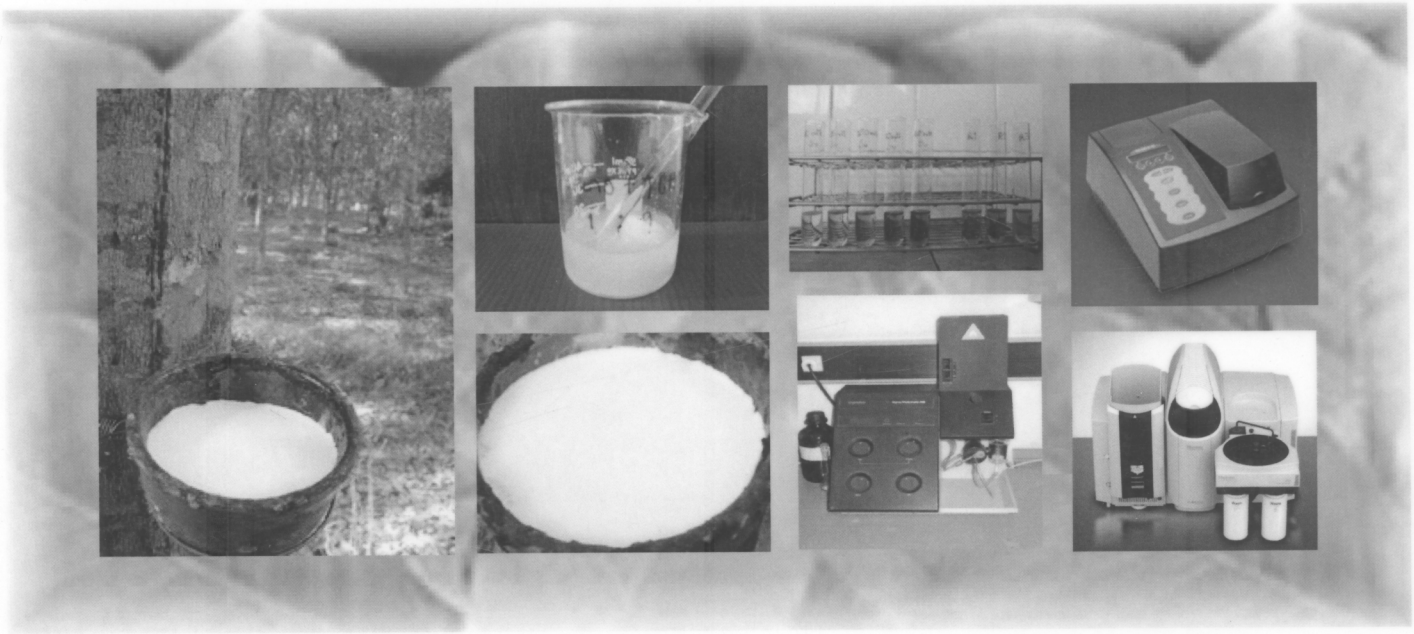
# รายงานการวิจัยฉบับสมบูรณ์

เรื่อง

# การวิเคราะห์ธาตุอาหารในน้ำยางเพื่อประเมินสถานะธาตุอาหารในยางพารา

**Latex Nutrient Analysis as Evaluation of Nutrient Status in Rubber Tree**




รองศาสตราจารย์ ดร. จำเป็น อ่อนทอง

รองศาสตราจารย์ ดร. อัจฉรา เพ็งหนู

ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. บุญส่ง ไกรศรพรสรร

ภาควิชาธรณีศาสตร์ คณะทรัพยากรธรรมชาติ

มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ อ.หาดใหญ่ จ.สงขลา



พ.ศ. 2556



5.E9

# สารบัญ


| เรื่อง | หน้า |
|---|---|
| บทคัดย่อ | i |
| สารบัญตาราง | ii |
| สารบัญรูป | iii |
| 1. บทนำ | 1 |
| 2. ตรวจเอกสาร | 4 |
| 3. การเก็บตัวอย่างและการเก็บรักษาตัวอย่างน้ำยางสำหรับวิเคราะห์ธาตุอาหารและองค์ประกอบทางชีวเคมี | 19 |
| 4. การเปลี่ยนแปลงของธาตุอาหารและองค์ประกอบทางชีวเคมีในน้ำยางในรอบปี | 44 |
| 5. สรุปและข้อเสนอแนะ | 65 |
| 6. เอกสารอ้างอิง | 67 |

# บทคัดย่อ

การประเมินสถานะธาตุอาหารในยางพารา โดยทั่วไปมักจะใช้วิธีการวิเคราะห์ธาตุอาหารในใบ อย่างไรก็ตาม ยางพาราเป็นพืชที่มีลำต้นสูงทำให้ไม่สะดวกในการเก็บตัวอย่างใบ ประกอบกับในปัจจุบันมีการวิเคราะห์องค์ประกอบทางชีวเคมีในน้ำยางเพื่อประเมินสุขภาพต้นยาง และธาตุอาหารมีบทบาทสำคัญในกระบวนการสร้างน้ำยาง ดังนั้น ธาตุอาหารในน้ำยางจึงอาจจะสะท้อนถึงสถานะธาตุอาหารในยางพาราได้ จึงได้ศึกษาการวิเคราะห์น้ำยางเพื่อประเมินสถานะธาตุในยางพารา (RRIM 600) โดยมีวัตถุประสงค์ คือ 1) ศึกษาผลของอุณหภูมิต่อการเก็บรักษาน้ำยางสดและเซรัมน้ำยาง 2) เวลาที่เหมาะสมในการเก็บน้ำยาง และ 3) ผลการใส่ปุ๋ยต่อธาตุอาหารในน้ำยาง ประกอบด้วย 3 การทดลองหลัก ดังนี้

**การเก็บรักษาตัวอย่างและการเก็บรักษาตัวอย่างเพื่อวิเคราะห์ธาตุอาหารและองค์ประกอบทางชีวเคมี** ประกอบด้วยการศึกษา ผลการเก็บรักษาเซรัมน้ำยางในตู้เย็น ผลของการเก็บรักษาน้ำยางสดและเซรัมน้ำยางที่อุณหภูมิห้อง (31 °C) และแช่ในกล่องน้ำแข็ง (4 °C) และผลการเจือจางน้ำยางสด ต่อค่าวิเคราะห์ธาตุอาหาร ได้แก่ แอมโมเนียม ไนเทรต โพแทสเซียม แมกนีเซียม และแคลเซียม และองค์ประกอบทางชีวเคมี ได้แก่ ซูโครส ไทออล และอนินทรีย์ฟอสฟอรัส

**เวลาที่เหมาะสมในการเก็บน้ำยางสำหรับการวิเคราะห์ธาตุอาหารและองค์ประกอบทางชีวเคมี** เปรียบเทียบผลการเก็บน้ำยางในช่วงเช้า (8.00-10.00 น.) และช่วงบ่าย (14.00- 16.00 น.) ต่อค่าวิเคราะห์ธาตุอาหารและองค์ประกอบทางชีวเคมี

**การเปลี่ยนแปลงของธาตุอาหารและองค์ประกอบทางชีวเคมีในน้ำยางในรอบปี** เปรียบเทียบผลการใส่ปุ๋ยสูตร 29-5-18 และไม่ใส่ปุ๋ย ต่อค่าวิเคราะห์และการเปลี่ยนแปลงของธาตุอาหารและองค์ประกอบทางชีวเคมีในน้ำยางในรอบปี

ผลการศึกษาพบว่า การเก็บเซรัมน้ำยางไว้ในตู้เย็น 1-7 วัน ไม่มีผลต่อค่าโพแทสเซียม แมกนีเซียม อนินทรีย์ฟอสฟอรัส และซูโครส แต่ทำให้ค่าไทออลลดลง ในขณะที่ทำให้ค่าวิเคราะห์แคลเซียมเพิ่มขึ้น ส่วนแอมโมเนียมและไนเทรตมีแนวโน้มการเปลี่ยนแปลงที่ไม่ชัดเจน ทั้งนี้พบว่า การเก็บรักษาเซรัมน้ำยางไว้ในกล่องน้ำแข็ง และที่อุณหภูมิห้อง เป็นระยะเวลา 1, 2, 4, 6 และ 8 ชั่วโมง ก่อนทำการวิเคราะห์องค์ประกอบทางชีวเคมี ให้ค่าวิเคราะห์ซูโครส อนินทรีย์ฟอสฟอรัส และไธออล และแอมโมเนียมไม่แตกต่างกัน อย่างไรก็ตาม การเก็บเซรัมน้ำยางทั้ง 2 วิธีไว้นานเกิน 6 ชั่วโมง ทำให้ค่าไธออลและแอมโมเนียมที่วิเคราะห์ได้ลดลง

