่างใบมาวิเคราะห์ธาตุอาหารคือ 100 วันหลังจากผลิใบใหม่ และตำแหน่งใบที่เก็บคือ ใบของกิ่งในที่ร่มที่ระดับต่ำสองข้างทรงพุ่มระหว่างแถว โดยเก็บใบในคู่ล่าง หรือใบที่ 1 และใบที่ 2 ของฉัตรแรก

2.5 การวิเคราะห์ธาตุอาหารพืช และองค์ประกอบทางชีวเคมีในน้ำยาง

การศึกษาองค์ประกอบทางชีวเคมีในน้ำยาง เป็นการศึกษาตัวแปรที่มีความเกี่ยวข้องกับความสมดุลของกระบวนการทางสรีรวิทยา กลไกการไหล การหยุดไหลของน้ำยาง รวมถึงกระบวนการสังเคราะห์น้ำยางด้วย การศึกษาองค์ประกอบทางชีวเคมีของน้ำยางอาศัยหลักการเดียวกับการตรวจเลือดในทางการแพทย์ โดยวิธีนี้สามารถบ่งชี้ถึงความสมบูรณ์ทางสรีรวิทยาของต้นยางพาราได้ สามารถช่วยประเมินสภาวะผิดปกติภายในเซลล์ และระบบของท่อน้ำยาง ซึ่งจะช่วยในการวางแผนในการจัดการด้านต่างๆ ได้อย่างเหมาะสมกับต้นยางพารา เช่น การใส่ปุ๋ย การใช้ระบบกรีด ฯลฯ เพื่อเป็นการเพิ่มผลผลิต และยังเป็นการรักษาสภาพของต้นยางให้กรีดได้นานขึ้นอีกด้วย ในด้านการปรับปรุงพันธุ์ สามารถนำค่าที่ได้จากการวิเคราะห์

มาใช้ประเมินร่วมกับปริมาณผลผลิต และสภาพพื้นที่ปลูก เพื่อช่วยในการคัดเลือกพันธุ์ให้เหมาะสมกับสภาพพื้นที่ปลูกในแต่ละพื้นที่ (สายัณห์ และคณะ, 2553)

2.6 ปัจจัยที่ส่งผลต่อการเจริญเติบโต และปริมาณผลผลิตของยางพารา

ปัจจัยที่เกี่ยวข้องกับการเจริญเติบโต และผลผลิตของยางพาราจะประกอบด้วยปัจจัยภายใน ได้แก่ พันธุ์ยาง ซึ่งจะเกี่ยวข้องกับปริมาณขององค์ประกอบทางชีวเคมีในยางแต่ละพันธุ์ และปัจจัยภายนอก ได้แก่ สภาพภูมิอากาศ และสภาพภูมิประเทศที่ทำการปลูกยางพารา รวมถึงปริมาณธาตุอาหาร หรือปุ๋ยที่ใส่ให้กับต้นยางพารา นอกจากนี้ปริมาณน้ำยางที่ได้รับยังขึ้นอยู่กับปัจจัยทั้งทางด้านองค์ประกอบทางชีวเคมี และธาตุอาหารหลายอย่างด้วยกัน ด้านองค์ประกอบทางชีวเคมีจะประกอบด้วย ซูโครส ไทออล อนินทรีย์ฟอสฟอรัส และปริมาณของแข็งทั้งหมดในน้ำยางเป็นหลัก นอกจากนั้นมีการรายงานว่าเมื่อใส่ปุ๋ยไนโตรเจน ฟอสเฟต โพแทช และแมกนีเซียมส่งผลให้ได้รับมีปริมาณน้ำยางเพิ่มขึ้น เมื่อเปรียบเทียบกับส่วนที่ไม่มีการใสปุ๋ย (ปัทมา และคณะ, 2537) โดยแต่ละปัจจัยจะส่งผลต่อการเจริญเติบโต และปริมาณผลผลิตยางพาราดังนี้

2.6.1 องค์ประกอบทางชีวเคมีที่ส่งผลต่อการเจริญเติบโต และปริมาณผลผลิตของยางพารา การให้ผลผลิตของยางพาราจะขึ้นอยู่กับกิจกรรมต่างๆ ภายในเซลล์ และความสามารถแบ่งน้ำตาลที่ได้จากการสังเคราะห์ด้วยแสงไปใช้ในการสร้างผลผลิตของต้นยางพารา การวิเคราะห์องค์ประกอบทางชีวเคมีในน้ำยางจึงเป็นวิธีที่จะสามารถช่วยในการประเมินความสมบูรณ์ และศักยภาพในการให้ผลผลิตของต้นยางพาราได้ ช่วงเวลาที่เหมาะสมในการวิเคราะห์องค์ประกอบทางชีวเคมีในน้ำยางจะอยู่ในช่วงเดือนกันยายนถึงตุลาคม (พิศมัย และคณะ, 2547) เนื่องจากเป็นช่วงที่มีปริมาณผลผลิตสูงพารามิเตอร์ที่เกี่ยวข้องกับกระบวนการเมทาบอลิซึม (metabolism) มีความสม่ำเสมอ ซึ่งในต้นยางพาราที่มีการให้ผลผลิตที่สูง จะมีแนวโน้มของค่าวิเคราะห์ของปริมาณน้ำตาลซูโครสที่ต่ำ และอนินทรีย์ฟอสฟอรัสที่สูง หากวิเคราะห์ในช่วงก่อนเดือนกันยายนพบว่า กิจกรรมของกระบวนการเมทาบอลิซึมมีปริมาณสูง แต่ตัวแปรที่เกี่ยวข้องกับกระบวนการเมทาบอลิซึมไม่มีความสม่ำเสมอ โดยเฉพาะปริมาณน้ำตาลซูโครส และอนินทรีย์ฟอสฟอรัส ในทางตรงกันข้าม เมื่อทำการวิเคราะห์หลังเดือนตุลาคมจะพบว่า กระบวนการเมทาโบลิซึมมีแนวโน้มลดลง (ธนาพร, 2552)

องค์ประกอบทางชีวเคมีที่ใช้เป็นพารามิเตอร์ชี้วัดถึง กระบวนการสังเคราะห์น้ำยาง และการไหลของน้ำยาง ประกอบด้วยพารามิเตอร์ 4 ปัจจัย ดังนี้

2.6.1.1 ปริมาณของแข็งทั้งหมดในน้ำยาง (total solid content : TSC) โดยทั่วไปจะมีค่าประมาณ 25-45 เปอร์เซ็นต์ ของน้ำยาง ซึ่งมีค่าใกล้เคียงกับปริมาณเนื้อยางแห้ง (dry rubber content : DRC) โดยจะมีเนื้อยางแห้งเป็นองค์ประกอบอยู่ประมาณ 90

เปอร์เซ็นต์ ของปริมาณของแข็งทั้งหมดในน้ำยางปริมาณของแข็งทั้งหมดในน้ำยางจึงเป็นค่าที่แสดงถึงปริมาณการสร้างอนุภาคยางที่เกิดขึ้นภายในท่อน้ำยาง ปริมาณของแข็งทั้งหมดในน้ำยางจะส่งผลต่อการไหล และการหยุดไหลของน้ำยาง (พิศมัย, 2543) โดยในต้นที่มีปริมาณของแข็งทั้งหมดในน้ำยางมีค่าสูงจะทำให้น้ำยางที่ได้มีความหนืดสูงส่งผลให้น้ำยางไหลช้า หรือทำให้ท่อน้ำยางเกิดการอุดตันเร็วผลผลิตที่ได้ก็จะต่ำ แต่หากปริมาณของแข็งทั้งหมดในน้ำยางมีค่าต่ำก็จะส่งผลให้ผลผลิตที่ได้อยู่ในระดับต่ำด้วย เนื่องจากการลดลงของปริมาณของแข็งทั้งหมดในน้ำยาง อาจแสดงถึงความไม่เพียงพอในการสังเคราะห์น้ำยางทดแทน (นภาวรรณ และคณะ, 2544 ; Jacob *et al.*, 2000)

จากการศึกษาของ Gao และคณะ (2008) เรื่องการให้สารเร่งน้ำยางชนิดต่างๆ ต่อปริมาณน้ำยางที่ได้รับในยางพารา พบว่า ในการกรีดครั้งแรก สิ่งทดลองที่ให้ ethylene 0.3 เปอร์เซ็นต์ และ potassium iodide 1 เปอร์เซ็นต์ ร่วมกับ methylcellulose 2 เปอร์เซ็นต์ ให้ปริมาณน้ำยางสูงสุด 85.34 และ 88.70 มิลลิลิตรต่อต้น ตามลำดับ และปริมาณของแข็งทั้งหมดในน้ำยางไม่มีความแตกต่างกันในแต่ละสิ่งทดลอง แต่ในสิ่งการทดลองที่ให้ ethylene 0.3 เปอร์เซ็นต์ และ potassium iodide 1 เปอร์เซ็นต์ ร่วมกับ methylcellulose 2 เปอร์เซ็นต์ มีแนวโน้มที่ลดลงในครั้งกรีดต่อมาปริมาณน้ำยางที่ได้รับมีแนวโน้มที่แปรผกผันกับปริมาณของแข็งทั้งหมดในน้ำยาง สอดคล้องกับการศึกษาของ Le และคณะ (2010) ในการปรับปรุงพันธุ์ยางเพื่อคัดเลือกพันธุ์ที่เหมาะสมในสถาบันวิจัยยางในเวียดนาม พบว่า ในพันธุ์ยางทดสอบ LH 94/267, LH 94/359 และ LD 98/673 ให้ปริมาณน้ำยางในระดับที่สูง 62.1, 53.1 และ 50.1 กรัม ตามลำดับ เมื่อนำมาวิเคราะห์ปริมาณของแข็งทั้งหมดในน้ำยาง พบว่า อยู่ในระดับปานกลางถึงต่ำเมื่อเทียบกับพันธุ์ต่างๆ 31.6, 33.7 และ 30.3 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ และเมื่อนำมาหาความสัมพันธ์กัน พบว่า ปริมาณน้ำยางที่ได้ไม่มีความสัมพันธ์กันทางสถิติกับปริมาณของแข็งทั้งหมดในน้ำยาง แต่มีแนวโน้มที่แปรผกผันกัน สอดคล้องกับการศึกษาของ Njukenk และ Gobina (2007) เรื่องอิทธิพลของสารเร่งน้ำยางต่อผลผลิตยางพารา โดยใช้พันธุ์ยาง PB 217 และ PB 260 และให้สารแร่งน้ำยาง Hevetex และ Ethrel ในระดับต่างๆ พบว่า สิ่งทดลองที่ไม่มีมีการให้สารเร่งน้ำยาง Hevetex และ Ethrel มีค่าวิเคราะห์ปริมาณของแข็งทั้งหมดในน้ำยางที่อยู่ในระดับสูง (43.7% และ 48% ตามลำดับ) แต่จะส่งผลให้ได้รับปริมาณผลผลิตของน้ำยางอยู่ในระดับต่ำ (35.6 และ 65.2 กรัม/ต้น/ครั้งกรีด ตามลำดับ) เมื่อเทียบกับสิ่งทดลองอื่น และจากการศึกษาของ Sopheaveasna และคณะ (2008) เรื่องอิทธิพลของปุ๋ย และการให้น้ำต่อผลผลิตของยางพารา ได้ทำการหาความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณน้ำยางกับปริมาณเนื้อยางแห้งในน้ำยาง พบว่า ปริมาณน้ำยางที่ได้รับ จะแปรผกผันกับปริมาณเนื้อยางแห้งที่อยู่ในน้ำยางในน้ำยาง สอดคล้องกับการศึกษาของ Hanower และคณะ (1979) อ้างโดย Jacob และคณะ (2000) ถึงความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณผลผลิตน้ำยาง และปริมาณของแข็งทั้งหมดในน้ำยาง พบว่า ปริมาณน้ำยางที่ได้รับ จะแปรผกผันกับปริมาณเนื้อยางแห้งที่อยู่ในน้ำยางด้วยเช่นกัน

2.6.1.2 ปริมาณน้ำตาลซูโครสในน้ำยาง (sucrose content) เป็นผลที่ได้จากการสังเคราะห์แสง และเป็นสารตั้งต้นในการสร้างน้ำยาง ปริมาณน้ำตาลซูโครสในน้ำยางจึงเป็นค่าที่แสดงถึงกิจกรรมการสังเคราะห์น้ำตาลซูโครส และการนำน้ำตาลซูโครสไปใช้ในกระบวนการสร้างน้ำยาง (พิศมัย, 2543) ดังนั้น ปริมาณน้ำตาลซูโครสจึงมีความสัมพันธ์ทั้งทางบวก และทางลบ เช่น การมีปริมาณน้ำตาลซูโครสในน้ำยางสูงจะแสดงถึงต้นยางพารามีศักยภาพในการสร้างน้ำยางได้สูง จึงมีความสัมพันธ์ในทางบวกกับผลผลิต แต่ในทางกลับกัน หากต้นยางมีปริมาณการนำน้ำตาลซูโครสไปใช้ในการสร้างน้ำยางได้ต่ำ ก็จะเกิดการสะสมของน้ำตาลซูโครสในน้ำยางที่สูงได้เช่นกัน ซึ่งในกรณีนี้ถือเป็นความสัมพันธ์ในทางลบกับผลผลิต และการมีปริมาณน้ำตาลซูโครสในน้ำยางต่ำเป็นการแสดงได้ว่าต้นยางพารามีการนำน้ำตาลซูโครสไปสังเคราะห์เป็นน้ำยางมากส่งผลให้ผลผลิตมากตามไปด้วย (นภาวรรณ และคณะ, 2544 ; Jacob *et al.*, 2000)

จากการศึกษาของ Lacote และคณะ (2010) ถึงอิทธิพลของการใช้แก๊สเอทิลีนต่อปริมาณผลผลิตยาง และองค์ประกอบทางชีวเคมี โดยใช้ยางพันธุ์ GT 1, PB 217, IRCA 130 และ IRCA 230 พบว่า ในยางพันธุ์ IRCA 130 และ IRCA 230 ซึ่งเป็นพันธุ์ที่ให้ผลผลิตสูงสุด (1.46 และ 1.7 กรัมต่อต้นต่อรอยกรีด 1 เซนติเมตร ตามลำดับ) เมื่อวิเคราะห์ปริมาณน้ำตาลซูโครสในน้ำยางพบว่า อยู่ในระดับที่ต่ำ (15.3 และ 7.9 มิลลิโมลาร์ ตามลำดับ) สอดคล้องกับการศึกษาของ Dibi และคณะ(2010) เรื่องการเจริญเติบโต และผลผลิตของยางเพาะเลี้ยงเนื้อเยื่อโดยใช้ยางพันธุ์ PR 107, IRCA 18 และ RRIM 600 พบว่า ปริมาณผลผลิตในยางพันธุ์ IRDA 18 มีแนวโน้มแปรผกผันกับปริมาณน้ำตาลซูโครสในน้ำยาง และจากการศึกษาของ Gao และคณะ (2008) ถึงการให้สารเร่งน้ำยางชนิดต่างๆ ต่อปริมาณน้ำยางที่ได้รับในยางพารา พบว่า ในการกรีดครั้งแรก สิ่งทดลองที่ให้ ethylene 0.3 เปอร์เซ็นต์ ร่วมกับ methylcellulose 2 เปอร์เซ็นต์ ให้ปริมาณน้ำยางสูงสุด มีแนวโน้มที่แปรผกผันกับปริมาณน้ำตาลซูโครสในน้ำยาง เมื่อเทียบกับสิ่งทดลองอื่นสอดคล้องกับการศึกษาของ Njukenk และ Gobina (2007) ถึงอิทธิพลของสารเร่งน้ำยางต่อผลผลิตยางพาราโดยใช้พันธุ์ยาง PB 217 และ PB 260 และให้สารแร่งน้ำยาง Hevetex และ Ethrel ในระดับต่างๆ พบว่า พันธุ์ยาง PB 260 ที่ให้ Hevetex และ Ethrel 2.5 เปอร์เซ็นต์ มีปริมาณผลผลิตของน้ำยางอยู่ในระดับสูง (78 และ 84.3 กรัมต่อต้นต่อครั้งกรีด ตามลำดับ) จะมีค่าวิเคราะห์ปริมาณน้ำตาลซูโครสในน้ำยางที่อยู่ในระดับต่ำ (6.9 และ 7.9 มิลลิโมลาร์ ตามลำดับ) เมื่อเทียบกับสิ่งทดลองอื่น

2.6.1.3 ปริมาณอนินทรีย์ฟอสฟอรัสในน้ำยาง (inorganic phosphorus content : Pi) เป็นพารามิเตอร์ที่เกี่ยวข้องกับพลังงานในกระบวนการเมทาบอลิซึมของการสร้างน้ำยางในเซลล์ท่อน้ำยาง (พิศมัย, 2543) ซึ่งเป็นสารที่ได้จากกระบวนการที่ ATP เปลี่ยนไปเป็น ADP และการเปลี่ยน NADP เป็น NADPH ในกระบวนการสร้างน้ำยาง และการต่อกันของสาย

polyisoprene ปริมาณของอนินทรีย์ฟอสฟอรัสในน้ำยางที่อยู่ในระดับสูงจะแสดงถึงการใช้พลังงานในการสร้างน้ำยางของต้นยางพาราที่มากด้วย ทำให้ผลผลิตที่ได้อยู่ในระดับสูง ดังนั้นปริมาณอนินทรีย์ฟอสฟอรัสในน้ำยางความสัมพันธ์โดยตรงกับผลผลิตของยางพารา (นภาวรรณ และคณะ, 2544 ; Jacob *et al.*, 2000)

จากการศึกษาของ Gao และคณะ (2008) ถึงการให้สารเร่งน้ำยางชนิดต่างๆ ต่อปริมาณน้ำยางที่ได้รับในยางพารา พบว่า ในการกรีดครั้งแรก สิ่งทดลองที่ให้ ethylene 0.3 เปอร์เซ็นต์ ร่วมกับ methylcellulose 2 เปอร์เซ็นต์ ให้ปริมาณน้ำยางสูงสุด (85.34 มิลลิลิตรต่อต้น) มีแนวโน้มที่แปรผันตามกับปริมาณอนินทรีย์ฟอสฟอรัสในน้ำยาง เมื่อเทียบกับสิ่งทดลองอื่น สอดคล้องกับการศึกษาของ Njukenk และ Gobina (2007) ถึงอิทธิพลของสารเร่งน้ำยางต่อผลผลิตยางพาราโดยใช้พันธุ์ยาง PB 217 และ PB 260 และให้สารแร่งน้ำยาง Hevetex และ Ethrel ในระดับต่างๆ พบว่า พันธุ์ยาง PB 260 ที่ให้ Hevetex และ Ethrel 2.5 เปอร์เซ็นต์ มีปริมาณผลผลิตของน้ำยางอยู่ในระดับสูง (78 และ 84.3 กรัมต่อต้นต่อครั้งกรีด ตามลำดับ) จะมีค่าวิเคราะห์ปริมาณอนินทรีย์ฟอสฟอรัสในน้ำยางที่อยู่ในระดับสูงด้วย (29.5 และ 28.3 มิลลิโมลาร์ ตามลำดับ) เมื่อเทียบกับสิ่งทดลองอื่น และจากการศึกษาของ Dibi และคณะ (2010) เรื่องการเจริญเติบโต และผลผลิตของยางเพาะเลี้ยงเนื้อเยื่อโดยใช้ยางพันธุ์ PR 107, IRCA 18 และ RRIM 600 พบว่า ปริมาณผลผลิตในยางพันธุ์ IRDA 18 มีแนวโน้มแปรผันตามกับปริมาณอนินทรีย์ฟอสฟอรัสในน้ำยาง สอดคล้องกับการศึกษาของ Lacote และคณะ (2010) ถึงอิทธิพลของการใช้แก๊สเอทิลีนต่อปริมาณผลผลิตยาง และองค์ประกอบทางชีวเคมี พบว่า ในพันธุ์ยาง IRCA 130 และ IRCA 230 ซึ่งเป็นพันธุ์ที่ให้ผลผลิตสูงสุด (1.46 และ 1.7 กรัมต่อต้นต่อรอยกรีด 1 เซนติเมตร ตามลำดับ) เมื่อวิเคราะห์ปริมาณอนินทรีย์ฟอสฟอรัสในน้ำยางพบว่า อยู่ในระดับที่สูงด้วยเช่นกัน (23.2 และ 24.9 มิลลิโมลาร์ ตามลำดับ) สอดคล้องกับการศึกษาของ Le และคณะ (2010) ในการปรับปรุงพันธุ์ยางเพื่อคัดเลือกพันธุ์ที่เหมาะสมในสถาบันวิจัยยางในเวียดนาม ได้หาความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณน้ำยางกับปริมาณอนินทรีย์ฟอสฟอรัสในน้ำยาง พบว่า ปริมาณน้ำยางที่ได้มีความสัมพันธ์กันทางสถิติกับปริมาณอนินทรีย์ฟอสฟอรัสในน้ำยาง โดยปริมาณน้ำยางที่ได้จะแปรผันตามกับปริมาณอนินทรีย์ฟอสฟอรัสในน้ำยางและในการศึกษาของ Pisamai และคณะ (2006) ถึงรูปแบบการกระจายตัวของน้ำตาลซูโครส และกระบวนการเมทาบอลิซึมในน้ำยาง บริเวณลำต้นเมื่อใช้ระบบการกรีดยางที่ต่างกันพบว่า ในบริเวณที่มีการกรีดยางจะเกิดกระบวนการเมทาบอลิซึมในการสังเคราะห์ยางทดแทนสูงกว่าในบริเวณอื่น หรือบริเวณที่ไม่มีการกรีด โดยปริมาณน้ำตาลซูโครสจะแปรผกผันกับปริมาณอนินทรีย์ฟอสฟอรัสทั้งสองระบบกรีด

2.6.1.4 ปริมาณไทออลในน้ำยาง (thiol content : R-SH) เป็นพารามิเตอร์ที่แสดงสถานะของการต่อต้านอนุมูลอิสระ (antioxidant system) ของต้นยางพารา ช่วยต่อต้านการทำลายของอนุมูลอิสระ (oxidative stress) ภายในเซลล์ท่อน้ำยาง ไทออลในน้ำยาง

ประกอบด้วย cysteine, methionine และ glutathione ซึ่งโมเลกุลเหล่านี้จะทำหน้าที่ในการจับกับออกซิเจนที่เป็นพิษ (toxic oxygen) ที่เกิดขึ้นเมื่อมีการกรีดยาง ไม่ให้เกิดการทำปฏิกิริยากับอนุภาคของลูทอยด์ ซึ่งจะช่วยให้ลูทอยด์แตกตัวช้าลง มีผลทำให้การจับตัวของน้ำยาง หรือการหยุดไหลของน้ำยางเกิดขึ้นช้าลง (พิศมัย, 2543) และยังช่วยในการกระตุ้นเอนไซม์บางชนิด เช่น อินเวอร์เทส (invertase) และ ไพรูเวตไคเนส (pyruvate kinase) ซึ่งช่วยทำให้กระบวนการเมทาบอลิซึม และการสร้างน้ำยางเพิ่มขึ้น (นภาวรรณ และคณะ, 2544 ; Jacob *et al.*, 2000)

จากการศึกษาของ Dibi และคณะ (2010) เรื่องการเจริญเติบโต และผลผลิตของยางเพาะเลี้ยงเนื้อเยื่อโดยใช้ยางพันธุ์ PR 107, IRCA 18 และ RRIM 600 พบว่า ปริมาณผลผลิตในยางพันธุ์ IRDA 18 ซึ่งให้ปริมาณผลผลิตสูงที่สุด มีแนวโน้มแปรผันตามกับปริมาณไทออลในน้ำยาง สอดคล้องกับการศึกษาของ Njukenk และ Gobina (2007) ถึงอิทธิพลของสารเร่งน้ำยางต่อผลผลิตยางพารา โดยใช้พันธุ์ยาง PB 217 และ PB 260 และให้สารเร่งน้ำยาง Hevetex และ Ethrel ในระดับต่าง ๆ พบว่า พันธุ์ยาง PB 217 ที่ได้รับ Hevetex 2.5 เปอร์เซ็นต์ และ PB 260 ที่ได้รับ Ethrel 2.5 เปอร์เซ็นต์ มีปริมาณผลผลิตของน้ำยางอยู่ในระดับสูง (63.6 และ 84.3 กรัมต่อต้นต่อครั้งกรีด ตามลำดับ) จะมีค่าวิเคราะห์ปริมาณไทออลในน้ำยางที่อยู่ในระดับสูงด้วย (0.67 และ 0.81 มิลลิโมลาร์ ตามลำดับ) เมื่อเทียบกับสิ่งทดลองอื่น สอดคล้องกับการศึกษาของ Cretin และคณะ (1983) อ้างโดย Jacob และคณะ (2000) ถึงความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณผลผลิตน้ำยาง และปริมาณไทออลในน้ำยาง พบว่า ปริมาณน้ำยางที่ได้รับ จะแปรผันตามปริมาณไทออลในน้ำยางในน้ำยางด้วยเช่นกัน และจากการศึกษาของ Gao และคณะ (2008) ในการให้สารเร่งน้ำยางชนิดต่าง ๆ ต่อปริมาณน้ำยางที่ได้รับในยางพารา พบว่า ในการกรีดครั้งแรก สิ่งทดลองที่ให้ ethylene 0.3 เปอร์เซ็นต์และ potassium iodide 1 เปอร์เซ็นต์ ร่วมกับ methylcellulose 2 เปอร์เซ็นต์ ให้ปริมาณน้ำยางสูงสุด (85.34 และ 88.70 มิลลิลิตรต่อต้น ตามลำดับ) มีแนวโน้มแปรผันตามกับปริมาณไทออลในน้ำยางด้วย โดยในสิ่งทดลองเดียวกันปริมาณไทออลในน้ำยางอยู่ในระดับที่สูงเมื่อเทียบกับสิ่งทดลองอื่น

2.6.2 ธาตุอาหารพืชที่ส่งผลต่อการเจริญเติบโตและปริมาณผลผลิตของยางพารา เป็นที่ทราบแล้วว่าดินปลูกยางพาราในประเทศไทยมีความอุดมสมบูรณ์ต่ำ โดยเฉพาะดินที่ผ่านการปลูกยาง หรือพืชชนิดอื่นมาแล้ว ทำให้ธาตุอาหารในดินมีปริมาณน้อยลงจนไม่เพียงพอต่อการเจริญเติบโตและให้ผลผลิต จึงจำเป็นต้องมีการใส่เพิ่ม โดยเฉพาะธาตุอาหารเสริมที่ยางต้องการในปริมาณที่น้อย แต่ก็ขาดไม่ได้ ถ้าขาดพืชจะแสดงอาการขาด แต่ถ้าได้รับมากเกินไปจะแสดงอาการเป็นพิษ ในกรณีรุนแรงต้นพืชอาจตายได้ ในปัจจุบันธาตุอาหารเสริมมีความสำคัญมากขึ้น เนื่องจากถูกพืชดูดไปใช้จนปริมาณความเข้มข้นของธาตุอาหารเสริมในดินมีอยู่ในระดับต่ำกว่าความต้องการของพืช จากการผลิตปุ๋ยที่ต้องการให้มีความเข้มข้นของธาตุอาหารหลักสูงขึ้น ทำให้ธาตุอาหารรองและเสริมที่เจือปนอยู่ในปุ๋ยมีอยู่น้อยหรือไม่มี และการผลิตพันธุ์ยางที่ให้มีผลผลิตสูงทำให้มีความจำเป็นต้องใช้ปุ๋ยที่มีธาตุอาหารหลัก

มากขึ้น ดังนั้น ธาตุอาหารเสริมย่อมถูกนำไปใช้ตามสัดส่วนตามความต้องการของพืช นุชนารถ (2542) กล่าวไว้ว่า โดยทั่วไปดินปลูกยางพาราที่พบในภาคใต้ และภาคตะวันออกมีความอุดมสมบูรณ์อยู่ในเกณฑ์ต่ำถึงระดับปานกลาง เมื่อปลูกยางพาราในพื้นที่พบว่าต้นยางพาราสามารถเปิดกรีดได้เมื่ออายุ 6-7 ปี อย่างไรก็ตาม ยางพาราสามารถเจริญเติบโตได้ดีในดินที่มีความอุดมสมบูรณ์สูงและปานกลาง และสามารถปรับตัวได้ในสภาพของดินที่มีความอุดมสมบูรณ์ต่ำหรือค่อนข้างต่ำ นุชนารถ และคณะ (2551) ได้ทดลองการจัดการธาตุอาหารพืชเพื่อเพิ่มผลผลิตยางให้เหมาะสมเฉพาะพื้นที่ตามค่าวิเคราะห์ดินซึ่งผลการวิเคราะห์ธาตุอาหารในแปลงเกษตรกรที่ทดลอง พบว่ามีธาตุไนโตรเจน ฟอสฟอรัส และโพแทสเซียมในดินปริมาณต่ำถึงต่ำมาก ดังนั้น วิธีการใส่ปุ๋ยตามค่าวิเคราะห์จึงต้องเพิ่มระดับของปุ๋ยฟอสเฟตจากที่สถาบันวิจัยยางที่ระดับ 5 เปอร์เซ็นต์ P_2O_5 เป็น 10 เปอร์เซ็นต์ P_2O_5 และเพิ่มปุ๋ยโพแทชจาก 18 เปอร์เซ็นต์ K_2O เป็น 24 เปอร์เซ็นต์ K_2O แต่คงระดับปุ๋ยไนโตรเจน เนื่องจากไนโตรเจนที่สถาบันวิจัยยางแนะนำระดับ 30 เปอร์เซ็นต์ N เป็นไนโตรเจนระดับสูงอยู่แล้ว ดังนั้น สูตรปุ๋ยที่ใช้คือ 30-10-24 อัตรา 1,000 กรัมต่อต้นต่อปี และวิธีเกษตรกรส่วนใหญ่ใช้ปุ๋ยสูตร 30-5-18 อัตรา 1,000-1,500 กรัมต่อต้นต่อปี พบว่าการใส่ปุ๋ยตามค่าวิเคราะห์ดินเมื่อเปรียบเทียบกับวิธีของเกษตรกรทำให้ผลผลิตยางเพิ่มขึ้นจาก 353 กิโลกรัมต่อไร่ต่อปี เป็น 438 กิโลกรัมต่อไร่ต่อปี (เพิ่มขึ้น 24%) และจากการศึกษาของ Geus (1967) อ้างโดย นุชนารถ และคณะ (2537) พบว่า ในผลผลิตเนื้อยางแห้ง 232 กิโลกรัม จะสูญเสียไนโตรเจน 3.8 กิโลกรัม ฟอสฟอรัส 0.77 กิโลกรัม และโพแทสเซียมถึง 5.8 กิโลกรัม ดังนั้นจึงเห็นได้ว่าการใส่ธาตุอาหารเพิ่มขึ้นเพื่อให้เหมาะสมกับการเจริญเติบโตของต้นยางพารา สามารถช่วยเพิ่มผลผลิตของยางพาราและช่วยชดเชยธาตุอาหารที่สูญเสียไปกับผลผลิตได้ ซึ่งธาตุอาหารพืชแต่ละธาตุจะส่งผลต่อยางพารา ดังนี้

2.6.2.1 ไนโตรเจน (N) ไนโตรเจน มีความสำคัญต่อพืช คือ เป็นองค์ประกอบของคลอโรฟิลล์ และโปรตีนทั้งหมด นอกจากนั้น ไนโตรเจนยังจำเป็นต่อการเจริญเติบโตของพืช เพราะพืชที่ขาดไนโตรเจนลำต้นจะแคระแกร็น หรือในพืชที่เจริญเติบโตหากขาดไนโตรเจนใบจะเริ่มมีสีเหลืองโดยจะปรากฏที่ใบล่างหรือใบแก่ก่อน จากนั้นใบจะเป็นสีน้ำตาล และร่วงในที่สุด ผลผลิตของยางก็จะลดลง ในยางอ่อนที่ยังไม่แตกกิ่ง ต้นจะแสดงอาการเหลืองในใบแก่ที่ฉัตรล่าง และเมื่อขาดธาตุนี้ต่อเนื่องใบจะมีสีเหลืองในฉัตรบนหรือยอด ถ้าขาดรุนแรงทำให้ใบเปลี่ยนเป็นสีน้ำตาลและร่วง สีผิวของเปลือกกร้านและแข็งกว่าต้นปกติทำให้กรีดยาก (นุชนารถ , 2550) ดินปลูกยางในเขตปลูกยางเดิมมีไนโตรเจนทั้งหมด 0.06-0.14 เปอร์เซ็นต์ และในเขตปลูกยางใหม่มีไนโตรเจนทั้งหมด 0.04-0.13 เปอร์เซ็นต์ ซึ่งดินส่วนใหญ่มีไนโตรเจนในดินต่ำกว่าระดับที่เหมาะสม คือ 0.11-0.25 เปอร์เซ็นต์ (นุชนารถ, 2550) ดังนั้นการใส่ปุ๋ยไนโตรเจนให้แก่ยางพารา และการปลูกพืชคลุมดินตระกูลถั่วในระหว่างแถวยาง ในช่วงยางอ่อนจะมีผลต่อการรักษาระดับธาตุอาหารโดยเฉพาะธาตุไนโตรเจน และยังมีรายงานว่าพืชคลุมดินตระกูลถั่ว

สามารถสลายตัวให้ธาตุไนโตรเจนได้ปีละ 89-133 กิโลกรัมต่อไร่ (สถาบันวิจัยยาง, 2551) การใส่ปุ๋ยไนโตรเจนให้แก่ต้นยางติดต่อกันมีผลต่อการเพิ่มปริมาณธาตุอาหารในใบยางด้วย

2.6.2.2 ฟอสฟอรัส (P) พืชดูดฟอสฟอรัสในดินไปใช้โดยในรูปของออร์โทฟอสเฟต (H_3PO_4, $H_2PO_4^-$, HPO_4^{2-}และ PO_4^{3-}) และรูปเหล่านี้จะถูกควบคุมโดย pH ในสารละลายดิน ฟอสฟอรัสเป็นองค์ประกอบที่สำคัญของ ATP ซึ่งจำเป็นต่อกระบวนการต่างๆ ในพืชเกี่ยวข้องกับการเคลื่อนย้ายพลังงานในกระบวนการเมตาบอลิซึมของพืช โดยพลังงาน ATP จะนำไปใช้สำหรับกระบวนการต่างๆ ที่ต้องการพลังงาน เช่น กระบวนการสร้างซูโครส แป้ง และโปรตีน โดยเฉพาะกระบวนการสังเคราะห์ยางที่มีการใช้พลังงานจาก ATP ตั้งแต่การเคลื่อนย้ายน้ำตาลซูโครสเข้าไปในเซลล์ท่อน้ำยางไปจนถึงกระบวนการต่างๆ ในการสังเคราะห์ยาง นอกจากนี้ฟอสฟอรัสจำเป็นต่อการเจริญเติบโตของพืช การแบ่งเซลล์ของราก การพัฒนาของเมล็ด และผล หากขาดฟอสฟอรัส การพัฒนาของราก และการสุกของผลจะช้า อาการขาดฟอสฟอรัสจะเริ่มที่ใบแก่ก่อน โดยใบจะเริ่มเปลี่ยนเป็นสีเขียวน้ำเงิน ในยางพาราเปิดกรีดแทบจะไม่แสดงอาการขาดให้เห็นโดยการสังเกต แต่สามารถยืนยันอาการขาดได้ด้วยการวิเคราะห์ใบ ด้านล่างใบจะมีสีเงิน และใบจะมีอาการตายจากปลายยอดซึ่งจะเป็นอาการเฉพาะในยางพาราที่ยังไม่แตกกิ่ง จะพบอาการขาดที่ฉัตรกลาง และฉัตรบน และอาจเป็นสาเหตุสำคัญที่ทำให้เกิดใบร่วง โดยทั่วไปในดินเขตร้อนซึ่งส่วนใหญ่เป็นดินกรดที่มีธาตุเหล็กและอะลูมินัมสูง ฟอสฟอรัสส่วนที่เป็นประโยชน์จะถูกตรึงในรูปของเหล็กฟอสเฟต และอะลูมินัมฟอสเฟต ซึ่งพืชไม่สามารถนำไปใช้ประโยชน์ได้ ดังนั้น ในดินปลูกยางพาราจึงมีปริมาณธาตุฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์ในดินต่ำ การใส่ปุ๋ยฟอสเฟตให้แก่ต้นยางที่มีค่าฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์ในดินต่ำกว่า 10 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม จะทำให้ต้นยางตอบสนองต่อการใส่ปุ๋ยฟอสเฟตซึ่งดินปลูกยางพาราในภาคใต้ส่วนใหญ่มีฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์ 4-23 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม (นุชนารถ และคณะ, 2522)

2.6.2.3 โพแทสเซียม (K) โพแทสเซียมเป็นธาตุที่ไม่ได้เป็นองค์ประกอบของสารอินทรีย์ใดๆ ในพืช แต่โพแทสเซียมมีหน้าที่หลัก คือ ควบคุมแรงดันออสโมติก (osmoregulation) รักษาสมดุลของประจุไฟฟ้าในเซลล์ และควบคุมพีเอชให้อยู่ระหว่าง 7-8 ซึ่งเหมาะสมกับกิจกรรมของเอนไซม์โดยส่วนใหญ่ (Marschner, 1995) ดังนั้น จึงพบโพแทสเซียมมากในไซโตพลาสซึมโดยมีเอนไซม์ประมาณ 50 ชนิดที่ต้องใช้โพแทสเซียมเป็นตัวกระตุ้น เช่น ไพรูเวตไคเนส ในการเปลี่ยนฟอสโฟอีนอลไพรูเวต (phosphoenol pyruvate) เป็นไพรูเวต และเปลี่ยนต่อไปเป็น Acetyl-CoA เพื่อเป็นสารตั้งต้นในการสร้างน้ำยางพารา (Jacob *et al.*, 2000) และ ATPase ซึ่งมีบทบาทสำคัญเกี่ยวข้องกับการเคลื่อนย้ายซูโครสเข้าสู่เซลล์ท่อน้ำยาง และการสังเคราะห์ยาง ในน้ำยางที่มีโพแทสเซียมสูงเชื่อว่าจะทำให้ผลผลิตสูง โดยมีรายงานว่าผลผลิตและอัตราการไหลของน้ำยางจะเพิ่มขึ้นเมื่อได้รับปุ๋ยโพแทชมากขึ้น (Waston, 1989 อ้างโดย Sethuraj, 1992) ในระยะที่ยางให้ผลผลิต ต้นยางต้องการธาตุโพแทสเซียมและไนโตรเจน

สูง นุชนารถ และคณะ (2533) ศึกษาผลตกค้างของการใส่ปุ๋ยระยะยางอ่อนที่มีต่อผลผลิตยางในปีแรกของการกรีดยาง พบว่า การใส่ปุ๋ยไนโตรเจน 14 เปอร์เซ็นต์ N ร่วมกับปุ๋ยโพแทช 14 เปอร์เซ็นต์ K_2O ทำให้ผลผลิตยางสูงกว่าการใส่ปุ๋ยไนโตรเจนและโพแทชระดับต่ำ ในดินปลูกยางภาคใต้ พบว่า โพแทสเซียมที่เป็นประโยชน์อยู่ในช่วง 14-128 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม (นุชนารถ และคณะ, 2522) ในดินปลูกยางที่มีโพแทสเซียมที่แลกเปลี่ยนได้ต่ำ เช่น ชุดดินคอหงส์ ต้นยางจะตอบสนองต่อการใส่ปุ๋ยโพแทช อย่างไรก็ตามการใส่ปุ๋ยโพแทชมากเกินไปทำให้ต้นยางแสดงอาการขาดธาตุแคลเซียม และแมกนีเซียมได้ (นุชนารถ,2550) นอกจากนี้การใส่ปุ๋ยโพแทชปริมาณสูงทำให้พืชสะสมแมกนีเซียมในส่วนเหนือดินได้น้อยลง (ยงยุทธ, 2552)

2.6.2.4 แมกนีเซียม (Mg) แมกนีเซียมเป็นส่วนประกอบของคลอโรฟิลล์ จึงจำเป็นต่อการเจริญเติบโต และเพิ่มผลผลิตของยาง การใส่ปุ๋ยแมกนีเซียมแก่ต้นยางถึงแม้ว่ามีผลทำให้โพแทสเซียมในใบยางลดลง แต่จะมีผลทำให้ผลผลิตเพิ่มขึ้น ทั้งนี้เนื่องจากแมกนีเซียมจะเป็นตัวกระตุ้นการทำงานของเอนไซม์รับเบอร์ทรานสเฟอเรส (rubber transferase) ซึ่งเป็นเอนไซม์ที่เกี่ยวข้องกับการสังเคราะห์ยาง (Costa *et al.*, 2006 ; Scott *et al.*, 2003) นอกจากนี้มีรายงานว่า ปุ๋ยแมกนีเซียมมีผลต่อการเพิ่มธาตุแมกนีเซียมในใบและในน้ำยาง แต่หากมีปริมาณของธาตุแมกนีเซียมในน้ำยางสูงจะทำให้น้ำยางไม่คงตัว คือ น้ำยางจะมีการจับตัวเร็วกว่าปกติ อย่างไรก็ตามการพิจารณาการใส่ปุ๋ยต้องคำนึงถึงระดับสมดุลของธาตุในดิน (นุชนารถ และคณะ, 2542) ซึ่งแมกนีเซียมที่แลกเปลี่ยนได้ในดินปลูกยางภาคใต้มีประมาณ 0.03-0.44 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม ส่วนใหญ่มีปริมาณปานกลางถึงค่อนข้างสูง (นุชนารถ และคณะ, 2522)

2.6.2.5 แคลเซียม (Ca) แคลเซียมในพืชส่วนใหญ่สะสมอยู่ที่ผนังเซลล์ (cell wall) โดยเป็นส่วนของโครงสร้าง (structural function) พืชจะดูดแคลเซียมในรูปของแคลเซียมไอออน (Ca^{2+}) แคลเซียมเป็นองค์ประกอบที่สำคัญของมิดเดิลลาเมลลา (middle lamella) หรือเป็นตัวเชื่อมเซลล์ให้เกาะติดกัน และมีบทบาทสำคัญ คือ 1) เกี่ยวข้องกับสปินเดิล-ไฟเบอร์ (spindle fiber) ในการแบ่งเซลล์ 2) รักษาสภาพและคุณสมบัติการเป็นเยื่อเลือกผ่านของเยื่อหุ้มเซลล์ 3) บทบาทเกี่ยวกับการตอบสนองของเซลล์ต่อสิ่งเร้า และเป็นตัวเร่งปฏิกิริยาของเอนไซม์บางชนิด หากพืชขาดแคลเซียมจะมีการเจริญผิดปกติของเนื้อเยื่อเจริญปลายยอด ซึ่งเป็นบริเวณที่การแบ่งเซลล์เกิดขึ้นมาก ใบอ่อน และยอดมักมีลักษณะผิดปกติ หงิกงอหรือบิดเบี้ยว ถ้าภาวะขาดแคลเซียมเกิดขึ้นมาก เนื้อเยื่อเจริญปลายยอดอาจตายได้ นอกจากนั้นการเจริญเติบโตของรากก็จะอยู่ในสภาพที่ชะงัก หรือมีการเจริญที่ผิดปกติ (ยงยุทธ, 2552)

2.6.2.6 กำมะถัน (S) กำมะถันเป็นองค์ประกอบของกรดอะมิโนที่มีชื่อว่าซีสทีน (cystine) และเมไธโอมีน (methiomine) ดังนั้น กำมะถันจึงจำเป็นต่อการสร้างโปรตีน และเป็นองค์ประกอบของวิตามิน บางชนิด ได้แก่ ไบโอทิน (biotin) และไทเอมีน (thiamine) นอกจากนั้น กำมะถันยังเกี่ยวข้องกับการสร้างคลอโรฟิลล์ กระตุ้นการทำงานของเอนไซม์หลาย

ชนิด และเป็นองค์ประกอบของไทออล ซึ่งเป็นโปรตีนที่กระตุ้นการทำงานของเอนไซม์หลายชนิดในการสร้างน้ำยาง หากพืชขาดกำมะถันจะแสดงอาการคล้ายกับการขาดไนโตรเจน แต่จะเริ่มที่ใบอ่อน และยังคงมีอาการดังกล่าวแม้ได้รับปุ๋ยไนโตรเจน โดยเริ่มจากใบอ่อนมีสีเหลืองซีดหรือสีเขียวอ่อน ใบมีขนาดเล็กลงและม้วนขึ้นเป็นรูปถ้วย พืชที่ขาดกำมะถันมีลำต้นขนาดเล็กผอมบางและสั้น และเจริญเติบโตช้า (ยงยุทธ, 2552)