ค่าซูโครสในน้ำยางสดที่เก็บที่อุณหภูมิห้องและในกล่องน้ำแข็งนาน 1 ชั่วโมง ไม่แตกต่างกัน แต่เมื่อเก็บน้ำยางสดไว้นานมากกว่า 1 ชั่วโมง พบว่า การเก็บน้ำยางสดที่อุณหภูมิห้องทำให้ซูโครสที่วิเคราะห์ได้ต่ำกว่าการเก็บรักษาน้ำยางสดในกล่องน้ำแข็งอย่างชัดเจน แต่ไม่มีผลต่อค่าวิเคราะห์ธาตุอาหาร และไทออล ทั้งนี้สามารถเก็บน้ำยางสดในกล่องน้ำแข็งได้นาน 4 ชั่วโมง โดยไม่มีผลต่อค่าวิเคราะห์ซูโครส

นอกจากนั้น ยังพบว่า การเติมสารยับยั้งจุลินทรีย์ไม่สามารถจะยับยั้งการลดลงของซูโครสได้ ในขณะที่การเจือจางน้ำยางด้วยน้ำกลั่นและสารละลายอีดีทีเอไม่สามารถจะยืดเวลาในการเก็บรักษาน้ำยางสดได้

ความเข้มข้นของ แอมโมเนียม โพแทสเซียม แคลเซียม แมกนีเซียม อนินทรีย์ฟอสฟอรัส และไทออลในน้ำยางที่เก็บในช่วงเช้ามีค่าสูงกว่าในช่วงบ่าย แต่พบว่า ซูโครสในน้ำยางที่เก็บในช่วงบ่ายสูงกว่าในช่วงเช้า ทั้งนี้การเก็บน้ำยางในช่วงเช้าและช่วงบ่ายไม่ได้ทำให้ค่าของแข็งทั้งหมดในน้ำยางแตกต่างกัน

การเปลี่ยนแปลงผลผลิตน้ำยางสด ธาตุอาหารและองค์ประกอบทางชีวเคมีในรอบปีในแปลงที่ใส่และไม่ใส่ปุ๋ยเป็นแบบเดียวกัน การใส่ปุ๋ยเชิงผสมสูตร 29-5-18 ทำให้ต้นยางพารามีซูโครสในน้ำยางและให้ผลผลิตเพิ่มขึ้น และมีแนวโน้มทำให้ธาตุไนโตรเจน ฟอสฟอรัส และโพแทสเซียมในน้ำยางสูงกว่าแปลงที่ไม่ใส่ปุ๋ย ในขณะที่ค่าวิเคราะห์ธาตุดังกล่าวในใบไม่แตกต่างกัน และธาตุอาหารส่วนใหญ่ในน้ำยางในช่วงกันยายนถึงธันวาคมมีการเปลี่ยนแปลงน้อยที่สุด

โดยสรุปแล้ว การวิเคราะห์ธาตุอาหารในน้ำยางสามารถใช้ประเมินสถานะของธาตุอาหารในยางพาราได้เช่นเดียวกับการวิเคราะห์ใบ โดยควรเก็บตัวอย่างน้ำในระหว่างเดือนกันยายนจนถึงธันวาคม เช่นเดียวกับการเก็บเพื่อใช้วิเคราะห์องค์ประกอบทางชีวเคมี และให้เก็บน้ำยางสดในช่วงเช้า โดยเจาะเก็บน้ำยางบริเวณกลางๆ ใต้รอยกรีด 5 เซนติเมตร จากประมาณ 10 ต้นต่อแปลง ต้นๆ ละประมาณ 10 หยด เพื่อรวมเป็นตัวแทนของแต่ละแปลง ขณะเก็บก็ให้แช่หลอดรับน้ำยางในน้ำแข็ง เมื่อได้ตัวอย่างแล้วก็ควรตกตะกอนทันทีด้วยทีซีเอ นำสารที่กรองได้หรือเซรัมไปวิเคราะห์แอมโมเนียม แคลเซียม และไทออลภายในวันนั้น ส่วนเซรัมที่เหลือสามารถเก็บไว้ได้นานอย่างน้อย 7 วัน เพื่อนำไปวิเคราะห์ฟอสฟอรัส โพแทสเซียม แมกนีเซียม และซูโครส

# Latex Nutrient Analysis as Evaluation of Nutrient Status in Rubber Trees


## Abstract

The nutrient evaluation of rubber trees is generally conducted by leaf analysis. However, leaf sampling is not practical because of the height of the trees. Currently, biochemical analysis in rubber latex is performed for tree vigor evaluation, and nutrients also play an important role in rubber biosynthesis. Therefore, nutrients in rubber latex may reflect the nutrient status in rubber trees (RRIM 600). The objective of this study was to investigate the effects of temperature on the storage of fresh latex and latex serum, a suitable period for latex sampling, and effects of fertilizer application on latex nutrients. There were 3 experiments as follows.

**Sampling and storage of latex for analysis of nutrients and biochemical components.** This consisted of the study of storage of latex serum in a refrigerator, the keeping of rubber latex and serum at room temperature (31°C) and in the ice box (4 °C), and the effects of latex dilution on the analysis of nutrients e.g. ammonium, nitrate, potassium, magnesium, and calcium, and biochemical components e.g. sucrose, thiol, and inorganic phosphorus.

**Suitable periods of latex sampling for analysis of nutrients and biochemical components.** Nutrients and biochemical components in latex collected in the morning (08.00-10.00) and afternoon (14.00-16.00) were compared.

**Variation of Nutrients and biochemical components during the year.** Comparison of the effects of application of 29-5-18 mixed fertilizer and without fertilizer on nutrients and biochemical components in rubber latex was conducted during the year.

It revealed that refrigerated storage of serum for 1-7 days did not affect values of potassium, magnesium, inorganic phosphorus, and sucrose, but decreased thiol. While calcium increased, the trend of ammonium and nitrate was notuncertain. Storage of serum in the ice box and at room temperature before analysis did not give different values of sucrose, inorganic phosphorus, thiol, and ammonium. However, storage of serum by these methods for more than 6 hours resulted in a decrease of thiol and ammonium.

Sucrose in fresh latex stored in the ice box and at room temperature for 1 hour was not different. It was found that if it was stored longer than 1 hour, sucrose kept at room temperature was significantly lower than that in the ice box, but nutrients and thiol were not different. It showed that keeping latex in an ice box up to 4 hours did not affect sucrose analysis. Moreover, the addition of a microorganism inhibitor did not inhibit the decrease of sucrose, while latex diluted with distilled water and 0.01 %w/v EDTA could not prolong the life of fresh latex.

Concentrations of ammonium, potassium, calcium, magnesium, inorganic phosphorus, and thiol in rubber latex collected in the morning were higher than those done in the afternoon, which was opposite to the level of sucrose. Collecting of latex in the morning and afternoon did not give different total solid contents.

Changes of latex yield, nutrients, and biochemical component during the year in rubber tree plots with and without fertilizer were relatively the same. The application of 29-5-18 mixed fertilizer resulted in an increase of sucrose and latex yield, and concentrations of nitrogen, phosphorus, and potassium tended to be higher than those from the plot without fertilizer, however leaf nutrients were not different. Additionally, latex nutrients during July and December had less fluctuation.

In conclusion, the analysis of latex nutrients could be used for nutrient evaluation in rubber trees as is leaf nutrient analysis. Sampling of latex for nutrient analysis should be done during July and December as conducted. It must be performed in the morning by using a tine for piercing into the rubber bark at 5 cm below the middle tapping cut from 10 trees/plot, compositing 10 drops of latex from each tree as representing plot latex, and storing the latex receiving tube into an ice box during the procedure. The latex should be immediately precipitated by adding TCA. Ammonium, calcium, and thiol in the filtrate (serum) must be determined within that day. The remaining serum could be kept up to 7 days for analysis of phosphorus, potassium, magnesium and sucrose.

# สารบัญตาราง


| ตารางที่ | คำอธิบายตาราง | หน้า |
|---|---|---|
| 2.1 | ค่าที่เหมาะสมขององค์ประกอบทางชีวเคมีของยางพันธุ์ต่าง ๆ | 9 |
| 3.1 | ผลของระยะเวลาการเก็บรักษาเซรัมน้ำยางในตู้เย็นต่อองค์ประกอบทางชีวเคมีในเซรัมน้ำยาง | 24 |
| 3.2 | ผลของระยะเวลาการเก็บรักษาเซรัมน้ำยางในตู้เย็นต่อธาตุอาหารในเซรัมน้ำยาง | 24 |
| 3 3 | ผลของอุณหภูมิต่อการเก็บรักษาน้ำยางสดเพื่อวิเคราะห์ ซูโครส อนินทรีย์ฟอสฟอรัส และไธออลในเซรัมน้ำยาง | 26 |
| 3.4 | ผลของอุณหภูมิต่อการเก็บรักษาน้ำยางสดเพื่อวิเคราะห์ธาตุอาหารในเซรัมน้ำยาง | 27 |
| 3.5 | ผลของอุณหภูมิ และสารยับยั้งจุลินทรีย์ต่อการเก็บรักษาน้ำยางสด เพื่อวิเคราะห์องค์ประกอบทางชีวเคมี และธาตุอาหารในน้ำยาง | 29 |
| 3.6 | ผลของอุณหภูมิ และสารยับยั้งจุลินทรีย์ต่อการเก็บรักษาน้ำยางสด เพื่อวิเคราะห์องค์ประกอบทางชีวเคมี และธาตุอาหารในน้ำยาง | 31 |
| 3.7 | ผลของการเก็บรักษาเซรัมน้ำยาง ที่ระยะเวลาต่างๆ ต่อองค์ประกอบทางชีวเคมีและธาตุอาหารในเซรัมน้ำยาง | 32 |
| 3.8 | ผลของการเจือจางน้ำยางสด ต่อเนื้อยางแห้ง (เปอร์เซ็นต์) | 34 |
| 3.9 | ผลของการเจือจางน้ำยางสด ต่อซูโครส (mM) ในน้ำยาง | 34 |
| 3.10 | ผลของการเจือจางน้ำยางสด ต่ออนินทรีย์ฟอสฟอรัส (mM) ในน้ำยาง | 35 |
| 3.11 | ผลของการเจือจางน้ำยางสด ต่อไธออล (mM) ในน้ำยาง | 35 |
| 3.12 | ผลของการเจือจางน้ำยางสด ต่อแอมโมเนียม (mM) ในน้ำยาง | 36 |
| 3.13 | ผลของการเจือจางน้ำยางสด ต่อโพแทสเซียม (mM) ในน้ำยาง | 36 |
| 3.14 | ผลของการเจือจางน้ำยางสด ต่อแคลเซียม (mM) ในน้ำยาง | 37 |
| 3.15 | ผลของการเจือจางน้ำยางสด ต่อแมกนีเซียม (mM) ในน้ำยาง | 37 |
| 3.16 | ผลของช่วงเวลาการเจาะเก็บน้ำยางสดต่อองค์ประกอบทางชีวเคมีในน้ำยาง | 38 |
| 3.17 | ผลของช่วงเวลาการเจาะเก็บน้ำยางสดต่อธาตุอาหารในน้ำยาง | 38 |
| 4.1 | สมบัติของดินก่อนการทดลอง | 47 |

# สารบัญรูป


| รูปที่ | คำอธิบายรูป | หน้า |
|---|---|---|
| 4.1 | การกระจายของฝนและการดูแลรักษาสวนยางพาราในระหว่างทำการทดลอง | 46 |
| 4.2 | จำนวนวันฝนตกและวันกรีดยาง | 47 |
| 4.3 | การเปลี่ยนแปลงของปริมาณผลผลิตน้ำยางสดต่อต้นต่อครั้งกรีด | 48 |
| 4.4 | การเปลี่ยนแปลงของปริมาณผลผลิตน้ำยางสดต่อไร่ต่อเดือน | 48 |
| 4.5 | การเปลี่ยนแปลงคาร์โบไฮเดรตในใบในรอบปี | 49 |
| 4.6 | การเปลี่ยนแปลงของปริมาณของแข็งทั้งหมดในน้ำยาง | 50 |
| 4.7 | การเปลี่ยนแปลงของความเข้มข้นของน้ำตาลซูโครสในน้ำยาง | 51 |
| 4.8 | การเปลี่ยนแปลงของความเข้มข้นของอนินทรีย์ฟอสฟอรัสในน้ำยาง | 52 |
| 4.9 | การเปลี่ยนแปลงของความเข้มข้นของไธออลในน้ำยาง | 53 |
| 4.10 | การเปลี่ยนแปลงของความเข้มข้นของแอมโมเนียมในน้ำยาง | 54 |
| 4.11 | การเปลี่ยนแปลงของความเข้มข้นของไนเทรตในน้ำยาง | 54 |
| 4.12 | การเปลี่ยนแปลงของความเข้มข้นของโพแทสเซียมในน้ำยาง | 55 |
| 4.13 | การเปลี่ยนแปลงของความเข้มข้นของแคลเซียมในน้ำยาง | 56 |
| 4.14 | การเปลี่ยนแปลงของความเข้มข้นของแมกนีเซียมในน้ำยาง | 57 |
| 4.15 | การเปลี่ยนแปลงของความเข้มข้นไนโตรเจนทั้งหมดในใบยาง | 57 |
| 4.16 | การเปลี่ยนแปลงของความเข้มข้นฟอสฟอรัสทั้งหมดในใบยาง | 58 |
| 4.17 | การเปลี่ยนแปลงของความเข้มข้นโพแทสเซียมทั้งหมดในใบยาง | 59 |
| 4.18 | การเปลี่ยนแปลงของความเข้มข้นแคลเซียมทั้งหมดในใบยาง | 59 |
| 4.19 | การเปลี่ยนแปลงของความเข้มข้นแมกนีเซียมทั้งหมดในใบยาง | 60 |

# บทที่ 1
# บทนำ

ยางพาราเป็นพืชเศรษฐกิจที่สำคัญของไทย และมีการขยายพื้นที่ปลูกเพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่อง ในปี พ.ศ. 2551 ประเทศไทยมีพื้นที่ปลูกยางพาราทั้งหมด 16.89 ล้านไร่ และมีพื้นที่ปลูกยางในภาคใต้มากถึง 11.33 ล้านไร่ (สถาบันวิจัยยาง, 2553) จากพื้นที่ทั้งหมดในภาคใต้ 44 ล้านไร่ (วุฒิชาติ, 2550) การผลิตยางพารา เพื่อให้ประสบผลสำเร็จนอกจากการเลือกพื้นที่ปลูกให้เหมาะสม และการใช้พันธุ์ที่ดีแล้ว ปุ๋ยเป็นปัจจัยหนึ่งที่มีความสำคัญต่อการเจริญเติบโตและการให้ผลผลิต ถ้าหากต้นยางได้รับธาตุอาหารไม่เพียงพอ ทำให้มีผลกระทบต่อการสังเคราะห์แสงของต้นยาง จึงส่งผลต่อการเจริญเติบโตและการให้ผลผลิต ทั้งนี้เพราะน้ำยางซึ่งเป็นผลผลิตที่ต้องการจากต้นยางนั้น สร้างมาจากซูโครสที่ได้จากการสังเคราะห์แสง โดยที่การสร้างน้ำยางนั้นต้นยางต้องได้รับธาตุอาหารอย่างเพียงพอ มีรายงานว่า ในน้ำยาง 1,000 กิโลกรัม ประกอบด้วย ไนโตรเจน ฟอสฟอรัส โพแทสเซียม และแมกนีเซียม เท่ากับ 20, 5, 25 และ 5 กิโลกรัม ตามลำดับ (สถาบันวิจัยยาง, 2550) หากไม่มีการใส่ปุ๋ยเพื่อเพิ่มธาตุอาหารเพื่อชดเชยธาตุอาหารที่สูญเสียไปกับน้ำยาง รวมทั้งไม้ยางหลังจากโค่นยาง ก็มีผลทำให้ความอุดมสมบูรณ์ของดินลดลง และต้นยางได้รับธาตุอาหารไม่เพียงพอ