2.6.2.7 เหล็ก (Fe) มีความสำคัญต่อการสังเคราะห์แสง การหายใจ การสังเคราะห์โปรตีนและฮอร์โมนพืช ธาตุเหล็กเป็นองค์ประกอบสำคัญของไซโต-โครม (cytochrome) และเป็นตัวกระตุ้นปฏิกิริยาของเอนไซม์หลายชนิด พืชดูดใช้ธาตุเหล็กจากดินสองรูป คือ เฟอริกไอออน (Fe^{3+}) และเฟอรัสไอออน (Fe^{2+}) แต่โดยทั่วไปพืชจะดูดเฟอรัสไอออนได้มากกว่า เนื่องจากมีความสามารถในการละลายน้ำได้ดีกว่าเฟอริกไอออน ถึงแม้ว่าเหล็กจะไม่ใช่องค์ประกอบของคลอโรฟิลล์ และเอนไซม์ต่างๆ ที่เกี่ยวข้องกับการสังเคราะห์คลอโรฟิลล์ แต่เมื่อพืชขาดขาดเหล็ก จะพบอาการภาวะพร่องคลอโรฟิลล์ โดยเฉพาะโปรตีนที่เกี่ยวข้องกับการถ่ายทอดอิเล็กตรอนในปฏิกิริยาแสง อาการพร่องคลอโรฟิลล์ที่เกิดจากธาตุเหล็กนี้จะเกิดที่ใบอ่อนก่อน (ยงยุทธ,2552) โดยทั่วไปในดินที่เป็นกรดมักไม่ขาดธาตุเหล็ก แต่ดินที่มีธาตุฟอสฟอรัสสูงอาจทำให้ขาดธาตุเหล็กได้ เนื่องจากเหล็กทำปฏิกิริยากับฟอสฟอรัสทำให้ตกตะกอนอยู่ในรูปที่ไม่เป็นประโยชน์ (นุชนารถ, 2550)

2.6.2.8 แมงกานีส (Mn) แมงกานีสเป็นส่วนประกอบของเอนไซม์ที่เกี่ยวข้องกับกระบวนการหายใจของพืช กระตุ้นการทำงานของเอนไซม์ที่เกี่ยวข้องกับการใช้ประโยชน์ของไนโตรเจน และการสร้างคลอโรฟิลล์ รวมถึงการสังเคราะห์โปรตีน คาร์โบไฮเดรต และลิพิด (ยงยุทธ, 2552) โดยทั่วไปไม่พบการขาดแมงกานีสในดินปลูกยางของประเทศไทย แต่ดินที่มีฟอสฟอรัสสูงอาจขาดแมงกานีสได้ เพราะแมงกานีสทำปฏิกิริยากับฟอสฟอรัส ทำให้ตกตะกอนและอยู่ในรูปที่ไม่เป็นประโยชน์ (นุชนารถ, 2550)

2.6.2.9 สังกะสี (Zn) สังกะสีมีบทบาทเกี่ยวกับกระบวนการเมตาโบลิซึมของออกซิน (auxin) ซึ่งเป็นสารที่ควบคุมการเจริญเติบโตของพืช และยังมีหน้าที่ในการสร้างนิวคลี-โอไทด์ จึงเป็นธาตุที่จำเป็นต่อการสร้างคลอโรฟิลล์ และมีบทบาทในการสังเคราะห์โปรตีน ซึ่งการขาดสังกะสีในยางเล็กทำให้ต้นยางชะงักการเจริญเติบโต ใบมีขนาดเล็ก สีซีดเหลือง ในยางที่เปิดกรีดแล้วการขาดสังกะสีทำให้น้ำยางลดลง เนื่องจากการแบ่งตัวของเยื่อเจริญในผนังเซลล์ของการสร้างท่อน้ำยางลดลง ทำให้ดัชนีท่อน้ำยาง (latex vessel index) ลดลง (นุชนารถ, 2550)

2.6.2.10 ทองแดง (Cu) ทองแดงมีหน้าที่เกี่ยวกับการสร้างลิกนิน (lignin) เป็นส่วนประกอบของเอนไซม์กรดแอสคอบบิกออกซิเดส (ascorbic acid oxidase) ที่ช่วยในการเจริญเติบโตของพืช การขาดทองแดงที่รุนแรงทำให้ต้นยางแห้งตายจากยอด และในกรณีที่มีธาตุ

ทองแดงในน้ำยางสูงเกินไป (มากกว่า 8 มก./กก.) จะมีผลต่อกระบวนการออกซิเดชันของน้ำยาง ทำให้ยางเสื่อมคุณภาพ คือ ยางเหนียวเยิ้มง่ายเมื่อทำเป็นยางเครพ (นุชนารถ, 2550)

2.6.2.11 โบรอน (B) บทบาทของโบรอน 1) การเคลื่อนย้ายน้ำตาล 2) การสังเคราะห์ผนังเซลล์ และโครงสร้างของผนังเซลล์ 3) เมทาบอลิซึมของคาร์โบไฮเดรตกรดไรโบนิวคลีอิก (Ribonucleic acid : RNA) ในการสังเคราะห์โปรตีนกรดอินโดลอะซิติก (Indole-3-acetic acid : IAA) ออกซินสำหรับการเจริญเติบโตของพืช 4) การหายใจ (ยงยุทธ, 2552) โบรอนจึงจำเป็นต่อการเจริญเติบโต ถ้าขาดโบรอนทำให้ยางชะงักการเจริญเติบโต ใบยางมีรูปร่างบิดเบี้ยว แต่หากยางได้รับโบรอนมากเกินไปจนเป็นพิษ ขอบใบ และปลายใบของพืชจะมีสีเหลืองแล้วเปลี่ยนสีน้ำตาล และแห้งตาย (นุชนารถ, 2550)

2.6.2.12 โมลิบดินัม (Mo) โมลิบดินัมมีหน้าที่ในการสร้างโปรตีน และความเป็นประโยชน์ของธาตุโมลิบดินัมจะสูงเมื่อดินมี pH สูง ในดินปลูกยางพาราเมื่อ pH 4.0-5.5 จึงมีธาตุโมลิบดินัมในดินต่ำ แต่ยังไม่พบการขาดธาตุโมลิบดินัมในสวนยาง และพบว่า การใส่ปุ๋ยโมลิบดินัมจะมีผลในการเพิ่มน้ำยาง เนื่องจากการเพิ่มการดูดธาตุโมลิบดินัมของต้นยางจะมีผลในการสร้างไนโตรเจนเมตาโบลิซึม (N metabolism) (นุชนารถ, 2550)

2.7 สภาพแวดล้อมของพื้นที่ที่เหมาะสมต่อการปลูกยางพารา

ประเทศไทยตั้งอยู่ในเขตร้อน ระหว่างละติจูด 5 องศา 37 ลิปดาเหนือ กับ 20 องศา 27 ลิปดาเหนือ และระหว่างลองจิจูด 97 องศา 22 ลิปดาตะวันออก กับ 105 องศา 37 ลิปดาตะวันออก มีสภาพแวดล้อมเหมาะสมต่อการปลูกยาง โดยเฉพาะในภาคใต้ และภาคตะวันออกซึ่งเป็นแหล่งปลูกอย่างเดิม ต่อมาได้มีการขยายพื้นที่ปลูกยางไปยังแหล่งปลูกยางใหม่ทางภาคตะวันออกเฉียงเหนือ และภาคเหนือ ซึ่งมีข้อจำกัดในการปลูกยางมากกว่าพื้นที่ปลูกยางเดิม เช่น ความอุดมสมบูรณ์ของดิน ปริมาณน้ำฝน และการกระจายของฝน และบางพื้นที่เป็นที่สูง แต่เนื่องจากยางพาราสามารถปรับตัวให้เข้ากับสภาพแวดล้อมต่างๆ ได้ดี จึงสามารถปลูกยางได้เกือบทุกภาคของประเทศ อย่างไรก็ตามต้นยางในภาคใต้สามารถเปิดกรีดได้เมื่ออายุ 6.5 ปี และให้ผลผลิตเฉลี่ย 285 กิโลกรัมต่อไร่ต่อปี ขณะที่ต้นยางในภาคตะวันออกเฉียงเหนือให้ผลผลิตยางเฉลี่ย 221 กิโลกรัมต่อไร่ต่อปี สำหรับต้นยางในภาคเหนือให้ผลผลิตเฉลี่ย 260 กิโลกรัมต่อไร่ต่อปี ทั้งนี้ผลผลิตยางในแปลงเกษตรกรเป็นเพียงร้อยละ 67 ของผลผลิตทางวิชาการ (สถาบันวิจัยยาง, 2553) โดยพบว่าการให้ผลผลิตของต้นยางไม่ว่าผลผลิตน้ำยางหรือเนื้อไม้ขึ้นอยู่กับปัจจัย 3 ประการ คือ ความเหมาะสมของพื้นที่ พันธุ์ และการจัดการสวน ดังนั้นในการปลูกสร้างสวนยางนอกจากพิจารณาเลือกพันธุ์ยางและการจัดการที่ถูกต้องแล้ว ยังต้องพิจารณาความเหมาะสมของพื้นที่สำหรับปลูกยางด้วย เพราะปัจจัยด้านพื้นที่ไม่สามารถเลือกปลูกได้ ดังนั้น หากมีข้อมูลเกี่ยวกับสภาพพื้นที่ปลูกยาง ก็สามารถจัดการ เพื่อให้การปลูกสร้าง

สวนยางเป็นไปได้อย่างมีประสิทธิภาพ สถาบันวิจัยยาง (2550) ได้กำหนดลักษณะดินและพื้นที่ปลูกยางทางกายภาพ ที่เหมาะสมต่อการปลูกยางพารา ดังนี้

2.7.1 ลักษณะดิน ดินที่เหมาะสมในการปลูกยาง ควรมีหน้าตัดดินลึกไม่น้อยกว่า 1-1.5 เมตร เพื่อให้รากสามารถหยั่งลึกลงไปในดินได้อย่างมั่นคง หากหน้าตัดดินตื้น ทำให้ต้นยางพาราโค่นล้มได้ง่าย

2.7.2 ปริมาณน้ำฝน ปริมาณและการกระจายของฝนที่เหมาะสมต่อการเจริญเติบโตของต้นยางไม่ควรน้อยกว่า 1,500 มิลลิเมตรต่อปี และมีการกระจายของฝนประมาณ 100-150 วันต่อปี ต้นยางพาราหลังปลูกใหม่ๆ ต้องการปริมาณน้ำที่เพียงพอ และสม่ำเสมอประมาณ 4-6 เดือนในแหล่งปลูกยางเดิมของประเทศ

2.7.3 ความชื้นสัมพัทธ์ หากความชื้นสัมพัทธ์สูงจะสามารถปลูกยางได้ดี และให้ผลผลิตสูง แต่อาจเป็นเหตุให้เกิดโรคระบาดได้ ปกติยางพาราจะเติบโตได้ดีในพื้นที่ที่มีความชื้นสัมพัทธ์ประมาณร้อยละ 65-90 การเปลี่ยนแปลงของความชื้นสัมพัทธ์จะขึ้นอยู่กับปริมาณ และการกระจายตัวของน้ำฝน สำหรับต้นยางที่ปลูกใหม่เมื่อความชื้นต่ำเป็นเวลานานจะทำให้ต้นยางตายได้

2.7.4 อุณหภูมิ สำหรับอุณหภูมิเฉลี่ยตลอดทั้งปีที่เหมาะสมสำหรับปลูกยางไม่ควรต่างกันมาก คือ อยู่ระหว่าง 24-27 องศาเซลเซียส และอากาศหนาวทำให้ต้นยางแสดงอาการผิดปกติได้ เช่น ที่อุณหภูมิ 4-6 องศาเซลเซียส ใบอ่อนของยางพาราจะมีขอบใบสีดำ และจะเริ่มแห้งตาย ที่อุณหภูมิ 8-13 องศาเซลเซียส เป็นเวลานานมากกว่า 3 วันจะพบว่า ตรงบริเวณเปลือกของโคนต้นยางจะแตกล่อน น้ำยางจะไหลและจับเป็นก้อนแข็ง และบริเวณโคนต้นถึงรากแก้วจะแห้งตาย

2.7.5 ระดับความสูงจากน้ำทะเล ในการปลูกยางไม่ควรมีระดับความสูงจากน้ำทะเลเกิน 600 เมตร โดยทั่วไปยางพาราจะปลูกในพื้นที่ราบจนถึงพื้นที่สูงจากระดับน้ำทะเล 200 เมตร ความสูงจากระดับน้ำทะเลที่เพิ่มขึ้นทุกๆ 100 เมตร จะมีผลทำให้อุณหภูมิลดลง 0.5 องศาเซลเซียส ซึ่งอุณหภูมิที่ลดลงนี้มีผลต่อการเจริญเติบโตของต้นยาง

2.7.6 ความลาดเอียงหรือความชัน ความชันมีอิทธิพลต่อการเจริญเติบโต และให้ผลผลิตของยาง โดยทั่วไปความชันของพื้นที่ปลูกยางจะน้อยกว่า 12 องศา แต่สำหรับพื้นที่ปลูกยางที่เป็นภูเขา มีความชัน 40-60 องศา จะต้องปรับพื้นที่ปลูกเป็นแบบขั้นบันได จึงสามารถปลูกยางได้ดี เพราะพื้นที่ที่มีความชันมาก จะทำให้ดินไม่สามารถเก็บรักษาน้ำได้ ความชื้นต่ำ การเจริญเติบโตจะน้อย การปรับพื้นที่เป็นแบบขั้นบันไดมักทำเมื่อสภาพพื้นที่มีความชันมากกว่า 8 องศา ซึ่งความชันจะแปลผกผันกับการเจริญเติบโตของต้นยาง เช่น ยางที่อายุ 7.5 ปี ปลูกที่ความชัน 9-11 องศา ขนาดเส้นรอบวงของต้นยาง 51.2 เซนติเมตร ในขณะที่หากปลูกที่ความชัน 22-25 องศา เส้นรอบวงของต้นยางวัดได้ 46.8 เซนติเมตร

3. วัตถุประสงค์ของการวิจัย

3.1 ศึกษาความแตกต่างของปริมาณเนื้อยางแห้งที่ได้จากวิธีการต่างๆ

3.2 ศึกษาความแตกต่างของค่าวิเคราะห์ปริมาณธาตุอาหาร และองค์ประกอบทางชีวเคมีในน้ำยางที่เก็บจากตำแหน่งที่ต่างกัน

3.3 ศึกษาการเปลี่ยนแปลงของปริมาณธาตุอาหาร และองค์ประกอบทางชีวเคมีในน้ำยาง และปริมาณธาตุอาหารในใบยางพาราในรอบปี

3.4 ศึกษาหาความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณเนื้อยางแห้ง กับปริมาณธาตุอาหาร และองค์ประกอบทางชีวเคมีในน้ำยาง

4. ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับจากการวิจัย

4.1 เพื่อให้ได้วิธีการวิเคราะห์ปริมาณเนื้อยางแห้งที่สะดวกและเหมาะสมที่สุด

4.2 เพื่อให้ได้ตำแหน่งที่เหมาะสมในการเก็บตัวอย่างน้ำยางสำหรับวิเคราะห์ปริมาณธาตุอาหาร และองค์ประกอบทางชีวเคมีในน้ำยางที่พารา

4.3 เพื่อให้ได้ช่วงเวลาที่เหมาะสมในการเก็บตัวอย่างน้ำยาง สำหรับวิเคราะห์ปริมาณธาตุอาหารและองค์ประกอบทางชีวเคมีในน้ำยางพารา

4.4 เพื่อให้ได้ช่วงเวลาที่เหมะสมในการเก็บตัวอย่างใบยางสำหรับวิเคราะห์ปริมาณธาตุอาหารในใบยางพารา

4.5 เพื่อเป็นแนวทางในการจัดการการใส่ปุ๋ยเพื่อให้ได้เนื้อยางแห้งที่สูงขึ้น และจัดการระบบกรีดให้เหมาะสมกับสภาพต้นยางพารา

บทที่ 2

วัสดุ อุปกรณ์ และวิธีการ

1. วัสดุและสารเคมี

1.1 5,5´-ไดไธโอบิส (2-ไนโตรเบนโซอิคแอซิด) (5,5´-dithiobis(2-nitrobenzoic acid) : $C_{14}H_8N_2O_8S_2$)

1.2 กรดซัลฟิวริก (sulfuric acid : 98% w/w H_2SO_4)

1.3 กรดซาลิไซลิก (salicylic acid : $C_7H_6O_3$)

1.4 กรดไฮโดรคลอริก (hydrochloric acid : HCl)

1.5 กลูตาไธโอน (glutathione : $C_{10}H_{17}N_3O_6S$)

1.6 แคลเซียมคาร์บอเนต (calcium carbonate : $CaCO_3$)

1.7 ซูโครส (sucrose : $C_{12}H_{22}O_{11}$)

1.8 โซเดียมซาลิไซเลต (sodium salicylate : $NaC_7H_5O_3$)

1.9 โซเดียมไนโทรพรัสไซด์ (sodium nitroprussidedehydrate : $C_5FeN_6Na_2O.2H_2O$)

1.10 โซเดียมไฮดรอกไซด์ (sodium hydroxide : NaOH)

1.11 โซเดียมไฮโพคลอไรด์ (sodium hypochorite : NaClO)

1.12 ไดโซเดียมเอทีลีนไดเอมีนเตตระแอซิเตด (disodium ethylenediaminetetraacetate : Na_2EDTA)

1.13 ไดโซเดียมไฮโดรเจนฟอสเฟตไดไฮเดรต (disodium hydrogen phosphate dehydrate : $Na_2HPO_4.4H_2O$)

1.14 ไตรคลอโรอะซิติกแอซิด (trichloroaceticacid : CCl_3COOH)

1.15 ทริสไฮดรอกซีเมททิลอะมิโนมีเทน (tris(hydroxymethyl) –aminomethane : $C_4H_{11}NO_3$)

1.16 โพแทสเซียมไนเทรต (potassium nitrate : KNO_3)

1.17 โพแทสเซียมไดไฮโดรเจนฟอสเฟต (potassium dihydrogenphosphate : KH_2PO_4)

1.18 โพแทสเซียมคลอไรด์ (potassium chloride : KCl)

1.19 แมกนีเซียมซัลเฟตเฮปทาไฮเดรต (magnesium sulfate heptahydrate : $MgSO_4{\bullet}7H_2O$)
1.20 สทรอนเทียมคลอไรด์ (strontium chloride hexahydrate : $SrCl_2{\bullet}6H_2O$)
1.21 สารละลายมาตรฐานแคลเซียม (standard calcium : 1,000mg L^{-1})
1.22 สารละลายมาตรฐานโพแทสเซียม (standard potassium : 1,000 mg L^{-1})
1.23 สารละลายมาตรฐานแมกนีเซียม (standard magnesium : 1,000 mg L^{-1})
1.24 เอทีลีนไดเอมีนเตตระอะซิติกแอซิด (ethylenediaminetetraaceticacid : $C_{10}H_{16}N_2O_8$)
1.25 แอมโมเนียมซัลเฟต (ammonium sulfate : $(NH_4)_2SO_4$)
1.26 แอมโมเนียมเมทาวาเนเดต (ammonium metavanadate : NH_4VO_3)
1.27 แอมโมเนียมโมลิบเดต (ammonium molybdate : $(NH_4)_6Mo_7O_{24}.H_2O$)
1.28 แอนโทรน (anthrone : $C_{14}H_{10}O$)
1.29 ปุ๋ยผสมสูตร 29-5-18

2. อุปกรณ์

2.1 เตาให้ความร้อน (hot plate)
2.2 เครื่องกลั่นไนโตรเจน (nitrogen distillation apparatus)
2.3 เครื่องชั่งความละเอียด 0.01 และ 0.0001 กรัม
2.4 เครื่องวัดความเป็นกรดเป็นด่าง (pH meter)
2.5 เครื่องวัดสภาพการนำไฟฟ้า (EC meter)
2.6 เครื่องวิสิเบิลสเปกโทรโฟโทมิเตอร์ (visible spectrophotometer)
2.7 เครื่องอะตอมมิกแอบซอบชันสเปกโทโฟโทมิเตอร์ (atomic absorption spectrophotometer)
2.8 เครื่องแก้ววิทยาศาสตร์สำหรับเตรียมสารเคมีวิเคราะห์ดินและพืช
2.9 กระดาษกรองวัตแมน เบอร์ 1, 5 และ 50
2.10 โกร่งบดดินและตะแกรงร่อนดิน
2.11 เครื่องมือสำหรับเก็บตัวอย่างดินใบและน้ำยางพารา
2.12 อ่างน้ำควบคุมอุณหภูมิ (water bath)
2.13 โถดูดความชื้น (desiccator)

3. วิธีการทดลอง

การศึกษาเพื่อหาช่วงเวลาที่เหมาะสมต่อการเก็บตัวอย่างน้ำยาง เพื่อมาประเมินสถานะธาตุอาหารของยางพารา และปัจจัยที่ส่งผลต่อปริมาณเนื้อยางแห้งในน้ำยางพารา ประกอบด้วยประกอบด้วย 4 การทดลอง ดังนี้

3.1 เปรียบเทียบวิธีการหาค่าปริมาณเนื้อยางแห้ง

ศึกษาการหาค่าเนื้อยางแห้งในน้ำยางพารา โดยทำการสุ่มเก็บตัวอย่างน้ำยางจากสถานที่รับซื้อน้ำยางในอำเภอคลองหอยโข่ง จังหวัดสงขลา โดยเก็บน้ำยาง 3 สวน ที่มีปริมาณเนื้อยางแห้งอยู่ในระดับสูง (40%) กลาง (35%) และต่ำ (30%) วางแผนการทดลองแบบสุ่มอย่างสมบูรณ์ (Completely Randomized Design : CRD) ประกอบด้วย 4 ตำรับการทดลอง คือ 1) วิธีมาตรฐานในห้องปฏิบัติการ 2) วิธีตกตะกอนด้วยTrichloroaceticacid (TCA) 3) วิธีวัดด้วยการใช้เครื่องไมโครเวฟ และ 4) วิธีวัดโดยใช้การอบ ทำวิธีละ 3 ซ้ำ แต่ละวิธีมีรายละเอียดดังนี้

3.1.1 วิธีมาตรฐานในห้องปฏิบัติการ ชั่งน้ำยาง 10 กรัม ใส่บีกเกอร์ ขนาด 100 มิลลิลิตร เติมน้ำปราศจากไอออน (Deionized water) 20 มิลลิลิตร และเติมกรดอะซิติก (2% v/v) 20 มิลลิลิตร คนให้เข้ากันแล้วทิ้งให้ตกตะกอนประมาณ 30 นาที จากนั้นนำก้อนยางที่ได้มารีดให้เป็นแผ่นบางประมาณ 2 มิลลิเมตร แล้วนำไปอบในตู้อบที่อุณหภูมิ 70 องศาเซลเซียส ประมาณ 1 วัน จากนั้นนำมาวางให้เย็นในโถดูดความชื้นแล้วนำไปชั่งน้ำหนัก (พรพรรณ, 2529) และหาค่าเนื้อยางแห้งจากสูตร

เนื้อยางแห้ง (%) = (น้ำหนักยางหลังอบ x 100) / น้ำหนักน้ำยางสด

3.1.2 วิธีตกตะกอนด้วย Trichloroaceticacid (TCA) ใช้น้ำยาง : TCA (2.5% w/v TCA + 0.01% w/v EDTA) อัตราส่วน 1 : 9 โดยชั่งน้ำยาง 2 กรัม ใส่บีกเกอร์ ขนาด 50 มิลลิลิตร เติม TCA 18 มิลลิลิตร คนให้เข้ากันให้น้ำยางจับตัวเป็นก้อนจากนั้นนำก้อนยางที่ได้มารีดให้เป็นแผ่นบางประมาณ 2 มิลลิเมตร แล้วนำไปอบในเตาอบที่อุณหภูมิ 70 องศาเซลเซียส ประมาณ 1 วัน จากนั้นนำมาวางให้เย็นในโถดูดความชื้นแล้วนำไปชั่งน้ำหนัก บันทึกน้ำหนักที่แน่นอน (พเยาว์ และคณะ, 2546) และหาค่าเนื้อยางแห้งจากสูตร

เนื้อยางแห้ง (%) = (น้ำหนักยางหลังอบ x 100) / น้ำหนักน้ำยางสด

3.1.3 วิธีใช้เครื่องไมโครเวฟ โดยทำการชั่งน้ำยาง 0.87 กรัม ใส่ถ้วยเซรามิก นำไปอบในเครื่องไมโครเวฟที่อุณหภูมิสูงสุด (800 วัตต์) ประมาณ 3 นาทีจากนั้นนำมาวางให้เย็นในโถดูดความชื้นแล้วนำไปชั่งน้ำหนัก และหาค่าของแข็งทั้งหมดในน้ำยางโดยเทียบกลับเป็นน้ำยางสด 1 กรัม เพื่อหักส่วนของของแข็งอื่นที่ไม่ใช่เนื้อยางออกจากสูตร

เนื้อยางแห้ง (%) = น้ำหนักยางหลังอบ x 100

3.1.4 วิธีการอบ โดยทำการชั่งน้ำยาง 2 กรัม ใส่บีกเกอร์ ขนาด 50 มิลลิลิตร แล้วนำไปอบในเตาอบที่อุณหภูมิ 70 องศาเซลเซียส ประมาณ 1 วัน จากนั้นนำมาวางให้เย็นในโถดูดความชื้นแล้วนำไปชั่งน้ำหนัก และหาค่าของแข็งทั้งหมดในน้ำยางจากสูตร

เนื้อยางแห้ง (%) = (น้ำหนักยางหลังอบ x 100) / น้ำหนักน้ำยางสด

3.1.5 การวิเคราะห์ข้อมูล นำมาเปรียบเทียบความแตกต่างทางสถิติของค่าปริมาณเนื้อยางแห้งและปริมาณของแข็งทั้งหมดที่ได้จากทั้ง 4 วิธี โดยการวิเคราะห์ความแปรปรวนแบบทางเดียว (One-Way ANOVA) หาค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ (coefficient of correlation : r) ระหว่างค่าเนื้อยางแห้งที่ได้จากแต่ละวิธีและสร้างสมการหาความสัมพันธ์ระหว่างวิธีมาตรฐานในห้องปฏิบัติการและวิธีอบโดยเครื่องไมโครเวฟ

3.2 ศึกษาการเปลี่ยนแปลงของปริมาณธาตุอาหารและองค์ประกอบทางชีวเคมีในน้ำยาง และปริมาณธาตุอาหารในใบยางพาราในรอบปี

ทำการทดลองในแปลงยางพาราพันธุ์ RRIM 600 อายุ 15 ปีที่สถานีวิจัยเทพา คณะทรัพยากรธรรมชาติ โดยดำเนินการ และเก็บตัวอย่างดังนี้

3.2.1 การจัดแปลงการทดลอง

วางแผนการทดลองแบบสุ่มสมบูรณ์ จำนวน 2 ทรีตเมนท์ๆ ละ 3 ซ้ำ โดยใช้ 10 ต้นต่อ 1 ซ้ำ ประกอบด้วยทรีตเมนท์ที่มีการใส่ปุ๋ยสูตร 29-5-18 อัตรา 1 กิโลกรัมต่อต้นต่อปี และไม่มีการใส่ปุ๋ย ไม่วัดต้นที่เป็นต้นซ่อม และเว้นแถวที่อยู่ระหว่างส่วนใส่ปุ๋ย และไม่ใส่ปุ๋ย ทำสัญลักษณ์ที่ต้นแยกระหว่างแปลงที่ใส่ปุ๋ยสูตร 29-5-18 อัตรา 1 กิโลกรัมต่อต้นต่อปี และแปลงที่ไม่ใส่ปุ๋ย (รูปที่ 2.1)

3.2.2 การใส่ปุ๋ย

ใส่ปุ๋ยสูตร 29-5-18 อัตรา 1 กิโลกรัมต่อต้นต่อปี แบ่งใส่ปีละ 2 ครั้ง คือ ต้นฤดูฝน (ต้นเดือนพฤษภาคม) และปลายฤดูฝน (กลางเดือนตุลาคม) โดยการหว่านเป็นแนวยาวระหว่างแถว ใส่แนวละ 9 กิโลกรัมต่อครั้ง รวม 4 แถว

O	O	O	O	O	O	O	O	O	O
O	X_{1}	X_{11}	X_{21}	O	O	Y_{1}	Y_{11}	Y_{21}	O
O	X_{2}	X_{12}	X_{22}	O	O	Y_{2}	Y_{12}	Y_{22}	O
O	X_{3}	X_{13}	X_{23}	O	O	Y_{3}	Y_{13}	Y_{23}	O
O	X_{4}	X_{14}	X_{24}	O	O	Y_{4}	Y_{14}	Y_{24}	O
O	X_{5}	X_{15}	X_{25}	O	O	Y_{5}	Y_{15}	Y_{25}	O
O	X_{6}	X_{16}	X_{26}	O	O	Y_{6}	Y_{16}	Y_{26}	O
O	X_{7}	X_{17}	X_{27}	O	O	Y_{7}	Y_{17}	Y_{27}	O
O	X_{8}	X_{18}	X_{28}	O	O	Y_{8}	Y_{18}	Y_{28}	O
O	X_{9}	X_{19}	X_{29}	O	O	Y_{9}	Y_{19}	Y_{29}	O
O	X_{10}	X_{20}	X_{30}	O	O	Y_{10}	Y_{20}	Y_{30}	O
O	O	O	O	O	O	O	O	O	O

รูปที่ 2.1 แสดงแผนผังการเก็บตัวอย่างต้นยางที่ศึกษาข้อมูล

หมายเหตุ **O** = แถวควบคุม
X_{1} – X_{30}= ต้นที่ทำการเก็บข้อมูล (ใส่ปุ๋ย สูตร 29-5-18 อัตรา 1 กก./ต้น/ปี)
Y_{1} – Y_{30}= ต้นที่ทำการเก็บข้อมูล (ไม่ใส่ปุ๋ย)

3.2.3 การศึกษาข้อมูลผลผลิต ภูมิอากาศ ดิน ใบยาง และน้ำยาง

เก็บตัวอย่างดิน ใบยาง และน้ำยาง เพื่อวิเคราะห์สมบัติของดินบางประการ ปริมาณธาตุอาหารในตัวอย่างดิน ปริมาณธาตุอาหารในตัวอย่างใบและปริมาณธาตุอาหาร และองค์ประกอบทางชีวเคมีในน้ำยาง

3.2.3.1 การบันทึกข้อมูลภายในแปลงทดลอง ทำการบันทึกข้อมูลการเปลี่ยนแปลงของสิ่งแวดล้อมภายในแปลงทดลอง ได้แก่ อุณหภูมิ ปริมาณน้ำฝน และจำนวนวันกรีด แต่ละเดือนภายในแปลงทดลองทั้งส่วนที่ทำการใส่ปุ๋ย และไม่ใส่ปุ๋ย ตลอดระยะเวลาทำการทดลอง

3.2.3.2 การเก็บตัวอย่างดิน และวิเคราะห์สมบัติต่าง ๆของดิน เก็บตัวอย่างดินก่อนและหลังสิ้นสุดการทดลอง โดยสุ่มเก็บตัวอย่างดินรวม 10-15 จุด เพื่อให้เป็นตัวแทนของแต่ละแปลงย่อย เก็บตัวอย่างดินที่ความลึก 0-30 และ 30-50 เซนติเมตร จากผิวดิน นำตัวอย่างดินที่เก็บได้มาผึ่งลมให้แห้ง บดและร่อนผ่านตะแกรงขนาด 2 มิลลิเมตร เก็บใส่กระป๋องพลาสติก ปิดฝาให้สนิท เขียนรายละเอียดของตัวอย่าง ได้แก่ วันที่เก็บ สถานที่เก็บ

ตัวอย่างดินที่เตรียมไว้นำไปวิเคราะห์สมบัติของดินบางประการ และปริมาณธาตุอาหารต่าง ๆตามวิธี ดังนี้

1) **เนื้อดิน** โดยการวิเคราะห์หาปริมาณ sand silt และ clay ด้วยวิธี hydrometer (คณาจารย์ภาควิชาธรณีศาสตร์, 2550)

2) ปฏิกิริยาดิน (pH) ใช้ดิน : น้ำ อัตราส่วน 1 : 5 วัดด้วย pH meter (จำเป็น, 2547)

3) ค่าการนำไฟฟ้าของดิน (EC) ใช้ดิน: น้ำ อัตราส่วน 1 : 5 วัดด้วย EC meter (จำเป็น, 2547)

4) อินทรียวัตถุ (OM) โดยการวิเคราะห์หาปริมาณอินทรีย์คาร์บอนด้วยการออกซิไดซ์อินทรีย์คาร์บอนให้กลายเป็นก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ ด้วยสารละลายโพแทสเซียมไดโครเมต ความเข้มข้น 0.167 โมลาร์ในกรดกำมะถันเข้มข้น แล้ววิเคราะห์ไดโครเมตที่เหลือด้วยการไทเทรตกับสารละลายฟอรัสแอมโมเนียมซัลเฟตโดยใช้ 1-10phenanthrolineเป็นอินดิเคเตอร์ แล้วคำนวณปริมาณอินทรียวัตถุ โดยหลักการที่ว่า ในว่าอินทรียวัตถุประกอบด้วยคาร์บอนร้อยละ 58 (จำเป็น, 2547)

5) ปริมาณไนโตรเจนทั้งหมดในดิน (total N) ด้วยวิธีวิเคราะห์ของ Kjeldahl ทำการชั่งตัวอย่างดิน 1.00 กรัม (ทราบน้ำหนักที่แน่นอน) เติมกรดซัลฟิวริกเข้มข้น 3 มิลลิลิตร แล้วเติมสารเร่งปฏิกิริยาที่มีทองแดง โพแทสเซียมซัลเฟต และซีลีเนียม จากนั้นนำไปเติมด่างและกลั่นหาแอมโมเนียโดยมีกรดบอริกเป็นตัวจับแก๊สแอมโมเนีย แล้วไทเทรตหาแอมโมเนียที่ถูกจับในกรดบอริกด้วยสารละลายกรดที่ทราบความเข้มข้นที่แน่นอน (จำเป็น, 2547)

6) ฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์ (available P) สกัดด้วยสารละลาย Bray II (0.10 M HCl + 0.03 M NH_4F) แล้ววิเคราะห์ความเข้มข้นในสารละลายที่สกัดด้วยวิธี Molybdenum blue และวัดการดูดกลืนแสงด้วยเครื่อง Visible Spectrophotometer (จำเป็น, 2547)

7) โพแทสเซียม แคลเซียม และแมกนีเซียม ที่แลกเปลี่ยนได้ในดิน (exchangeable K, Ca, Mg) สกัดด้วยสารละลายแอมโมเนียมอะซิเทต (1 M NH_4OAc pH 7) แล้ววิเคราะห์ความเข้มข้นของโพแทสเซียม ในสารละลายสกัดด้วยเครื่อง Flame Photometer แคลเซียมและแมกนีเซียม ด้วยเครื่องAtomic absorption spectrophotometer (AAS) (จำเป็น, 2547)

8) ความจุแลกเปลี่ยนแคตไอออน (cation exchange capacity : CEC) ใช้แอมโมเนียมอะซิเทต (1 M NH_4OAc pH 7) ไล่ที่แคตไอออนที่ดินดูดซับไว้ นำดินมาล้างแอมโมเนียมส่วนเกินด้วยสารละลายเอธานอล (80% w/w) แล้วจึงไล่ที่แอมโมเนียมที่ดินดูดซับไว้ด้วยสารละลายโซเดียมคลอไรด์ (10% w/v + 0.048 M HCl) และนำสารละลายที่ได้ไปกลั่นหาแอมโมเนียม (จำเป็น, 2547)

3.2.3.3 การเก็บตัวอย่างใบและการวิเคราะห์ ทำการเก็บตัวอย่างใบเดือนละครั้ง จากพื้นที่ใส่ปุ๋ยและไม่ใส่แยกกัน เก็บจากตำแหน่งคู่ล่างหรือใบที่ 1 และ 2 ของฉัตรแรกของกิ่งในร่มระหว่างแถว โดยเก็บใบตามอายุในแต่ละเดือนนับจากการเริ่มผลิใบครั้งแรก ไม่เก็บ

ใบยางที่เป็นโรคเกิน 5 เปอร์เซ็นต์ ของพื้นที่ใบ เก็บตัวอย่างใบ 3 ซ้ำ ซ้ำละ 10 ต้นตามแถวที่แบ่งไว้ ต้นละ 10 ใบ นำใบที่ได้มาล้าง และเช็ดให้แห้ง นำไปอบที่อุณหภูมิ 70 องศาเซลเซียส นาน 48 ถึง 72 ชั่วโมง ใบยางที่อบแห้งแล้วนำใบบดด้วยเครื่องบดตัวอย่างพืช ร่อนผ่านตะแกรงขนาดขนาด 20 แมช แล้วเก็บไว้ เพื่อนำไปวิเคราะห์ความเข้มข้นของธาตุอาหารพืชต่าง ๆตาม วิธี ดังนี้

1) ไนโตรเจนทั้งหมดในพืช (total N) ด้วยวิธีวิเคราะห์ของ Kjeldahl ทำการย่อยตัวอย่างพืชโดยชั่งตัวอย่างพืช 0.1 กรัม (ทราบน้ำหนักที่แน่นอน) เติมกรดซัลฟิวริกเข้มข้น 3 มิลลิลิตร และสารเร่งปฏิกิริยาที่มีทองแดง โพแทสเซียมซัลเฟต และซีลีเนียม เป็นองค์ประกอบ จากนั้นนำไปเติมด่าง และกลั่นหาแอมโมเนียมโดยมีสารละลายกรดบอริกเป็นตัวจับแก๊สแอมโมเนีย หรือแอมโมเนียมไอออนแล้วไทเทรตหาแอมโมเนียมในกรดบอริกด้วยสารละลายกรดที่ทราบความเข้มข้นที่แน่นอน (จำเป็น, 2547)

2) ฟอสฟอรัส โพแทสเซียม แคลเซียม และแมกนีเซียม ทั้งหมดในพืช (total P, K, Ca, Mg) ย่อยตัวอย่างพืชด้วยกรดผสมไนทริกและเพอร์คลอริค (HNO_3 : $HClO_4$; 3:1) แล้ววิเคราะห์ความเข้มข้นของฟอสฟอรัสด้วยวิธี Vanadomolybdate วัดด้วยเครื่อง Visible Spectrophotometer วิเคราะห์โพแทสเซียมด้วยวิธี Atomic Emission Spectrophotometry วิเคราะห์แคลเซียม แมกนีเซียม ด้วยวิธี Atomic Absorption Spectrophotometry (จำเป็น, 2547)

3) คาร์โบไฮเดรตทั้งหมดในใบ วิเคราะห์คาร์โบไฮเดรตทั้งหมดในใบที่ไม่อยู่ในรูปโครงสร้าง (non-structural carbohydrate ; TNC) โดย ทำการชั่งตัวอย่างใบ 0.1 กรัม (ทราบน้ำหนักที่แน่นอน) ใส่ในหลอดเหวี่ยงพลาสติก เติมน้ำกลั่น 1 มิลลิลิตร และเติมกรดเพอร์คลอริก (52% w/v $HClO_4$) 1.3 มิลลิลิตร นำไปเขย่า 20 นาที กรองด้วยกระดาษกรองเบอร์ 5 โดยชะด้วยน้ำกลั่นครั้งละ 10 มิลลิลิตร 5 ครั้ง และปรับปริมาตรเป็น 100 มิลลิลิตร ปิเปตสารละลายมาตรฐานกลูโคส 0, 10. 20, 30, 40, 100 และ 200 มิลลิกรัมต่อลิตร และตัวอย่างมา 1 มิลลิลิตร ใส่ในหลอดทดลอง เติมสารละลายแอนโทรน (0.1% w/v) จำนวน 5 มิลลิลิตร และนำไปต้มในน้ำร้อนที่อุณหภูมิ 80 องศาเซลเซียสเป็นเวลา 14 นาที ตั้งไว้ให้สารละลายเย็น แล้วนำมาอ่านค่าการดูดกลืนคลื่นแสงของสารละลายที่ความยาวคลื่น 627 นาโนเมตร คำนวณความเข้มข้นของกลูโคสในหน่วยกรัมต่อกิโลกรัม (Osborne and Voogt, 1978 อ้างโดย พิรุณ, 2550)

3.2.3.4 การเก็บตัวอย่างน้ำยางและการวิเคราะห์องค์ประกอบทางชีวเคมีในน้ำยาง ทำการเก็บตัวอย่างน้ำยางและข้อมูลผลผลิตน้ำยางสดทุกเดือนตลอดการทดลองเดือนละ 2 ครั้ง โดยเก็บแยกจากพื้นที่ใส่ปุ๋ยและไม่ใส่ปุ๋ย การเก็บข้อมูลผลิตน้ำยางสดใช้วิธีชั่งจากถ้วยรองน้ำยางแยกแต่ละต้น ส่วนการเก็บตัวอย่างน้ำยางเพื่อวิเคราะห์ปริมาณองค์ประกอบ

ทางชีวเคมี และปริมาณธาตุหาร ใช้วิธีเจาะเก็บตัวอย่างที่บริเวณใต้รอยกรีด 5 เซนติเมตร เก็บตัวอย่างน้ำยาง 3 ซ้ำ ซ้ำละ 10 ต้นตามแถวที่แบ่งไว้ ต้นละ 10 หยดนำน้ำยางมาแบ่งเป็น 2 ส่วน คือ ส่วนแรกมาวิเคราะห์หาค่าปริมาณเนื้อยางแห้งและอีกส่วน นำน้ำยางมาตกตะกอนด้วย TCA (2.5% w/v TCA + 0.01% w/v EDTA) โดยใช้น้ำยาง : TCA ในอัตราส่วน 1 : 9 (น้ำยางถูกเจือจาง 10 เท่า) คนให้เข้ากันให้น้ำยางจับตัวเป็นก้อน แล้วกรองด้วยกระดาษวัดแมนเบอร์ 1 แล้วเก็บสารละลายส่วนที่ใสไว้ แช่น้ำแข็งระหว่างนำมาวิเคราะห์น้ำยางในห้องปฏิบัติการ สารละลายที่ได้เรียกว่า ซีรัมน้ำยางเตรียมไว้สำหรับหาปริมาณองค์ประกอบทางชีวเคมี (พเยาว์ และคณะ, 2546) และปริมาณธาตุหารในน้ำยาง พารามิเตอร์ต่างๆ ในน้ำยางพารา มีวิธีการวิเคราะห์ดังนี้

1) เปอร์เซ็นต์เนื้อยางแห้ง (ใช้วิธีการอบ) โดยทำการชั่งน้ำยาง 2 กรัม ใส่บีกเกอร์ ขนาด 50 มิลลิลิตร แล้วนำไปอบในเตาอบที่อุณหภูมิ 70 องศาเซลเซียส ประมาณ 1 วัน จากนั้นนำมาวางให้เย็นในโถดูดความชื้นแล้วนำไปชั่งน้ำหนัก และหาค่าปริมาณของแข็งทั้งหมดจากสูตร

เนื้อยางแห้ง (%) = (น้ำหนักยางหลังอบ x 100) / น้ำหนักน้ำยางสด

2) ซูโครสในซีรัม ใช้วิธี Anthrone โดยปิเปตสารละลายมาตรฐานซูโครส 0, 0.25, 0.50, 1.00 และ 1.50 มิลลิโมลาร์ และซีรัมน้ำยางมา 100 ไมโครลิตรผสมกับสารละลาย TCA 400 ไมโครลิตร และสารละลายแอนโทรน (1,000 มก./ลิตร) 3 มิลลิลิตร ใส่ในหลอดทดลองเขย่าให้เข้ากัน แล้วนำไปอุ่นที่ 90 องศาเซลเซียสนาน 5 นาที นำไปแช่น้ำให้สารละลายเย็น แล้วนำมาอ่านค่าการดูดกลืนคลื่นแสงของสารละลายที่ความยาวคลื่น 627 นาโนเมตร คำนวณความเข้มข้นของซูโครสในหน่วยมิลลิโมลาร์ (พเยาว์ และคณะ, 2546 ; Soumahin *et al.*, 2010)

3) อนินทรีย์ฟอสฟอรัสในซีรัม ใช้วิธี Yellow molybdovanadophosphoric acid method โดยปิเปตสารละลายมาตรฐานฟอสฟอรัสที่ความเข้มข้น 0, 1, 2, 3, 4 และ 5 มิลลิโมลาร์ และซีรัมน้ำยางมา 1 มิลลิลิตร ใส่ในหลอดทดลองเติมสารสำหรับทำปฏิกิริยา (NH_4VO_3 + $(NH_4)_6Mo_7O_{24}.H_2O$) ลงไปหลอดละ 3 มิลลิลิตรเขย่าให้เข้ากัน วางทิ้งไว้ 10 นาที แล้วนำมาอ่านค่าการดูดกลืนคลื่นแสงของสารละลายที่ความยาวคลื่น 410 นาโนเมตร คำนวณความเข้มข้น ของอนินทรีย์ฟอสฟอรัสในหน่วยมิลลิโมลาร์ (พเยาว์ และคณะ, 2546 ; Soumahin *et al.*, 2010)

4) ไทออลในซีรัม ใช้วิธี Enzymatic recycling method โดยปิเปตสารละลายมาตรฐานกลูต้าไทออล 0, 0.005, 0.01, 0.02 และ 0.04 มิลลิโมลาร์ และซีรัมน้ำยางมา 1 มิลลิลิตร เติมสารละลายทริสบัฟเฟอร์ (0.5 M $C_4H_{11}NO_3$) 1 มิลลิลิตร และสารละลายดีทีเอ็นบี (0.397% w/v DTNB + 0.710% w/v EDTA) 50 ไมโครลิตร ในหลอดทดลองที่มีฝาปิด เขย่า