พื้นที่ปลูกยางพาราในภาคใต้ส่วนใหญ่เป็นดินที่มีการพัฒนาการสูง มีสภาพเป็นกรด มีอินทรียวัตถุและความอุดมสมบูรณ์ต่ำ (เอิบ, 2533) การใส่ปุ๋ยจึงเป็นปัจจัยที่สำคัญสำหรับการเจริญเติบโตและการให้ผลผลิตยางพารา โดยที่ในปัจจุบันสถาบันวิจัยยางได้แนะนำสูตรปุ๋ยให้ใช้กับดินที่ใช้ปลูกยางพาราโดยทั่วไปในภาคใต้ คือ ในระยะก่อนเปิดกรีดมีการแนะนำให้ใช้ปุ๋ยเชิงผสมสูตร 20-8-20 อัตรา 300-740 กรัมต่อต้นต่อปี ทั้งนี้ก็ขึ้นอยู่กับเนื้อดินและอายุยางพารา ในยางพาราหลังเปิดกรีดแนะนำให้ใช้ปุ๋ยเชิงผสมสูตร 30-5-18 ในอัตรา 1 กิโลกรัมต่อต้นต่อปี กับดินทุกชนิด (สถาบันวิจัยยาง, 2550) และในปัจจุบันได้ปรับเป็นปุ๋ยเชิงผสมสูตร 29-5-18 ใช้อัตราเท่าเดิม (นุชนารถ, 2554) อย่างไรก็ตาม จากรายงานการสำรวจดิน พบว่าในภาคใต้มีดินทั้งหมด 97 ชุดดิน และแต่ละชุดดินก็มีความอุดมสมบูรณ์และความเหมาะสมต่อการปลูกยางแตกต่างกัน นอกจากนั้น ในช่วงที่ผลผลิตยางพารามีราคาสูงเกษตรกรส่วนใหญ่มักกรีดยางเกือบทุกวัน และในบางสวนมีการกรีดยางร่วมกับการใช้แก๊สเอธิลีนเพื่อเพิ่มผลผลิต จึงทำให้มีการสูญเสียธาตุอาหารไปกับน้ำยางมากขึ้น ดังนั้น ในต้นยางที่เปิดกรีดแล้ว หากได้รับปุ๋ยไม่เพียงพอก็จะมีผลกระทบต่อสุขภาพต้นยาง ทำให้ผลผลิตลดลง และส่งเสริมให้เกิดอาการเปลือกแห้งได้

การใส่ปุ๋ยจึงเป็นปัจจัยที่สำคัญในการเพิ่มผลผลิตยางพารา โดยเกษตรกรต้องลงทุนค่าใช้จ่ายต่างๆ ทั้งค่าปุ๋ยและค่าแรงงานประมาณร้อยละ 40 ของต้นทุนทั้งหมด (นุชนารถ, 2550) การใส่ปุ๋ยเป็นวิธีการเพิ่มธาตุอาหารในดินให้กับพืช ทำให้พืชสามารถดูดธาตุอาหารไปใช้ได้มากขึ้น โดยปกติแล้วปริมาณธาตุอาหารในพืชมักมีความสัมพันธ์กับการเจริญเติบโต และการให้ผลผลิตของพืช ดังนั้น ในปัจจุบันจึงได้นำการ

วิเคราะห์ธาตุอาหารในพืช มาใช้เป็นเครื่องมือในการจัดการธาตุอาหารพืช โดยเฉพาะการวิเคราะห์ธาตุอาหารในใบ เพื่อเป็นแนวทางในการใส่ปุ๋ยสำหรับทุเรียน (สุมิตรา และคณะ, 2544) มังคุด (สุมิตรา และคณะ, 2547) ลองกอง (จำเป็น และคณะ, 2547) ปาล์มน้ำมัน (ชัยรัตน์ และคณะ, 2553) และยางพารา (สถาบันวิจัยยาง, 2550) ในยางที่เปิดกรีดแล้วให้เก็บใบที่ระดับล่างของสองข้างทรงพุ่ม โดยเก็บใบคู่ล่างหรือใบที่ 1 และ 2 ของฉัตรแรกซึ่งมีอายุ 3-6 เดือน (นุชนารถ, 2542) แต่เนื่องจากยางพารามีลำต้นสูง การเก็บตัวอย่างใบยางพาราจึงทำได้ยาก ประกอบกับการวิเคราะห์ธาตุอาหารในใบในห้องปฏิบัติการ ต้องอาศัยเครื่องมือที่มีราคาแพง ต้องใช้เวลานานในการเตรียมตัวอย่างและการวิเคราะห์ ต้องอาศัยผู้ที่มีความรู้และความชำนาญ และมีค่าใช้จ่ายสูง จึงไม่สามารถที่จะให้บริการวิเคราะห์ และให้คำแนะนำการใช้ปุ๋ยแก่เกษตรกรซึ่งมีจำนวนมากในช่วงเวลาใกล้เคียงกันได้ ในทางปฏิบัติจึงไม่ได้นำวิธีการนี้ไปใช้กับเกษตรกรโดยทั่วไป

เนื่องจากธาตุอาหารในพืชมีความสัมพันธ์กับการเจริญเติบโตและการให้ผลผลิต โดยธาตุอาหารในพืชจะทำหน้าที่เป็นองค์ประกอบของสารต่างๆ และบางส่วนที่ยังคงอยู่ในรูปของไอออนที่พืชดูดเข้าไป ในสภาพที่พืชดูดธาตุอาหารได้น้อย ไอออนต่างๆ ที่พืชดูดเข้าไปส่วนใหญ่ก็จะถูกนำไปใช้ในกระบวนการสังเคราะห์แสง และการสร้างสารประกอบอินทรีย์ต่างๆ ในพืช ทำให้ส่วนที่เป็นไอออนในเนื้อเยื่อพืชมีน้อย แต่ถ้าพืชดูดไอออนเข้าไปมาก ไอออนเหล่านั้นจะยังคงอยู่ในเนื้อเยื่อลำเลียงมาก การทดสอบธาตุอาหารพืชในส่วนนี้จึงเป็นค่าที่บ่งบอกสถานะธาตุอาหารในพืชได้ดี โดยเฉพาะพืชที่อวบน้ำ เช่น ข้าวโพด ซึ่งได้ใช้วิธีการทดสอบธาตุอาหารในเนื้อเยื่อ (tissue testing) เป็นแนวทางในการแนะนำการใช้ปุ๋ย (Jones, 1998)

ในการปลูกยางพารา ผลผลิตที่ต้องการ คือ น้ำยาง ซึ่งถูกสังเคราะห์จากซูโครสที่ได้จากการสังเคราะห์แสงที่ใบ ซูโครสที่ได้จะเคลื่อนย้ายจากคลอโรพลาสต์ (chloroplast) เข้าสู่ท่อลำเลียง และใช้เป็นสารตั้งต้นในการสร้างน้ำยางภายในท่อน้ำยางในเปลือกต้นยาง ในการเคลื่อนย้ายซูโครสนั้นต้องอาศัยพลังงาน และต้องใช้โพแทสเซียมและแมกนีเซียมเพื่อปลุกฤทธิ์เอนไซม์ ATPase (Marschner, 1995; ยงยุทธ , 2543) และในกระบวนการสร้างยางจากซูโครสจะต้องอาศัยพลังงานจากสารที่ให้พลังงานสูงและปลดปล่อยอนินทรีย์ฟอสฟอรัสออกมาในน้ำยาง (Rizhong, 2009) ดังนั้น การวิเคราะห์ธาตุอาหารในน้ำยางซึ่งเกี่ยวข้องโดยตรงกับการสร้างผลผลิต จึงอาจจะใช้เป็นตัวชี้วัดระดับของธาตุอาหารในยางพาราได้ และถ้าระดับธาตุอาหารในน้ำยางสะท้อนสถานะของธาตุอาหารในยางพาราได้ดี ในอนาคตก็อาจจะผลิตชุดทดสอบธาตุอาหารในน้ำยางเพื่อประเมินธาตุอาหารและสุขภาพต้นยาง และสามารถจะใช้เป็นข้อมูลในการแนะนำการใช้ปุ๋ยและการจัดการสวนยางให้เหมาะสม สอดคล้องกับสถานะของธาตุอาหารในยางพารา

จากการวิเคราะห์องค์ประกอบทางชีวเคมีในน้ำยาง พบว่า เมื่อต้นยางให้ผลผลิตสูงสุดจะมีอนินทรีย์ฟอสฟอรัสในน้ำยางสูงสุด แต่มีซูโครสต่ำสุด การใช้องค์ประกอบทางชีวเคมีร่วมกับการเจริญเติบโตและการให้ผลผลิต สามารถใช้ตรวจสอบความเหมาะสมของระบบกรีดได้ดี โดยประเมินได้ทั้งความสามารถในการสร้างน้ำยาง การตอบสนองต่อสารเร่งน้ำยาง และความอ่อนแอต่อการเกิดอาการเปลือกแห้ง (พเยาว์ และคณะ, 2546) ทั้งนี้มีรายงานว่า การใช้เอทิลีนกับต้นยางทำให้ปริมาณซูโครสลดลง แต่ปริมาณอนินทรีย์

ฟอสฟอรัสและไทออลสูงขึ้น (พิศมัย และคณะ, 2546ก) นอกจากนั้น เคยมีรายงานว่า การใส่ปุ๋ยทำให้กิจกรรมการสร้างน้ำยางที่เกิดในเซลล์ท่อน้ำยางสูงกว่าไม่ใส่ปุ๋ย โดยพบว่า ทำให้ฟอสฟอรัสและแมกนีเซียมเพิ่มขึ้น (ภัทราวุธ และคณะ, 2537 อ้างโดย นุชนารถ, 2550) นอกจากนั้น มีรายงานว่า เมื่อใส่ปุ๋ยไนโตรเจน ฟอสเฟต โพแทซ และแมกนีเซียม ทำให้ธาตุเหล่านี้ในน้ำยางเพิ่มขึ้น (สถาบันวิจัยยาง, 2547) ด้วยเหตุนี้การวิเคราะห์ธาตุอาหารในน้ำยาง จึงอาจจะเป็นตัวชี้วัดสถานะของธาตุอาหารในการให้ผลผลิตของยางพาราได้ ทั้งนี้จากการศึกษาองค์ประกอบทางชีวเคมีในน้ำยาง คือ ซูโครส ไทออล และอนินทรีย์ฟอสฟอรัส พบว่าไทออลและอนินทรีย์ฟอสฟอรัสมีความสัมพันธ์เชิงบวกกับผลผลิต (นภาวรรณ และคณะ, 2544) อย่างไรก็ตาม ยังไม่มีรายงานการศึกษาเกี่ยวกับการใช้ธาตุอาหารในน้ำยาง เพื่อประเมินสถานะธาตุอาหารสำหรับยางพารา

ดังนั้น จึงควรศึกษาวิธีการเก็บน้ำยาง การเตรียมตัวอย่าง ตลอดจนการเปลี่ยนแปลงของธาตุอาหาร เพื่อจะได้ทราบวิธีการและระยะเวลาที่เหมาะสมในการเก็บน้ำยางเพื่อวิเคราะห์ธาตุอาหารพืช ซึ่งจะเป็นประโยชน์ในการศึกษาระดับธาตุอาหารที่เหมาะสมในน้ำยาง ตลอดจนการผลิตชุดทดสอบอย่างง่าย และใช้เป็นเครื่องมือในการแนะนำการให้ปุ๋ยให้เหมาะสมกับแต่ละสวนได้

**วัตถุประสงค์หลักของแผนงานวิจัย**

1. เพื่อศึกษาวิธีการเก็บรักษาตัวอย่างน้ำยางสด และเซรัมน้ำยาง สำหรับวิเคราะห์แอมโมเนียม ไนเทรต ฟอสฟอรัส โพแทสเซียม แมกนีเซียม แคลเซียม ซูโครส และไทออล
2. เพื่อศึกษาเวลาที่เหมาะสมในการเก็บตัวอย่างน้ำยางสำหรับวิเคราะห์ แอมโมเนียม ไนเทรต ฟอสฟอรัส โพแทสเซียม แมกนีเซียม แคลเซียม ซูโครส และไทออล
3. เพื่อศึกษาผลการเจือจางน้ำยางต่อการเก็บรักษาน้ำยางสดและการวิเคราะห์ แอมโมเนียม ไนเทรต ฟอสฟอรัส โพแทสเซียม แมกนีเซียม แคลเซียม ซูโครส และไทออล
4. เพื่อศึกษาการเปลี่ยนแปลงของ แอมโมเนียม ไนเทรต ฟอสฟอรัส โพแทสเซียม แมกนีเซียม แคลเซียม ซูโครส และไทออล ในน้ำยางในรอบปี

# บทที่ 2

# ตรวจเอกสาร

น้ำยางสด (fresh or field latex) ที่ได้จากต้นยางพาราเป็นของเหลวสีขาวหรือสีครีมที่สร้างมาจากน้ำตาลซูโครสที่ได้จากกระบวนการสังเคราะห์แสง น้ำยางมีลักษณะเป็นสารแขวนลอย ประกอบด้วยส่วนของเนื้อยางแขวนลอยในของเหลว มีความหนาแน่น 0.975-0.980 กรัมต่อมิลลิลิตร มีค่าพีเอช 6.5-7.0 โดยธรรมชาติน้ำยางสดคงสภาพเป็นของเหลวได้ไม่เกิน 3 ชั่วโมง จากนั้นจะเริ่มจับตัวกัน เรียกว่า น้ำยางบูด เนื่องจากจุลินทรีย์จากอากาศเข้าไปปะปนทำให้เกิดเป็นกรด ในน้ำยางสดโดยทั่วไปมีปริมาณเนื้อยาง 25-45% (ปรีดิ์เปรม, 2553)

**องค์ประกอบของน้ำยาง**

น้ำยางเป็นส่วนของไซโตพลาสซึม (cytoplasm) ที่มีลักษณะพิเศษ ประกอบด้วยอนุภาคยาง (rubber particle) และไม่ใช่ยาง (non-rubber particle) แขวนลอยอยู่ในส่วนที่เป็นของเหลวที่เรียกว่า เซรัม (serum) ในน้ำยางสดนอกจากจะประกอบด้วยเนื้อยางและน้ำแล้ว ยังประกอบด้วย คาร์โบไฮเดรต โปรตีน ไขมัน และเกลืออนินทรีย์ (inorganic salt) เมื่อนำน้ำยางเข้าเครื่องเหวี่ยงความเร็วสูง ทำให้น้ำยางแยกเป็น 3 ชั้น คือ ชั้นแรกส่วนใหญ่เป็นอนุภาคยาง ชั้นที่สองเป็นของเหลวจากการเหวี่ยง เรียกว่า ซีเซรัม (C-serum หรือ centrifuge serum) และชั้นที่สามเป็นอนุภาคอื่นๆ ที่ไม่ใช่ยาง (พิศมัย, 2553ข)

ในน้ำยางประกอบด้วยอนุภาคหลัก 3 ชนิด คือ อนุภาคยาง ลูทอยด์ (lutoid) และเฟรวิสลิง (Frey-Wyssling) (Nair, 2000)

**อนุภาคยาง** เนื้อยางแห้งมีอยู่ประมาณร้อยละ 25-45% โดยน้ำหนักของน้ำยางสดทั้งหมด ส่วนใหญ่อนุภาคยางมีรูปร่างกลม มีขนาด 0.02-3 ไมโครเมตร (μm) ขนาดของอนุภาคยางจะเพิ่มขึ้นตามอายุยาง โดยมีขนาดอนุภาคเฉลี่ย 1 ไมโครเมตร (เสาวนีย์, 2541ก) ผนังเซลล์ของอนุภาคยางประกอบด้วยโปรตีนและฟอสโฟลิปิด และมีแมกนีเซียม โพแทสเซียม และทองแดงปะปนอยู่เล็กน้อย เมื่อเกิดการสูญเสียโปรตอนหรือการแตกตัวให้ไฮโดรเจนไอออนที่หมู่ฟังชันนัล (functional group) ของสารดังกล่าวก็ทำให้อนุภาคยางมีประจุลบ จึงทำให้แต่ละอนุภาคผลักกันและสามารถแขวนลอยอยู่ในน้ำยางได้

ส่วนของโปรตีนที่ห่อหุ้มอนุภาคยางมีประมาณร้อยละ 25 ของโปรตีนทั้งหมดในน้ำยาง ส่วนที่เหลือร้อยละ 50 อยู่ในชั้นน้ำ และอีกร้อยละ 25 อยู่ในส่วนของลูทอยด์ โปรตีนในน้ำยางส่วนใหญ่เป็นชนิดแอลฟากลูบูลิน (α-Glubulin) และฮีวิน (hevein) และโปรตีนบนผิวอนุภาคยางมีส่วนประกอบของกำมะถันอยู่ประมาณร้อยละ 5 ดังนั้น เมื่อน้ำยางสูญเสียสภาพ หรือเรียกว่าน้ำยางบูด โปรตีนส่วนนี้จะสลายตัวให้สารประกอบพวกไฮโดรเจนซัลไฟด์ และสารเมอร์แคปแทน (mercaptan) ทำให้มีกลิ่นเหม็น ส่วนของไขมัน