แล้วทิ้งไว้ประมาณ 10 นาที แล้วนำมาอ่านค่าการดูดกลืนคลื่นแสงของสารละลายที่ความยาวคลื่น 412 นาโนเมตรคำนวณความเข้มข้นของไทออลในหน่วยมิลลิโมลาร์ (พเยาว์ และคณะ, 2546 ; Soumahin *et al*., 2010)

5) แอมโมเนียมในซีรัม ใช้วิธี Salicylate hypochlorite method โดยปิเปตสารละลายมาตรฐานแอมโมเนียม 0, 2, 4, 6 และ 8 มิลลิกรัมต่อลิตร และซีรัมน้ำยาง 0.5 มิลลิลิตร จากนั้นเติมสารละลายกรดเอทีลีนไดเอมีนเตตระแอซิติก (6% w/v Na_2EDTA) ลงไป 0.25 มิลลิลิตร สารละลายโซเดียมซาลิไซเลตโซเดียมไนโทรพรัสไซด์ (7.813% w/v $NaC_7H_5O_3$ + 0.125% w/v $C_5FeN_6Na_2O.2H_2O$) 0.75 มิลลิลิตร สารละลายบัฟเฟอร์ไฮโพคลอไรด์ (2.96% w/v NaOH + 9.96% w/v $Na_2HPO_4.4H_2O$ + 10% v/v NaClO) 0.50 มิลลิลิตร และน้ำกลั่นที่ปราศจากไอออน 2 มิลลิลิตร ในหลอดทดลอง เขย่า และนำไปต้มที่อุณหภูมิ 37 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 30 นาที แล้ววางทิ้งไว้ 10 นาที แล้วนำมาอ่านค่าการดูดกลืนคลื่นแสงของสารละลายที่ความยาวคลื่น 667 นาโนเมตรคำนวณความเข้มข้นของแอมโมเนียมในหน่วยมิลลิโมลาร์ (ดัดแปลงจาก Mulvaney, 1996)

6) ไนเทรตในซีรัม ปิเปตสารละลายมาตรฐานแอมโมเนียม 0, 1, 2, 4, และ 8 มิลลิกรัมต่อลิตร และซีรัมน้ำยางมา 0.5 มิลลิลิตร เติมสารละลายโซเดียมซาลิไซลิกที่อยู่ในกรดซัลฟิวริกเข้มข้น (5% w/v $C_7H_6O_3$) 1 มิลลิลิตร และสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ (4 M NaOH) 10 มิลลิลิตร ในขวดรูปชมพู่ขนาด 50 มิลลิลิตร เขย่า แล้ววางทิ้งไว้ 1 ชั่วโมง แล้วนำมาอ่านค่าการดูดกลืนคลื่นแสงของสารละลายที่ความยาวคลื่น 410 นาโนเมตรคำนวณความเข้มข้นของไนเทรตในหน่วยมิลลิโมลาร์ (จำเป็น, 2547)

7) โพแทสเซียมในซีรัม ใช้วิธี Atomic spectrophotometry method ใช้สารละลายมาตรฐานโพแทสเซียม 0, 20, 40, 60 และ 80 มิลลิกรัมต่อลิตร วัดหาโพแทสเซียมโดยใช้เครื่องเครื่องอะตอมมิกแอบซอบชันสเปกโตรโฟโทมิเตอร์เจือจางซีรัม 5 เท่า โดยใช้ซีรัม 1 มิลลิลิตร ผสมกับสารละลาย TCA 1 มิลลิลิตร และน้ำปราศจากไอออน 3 มิลลิลิตรคำนวณความเข้มข้นของโพแทสเซียมในหน่วยมิลลิโมลาร์ (จำเป็น, 2547)

8) แมกนีเซียมในซีรัม ใช้วิธี Atomic spectrophotometry method เตรียมสารละลายมาตรฐานแมกนีเซียม 0, 2, 5, 10 และ 15 มิลลิกรัมต่อลิตรในขวดวัดปริมาตรขนาด 100 มิลลิลิตร เติมสทรอนเทียม 1,000 มิลลิกรัมต่อลิตร ลงไป 10 มิลลิลิตร และปรับปริมาตรด้วยสารละลาย TCA เจือจางซีรัมน้ำยาง 5 เท่า และมีสทรอนเทียมเท่ากับในสารละลายมาตรฐาน โดยดูดซีรัมน้ำยางมา 2 มิลลิลิตร เติมสทรอนเทียม 1,000 มิลลิกรัมต่อลิตร ลงไป 1 มิลลิลิตร ผสมกับสารละลาย TCA 2 มิลลิลิตร และน้ำปราศจากไอออน 5 มิลลิลิตรวัดหาแมกนีเซียมโดยใช้เครื่องอะตอมมิกแอบซอบชันสเปกโตรโฟโทมิเตอร์ที่ความยาวคลื่น 202.6 นาโนเมตร คำนวณความเข้มข้นของแมกนีเซียมในหน่วยมิลลิโมลาร์ (จำเป็น, 2547)

9) แคลเซียมในซีรัม ใช้วิธี Atomic spectrophotometry method เตรียมสารละลายมาตรฐานแคลเซียม 0, 0.5, 1, 2 และ 3 มิลลิกรัมต่อลิตร ในขวดวัดปริมาตรขนาด 100 มิลลิลิตร เติมสทรอนเทียม 10,000 มิลลิกรัมต่อลิตร ลงไป 10 มิลลิลิตร และปรับปริมาตรด้วยสารละลาย TCA เจือจางซีรัมน้ำยาง 5 เท่าเช่นเดียวกับการหาแมกนีเซียมในซีรัมวัดหาแคลเซียมโดยใช้เครื่องอะตอมมิกแอบซอบชันสเปกโตรโฟโทมิเตอร์ที่ความยาวคลื่น 422.7 นาโนเมตร คำนวณความเข้มข้นของแคลเซียมในหน่วยมิลลิโมลาร์ (จำเป็น, 2547)

3.2.4 การวิเคราะห์ข้อมูล นำข้อมูลปริมาณองค์ประกอบทางชีวเคมีและปริมาณธาตุหารในน้ำยาง และปริมาณธาตุอาหารในใบยางพารามาเปรียบเทียบความแตกต่างทางสถิติทั้งของการใส่ปุ๋ยทั้ง 2 แบบ และความแตกต่างในรอบปี โดยการทดสอบสมมติฐานของกลุ่มตัวอย่าง 2 กลุ่มที่เป็นอิสระต่อกัน (independent samples t-test)

3.3 ศึกษาปริมาณธาตุอาหารและองค์ประกอบทางชีวเคมีในน้ำยางที่เก็บจากตำแหน่งที่ต่างกัน

เก็บตัวอย่างน้ำยางพาราจากแปลงสถานีวิจัยเทพา โดยใช้สวนเดียวกับการทดลองที่ 2 ทำการเก็บตัวอย่างน้ำยาง 2 ตำแหน่ง คือ ตำแหน่งใต้รอยกรีด 5 เซนติเมตร และที่ตำแหน่ง 170 เซนติเมตร จากพื้นดิน โดยทำการเจาะเก็บน้ำยางต้นละ 15 หยดต่อต้นต่อตำแหน่งทำการเก็บแปลงละ 3 ซ้ำ ซ้ำละ 10 ต้น นำน้ำยางมาแบ่งเป็น 2 ส่วน คือ ส่วนแรกมาวิเคราะห์หาปริมาณเนื้อยางแห้งและอีกส่วน นำน้ำยางมาตกตะกอนด้วย TCA โดยใช้น้ำยาง : TCA ในอัตราส่วน 1 : 9 คนให้เข้ากันให้น้ำยางจับตัวเป็นก้อน แล้วกรองด้วยกระดาษวัตแมนเบอร์ 1 แล้วเก็บสารละลายส่วนที่ใสไว้ แช่น้ำแข็งระหว่างนำมาวิเคราะห์น้ำยางในห้องปฏิบัติการ สารละลายที่ได้เรียกว่า ซีรัมน้ำยางเตรียมไว้สำหรับหาปริมาณองค์ประกอบทางชีวเคมี และปริมาณธาตุหารในน้ำยาง เก็บตัวอย่างน้ำยาง 4 ช่วงเวลาคือ ก่อนทำการใส่ปุ๋ย (ตุลาคม พ.ศ. 2554) หลังทำการใส่ปุ๋ย 1 เดือน (พฤศจิกายน พ.ศ. 2554) หลังทำการใส่ปุ๋ย 3 เดือน (มกราคม พ.ศ. 2555) และช่วงหยุดกรีดในหน้าแล้ง (เมษายน พ.ศ. 2555)

3.3.1 การวิเคราะห์ปริมาณองค์ประกอบทางชีวเคมี และปริมาณธาตุหารในน้ำยาง ทำเช่นเดียวกับการวิเคราะห์ตัวอย่างน้ำยางในการทดลองที่ 3.2

3.3.2 การวิเคราะห์ข้อมูล นำมาเปรียบเทียบความแตกต่างทางสถิติของปริมาณองค์ประกอบทางชีวเคมีและปริมาณธาตุหารในน้ำยางทั้ง 2 ตำแหน่ง โดยการทดสอบสมมติฐานของกลุ่มตัวอย่าง 2 กลุ่มที่เป็นอิสระต่อกัน (independent samples t-test)

3.4 ศึกษาหาความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณเนื้อยางแห้ง กับปริมาณธาตุอาหารและองค์ประกอบทางชีวเคมีในน้ำยาง

ทำการทดลองในพื้นที่ปลูกยางพาราในจังหวัดสงขลาจากอำเภอรัตภูมิ นาทวี และคลองหอยโข่งอำเภอละ 30 แปลง โดยเป็นแปลงก่อนเปิดกรีด 46 แปลง (3-5 ปี) และแปลงหลังเปิดกรีด 44 แปลง (7-9 ปี) ในแต่ละแปลงทำการสุ่มเลือกต้นที่มีสภาพการเจริญเติบโตใกล้เคียงกันเพื่อเป็นตัวแทนของแปลง แปลงละ 9 ต้น ซึ่งมีการดำเนินการ และเก็บตัวอย่าง ดังนี้

3.4.1 การศึกษา และเก็บตัวอย่างน้ำยาง

ทำการเก็บตัวอย่างน้ำยาง ทำการเก็บตัวอย่างน้ำยาง 2 ครั้งครั้งที่ 1 เก็บภายในเดือนกันยายน พ.ศ. 2554 (ให้ผลผลิตสูง) และครั้งที่ 2 เก็บภายในเดือนพฤษภาคม พ.ศ. 2555 (ให้ผลผลิตต่ำ) โดยการเก็บตัวอย่างน้ำยางในยางก่อนเปิดกรีดจะทำการเจาะเก็บที่ระดับความสูง 150 เซนติเมตรจากพื้นดิน และการเก็บตัวอย่างในยางหลังเปิดกรีดจะทำการเจาะเก็บจากบริเวณกึ่งกลางใต้รอยกรีด 5 เซนติเมตรเก็บตัวอย่างน้ำยางต้นละ10 หยด วิธีการวิเคราะห์ปริมาณองค์ประกอบทางชีวเคมี และปริมาณธาตุหารในน้ำยางทำเช่นเดียวกับการวิเคราะห์ตัวอย่างน้ำยางในการทดลองที่ 3.2

3.4.2 การวิเคราะห์ข้อมูล นำข้อมูลปริมาณองค์ประกอบทางชีวเคมี และปริมาณธาตุหารในน้ำยาง มาหาความสัมพันธ์กับค่าปริมาณเนื้อยางแห้งในน้ำยางโดยนำมาหาค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์รวมทั้งการวิเคราะห์หาความสัมพันธ์แบบแพทโคเอฟฟิเชียนท์ (path coefficient analysis) เพื่อศึกษาอิทธิพลทางตรงและอิทธิพลทางอ้อมของธาตุอาหารพืชและองค์ประกอบทางชีวเคมีที่ส่งผลต่อปริมาณเนื้อยางแห้ง

บทที่ 3

ผลการทดลอง

การศึกษานี้ประกอบด้วย 4 การศึกษาย่อย คือ 1) เปรียบเทียบวิธีการหาค่าปริมาณเนื้อยางแห้ง 2) การเปลี่ยนแปลงของปริมาณธาตุอาหารและองค์ประกอบทางชีวเคมีในน้ำยางและปริมาณธาตุอาหารในใบยางพาราในรอบปี 3) ปริมาณธาตุอาหารและองค์ประกอบทางชีวเคมีในน้ำยางที่เก็บจากตำแหน่งที่ต่างกัน และ 4) ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณเนื้อยางแห้งกับปริมาณธาตุอาหารและองค์ประกอบทางชีวเคมีในน้ำยาง มีผลการศึกษา ดังนี้

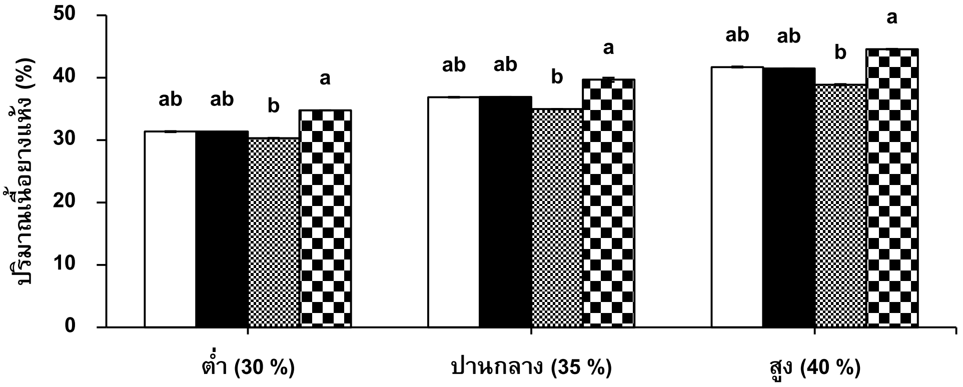
1. เปรียบเทียบวิธีการหาค่าปริมาณเนื้อยางแห้ง

1.1 ปริมาณเนื้อยางแห้งที่ได้จากวิธีการต่าง ๆ

การใช้วิธีการอบจะให้ปริมาณเนื้อยางแห้งที่สูงที่สุดทั้งสวนที่มีระดับของเนื้อยางแห้งที่ต่ำ (30%) ปานกลาง (35%) และสูง (40%) ซึ่งให้ค่าเท่ากับ 34.78, 39.67 และ 44.56 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ ในส่วนวิธีตกตะกอนด้วย TCA และวิธีมาตรฐานในห้องปฏิบัติการให้ปริมาณเนื้อยางแห้งที่ไม่แตกต่างกันทางสถิติ โดยระดับต่ำให้ค่าเท่ากับ 31.36 และ 31.37 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ ระดับปานกลางให้ค่าเท่ากับ 36.86 และ 36.93 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ และระดับสูงให้ค่าเท่ากับ 41.69 และ 41.47 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับและการใช้วิธีอบด้วยเครื่องไมโครเวฟจะให้เนื้อยางแห้งที่ต่ำที่สุดทั้งสวนที่มีระดับของเนื้อยางแห้งที่ต่ำ ปานกลาง และสูง ซึ่งให้ค่าเท่ากับ 30.31, 34.95 และ 38.87 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ (รูปที่ 3.1)

1.2 ความสัมพันธ์ของปริมาณเนื้อยางแห้งที่ได้จากวิธีการต่าง ๆ

ปริมาณเนื้อยางแห้งที่ได้จากทั้ง 4 วิธี มีความสัมพันธ์ในเชิงบวกสูง ความสัมพันธ์ของปริมาณเนื้อยางแห้งที่ได้จากวิธีตกตะกอนด้วย TCA (TCA) วิธีอบด้วยเครื่องไมโครเวฟ (Microwave) และวิธีการอบ (Oven) มีความสัมพันธ์กับค่าที่ได้จากวิธีมาตรฐานในห้องปฏิบัติการ (Laboratory) สูง โดยมีค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ (r) เท่ากับ 0.999, 0.999 และ 0.995 ตามลำดับ (ตารางที่ 3.1)



รูปที่ 3.1 ปริมาณเนื้อยางแห้งที่ได้จากวิธีมาตรฐานในห้องปฏิบัติการ (□), วิธีตกตะกอนด้วย TCA (■), วิธีอบด้วยเครื่องไมโครเวฟ (▩) และวิธีการอบ (▣)

หมายเหตุ : ตัวอักษรที่แตกต่างกัน หมายถึง มีความแตกต่างกันทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95%

ตารางที่ 3.1 สัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ระหว่างปริมาณเนื้อยางแห้งที่ได้จากทั้ง 4 วิธี

วิธีการ	**Laboratory**	**TCA**	**Microwave**	**Oven**
Laboratory	1	0.999**	0.999**	0.995**
TCA		1	0.999**	0.994**
Microwave			1	0.993**
Oven				1

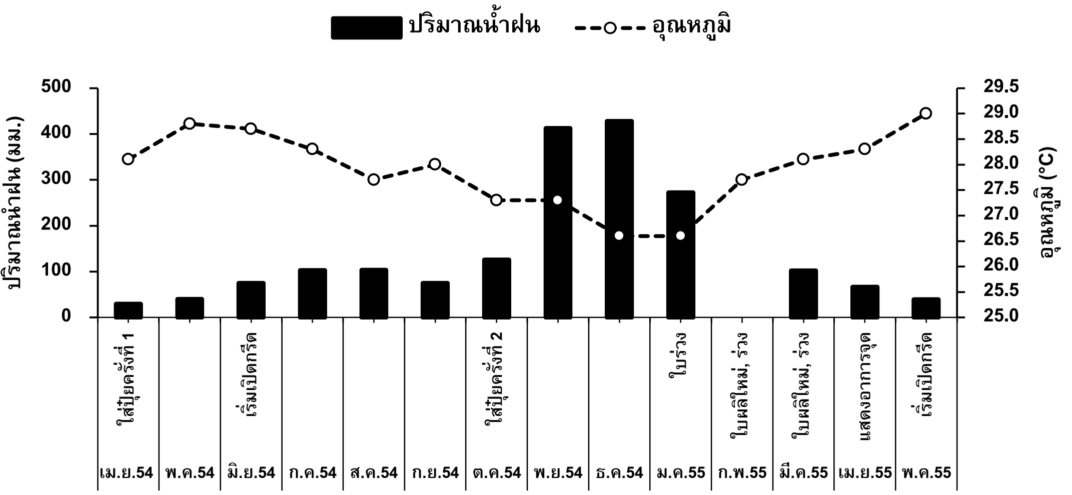
หมายเหตุ : ** = ค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์มีนัยสำคัญทางสถิติที่ 99%

2. การเปลี่ยนแปลงของปริมาณธาตุอาหารและองค์ประกอบทางชีวเคมีในน้ำยางและปริมาณธาตุอาหารในใบยางพาราในรอบปี

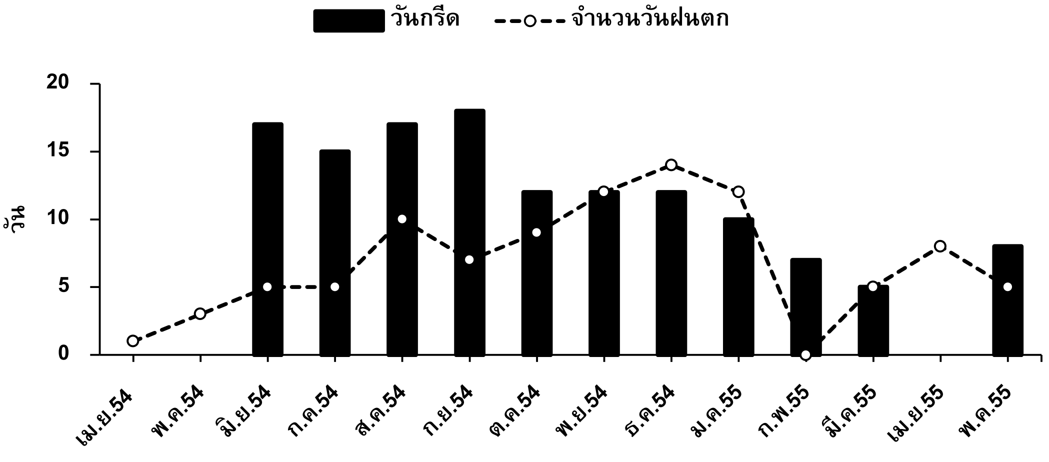
2.1 ปริมาณน้ำฝน อุณหภูมิ และสมบัติของดินในพื้นที่แปลงทดลอง

ในระหว่างที่ทำการทดลอง ปริมาณน้ำฝนในแต่ละเดือนมีปริมาณที่ไม่ค่อยแตกต่างกันมาก ยกเว้นในช่วงเดือนพฤศจิกายน พ.ศ. 2554 ถึงมกราคม พ.ศ. 2555 ที่มีปริมาณน้ำฝนสูงกว่าช่วงอื่นๆ ส่งผลให้มีอุณหภูมิต่ำกว่าช่วงอื่นๆ ในรอบปี (รูปที่ 3.2) และทำให้จำนวนวันกรีดยางในช่วงดังกล่าวต่ำกว่าในช่วงเดือนมิถุนายนถึงกันยายน พ.ศ. 2554 (รูปที่ 3.3) ในการทดลองครั้งนี้เริ่มต้นจากการใส่ปุ๋ยครั้งที่ 1 สูตร 29-5-18 อัตรา 500 กรัมต่อต้น ในเดือนเมษายน พ.ศ. 2554 และหยุดกรีดในระหว่างเดือนเมษายนถึงพฤษภาคม พ.ศ. 2554 เปิดกรีดในเดือนมิถุนายน พ.ศ. 2554 และใส่ปุ๋ยครั้งที่ 2 อัตราเดิมอีกครั้งในเดือนตุลาคม พ.ศ. 2554 เมื่อเข้าสู่เดือนมกราคม พ.ศ. 2555 ยางพาราเริ่มผลัดใบ และผลิใบใหม่เดือนกุมภาพันธ์ พ.ศ. 2555 เมื่อ

ใบอายุประมาณ 1 เดือน เกิดอาการใบอ่อนร่วงแล้วแตกใบใหม่อีกครั้งในเดือนมีนาคม พ.ศ. 2555 และหยุดกรีดยางในเดือนเมษายน พ.ศ. 2555 จากนั้นเริ่มเปิดกรีดในเดือนพฤษภาคม พ.ศ. 2555 ซึ่งเป็นช่วงแล้งอุณหภูมิสูง



รูปที่ 3.2 ปริมาณน้ำฝน อุณหภูมิเฉลี่ยรายเดือน และการดูแลรักษาสวนยางพาราในระหว่างทำการทดลอง



รูปที่ 3.3 จำนวนวันฝนตก และวันกรีดยางในระหว่างทำการทดลอง

2.2 สมบัติของดิน

ดินในแปลงทดลองจัดเป็นดินร่วนถึงดินร่วนเหนียว มีสมบัติเป็นกรดเล็กน้อยถึงปานกลาง มีค่าการนำไฟฟ้าต่ำ ดินมีปริมาณอินทรียวัตถุ ฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์และโพแทสเซียมที่แลกเปลี่ยนได้ต่ำ นอกจากนั้นพบว่า แมกนีเซียมและแคลเซียมในแปลงที่ไม่ใส่

ปุ๋ยสูงกว่าในแปลงที่ใส่ปุ๋ย (ตารางที่ 3.2) และหลังจากสิ้นสุดการทดลอง พบว่า แมกนีเซียมและแคลเซียมในแปลงที่ไม่ใส่ปุ๋ยได้ลดระดับความเข้มข้นลงจากช่วงก่อนการทดลอง (ตารางที่ 3.3)

ตารางที่ 3.2 สมบัติของดินก่อนการทดลอง

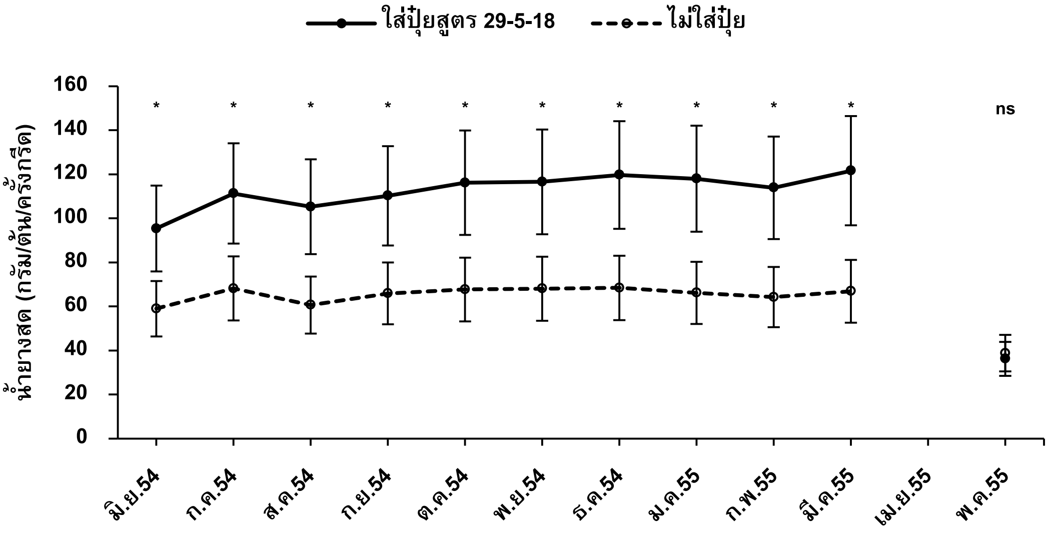
พารามิเตอร์	**แปลงใส่ปุ๋ย**		**แปลงไม่ใส่ปุ๋ย**	
	0-30 ซม.	**30-50 ซม.**	**0-30 ซม.**	**30-50 ซม.**
เนื้อดิน	Loam	Clay loam	Clay loam	Clay loam
pH (ดิน:น้ำ ; 1:5)	5.46	5.45	5.37	6.22
EC (dS/m) (ดิน:น้ำ ; 1:5)	0.025	0.018	0.095	0.091
อินทรียวัตถุ (g/kg)	10.15	6.09	11.87	7.76
C.E.C. (cmol$_c$/kg)	3.26	3.35	6.17	6.84
Total N (g/kg)	0.69	0.50	0.78	0.59
Avail. P (mg/kg)	4.87	2.08	6.67	3.93
Exch. K (cmol$_c$/kg)	0.08	0.03	0.10	0.05
Exch. Ca (cmol$_c$/kg)	0.20	0.14	1.59	1.61
Exch. Mg (cmol$_c$/kg)	0.06	0.04	1.38	1.11

ตารางที่ 3.3 สมบัติของดินหลังสิ้นสุดการทดลอง

พารามิเตอร์	**แปลงใส่ปุ๋ย**		**แปลงไม่ใส่ปุ๋ย**	
	0-30 ซม.	**30-50 ซม.**	**0-30 ซม.**	**30-50 ซม.**
เนื้อดิน	Loam	Clay loam	Clay loam	Clay loam
pH (ดิน:น้ำ ; 1:5)	5.11	4.57	4.37	4.31
EC (dS/m) (ดิน:น้ำ ; 1:5)	0.032	0.037	0.025	0.026
อินทรียวัตถุ (g/kg)	13.26	8.78	16.11	8.04
C.E.C. (cmol$_c$/kg)	4.08	4.72	4.90	4.02
Total N (g/kg)	0.99	0.70	0.98	0.58
Avail. P (mg/kg)	3.71	1.39	2.20	2.62
Exch. K (cmol$_c$/kg)	0.29	0.14	0.17	0.08
Exch. Ca (cmol$_c$/kg)	0.48	0.11	0.87	0.88
Exch. Mg (cmol$_c$/kg)	0.02	0.00	0.04	0.03

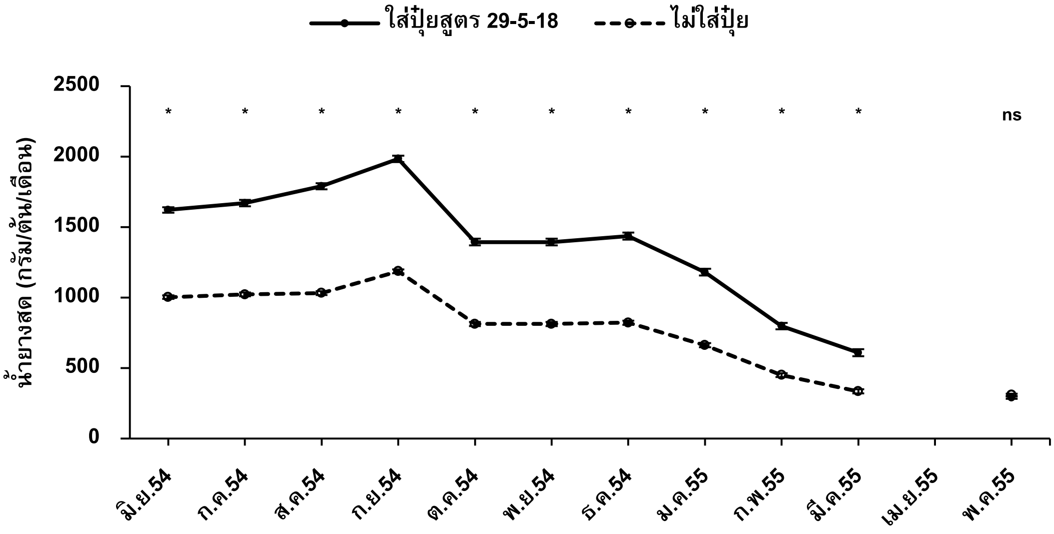
2.3 การเปลี่ยนแปลงของผลผลิตน้ำยางในรอบปี

ปริมาณผลผลิตน้ำยางสดเฉลี่ยในช่วงเดือนมิถุนายน พ.ศ. 2554 ถึงพฤษภาคม พ.ศ. 2555 จากแปลงที่มีการใส่ปุ๋ยเท่ากับ 97.05 กรัมต่อต้นต่อครั้งกรีด มีค่าสูงกว่าแปลงที่ไม่ใส่ปุ๋ย คือ 57.85 กรัมต่อต้นต่อครั้งกรีด อย่างเห็นได้ชัด แนวโน้มการเปลี่ยนแปลงของปริมาณผลผลิตน้ำยางสดทั้ง 2 แปลงเป็นไปในทิศทางเดียวกัน โดยผลผลิตน้ำยางสดจากแปลงที่มีการใส่ปุ๋ย และแปลงที่ไม่ใส่ปุ๋ยจะมีปริมาณต่ำสุดในเดือนพฤษภาคม พ.ศ. 2555 คือ 36.25 และ 38.82 กรัมต่อต้นต่อครั้งกรีด ตามลำดับ และมีค่าสูงสุดในเดือนมีนาคม พ.ศ. 2555 คือ 121.67 และ 66.91 กรัมต่อต้นต่อครั้งกรีด ตามลำดับ (รูปที่ 3.4) อย่างไรก็ตามในเดือนกันยายน พ.ศ. 2554 มีปริมาณผลผลิตน้ำยางสดต่อต้นต่อเดือนสูงที่สุด (รูปที่ 3.5) โดยมีค่าเท่ากับ 1,984.50 และ 1,186.36 กรัมต่อต้นต่อเดือน ในแปลงที่ใส่ปุ๋ยและไม่ใส่ ตามลำดับ หลังจากนั้นผลผลิตลดลงเล็กน้อยและค่อนข้างคงที่ในระหว่างเดือนตุลาคมถึงธันวาคม พ.ศ. 2554 และเมื่อเข้าสู่เดือนมกราคม พ.ศ. 2555 ผลผลิตน้ำยางต่อเดือนลดลงอย่างต่อเนื่องจนต่ำสุดในเดือนมีนาคม พ.ศ. 2555 โดยมีค่าเท่ากับ 608.33 และ 334.55 กรัมต่อต้นต่อเดือน ในแปลงที่ใส่ปุ๋ยและไม่ใส่ปุ๋ยตามลำดับ และหยุดกรีดในเดือนเมษายน พ.ศ. 2555



รูปที่ 3.4 การเปลี่ยนแปลงของปริมาณผลผลิตน้ำยางสดต่อต้นต่อครั้งกรีด (ค่าเฉลี่ยจาก 30 ต้น)

หมายเหตุ : I = ค่าความคลาดเคลื่อนมาตรฐาน, * = แตกต่างทางสถิติที่ระดับ $P \leq 0.05$, ns = ไม่แตกต่างทางสถิติ

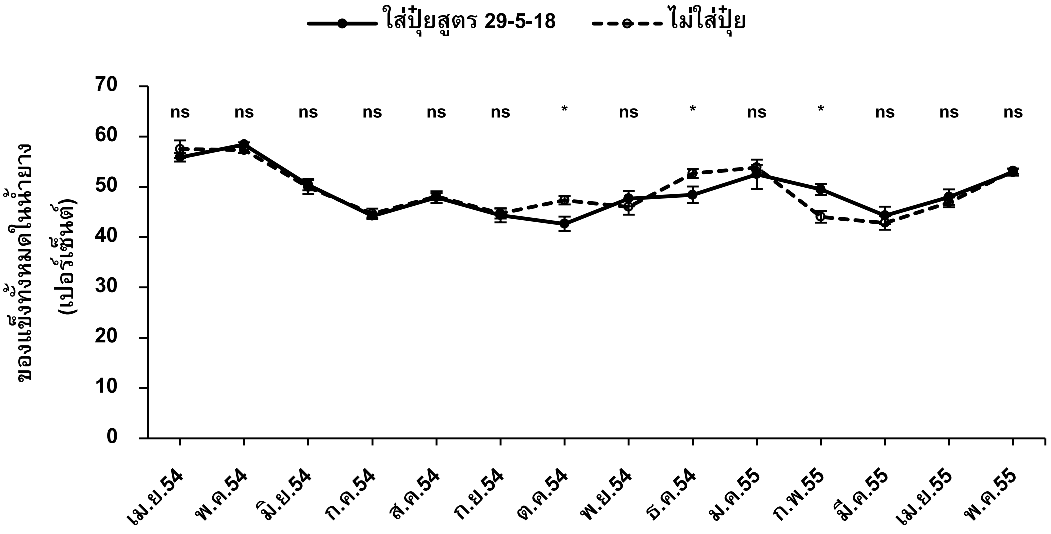


รูปที่ 3.5 การเปลี่ยนแปลงของปริมาณผลผลิตน้ำยางสดต่อต้นต่อเดือน (ค่าเฉลี่ยจาก 30 ต้น)

หมายเหตุ : I = ค่าความคลาดเคลื่อนมาตรฐาน, * = แตกต่างทางสถิติที่ระดับ $P \leq 0.05$, ns = ไม่แตกต่างทางสถิติ

2.4 การเปลี่ยนแปลงของธาตุอาหารและองค์ประกอบทางชีวเคมีในน้ำยางในรอบปี

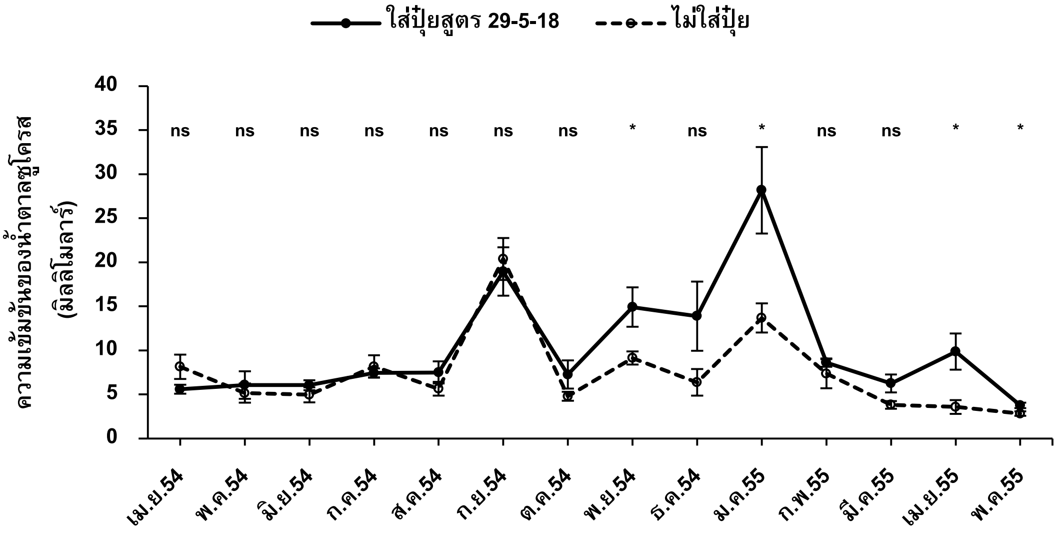
2.4.1 ของแข็งทั้งหมดในน้ำยางพารา ปริมาณของแข็งทั้งหมดในน้ำยางพาราเฉลี่ยในช่วงเดือนเมษายน พ.ศ. 2554 ถึงพฤษภาคม พ.ศ. 2555 จากแปลงที่มีการใส่ปุ๋ย เท่ากับ 49.08 เปอร์เซ็นต์ โดยมีปริมาณใกล้เคียงกับแปลงที่ไม่ใส่ปุ๋ย คือ 49.22 เปอร์เซ็นต์ แนวโน้มการเปลี่ยนแปลงของของแข็งทั้งหมดในน้ำยางพาราทั้ง 2 แปลงเป็นไปในทิศทางเดียวกัน ปริมาณของแข็งทั้งหมดในน้ำยางจะมีค่าสูงในช่วงเดือนเมษายนถึงพฤษภาคม พ.ศ. 2554 โดยแปลงที่มีการใส่ปุ๋ย และแปลงที่ไม่ใส่ปุ๋ยมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 57.16 และ 57.42 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ และลดต่ำลงในช่วงเดือนพฤษภาคมถึงตุลาคม พ.ศ. 2554 มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 48 และ 48.69 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ และในช่วงเดือนมกราคมถึงมีนาคม พ.ศ. 2555 ปริมาณของแข็งทั้งหมดในน้ำยางลดลงต่ำอีกครั้ง มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 48.77 และ 46.92 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ นอกจากนี้ผลการทดลองยังแสดงให้เห็นอีกว่า ปริมาณของแข็งทั้งหมดในน้ำยางจะมีการเปลี่ยนแปลงน้อยที่สุดในช่วงเดือนพฤศจิกายนถึงธันวาคม พ.ศ. 2554 โดยแปลงที่มีการใส่ปุ๋ย และแปลงที่ไม่ใส่ปุ๋ยมีค่าอยู่ในช่วง 47.68-48.41 เปอร์เซ็นต์ และ 46.01-52.66 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ (รูปที่ 3.6)



รูปที่ 3.6 การเปลี่ยนแปลงของปริมาณของแข็งทั้งหมดในน้ำยาง (ค่าเฉลี่ยจาก 3 ซ้ำ)

หมายเหตุ : I = ค่าความคลาดเคลื่อนมาตรฐาน, * = แตกต่างทางสถิติที่ระดับ $P \leq 0.05$, ns = ไม่แตกต่างทางสถิติ

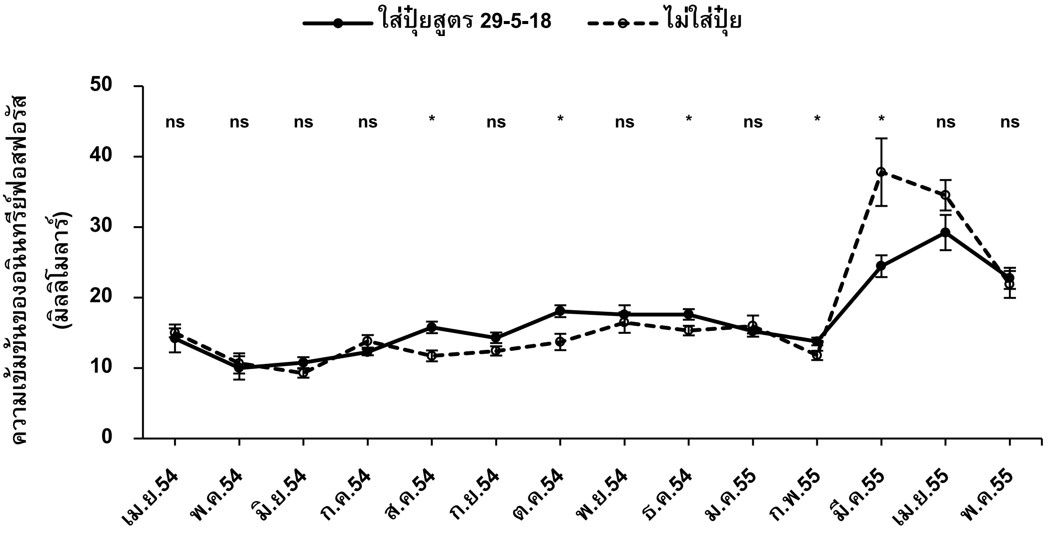
2.4.2 ซูโครส ความเข้มข้นของซูโครสในน้ำยางพาราเฉลี่ยในช่วงเดือนเมษายน พ.ศ. 2554 ถึงพฤษภาคม พ.ศ. 2555 จากแปลงที่มีการใส่ปุ๋ย เท่ากับ 11.04 มิลลิโมลาร์ มีแนวโน้มที่สูงกว่าแปลงที่ไม่ใส่ปุ๋ย คือ 7.43 มิลลิโมลาร์ แนวโน้มการเปลี่ยนแปลงของซูโครสในน้ำยางพาราทั้ง 2 แปลงเป็นไปในทิศทางเดียวกัน ความเข้มข้นของซูโครสจะมีค่าต่ำในช่วงเดือนเมษายนถึงสิงหาคม พ.ศ. 2554 โดยแปลงที่มีการใส่ปุ๋ย และแปลงที่ไม่ใส่ปุ๋ยมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 6.53 และ 8.74 มิลลิโมลาร์ ตามลำดับ และเพิ่มขึ้นในเดือนกันยายน พ.ศ. 2554 มีค่าเท่ากับ 18.96 และ 20.38 มิลลิโมลาร์ ตามลำดับ และลดลงอีกในช่วงเดือนตุลาคมถึงธันวาคม พ.ศ. 2554 มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 12.07 และ 6.76 มิลลิโมลาร์ ตามลำดับ โดยในช่วงเดือนตุลาคม พ.ศ. 2554 ถึงมกราคม พ.ศ. 2555 ความเข้มข้นของน้ำตาลซูโครสจากแปลงที่มีการใส่ปุ๋ยมีค่าสูงกว่าแปลงที่ไม่ใส่ปุ๋ยอย่างเห็นได้ชัดมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 18.59 และ 8.49 มิลลิโมลาร์ ตามลำดับ นอกจากนี้ผลการทดลองยังแสดงให้เห็นอีกว่า ความเข้มข้นของซูโครสจะมีการเปลี่ยนแปลงน้อยที่สุดในช่วงเดือนมิถุนายนถึงกรกฎาคม พ.ศ. 2554 โดยแปลงที่มีการใส่ปุ๋ยและแปลงที่ไม่ใส่ปุ๋ยมีค่าอยู่ในช่วง 6.06-7.45 มิลลิโมลาร์ และ 4.97-8.17 มิลลิโมลาร์ ตามลำดับ (รูปที่ 3.7)



รูปที่ 3.7 การเปลี่ยนแปลงของความเข้มข้นของน้ำตาลซูโครสในน้ำยาง (ค่าเฉลี่ยจาก 3 ซ้ำ)

หมายเหตุ : I = ค่าความคลาดเคลื่อนมาตรฐาน, * = แตกต่างทางสถิติที่ระดับ $P \leq 0.05$, ns = ไม่แตกต่างทางสถิติ