ซึ่งอยู่ระหว่างผิวอนุภาคยางและโปรตีน ส่วนใหญ่เป็นฟอสโฟไลปิดชนิดแอลฟาเลคซิทิน (α-lecitin) เชื่อว่าทำหน้าที่ยึดให้โปรตีนเกาะอยู่บนผิวอนุภาคยาง (เสาวนีย์, 2541ข)

**ลูทอยด์** เป็นส่วนที่ไม่ใช่ยาง มีอยู่ประมาณ 10 % โดยน้ำหนักของน้ำยางสด (เสาวนีย์, 2541ข) ลูทอยด์เป็นอนุภาคที่มีผนังห่อหุ้มชั้นเดียว มีประจุลบ มีรูปร่างกลมขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 0.5-3 ไมโครเมตร ห่อหุ้มด้วยเยื่อบางๆ ภายในมีของเหลวที่เรียกว่า บีเซรัม (B-serum) ซึ่งประกอบด้วยโปรตีนชนิดฮีวินเป็นส่วนใหญ่ และมีแคตไอออนหลายชนิดจึงมีประจุบวก ดังนั้น เมื่ออุณหภูมิสูงขึ้นลูทอยด์เสียสภาพจะปลดปล่อยแคตไอออนออกมา เช่น แคลเซียม และแมกนีเซียม และปะปนรวมในเซรัม มีผลทำให้อนุภาคยางมีประจุไฟฟ้าลบลดลง และไม่อยู่ในสภาพแขวนลอย แต่จะจับกันเป็นก้อน

**เฟรวิสลิง** เป็นสารไม่ใช่ยาง มีขนาดใหญ่กว่ายาง มีความหนาแน่นน้อยกว่า มีอยู่ประมาณ 2% โดยน้ำหนักของน้ำยางสด (เสาวนีย์, 2541ข) มีรูปร่างค่อนข้างกลม มีขนาดประมาณ 4-6 ไมโครเมตร ส่วนใหญ่ประกอบด้วยไขมัน มีสีเหลือง น้ำตาล หรือสีส้มของคาร์โรทีนอยด์ (carotenoid) อนุภาคนี้มีประจุลบ (พิศมัย, 2553ข)

ในส่วนที่เป็นของเหลวหรือ C-serum ประกอบด้วยสารต่างๆ ที่ละลายได้ ได้แก่ กรดอะมิโน โปรตีน คาร์โบไฮเดรต กรดอินทรีย์ และไอออนต่าง ๆ (d'Auzac and Jacob, 2000 )

กรดอะมิโน โดยส่วนใหญ่ประมาณร้อยละ 81 ของกรดอะมิโนทั้งหมดเป็นกรดกลูทามิค (glutamic acid) เอไมด์ (amide) อะลานีน (alanine) และกรดแอสพาทิค (aspartic acid) (d'Auzac and Jacob, 2000)

โปรตีน ในน้ำยางมีโปรตีนประมาณร้อยละ 1 โดยพบในส่วนของเซรัมประมาณร้อยละ 60 ของโปรตีนทั้งหมด และส่วนใหญ่เป็นชนิดแอลฟากลูบูลิน และทำหน้าที่เกี่ยวข้องกับกิจกรรมของเอนไซม์

คาร์โบไฮเดรต สารพวกแป้งและน้ำตาลมีอยู่ในน้ำยางประมาณร้อยละ 1 น้ำตาลส่วนใหญ่เป็นชนิดคิวบราชิทอล (quebrachitol; $C_7H_{14}O_6$) ซูโครส (sucrose; $C_{12}H_{22}O_{11}$) เป็นน้ำตาลโมเลกุลคู่ที่พบมาก ส่วนกลูโคส (glucose) ฟรุคโทส (fructose) และราฟีฟ์โนส (raffinose) พบเพียงเล็กน้อย

กรดอินทรีย์ ปริมาณกรดอินทรีย์ในน้ำยางประมาณร้อยละ 90 เป็นกรดมาลิค (malic acid) และกรดซิทริค (citric acid)

เกลืออนินทรีย์ ประกอบด้วยไอออนต่างๆ ที่พบมาก คือ โพแทสเซียม แมกนีเซียม ทองแดง เหล็ก โซเดียม แคลเซียม และฟอสฟอรัส ในน้ำยางสดพบว่า มีไนโตรเจน ฟอสฟอรัส โพแทสเซียม แคลเซียม และแมกนีเซียม ร้อยละ 0.26, 0.05, 0.17, 0.003 และ 0.05 โดยน้ำหนักสด

**การสร้างน้ำยางภายในต้นยาง**

การสร้างน้ำยางจากซูโครสที่ได้จากการสังเคราะห์แสงเกิดในท่อน้ำยาง (latex vessel or laticifer) ในส่วนท่ออาหาร (phloem) ที่อยู่ในบริเวณเปลือกชั้นในสุด (soft bark zone) ซึ่งอยู่ติดกับเยื่อเจริญหรือใกล้กับเนื้อไม้ เปลือกยางชั้นนี้จะอ่อนนุ่มและบาง คือ ประมาณ 20-30% ของความหนาเปลือกทั้งหมด (ปัทมา, 2539) การสร้างน้ำยางจึงขึ้นกับจำนวนและขนาดท่อน้ำยาง และปัจจัยทางสรีวิทยาและชีวเคมี (Nair, 2000)

เนื้อยางเป็นสารประกอบไฮโดรคาร์บอน มีโครงสร้างทางเคมีของหน่วยย่อย คือ ไฮโซพรีน (isoprene) ซึ่งประกอบด้วยคาร์บอน 5 อะตอม และไฮโดรเจน 8 อะตอม ($C_5H_8$) หน่วยย่อยดังกล่าวเมื่อเกิดการเชื่อมโยงกันได้เป็นโพลีไฮโซพรีน (polyisoprene) โครงสร้างที่ประกอบเป็นหนึ่งโมเลกุลของยางประกอบด้วยไอโซพรีนต่อกันแบบปลายต่อปลายประมาณ 500-5,000 หน่วย หรือมากกว่า โดยมีน้ำหนักโมเลกุลตั้งแต่หนึ่งล้านขึ้นไป (สถาบันวิจัยยาง, 2553) หน่วยไฮโซพรีนที่เชื่อมยึดกันเป็นโมเลกุลของยางมิได้เป็นสารต่อเนื่องเป็นเส้นตรง แต่ต่อกันมีลักษณะคล้ายขดลวด ได้สารโมเลกุลยางที่สมบูรณ์ซึ่งจะขดกันอยู่โดยที่แต่ละสายของโมเลกุลอยู่ใกล้กัน

การสร้างน้ำยาง เกิดจากน้ำตาลซูโครสที่ได้จากการสังเคราะห์แสงที่ใบ เคลื่อนย้ายเข้าสู่โฟลเอมและถูกดึงไปใช้สร้างน้ำยางในเซลล์ท่อน้ำยาง การสังเคราะห์แสงเกิดขึ้นที่คลอโรพลาสต์ (chloroplast) ในชั้นมีโซฟิลล์ (mesophyll) ของใบยางพารา ดังนั้น ซูโครสจะเคลื่อนที่ผ่านเยื่อหุ้มคลอโรพลาสต์ ออกจากเซลล์มีโซฟิลล์แล้วเข้าสู่โฟลเอ็มทั้งแบบซิมพลาสต์ (symplast) และอโพพลาสต์ (appoplast) แต่ขั้นตอนการเคลื่อนที่เข้าสู่เซลล์หลอดตะแกรง (sieve cell) จะต้องใช้วิธีซิมพลาสต์เพราะในโฟลเอ็มมีความเข้มข้นของซูโครสสูงกว่า กลไกการรับซูโครสเข้าสู่โฟลเอ็มใช้พาหะที่ยอมให้ซูโครสร่วมไปกับโปรตอน (cotransport) โดยเกิดจากเอนไซม์ ATPase ในเยื่อหุ้มเซลล์หลอดตะแกรงเป็นตัวขับโปรตอน (proton pump) ออกนอกเซลล์ ทำให้โปรตอนภายนอกเซลล์ดังกล่าวมีมาก เกิดความแตกต่างของพีเอชและความต่างศักย์ไฟฟ้า เพื่อลดความแตกต่างระดับโปรตอนทำให้โปรตอนภายนอกเซลล์เคลื่อนย้ายกลับสู่เซลล์หลอดตะแกรงโดยมีซูโครสร่วมเข้าไปด้วย

การสร้างอนุภาคยางในต้นยางพาราเป็นกระบวนการชีวสังเคราะห์ (biosynthesis) (พิศมัย, 2553ข; Jacob and Prevot, 1992; Nair, 2000) สามารถแบ่งได้เป็น 3 ขั้นตอน คือ