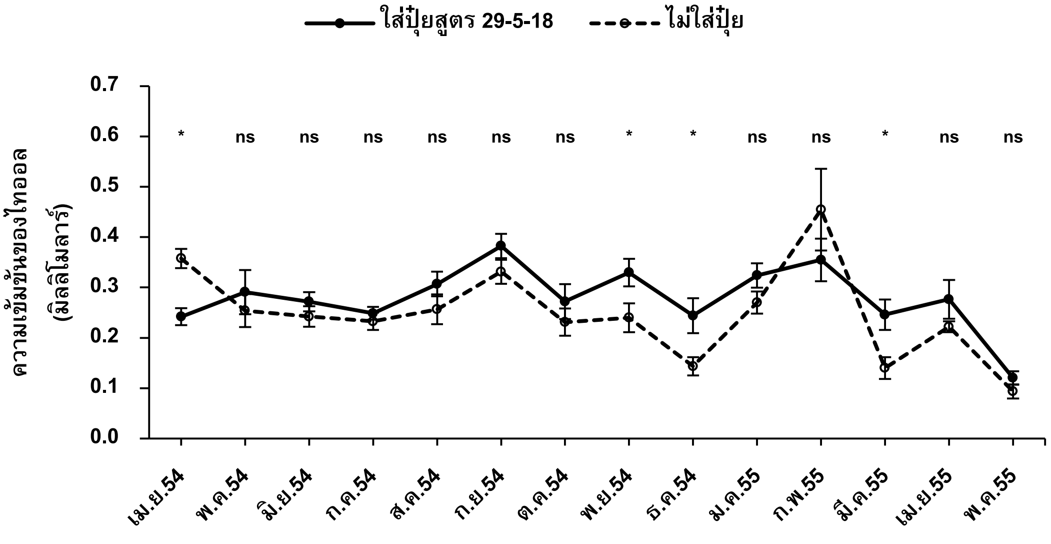
2.4.3 อนินทรีย์ฟอสฟอรัส ความเข้มข้นของอนินทรีย์ฟอสฟอรัสในน้ำยางพาราเฉลี่ยในช่วงเดือนเมษายน พ.ศ. 2554 ถึงพฤษภาคม พ.ศ. 2555 จากแปลงที่มีการใส่ปุ๋ย เท่ากับ 16.85 มิลลิโมลาร์ มีแนวโน้มที่ต่ำกว่าแปลงที่ไม่ใส่ปุ๋ยเล็กน้อย คือ 17.16 มิลลิโมลาร์ แนวโน้มการเปลี่ยนแปลงของอนินทรีย์ฟอสฟอรัสในน้ำยางพาราทั้ง 2 แปลงเป็นไปในทิศทางเดียวกัน ความเข้มข้นของอนินทรีย์ฟอสฟอรัสจะมีค่าต่ำในช่วงเดือนพฤษภาคมถึงมิถุนายน พ.ศ. 2554 โดยแปลงที่มีการใส่ปุ๋ย และแปลงที่ไม่ใส่ปุ๋ยมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 10.39 และ 9.97 มิลลิโมลาร์ ตามลำดับ และจะเพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่องในเดือนกรกฎาคมถึงธันวาคม พ.ศ. 2554 มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 15.92 และ 13.9 มิลลิโมลาร์ ตามลำดับ ความเข้มข้นของอนินทรีย์ฟอสฟอรัสในน้ำยางจากแปลงที่มีการใส่ปุ๋ย และแปลงที่ไม่ใส่ปุ๋ยจะมีค่าสูงสุดในเดือนมีนาคมถึงเมษายน พ.ศ. 2555 มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 26.84 และ 36.16 มิลลิโมลาร์ ตามลำดับ นอกจากนี้ผลการทดลองยังแสดงให้เห็นอีกว่า ความเข้มข้นของอนินทรีย์ฟอสฟอรัสจะมีการเปลี่ยนแปลงน้อยที่สุดในช่วงเดือนพฤศจิกายนถึงธันวาคม พ.ศ. 2554 โดยแปลงที่มีการใส่ปุ๋ย และแปลงที่ไม่ใส่ปุ๋ยมีค่าอยู่ในช่วง 17.57-17.6 มิลลิโมลาร์และ 16.46-15.33 มิลลิโมลาร์ ตามลำดับ (รูปที่ 3.8)



รูปที่ 3.8 การเปลี่ยนแปลงของความเข้มข้นของอนินทรีย์ฟอสฟอรัสในน้ำยาง (ค่าเฉลี่ยจาก 3 ซ้ำ)

หมายเหตุ : I = ค่าความคลาดเคลื่อนมาตรฐาน, * = แตกต่างทางสถิติที่ระดับ $P \leq 0.05$, ns = ไม่แตกต่างทางสถิติ

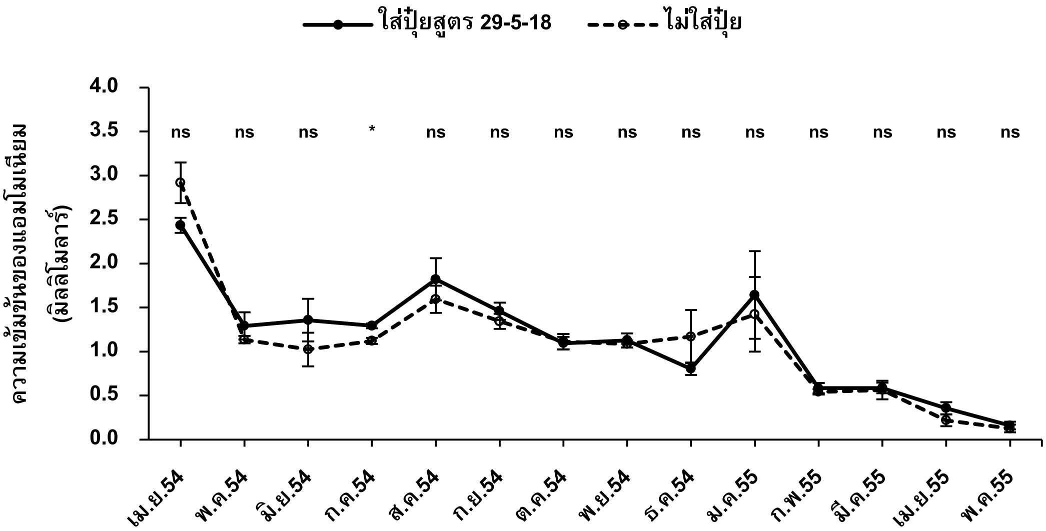
2.4.4 ไทออล ความเข้มข้นของไทออลในน้ำยางพาราเฉลี่ยในช่วงเดือนเมษายน พ.ศ. 2554 ถึงพฤษภาคม พ.ศ.2555 จากแปลงที่มีการใส่ปุ๋ย เท่ากับ 0.28 มิลลิโมลาร์ มีความเข้มข้นใกล้เคียงกับแปลงที่ไม่ใส่ปุ๋ย คือ 0.25 มิลลิโมลาร์ แนวโน้มการเปลี่ยนแปลงของไทออลในน้ำยางพาราทั้ง 2 แปลงเป็นไปในทิศทางเดียวกัน ความเข้มข้นของไทออลจะมีค่าต่ำในช่วงเดือนพฤษภาคมถึงกรกฎาคม พ.ศ. 2554 โดยแปลงที่มีการใส่ปุ๋ย และแปลงที่ไม่ใส่ปุ๋ยมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 0.27 และ 0.24 มิลลิโมลาร์ ตามลำดับ และเพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่องในช่วงเดือนกรกฎาคม พ.ศ. 2554 ไปจนถึงมกราคม พ.ศ. 2555 โดยมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 0.30 และ 0.24 มิลลิโมลาร์ ตามลำดับ ความเข้มข้นของไทออลในน้ำยางพาราจากแปลงที่มีการใส่ปุ๋ย และแปลงที่ไม่ใส่ปุ๋ยมีความเข้มข้นสูงสุดในเดือนกุมภาพันธ์ พ.ศ. 2555 มีค่าเท่ากับ 0.35 และ 0.45 มิลลิโมลาร์ ตามลำดับ และลดลงต่ำสุดในเดือนพฤษภาคม พ.ศ. 2555 มีค่าเท่ากับ 0.12 และ 0.09 มิลลิโมลาร์ ตามลำดับ นอกจากนี้ผลการทดลองยังแสดงให้เห็นอีกว่า ความเข้มข้นของไทออลจะมีการเปลี่ยนแปลงน้อยที่สุดในช่วงเดือนมิถุนายนถึงกรกฎาคม พ.ศ. 2554 โดยแปลงที่มีการใส่ปุ๋ย และแปลงที่ไม่ใส่ปุ๋ยมีค่าอยู่ในช่วง 0.27-0.25 มิลลิโมลาร์ และ 0.24-0.23 มิลลิโมลาร์ ตามลำดับ (รูปที่ 3.9)



รูปที่ 3.9 การเปลี่ยนแปลงของความเข้มข้นของไทออลในน้ำยาง (ค่าเฉลี่ยจาก 3 ซ้ำ)

หมายเหตุ : I = ค่าความคลาดเคลื่อนมาตรฐาน, * = แตกต่างทางสถิติที่ระดับ $P \leq 0.05$, ns = ไม่แตกต่างทางสถิติ

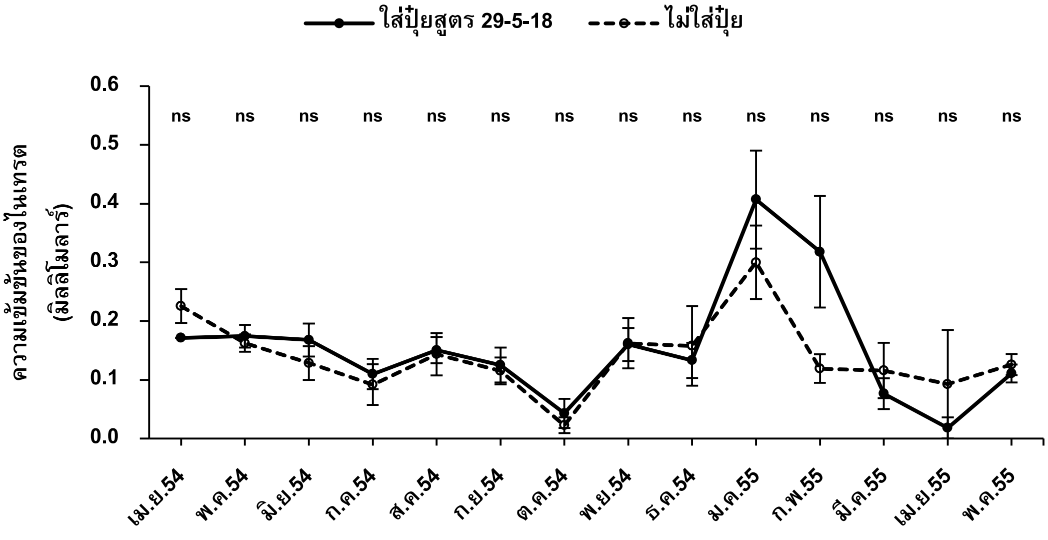
2.4.5 แอมโมเนียม ความเข้มข้นของแอมโมเนียมในน้ำยางพาราเฉลี่ยในช่วงเดือนเมษายน พ.ศ. 2554 ถึงพฤษภาคม พ.ศ. 2555 จากแปลงที่มีการใส่ปุ๋ย เท่ากับ 1.14 มิลลิโมลาร์ มีแนวโน้มที่สูงกว่าแปลงที่ไม่ใส่ปุ๋ย คือ 1.1 มิลลิโมลาร์ แนวโน้มการเปลี่ยนแปลงของแอมโมเนียมในน้ำยางพาราทั้ง 2 แปลงเป็นไปในทิศทางเดียวกัน ความเข้มข้นของแอมโมเนียมจะมีค่าสูงสุดในเดือนเมษายน พ.ศ. 2554 โดยแปลงที่มีการใส่ปุ๋ย และแปลงที่ไม่ใส่ปุ๋ยมีค่าเท่ากับ 2.43 และ 2.92 มิลลิโมลาร์ ตามลำดับ และลดต่ำลงในช่วงเดือนพฤษภาคมถึงมิถุนายน พ.ศ. 2554 มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 1.32 และ 1.08 มิลลิโมลาร์ ตามลำดับ และมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นในเดือนสิงหาคม พ.ศ. 2554 คือ 1.82 และ 1.6 มิลลิโมลาร์ ตามลำดับ หลังจากเดือนสิงหาคม พ.ศ. 2554 ความเข้มข้นของแอมโมเนียมมีแนวโน้มลดลงอย่างต่อเนื่องไปจนถึงเดือนธันวาคม พ.ศ. 2554 มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 1.26 มิลลิโมลาร์ และเพิ่มสูงขึ้นในเดือนมกราคม พ.ศ. 2555 คือ 1.64 และ 1.42 มิลลิโมลาร์ ตามลำดับ และลดลงอย่างต่อเนื่องไปจนถึงเดือนพฤษภาคม พ.ศ. 2555 โดยลดลงต่ำสุดในเดือนพฤษภาคม พ.ศ. 2555 มีค่าเท่ากับ 0.16 และ 0.13 มิลลิโมลาร์ ตามลำดับ นอกจากนี้ผลการทดลองยังแสดงให้เห็นอีกว่า ความเข้มข้นของแอมโมเนียมจะมีการเปลี่ยนแปลงน้อยที่สุดในช่วงเดือนตุลาคมถึงพฤศจิกายน พ.ศ. 2554 โดยแปลงที่มีการใส่ปุ๋ย และแปลงที่ไม่ใส่ปุ๋ยมีค่าอยู่ในช่วง 1.1-1.13 มิลลิโมลาร์ และ 1.11-1.09 มิลลิโมลาร์ ตามลำดับ (รูปที่ 3.10)



รูปที่ 3.10 การเปลี่ยนแปลงของความเข้มข้นของแอมโมเนียมในน้ำยาง (ค่าเฉลี่ยจาก 3 ซ้ำ)

หมายเหตุ : I = ค่าความคลาดเคลื่อนมาตรฐาน, * = แตกต่างทางสถิติที่ระดับ P≤0.05, ns = ไม่แตกต่างทางสถิติ

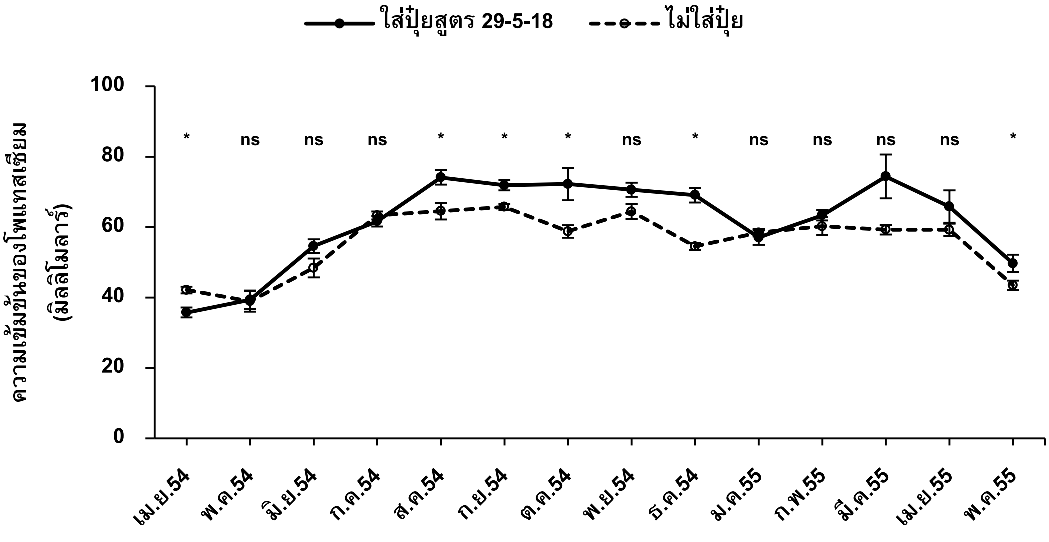
2.4.6 ไนเทรต ความเข้มข้นของไนเทรตในน้ำยางพาราเฉลี่ยในช่วงเดือนเมษายน พ.ศ. 2554 ถึงพฤษภาคม พ.ศ. 2555 จากแปลงที่มีการใส่ปุ๋ย เท่ากับ 0.15 มิลลิโมลาร์ มีความเข้มข้นใกล้เคียงกับแปลงที่ไม่ใส่ปุ๋ย คือ 0.14 มิลลิโมลาร์ แนวโน้มการเปลี่ยนแปลงของไนเทรตในน้ำยางพาราทั้ง 2 แปลงเป็นไปในทิศทางเดียวกัน ความเข้มข้นของไนเทรตจะลดต่ำลงจากเดือนเมษายน พ.ศ. 2554 ในช่วงเดือนพฤษภาคมถึงตุลาคม พ.ศ. 2554 มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 0.13 และ 0.11 มิลลิโมลาร์ ตามลำดับ และเพิ่มสูงขึ้นไปจนถึงเดือนมกราคม พ.ศ. 2555 ซึ่งมีค่าสูงสุดในเดือนมกราคม พ.ศ.2555 โดยแปลงที่มีการใส่ปุ๋ย และแปลงที่ไม่ใส่ปุ๋ยมีค่าเท่ากับ 0.41 และ 0.3 มิลลิโมลาร์ ตามลำดับ และมีค่าต่ำสุดในเดือนตุลาคม พ.ศ. 2554 เท่ากับ 0.04 และ 0.02 มิลลิโมลาร์ ตามลำดับ โดยหลังจากเดือนมกราคม พ.ศ. 2555 ความเข้มข้นของไนเทรตมีแนวโน้มลดต่ำลงไปจนถึงเดือนพฤษภาคม พ.ศ. 2555 มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 0.13 และ 0.11 มิลลิโมลาร์ ตามลำดับ นอกจากนี้ผลการทดลองยังแสดงให้เห็นอีกว่า ความเข้มข้นของไนเทรตจะมีการเปลี่ยนแปลงน้อยที่สุดในช่วงเดือนพฤศจิกายนถึงธันวาคม พ.ศ. 2554 โดยแปลงที่มีการใส่ปุ๋ย และแปลงที่ไม่ใส่ปุ๋ยมีค่าอยู่ในช่วง 0.16-0.13 มิลลิโมลาร์ และ 0.16 มิลลิโมลาร์ ตามลำดับ (รูปที่ 3.11)



รูปที่ 3.11 การเปลี่ยนแปลงของความเข้มข้นของไนเทรตในน้ำยาง (ค่าเฉลี่ยจาก 3 ซ้ำ)

หมายเหตุ : I = ค่าความคลาดเคลื่อนมาตรฐาน, * = แตกต่างทางสถิติที่ระดับ P≤0.05, ns = ไม่แตกต่างทางสถิติ

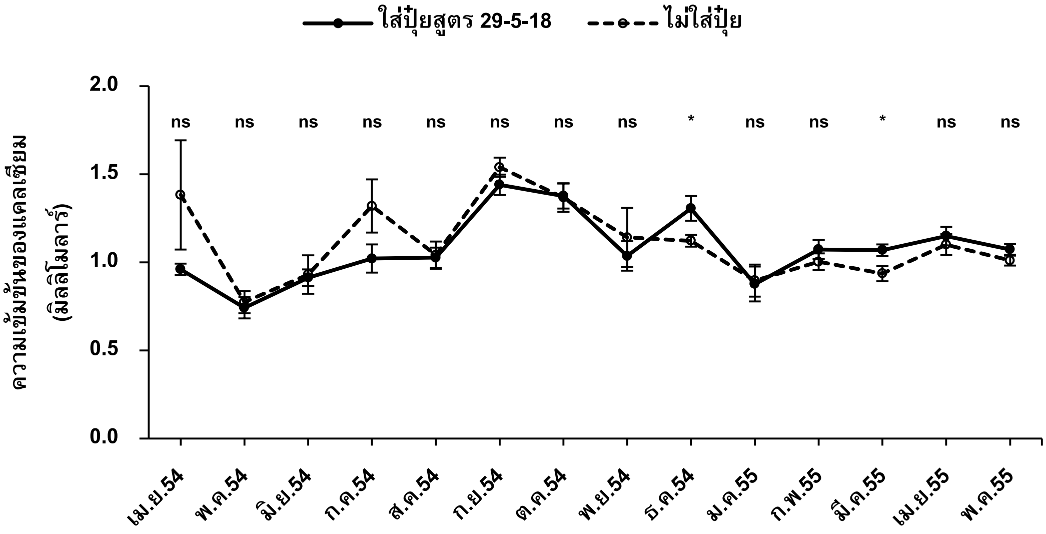
2.4.7 โพแทสเซียม ความเข้มข้นของโพแทสเซียมในน้ำยางพาราเฉลี่ยในช่วงเดือนเมษายน พ.ศ. 2554 ถึงพฤษภาคม พ.ศ. 2555 จากแปลงที่มีการใส่ปุ๋ย เท่ากับ 61.41 มิลลิโมลาร์ มีแนวโน้มที่สูงกว่าแปลงที่ไม่ใส่ปุ๋ย คือ 55.82 มิลลิโมลาร์ แนวโน้มการเปลี่ยนแปลงของโพแทสเซียมในน้ำยางพาราทั้ง 2 แปลงเป็นไปในทิศทางเดียวกัน ความเข้มข้นของโพแทสเซียมจะมีค่าต่ำสุดในเดือนเมษายน พ.ศ. 2554 โดยแปลงที่มีการใส่ปุ๋ย และแปลงที่ไม่ใส่ปุ๋ยมีค่าเท่ากับ 35.76 และ 42.14 มิลลิโมลาร์ ตามลำดับ และมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่องในช่วงเดือนพฤษภาคม พ.ศ. 2554 ไปจนถึงมีนาคม พ.ศ. 2555 มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 64.4 และ 57.88 มิลลิโมลาร์ ตามลำดับ หลังจากเดือนมีนาคม พ.ศ. 2555 มีแนวโน้มลดลงอย่างต่อเนื่องไปจนถึงเดือนพฤษภาคม พ.ศ. 2555 มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 57.78 และ 51.37 มิลลิโมลาร์ ตามลำดับ ในช่วงเดือนสิงหาคม พ.ศ. 2554 ถึงมีนาคม พ.ศ. 2555 ความเข้มข้นของโพแทสเซียมในน้ำยางในแปลงที่ใส่ปุ๋ย มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 69.1 มิลลิโมลาร์ มีแนวโน้มสูงกว่าแปลงที่ไม่ใส่ปุ๋ย คือ 60.75 มิลลิโมลาร์ อย่างเห็นได้ชัด นอกจากนี้ผลการทดลองยังแสดงให้เห็นอีกว่า ความเข้มข้นของโพแทสเซียมจะมีการเปลี่ยนแปลงน้อยที่สุดในช่วงเดือนตุลาคมถึงพฤศจิกายน พ.ศ. 2554 โดยแปลงที่มีการใส่ปุ๋ย และแปลงที่ไม่ใส่ปุ๋ยมีค่าอยู่ในช่วง 72.24-70.63 มิลลิโมลาร์ และ 58.79-64.44 มิลลิโมลาร์ ตามลำดับ (รูปที่ 3.12)



รูปที่ 3.12 การเปลี่ยนแปลงของความเข้มข้นของโพแทสเซียมในน้ำยาง (ค่าเฉลี่ยจาก 3 ซ้ำ)

หมายเหตุ : I = ค่าความคลาดเคลื่อนมาตรฐาน, * = แตกต่างทางสถิติที่ระดับ P≤0.05, ns = ไม่แตกต่างทางสถิติ

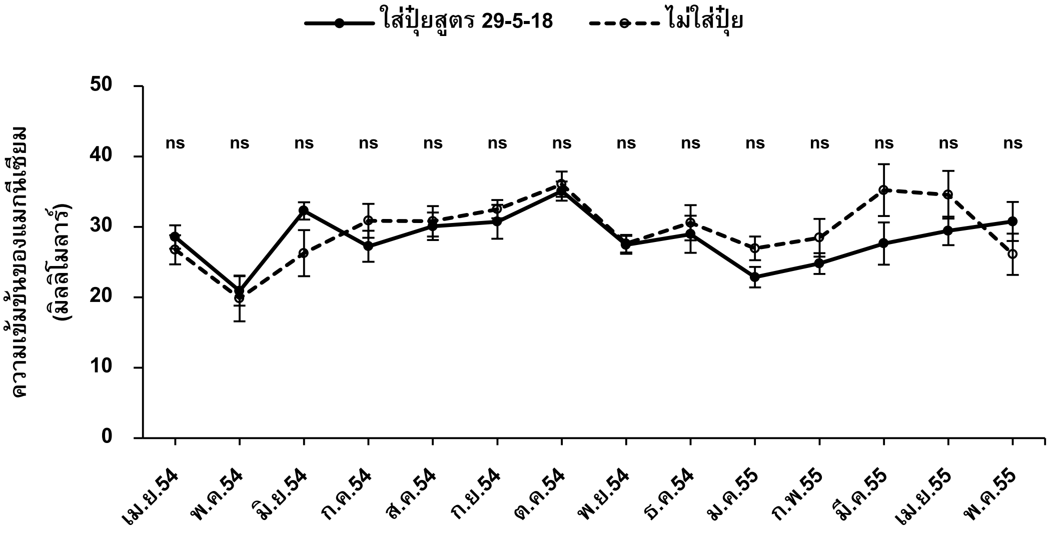
2.4.8 แคลเซียม ความเข้มข้นของแคลเซียมในน้ำยางพาราเฉลี่ยในช่วงเดือนเมษายน พ.ศ. 2554 ถึงพฤษภาคม พ.ศ. 2555 จากแปลงที่มีการใส่ปุ๋ย เท่ากับ 1.08 มิลลิโมลาร์ มีความเข้มข้นใกล้เคียงกับแปลงที่ไม่ใส่ปุ๋ย คือ 1.11 มิลลิโมลาร์ แนวโน้มการเปลี่ยนแปลงของแคลเซียมในน้ำยางพาราทั้ง 2 แปลงเป็นไปในทิศทางเดียวกัน ความเข้มข้นของแคลเซียมจะมีค่าต่ำสุดในเดือนพฤษภาคม พ.ศ. 2554 โดยแปลงที่มีการใส่ปุ๋ย และแปลงที่ไม่ใส่ปุ๋ยมีค่าเท่ากับ 0.74 และ 0.77 มิลลิโมลาร์ ตามลำดับ และมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่องในช่วงเดือนพฤษภาคมไปจนถึงกันยายน พ.ศ. 2554 มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 1.03 และ 1.12 มิลลิโมลาร์ ตามลำดับ โดยมีความเข้มข้นสูงสุดในเดือนกันยายน พ.ศ. 2554 เท่ากับ 1.44 และ 1.54 มิลลิโมลาร์ ตามลำดับ และลดลงอีกในช่วงเดือนตุลาคม พ.ศ. 2554 ถึงพฤษภาคม พ.ศ. 2555 มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 1.12 และ 1.07 มิลลิโมลาร์ ตามลำดับ นอกจากนี้ผลการทดลองยังแสดงให้เห็นอีกว่า ความเข้มข้นของแคลเซียมจะมีการเปลี่ยนแปลงน้อยที่สุดในช่วงเดือนเมษายนถึงพฤษภาคม พ.ศ. 2555 โดยแปลงที่มีการใส่ปุ๋ย และแปลงที่ไม่ใส่ปุ๋ยมีค่าอยู่ในช่วง 1.15-1.07 มิลลิโมลาร์ และ 1.1-1.01 มิลลิโมลาร์ ตามลำดับ (รูปที่ 3.13)



รูปที่ 3.13 การเปลี่ยนแปลงของความเข้มข้นของแคลเซียมในน้ำยาง (ค่าเฉลี่ยจาก 3 ซ้ำ)

หมายเหตุ : I = ค่าความคลาดเคลื่อนมาตรฐาน, * = แตกต่างทางสถิติที่ระดับ P≤0.05, ns = ไม่แตกต่างทางสถิติ

2.4.9 แมกนีเซียม ความเข้มข้นของแมกนีเซียมในน้ำยางพาราเฉลี่ยในช่วงเดือนเมษายน พ.ศ. 2554 ถึงพฤษภาคม พ.ศ. 2555 จากแปลงที่มีการใส่ปุ๋ย เท่ากับ 28.34 มิลลิโมลาร์ มีความเข้มข้นใกล้เคียงกับแปลงที่ไม่ใส่ปุ๋ย คือ 29.47 มิลลิโมลาร์ แนวโน้มการเปลี่ยนแปลงของแมกนีเซียมในน้ำยางพาราทั้ง 2 แปลงเป็นไปในทิศทางเดียวกัน ความเข้มข้นของแมกนีเซียมจะมีค่าสูงสุดในเดือนตุลาคม พ.ศ. 2554 โดยแปลงที่มีการใส่ปุ๋ย และแปลงที่ไม่ใส่ปุ๋ยมีค่าเท่ากับ 35.09 และ 36.07 มิลลิโมลาร์ ตามลำดับ และมีค่าต่ำสุดในเดือนพฤษภาคม พ.ศ. 2554 เท่ากับ 20.9 และ 19.84 มิลลิโมลาร์ ตามลำดับ และมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นในช่วงเดือนพฤษภาคมถึงตุลาคม พ.ศ. 2554 มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 29.39 มิลลิโมลาร์ หลังจากเดือนตุลาคม พ.ศ. 2554 ความเข้มข้นของแมกนีเซียมมีแนวโน้มลดลงอย่างต่อเนื่องไปจนถึงเดือนธันวาคม พ.ศ. 2554 มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 30.5 และ 31.42 มิลลิโมลาร์ ตามลำดับ และหลังจากเดือนมกราคม พ.ศ. 2555 มีแนวโน้มเพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่องไปจนถึงเดือนพฤษภาคม พ.ศ. 2555 มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 27.1 และ 30.26 มิลลิโมลาร์ ตามลำดับ นอกจากนี้ผลการทดลองยังแสดงให้เห็นอีกว่า ความเข้มข้นของแมกนีเซียมจะมีการเปลี่ยนแปลงน้อยที่สุดในช่วงเดือนสิงหาคมถึงกันยายน พ.ศ. 2554 โดยแปลงที่มีการใส่ปุ๋ย และแปลงที่ไม่ใส่ปุ๋ยมีค่าอยู่ในช่วง 30.07-30.74 มิลลิโมลาร์ และ 30.8-32.51 มิลลิโมลาร์ ตามลำดับ (รูปที่ 3.14)

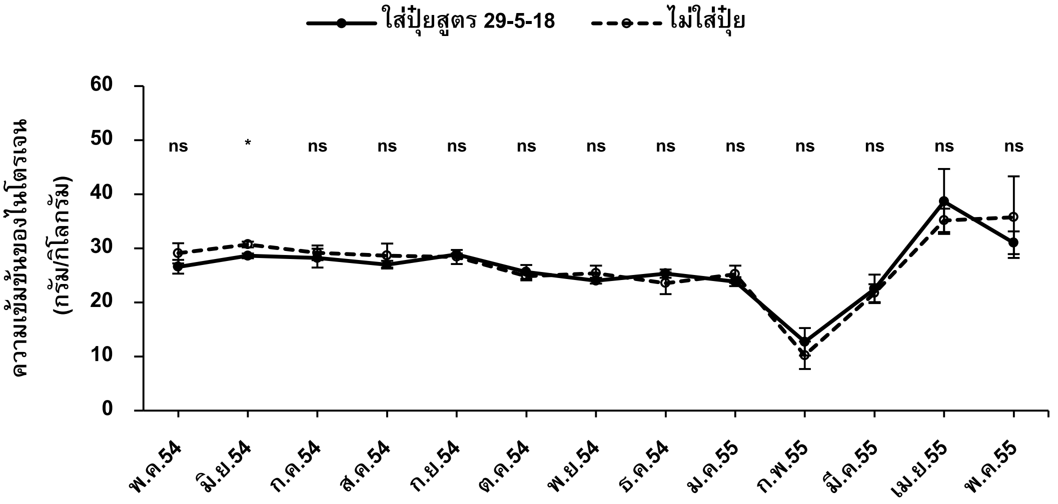


รูปที่ 3.14 การเปลี่ยนแปลงของความเข้มข้นของแมกนีเซียมในน้ำยาง (ค่าเฉลี่ยจาก 3 ซ้ำ)

หมายเหตุ : I = ค่าความคลาดเคลื่อนมาตรฐาน, * = แตกต่างทางสถิติที่ระดับ P≤0.05, ns = ไม่แตกต่างทางสถิติ

2.5 การเปลี่ยนแปลงของธาตุอาหารและคาร์โบไฮเดรตในใบยางในรอบปี

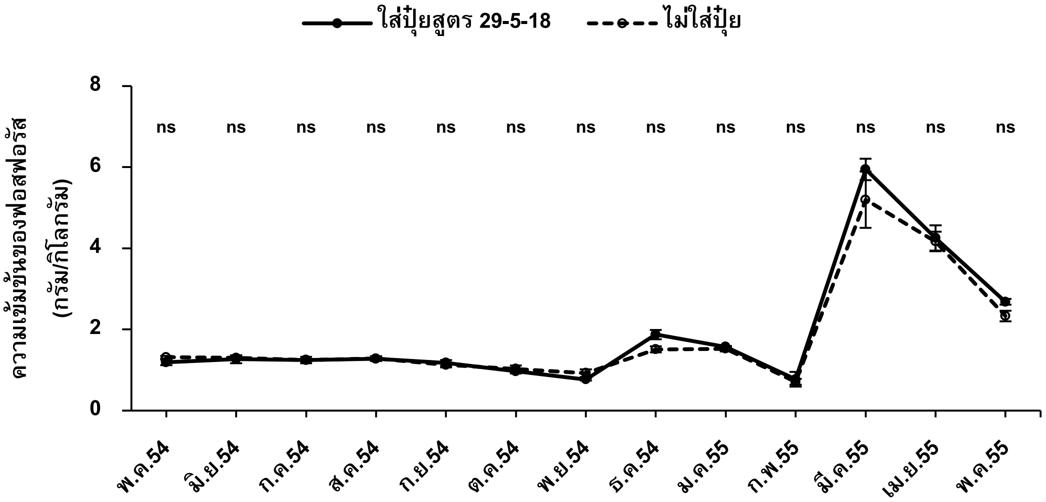
2.5.1 ไนโตรเจน ความเข้มข้นของไนโตรเจนในใบทั้งหมดเฉลี่ยในช่วงเดือนพฤษภาคม พ.ศ. 2554 ถึงพฤษภาคม พ.ศ. 2555 จากแปลงที่มีการใส่ปุ๋ยเท่ากับ 26.37 กรัมต่อกิโลกรัม มีค่าใกล้เคียงกับแปลงที่ไม่ใส่ปุ๋ย คือ 26.75 กรัมต่อกิโลกรัม แนวโน้มการเปลี่ยนแปลงของความเข้มข้นของไนโตรเจนทั้งหมดทั้ง 2 แปลงเป็นไปในทิศทางเดียวกัน ความเข้มข้นของไนโตรเจนในใบจากแปลงที่มีการใส่ปุ๋ย และแปลงที่ไม่ใส่ปุ๋ยตั้งแต่เดือนพฤษภาคม พ.ศ. 2554 (อายุใบ 1 เดือน) คือ 26.58 และ 29.08 กรัมต่อกิโลกรัม ตามลำดับ มีแนวโน้มลดลงอย่างต่อเนื่องไปจนถึงเดือนกุมภาพันธ์ พ.ศ. 2555 (ใบผลิใหม่) คือ 12.7 และ 10.22 กรัมต่อกิโลกรัม ตามลำดับ และกลับเพิ่มขึ้นสูงในเดือนเมษายน พ.ศ. 2555 (อายุใบ 1 เดือน) คือ 38.65 และ 35.15 กรัมต่อกิโลกรัม ตามลำดับ โดยความเข้มข้นของไนโตรเจนทั้งหมดจากแปลงที่มีการใส่ปุ๋ย และแปลงที่ไม่ใส่ปุ๋ยจะมีปริมาณต่ำสุดในเดือนกุมภาพันธ์ พ.ศ. 2555 (ใบผลิใหม่) คือ 12.7 และ 10.22 กรัมต่อกิโลกรัมตามลำดับและมีค่าสูงสุดในเดือนเมษายน พ.ศ. 2555 (อายุใบ 1 เดือน) คือ 38.65 และ 35.15 กรัมต่อกิโลกรัม ตามลำดับ (รูปที่ 3.15)



รูปที่ 3.15 การเปลี่ยนแปลงของความเข้มข้นของไนโตรเจนทั้งหมดในใบยาง (ค่าเฉลี่ยจาก 3 ซ้ำ)

หมายเหตุ : I = ค่าความคลาดเคลื่อนมาตรฐาน, * = แตกต่างทางสถิติที่ระดับ $P \leq 0.05$, ns = ไม่แตกต่างทางสถิติ

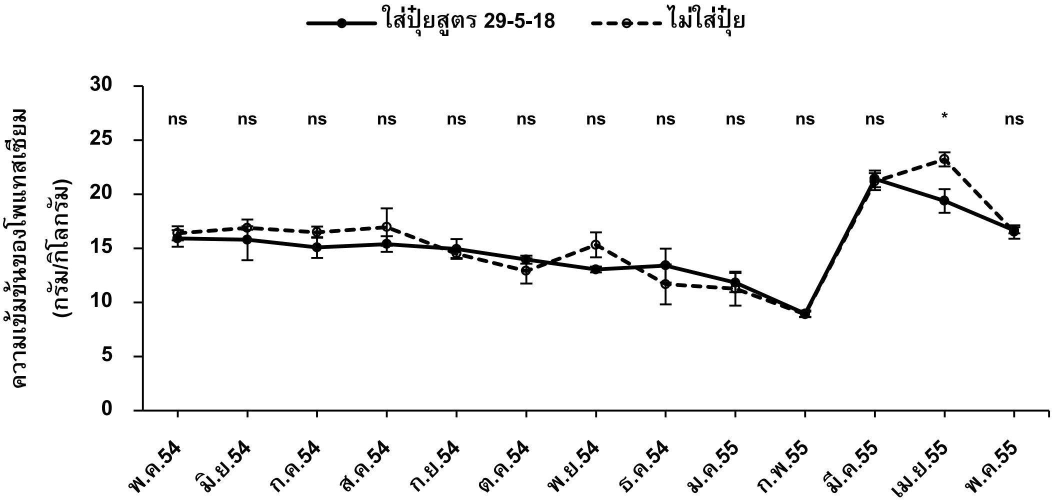
2.5.2 ฟอสฟอรัส ความเข้มข้นของฟอสฟอรัสในใบทั้งหมดเฉลี่ยในช่วงเดือนพฤษภาคม พ.ศ. 2554 ถึงพฤษภาคม พ.ศ. 2555 จากแปลงที่มีการใส่ปุ๋ยเท่ากับ 1.92 กรัมต่อกิโลกรัม มีค่าใกล้เคียงกับแปลงที่ไม่ใส่ปุ๋ย คือ 1.82 กรัมต่อกิโลกรัม แนวโน้มการเปลี่ยนแปลงของความเข้มข้นของฟอสฟอรัสทั้งหมดทั้ง 2 แปลงเป็นไปในทิศทางเดียวกัน ความเข้มข้นของฟอสฟอรัสในใบจากแปลงที่มีการใส่ปุ๋ย และแปลงที่ไม่ใส่ปุ๋ยตั้งแต่เดือนพฤษภาคม พ.ศ. 2554 (อายุใบ 1 เดือน) คือ 1.19 และ 1.31 กรัมต่อกิโลกรัม ตามลำดับ มีแนวโน้มลดลงอย่างต่อเนื่องไปจนถึงเดือนพฤศจิกายน พ.ศ. 2554 (อายุใบ 7 เดือน) คือ 0.77 และ 0.92 กรัมต่อกิโลกรัม ตามลำดับ และกลับเพิ่มขึ้นสูงในเดือนมีนาคม พ.ศ. 2555 (ใบผลิใหม่) คือ 5.95 และ 5.19 กรัมต่อกิโลกรัม ตามลำดับ โดยความเข้มข้นของฟอสฟอรัสทั้งหมดจากแปลงที่มีการใส่ปุ๋ย และแปลงที่ไม่ใส่ปุ๋ยจะมีปริมาณต่ำสุดในเดือนกุมภาพันธ์ พ.ศ. 2555 (ใบผลิใหม่) คือ 0.77 และ 0.7 กรัมต่อกิโลกรัม ตามลำดับ และมีค่าสูงสุดในเดือนมีนาคม พ.ศ. 2555 (ใบผลิใหม่) คือ 5.95 และ 5.19 กรัมต่อกิโลกรัม ตามลำดับ (รูปที่ 3.16)



รูปที่ 3.16 การเปลี่ยนแปลงของความเข้มข้นของฟอสฟอรัสทั้งหมดในใบยาง (ค่าเฉลี่ยจาก 3 ซ้ำ)

หมายเหตุ : I = ค่าความคลาดเคลื่อนมาตรฐาน, * = แตกต่างทางสถิติที่ระดับ $P \leq 0.05$, ns = ไม่แตกต่างทางสถิติ

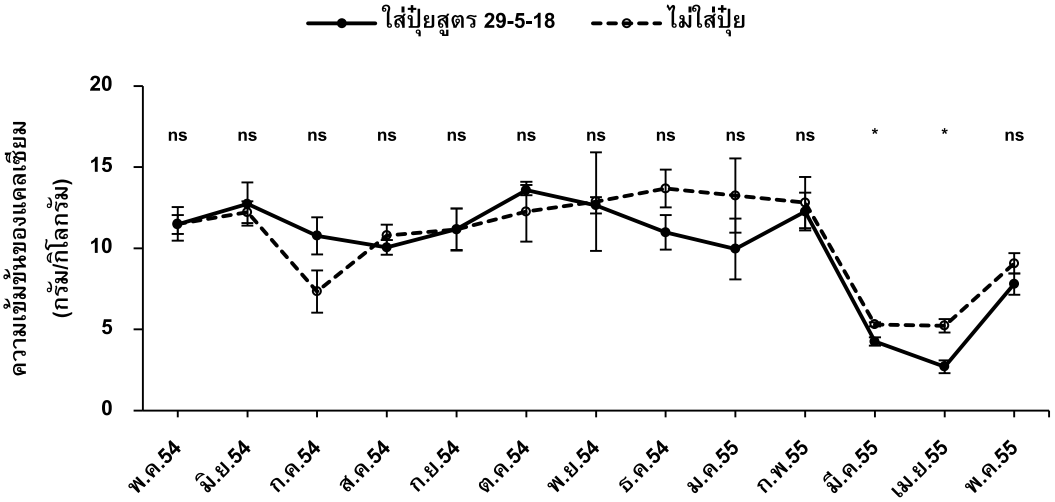
2.5.3 โพแทสเซียม ความเข้มข้นของโพแทสเซียมในใบทั้งหมดเฉลี่ยในช่วงเดือนพฤษภาคม พ.ศ. 2554 ถึงพฤษภาคม พ.ศ. 2555 จากแปลงที่มีการใส่ปุ๋ยเท่ากับ 15.05 กรัมต่อกิโลกรัมมีค่าใกล้เคียงกับแปลงที่ไม่ใส่ปุ๋ย คือ 15.54 กรัมต่อกิโลกรัม แนวโน้มการเปลี่ยนแปลงของความเข้มข้นของโพแทสเซียมทั้งหมดทั้ง 2 แปลงเป็นไปในทิศทางเดียวกัน ความเข้มข้นของโพแทสเซียมในใบจากแปลงที่มีการใส่ปุ๋ย และแปลงที่ไม่ใส่ปุ๋ยตั้งแต่เดือนพฤษภาคม พ.ศ. 2554 (อายุใบ 1 เดือน) คือ 15.91 และ 16.39 กรัมต่อกิโลกรัม ตามลำดับ มีแนวโน้มลดลงอย่างต่อเนื่องไปจนถึงเดือนกุมภาพันธ์ พ.ศ. 2555 (ใบผลิใหม่) คือ 8.95 และ 8.89 กรัมต่อกิโลกรัม ตามลำดับ และกลับเพิ่มขึ้นสูงในเดือนมีนาคม พ.ศ. 2555 (ใบผลิใหม่) คือ 21.43 และ 21.17 กรัมต่อกิโลกรัมตามลำดับโดยความเข้มข้นของโพแทสเซียมทั้งหมดจากแปลงที่มีการใส่ปุ๋ย และแปลงที่ไม่ใส่ปุ๋ยจะมีปริมาณต่ำสุดในเดือนกุมภาพันธ์ พ.ศ. 2555 (ใบผลิใหม่) คือ 8.95 และ 8.89 กรัมต่อกิโลกรัม ตามลำดับ และมีค่าสูงสุดในเดือนมีนาคม พ.ศ. 2555 (ใบผลิใหม่) คือ 21.43 และ 21.17 กรัมต่อกิโลกรัม ตามลำดับ (รูปที่ 3.17)



รูปที่ 3.17 การเปลี่ยนแปลงของความเข้มข้นของโพแทสเซียมทั้งหมดในใบยาง (ค่าเฉลี่ยจาก 3 ซ้ำ)

หมายเหตุ : I = ค่าความคลาดเคลื่อนมาตรฐาน, * = แตกต่างทางสถิติที่ระดับ P≤0.05, ns = ไม่แตกต่างทางสถิติ