**การสร้างอะซีทิลโคเอ (acetyl-CoA)** น้ำตาลซูโครสจะเกิดกระบวนการไกลโคไลซีส (glycolysis) จนได้เป็นไพรูเวท (pyruvate) ซึ่งจะเปลี่ยนเป็นอะซีทิลโคเอ ในขั้นตอนนี้ต้องใช้พลังงานจากอะดีโนซีนไทรฟอสเฟต (adenosine triphosphate : ATP) และรีดิวส์นิโคทินาไมด์อะดีนีนไดนิวคลีโอไทด์ฟอสเฟต (reduced nicotinamide adenine dinucleotide phosphate : NADPH)

**การสร้างไอโซเพนทีนิลไพโรฟอสเฟต (isopentenly pyrophosphate : IPP)** เป็นการเปลี่ยนอะซีทิลโคเอเป็น IPP โดยเกิดจากอะซีทิลโคเอจำนวน 2 โมเลกุลรวมตัวกันได้อะซีโทอะซีทิลโคเอ (acetoacetly-CoA) แล้วรวมตัวกับอะซีทิลโคเออีก 1 โมเลกุล ได้เป็นเบทาไฮดรอกซิลเบทาเมธิลกลูทาริลโคเอ (ß-hydroxyl-ß-methylglutaryl-CoA : HMG-CoA) และเปลี่ยนเป็นกรดเมวาโลนิก (mevalonic acid : MVA) โดยอาศัย NADPH ซึ่ง MVA จะเปลี่ยนแปลงต่อไปเป็น IPP โดยอาศัย ATP

**การสร้างเนื้อยาง** เป็นกระบวนการรวมกันของ IPP ซึ่งเป็นสารโมเลกุลเล็ก (monomer) เพื่อเกิดเป็นสารที่มีโมเลกุลใหญ่ (polymer) เรียกกระบวนการนี้ว่า โพลีเมอไรเซชัน (polymerization) โดยเริ่มจากการที่ IPP เกิดการเปลี่ยนแปลงโครงสร้าง (isomerization) ทำให้ได้ไดเมธิลอัลลิลไพโรฟอสเฟต (dimethylallyl pyrophosphate : DMPP) แล้ว IPP และ DMPP เกิดการเชื่อมต่อกันได้จีรานิลไพโรฟอสเฟต (geranyl

pyrophosphate) ซึ่งมีคาร์บอน 10 อะตอม ในกระบวนการนี้จะปลดปล่อยไพโรฟอสเฟต (pyrophosphate) ออกมาด้วย จากนั้นจีรานิลไพโรฟอสเฟตก็รวมตัวกับ IPP ทำให้เกิดเป็นสายยาว ได้เป็นเนื้อยางซึ่งเป็นโมเลกุลขนาดใหญ่

**องค์ประกอบทางชีวเคมีในน้ำยาง**

ปริมาณน้ำยางที่ได้จากต้นยางพาราขึ้นอยู่กับการไหลของน้ำยางหลังจากกรีดยาง และการสร้างน้ำยางขึ้นมาทดแทน โดยที่กระบวนการสร้างน้ำยางเป็นกิจกรรมทางชีวเคมี ที่ทำให้เกิดการใช้และการสะสมของสารต่างๆ ที่สำคัญในน้ำยาง ได้มีการรวบรวมผลการศึกษาถึงองค์ประกอบทางเคมีของน้ำยางและสรุปว่า สามารถใช้ค่าวิเคราะห์องค์ประกอบทางชีวเคมีในน้ำยางเพื่อประเมินศักยภาพในการให้ผลผลิตของยางแม้ว่าอายุยางและสภาพแวดล้อมจะแตกต่างกัน ในต้นยางที่มีกิจกรรมทางชีวเคมีในการสร้างน้ำยางได้ดีมักจะพบอนินทรีย์ฟอสฟอรัส ไทออล และพีเอชสูง (Nair, 2000) สำหรับในประเทศไทยก็ได้ศึกษาการใช้เทคนิคทางชีวเคมีเพื่อระบุสมบัติพันธุ์ยาง (พเยาว์ และคณะ, 2546) และมีการศึกษาใช้องค์ประกอบทางชีวเคมีของน้ำยาง ในการตรวจสอบความสมบูรณ์ของต้นยางสำหรับระบบกรีดที่เหมาะสม ตลอดจนการกรีดยางร่วมกับการใช้แก๊สเอธิลีนต่อองค์ประกอบทางชีวเคมีที่สำคัญ (พิศมัย และคณะ, 2546ก) ดังนั้น การตรวจวิเคราะห์องค์ประกอบต่างๆ ในน้ำยาง (latex diagnosis) จึงเป็นข้อมูลที่สำคัญที่จะประเมินศักยภาพในการให้ผลผลิตของยางพารา ตลอดจนการจัดการและการบำรุงรักษาต้นยาง

**ปริมาณของแข็งทั้งหมด** ส่วนที่เป็นของแข็งทั้งหมด (total solid content: TSC) ในน้ำยางประกอบด้วยส่วนของเนื้อยาง (dry rubber content: DRC) มากกว่าร้อยละ 90 (Nair, 2000) ในการสร้างน้ำยางถ้ามีค่า TSC สูง แสดงว่าการสังเคราะห์ยางเกิดได้ดี ในทางตรงกันข้ามถ้ามีค่าต่ำแสดงว่าการสร้างน้ำยางเกิดได้ไม่ดี ทำให้ผลผลิตต่ำ อย่างไรก็ตาม ถ้าค่า TSC สูงแสดงว่าน้ำยางมีความหนืดสูงก็จะทำให้ผลผลิตต่ำได้เพราะน้ำยางจะไหลช้า เกิดการอุดตันที่ปลายท่อน้ำยางได้ง่าย

**ซูโครส** น้ำตาลซูโครสได้จากการสังเคราะห์แสงและเป็นสารตั้งต้นในการสร้างน้ำยาง ปริมาณซูโครสในน้ำยางจึงแสดงถึงกิจกรรมการสังเคราะห์ซูโครสและการนำซูโครสไปใช้สร้างน้ำยาง ถ้าพบซูโครสในน้ำยางมากแสดงว่า มีการสังเคราะห์และนำซูโครสสู่ท่อน้ำยางได้ดี นั่นคือต้นยางมีศักยภาพในการสร้างน้ำยางได้ดี ดังนั้น ซูโครสจึงมีความสัมพันธ์ทางบวกกับผลผลิต จากข้อมูลนี้สามารถนำไปใช้ในการปรับปรุงระบบการกรีด เช่น การกรีดร่วมกับการใช้แก๊สเอธิลีนเพื่อเพิ่มผลผลิตได้ แต่การพบซูโครสในน้ำยางมากอาจจะเกิดจากซูโครสเปลี่ยนเป็นเนื้อยางได้น้อยซึ่งสะท้อนถึงกิจกรรมเมแทบอลิซึม (metabolic activity) ในน้ำยางต่ำ ในกรณีนี้ปริมาณซูโครสมีความสัมพันธ์เชิงลบกับผลผลิต โดยจะพบอนินทรีย์ฟอสฟอรัสต่ำด้วย และถ้าซูโครสเปลี่ยนเป็นเนื้อยางได้ดีก็จะเหลือในน้ำยางน้อยเช่นกัน แต่กรณีนี้จะพบอนินทรีย์ฟอสฟอรัสสูง โดยมีรายงานว่าเมื่อกรีดยางร่วมกับการใช้แก๊สเอธิลีนทำให้มีซูโครสในน้ำยางต่ำ (สถาบันวิจัยยาง, 2553)

**อนินทรีย์ฟอสฟอรัส** ในกระบวนการสร้างเนื้อยางต้องอาศัยพลังงาน ATP และทำให้มีการปลดปล่อยอนินทรีย์ฟอสฟอรัส (inorganic P: Pi) ออกมา ดังนั้น ถ้ามีการสร้างน้ำยางได้ดีจะพบอนินทรีย์ฟอสฟอรัสในน้ำยางมาก อนินทรีย์ฟอสฟอรัสจึงมีความสัมพันธ์โดยตรงกับผลผลิตยาง