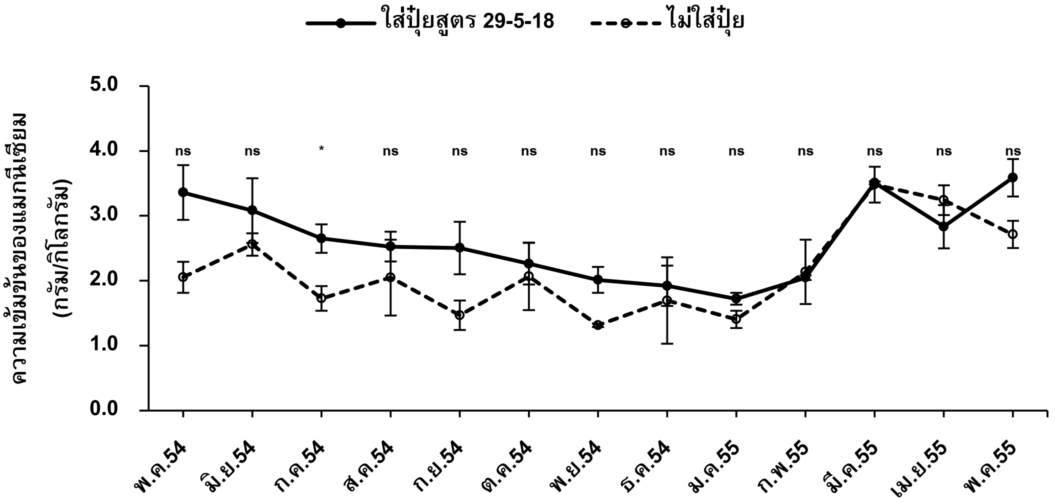
2.5.4 แคลเซียม ความเข้มข้นของแคลเซียมในใบทั้งหมดเฉลี่ยในช่วงเดือนพฤษภาคม พ.ศ. 2554 ถึงพฤษภาคม พ.ศ. 2555 จากแปลงที่มีการใส่ปุ๋ยเท่ากับ 10.03 กรัมต่อกิโลกรัม มีค่าใกล้เคียงกับแปลงที่ไม่ใส่ปุ๋ย คือ 10.57 กรัมต่อกิโลกรัม แนวโน้มการเปลี่ยนแปลงของความเข้มข้นของแคลเซียมทั้งหมดทั้ง 2 แปลงเป็นไปในทิศทางเดียวกัน ความเข้มข้นของแคลเซียมในใบจากแปลงที่มีการใส่ปุ๋ย และแปลงที่ไม่ใส่ปุ๋ยตั้งแต่เดือนพฤษภาคม พ.ศ. 2554 (อายุใบ 1 เดือน) คือ 11.47 และ 11.5 กรัมต่อกิโลกรัม ตามลำดับ จนถึงเดือนกุมภาพันธ์ พ.ศ. 2555 (ใบผลิใหม่) คือ 12.26 และ 12.81 กรัมต่อกิโลกรัม ตามลำดับ ไม่ค่อยมีความเปลี่ยนแปลงมากนัก และมีการลดลงต่ำในเดือนเมษายน พ.ศ.2555 (อายุใบ 1 เดือน) คือ 2.7 และ 5.22 กรัมต่อกิโลกรัม ตามลำดับ โดยความเข้มข้นของแคลเซียมทั้งหมดจากแปลงที่มีการใส่ปุ๋ย และแปลงที่ไม่ใส่ปุ๋ยจะมีปริมาณต่ำสุดในเดือนเมษายน พ.ศ. 2555 (อายุใบ 1 เดือน) คือ 2.7 และ 5.22 กรัมต่อกิโลกรัม ตามลำดับ และมีค่าสูงสุดในเดือนตุลาคม พ.ศ. 2554 (อายุใบ 6 เดือน) คือ 13.58 และ 12.25 กรัมต่อกิโลกรัม ตามลำดับ (รูปที่ 3.18)



รูปที่ 3.18 การเปลี่ยนแปลงของความเข้มข้นของแคลเซียมทั้งหมดในใบยาง (ค่าเฉลี่ยจาก 3 ซ้ำ)

หมายเหตุ : I = ค่าความคลาดเคลื่อนมาตรฐาน, * = แตกต่างทางสถิติที่ระดับ $P \leq 0.05$, ns = ไม่แตกต่างทางสถิติ

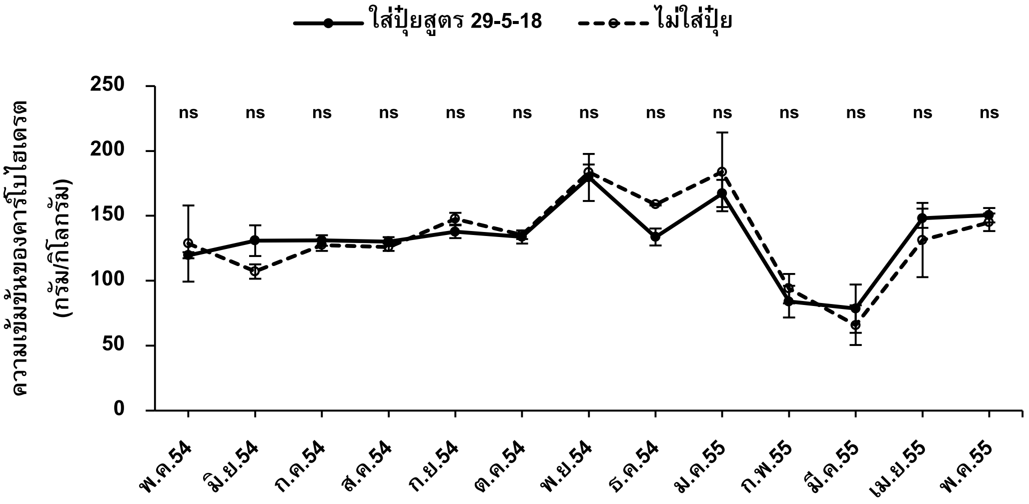
2.5.5 แมกนีเซียม ความเข้มข้นของแมกนีเซียมในใบทั้งหมดเฉลี่ยในช่วงเดือนพฤษภาคม พ.ศ. 2554 ถึงพฤษภาคม พ.ศ. 2555 จากแปลงที่มีการใส่ปุ๋ยเท่ากับ 2.62 กรัมต่อกิโลกรัม มีค่าใกล้เคียงกับแปลงที่ไม่ใส่ปุ๋ย คือ 2.15 กรัมต่อกิโลกรัม แนวโน้มการเปลี่ยนแปลงของความเข้มข้นของแมกนีเซียมทั้งหมดทั้ง 2 แปลงเป็นไปในทิศทางเดียวกัน ความเข้มข้นของแมกนีเซียมในใบจากแปลงที่มีการใส่ปุ๋ย และแปลงที่ไม่ใส่ปุ๋ยตั้งแต่เดือนพฤษภาคม พ.ศ. 2554 (อายุใบ 1 เดือน) คือ 3.36 และ 2.05 กรัมต่อกิโลกรัม ตามลำดับ มีแนวโน้มลดลงอย่างต่อเนื่องไปจนถึงเดือนมกราคม พ.ศ. 2555 (อายุใบ 9 เดือน) คือ 1.72 และ 1.4 กรัมต่อกิโลกรัม ตามลำดับ และกลับเพิ่มขึ้นสูงในเดือนมีนาคม พ.ศ. 2555 (ใบผลิใหม่) คือ 3.51 และ 3.48 กรัมต่อกิโลกรัม ตามลำดับ โดยความเข้มข้นของแมกนีเซียมทั้งหมดจากแปลงที่มีการใส่ปุ๋ย และแปลงที่ไม่ใส่ปุ๋ยจะมีปริมาณต่ำสุดในเดือนมกราคม พ.ศ. 2555 (อายุใบ 9 เดือน) คือ 1.72 และ 1.4 กรัมต่อกิโลกรัม ตามลำดับและมีค่าสูงสุดในเดือนมีนาคม พ.ศ. 2555 (ใบผลิใหม่) คือ 3.51 และ 3.48 กรัมต่อกิโลกรัม ตามลำดับ (รูปที่ 3.19)



รูปที่ 3.19 การเปลี่ยนแปลงของความเข้มข้นของแมกนีเซียมทั้งหมดในใบยาง (ค่าเฉลี่ยจาก 3 ซ้ำ)

หมายเหตุ : I = ค่าความคลาดเคลื่อนมาตรฐาน, * =แตกต่างทางสถิติที่ระดับ P≤0.05, ns = ไม่แตกต่างทางสถิติ

2.5.6 คาร์โบไฮเดรต ความเข้มข้นของคาร์โบไฮเดรตในใบทั้งหมดเฉลี่ยในช่วงเดือนพฤษภาคม พ.ศ. 2554 ถึงพฤษภาคม พ.ศ. 2555 จากแปลงที่มีการใส่ปุ๋ยเท่ากับ 132.67 กรัมต่อกิโลกรัม มีค่าใกล้เคียงกับแปลงที่ไม่ใส่ปุ๋ย คือ 133.42 กรัมต่อกิโลกรัม แนวโน้มการเปลี่ยนแปลงของความเข้มข้นของคาร์โบไฮเดรตทั้งหมดทั้ง 2 แปลงเป็นไปในทิศทางเดียวกัน ความเข้มข้นของคาร์โบไฮเดรตในใบจากแปลงที่มีการใส่ปุ๋ย และแปลงที่ไม่ใส่ปุ๋ยตั้งแต่เดือนพฤษภาคม พ.ศ. 2554 (อายุใบ 1 เดือน) คือ 119.64 และ 128.7 กรัมต่อกิโลกรัม ตามลำดับ มีแนวโน้มคงที่ไปจนถึงเดือนตุลาคม พ.ศ. 2554 (อายุใบ 6 เดือน) คือ 133.71และ 135.38 กรัมต่อกิโลกรัม ตามลำดับ และกลับเพิ่มขึ้นสูงในเดือนพฤศจิกายน พ.ศ. 2554 (อายุใบ 7 เดือน) คือ 179.64 และ 183.55 กรัมต่อกิโลกรัม ตามลำดับ ไปจนถึงเดือนมกราคม พ.ศ. 2555 (อายุใบ 9 เดือน) คือ 167.18 และ 183.88 กรัมต่อกิโลกรัม ตามลำดับ ในส่วนใบที่ผลิใหม่ในช่วงเดือนกุมภาพันธ์และมีนาคม พ.ศ. 2555 ความเข้มข้นของคาร์โบไฮเดรตทั้งหมดจากแปลงที่มีการใส่ปุ๋ย และแปลงที่ไม่ใส่ปุ๋ยจะมีปริมาณต่ำสุด (ใบผลิใหม่และเกิดการร่วง) คือ 81.24 และ 79.86 กรัมต่อกิโลกรัม ตามลำดับ (รูปที่ 3.20)

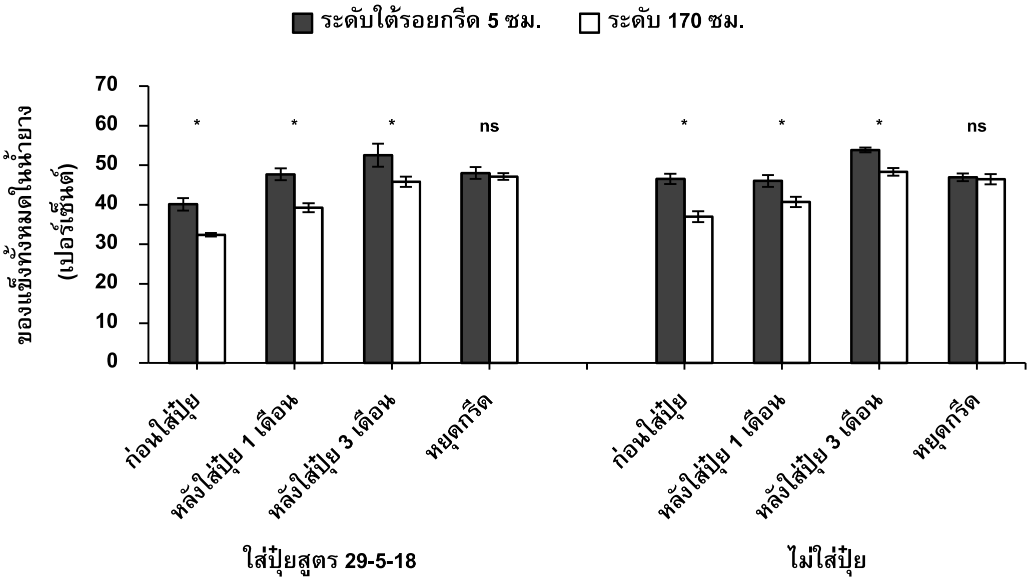


รูปที่ 3.20 การเปลี่ยนแปลงของความเข้มข้นของคาร์โบไฮเดรตในใบยาง (ค่าเฉลี่ยจาก 3 ซ้ำ)

หมายเหตุ : I = ค่าความคลาดเคลื่อนมาตรฐาน, * =แตกต่างทางสถิติที่ระดับ $P \leq 0.05$, ns = ไม่แตกต่างทางสถิติ

3. ปริมาณธาตุอาหารและองค์ประกอบทางชีวเคมีในน้ำยางที่เก็บจากตำแหน่งที่ต่างกัน

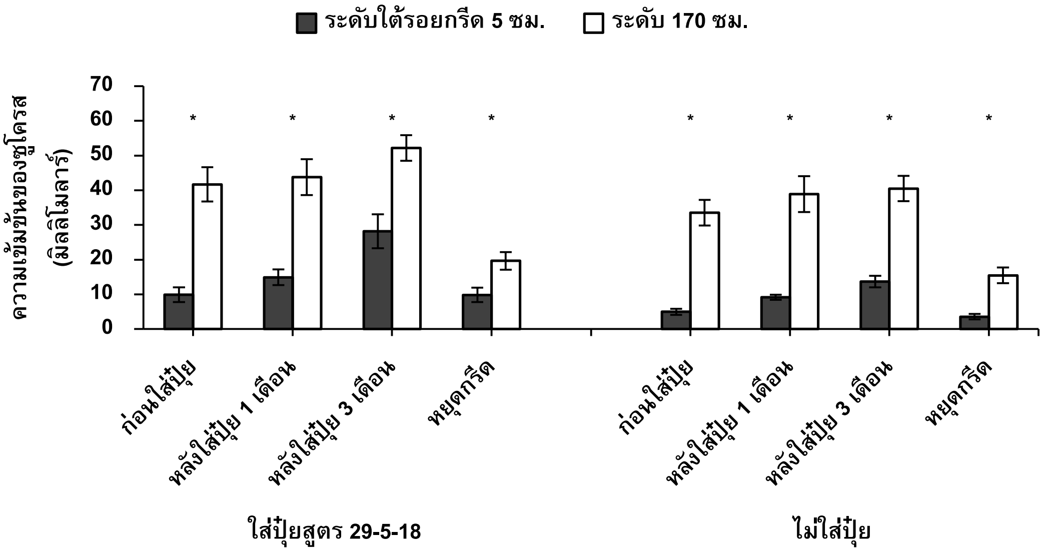
3.1 ของแข็งทั้งหมดในน้ำยาง ปริมาณของแข็งทั้งหมดในน้ำยางเฉลี่ยในช่วงก่อนทำการใส่ปุ๋ย หลังทำการใส่ปุ๋ย 1 เดือน หลังทำการใส่ปุ๋ย 3 เดือนและช่วงหยุดกรีดในหน้าแล้งจากแปลงที่มีการใส่ปุ๋ย ที่ระดับใต้รอยกรีด 5 เซนติเมตร เท่ากับ 47.07 เปอร์เซ็นต์ มีปริมาณสูงกว่าที่ระดับ 170 เซนติเมตร คือ 41.13 เปอร์เซ็นต์ เช่นเดียวกับแปลงที่ไม่มีการใส่ปุ๋ย ที่ระดับใต้รอยกรีด 5 เซนติเมตร เท่ากับ 48.32 เปอร์เซ็นต์ มีปริมาณสูงกว่าที่ระดับ 170 เซนติเมตร คือ 43.09 เปอร์เซ็นต์ ปริมาณของแข็งทั้งหมดในน้ำยางในแปลงที่ใส่ปุ๋ย ที่ระดับใต้รอยกรีด 5 เซนติเมตร และที่ระดับ 170 เซนติเมตรมีค่าสูงสุดในช่วงหลังทำการใส่ปุ๋ย 3 เดือน (มกราคม พ.ศ. 2555) คือ 52.52 และ 45.79 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ เช่นเดียวกับแปลงที่ไม่มีการใส่ปุ๋ย คือ 53.84 และ 48.27 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ และมีค่าต่ำสุดในช่วงก่อนทำการใส่ปุ๋ย(ตุลาคม พ.ศ. 2554) โดยในแปลงที่ใส่ปุ๋ย ที่ระดับใต้รอยกรีด 5 เซนติเมตร และที่ระดับ 170 เซนติเมตร จะมีค่าเท่ากับ 40.11 และ 32.37 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ และแปลงที่ไม่ใส่ปุ๋ยจะมีค่าเท่ากับ 46.5 และ 36.98 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ (รูปที่ 3.21)



รูปที่ 3.21 ปริมาณของแข็งทั้งหมดในน้ำยาง (ค่าเฉลี่ยจาก 3 ซ้ำ)

หมายเหตุ : I = ค่าความคลาดเคลื่อนมาตรฐาน, * =แตกต่างทางสถิติที่ระดับ $P \leq 0.05$, ns = ไม่แตกต่างทางสถิติ

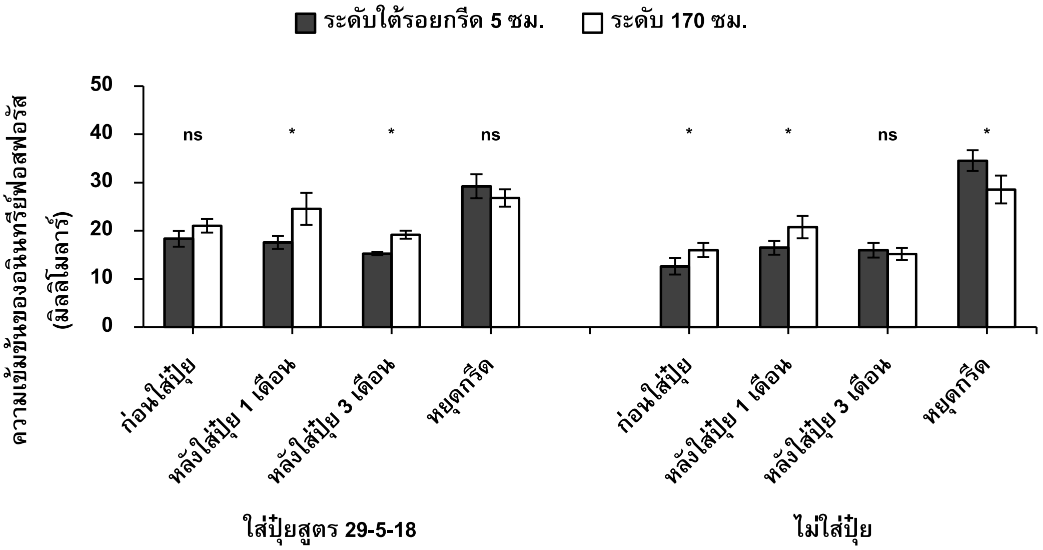
3.2 ซูโครส ความเข้มข้นของซูโครสในน้ำยางเฉลี่ยในช่วงก่อนทำการใส่ปุ๋ย หลังทำการใส่ปุ๋ย 1 เดือน หลังทำการใส่ปุ๋ย 3 เดือนและช่วงหยุดกรีดในหน้าแล้งจากแปลงที่มีการใส่ปุ๋ย ที่ระดับใต้รอยกรีด 5 เซนติเมตร เท่ากับ 15.72 มิลลิโมลาร์ มีความเข้มข้นต่ำกว่าที่ระดับ 170 เซนติเมตร คือ 39.33 มิลลิโมลาร์ เช่นเดียวกับแปลงที่ไม่มีการใส่ปุ๋ย ที่ระดับใต้รอยกรีด 5 เซนติเมตร เท่ากับ 7.85 มิลลิโมลาร์ มีความเข้มข้นต่ำกว่าที่ระดับ 170 เซนติเมตร คือ 32.09 มิลลิโมลาร์ ความเข้มข้นของซูโครสในน้ำยางในแปลงที่ใส่ปุ๋ย ที่ระดับใต้รอยกรีด 5 เซนติเมตร และที่ระดับ 170 เซนติเมตร จะมีค่าสูงสุดในช่วงหลังทำการใส่ปุ๋ย 3 เดือน (มกราคม พ.ศ. 2555) คือ 28.18 และ 52.14 มิลลิโมลาร์ ตามลำดับ เช่นเดียวกับแปลงที่ไม่มีการใส่ปุ๋ย คือ 13.68 และ 40.5 มิลลิโมลาร์ ตามลำดับ และมีค่าต่ำสุดในช่วงหยุดกรีดในหน้าแล้ง (เมษายน พ.ศ. 2555) โดยในแปลงที่ใส่ปุ๋ย ที่ระดับใต้รอยกรีด 5 เซนติเมตร และที่ระดับ 170 เซนติเมตร จะมีค่าเท่ากับ 9.85 และ 19.65 มิลลิโมลาร์ ตามลำดับ และแปลงที่ไม่ใส่ปุ๋ยจะมีค่าเท่ากับ 3.59 และ 15.48 มิลลิโมลาร์ ตามลำดับ (รูปที่ 3.22)



รูปที่ 3.22 ความเข้มข้นของซูโครสในน้ำยาง (ค่าเฉลี่ยจาก 3 ซ้ำ)

หมายเหตุ : I = ค่าความคลาดเคลื่อนมาตรฐาน, * = แตกต่างทางสถิติที่ระดับ $P \leq 0.05$, ns = ไม่แตกต่างทางสถิติ

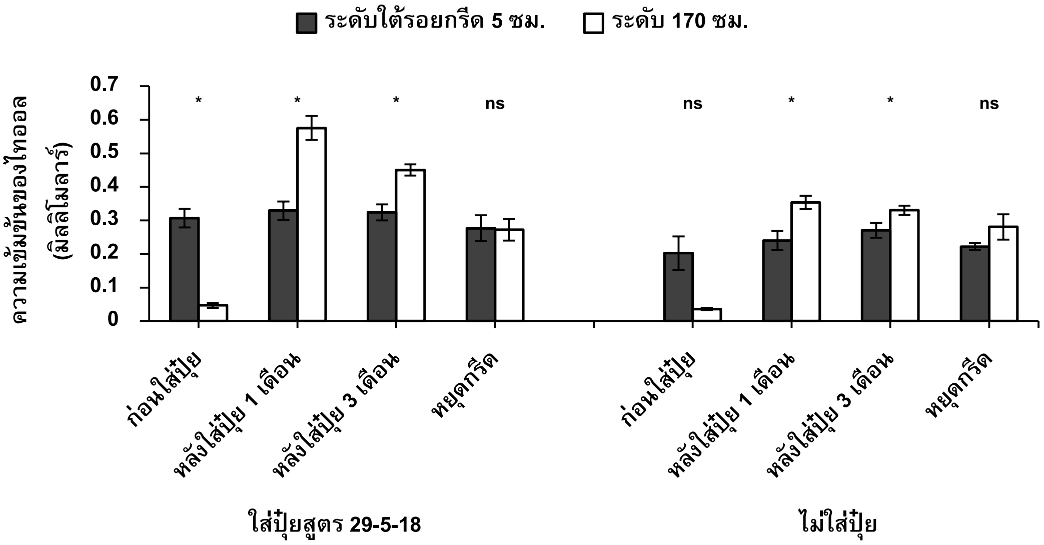
3.3 อนินทรีย์ฟอสฟอรัส ความเข้มข้นของอนินทรีย์ฟอสฟอรัสในน้ำยางเฉลี่ยในช่วงก่อนทำการใส่ปุ๋ย หลังทำการใส่ปุ๋ย 1 เดือน หลังทำการใส่ปุ๋ย 3 เดือนและช่วงหยุดกรีดในหน้าแล้งจากแปลงที่มีการใส่ปุ๋ย ที่ระดับใต้รอยกรีด 5 เซนติเมตร เท่ากับ 20.08 มิลลิโมลาร์ มีความเข้มข้นต่ำกว่าที่ระดับ 170 เซนติเมตร คือ 22.88 มิลลิโมลาร์ เช่นเดียวกับแปลงที่ไม่มีการใส่ปุ๋ย ที่ระดับใต้รอยกรีด 5 เซนติเมตร เท่ากับ 19.88 มิลลิโมลาร์ มีความเข้มข้นต่ำกว่าที่ระดับ 170 เซนติเมตรคือ 20.11 มิลลิโมลาร์ ความเข้มข้นของอนินทรีย์ฟอสฟอรัสในน้ำยางในแปลงที่ใส่ปุ๋ย ที่ระดับใต้รอยกรีด 5 เซนติเมตร และที่ระดับ 170 เซนติเมตร จะมีค่าสูงสุดในช่วงหยุดกรีดในหน้าแล้ง (เมษายน พ.ศ. 2555) คือ 29.22 และ 26.78 มิลลิโมลาร์ ตามลำดับ เช่นเดียวกับแปลงที่ไม่มีการใส่ปุ๋ย คือ 34.52 และ 28.56 มิลลิโมลาร์ ตามลำดับ และมีค่าต่ำสุดในช่วงหลังทำการใส่ปุ๋ย 3 เดือน (มกราคม พ.ศ. 2555) โดยในแปลงที่ใส่ปุ๋ย ที่ระดับใต้รอยกรีด 5 เซนติเมตร และที่ระดับ 170 เซนติเมตร จะมีค่าเท่ากับ 15.22 และ 19.17 มิลลิโมลาร์ ตามลำดับ และแปลงที่ไม่ใส่ปุ๋ยจะมีค่าเท่ากับ 15.96 และ 15.17 มิลลิโมลาร์ ตามลำดับ (รูปที่ 3.23)



รูปที่ 3.23 ความเข้มข้นของอนินทรีย์ฟอสฟอรัสในน้ำยาง (ค่าเฉลี่ยจาก 3 ซ้ำ)

หมายเหตุ : I = ค่าความคลาดเคลื่อนมาตรฐาน, * = แตกต่างทางสถิติที่ระดับ $P \leq 0.05$, ns = ไม่แตกต่างทางสถิติ

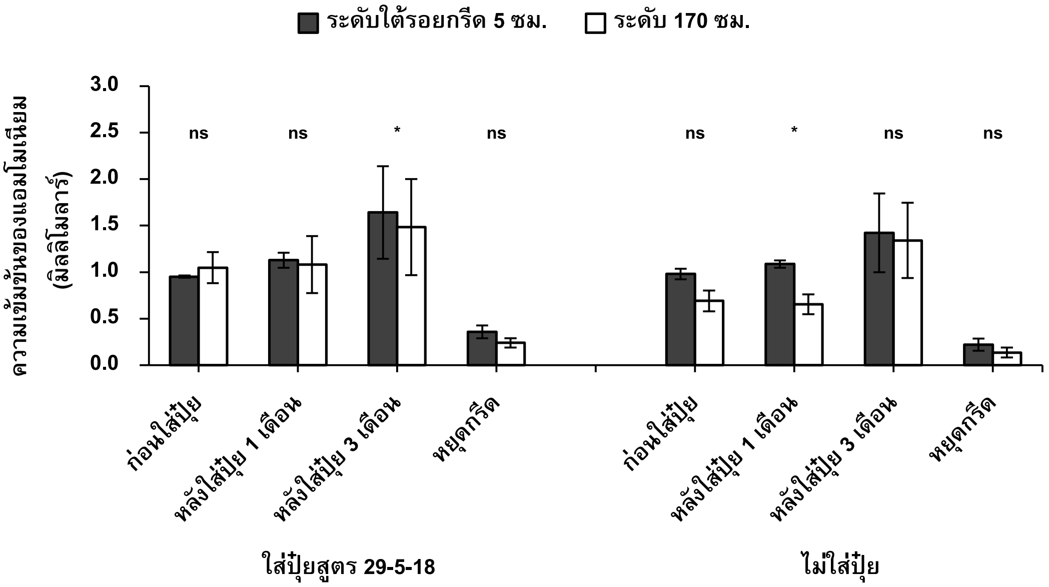
3.4 ไทออล ความเข้มข้นของไทออลในน้ำยางเฉลี่ยในช่วงก่อนทำการใส่ปุ๋ย หลังทำการใส่ปุ๋ย 1 เดือน หลังทำการใส่ปุ๋ย 3 เดือน และช่วงหยุดกรีดในหน้าแล้งจากแปลงที่มีการใส่ปุ๋ย ที่ระดับใต้รอยกรีด 5 เซนติเมตร เท่ากับ 0.31 มิลลิโมลาร์ มีความเข้มข้นต่ำกว่าที่ระดับ 170 เซนติเมตรคือ 0.33 มิลลิโมลาร์ เช่นเดียวกับแปลงที่ไม่มีการใส่ปุ๋ย ที่ระดับใต้รอยกรีด 5 เซนติเมตร เท่ากับ 0.23 มิลลิโมลาร์ มีความเข้มข้นต่ำกว่าที่ระดับ 170 เซนติเมตร คือ 0.25 มิลลิโมลาร์ ความเข้มข้นของไทออลในน้ำยางในแปลงที่ใส่ปุ๋ย ที่ระดับใต้รอยกรีด 5 เซนติเมตร และที่ระดับ 170 เซนติเมตรจะมีค่าสูงสุดในช่วงหลังทำการใส่ปุ๋ย 1 เดือน (พฤศจิกายน พ.ศ. 2554) คือ 0.33 และ 0.57 มิลลิโมลาร์ ตามลำดับ เช่นเดียวกับแปลงที่ไม่มีการใส่ปุ๋ย คือ 0.24 และ 0.35 มิลลิโมลาร์ ตามลำดับ และมีค่าต่ำสุดในช่วงก่อนทำการใส่ปุ๋ย (ตุลาคม พ.ศ. 2554) โดยในแปลงที่ใส่ปุ๋ย ที่ระดับใต้รอยกรีด 5 เซนติเมตร และที่ระดับ 170 เซนติเมตร จะมีค่าเท่ากับ 0.31 และ 0.05 มิลลิโมลาร์ ตามลำดับ และแปลงที่ไม่ใส่ปุ๋ยจะมีค่าเท่ากับ 0.20 และ 0.04 มิลลิโมลาร์ ตามลำดับ (รูปที่ 3.24)



รูปที่ 3.24 ความเข้มข้นของไทออลในน้ำยาง (ค่าเฉลี่ยจาก 3 ซ้ำ)

หมายเหตุ : I = ค่าความคลาดเคลื่อนมาตรฐาน, * = แตกต่างทางสถิติที่ระดับ $P \leq 0.05$, ns = ไม่แตกต่างทางสถิติ

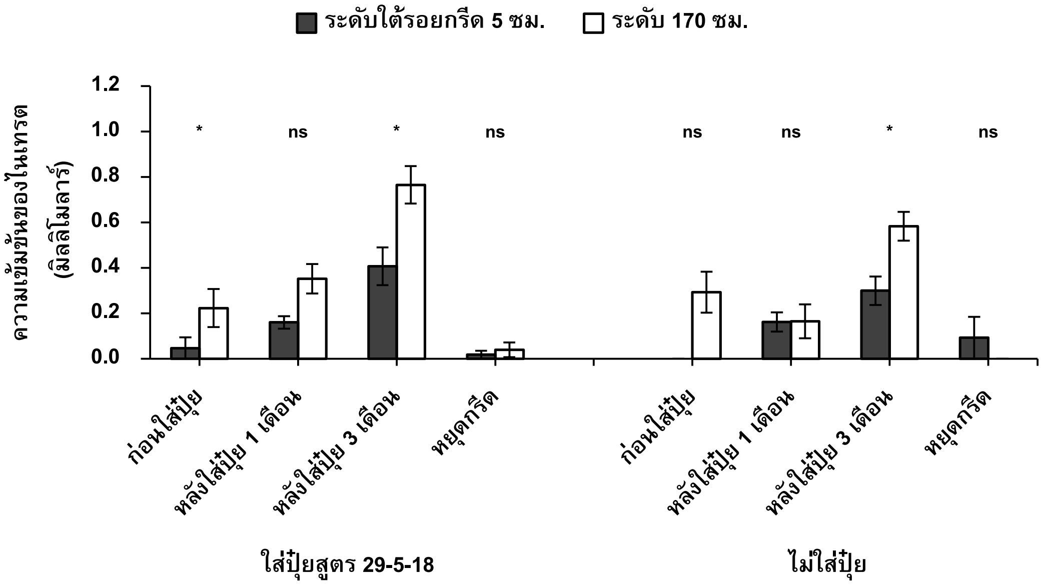
3.5 แอมโมเนียม ความเข้มข้นของแอมโมเนียมในน้ำยางเฉลี่ยในช่วงก่อนทำการใส่ปุ๋ย หลังทำการใส่ปุ๋ย 1 เดือน หลังทำการใส่ปุ๋ย 3 เดือนและช่วงหยุดกรีดในหน้าแล้งจากแปลงที่มีการใส่ปุ๋ย ที่ระดับใต้รอยกรีด 5 เซนติเมตร เท่ากับ 1.02 มิลลิโมลาร์ มีความเข้มข้นใกล้เคียงกับที่ระดับ 170 เซนติเมตร คือ 0.96 มิลลิโมลาร์ เช่นเดียวกับแปลงที่ไม่มีการใส่ปุ๋ย ที่ระดับใต้รอยกรีด 5 เซนติเมตร เท่ากับ 0.93 มิลลิโมลาร์ มีความเข้มข้นใกล้เคียงกับที่ระดับ 170 เซนติเมตร คือ 0.71 มิลลิโมลาร์ ความเข้มข้นของแอมโมเนียมในน้ำยางในแปลงที่ใส่ปุ๋ย ที่ระดับใต้รอยกรีด 5 เซนติเมตร และที่ระดับ 170 เซนติเมตร จะมีค่าสูงสุดในช่วงหลังทำการใส่ปุ๋ย 3 เดือน (มกราคม พ.ศ. 2555) คือ 1.64 และ 1.48 มิลลิโมลาร์ ตามลำดับ เช่นเดียวกับแปลงที่ไม่มีการใส่ปุ๋ย คือ 1.42 และ 1.34 มิลลิโมลาร์ ตามลำดับ และมีค่าต่ำสุดในช่วงหยุดกรีดในหน้าแล้ง (เมษายน พ.ศ. 2555) โดยในแปลงที่ใส่ปุ๋ย ที่ระดับใต้รอยกรีด 5 เซนติเมตร และที่ระดับ 170 เซนติเมตร จะมีค่าเท่ากับ 0.36 และ 0.24 มิลลิโมลาร์ ตามลำดับ และแปลงที่ไม่ใส่ปุ๋ยจะมีค่าเท่ากับ 0.22 และ 0.13 มิลลิโมลาร์ ตามลำดับ (รูปที่ 3.25)



รูปที่ 3.25 ความเข้มข้นของแอมโมเนียมในน้ำยาง (ค่าเฉลี่ยจาก 3 ซ้ำ)

หมายเหตุ : I = ค่าความคลาดเคลื่อนมาตรฐาน, * = แตกต่างทางสถิติที่ระดับ $P \leq 0.05$, ns = ไม่แตกต่างทางสถิติ

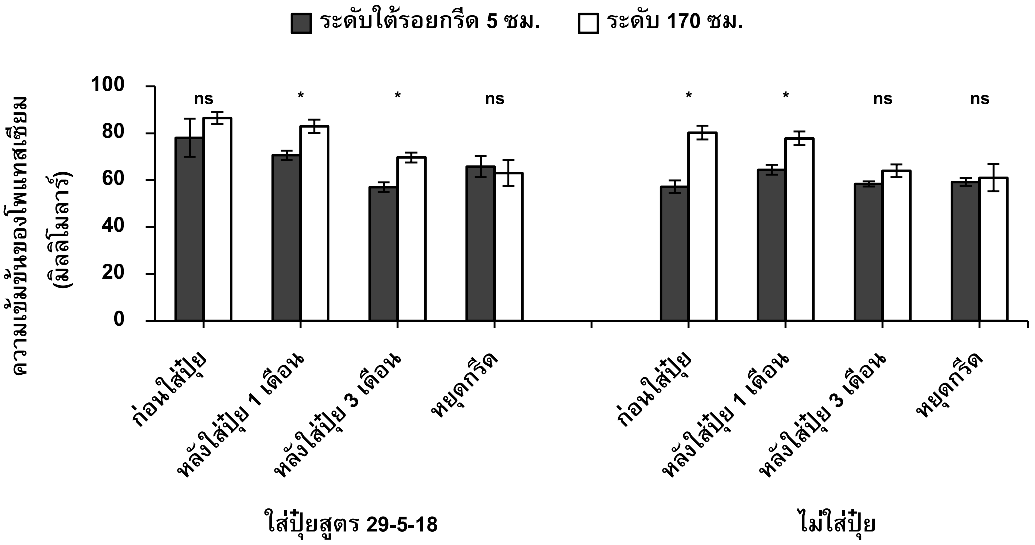
3.6 ไนเทรต ความเข้มข้นของไนเทรตในน้ำยางเฉลี่ยในช่วงก่อนทำการใส่ปุ๋ย หลังทำการใส่ปุ๋ย 1 เดือน หลังทำการใส่ปุ๋ย 3 เดือนและช่วงหยุดกรีดในหน้าแล้งจากแปลงที่มีการใส่ปุ๋ยที่ระดับใต้รอยกรีด 5 เซนติเมตร เท่ากับ 0.15 มิลลิโมลาร์ มีความเข้มข้นต่ำกว่าที่ระดับ 170 เซนติเมตร คือ 0.34 มิลลิโมลาร์ เช่นเดียวกับแปลงที่ไม่มีการใส่ปุ๋ย ที่ระดับใต้รอยกรีด 5 เซนติเมตร เท่ากับ 0.14 มิลลิโมลาร์ มีความเข้มข้นต่ำกว่าที่ระดับ 170 เซนติเมตร คือ 0.26 มิลลิโมลาร์ ความเข้มข้นของไนเทรตในน้ำยางในแปลงที่ใส่ปุ๋ย ที่ระดับใต้รอยกรีด 5 เซนติเมตร และที่ระดับ 170 เซนติเมตรจะมีค่าสูงสุดในช่วงหลังทำการใส่ปุ๋ย 3 เดือน (มกราคม พ.ศ. 2555) คือ 0.41 และ 0.77 มิลลิโมลาร์ ตามลำดับ เช่นเดียวกับแปลงที่ไม่มีการใส่ปุ๋ย คือ 0.3 และ 0.58 มิลลิโมลาร์ ตามลำดับ และมีค่าต่ำสุดในช่วงหยุดกรีดในหน้าแล้ง (เมษายน พ.ศ. 2555) โดยในแปลงที่ใส่ปุ๋ย ที่ระดับใต้รอยกรีด 5 เซนติเมตร และที่ระดับ 170 เซนติเมตร จะมีค่าเท่ากับ 0.02 และ 0.04 มิลลิโมลาร์ ตามลำดับ และแปลงที่ไม่ใส่ปุ๋ยจะมีค่าเท่ากับ 0.09 และ 0 มิลลิโมลาร์ ตามลำดับ (รูปที่ 3.26)



รูปที่ 3.26 ความเข้มข้นของไนเทรตในน้ำยาง (ค่าเฉลี่ยจาก 3 ซ้ำ)

หมายเหตุ : I = ค่าความคลาดเคลื่อนมาตรฐาน, * = แตกต่างทางสถิติที่ระดับ $P \leq 0.05$, ns = ไม่แตกต่างทางสถิติ

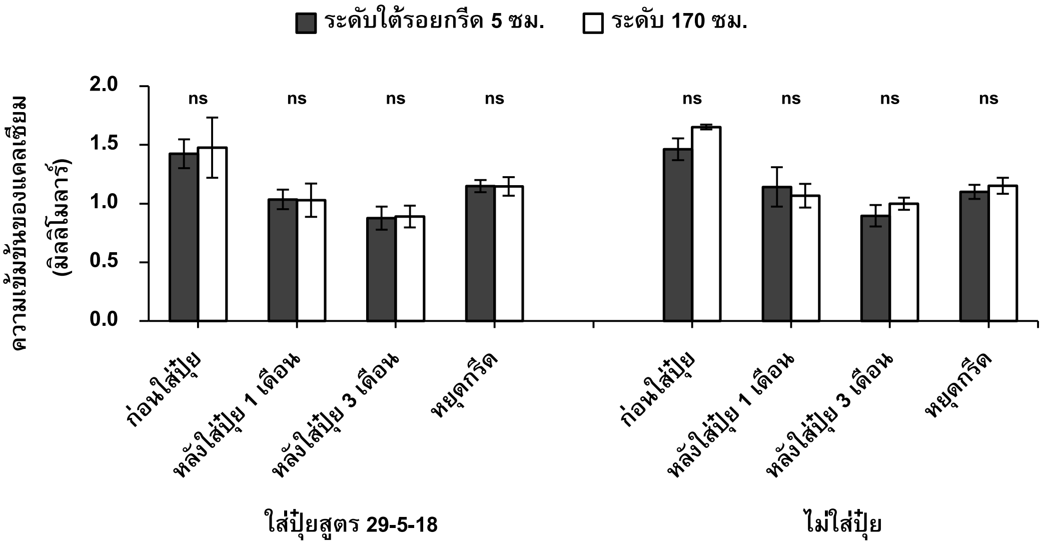
3.7 โพแทสเซียม ความเข้มข้นของโพแทสเซียมในน้ำยางเฉลี่ยในช่วงก่อนทำการใส่ปุ๋ย หลังทำการใส่ปุ๋ย 1 เดือน หลังทำการใส่ปุ๋ย 3 เดือนและช่วงหยุดกรีดในหน้าแล้งจากแปลงที่มีการใส่ปุ๋ย ที่ระดับใต้รอยกรีด 5 เซนติเมตร เท่ากับ 67.91 มิลลิโมลาร์ มีความเข้มข้นต่ำกว่าที่ระดับ 170 เซนติเมตรคือ 75.55 มิลลิโมลาร์ เช่นเดียวกับแปลงที่ไม่มีการใส่ปุ๋ย ที่ระดับใต้รอยกรีด 5 เซนติเมตร เท่ากับ 59.84 มิลลิโมลาร์ มีความเข้มข้นต่ำกว่าที่ระดับ 170 เซนติเมตร คือ 70.79 มิลลิโมลาร์ ความเข้มข้นของโพแทสเซียมในน้ำยางในแปลงที่ใส่ปุ๋ย ที่ระดับใต้รอยกรีด 5 เซนติเมตร และที่ระดับ 170 เซนติเมตร จะมีค่าสูงสุดในช่วงก่อนทำการใส่ปุ๋ย (ตุลาคม พ.ศ. 2554) คือ 78.09 และ 86.57 มิลลิโมลาร์ ตามลำดับ เช่นเดียวกับแปลงที่ไม่มีการใส่ปุ๋ย คือ 57.23 และ 80.29 มิลลิโมลาร์ ตามลำดับ และมีค่าต่ำสุดในช่วงหลังทำการใส่ปุ๋ย 3 เดือน (มกราคม พ.ศ. 2555) โดยในแปลงที่ใส่ปุ๋ย ที่ระดับใต้รอยกรีด 5 เซนติเมตร และที่ระดับ 170 เซนติเมตรจะมีค่าเท่ากับ 57.06 และ 69.68 มิลลิโมลาร์ ตามลำดับ และแปลงที่ไม่ใส่ปุ๋ยจะมีค่าเท่ากับ 58.44 และ 64.01 มิลลิโมลาร์ ตามลำดับ (รูปที่ 3.27)



รูปที่ 3.27 ความเข้มข้นของโพแทสเซียมในน้ำยาง (ค่าเฉลี่ยจาก 3 ซ้ำ)

หมายเหตุ : I = ค่าความคลาดเคลื่อนมาตรฐาน, * = แตกต่างทางสถิติที่ระดับ $P \leq 0.05$, ns = ไม่แตกต่างทางสถิติ

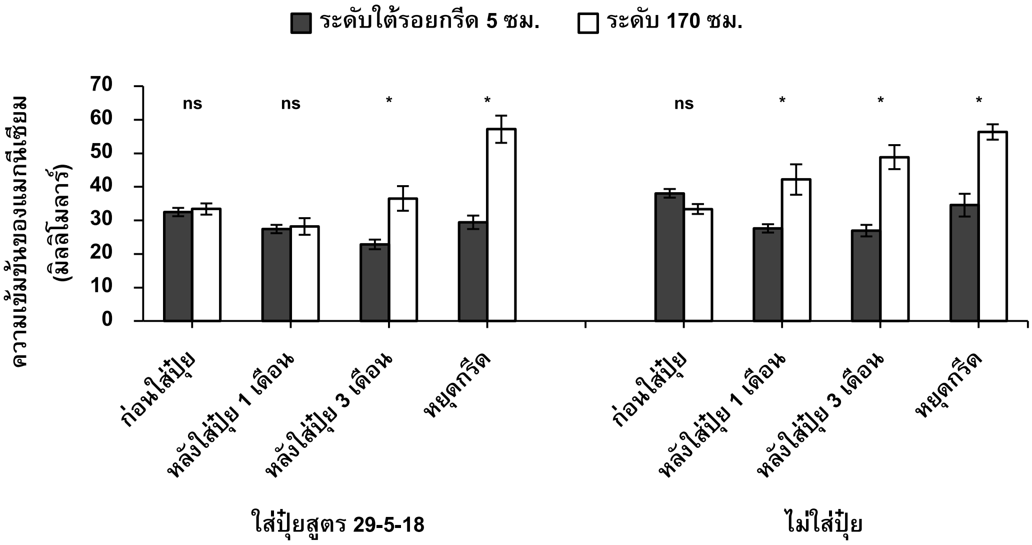
3.8 แคลเซียม ความเข้มข้นของแคลเซียมในน้ำยางเฉลี่ยในช่วงก่อนทำการใส่ปุ๋ย หลังทำการใส่ปุ๋ย 1 เดือน หลังทำการใส่ปุ๋ย 3 เดือนและช่วงหยุดกรีดในหน้าแล้งจากแปลงที่มีการใส่ปุ๋ย ที่ระดับใต้รอยกรีด 5 เซนติเมตร เท่ากับ 1.12 มิลลิโมลาร์ มีความเข้มข้นใกล้เคียงกับที่ระดับ 170 เซนติเมตร คือ 1.14 มิลลิโมลาร์ เช่นเดียวกับแปลงที่ไม่มีการใส่ปุ๋ยที่ระดับใต้รอยกรีด 5 เซนติเมตร เท่ากับ 1.15 มิลลิโมลาร์ มีความเข้มข้นใกล้เคียงกับที่ระดับ 170 เซนติเมตร คือ 1.22 มิลลิโมลาร์ ความเข้มข้นของแคลเซียมในน้ำยางในแปลงที่ใส่ปุ๋ย ที่ระดับใต้รอยกรีด 5 เซนติเมตร และที่ระดับ 170 เซนติเมตร จะมีค่าสูงสุดในช่วงก่อนทำการใส่ปุ๋ย (ตุลาคม พ.ศ. 2554) คือ 1.42 และ 1.48 มิลลิโมลาร์ ตามลำดับ เช่นเดียวกับแปลงที่ไม่มีการใส่ปุ๋ย คือ 1.46 และ 1.65 มิลลิโมลาร์ ตามลำดับ และมีค่าต่ำสุดในช่วงหลังทำการใส่ปุ๋ย 3 เดือน (มกราคม พ.ศ. 2555) โดยในแปลงที่ใส่ปุ๋ย ที่ระดับใต้รอยกรีด 5 เซนติเมตร และที่ระดับ 170 เซนติเมตร จะมีค่าเท่ากับ 0.88 และ 0.89 มิลลิโมลาร์ ตามลำดับ และแปลงที่ไม่ใส่ปุ๋ยจะมีค่าเท่ากับ 0.9 และ 1 มิลลิโมลาร์ ตามลำดับ (รูปที่ 3.28)



รูปที่ 3.28 ความเข้มข้นของแคลเซียมในน้ำยาง (ค่าเฉลี่ยจาก 3 ซ้ำ)

หมายเหตุ : I = ค่าความคลาดเคลื่อนมาตรฐาน, * = แตกต่างทางสถิติที่ระดับ $P \leq 0.05$, ns = ไม่แตกต่างทางสถิติ

3.9 แมกนีเซียม ความเข้มข้นของแมกนีเซียมในน้ำยางเฉลี่ยในช่วงก่อนทำการใส่ปุ๋ย หลังทำการใส่ปุ๋ย 1 เดือน หลังทำการใส่ปุ๋ย 3 เดือนและช่วงหยุดกรีดในหน้าแล้งจากแปลงที่มีการใส่ปุ๋ย ที่ระดับใต้รอยกรีด 5 เซนติเมตร เท่ากับ 28.05 มิลลิโมลาร์ มีความเข้มข้นต่ำกว่าที่ระดับ 170 เซนติเมตร คือ 38.84 มิลลิโมลาร์ เช่นเดียวกับแปลงที่ไม่มีการใส่ปุ๋ย ที่ระดับใต้รอยกรีด 5 เซนติเมตร เท่ากับ 31.79 มิลลิโมลาร์ มีความเข้มข้นต่ำกว่าที่ระดับ 170 เซนติเมตร คือ 45.19 มิลลิโมลาร์ ความเข้มข้นของแมกนีเซียมในน้ำยางในแปลงที่ใส่ปุ๋ย ที่ระดับใต้รอยกรีด 5 เซนติเมตร และที่ระดับ 170 เซนติเมตร จะมีค่าสูงสุดในช่วงหยุดกรีดในหน้าแล้ง (เมษายน พ.ศ. 2555) คือ 29.43 และ 57.19 มิลลิโมลาร์ ตามลำดับ เช่นเดียวกับแปลงที่ไม่มีการใส่ปุ๋ย คือ 34.56 และ 56.34 มิลลิโมลาร์ ตามลำดับ และมีค่าต่ำสุดในช่วงหลังทำการใส่ปุ๋ย 1 เดือน (พฤศจิกายน พ.ศ. 2555) โดยในแปลงที่ใส่ปุ๋ย ที่ระดับใต้รอยกรีด 5 เซนติเมตร และที่ระดับ 170 เซนติเมตร จะมีค่าเท่ากับ 27.44 และ 28.22 มิลลิโมลาร์ ตามลำดับ และแปลงที่ไม่ใส่ปุ๋ยจะมีค่าเท่ากับ 27.61 และ 42.19 มิลลิโมลาร์ ตามลำดับ (รูปที่ 3.29)



รูปที่ 3.29 ความเข้มข้นของแมกนีเซียมในน้ำยาง (ค่าเฉลี่ยจาก 3 ซ้ำ)

หมายเหตุ : I = ค่าความคลาดเคลื่อนมาตรฐาน, * = แตกต่างทางสถิติที่ระดับ $P \leq 0.05$, ns = ไม่แตกต่างทางสถิติ

4. ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณเนื้อยางแห้งกับปริมาณธาตุอาหารและองค์ประกอบทางชีวเคมีในน้ำยาง

จากการนำข้อมูลปริมาณธาตุอาหารพืชและองค์ประกอบทางชีวเคมีในน้ำยางในยางพาราก่อนเปิดกรีดประกอบด้วย ซูโครส (Suc) อนินทรีย์ฟอสฟอรัส (Pi) ไทออล (R-SH) แอมโมเนียม (NH_4^+) โพแทสเซียม (K) แคลเซียม (Ca) และแมกนีเซียม (Mg) มาหาความสัมพันธ์กับปริมาณเนื้อยางแห้ง (TSC) ทั้งการหาค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์และความสัมพันธ์แบบแพทโคเอฟฟิเชียนต์ พบว่า ในเดือนกันยายน พ.ศ. 2554 ปริมาณเนื้อยางแห้งมีความสัมพันธ์เชิงบวกกับอนินทรีย์ฟอสฟอรัส โดยมีค่า r เท่ากับ 0.459 แต่มีความสัมพันธ์เชิงลบกับแอมโมเนียม และแมกนีเซียม โดยมีค่า r เท่ากับ -0.303 และ -0.304 ตามลำดับ และเมื่อนำมาหาความสัมพันธ์แบบแพทโคเอฟฟิเชียนต์พบว่า อนินทรีย์ฟอสฟอรัส แอมโมเนียม และแมกนีเซียม มีอิทธิพลทางตรงต่อเนื้อยางแห้ง เท่ากับ 0.414, -0.140 และ -0.353 ตามลำดับ (ตารางที่ 3.4)

ตารางที่ 3.4 อิทธิพลทางตรงและทางอ้อมขององค์ประกอบทางชีวเคมีและธาตุอาหารพืชต่อปริมาณเนื้อยางแห้งในน้ำยางพาราในยางก่อนเปิดกรีด (กันยายน พ.ศ. 2554)

พารามิเตอร์	Correlation coefficient	Direct effect	Indirect effect						
			Suc	Pi	R-SH	NH_4^+	K^+	Ca^{2+}	Mg^{2+}
Suc	-0.097	-0.047	-	-0.065	-0.139	-0.016	0.027	0.036	0.107
Pi	0.459**	0.414	0.007	-	0.003	-0.005	0.035	0.050	-0.045
R-SH	-0.179	-0.309	-0.021	-0.004	-	-0.029	0.043	0.116	0.025
NH_4^+	-0.303*	-0.140	-0.005	0.016	-0.063	-	0.024	0.014	-0.149
K^+	0.159	0.087	-0.015	0.165	-0.154	-0.039	-	0.186	-0.072
Ca^{2+}	0.286	0.295	-0.006	0.071	-0.121	-0.007	0.055	-	-0.001
Mg^{2+}	-0.304*	-0.353	0.014	0.053	0.022	-0.059	0.018	0.001	-

หมายเหตุ : * , ** = ค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์มีนัยสำคัญทางสถิติที่ 95% และ 99%

ในเดือนพฤษภาคม พ.ศ. 2555 (ต้นยางพาราผ่านการผลัดใบประมาณ 2 เดือน) ปริมาณเนื้อยางแห้งมีความสัมพันธ์เชิงลบกับโพแทสเซียม และแมกนีเซียม โดยมีค่า r เท่ากับ -0.366 และ -0.511 ตามลำดับ และเมื่อนำมาหาความสัมพันธ์แบบแพทโคเอฟฟิเชียนต์ พบว่า โพแทสเซียม และแมกนีเซียม มีอิทธิพลทางตรงต่อเนื้อยางแห้งเท่ากับ -0.298 และ -0.488 ตามลำดับ (ตารางที่ 3.5)

ตารางที่ 3.5 อิทธิพลทางตรงและทางอ้อมขององค์ประกอบทางชีวเคมีและธาตุอาหารพืชต่อปริมาณเนื้อยางแห้งในน้ำยางพาราในยางก่อนเปิดกรีด (พฤษภาคม พ.ศ. 2555)

พารามิเตอร์	Correlation coefficient	Direct effect	Indirect effect						
			Suc	Pi	R-SH	NH_4^+	K^+	Ca^{2+}	Mg^{2+}
Suc	0.050	-0.118	-	0.030	-0.050	0.105	-0.038	-0.056	0.177
Pi	0.126	0.129	-0.027	-	0.004	0.154	-0.084	-0.018	-0.032
R-SH	-0.033	-0.130	-0.045	-0.004	-	0.083	-0.004	-0.027	0.094
NH_4^+	-0.157	-0.387	0.032	-0.051	0.028	-	0.142	0.030	0.050
K^+	-0.366*	-0.289	-0.016	0.037	-0.002	0.190	-	0.005	-0.292
Ca^{2+}	0.053	0.175	0.038	-0.013	0.020	-0.066	-0.008	-	-0.093
Mg^{2+}	-0.511**	-0.488	0.043	0.008	0.025	0.040	-0.173	0.034	-

หมายเหตุ : * , ** = ค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์มีนัยสำคัญทางสถิติที่ 95% และ 99%

ในยางพาราหลังเปิดกรีด พบว่าในเดือนกันยายน พ.ศ. 2554 (มีการกรีดถี่) ปริมาณเนื้อยางแห้งมีความสัมพันธ์เชิงลบกับอนินทรีย์ฟอสฟอรัส และไทออล โดยมีค่า r เท่ากับ -0.526 และ -0.45 ตามลำดับ และเมื่อนำมาหาความสัมพันธ์แบบแพทโคเอฟฟิเชียนต์ พบว่า อนินทรีย์ฟอสฟอรัส และไทออล มีอิทธิพลทางตรงต่อเนื้อยางแห้ง เท่ากับ -0.505 และ -0.395 ตามลำดับ (ตารางที่ 3.6)

ตารางที่ 3.6 อิทธิพลทางตรงและทางอ้อมขององค์ประกอบทางชีวเคมีและธาตุอาหารพืชต่อปริมาณเนื้อยางแห้งในน้ำยางพาราในยางหลังเปิดกรีด (กันยายน พ.ศ. 2554)

พารามิเตอร์	Correlation coefficient	Direct effect	Indirect effect						
			Suc	Pi	R-SH	NH_4^+	K^+	Ca^{2+}	Mg^{2+}
Suc	-0.081	0.080	-	-0.082	-0.177	-0.005	0.082	0.020	0.000
Pi	-0.526**	-0.505	0.013	-	-0.190	0.005	0.140	0.017	-0.005
R-SH	-0.450**	-0.395	0.036	-0.243	-	0.006	0.120	0.023	0.003
NH_4^+	-0.073	0.031	-0.012	-0.076	-0.083	-	0.054	0.008	0.006
K^+	-0.206	0.244	0.027	-0.290	-0.194	0.007	-	0.019	-0.018
Ca^{2+}	-0.152	0.055	0.029	-0.157	-0.163	0.004	0.083	-	-0.002
Mg^{2+}	0.042	0.078	0.000	0.034	-0.015	0.002	-0.057	-0.002	-

หมายเหตุ : * , ** = ค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์มีนัยสำคัญทางสถิติที่ 95% และ 99%

ในช่วงเดือนพฤษภาคม พ.ศ. 2555 (เริ่มเปิดกรีด) ปริมาณเนื้อยางแห้งมีความสัมพันธ์เชิงลบกับโพแทสเซียม และแคลเซียม ซึ่งมีค่า r เท่ากับ -0.538 และ -0.319 ตามลำดับ และเมื่อนำมาหาความสัมพันธ์แบบแพทโคเอฟฟิเชียนต์ พบว่า โพแทสเซียม และแคลเซียมมีอิทธิพลทางตรงต่อเนื้อยางแห้ง เท่ากับ -0.493 และ -0.157 ตามลำดับ (ตารางที่ 3.7)

ตารางที่ 3.7 อิทธิพลทางตรงและทางอ้อมขององค์ประกอบทางชีวเคมีและธาตุอาหารพืชต่อปริมาณเนื้อยางแห้งในน้ำยางพาราในยางหลังเปิดกรีด (พฤษภาคม พ.ศ. 2555)

พารามิเตอร์	Correlation coefficient	Direct effect	Indirect effect						
			Suc	Pi	R-SH	NH_4^+	K^+	Ca^{2+}	Mg^{2+}
Suc	-0.240	-0.106	-	-0.006	0.000	0.001	-0.116	-0.043	0.030
Pi	-0.055	0.089	0.007	-	-0.001	0.001	-0.152	0.006	-0.005
R-SH	-0.009	-0.016	0.000	0.004	-	0.001	-0.001	-0.015	0.018
NH_4^+	0.232	-0.006	0.010	-0.010	0.002	-	0.273	-0.021	-0.016
K^+	-0.538**	-0.493	-0.025	0.028	0.000	0.003	-	-0.036	-0.014
Ca^{2+}	-0.319*	-0.157	-0.029	-0.004	-0.002	-0.001	-0.114	-	-0.013
Mg^{2+}	-0.150	-0.095	0.034	0.005	0.003	-0.001	-0.073	-0.022	-

หมายเหตุ : * , ** = ค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์มีนัยสำคัญทางสถิติที่ 95% และ 99%

บทที่ 4

วิจารณ์ผลการทดลอง

การวิจารณ์ผลการทดลองนี้ประกอบด้วย ความแตกต่างของค่าปริมาณเนื้อยางแห้งที่ได้จากวิธีการต่างๆ การเปลี่ยนแปลงของปริมาณธาตุอาหารและองค์ประกอบทางชีวเคมีในน้ำยาง และปริมาณธาตุอาหารในใบยางพาราในรอบปี ความแตกต่างของค่าวิเคราะห์ปริมาณธาตุอาหารและองค์ประกอบทางชีวเคมีในน้ำยางที่เก็บจากตำแหน่งที่ต่างกัน และความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณเนื้อยางแห้ง กับปริมาณธาตุอาหาร และองค์ประกอบทางชีวเคมีในน้ำยาง

1. ความแตกต่างของค่าปริมาณเนื้อยางแห้งที่ได้จากวิธีการต่าง ๆ

1.1 ปริมาณเนื้อยางแห้งที่ได้จากวิธีการต่าง ๆ

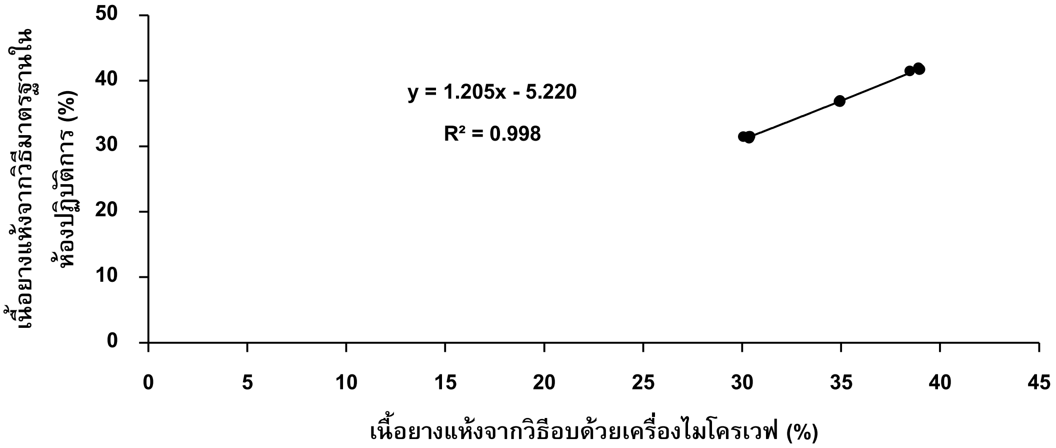
ปริมาณเนื้อยางแห้งที่ได้จากทั้ง 4 วิธี วิธีการอบจะได้ปริมาณเนื้อยางแห้งที่สูงที่สุด ทั้งสวนที่มีระดับของเนื้อยางแห้งต่ำ ปานกลาง และสูง เนื่องจากวิธีการนี้เป็นการหาปริมาณของแข็งทั้งหมด ซึ่งจะมีเนื้อยางแห้งเป็นองค์ประกอบประมาณ 90 เปอร์เซ็นต์ (George and Jacob, 2000) และนอกจากนี้ในน้ำยางยังมีอนุภาคชนิดอื่น เช่น ลูทอยด์และเฟรวิสลิง เป็นต้น (พิศมัย, 2543) ดังนั้นค่าเนื้อยางแห้งที่ได้จากวิธีใช้ตู้อบจึงเป็นค่าที่มีของแข็งชนิดอื่นผสมอยู่ด้วยจึงได้ค่าที่สูงกว่าวิธีอื่นๆ รองลงมาคือ วิธีการตกตะกอนด้วย TCA และวิธีมาตรฐานในห้องปฏิบัติการ ทั้ง 2 วิธีให้ค่าวิเคราะห์ปริมาณเนื้อยางแห้งที่ไม่แตกต่างกันทางสถิติ เนื่องจากเป็นวิธีที่ใช้กรดในการตกตะกอน และล้างเอาอนุภาคอื่นๆ ที่ไม่ใช่ส่วนของเนื้อยางออกไปก่อนจะนำไปอบ จึงทำให้ได้เฉพาะส่วนของเนื้อยางแห้งที่แท้จริง ดังนั้น ในการวิจัยที่ทำการวิเคราะห์องค์ประกอบทางชีวเคมีในน้ำยางโดยการตกตะกอนด้วย TCA จึงสามารถใช้วิธีนี้ในการหาค่าเนื้อยางแห้งแทนวิธีมาตรฐานในห้องปฏิบัติการได้ ทำให้ใช้น้ำยางที่น้อยกว่า มีขั้นตอนที่สะดวกกว่า และค่าที่ได้ไม่แตกต่างกับวิธีมาตรฐานในห้องปฏิบัติการ

วิธีอบด้วยเครื่องไมโครเวฟเป็นวิธีที่นิยมใช้ในการซื้อขายน้ำยางในระดับชาวสวนกับพ่อค้าคนกลางอย่างแพร่หลายในปัจจุบัน (นุชนาฏ, 2553) เนื่องจากวิธีนี้สามารถวัดได้อย่างสะดวกรวดเร็วกว่าวิธีมาตรฐานในห้องปฏิบัติการ และมักใช้ซื้อขายในระดับโรงงาน (พรพรรณ, 2529) แต่จะมีข้อเสียตรงที่ปริมาณเนื้อยางแห้งที่ได้จะมีปริมาณที่ต่ำกว่าความเป็นจริงทั้งที่เป็นการนำน้ำยางทั้งหมดไปวัดเช่นเดียวกับวิธีใช้ตู้อบ อย่างไรก็ตาม ในขั้นตอนการหาเนื้อยางแห้งด้วยวิธีนี้จะใช้น้ำยางเพียง 0.85-0.87 กรัม (ตามที่พ่อค้ากำหนด) แต่เมื่อคำนวณกลับเป็นเนื้อยางแห้งจะเทียบเป็นน้ำยางสด 1 กรัมเพื่อเป็นการหักส่วนของแข็งอื่นที่ไม่ใช่เนื้อยางออก

จากการทดลอง พบว่า การใช้วิธีอบด้วยเครื่องไมโครเวฟจะได้ปริมาณเนื้อยางแห้งที่ต่ำที่สุดทั้งสวนที่มีระดับของเนื้อยางแห้งที่ต่ำ ปานกลาง และสูง ดังนั้น หากใช้วิธีการนี้ในการหาเนื้อยางแห้ง ถ้ายิ่งใช้ปริมาณน้ำยางน้อยเท่าไร เมื่อเทียบกลับเป็นเนื้อยางแห้งจะส่งผลให้เปอร์เซ็นต์เนื้อยางแห้งในน้ำยางลดลงด้วย หากต้องการให้ได้เนื้อยางแห้งใกล้เคียงกับวิธีมาตรฐานในห้องปฏิบัติการควรใช้น้ำหนักน้ำยางสดเพิ่มขึ้น หรือนำค่าเนื้อยางแห้งที่ได้จากวิธีมาตรฐานในห้องปฏิบัติการและวิธีอบด้วยเครื่องไมโครเวฟมาหาความสัมพันธ์กัน เพื่อสร้างสมการทำนายจะได้ปริมาณเนื้อยางแห้งที่ใกล้เคียงความเป็นจริงมากยิ่งขึ้น (รูปที่ 3.1)

1.2 ความสัมพันธ์ของปริมาณเนื้อยางแห้งที่ได้จากวิธีการต่าง ๆ

ปริมาณเนื้อยางแห้งที่ได้จากทั้ง 4 วิธีมีความสัมพันธ์ในเชิงบวกสูง ซึ่งเมื่อนำปริมาณเนื้อยางแห้งที่ได้จากวิธีอบด้วยเครื่องไมโครเวฟมาเปรียบเทียบกับวิธีมาตรฐานในห้องปฏิบัติการ พบว่า ให้ปริมาณเนื้อยางแห้งน้อยกว่าประมาณ 5.27 เปอร์เซ็นต์ ในขณะที่มีการรายงานว่าการวัดปริมาณเนื้อยางแห้งด้วยการใช้คลื่นไมโครเวฟให้ค่าเนื้อยางแห้งน้อยกว่าวิธีมาตรฐานในห้องปฏิบัติการ 0.7 เปอร์เซ็นต์ (Jabatan *et al.*, 1982) อย่างไรก็ตาม ค่าเนื้อยางแห้งที่ได้จากวิธีอบด้วยเครื่องไมโครเวฟมีความสัมพันธ์กับค่าที่ได้จากวิธีมาตรฐานในห้องปฏิบัติการสูง ซึ่งมีค่า r เท่ากับ 0.999 (ตารางที่ 3.1) เมื่อนำปริมาณเนื้อยางแห้งที่ได้จากวิธีอบด้วยเครื่องไมโครเวฟ (x) มาสร้างสมการหาความสัมพันธ์กับวิธีมาตรฐานในห้องปฏิบัติการ (y) ได้สมการทำนายค่าเนื้อยางแห้ง คือ $y = 1.205x - 5.220$ และมีค่าสัมประสิทธิ์ของการตัดสินใจ (R^2) เท่ากับ 0.998 (รูปที่ 4.1) สมมติว่า ขายน้ำยางสด 1,000 กิโลกรัมจากแปลงที่มีเนื้อยางแห้งสูง โดยมีเนื้อยางแห้งตามวิธีมาตรฐานในห้องปฏิบัติการเท่ากับ 41.47 เปอร์เซ็นต์ และวิธีอบด้วยเครื่องไมโครเวฟเท่ากับ 39 เปอร์เซ็นต์ เมื่อพิจารณาจากเนื้อยางแห้งจากทั้ง 2 วิธีจะขายน้ำยางได้ (100 บาท/กก.) 41,470 และ 39,000 บาท ตามลำดับ แต่หากประเมินเนื้อยางแห้งที่แท้จริงโดยใช้สมการดังกล่าวจะได้เท่ากับ 41.43 เปอร์เซ็นต์ และทำให้ขายน้ำยางได้เป็นเงิน 41,430 บาท ทำให้เกษตรกรมีรายได้ใกล้เคียงกับที่คำนวณจากปริมาณเนื้อยางแห้งจากวิธีมาตรฐานในห้องปฏิบัติการ



รูปที่ 4.1 ความสัมพันธ์ของเนื้อยางแห้งที่ได้จากวิธีมาตรฐานในห้องปฏิบัติการ และวิธีอบด้วยเครื่องไมโครเวฟ

2. การเปลี่ยนแปลงของปริมาณธาตุอาหารและองค์ประกอบทางชีวเคมีในน้ำยางและปริมาณธาตุอาหารในใบยางพาราในรอบปี

2.1 การเปลี่ยนแปลงของผลผลิตน้ำยางในรอบปี

การเปลี่ยนแปลงผลผลิตน้ำยางสดในรอบปีในแปลงที่ใส่และไม่ใส่ปุ๋ยมีการเปลี่ยนแปลงไปในทิศทางเดียวกัน โดยช่วงเริ่มเปิดกรีดในเดือนมิถุนายน พ.ศ. 2554 ยางพาราให้ผลผลิตต่ำสุด และผลผลิตจะเพิ่มขึ้นจนถึงเดือนกรกฎาคม พ.ศ. 2554 จากนั้นผลผลิตน้ำยางเริ่มคงที่ และให้ผลผลิตสูงสุดในช่วงเดือนตุลาคม พ.ศ. 2554 ถึงมกราคม พ.ศ. 2555 (รูปที่ 3.4) สอดคล้องกับที่เคยรายงานไว้ โดยปริมาณน้ำฝน อุณหภูมิ การผลัดใบ และสร้างใบใหม่ของต้นยาง มีผลต่อการให้ผลผลิตยางพารา (นภาวรรณ และคณะ, 2544) ในตอนเริ่มเปิดกรีดในเดือนมิถุนายน พ.ศ. 2554 จะเป็นช่วงแล้งและเพิ่งผ่านการสร้างใบใหม่ ยางพาราจะให้ผลผลิตต่ำเนื่องจากช่วงนี้ปริมาณฝนตกน้อย และอุณหภูมิสูง (รูปที่ 3.2) อาจส่งผลให้เกิดการขาดน้ำ และลดการใช้น้ำในต้นยางทำให้ปากใบปิด ส่งผลให้ต้นยางพารานำก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ไปใช้ในกระบวนการสังเคราะห์แสงได้น้อย ซึ่งจะสังเกตได้จากความเข้มข้นของคาร์โบไฮเดรตในใบที่ต่ำลง (รูปที่ 3.20) ทำให้น้ำตาลซูโครสซึ่งเป็นสารตั้งต้นในการสร้างน้ำยางมีน้อย (รูปที่ 3.7) ขณะเดียวกันเมื่อต้นยางพาราขาดน้ำทำให้แรงดันในท่อน้ำและท่ออาหารต่ำ จึงทำให้น้ำยางไหลช้า (นภาวรรณ และคณะ, 2544) ประกอบกับอุณหภูมิสูง (รูปที่ 3.2) และมีของแข็งทั้งหมดสูง (รูปที่ 3.6) กับปริมาณไทออลที่ต่ำ (รูปที่ 3.9) จึงทำให้น้ำยางหยุดไหลเร็วขึ้น ผลผลิตจึงต่ำสุดในรอบปี แต่หลังจากเดือนมิถุนายน พ.ศ. 2554 มีปริมาณน้ำฝนมากขึ้น อุณหภูมิต่ำลง ทำให้ต้นยางพาราใช้น้ำและคาร์บอนไดออกไซด์ในการสังเคราะห์แสงได้ดีขึ้น จึงส่งผลผลให้ผลผลิตยาง

สูงขึ้น (นภาวรรณ และคณะ, 2544) อย่างไรก็ตาม ในช่วงเดือนมกราคมถึงกุมภาพันธ์ พ.ศ. 2555 (รูปที่ 3.4) ซึ่งเป็นระยะที่ยางผลัดใบและผลิใบใหม่ ทำให้ผลผลิตยางลดลง สอดคล้องกับที่เคยรายงานไว้ (นภาวรรณ และคณะ, 2544) เนื่องจากในช่วงนี้ต้นยางจะนำธาตุอาหารที่มีอยู่ไปใช้ในการสร้างการเจริญเติบโตของลำต้น และการสร้างใบใหม่มากกว่านำไปใช้ในการสร้างน้ำยาง จึงทำให้ผลผลิตยางลดลง

2.2 การเปลี่ยนแปลงองค์ประกอบทางชีวเคมีในน้ำยางในรอบปี

การเปลี่ยนแปลงองค์ประกอบทางชีวเคมีในน้ำยางพบว่า น้ำยางในเดือนพฤษภาคม พ.ศ. 2554 และ 2555 มีปริมาณของแข็งทั้งหมดสูงกว่าในช่วงอื่นๆ (รูปที่ 3.6) ทั้งนี้เพราะเป็นช่วงที่หยุดกรีด และเริ่มกรีด ซึ่งเป็นช่วงแล้ง มีอุณหภูมิสูงกว่าช่วงอื่นๆ (รูปที่ 3.2) สอดคล้องกับที่มีรายงานว่า อุณหภูมิมีความสัมพันธ์เชิงบวกกับปริมาณของแข็งทั้งหมดในน้ำยาง แต่จะมีความสัมพันธ์เชิงลบกับอนินทรีย์ฟอสฟอรัส และซูโครส (Vinod *et al.*, 2000) ทั้งนี้การใส่ปุ๋ยไม่มีผลต่อปริมาณของแข็งทั้งหมดในน้ำยาง ในขณะที่ซูโครสในน้ำยางในช่วงเดือนเมษายนถึงสิงหาคม พ.ศ. 2554 มีค่าต่ำ โดยในเดือนเมษายน พ.ศ. 2554 เป็นช่วงที่หยุดกรีดยาง และผลิใบใหม่ ซูโครสจึงถูกนำไปใช้ในการเจริญทางด้านลำต้นและใบ แต่หลังจากเปิดกรีดยางในเดือนพฤษภาคมจนถึงสิงหาคม พ.ศ. 2554 ซึ่งมีอุณหภูมิสูงและมีการกรีดถี่ (รูปที่ 3.2 และ 3.3) จึงทำให้มีการนำซูโครสไปสร้างเนื้อยางสูง ทำให้พบซูโครสในน้ำยางต่ำกว่าในระยะอื่นซึ่งมีความถี่ในการกรีดยางน้อยกว่า (รูปที่ 3.7) ในขณะที่ปลายปีมีฝนตกสูงและอุณหภูมิต่ำกว่าช่วงแล้ง ประกอบกับมีจำนวนวันกรีดยางน้อย ส่งผลให้มีการสะสมซูโครสในน้ำยางสูงกว่าระยะอื่นๆ แต่เมื่ออุณหภูมิสูงขึ้น และมีการกรีดยางถี่ขึ้นก็ทำให้ซูโครสในน้ำยางลดลงอีกครั้ง สอดคล้องกับที่เคยรายงานไว้ พบว่า ต้นยางที่เปิดกรีดปริมาณซูโครสจะลดลง (พเยาว์ และคณะ, 2546) ทั้งนี้ การใส่ปุ๋ยทำให้ซูโครสในน้ำยางสูงกว่าไม่ใส่ปุ๋ย โดยเฉพาะหลังจากการใส่ปุ๋ยครั้งที่ 2 ในเดือนตุลาคม พ.ศ. 2554

การเปลี่ยนแปลงของอนินทรีย์ฟอสฟอรัสในน้ำยาง พบว่า สอดคล้องกับการเปลี่ยนแปลงของผลผลิตน้ำยางสดและซูโครส โดยอนินทรีย์ฟอสฟอรัสจะสูงเมื่อผลผลิตน้ำยางสูงในขณะที่ซูโครสต่ำ (นภาวรรณ และคณะ, 2544 ; Jacob *et al.*, 2000) สอดคล้องกับที่เคยรายงานว่า อนินทรีย์ฟอสฟอรัสมีความสัมพันธ์เชิงบวกกับผลผลิตยางพารา (นภาวรรณ และคณะ, 2544 ; Jacob *et al.*, 2000 ; Lacote *et al.*, 2010) หลังจากเปิดกรีดยางในเดือนพฤษภาคม พ.ศ. 2554 อนินทรีย์ฟอสฟอรัสก็เริ่มค่อยๆ สูงขึ้น (รูปที่ 3.8) สอดคล้องกับผลผลิตน้ำยางสด (รูปที่ 3.4) และอนินทรีย์ฟอสฟอรัสเพิ่มขึ้นสูงมากในช่วงเดือนมีนาคมถึงเมษายน พ.ศ. 2555 (รูปที่ 3.8) โดยในช่วงนี้ยางพารามีการผลิใบใหม่ และในเดือนมีนาคม พ.ศ. 2555 ยังคงกรีดยางอยู่ ดังนั้น อนินทรีย์ฟอสฟอรัสที่สูงขึ้นมากอาจเกิดจากกระบวนการสร้างน้ำยางโดยตรงในเดือนมีนาคม ประกอบกับการใช้พลังงาน ATP ในกระบวนการเคลื่อนย้ายซูโครสใน

น้ำยางเพื่อนำไปใช้ในการพัฒนาของการเจริญเติบโตของลำต้นและใบ ซึ่งเห็นได้ชัดจากการลดลงของซูโครสในช่วงดังกล่าว (รูปที่ 3.7) ทั้งนี้ การใส่ปุ๋ยส่งผลให้อนินทรีย์ฟอสฟอรัสในน้ำยางส่วนใหญ่สูงกว่าในแปลงที่ไม่มีการใส่ปุ๋ย (รูปที่ 3.8) สอดคล้องกับที่เคยรายงานไว้ที่พบว่า การใส่ปุ๋ยส่งผลให้อนินทรีย์ฟอสฟอรัสในน้ำยางเพิ่มสูงขึ้น (ภัทธาวุธ และคณะ, 2537) เช่นเดียวกับที่เคยรายงานว่า ในแปลงที่ใส่ปุ๋ยฟอสเฟตสูงกว่าทำให้พบอนินทรีย์ฟอสฟอรัสในน้ำยางมากกว่า (สิทธิชัย และคณะ, 2556)

การเปลี่ยนแปลงของไทออล พบว่า ในเดือนกันยายน พ.ศ. 2554 ซึ่งเป็นช่วงที่มีการกรีดสูง และในเดือนกุมภาพันธ์ พ.ศ. 2555 ซึ่งเป็นช่วงแล้งและต้นยางผลัดใบ โดยทั้ง 2 ช่วงนี้ส่งผลให้ต้นยางเกิดความเครียดสูง จึงทำให้ไทออลในช่วงนี้สูงด้วย โดยมีการรายงานว่า ในระยะที่ต้นยางเกิดความเครียดจะมีไทออลสูง (Sreelathe *et al.*, 2007) และค่อยๆ ลดลง ซึ่งจะเห็นได้ชัดจากในช่วงเดือนตุลาคม พ.ศ. 2554 ถึงมกราคม พ.ศ. 2555 ซึ่งเป็นช่วงที่มีการกรีดลดลง (รูปที่ 3.9) ทั้งนี้ ในสภาพปกติไทออลจะสูงเมื่อยางให้ผลผลิตสูง ซึ่งสอดคล้องกับที่มีรายงานว่า ไทออลมีความสัมพันธ์เชิงบวกกับผลผลิตน้ำยาง (Njukenk and Gobina ,2007 ; Sreelathe *et al.*, 2007 ; Gao *et al.*, 2008) โดยที่ในสภาพที่ต้นยางอยู่ในสภาวะเครียดจะมีการสร้าง Active oxygen species (AOS) เพิ่มขึ้น ส่งผลให้มีไทออลเพิ่มขึ้นเพื่อลดความเป็นพิษไม่ให้เซลล์ถูกทำลาย (พเยาว์ และคณะ, 2542) ไทออลทำหน้าที่ลดความเป็นพิษของออกซิเจนที่เป็นพิษ (toxic oxygen) โดยไทออลจะจับกับออกซิเจนที่เป็นพิษที่เกิดขึ้นเมื่อมีการกรีดยาง ไม่ให้เกิดการทำปฏิกิริยากับอนุภาคของลูทอยด์ ซึ่งจะช่วยให้ลูทอยด์แตกตัวช้าลง มีผลทำให้การจับตัวของน้ำยาง หรือการหยุดไหลของน้ำยางเกิดขึ้นช้าลง (พิศมัย, 2543) นอกจากนี้ ไทออลยังเป็นตัวกระตุ้นเอนไซม์อินเวอเทส และไพรูเวตไคเนสที่ช่วยเร่งปฏิกิริยาในกระบวนการหนึ่งของการสังเคราะห์ยาง (นภาวรรณ และคณะ, 2544 ; Jacob *et al.*, 2000) โดยที่พบว่า ไทออลในน้ำยางจากแปลงที่ใส่ปุ๋ยส่วนใหญ่จะสูงกว่าในแปลงที่ไม่ใส่ปุ๋ย เช่นเดียวกับที่มีรายงานว่า เมื่อใส่ปุ๋ยเพิ่มขึ้นทำให้พบไทออลในน้ำยางเพิ่มขึ้น (สิทธิชัย และคณะ, 2556)

2.3 การเปลี่ยนแปลงของธาตุอาหารในน้ำยางและในใบในรอบปี

การเปลี่ยนแปลงของไนเทรตในน้ำยาง พบว่า ในเดือนมกราคม พ.ศ. 2555 มีค่าสูงกว่าช่วงอื่นๆ (รูปที่ 3.11) โดยในช่วงนี้จะเป็นช่วงที่ใบยางแก่ที่สุด (อายุ 9 เดือน) และมีการสังเคราะห์แสงที่น้อย ซึ่งจะสังเกตได้จากความเข้มข้นของคาร์โบไฮเดรตในใบที่ต่ำ (รูปที่ 3.20) อาจแสดงให้เห็นว่า ในช่วงดังกล่าวต้นยางพารานำธาตุไนโตรเจนมาใช้ในกระบวนการต่างๆ และการสร้างการเจริญเติบโตของต้นน้อย จึงส่งผลให้มีปริมาณไนโตรเจน (ไนเทรต และแอมโมเนียม) สะสมอยู่ในน้ำยางสูง โดยที่แอมโมเนียมในน้ำยางสูงกว่าไนเทรต (รูปที่ 3.10) และมีการเปลี่ยนแปลงน้อยในช่วงเดือนพฤษภาคมถึงธันวาคม พ.ศ. 2554 ในขณะที่ไนโตรเจนในใบยางจะแปรผกผันกับอายุใบ โดยไนโตรเจนในใบยางจะลดลงอย่างช้าๆ ตามอายุใบที่

เพิ่มขึ้น โดยลดลงชัดเจนมากเมื่อใบอายุ 9 เดือน (รูปที่ 3.15) เช่นเดียวกับที่รายงานไว้ในใบยางพารา (ลิขิต และคณะ, 2515 ; อนุวัฒน์ และคณะ, 2557) ในใบมังคุด (จักรพงศ์, 2556) ในใบทุเรียน (สุมิตรา และคณะ, 2544) และในใบลองกอง (จำเป็น และคณะ, 2549)

ค่าวิเคราะห์แอมโมเนียมจากการทดลองนี้เป็นการใช้วิธีซาลิไซเลตไฮโพคลอไรด์ ซึ่งเป็นการวิเคราะห์แอมโมเนียมที่ได้จากกรดอะมิโนด้วย จึงอาจส่งผลให้ได้ค่าวิเคราะห์แอมโมเนียมที่สูงกว่าปกติ (Mulvaney, 1996) ส่วนความเข้มข้นของไนเทรตในน้ำยางมีปริมาณน้อย อาจเกิดจากเมื่อไนเทรตเข้าสู่พืชจะไม่ได้นำไปใช้ประโยชน์ในทันที เนื่องจากไนเทรตต้องผ่านกระบวนการรีดักชันเปลี่ยนแปลงเป็นรูปของแอมโมเนียมก่อนจึงจะนำไปสังเคราะห์เป็นกรดอะมิโนได้ ทำให้พบไนเทรตอยู่ในท่ออาหารน้อย (ยงยุทธ, 2552) ดังนั้น จึงอาจไม่มีความจำเป็นที่จะต้องวิเคราะห์ไนเทรต

การเปลี่ยนแปลงของอนินทรีย์ฟอสฟอรัสในน้ำยางจะมีความเข้มข้นสูงหลังจากต้นยางพาราแตกใบอ่อนในช่วงเดือนมีนาคมถึงเมษายน พ.ศ. 2555 (รูปที่ 3.8) เช่นเดียวกับการเปลี่ยนแปลงของฟอสฟอรัสทั้งหมดในใบ (รูปที่ 3.16) แต่หลังจากใบพัฒนาเต็มที่แล้วอนินทรีย์ฟอสฟอรัสมีค่าลดลงและมีการเปลี่ยนแปลงน้อย โดยเฉพาะในเดือนกรกฎาคมถึงธันวาคม พ.ศ. 2554 (รูปที่ 3.8) ในขณะที่ฟอสฟอรัสในใบมีค่าต่ำสุดในใบแก่ และมีค่าสูงในใบอ่อน และเริ่มคงที่หลังจากใบอายุประมาณ 3 เดือน เนื่องจากคลอโรพลาสต์เป็นแหล่งสะสมฟอสเฟตแหล่งหนึ่ง (ยงยุทธ, 2552) เมื่ออายุใบเพิ่มมากขึ้นก็จะส่งผลให้จำนวนคลอโรพลาสต์ลดลง ประกอบกับฟอสฟอรัสเป็นธาตุที่เคลื่อนย้ายในพืชได้ง่าย จึงส่งผลให้ในใบอ่อนมีฟอสฟอรัสสูงกว่าในใบแก่ โดยฟอสฟอรัสในใบยางจะลดลงอย่างช้าๆ ตามอายุใบที่เพิ่มขึ้นเช่นเดียวกับไนโตรเจนในใบยาง (ลิขิต และคณะ, 2515)

ความเข้มข้นของโพแทสเซียมในน้ำยาง (รูปที่ 3.12) มีค่าสูงกว่าอนินทรีย์ฟอสฟอรัส และไนโตรเจน (ไนเทรต และแอมโมเนียม) ในน้ำยางมาก โดยในช่วงที่เริ่มเปิดกรีดจะมีความเข้มข้นของโพแทสเซียมต่ำ และค่อยๆ เพิ่มขึ้นตามผลผลิตที่เพิ่มขึ้น จนเริ่มคงที่ในเดือนสิงหาคมถึงธันวาคม พ.ศ. 2554 ทั้งนี้เพราะโพแทสเซียมมีหน้าที่สำคัญในการเคลื่อนย้ายน้ำตาลซูโครส (ยงยุทธ, 2552) เพื่อนำไปสร้างน้ำยาง และยังเป็นตัวกระตุ้นเอนไซม์ไพรูเวตไคเนสอีกด้วย (Jacob *et al.*, 2000) ทำให้ความเข้มข้นของโพแทสเซียมที่วิเคราะห์ได้มีค่าสูง (35-75 mM) สอดคล้องกับที่เคยมีรายงานไว้ คือ 30-80 มิลลิโมลาร์ (d'Auzac and Jacob, 1989) และโพแทสเซียมเป็นธาตุที่เคลื่อนย้ายได้ง่ายในท่ออาหาร (ยงยุทธ, 2552) และการเพิ่มขึ้นของโพแทสเซียมหลังการกรีด ซึ่งเกิดจากโพแทสเซียมมีหน้าที่เกี่ยวข้องกับการควบคุมสมดุลของน้ำ และแร่ธาตุระหว่างการไหลของน้ำยาง (d'Auzac, 1989) ทำให้พบโพแทสเซียมในน้ำยางมาก สอดคล้องกับที่พบว่า ในต้นยางที่เปิดกรีดก่อนกำหนดมีโพแทสเซียมในน้ำยางสูงกว่าต้นที่ไม่ได้เปิดกรีด (สิทธิชัย และคณะ, 2556) ในขณะที่โพแทสเซียมในใบอ่อนจะสูง และจะลดลงอย่างช้าๆ ตามอายุใบที่เพิ่มขึ้น เช่นเดียวกับไนโตรเจน และฟอสฟอรัสในใบยาง (ลิขิต

และคณะ, 2515) แต่ในช่วงใบอายุ 1-7 เดือน โพแทสเซียมในใบจะมีการเปลี่ยนแปลงน้อย (รูปที่ 3.17)

การเปลี่ยนแปลงของแคลเซียม และแมกนีเซียมในน้ำยางในรอบปีมีรูปแบบที่คล้ายกัน โดยจะมีค่าต่ำในตอนเริ่มเปิดกรีด (มิถุนายน พ.ศ. 2554) และจะค่อยๆ สูงขึ้นจนถึงเดือนกันยายน พ.ศ.2554 และลดลงต่ำในเดือนมกราคม พ.ศ. 2555 ซึ่งเป็นระยะที่ใบแก่ โดยแคลเซียมเป็นธาตุที่เคลื่อนย้ายได้น้อยในท่ออาหาร (ยงยุทธ, 2552) และแคลเซียมเป็นธาตุหนึ่งที่เป็นตัวกระตุ้นเอนไซม์เมวาโลเนตไคเนส (mevalonate kinase) เพื่อเปลี่ยนเมวาโลเนต (mevalonate) เป็นไดฟอสโฟเมวาโลเนต (diphosphomevalonate) ในขั้นตอนการสังเคราะห์ยาง (Kekwick, 1989) ส่วนแมกนีเซียมเป็นธาตุที่เคลื่อนย้ายได้ง่ายในน้ำเลี้ยงโฟลเอม (ยงยุทธ , 2552) และเป็นธาตุซึ่งมีหน้าที่เป็นตัวกระตุ้นเอนไซม์ที่เกี่ยวข้องกับการสังเคราะห์ยาง เช่น ATPase (Jacob *et al.,* 1989) จึงทำให้พบในน้ำยางมากกว่าแคลเซียม อย่างไรก็ตาม การเปลี่ยนแปลงของธาตุทั้งสองในใบในรอบปีแตกต่างกัน กล่าวคือ แมกนีเซียมในใบอ่อนในเดือนมีนาคม พ.ศ.2555 จะมีค่าสูงและลดลงตามอายุใบที่เพิ่มขึ้น (รูปที่ 3.19) เช่นเดียวกับไนโตรเจน ฟอสฟอรัส และโพแทสเซียม ในขณะที่แคลเซียมในใบอ่อนมีน้อย และเพิ่มขึ้นตามอายุใบ (รูปที่ 3.18) เช่นเดียวกับผลการศึกษาของ ลิขิต และคณะ (2515)

2.4 ผลการใส่ปุ๋ยต่อผลผลิต ธาตุอาหารและองค์ประกอบทางชีวเคมีในน้ำยางและธาตุอาหารในใบ

ในแปลงที่ใส่ปุ๋ยผสมสูตร 29-5-18 อัตรา 1 กิโลกรัมต่อต้นต่อปี ให้ผลผลิตสูงกว่าในแปลงที่ไม่ใส่ปุ๋ย (รูปที่ 3.4 และ 3.5) เพราะดินในแปลงที่ศึกษามีไนโตรเจนทั้งหมด ฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์ และโพแทสเซียมที่เป็นประโยชน์ต่ำ (ตารางที่ 3.2) เมื่อเทียบกับระดับที่เหมาะสม (นุชนารถ, 2554) ส่งผลให้ยางพาราตอบสนองต่อการใส่ปุ๋ยได้ดี โดยทำให้ผลผลิตเพิ่มขึ้นมากกว่าแปลงที่ไม่ใส่ปุ๋ยถึง 67.75 เปอร์เซ็นต์ สอดคล้องกับผลการศึกษาการใช้ปุ๋ยสูตร 30-5-18 กับยางพาราที่พบว่า ทำให้ยางพาราให้ผลผลิต 375 กิโลกรัมต่อไร่ต่อปี ในขณะที่แปลงที่ไม่ใส่ปุ๋ยให้ผลผลิตเพียง 284 กิโลกรัมต่อไร่ต่อปี (นุชนารถ, 2550) นอกจากนั้น การใส่ปุ๋ยยังช่วยเพิ่มซูโครส และโพแทสเซียมในน้ำยาง (รูปที่ 3.7 และ 3.12) โดยซูโครสเป็นสารตั้งต้นที่นำไปสร้างน้ำยาง ในขณะที่โพแทสเซียมเป็นส่วนประกอบที่สำคัญของเอนไซม์ที่ช่วยในการสังเคราะห์ และการสร้างโปรตีน แป้ง ช่วยลำเลียงแป้งและน้ำตาล ควบคุมและรักษาความเป็นกรดเป็นด่าง ควบคุมการเปิด-ปิดของปากใบ และโพแทสเซียมยังมีส่วนช่วยในการกระตุ้นการทำงานของเอนไซม์ ATPase ซึ่งมีส่วนช่วยในการลำเลียงน้ำตาลซูโครสเข้าสู่เซลล์ท่อน้ำยางอีกด้วย อย่างไรก็ตาม การใส่ปุ๋ยไม่ได้ทำให้ธาตุอาหารชนิดอื่นทั้งในน้ำยางและในใบเพิ่มขึ้นเมื่อเทียบกับไม่ใส่ปุ๋ย อาจเป็นเพราะถึงแม้ต้นยางจะได้รับธาตุอาหารมาเพิ่มแต่ก็

สูญเสียไปกับผลผลิตน้ำยางที่เพิ่มตามขึ้นด้วยเช่นกัน จึงส่งผลให้มีการสะสมในส่วนใบ และน้ำยางน้อย

ธาตุไนโตรเจน ฟอสฟอรัส โพแทสเซียม และแมกนีเซียมในใบในช่วงอายุ 3.5-6.5 เดือน (ลิขิต และคณะ, 2515 ; อนุวัฒน์ และคณะ, 2557 ; Saichai *et al*., 2012) ในทั้ง 2 แปลง (ใส่ปุ๋ยและไม่ใส่ปุ๋ย) อยู่ในระดับต่ำกว่าระดับที่เหมาะสม (นุชนารถ, 2542) แสดงว่า เมื่อใส่ปุ๋ยกับยางพาราที่ปลูกในดินที่มีธาตุอาหารหลักต่ำ ธาตุอาหารที่ต้นยางได้รับก็จะถูกนำไปใช้ในกระบวนการต่างๆ รวมทั้งการสร้างน้ำยาง จึงทำให้ผลผลิตน้ำยางสดเพิ่มขึ้นชัดเจน ดังนั้น ธาตุอาหารจากปุ๋ยอาจไม่มากพอที่จะสะสมในใบและในน้ำยาง ทั้งๆ ที่เคยมีรายงานว่า เมื่อใส่ปุ๋ยให้แก่ต้นยางพาราส่งผลให้สถานะธาตุอาหารในน้ำยางเพิ่มขึ้น เช่นเมื่อใส่ปุ๋ยแอมโมเนียมไนเทรตได้เพิ่มระดับไนโตรเจน โพแทสเซียม และแมกนีเซียมในน้ำยาง ใส่ปุ๋ยหินฟอสเฟตได้เพิ่มฟอสฟอรัสและแคลเซียม ใส่ปุ๋ยโพแทสเซียมคลอไรด์ได้เพิ่มโพแทสเซียมและฟอสฟอรัส แต่ลดแคลเซียมและแมกนีเซียม และการใส่ปุ๋ยแมกนีเซียมได้เพิ่มแมกนีเซียม แต่ลดโพแทสเซียม เป็นต้น (Waston, 1989) สอดคล้องกับที่มีรายงานว่า การใส่ปุ๋ยไนโตรเจน ฟอสเฟต และโพแทชในระดับสูงจะส่งผลให้ปริมาณธาตุอาหารในใบและในน้ำยาง ได้แก่ แอมโมเนียม และโพแทสเซียมเพิ่มสูงขึ้น ขณะที่แมกนีเซียมลดลง เมื่อเทียบกับการใส่ปุ๋ยในระดับที่ต่ำกว่า (สิทธิชัย และคณะ, 2556) อย่างไรก็ตาม ธาตุอาหารส่วนใหญ่ในน้ำยางมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นสัมพันธ์กับผลผลิตน้ำยาง สอดคล้องกับที่มีรายงานว่า เมื่อใส่ปุ๋ยที่ให้ธาตุไนโตรเจน ฟอสฟอรัส โพแทสเซียม และแมกนีเซียม ส่งผลให้ได้รับปริมาณน้ำยางเพิ่มขึ้น เมื่อเปรียบเทียบกับแปลงที่ไม่มีการใส่ปุ๋ย (นุชนารถ และคณะ, 2537) ดังนั้น การวิเคราะห์ธาตุอาหารในน้ำยางจึงใช้ประเมินสถานะธาตุอาหารในยางพาราได้

2.5 ระยะเวลาที่เหมาะสมในการเก็บน้ำยางเพื่อวิเคราะห์ธาตุอาหาร

การวิเคราะห์ธาตุอาหารในพืชเป็นวิธีการที่ทำให้ทราบถึงระดับธาตุอาหารที่มีอยู่ในพืชว่าอยู่ในระดับปกติ หรือมีค่าเพียงพอต่อความต้องการของพืชหรือไม่ การเก็บใบยางพาราเพื่อประเมินสถานะธาตุอาหารจะเลือกในช่วงเวลาที่ปริมาณธาตุอาหารในใบยางพารามีการเปลี่ยนแปลงน้อยที่สุด หรือในช่วงที่ธาตุอาหารมีความแปรปรวนต่ำ จากการทดลองเห็นได้ว่า ไนโตรเจน ฟอสฟอรัส โพแทสเซียม และแมกนีเซียม จะลดลงตามอายุใบที่เพิ่มขึ้น ส่วนแคลเซียมจะเพิ่มขึ้นตามอายุใบยางพารา สอดคล้องกับที่มีการรายงานไว้ว่า ไนโตรเจน ฟอสฟอรัส โพแทสเซียม และแมกนีเซียม มีความสัมพันธ์เชิงลบกับอายุใบยางพารา ส่วนแคลเซียม เหล็ก และแมงกานีส มีความสัมพันธ์เชิงบวกกับอายุใบยางพารา (Bolle-Jonesand Ratnasingam, 1954 ; Guha and Narayanan, 1969) และช่วงที่ธาตุอาหารในใบมีการเปลี่ยนแปลงน้อยที่สุด คือ ใบที่ที่มีอายุอยู่ในช่วง 3-5 เดือน สอดคล้องกับที่มีการรายงานไว้ว่า ใบยางพาราที่เหมาะสำหรับเก็บเป็นตัวอย่างเพื่อวิเคราะห์ปริมาณธาตุอาหารควรอยู่ในช่วง 3.5-

6.5 เดือน (ลิขิต และคณะ, 2515 ; อนุวัฒน์ และคณะ, 2557 ; Saichai *et al.*, 2012) และในประเทศมาเลเซียได้มีการแนะนำให้เก็บใบที่มีอายุ 100 วัน หรือประมาณ 3-4 เดือน (Lau and Wong, 1993 ; Pushparajah and Tan, 1972)

การวิเคราะห์องค์ประกอบทางชีวเคมีในน้ำยางเป็นวิธีการวิเคราะห์ปัจจัยที่สะท้อนถึงผลผลิตน้ำยาง สุขภาพ และความสมบูรณ์ของต้นยางพาราได้อีกวิธีการหนึ่ง (พิศมัย, 2543) จากการทดลองพบว่า ช่วงเดือนตุลาคมถึงธันวาคม พ.ศ. 2554 เป็นช่วงที่องค์ประกอบทางชีวเคมีมีความแปรปรวนน้อยกว่าช่วงอื่นๆ ในรอบปีสอดคล้องกับที่มีการรายงานของศูนย์วิจัยยางหนองคายว่า การเก็บตัวอย่างน้ำยางเพื่อวิเคราะห์องค์ประกอบทางชีวเคมีควรเก็บในช่วงเดือนตุลาคมถึงธันวาคม เพราะเป็นช่วงที่องค์ประกอบทางชีวเคมีมีความแปรปรวนน้อยกว่าช่วงอื่นๆ ในรอบปี (นภาวรรณ และคณะ, 2544) นอกจากนี้จากการทดลองชี้ให้เห็นว่า การใส่ปุ๋ยส่งผลให้ไนโตรเจน (แอมโมเนียม ไนเทรต) อนินทรีย์ฟอสฟอรัสฟอสฟอรัส และโพแทสเซียม มีแนวโน้มเพิ่มขึ้น ส่วนแมกนีเซียม และแคลเซียมไม่ค่อยมีความแตกต่างกันระหว่างแปลงที่ใส่ปุ๋ยและไม่ใส่ปุ๋ย สอดคล้องกับที่เคยมีการรายงานว่า การใส่ปุ๋ยจะส่งผลให้ธาตุอาหารในน้ำยางเพิ่มขึ้น (ภัทธาวุธ และคณะ, 2537 ; สิทธิชัย และคณะ, 2556) สำหรับธาตุอาหารส่วนใหญ่ในน้ำยางมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นสัมพันธ์กับผลผลิตน้ำยาง โดยเฉพาะในช่วงตั้งแต่เดือนกันยายนจนถึงธันวาคม พ.ศ. 2554 เป็นช่วงที่ธาตุอาหารส่วนใหญ่ในน้ำยางมีการเปลี่ยนแปลงน้อย ดังนั้น จึงควรเก็บตัวอย่างน้ำยางในช่วงเดือนตุลาคมถึงธันวาคม ซึ่งสามารถนำไปวิเคราะห์ทั้งธาตุอาหารและองค์ประกอบทางชีวเคมีในน้ำยางได้ด้วย

การวิเคราะห์ธาตุอาหารพืชในใบเป็นวิธีมาตรฐานที่นิยมใช้ในพืชหลายชนิดรวมถึงยางพาราด้วย การวิเคราะห์ธาตุอาหารพืชในใบจะทำทราบถึงระดับธาตุอาหารที่มีอยู่ในพืชว่าอยู่ในระดับปกติหรือมีค่าเพียงพอต่อความต้องการของพืชหรือไม่ ความแม่นยำของค่าที่ได้นั้นขึ้นอยู่กับตำแหน่งและอายุใบที่ถูกต้อง หากทำการเก็บในตำแหน่ง หรืออายุของใบที่ไม่ถูกต้องทำให้ค่าที่ได้จากการวิเคราะห์ไม่สามารถจะนำมาเทียบกับค่ามาตรฐานได้ ซึ่งในกรณีที่ต้นยางพารามีอายุมากจะส่งผลให้ต้นยางพารามีความสูงมากทำให้เป็นอุปสรรคต่อการเก็บตัวอย่างใบ ในส่วนของการวิเคราะห์ธาตุอาหารและองค์ประกอบทางชีวเคมีในน้ำยาง นอกจากจะทำให้ทราบถึงสุขภาพ และความสมบูรณ์ของต้นยางพารายังทำให้ทราบถึงระดับของธาตุอาหารในน้ำยางอีกด้วย จากการทดลองจะเห็นได้ว่า การเปลี่ยนแปลงของฟอสฟอรัส และโพแทสเซียมในใบ (รูปที่ 3.16 และ 3.17) และการเปลี่ยนแปลงของอนินทรีย์ฟอสฟอรัส และโพแทสเซียมในซีรัมน้ำยาง (รูปที่ 3.8 และ 3.12) มีรูปแบบการเปลี่ยนแปลงไปในทิศทางเดียวกัน และการเก็บตัวอย่างน้ำยางเพื่อทำการวิเคราะห์สามารถทำได้สะดวกและรวดเร็วกว่าการเก็บตัวอย่างใบ ดังนั้น การวิเคราะห์ธาตุอาหารและองค์ประกอบทางชีวเคมีในน้ำยางจึงเป็นอีกวิธีการหนึ่งที่ควรนำมาใช้ทดแทนการวิเคราะห์ธาตุอาหารพืชในใบ เพื่อประเมินสถานะธาตุอาหารในต้นยางพารา

3. ความแตกต่างของค่าวิเคราะห์ปริมาณธาตุอาหารและองค์ประกอบทางชีวเคมีในน้ำยางที่เก็บจากตำแหน่งที่ต่างกัน

3.1 ความแตกต่างของค่าวิเคราะห์องค์ประกอบทางชีวเคมีในน้ำยางที่เก็บจากตำแหน่งที่ต่างกัน

องค์ประกอบทางชีวเคมีในน้ำยางที่เก็บที่ตำแหน่งต่างๆ มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P \leq 0.05$) เนื่องจากแต่ละตำแหน่งที่ทำการเก็บน้ำยางมีกระบวนการเมทาบอลิซึมต่างกัน โดยปริมาณของแข็งทั้งหมดในน้ำยางที่ตำแหน่งใต้รอยกรีด 5 เซนติเมตร มีปริมาณสูงกว่าที่ตำแหน่ง 170 เซนติเมตร จากพื้นดิน (รูปที่ 3.21) ทั้งแปลงที่มีการใส่ปุ๋ย และไม่ใส่ปุ๋ย ซึ่งอาจเกิดจากการกรีดยางเป็นการกระตุ้นการสร้างเนื้อยาง ประกอบกับพื้นที่เปลือกบริเวณใกล้รอยกรีดเป็นพื้นที่ซึ่งมีการสังเคราะห์เนื้อยางทดแทน (Tupy, 1989) ส่งผลให้ตำแหน่งดังกล่าวมีกระบวนการเมทาบอลิซึมในการสร้างเนื้อยางสูงกว่าตำแหน่งอื่น (พิศมัย และคณะ, 2545) จึงอาจส่งผลให้พบปริมาณของแข็งทั้งหมดในน้ำยางที่สูงกว่าบริเวณอื่นที่ไม่ถูกกระตุ้นให้มีการสร้างน้ำยางได้ แต่ในช่วงที่มีการหยุดกรีด ปริมาณของแข็งทั้งหมดในน้ำยางที่ตำแหน่งใต้รอยกรีด 5 เซนติเมตร ไม่มีความแตกต่างจากตำแหน่ง 170 เซนติเมตร จากพื้นดิน อาจเป็นผลมาจากในช่วงนี้ต้นยางมีการสร้างเนื้อยางสะสมไว้ในลำต้น และเนื้อยางไม่ได้สูญเสียไปกับการกรีด จึงส่งผลให้ทั้ง 2 ตำแหน่งไม่มีความแตกต่างกัน

ความเข้มข้นของซูโครสเมื่อเก็บน้ำยางที่ตำแหน่งใต้รอยกรีด 5 เซนติเมตร มีค่าต่ำกว่าที่ตำแหน่ง 170 เซนติเมตร จากพื้นดิน (รูปที่ 3.22) เนื่องจากพื้นที่เปลือกบริเวณใกล้รอยกรีดเป็นพื้นที่ซึ่งมีการสังเคราะห์ยาง (Tupy, 1989) และซูโครสเป็นสารตั้งต้นของกระบวนการสังเคราะห์ยาง (Jacob *et al.,* 1989) ดังนั้น ซูโครสในที่ตำแหน่งใต้รอยกรีด 5 เซนติเมตร จึงถูกนำไปใช้เป็นสารตั้งต้นของกระบวนการสังเคราะห์ยาง ทำให้ซูโครสที่เหลืออยู่ในน้ำยางที่ตำแหน่งดังกล่าวมีความเข้มข้นต่ำ ซึ่งสอดคล้องกับที่เคยมีรายงานว่าบริเวณใต้รอยกรีดเป็นพื้นที่ที่มีการสังเคราะห์ยางทดแทนจะพบซูโครสต่ำ และอนินทรีย์ฟอสฟอรัสสูง (วารุณี และจำเป็น, 2556 ; Chantuma *et al.*, 2006 ; Silpi *et al.,* 2006) แต่จากการทดลองพบว่า ความเข้มข้นของอนินทรีย์ฟอสฟอรัสที่ตำแหน่งดังกล่าวนี้มีค่าต่ำกว่าที่ตำแหน่ง 170 เซนติเมตร จากพื้นดิน (รูปที่ 3.23) โดยทั่วไปแล้วอนินทรีย์ฟอสฟอรัสจะถูกปลดปล่อยออกมาเมื่อมีการใช้พลังงาน ATP ในกระบวนการสังเคราะห์ยาง แต่การที่พบปริมาณอนินทรีย์ฟอสฟอรัสที่ตำแหน่งใต้รอยกรีด 5 เซนติเมตร ต่ำ อาจเกิดจากอนินทรีย์ฟอสฟอรัสในตำแหน่งดังกล่าวมีการสูญเสียไปกับผลผลิตน้ำยาง ส่วนที่ตำแหน่ง 170 เซนติเมตร จากพื้นดิน อาจมีการสะสมของอนินทรีย์ฟอสฟอรัสจึงทำให้มีค่าสูงกว่าที่ตำแหน่งใต้รอยกรีด 5 เซนติเมตร อย่างไรก็ตาม ในตำแหน่งใต้

รอยกรีด 5 เซนติเมตร มีปริมาณของแข็งทั้งหมดในน้ำยางสูง ซึ่งสอดคล้องกับที่มีการรายงานว่าปริมาณของแข็งทั้งหมดในน้ำยางหลังเปิดกรีดมีความสัมพันธ์เชิงลบกับอนินทรีย์ฟอสฟอรัส (Le *et al.*, 2010 ; Badre *et al.*, 2003 ; Vinod *et al.*, 2000) นอกจากนี้ การใส่ปุ๋ยยังช่วยเพิ่มปริมาณของซูโครส และอนินทรีย์ฟอสฟอรัสอีกด้วย (รูปที่ 3.22 และ 3.23)

ความเข้มข้นของไทออลเมื่อเก็บน้ำยางที่ตำแหน่งใต้รอยกรีด 5 เซนติเมตร มีค่าต่ำกว่าที่ตำแหน่ง 170 เซนติเมตร จากพื้นดิน (รูปที่ 3.24) เนื่องจากที่ตำแหน่งดังกล่าวมีการกรีด ซึ่งจะทำให้น้ำยางมีการสัมผัสกับอากาศสูง และไทออลในรูปรีดิวส์ไทออล (R-SH) ไปดักจับกับออกซิเจนที่เป็นพิษแล้วเปลี่ยนเป็นออกซิไดส์ไทออล (RSSR) ทำให้รีดิวส์ไทออล (รูปของไทออลที่วิเคราะห์) ลดลง และในช่วงที่มีการเก็บตัวอย่างน้ำยางมีระดับอุณหภูมิที่ต่ำ และมีการกรีดยางถี่ในระดับปานกลางด้วย จึงทำให้ต้นยางมีความเครียดลดลงส่งผลให้ไทออลลดต่ำลงด้วย สอดคล้องกับที่มีการรายงานว่า ความเข้มข้นของไทออลที่ได้จากการวิเคราะห์น้ำยางที่ตำแหน่งกึ่งกลางใต้รอยกรีด และน้ำยางจากการกรีดจะมีค่าต่ำ (วารุณี และ จำเป็น, 2556) อย่างไรก็ตาม ในตำแหน่งใต้รอยกรีด 5 เซนติเมตร มีปริมาณของแข็งทั้งหมดในน้ำยางสูง ซึ่งสอดคล้องกับที่มีการรายงานว่า ปริมาณของแข็งทั้งหมดในน้ำยางหลังเปิดกรีดมีความสัมพันธ์เชิงลบกับไทออล (Le *et al.*, 2010 ; Badre *et al.*, 2003) นอกจากนี้ การใส่ปุ๋ยยังช่วยเพิ่มปริมาณของไทออลอีกด้วย (รูปที่ 3.24)

3.2 ความแตกต่างของค่าวิเคราะห์ธาตุอาหารในน้ำยางที่เก็บจากตำแหน่งที่ต่างกัน

ค่าวิเคราะห์น้ำยางที่ได้จากตำแหน่งใต้รอยกรีด 5 เซนติเมตร พบว่า ความเข้มข้นของไนเทรต โพแทสเซียม และแมกนีเซียมมีปริมาณต่ำกว่าที่ตำแหน่ง 170 เซนติเมตร จากพื้นดิน (รูปที่ 3.26, 3.27 และ 3.29) เนื่องจากบริเวณใต้รอยกรีด 5 เซนติเมตร ได้รับผลกระทบจากการกรีดโดยการกรีด มีผลทำให้เกิดการเจือจางน้ำยางในท่อน้ำยาง (Gooding, 1952) โดยหลังจากที่มีการกรีดยาง น้ำจากเซลล์พาเรนไคมาข้างเคียงจะเข้าไปในท่อน้ำยาง (Fay and Jacob, 1989) ส่งผลให้เกิดการเจือจางจึงทำให้ความเข้มข้นของธาตุต่างๆ ลดลง ยกเว้นแอมโมเนียมที่ตำแหน่งใต้รอยกรีด 5 เซนติเมตร มีค่าสูงกว่าที่ตำแหน่ง 170 เซนติเมตร จากพื้นดิน (รูปที่ 3.25) ซึ่งอาจเกิดจากการเคลื่อนย้ายกรดอะมิโนเพื่อนำมาสร้างโปรตีน และเนื้อยางที่สูญเสียไปจากการกรีด (Jacob *et al.*, 1989) โดยมีรายงานว่ากรดอะมิโนในส่วนของซีรัมน้ำยางมีความเข้มข้นประมาณ 30 มิลลิโมลาร์ (d’Auzac and Jacob, 1989) และความเข้มข้นของแอมโมเนียมที่วิเคราะห์ได้จากต้นยางพาราที่อายุต่างกันอยู่ในช่วง 0.96-1.02 มิลลิโมลาร์ มีค่าใกล้เคียงกับแอมโมเนียมที่เคยมีรายงานไว้ คือ 2-4 มิลลิโมลาร์ (Jacob *et al.*, 1989) โดยค่าวิเคราะห์แอมโมเนียมจากการทดลองนี้เป็นการใช้วิธีซาลิไซเลตไฮโพคลอไรด์ ซึ่งเป็นการวิเคราะห์แอมโมเนียมที่ได้จากกรดอะมิโนด้วย จึงอาจส่งผลให้ได้ค่าวิเคราะห์แอมโมเนียมที่สูง

กว่าปกติ (Mulvaney, 1996) ส่วนความเข้มข้นของไนเทรตในน้ำยางมีปริมาณน้อย (รูปที่ 3.26) อาจเกิดจากเมื่อไนเทรตเข้าสู่พืชจะเปลี่ยนแปลงเป็นรูปของแอมโมเนียมทำให้พบไนเทรตอยู่ในท่ออาหารน้อย (ยงยุทธ, 2552) นอกจากนี้ การใส่ปุ๋ยยังช่วยให้ปริมาณของแอมโมเนียมไนเทรต และโพแทสเซียม เพิ่มสูงขึ้นอีกด้วย (รูปที่ 3.25, 3.26 และ 3.27)

ความเข้มข้นของแคลเซียมที่ตำแหน่งใต้รอยกรีด 5 เซนติเมตร มีค่าใกล้เคียงกับที่ตำแหน่ง 170 เซนติเมตร จากพื้นดิน (รูปที่ 3.28) เนื่องจากแคลเซียมเป็นธาตุที่เคลื่อนย้ายได้น้อยในท่ออาหาร (ยงยุทธ, 2552) และแคลเซียมเป็นธาตุหนึ่งที่เป็นตัวกระตุ้นเอนไซม์เมวาโลเนตไคเนส เพื่อเปลี่ยนเมวาโลเนตให้กลายเป็นไดฟอสโฟเมวาโลเนตในขั้นตอนการสังเคราะห์ยาง (Kekwick, 1989) จึงทำให้พบปริมาณแคลเซียมในตำแหน่งทั้ง 2 ไม่ค่อยมีความแตกต่างกัน

ตำแหน่งการเจาะเก็บน้ำยางที่บริเวณลำต้นยางมีผลต่อความเข้มข้นของธาตุอาหารส่วนใหญ่ในน้ำยางน้อย ยกเว้น แอมโมเนียม (วารุณี และ จำเป็น, 2556) อย่างไรก็ตาม การเจาะเก็บน้ำยางที่ตำแหน่งกึ่งกลางใต้รอยกรีด ซึ่งเป็นตำแหน่งที่มีการสังเคราะห์ยางขึ้น (Tupy, 1989) สามารถสะท้อนถึงพารามิเตอร์ที่เกี่ยวข้องกับการสังเคราะห์น้ำยางได้ดี และเป็นตำแหน่งที่เก็บน้ำยางเพื่อวิเคราะห์องค์ประกอบทางชีวเคมี (พเยาว์ และคณะ, 2546 ; พิศมัย และคณะ, 2546) ดังนั้น น้ำยางจากการเจาะที่ตำแหน่งใต้รอยกรีด 5 เซนติเมตร จึงเป็นตำแหน่งที่เหมาะสำหรับการเก็บตัวอย่างน้ำยางมาวิเคราะห์

4. ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณเนื้อยางแห้งกับปริมาณธาตุอาหารและองค์ประกอบทางชีวเคมีในน้ำยาง

จากการหาความสัมพันธ์จะเห็นได้ว่าทั้งการหาค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์และความสัมพันธ์แบบแพทโคเอฟฟิเชียนต์ มีความสัมพันธ์สอดคล้องไปในทิศทางเดียวกัน และปัจจัยที่มีความสัมพันธ์กับเนื้อยางแห้งนั้น เป็นผลมาจากอิทธิพลทางตรงของปัจจัยนั้นๆ เป็นหลัก (ตารางที่ 3.4, 3.5, 3.6 และ 3.7) โดยจากความสัมพันธ์ระหว่างองค์ประกอบทางชีวเคมีในน้ำยางกับปริมาณเนื้อยางแห้ง พบว่า อนินทรีย์ฟอสฟอรัสมีความสัมพันธ์เชิงบวกกับเนื้อยางแห้งในยางพาราก่อนเปิดกรีด (ตารางที่ 4) และมีความสัมพันธ์เชิงลบในยางพาราหลังเปิดกรีด (ตารางที่ 3.6) โดยปกติแล้วอนินทรีย์ฟอสฟอรัสในน้ำยางจะแสดงถึงการใช้พลังงาน ATP ของกระบวนการเมทาบอลิซึมในกระบวนการสร้างเนื้อยาง (พิศมัย, 2551 ; Nair, 2000) และอนินทรีย์ฟอสฟอรัสที่ปรากฏในน้ำยางอาจจะเกิดมาจากกระบวนเมทาบอลิซึมอื่นนอกเหนือจากการสร้างน้ำยางได้ โดยเฉพาะในยางก่อนเปิดกรีดมีการใช้ ATP ในการสร้างส่วนของเนื้อยางและการเจริญเติบโตของส่วนใบ กิ่งก้าน และลำต้น ส่งผลให้ปลดปล่อยอนินทรีย์ฟอสฟอรัส

ออกมาในน้ำยางมาก และในยางก่อนเปิดกรีดยังไม่มีการสูญเสียน้ำยางออกไปจากต้นยาง เนื้อยาง และอนินทรีย์ฟอสฟอรัสจึงมีการสะสมไว้ในต้นยางพารา แต่หากมีอนินทรีย์ฟอสฟอรัสน้อยก็จะจำกัดการสร้างน้ำยางได้ จึงส่งผลให้มีความสัมพันธ์เชิงบวกระหว่างอนินทรีย์ฟอสฟอรัสกับเนื้อยางแห้ง (ตารางที่ 3.4) แต่ในยางหลังเปิดกรีด นอกจากจะใช้ ATP ในการสร้างส่วนของเนื้อยาง และการเจริญเติบโตแล้ว ยังใช้ ATP ในการสร้างเนื้อยางทดแทนส่วนที่สูญเสียไปกับน้ำยาง และสร้างส่วนของเปลือกใหม่เหนือรอยกรีด จึงทำให้มีการใช้ ATP สูงขึ้นมาก ส่งผลให้มีการสะสมอนินทรีย์ฟอสฟอรัสมากขึ้น แต่ในยางหลังเปิดกรีดจะมีการสูญเสียเนื้อยาง และยังมีการกรีดถี่ ซึ่งจะทำให้เปอร์เซ็นต์เนื้อยางแห้งลดต่ำลงด้วย (พเยาว์ และคณะ, 2546) จึงอาจส่งผลให้อนินทรีย์ฟอสฟอรัสมีความสัมพันธ์เชิงลบกับเนื้อยางแห้งอย่างชัดเจน โดยเฉพาะในเดือนกันยายน พ.ศ. 2554 ซึ่งมีการกรีดถี่ (ตารางที่ 3.6) แต่ในเดือนพฤษภาคม พ.ศ. 2555 เป็นช่วงที่มีการพักการกรีดมานาน และต้นยางพารามีการสะสมเนื้อยาง จึงทำให้ไม่พบความสัมพันธ์ที่ชัดเจน (ตารางที่ 3.7) ซึ่งสอดคล้องกับที่มีการรายงานว่า ปริมาณของแข็งทั้งหมดในน้ำยางหลังเปิดกรีดมีความสัมพันธ์เชิงลบกับอนินทรีย์ฟอสฟอรัส โดยมีค่า r เท่ากับ -0.668 (Le *et al.*, 2010) -0.22 (Badre *et al.*, 2003) และ -0.788 (Vinod *et al.*, 2000) อย่างไรก็ตาม อนินทรีย์-ฟอสฟอรัสมีความสัมพันธ์เชิงบวกกับปริมาณผลผลิตน้ำยางพารา (นภาวรรณ และคณะ, 2544 ; Jacob *et al.*, 2000 ; Vinod *et al.*, 2000)

ไทออล มีความสัมพันธ์เชิงลบกับเนื้อยางแห้งในยางพาราหลังเปิดกรีดและเป็นผลโดยตรงด้วย (ตารางที่ 3.6) ไทออลมีหน้าที่ทำปฏิกิริยากับออกซิเจนที่เป็นพิษในเซลล์ท่อน้ำยางช่วยป้องกันไม่ให้ลูทอยด์แตกตัวและปล่อยแคตไอออน (K, Ca และ Mg) มาจับกับอนุภาคยางซึ่งมีประจุลบ ซึ่งเป็นสาเหตุที่ทำให้เนื้อยางเกิดการตกตะกอน และการอุดตันของท่อน้ำยาง (พิศมัย, 2551) โดยที่พบความสัมพันธ์ในเดือนกันยายน พ.ศ. 2554 (ตารางที่ 3.6) ซึ่งเป็นช่วงที่มีการกรีดยางถี่ โดยการกรีดถี่จะเป็นการกระตุ้นการสร้างเนื้อยาง ส่งผลให้ต้นยางมีการสร้างไทออลออกมาเพิ่มมากขึ้น (Silpi *et al.*, 2006 ; พเยาว์ และคณะ, 2546) ประกอบกับในเดือนกันยายน พ.ศ. 2554 เป็นช่วงที่มีอุณหภูมิที่ต่ำ จึงเป็นอีกปัจจัยที่ส่งผลให้ต้นยางมีการสร้างไทออลออกมาสูง (นภาวรรณ และคณะ, 2544 ; Badre *et al.*, 2003) ในขณะเดียวกันการกรีดถี่ก็จะส่งผลให้ปริมาณเนื้อยางแห้งลดลงด้วย (พเยาว์ และคณะ, 2546) จึงทำให้พบความสัมพันธ์เชิงลบกับเนื้อยางแห้ง แต่ไม่พบความสัมพันธ์ระหว่างไทออลกับเนื้อยางแห้ง ซึ่งมีค่าสูงในยางพาราก่อนเปิดกรีด (ตารางที่ 3.4 และ 3.5) และในยางพาราหลังเปิดกรีด ซึ่งเพิ่งผ่านการหยุดกรีด (ตารางที่ 3.7) ทั้งนี้อาจเกิดจากต้นยางไม่ได้รับอิทธิพลจากการกรีดทำให้มีการสร้างไทออลออกมาได้น้อย จึงทำให้ไม่พบความสัมพันธ์อย่างเด่นชัด ผลการศึกษานี้สอดคล้องกับที่มีการรายงานว่า ปริมาณของแข็งทั้งหมดในน้ำยางมีความสัมพันธ์เชิงลบกับไทออล โดยมีค่า r เท่ากับ -0.787 (Le *et al.*, 2010) และ -0.647 (Badre *et al.*, 2003) นอกจากนี้มีรายงานว่าปริมาณไทออลที่สูงทำให้ปริมาณของแข็งทั้งหมดลดลง (พิศมัย, 2551)

ความสัมพันธ์ระหว่างธาตุอาหารพืชในน้ำยางกับปริมาณเนื้อยางแห้งเป็นประเด็นที่มีการศึกษากันน้อย เนื่องจากแต่ละธาตุมีการทำหน้าที่ร่วมกันและมีผลต่อกัน ทำให้การศึกษาอิทธิพลโดยตรงของแต่ละธาตุนั้นทำได้ยาก จากการหาความสัมพันธ์ในครั้งนี้ พบว่า ธาตุอาหารในน้ำยางพาราส่วนใหญ่จะมีความสัมพันธ์กับเนื้อยางแห้งในเดือนพฤษภาคม พ.ศ. 2555 (ตารางที่ 3.5 และ 3.7) โดยในยางพาราก่อนเปิดกรีดเนื้อยางแห้งจะมีความสัมพันธ์เชิงลบกับโพแทสเซียม และแมกนีเซียม และมีแนวโน้มสัมพันธ์เชิงลบกับแอมโมเนียม

ในยางหลังเปิดกรีด เนื้อยางแห้งจะมีความสัมพันธ์เชิงลบกับโพแทสเซียม และแคลเซียม ช่วงเวลาที่พบความสัมพันธ์เป็นช่วงที่ต้นยางพาราเพิ่งผ่านการหยุดกรีด ประกอบกับเป็นช่วงที่ต้นยางกำลังมีการสร้างใบใหม่ โดยในกระบวนการสร้างน้ำยางพารา โพแทสเซียมจะเป็นตัวกระตุ้นเอมไซม์หลายชนิด เช่น ไพรูเวตไคเนสในการเปลี่ยนฟอสโฟอีนอลไพรูเวตเป็นไพรูเวต และเปลี่ยนต่อไปเป็น Acetyl-CoA เพื่อเป็นสารตั้งต้นในการสร้างน้ำยางพารา (Jacob *et al.*, 2000) และโพแทสเซียมยังกระตุ้น ATPase ซึ่งเกี่ยวข้องกับการเคลื่อนย้ายซูโครสเข้าสู่เซลล์ท่อน้ำยางและการสังเคราะห์ยาง นอกจากนั้น โพแทสเซียมยังช่วยในการลดศักย์ออสโมซิสภายในเซลล์ทำให้การเคลื่อนย้ายผ่านเยื่อหุ้มเซลล์ทำได้ดี (ยงยุทธ, 2552) และแอมโมเนียมซึ่งเป็นไนโตรเจนรูปหนึ่ง โดยแอมโมเนียมที่พืชดูดมานั้นจะถูกเซลล์พืชนำไปใช้ประโยชน์ทันที โดยนำไปสังเคราะห์เป็นกรดอะมิโน เพื่อป้องกันไม่ให้เป็นพิษต่อเซลล์พืช เนื่องจากถ้ามีอยู่ในไซโตพลาสซึมเพียงความเข้มข้นต่ำก็อาจเป็นพิษได้ (ยงยุทธ, 2552) จึงอาจเป็นไปได้ว่าในช่วงเวลาดังกล่าวธาตุอาหารหลักเหล่านี้อาจถูกดึงไปใช้ในการพัฒนาการเจริญเติบโตในส่วนกิ่ง ก้าน ใบ และลำต้น จึงทำให้พบธาตุอาหารในส่วนของน้ำยางต่ำ ในขณะที่ในระยะนี้เนื้อยางแห้งพบอยู่ในระดับสูง ซึ่งอาจเป็นผลมาจากในระยะนี้ต้นยางพาราสร้างมีการสร้างเนื้อยางสะสมไว้ในระหว่างที่มีการหยุดกรีด และในเดือนพฤษภาคม พ.ศ. 2555 ในยางพาราก่อนเปิดกรีด เนื้อยางแห้งจะมีความสัมพันธ์เชิงลบกับแอมโมเนียม และแมกนีเซียม อาจเกิดจากสาเหตุเดียวกันกับที่กล่าวไว้ในข้างต้น เนื่องจากต้นยางพารายังมีการเจริญเติบโตไม่เต็มที่ธาตุอาหารดังกล่าวจึงถูกดึงไปใช้ในการสร้างลำต้น กิ่ง ก้าน และใบ จึงทำให้พบธาตุอาหารในน้ำยางน้อย และเนื่องจากยังไม่มีการเปิดกรีด จึงทำให้มีการสร้างเนื้อยางสะสมไว้ได้สูง และนอกจากนี้ ในส่วนของแมกนีเซียมที่มีความสัมพันธ์เชิงลบกับเนื้อยางแห้งในยางก่อนเปิดกรีด (ตารางที่ 3.4 และ 3.5) และมีแนวโน้มความสัมพันธ์เชิงลบในยางหลังเปิดกรีด (ตารางที่ 3.6) และแคลเซียมที่มีความสัมพันธ์เชิงลบในยางหลังเปิดกรีด (ตารางที่ 3.7) อาจเป็นผลมาจากแมกนีเซียมเป็นตัวยับยั้งเอนไซม์อินเวอร์เทส ซึ่งเปลี่ยนซูโครสเป็นกลูโคสและฟรุกโทสเพื่อเป็นสารตั้งต้นในการสังเคราะห์ยาง (Jacob *et al.*, 2000) หากมีแมกนีเซียมในน้ำยางมาก ทำให้มีการเปลี่ยนซูโครสเป็นกลูโคสและฟรุกโทสได้น้อย จึงสร้างเนื้อยางได้น้อย สำหรับแคลเซียมเป็นตัวกระตุ้นเอนไซม์เมวาโลเนตไคเนส ในกระบวนการสังเคราะห์ยาง (Kekwick, 1989)

แต่หากมีในน้ำยางมากจะส่งผลต่อการจับตัวของอนุภาคยาง (d'Auzac and Jacob, 1989) และมีรายงานว่า แคลเซียมมีความสัมพันธ์เชิงลบกับผลผลิตยาง (Thomas *et al*., 2009)

การหาความสัมพันธ์ระหว่างธาตุอาหารพืชและองค์ประกอบทางชีวเคมีในน้ำยางกับเนื้อยางแห้งจึงเป็นแนวทางหนึ่งที่ชี้ให้เห็นถึงความสำคัญของธาตุอาหารพืชและองค์ประกอบทางชีวเคมีในน้ำยางที่ส่งผลต่อการสร้างเนื้อยาง ซึ่งสะท้อนถึงกิจกรรมในการสร้างน้ำยาง และการเจริญเติบโตของต้นยางพาราในช่วงเวลาต่างๆ และอาจจะนำมาประยุกต์เพื่อใช้ในการจัดการปุ๋ยและการเลือกใช้ระบบกรีดที่เหมาะสมกับต้นยางพารา เพื่อให้ได้ระดับผลผลิตที่สูง โดยในยางก่อนเปิดกรีด และในช่วงพักการกรีดของยางหลังเปิดกรีดเนื้อยางแห้งจะมีความสัมพันธ์เชิงลบกับปริมาณธาตุอาหารพืช แสดงว่า ต้นยางพารามีการนำธาตุอาหารพืชไปใช้ในการพัฒนาการเจริญเติบโตของลำต้น อาจต้องมีการเพิ่มอัตราการใช้ปุ๋ยเพื่อให้เพียงพอต่อความต้องการต้นยางพารา และในยางหลังเปิดกรีดในช่วงที่มีการกรีดถี่ อนินทรีย์ฟอสฟอรัสและไทออล มีความสัมพันธ์เชิงลบกับเนื้อยางแห้ง ซึ่งอาจแสดงให้เห็นว่าต้นยางพาราได้รับความเครียดจากการกรีดมากเกินไป จึงควรที่จะต้องมีการปรับระบบกรีดให้เหมาะสมขึ้น นอกจากนี้ อนินทรีย์ฟอสฟอรัสยังมีความสัมพันธ์เชิงบวกกับเนื้อยางแห้งในยางก่อนเปิดกรีด ดังนั้น ค่าวิเคราะห์อนินทรีย์ฟอสฟอรัสในซีรัมน้ำยางจึงอาจนำมาใช้เป็นตัวชี้วัดสถานะของอนินทรีย์ฟอสฟอรัสในต้นยางพารา เพื่อใช้ในการปรับอัตราการใช้ปุ๋ยฟอสเฟตเพื่อรักษาระดับของอนินทรีย์ฟอสฟอรัสให้เหมาะสมต่อการสร้างน้ำยาง

5. การเก็บตัวอย่างน้ำยางเพื่อประเมินสถานะธาตุอาหารในยางพารา

การประเมินสถานะธาตุอาหารในยางพารา โดยทั่วไปมักจะใช้วิธีการวิเคราะห์ธาตุอาหารในใบ ซึ่งเป็นวิธีมาตรฐานที่นิยมใช้ในพืชหลายชนิดรวมทั้งยางพาราด้วย อย่างไรก็ตาม ยางพาราเป็นพืชที่มีลำต้นสูงทำให้ไม่สะดวกในการเก็บตัวอย่างใบ ประกอบกับในปัจจุบันมีการวิเคราะห์องค์ประกอบทางชีวเคมีในน้ำยางเพื่อประเมินสุขภาพต้นยาง และความสมบูรณ์ของต้นยางพารา (พเยาว์ และคณะ, 2546 ; พิศมัย และคณะ, 2546) โดยแต่ละพารามิเตอร์ขององค์ประกอบทางชีวเคมีในน้ำยางจะแสดงให้เห็นถึงความสัมพันธ์กับการสร้างเนื้อยาง และผลผลิตของยางพารา กล่าวคือ ปริมาณของแข็งทั้งหมดในน้ำยาง จะเป็นค่าที่แสดงถึงปริมาณการสร้างอนุภาคยางที่เกิดขึ้นภายในท่อน้ำยาง ปริมาณของแข็งทั้งหมดในน้ำยางจะส่งผลต่อการไหล และการหยุดไหลของน้ำยาง (พิศมัย, 2543)โดยทั่วไปจะมีความสัมพันธ์เชิงลบกับปริมาณน้ำยางพารา (Gao *et al*., 2008 ; Njukenk and Gobina, 2007 ; Sopheaveasna *et al*., 2008) ปริมาณน้ำตาลซูโครสในน้ำยางเป็นค่าที่แสดงถึงกิจกรรมการสังเคราะห์น้ำตาลซูโครสและการนำน้ำตาลซูโครสไปใช้ในกระบวนการสร้างน้ำยาง (พิศมัย, 2543) โดยจะมีความสัมพันธ์ทั้งเชิงบวกและเชิงลบกับผลผลิตน้ำยางพารา เช่น การมีปริมาณน้ำตาลซูโครสใน

น้ำยางสูงจะแสดงถึงต้นยางพารามีศักยภาพในการสร้างน้ำยางได้สูง จึงมีความสัมพันธ์เชิงบวกกับผลผลิต แต่ในทางกลับกันก็จะแสดงได้ถึงการนำน้ำตาลซูโครสไปใช้ในการสร้างน้ำยางได้ต่ำ จึงทำให้เกิดการสะสมของน้ำตาลซูโครสในน้ำยางที่สูงได้เช่นกัน ซึ่งในกรณีนี้ถือเป็นความสัมพันธ์เชิงลบกับผลผลิต และการมีปริมาณน้ำตาลซูโครสในน้ำยางต่ำเป็นการแสดงได้ว่าต้นยางพารามีการนำน้ำตาลซูโครสไปสังเคราะห์เป็นน้ำยางมากส่งผลให้ผลผลิตมากตามไปด้วย (นภาวรรณ และคณะ, 2544 ; Jacob *et al*., 2000) ปริมาณอนินทรีย์ฟอสฟอรัสในน้ำยางเป็นพารามิเตอร์ที่เกี่ยวข้องกับพลังงานในกระบวนการเมทาบอลิซึมของการสร้างน้ำยางในเซลล์ท่อน้ำยาง (พิศมัย, 2543) ปริมาณของอนินทรีย์ฟอสฟอรัสในน้ำยางที่อยู่ในระดับสูงจะแสดงถึงการใช้พลังงานในการสร้างน้ำยางของต้นยางพาราที่มากด้วย ทำให้ผลผลิตที่ได้อยู่ในระดับสูง ดังนั้น ปริมาณอนินทรีย์ฟอสฟอรัสในน้ำยางจึงมีความสัมพันธ์เชิงบวกกับผลผลิตของยางพารา (นภาวรรณ และคณะ, 2544 ; Jacob *et al*., 2000) แต่จะมีความสัมพันธ์เชิงลบกับปริมาณเนื้อยางแห้ง (Badre *et al*., 2003 ; Vinod *et al*., 2000 ; Le *et al*., 2010) และปริมาณไทออลในน้ำยางเป็นพารามิเตอร์ที่แสดงสถานะของการต่อต้านอนุมูลอิสระ (antioxidant system) ของต้นยางพารา โดยไทออลจะทำหน้าที่ในการจับกับออกซิเจนที่เป็นพิษที่เกิดขึ้นเมื่อมีการกรีดยาง ส่งผลให้การหยุดไหลของน้ำยางเกิดขึ้นช้าลง (พิศมัย, 2543) โดยจะมีความสัมพันธ์เชิงบวกกับผลผลิตของยางพารา (Njukenk and Gobina, 2007 ; Dibi *et al*, 2010) แต่จะมีความสัมพันธ์เชิงลบกับปริมาณเนื้อยางแห้ง (Badre *et al*., 2003 ; Le *et al*., 2010)

การวิเคราะห์องค์ประกอบทางชีวเคมีในน้ำยางนอกจากจะหาปริมาณองค์ประกอบทางชีวเคมีได้แล้ว ยังสามารถหาปริมาณธาตุอาหารได้อีกด้วย ธาตุอาหารนั้นมีบทบาทสำคัญในกระบวนการสร้างน้ำยาง โดยไนโตรเจนจะเป็นองค์ประกอบของกรดอะมิโนซึ่งเป็นสารตั้งต้นของสารประกอบหลายชนิด และคลอโรฟิลล์ซึ่งจะส่งผลถึงการสังเคราะห์แสงและปริมาณซูโครสที่จะใช้สร้างน้ำยาง สำหรับฟอสฟอรัสจะเป็นองค์ประกอบของ ATP ซึ่งเป็นพลังงานที่ใช้ในการสร้างน้ำยาง ส่วนโพแทสเซียม และแมกนีเซียมจะเกี่ยวข้องกับการกระตุ้นการทำงานของเอนไซม์ต่างๆ โดยเฉพาะเอนไซม์ ATPase ซึ่งเกี่ยวข้องกับการสังเคราะห์ยาง อีกทั้งโพแทสเซียมยังส่งผลถึงการไหลของน้ำยาง เนื่องจากมีบทบาทส่งเสริมการเคลื่อนย้ายภายในเซลล์ และแมกนีเซียมยังเป็นองค์ประกอบของคลอโรฟิลล์เช่นเดียวกับไนโตรเจน จึงส่งผลถึงการสังเคราะห์แสงด้วย แต่ถ้าหากได้รับธาตุบางชนิดมากเกินไป อาจจะก่อให้เกิดความไม่สมดุลของธาตุอาหารได้ เช่น หากได้รับแมกนีเซียมมากเกินไปก็จะมีปัญหาในเรื่องการตกตะกอนของน้ำยางที่เร็วกว่ากำหนด เนื่องจากแมกนีเซียมจะไปทำปฏิกิริยากับไดไฮโดรเจนฟอสเฟตในน้ำยางเป็นแมกนีเซียมไดไฮโดรเจนฟอสเฟต (นุชนารถ, 2542) จากการทดลองพบว่า การใส่ปุ๋ยส่งผลให้ปริมาณผลผลิตเพิ่มขึ้นแต่ธาตุอาหารส่วนใหญ่ในซีรัมน้ำยางมีการเพิ่มขึ้นเพียงเล็กน้อย สอดคล้องกับที่เคยมีการรายงานว่า เมื่อใส่ปุ๋ยที่ให้ธาตุไนโตรเจน ฟอสฟอรัส โพแทสเซียม และแมกนีเซียมส่งผลให้ได้รับปริมาณน้ำยางเพิ่มขึ้น เมื่อเปรียบเทียบกับแปลงที่ไม่มีการใส่ปุ๋ย

(นุชนารถ และคณะ, 2537) และการใส่ปุ๋ยให้แก่ต้นยางพาราส่งผลให้สถานะธาตุอาหารในน้ำยางเพิ่มขึ้น เช่นเมื่อใส่ปุ๋ยแอมโมเนียมไนเทรตได้เพิ่มระดับไนโตรเจน โพแทสเซียม และแมกนีเซียมในน้ำยาง ใส่ปุ๋ยหินฟอสเฟตได้เพิ่มฟอสฟอรัสและแคลเซียม ใส่ปุ๋ยโพแทสเซียม-คลอไรด์ได้เพิ่มโพแทสเซียม และฟอสฟอรัส แต่ลดแคลเซียม และแมกนีเซียม และปุ๋ยแมกนีเซียมได้เพิ่มแมกนีเซียม แต่ลดโพแทสเซียม เป็นต้น (Waston, 1989) นอกจากนี้ การทดลองยังแสดงให้เห็นถึง การเปลี่ยนแปลงของฟอสฟอรัส และโพแทสเซียมในใบ และการเปลี่ยนแปลงของ อนินทรีย์ฟอสฟอรัส และโพแทสเซียมในซีรัมน้ำยาง มีรูปแบบการเปลี่ยนแปลงไปในทิศทางเดียวกัน จากการทดลองเห็นได้ว่า ธาตุอาหารในน้ำยางสามารถสะท้อนถึงสถานะธาตุอาหารในยางพาราได้

การวิเคราะห์ปริมาณธาตุอาหารและองค์ประกอบทางชีวเคมีในน้ำยางพาราจะเลือกในช่วงเวลาที่ปริมาณธาตุอาหารในใบยางพารามีการเปลี่ยนแปลงน้อยที่สุด หรือในช่วงที่ธาตุอาหารมีความแปรปรวนต่ำ จากการทดลองเห็นได้ว่า ช่วงเดือนตุลาคมถึงธันวาคม พ.ศ. 2554 เป็นช่วงที่องค์ประกอบทางชีวเคมีมีความแปรปรวนน้อยกว่าช่วงอื่นๆ ในรอบปี สอดคล้องกับที่มีการรายงานไว้ว่า การเก็บตัวอย่างน้ำยางเพื่อวิเคราะห์องค์ประกอบทางชีวเคมีควรเก็บในช่วงเดือนตุลาคมถึงเดือนธันวาคม เพราะเป็นช่วงที่องค์ประกอบทางชีวเคมีมีความแปรปรวนน้อยกว่าช่วงอื่นๆ ในรอบปี (นภาวรรณ และคณะ, 2544) และตำแหน่งที่เหมาะสมสำหรับการเก็บตัวอย่างน้ำยางคือ บริเวณตำแหน่งกึ่งกลางใต้รอยกรีด 5 เซนติเมตร เนื่องจากพื้นที่ดังกล่าวมีกระบวนการสังเคราะห์ยางขึ้น (Tupy, 1989) จึงสามารถสะท้อนถึงพารามิเตอร์ที่เกี่ยวข้องกับการสังเคราะห์น้ำยางได้ดี และเป็นตำแหน่งที่เก็บน้ำยางเพื่อวิเคราะห์องค์ประกอบทางชีวเคมี (พเยาว์ และคณะ, 2546 ; พิศมัย และคณะ, 2546) สอดคล้องกับที่มีการรายงานถึงตำแหน่งการเก็บตัวอย่างน้ำยางเพื่อทำการวิเคราะห์ ไว้ว่า ตำแหน่งการเก็บน้ำยางมีผลต่อความเข้มข้นของธาตุอาหารส่วนใหญ่ในน้ำยางน้อย และที่บริเวณตำแหน่งกึ่งกลางใต้รอยกรีด 5 เซนติเมตร ค่าวิเคราะห์องค์ประกอบทางชีวะเคมีจากตำแหน่งดังกล่าวสามารถสะท้อนถึงกิจกรรมการสังเคราะห์ยาง และมีการปนเปื้อนต่ำกว่าตำแหน่งอื่น จึงเป็นตำแหน่งที่เหมาะแก่การเก็บตัวอย่างน้ำยาง (วารุณี และ จำเป็น, 2556)

การเก็บตัวอย่างน้ำยางเพื่อวิเคราะห์ทำได้โดยการใช้เหล็กปลายแหลมเจาะที่ตำแหน่งกึ่งกลางใต้รอยกรีด 5 เซนติเมตร ภาชนะที่ใช้รองรับตัวอย่างน้ำยางควรหุ้มด้วยน้ำแข็งเพื่อรักษาเสถียรภาของน้ำยาง และควรทำการเก็บในช่วงเช้า (8.00-10.00 น.) เนื่องจากในช่วงเช้าต้นยางพารามีอัตราการคายน้ำต่ำ ทำให้น้ำยางไหลได้เร็วกว่าในช่วงบ่าย ซึ่งมีอุณหภูมิในบรรยากาศสูงและความชื้นสัมพัทธ์ลดลง (พิศมัย, 2553) ส่งผลให้ต้นยางพาราขาดน้ำ และทำให้แรงดันภายในท่อน้ำยางต่ำลง (นภาวรรณ และคณะ, 2544) เมื่อเก็บน้ำยางเสร็จเรียบร้อยแล้วควรทำการตกตะกอนทันทีเพื่อป้องกันการจับตัวของน้ำยาง

การวิเคราะห์ปริมาณธาตุอาหารและองค์ประกอบทางชีวเคมีในน้ำยางเป็นวิธีการที่สามารถประเมินได้ถึงสุขภาพต้นยาง ความสมบูรณ์ของต้นยางพารา และสถานะของธาตุอาหารในต้นยางพาราได้ ระยะเวลาที่เหมาะสมในการเก็บตัวอย่างน้ำยางเพื่อวิเคราะห์ควรอยู่ในช่วงเดือนตุลาคมถึงธันวาคม เนื่องจากช่วงเวลาดังกล่าวมีการแปรปรวนของธาตุอาหาร และองค์ประกอบทางชีวเคมีต่ำ และเนื้อยางแห้งยังมีแนวโน้มสัมพันธ์เชิงลบกับธาตุอาหารในน้ำยาง จึงอาจเป็นไปได้ว่าต้นยางนำธาตุอาหารต่าง ๆ ไปสร้างเป็นเนื้อยางมาก จึงทำให้พบธาตุอาหารในน้ำยางต่ำนอกจากนี้ ปริมาณเนื้อยางแห้งที่ได้จากวิธีการตกตะกอนด้วย TCA ซึ่งเป็นผลพลอยได้จากการตกตะกอนน้ำยางเพื่อวิเคราะห์องค์ประกอบทางชีวเคมีในน้ำยางยังมีผลที่ไม่แตกต่างกับค่าวิเคราะห์ที่ได้จากวิธีมาตรฐานในห้องปฏิบัติการ ดังนั้น การวิเคราะห์ปริมาณธาตุอาหาร และองค์ประกอบทางชีวเคมีในน้ำยาง จึงเป็นวิธีที่สะดวก และเหมาะสำหรับใช้การทำงานวิจัยเกี่ยวกับสถานะของธาตุอาหารในต้นยางพารา เพื่อทดแทนการวิเคราะห์ในใบยางในการประเมินสถานะของธาตุอาหารในต้นยางพาราได้อีกวิธีหนึ่ง

บทที่ 5

สรุปและข้อเสนอแนะ

การทดลองเรื่องการเปลี่ยนแปลงของธาตุอาหาร และองค์ประกอบทางชีวเคมีของน้ำยางในรอบปี และความสัมพันธ์กับเนื้อยางแห้ง แบ่งออกเป็น 4 การทดลองย่อย คือ 1) เปรียบเทียบวิธีการหาค่าปริมาณเนื้อยางแห้ง 2) การเปลี่ยนแปลงของปริมาณธาตุอาหารและองค์ประกอบทางชีวเคมีในน้ำยาง และปริมาณธาตุอาหารในใบยางพาราในรอบปี 3) ปริมาณธาตุอาหารและองค์ประกอบทางชีวเคมีในน้ำยางที่เก็บจากตำแหน่งที่ต่างกัน และ 4) ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณเนื้อยางแห้งกับปริมาณธาตุอาหารและองค์ประกอบทางชีวเคมีในน้ำยาง สรุปผลการทดลองได้ดังนี้

1. **เปรียบเทียบวิธีการหาค่าปริมาณเนื้อยางแห้ง** ปริมาณเนื้อยางแห้งที่ได้จากทั้ง 4 วิธีมีความสัมพันธ์ในเชิงบวกสูง การหาปริมาณเนื้อยางแห้งด้วยวิธีอบด้วยเครื่องไมโครเวฟแม้จะให้ค่าเนื้อยางแห้งที่น้อยกว่าวิธีมาตรฐานในห้องปฏิบัติการซึ่งเป็นค่าเนื้อยางแห้งที่แท้จริงประมาณ 5.27 เปอร์เซ็นต์ แต่ทั้ง 2 วิธีมีความสัมพันธ์กันสูง วิธีอบด้วยเครื่องไมโครเวฟเหมาะสำหรับการซื้อขายน้ำยางในปัจจุบัน เนื่องจากเป็นวิธีการหาปริมาณเนื้อยางแห้ง (x) ที่สะดวกและรวดเร็วกว่าวิธีอื่นๆ และสามารถคำนวณเนื้อยางแห้งที่แท้จริง (y) ได้จาก $y = 1.205x - 5.220$ โดยมีค่า R^2 เท่ากับ 0.998 และในการวิจัยที่ทำการวิเคราะห์องค์ประกอบทางชีวเคมีในน้ำยางโดยการตกตะกอนด้วย TCA สามารถใช้วิธีนี้ในการหาค่าเนื้อยางแห้งแทนวิธีมาตรฐานในห้องปฏิบัติการ เนื่องจากปริมาณเนื้อยางแห้งที่ได้ไม่แตกต่างทางสถิติกับวิธีมาตรฐานในห้องปฏิบัติการทำให้ใช้น้ำยางที่น้อยกว่า และมีขั้นตอนที่สะดวกกว่า
2. **การเปลี่ยนแปลงของปริมาณธาตุอาหารและองค์ประกอบทางชีวเคมีในน้ำยาง และปริมาณธาตุอาหารในใบยางพาราในรอบปี** ธาตุอาหารและองค์ประกอบทางชีวเคมีในน้ำยางในรอบปีมีการเปลี่ยนแปลงขึ้นกับกระบวนการหลักทางสรีรวิทยาที่เกิดขึ้น อย่างไรก็ตาม การเก็บตัวอย่างน้ำยางเพื่อวิเคราะห์องค์ประกอบทางชีวเคมีได้เลือกช่วงเดือนตุลาคมถึงเดือนธันวาคม เพราะเป็นช่วงที่องค์ประกอบทางชีวเคมีมีความแปรปรวนน้อยกว่าช่วงอื่นๆ ในรอบปี และในช่วงเดือนกันยายนจนถึงเดือนธันวาคมเป็นช่วงที่ธาตุอาหารส่วนใหญ่ในน้ำยางมีการ

เปลี่ยนแปลงน้อย ดังนั้น จึงควรเก็บตัวอย่างน้ำยางในช่วงเดือนตุลาคมถึงธันวาคมซึ่งสามารถจะนำไปวิเคราะห์ทั้งธาตุอาหาร และองค์ประกอบทางชีวเคมีในน้ำยางได้ด้วย

3. **ปริมาณธาตุอาหารและองค์ประกอบทางชีวเคมีในน้ำยางที่เก็บจากตำแหน่งที่ต่างกัน** ตำแหน่งการเก็บน้ำยางมีผลต่อความเข้มข้นของธาตุอาหารส่วนใหญ่ในน้ำยางน้อย แต่จะมีผลมากกับองค์ประกอบทางชีวเคมีในน้ำยาง โดยเฉพาะที่ตำแหน่งกึ่งกลางใต้รอยกรีดซึ่งเป็นตำแหน่งที่สะท้อนพารามิเตอร์ที่เกี่ยวข้องกับการสังเคราะห์น้ำยางได้ดี และเป็นตำแหน่งที่เก็บน้ำยางเพื่อวิเคราะห์องค์ประกอบทางชีวเคมี ดังนั้น น้ำยางจากการเจาะที่ตำแหน่งใต้รอยกรีด 5 เซนติเมตร จึงเป็นตำแหน่งที่เหมาะสำหรับการเก็บตัวอย่างน้ำยางมาวิเคราะห์
4. **ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณเนื้อยางแห้งกับปริมาณธาตุอาหารและองค์ประกอบทางชีวเคมีในน้ำยาง** ในด้านความสัมพันธ์ระหว่างเนื้อยางแห้งกับองค์ประกอบทางชีวเคมีและธาตุอาหารพืชในน้ำยาง พบว่า ในยางก่อนเปิดกรีดและช่วงที่พักกรีด เนื้อยางแห้งจะมีสัมพันธ์เชิงบวกกับอนินทรีย์ฟอสฟอรัส แต่จะมีความสัมพันธ์เชิงลบกับแอมโมเนียม โพแทสเซียม แคลเซียม และแมกนีเซียม ซึ่งอาจเกิดจากยางพาราจะนำธาตุอาหารพืชไปพัฒนาการเจริญเติบโต และช่วงที่มีการกรีดถี่เนื้อยางแห้งจะมีสัมพันธ์เชิงลบกับอนินทรีย์ฟอสฟอรัส และไทออลชี้ให้เห็นว่า การกรีดถี่จะกระตุ้นให้มีอนินทรีย์ฟอสฟอรัสและไทออลเพิ่มสูงขึ้น แต่ปริมาณเนื้อยางจะลดต่ำลง การวิเคราะห์องค์ประกอบทางชีวเคมีและปริมาณธาตุอาหารในน้ำยาง จึงน่าจะเป็นแนวทางหนึ่งที่สามารถนำไปใช้เป็นหลักในการประเมินปรับอัตราการใช้ปุ๋ย และปรับระบบกรีดที่จะใช้เพื่อให้มีความเหมาะสมกับยางพารา

กล่าวโดยสรุป วิธีการหาปริมาณเนื้อยางแห้งแต่ละวิธีที่ในปัจจุบันมีความเหมาะสมแตกต่างกันออกไป วิธีอบด้วยเครื่องไมโครเวฟเหมาะสำหรับการซื้อขายน้ำยางในปัจจุบันเนื่องจากสะดวกและรวดเร็ว ส่วนวิธีการการตกตะกอนด้วย TCA นอกจากจะให้ค่าเนื้อยางแห้งที่ไม่แตกต่างกับวิธีมาตรฐานในห้องปฏิบัติการแล้ว ยังสามารถนำส่วนของซีรัมที่ได้จากการตกตะกอนมาทำการหาปริมาณธาตุอาหารและองค์ประกอบทางชีวเคมีได้อีกด้วย สำหรับการเก็บตัวอย่างน้ำยางเพื่อทำการวิเคราะห์ ควรทำการเก็บที่บริเวณกึ่งกลางใต้รอยกรีด 5 เซนติเมตร เนื่องจากตำแหน่งดังกล่าวสะท้อนถึงพารามิเตอร์ที่เกี่ยวข้องกระบวนการสร้างน้ำยางได้ดี และควรเก็บตัวอย่างน้ำยางในช่วงเดือนตุลาคมถึงธันวาคม เนื่องจากในช่วงเวลาดังกล่าวปริมาณธาตุอาหารและองค์ประกอบทางชีวเคมีในน้ำยางจะมีการแปรปรวนต่ำ

การวิเคราะห์องค์ประกอบทางชีวเคมีและปริมาณธาตุอาหารในน้ำยางน่าจะเป็นแนวทางหนึ่งที่สะดวก และสามารถนำไปใช้เป็นหลักในการประเมินปรับอัตราการใช้ปุ๋ยและปรับระบบกรีดที่จะใช้เพื่อให้มีความเหมาะสมกับยางพาราในการเพิ่มผลผลิตน้ำยางพารา จึงควรมีการศึกษาเพิ่มเติมถึงระดับค่าวิกฤติของธาตุอาหารพืชจากผลวิเคราะห์ซีรัมซึ่งจะนำไปสู่การจัดการอัตราการใช้ปุ๋ย เพื่อเพิ่มผลผลิตน้ำยางพาราได้

เอกสารอ้างอิง

คณาจารย์ภาควิชาธรณีศาสตร์. 2550. คู่มือปฏิบัติการวิชาปฐพีวิทยาเบื้องต้น. สงขลา : ภาควิชาธรณีศาตร์ คณะทรัพยากรธรรมชาติ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์.

จักรพงศ์ จิระแพทย์. 2556. การพัฒนาในรอบปีและการเปลี่ยนแปลงของคาร์โบไฮเดรต ไนโตรเจน และ ฟอสฟอรัสในใบของมังคุดและลองกองที่จังหวัดนราธิวาส. ว. มหาวิทยาลัยนราธิวาสราชนครินทร์ 5 : 69-78.

จำเป็น อ่อนทอง. 2547. คู่มือการวิเคราะห์ดินและพืช. สงขลา : ภาควิชาธรณีศาสตร์ คณะทรัพยากรธรรมชาติ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์.

จำเป็น อ่อนทอง, สายใจ กิ้มสงวน และพิรุณ ติระพัฒน์. 2549. ค่ามาตรฐานของไนโตรเจน ฟอสฟอรัส โพแทสเซียม แคลเซียม และแมกนีเซียมในใบลองกอง. ว. วิทย.กษ. 37 : 257-268.

ธนาพร ห้วยนุ้ย. 2552. ผลของระบบกรีดแบบสลับหน้ากรีด 2 รอย ที่มีผลต่อผลผลิตและคุณภาพของยางพาราพันธุ์ RRIM 600. วิทยานิพนธ์ วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์.

นภาวรรณ เลขะวิพัฒน์, รัชนี รัตนวงศ์ และอนุสรณ์ แรมลี. 2544. การศึกษาชีวเคมีของยางพันธุ์แลกเปลี่ยนระหว่างประเทศในเขตภูมิอากาศที่ 1. รายงานการวิจัย. กรุงเทพฯ : สถาบันวิจัยยาง กรมวิชาการเกษตร กระทรวงเกษตรและสหกรณ์.

นุชนาฏ สุชาติพงศ์. 2553. การศึกษาเพื่อพัฒนาอุปกรณ์วัดปริมาณเนื้อยางแห้งในน้ำยาง. วิทยานิพนธ์ วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์.

นุชนารถ กังพิศดาร. 2542. การประเมินระดับธาตุอาหารพืชเพื่อแนะนำการใช้ปุ๋ยกับยางพารา. กรุงเทพฯ : สถาบันวิจัยยาง กรมวิชาการเกษตร กระทรวงเกษตรและสหกรณ์.

นุชนารถ กังพิศดาร. 2554. คำแนะนำการใช้ปุ๋ยยางพารา ปี 2554. กรุงเทพฯ : สถาบันวิจัยยาง กรมวิชาการเกษตร.

นุชนารถ กังพิสดาร. 2550. การใช้ปุ๋ยอย่างมีประสิทธิภาพกับยางพาราหลังเปิดกรีดตามค่าวิเคราะห์ดิน. กรุงเทพฯ : สถาบันวิจัยยาง กรมวิชาการเกษตร กระทรวงเกษตรและสหกรณ์.

นุชนารถ กังพิศดาร ปูชิตา เปรมกระสิน และชำนาญ บุญเลิศ. 2551. การจัดการธาตุอาหารพืชเพื่อเพิ่มผลผลิตยางให้เหมาะสมเฉพาะพื้นที่ตามค่าวิเคราะห์ดิน. รายงานผลการวิจัย. กรุงเทพฯ : สถาบันวิจัยยาง กรมวิชาการเกษตร กระทรวงเกษตรและสหกรณ์.

นุชนารถ กังพิศดาร, โสภา โพธิวัตถุธรรม, เวท ไทยนุกูล และสมยศ สินธุรหัส. 2522. การศึกษาชนิดของแร่ดินเหนียวและคุณสมบัติทางกายภาพและเคมีของดินปลูกยางพารา. กรุงเทพฯ : รายงานผลการค้นคว้าวิจัยปี 2522. กองการยาง กรมวิชาการเกษตร กระทรวงเกษตรและสหกรณ์.

นุชนารถ กังพิศดาร, ลิขิต นวลศรี, ยุบล ลิมจิตติ, โสภา โพธิวัตถุธรรม และเวท ไทยนุกูล. 2533. อิทธิพลของปุ๋ยยางอ่อนที่ตกค้างต่อผลผลิตของยางหนุ่ม. กรุงเทพฯ : รายงานเสนอในที่ประชุมกลุ่มยางประจำปี 2533. สถาบันวิจัยยาง กรมวิชาการเกษตร กระทรวงเกษตรและสหกรณ์.

นุชนารถ กังพิศดาร, วีรพงศ์ ตัน, ชำนาญ บุญเลิศ, ไววิทย์ บูรณธรรม, ลิขิต นวลศรี และ ยุบล ลิมจิตติ. 2537. การตอบสนองของยางหลังเปิดกรีดต่อปุ๋ย N P K และ Mg ในดินชุดคอหงส์. รายงานผลการวิจัย. กรุงเทพฯ : สถาบันวิจัยยาง กรมวิชาการเกษตร กระทรวงเกษตรและสหกรณ์.

ปัทมา ชนะสงคราม, ภัทธาวุธ จิวตระกูล, โชคชัย อเนกชัย และ นุชนารถ กังพิศดาร. 2537. โครงสร้างของเปลือกและท่อน้ำยางของต้นยางหลังเปิดกรีดที่ได้รับปุ๋ยระดับต่าง ๆ. สงขลา : สถาบันวิจัยยาง กรมวิชาการเกษตร กระทรวงเกษตรและสหกรณ์.

พเยาว์ ร่มรื่นสุขารมย์, รัชนี รัตนวงศ์, นภาวรรณ เลขะวิพัฒน์, กรรณิการ์ ธีระวัฒนสุข, บุตรี พุทธรักษ์ และสมบัติ พิงกุศล. 2546. การใช้เทคนิคทางชีวเคมีระบุคุณสมบัติพันธุ์ยาง. รายงานวิจัยประจำปี 2546 หน้า 95-119. กรุงเทพฯ : สถาบันวิจัยยาง กรมวิชาการเกษตร กระทรวงเกษตรและสหกรณ์.

พรพรรณ นิธิอุทัย. 2529. ความสัมพันธ์ระหว่างสองวิธีการในการหาเนื้อยางในน้ำยาง. ว. วิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี 1 : 1-13.

พิรุณ ติระพัฒน์. 2550. ค่าความเข้มข้นมาตรฐานเบื้องต้นของธาตุอาหารจุลภาคบางชนิดในใบลองกองและการตอบสนองต่อธาตุอาหารจุลภาคของลองกอง. วิทยานิพนธ์วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต, สาขาวิชาการจัดการทรัพยากรดินคณะทรัพยากรธรรมชาติ, มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์.

พิศมัย จันทุมา. 2543. การวิเคราะห์น้ำยางโดยวิธีชีวเคมี. เอกสารประกอบการประชุมวิชาการยางพารา ประจำปี 2543 ณ โรงแรม เจ. บี. อ.หาดใหญ่ จ.สงขลา 29-30 สิงหาคม 2543 หน้า 94-107.

พิศมัย จันทุมา. 2551. การกรีดยางและสรีรวิทยาที่เกี่ยวข้อง. เอกสารประกอบการฝึกอบรมเจ้าหน้าที่กรมวิชาการเกษตร หลักสูตรยางพารา. กรุงเทพฯ : สถาบันวิจัยยาง กรมวิชาการเกษตร กระทรวงเกษตรและสหกรณ์.

พิศมัย จันทุมา, อารักษ์ จันทุมา และ สว่างรัตน์ สมนาค. 2547. การเปลี่ยนแปลงองค์ประกอบชีวเคมีในน้ำยางต่อระบบกรีดและผลผลิตยางพารา. ฉะเชิงเทรา : สถาบันวิจัยยาง กรมวิชาการเกษตร กระทรวงเกษตรและสหกรณ์.

พิศมัย จันทุมา, อารักษ์ จันทุมา, Gohet, E. และอุณาภรณ์ ศิลปะลี. 2545. การใช้ลักษณะทางสรีรวิทยาในการตรวจสอบความสมบูรณ์ของต้นยาง. เอกสารประกอบการประชุมวิชาการยางพาราประจำปี 2545 ณ โรงแรมหนองคายแกรนด์ อ.เมือง จ.หนองคาย 19-22 กุมภาพันธ์ 2545 หน้า 32-72.

ภัทธาวุธ จิวตระกูล, ปัทมา ชนะสงคราม, นุชนารถ กังพิศดาร, วีรพงศ์ ตันอภิรมย์ และโชคชัย เอนกชัย. 2537. สรีรวิทยาน้ำยางของต้นยางหลังเปิดกรีดที่ได้รับปุ๋ยระดับต่างๆ. รายงานการวิจัย. กรุงเทพฯ : สถาบันวิจัยยาง กรมวิชาการเกษตร กระทรวงเกษตรและสหกรณ์.

ยงยุทธ โอสถสภา. 2552. ธาตุอาหารพืช. กรุงเทพฯ : สำนักพิมพ์มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

ลิขิต นวลศรี, อาร์. เจ. ซี. มาเรนิสสัน และ จี. ดับบริว. อาร์นอทท์. 2515. การศึกษาวิธีเก็บตัวอย่างของต้นยางอายุมากเพื่อวิเคราะห์ธาตุอาหารสำหรับพิจารณาการใช้ปุ๋ย. ว. วิทย. กษ. 5 : 115-131.

วารุณี อดิศักดิ์กุล และจำเป็น อ่อนทอง. 2556. ผลของตำแหน่งการเก็บตัวอย่างน้ำยางสดต่อธาตุอาหารและองค์ประกอบทางชีวเคมีในน้ำยาง. ว. แก่นเกษตร 41 : 13-20.

วราภรณ์ ขจรไชยกูล. 2524. คุณสมบัติ และส่วนประกอบของน้ำยางธรรมชาติ. ว. ยางพารา 2 : 19-27.

สถาบันวิจัยยาง. 2553. ข้อมูลวิชาการยางพารา 2553. กรุงเทพฯ : สถาบันวิจัยยาง กรมวิชาการเกษตร กระทรวงเกษตรและสหกรณ์.

สถาบันวิจัยยาง. 2550. คำแนะนำพันธุ์ยางปี 2550. กรุงเทพฯ : สถาบันวิจัยยาง กรมวิชาการเกษตร กระทรวงเกษตรและสหกรณ์.

สถาบันวิจัยยาง. 2551. คู่มือการใช้ปุ๋ยยางพาราตามค่าวิเคราะห์ดิน. กรุงเทพฯ : สถาบันวิจัยยาง กรมวิชาการเกษตร กระทรวงเกษตรและสหกรณ์.

สายัณห์ สดุดี, อิบรอเฮม ยีดำ และ ระวี เจียรวิภา. 2553. โครงการปรับปรุงระบบกรีดเพื่อเพิ่มผลผลิตน้ำยางของยางพารา. รายงานวิจัยฉบับสมบูรณ์. สงขลา : ภาควิชาพืชศาสตร์ คณะทรัพยากรธรรมชาติ, มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์.

สำนักงานเศรษฐกิจการเกษตร. 2555. สถิติการเกษตรของประเทศไทย ปี 2554. กรุงเทพฯ : สำนักงานเศรษฐกิจการเกษตร กระทรวงเกษตรและสหกรณ์.

สิทธิชัย บุญมณี, จำเป็น อ่อนทอง และขวัญตา ขาวมี. ธาตุอาหารและองค์ประกอบทางชีวเคมีในน้ำยางจากต้นยางพาราก่อนเปิดกรีดที่ใส่ปุ๋ยตามค่าทดสอบดินและปุ๋ยเชิงผสมสูตร 20-8-20. การประชุมวิชาการดินและปุ๋ยแห่งชาติ ครั้งที่ 3 ณ คณะเกษตรศาสตร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น 25-27 เมษายน 2556 หน้า 15.

สุมิตรา ภู่วโรดม, นุกูล ถวิลถึง, สมพิศ ไม้เรียง, พิมล เกษสยม และจิรพงษ์ ประสิทธิเขตร. 2545. การสร้างค่ามาตรฐานธาตุอาหารสำหรับทุเรียน. ว. วิทย. กษ. 33 : 269-278.

เสาวนีย์ ก่อวุฒิกุลรังสี. 2541. การผลิตยางธรรมชาติ. ปัตตานี : ภาคเทคโนโลยียางและพอลิเมอร์ คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี. มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์.

อนุวัฒน์ ประกอบมี, สุภัทร์ อิศรางกูร ณ อยุธยา และ สังคม เตชะวงค์เสถียร. 2557. ผลของอายุใบและตำแหน่งใบต่อปริมาณธาตุอาหารหลักในใบยางพาราสายพันธุ์ RRIM 600. ว. แก่นเกษตร 42 : 180-185.

องค์การสวนยาง. 2555. ประวัติยางพารา. [Online] Available from http://www.reothai.co.th/-Para1.htm. [Accessed July 20, 2012].

Badre, A., Gitali, D., Shammi, R., Santanu, R., Pal, T.K. and Dey, S.K. 2003. Studies on Yield and Biochemical Sub-components of Latex of Rubber Trees (*Hevea brasiliensis*) with a Special Reference to the Impact of Low Themperature in a Non-optimal Environment. Journal of Rubber Research 6 : 241-257.

Bolle-Jones, E. W. and Ratnasingam, K. 1954. Nutrition of Hevea brasiliensis IV. Interclonal and seasonal variation in composition of leaves. J. Rubb. Res. Inst. Malaya 14 : 257-286.

Chantuma, P., Thanisawanyangkura, S., Kasemsap, P., Gohet, E. and Thaler, P. 2006. Distribution patterns of latex sucrose content and concurrent metabolic activity at the trunk level with different tapping systems and in latex production bark of *Hevea brasiliensis*. Kasetsart J. (Nat. Sci.) 40 : 634-642.

Costa, B. M. T. da., Keasling, J. D., McMahan, C. M. and Cornish, K. 2006. Magnesium ion regulation of in vitro rubber biosynthesis by *Parthenium argentatum* Gray. Phytochemistry. 67 : 1621-1628.

d'Auzac, J. 1989. Factors involved in the stopping of flow after tapping. *In* Physiology of Rubber Tree Latex. (eds. d'Auzac, J., Jacob, J. L. and Chrestin, H.), pp. 221-232. Boca Raton : CRC Press.

d’Auzac, J. and Jacob, J. L. 1989. The composition of latex from *Hevea brasiliensis* as a laticiferous cytoplasm. *In* Physiology of Rubber Tree Latex. (eds. d’Auzac, J., Jacob, J. L. and Chrestin, H.), pp. 57-96. Boca Raton : CRC Press.

Dibi, K., Boko, C., Obouayeba, S., Gnagne, M., Dea G.B., Carron, M.P. and Anno, A.P. 2010. Field growth and rubber yield of in vitro micropropagated plants of clones PR 107, IRCA 18 and RRIM 600 of *Hevea brasiliensis*. Agric. Biol. J. N. Am. 1 : 129-1298.

Fay, E. de. And Jacob, J. L. 1989. Anatomical organization of the laticiferous system in the bark. *In* Physiology of Rubber Tree Latex. (eds. d’Auzac, J., Jacob, J. L. and Chrestin, H.), pp. 3-14. Boca Raton : CRC Press.

Gao, Z.Q., Meng C.X. and Ye N.H. 2008. Latex production with depolymerizing compounds of actin cytoskeleton in rubber trees. Pesq. agropec. Bras. Brasilia. 43 : 275-279.

Geetika Arora. 2010. Rubber. [Online] Available from http://www.xamplified.com/rubber. [Accessed July 20, 2012].

George, P.J. and Jacob, C.K. 2000. Natural Rubber. Kottayam : Rubber Board P.O.

Gooding, E. G. B. 1952. Studies in the physiology of latex II: latex flow on tapping *Hevea brasiliensis* associated changes in trunk diameter and latex concentration. New Phytol. 51 : 11-29.

Guha, M. M. and Narayanan, R. 1969. Variation in leaf nutrient content of Hevea with clone and age of leaf. J. Rubb. Res. Inst. Malaya 21 : 25-239.

Jabatan, F., Fakulti, S. and Pengajian, A.S. 1982. Determination of Dry Rubber Content of Hevea Latex by Microwave Technique. Pertanika 5 : 192-195.

Jacob, J., Auzac, J. and Chrestin, H. 2000. Physiology of Rubber Tree Latex. Florida : CRC Press.

Jacob, J. L., Prevot, J. C., Roussel, D., Lacrotte, R., Serres, E., d'Auzac, J., Eschbach, J. M. and Omont, H. 1989. Yield-limiting factors, latex physiological parameters, latex diagnosis, and clonal typology. *In* Physiology of Rubber Tree Latex. (eds. d'Auzac, J., Jacob, J. L. and Chrestin, H.), pp. 345-382. Boca Raton : CRC Press.

Kekwick, R. G. O. 1989. The formation of polyisoprenoids in *Hevea* latex. *In* Physiology of Rubber Tree Latex. (eds. d'Auzac, J., Jacob, J. L. and Chrestin, H.), pp. 145-164. Boca Raton : CRC Press.

Lacote, R., Gabla, O., Obouayeba, S., Eschbach, J.M., Rivano, F., Dian, K. and Gohet, E. 2010.Long-term effect of ethylene stimulation on the yield of rubber trees is linked to latex cell Biochemistry. Field Crops Research. 115 : 94-98.

Lau, C. H. and Wong, C. B. 1993. Correction of leaf nutrient values for assessment of *Hevea brasiliensis*. Genetic Engineering to Field Practice Developments in Plant and Soil Sciences 54 : 281-283.

Le, M.T., Kim, T.T. and Le, D.V. 2010. Correlation among Juvenile and Mature Performances and Selection of Elite Rubber Clones in the Small Scale Clonal Trial. 1-20. [Online]. Available from http://www.irrdb.com/IRRDB/irc2010/SEC2/-Correlation/20among/20TuyJuvenile/20and/20Mature/Performances.pdf.
[Accessed July 20, 2012].

Marschner, H. 1995. Mineral of Nutrition of Higher Plants. San Diego : Academic Press.

Mulvaney, R. L. 1996. Nitrogen-inorganic forms. *In* Method of Soil Analysis. Part 3. Chemical Methods. (ed. Sparks, D. L.), pp. 1152-1155. Madison : Soil Science Society of America and American Society of Agronomy.

Nair, N. U. 2000. Biochemistry and physiology of latex production. *In* Natural Rubber. (eds. George, P. J. and Jacob, C.K.), pp. 249-260. Kottayam : Rubber Board P.O.

Njukeng, N.J. and Gobina, M.S. 2007. Effects of 2-chloroethylphosphonic acid formulations as yield stimulants on *Hevea brasiliensis*. Afr. J. Biotechnol. 6 : 523-528.

Osborne, D. R. and Voogt, P. 1978. Carbohydrates. *In* The Analysis of Nutrients in Foods. pp. 130 - 154. London : Academic Press.

Pisamai, C., Sornprach, T., Poonpipope, K., Eric, G. and Phillipe, T. 2006. Distribution Patterns of Latex Sucrose Content and Concurrent Metabolic Activity at the Trunk Level with Different Tapping Systems and in Latex Production Bark of *Hevea brasiliensis*. Kasetsart J. (Nat. Sci.) 40 : 634-642.

Pushparajah and Tan K. T. 1972. Factors influencing leaf nutrient levels in rubber. *In* Proceedings of the R.R.I.M. Malaya Planters Conference, Kuala Lumpur 1972. Rubber Research Institute of Malaya, Kuala Lumpur, pp. 140-154.

Saichai, S., Somsak, M., and Montree, I. 2012. Establishment of Standard Values for Nutritional Diagnosis in Soil and Leaves of Immature Rubber Tree. Rubber Thai J. 1 : 19-31.

Scott, D. J., Costa, B. M. T. da., Espy, S. C., Keasling, J. D. and Cornish, K. 2003. Activation and inhibition of rubber transferases by metal cofactors and pyrophosphate substrates. Phytochemistry. 64 : 123-134.

Sethuraj, M. R. 1992. Yield Component in *Hevea Brasiliensis*. *In* Natural Rubber: Biology, Cultivation and Technology (eds. Sethuraj, M. R. and Mathew, N. M.), pp. 137-163. Amsterdam : Elsevier.

Sopheaveasna, M., Sali, C., Aphiphan, P. and Poonpipope, K. 2008. The Effect of Fertilizer and Irrigation on Yield and Quality of Rubber (*Hevea brasiliensis*) Grown in Chanthaburi Province of Thailand. Kasetsart J. (Nat. Sci.) 42 : 226-237.

Silpi, U., P. Chantuma, P. Kasamesap, P. Thaler, S. Thanisawanyangkura, A. Lacointe, T. Ameglio, and E. Gohet. 2006. Sucrose and metabolism distribution patterns in the latices of three *Hevea brasiliensis* clones : Effects of tapping and stimulation on the tree trunk. J. Rubb. Res. 9:115-131.

Soumahin, E. F., Obouayeba, S. and Anno, P. A. 2009. Low tapping frequency with hormonal stimulation on *Hevea brasiliensis* clone PB 217 reduces tapping manpower requirement. J. Anim. Plant Sci. 2 : 109-117.

Soumahin, E. F., Obouayeba, S., Dick, K. E., Dogbo, D. O. and Anno, A. P. 2010. Low intensity tapping systems applied to clone PR 107 of *Hevea brasiliensis* (Muell. Arg.) : Results of 21 years of exploitation in South-eastern Cote d'Ivoire. Afr. J. Plant Sci. 4 : 145-153.

Sreelatha, S., Simon, S. P., Kurup, G. M. and Vijayakumar, K. R. 2007. Biochemical mechanisms associated with low yield during stress in *Hevea* clone RRII 105. J. Rubb. Res. 10 : 107-115.

Tupy, J. 1989. Sucrose supply and utilization for latex production. *In* Physiology of Rubber Tree Latex. (eds. d'Auzac, J., Jacob, J. L. and Chrestin, H.), pp. 179-200. Boca Raton : CRC Press.

Vinod, K.K., Pothen, J., Chaudhuri, D., Priyadarshan, P.M., Eappen, T., Varghese, M., Mandal, D., Sharma, A.C., Pal, T.K., Devakumar, A.S. and Krishnakumar, A.S. 2000. Variation and trend of yield and related traits of *Hevea Brasiliensis* MUELL. ARG. In Tripura. Indian Journal of Natural Rubber Research 13 : 69-78.

Waston, G. A. 1989. Nutrition. In Rubber. (eds. Webster, C. C. and Baulkwill, W. J.), pp. 291-348. New York : John Wiley & Sons.

ประวัติผู้เขียน

ชื่อ สกุล นายณัฐพงศ์ ศรีสมบัติ
รหัสประจำตัวนักศึกษา 5210620038
วุฒิการศึกษา

วุฒิ	**ชื่อสถาบัน**	**ปีที่สำเร็จการศึกษา**
วิทยาศาสตรบัณฑิต (เกษตรศาสตร์)	มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์	2552

การตีพิมพ์เผยแพร่ผลงาน

ณัฐพงศ์ ศรีสมบัติ, จำเป็น อ่อนทอง และอภิชาติ เกื้อก่อบุญ. 2556. เปรียบเทียบวิธีการหาเนื้อยางแห้งและความสัมพันธ์ระหว่างเนื้อยางแห้งกับองค์ประกอบทางชีวเคมีและปริมาณธาตุอาหารพืชในน้ำยางพารา. วารสารวิชาการเกษตร 31 : 123-138.