**แมกนีเซียม** แมกนีเซียมเป็นตัวส่งเสริม (activator) และยับยั้ง (inhibitor) เอนไซม์หลายชนิดที่เกี่ยวข้องกับการสร้างน้ำยาง นอกจากนั้น แมกนีเซียมยังเกี่ยวข้องกับเสถียรภาพของลูทอยด์ โดยที่หากลูทอยด์มีเสถียรภาพต่ำจะทำให้ลูทอยด์แตกและมีการปลดปล่อยแมกนีเซียมออกมา มีผลทำให้เนื้อยางจับตัวเป็นก้อน เกิดการอุดตันท่อน้ำยาง เวลาการไหลน้ำยางน้อย ทำให้ผลผลิตต่ำ น้ำยางที่มีเสถียรภาพสูงจะมีแมกนีเซียมต่ำ แต่อนินทรีย์ฟอสฟอรัสและไทออลสูง (Nair, 2000) โดยที่สัดส่วนที่เหมาะสมของแมกนีเซียมต่อฟอสฟอรัสในน้ำยาง คือ 0.7-1.3 (Karthikakuttyamma *el al.*, 2000) ดังนั้น แมกนีเซียมจึงมีผลค่อนข้างซับซ้อนต่อการให้ผลผลิตยางพารา

**ไทออล (thiol)** เป็นสารที่มีบทบาทสำคัญต่อเซลล์ท่อที่พบในน้ำยาง ส่วนใหญ่เป็นกลูทาไธโอน (glutathione) ทำหน้าที่กระตุ้นการทำงานของเอนไซม์หลักๆ เช่น อินเวอร์เทส (invertase) ซึ่งจะย่อยน้ำตาลซูโครส ให้เป็นน้ำตาลกลูโคสกับฟรุกโทส และไพรูเวตไคเนส (pyruvate kinase) ซึ่งทำหน้าที่ในปฏิกิริยาการเคลื่อนย้ายหมู่ฟอสเฟตจากฟอสโฟอีนอลไพรูเวต (phosphoenolpyruvate : PEP) ทำให้ได้ไพรูเวต (pyruvate) และอะดีโนซีนไทรฟอสเฟตในกระบวนการสร้างน้ำยาง นอกจากนั้น ไทออลยังทำหน้าที่ให้อนุภาคลูทอยด์มีเสถียรภาพ ทำให้น้ำยางอุดตันช้าลง โดยไทออลจะป้องกันออกซิเจนที่เป็นพิษ (toxic oxygen) เช่น ไฮโดรเจนเพอร์ออกไซด์ ($H_2O_2$) ไฮดรอกไซม์ไอออน ($OH^-$) และซูเพอร์ออกไซด์ ($O_2^{\bullet}$) ที่เกิดจากความเครียดเนื่องจากการกรีดยาง ออกซิเจนที่เป็นพิษเหล่านี้จะทำลายเนื้อเยื่อในเซลล์ท่อน้ำยาง แต่ไทออลจะรวมกับสารพิษดังกล่าว แต่หากเนื้อเยื่อลูทอยด์ถูกทำลาย ทำให้แคตไอออนภายในลูทอยด์ออกมารวมตัวกับเนื้อยาง ส่งผลให้ประจุไฟฟ้าลบของเนื้อยางลดลง เนื้อยางจึงตกตะกอนทำให้ท่อน้ำยางอุดตัน น้ำยางหยุดไหลเร็วขึ้น

มีรายงานว่าเซลล์ท่อน้ำยางที่ได้รับแก๊สเอธิลีนทำให้ปริมาณไทออลลดลง เซลล์ถูกทำลายจนไม่สามารถจะสร้างน้ำยางได้ต่อไป และระบบกรีดที่ใช้แก๊สเอธิลีนมากเกินไป ทำให้ต้นยางเกิดความเครียด เมื่อกรีดก็มีน้ำยางเพียงเล็กน้อยหรือไม่มีเลย เรียกอาการนี้ว่า อาการเปลือกแห้ง (bark dryness) อาการดังกล่าวถ้าเกิดบริเวณหน้ายางเรียกว่า หน้าแห้ง (tapping panel dryness) ถ้าเกิดกับต้นยางที่ยังไม่เปิดกรีดเรียกว่า ต้นแห้ง (dry tree) แต่ถ้าสังเกตพบว่าบริเวณหน้ายางที่เปิดกรีดมีสีน้ำตาลก็เรียกว่า เปลือกไหม้ (brown bast หรือ bark necrosis) (พิศมัย, 2553ข)

อาการเปลือกแห้งเป็นอาการผิดปกติด้านสรีรวิทยา ยังไม่ทราบสาเหตุที่แท้จริง แต่จากการศึกษาเนื้อเยื่อของต้นยางที่มีอาการเปลือกแห้งพบว่า มีการอุดตันของท่อน้ำยางโดยเซลล์ไทโลส (tylose) ซึ่งมีผนังเซลล์หนาเนื่องจากการสะสมลิกนิน (lignin) การอุดตันกระจายไปตามท่อน้ำยางโดยลุกลามลงด้านล่างของรอยกรีด แต่ไม่ลุกลามขึ้นข้างบนเนื่องจากท่อน้ำยางถูกตัดด้วยรอยกรีด (พิศมัย, 2553ข)

**การตรวจวิเคราะห์น้ำยางและค่าอ้างอิง**

การวิเคราะห์องค์ประกอบทางชีวเคมีในน้ำยาง ทำให้ทราบถึงกิจกรรมการสร้างน้ำยาง และสุขภาพของต้นยาง ข้อมูลที่ได้จะเป็นประโยชน์ในการจัดการระบบกรีดและธาตุอาหาร

ในการตรวจวิเคราะห์น้ำยาง หรือเรียกว่า Latex Diagnosis (LD) เป็นการวิเคราะห์ถึงองค์ประกอบสำคัญ ที่เกี่ยวข้องกับกระบวนการทางชีวเคมีในการสร้างน้ำยาง โดยวิเคราะห์องค์ประกอบต่างๆ ในส่วนของเหลวที่เรียกว่า ซีเซรัม ดังนั้น ในการวิเคราะห์จึงต้องตกตะกอนเพื่อแยกเนื้อยางออกไป และนำไปกรองเพื่อนำของเหลวที่กรองได้ไปวิเคราะห์องค์ประกอบต่างๆ ตามวิธีการทางเคมี

ช่วงเวลาที่เหมาะสมสำหรับการเก็บตัวอย่างน้ำยางเพื่อวิเคราะห์องค์ประกอบทางชีวเคมีสำหรับกำหนดค่ามาตรฐาน คือ ช่วงเดือนกันยายนถึงเดือนตุลาคม ซึ่งเป็นช่วงที่ยางให้ผลผลิตสูงสุด ค่าอนินทรีย์ฟอสฟอรัสสูง ซูโครสต่ำ สามารถใช้อธิบายกระบวนการเมแทบอลิซึมของน้ำยางได้ โดยพันธุ์ยางแต่ละพันธุ์มีค่าที่เหมาะสมของแต่ละพารามิเตอร์ต่างกัน และสามารถนำค่าอ้างอิงการวิเคราะห์น้ำยาง ตรวจสอบสภาพต้นยางและการกรีดยางของเกษตรกรได้ ค่าองค์ประกอบทางชีวเคมีค่อนข้างเกี่ยวข้องอย่างใกล้ชิดกับพันธุกรรม สภาพแวดล้อมต่างกันไม่มีผลต่อการแสดงออกของกระบวนการเมแทโบลิซึมและความสามารถในการเคลื่อนย้ายน้ำตาลของพันธุ์ยาง (พิศมัย และคณะ, 2546ข)

ค่าองค์ประกอบทางชีวเคมีของน้ำยางสามารถใช้ในการพิจารณาให้คำแนะนำเกี่ยวกับการใช้เอธิลีนกับต้นยาง โดยพันธุ์ยางที่มีน้ำตาลซูโครสสูง ค่าอนินทรีย์ฟอสฟอรัสต่ำ และค่าไทออลต่ำถึงปานกลาง มีการตอบสนองต่อเอธิลีนได้ดี สามารถใช้เอธิลีนกระตุ้นการสร้างน้ำยางได้ เช่นพันธุ์ GT 1 และ KRS 21 (พิศมัย และคณะ, 2546ก)

จากการศึกษาองค์ประกอบทางชีวเคมีของยางแต่ละพันธุ์ ได้กำหนดช่วงค่าที่เหมาะสมจากค่าเฉลี่ย (average) และค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน (standard deviation) ถ้ามีค่าต่ำกว่าค่าเฉลี่ยลบด้วยค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานจัดว่าต่ำ แต่ถ้ามีค่ามากกว่าค่าเฉลี่ยบวกค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานจะจัดว่าสูง ทำให้สามารถกำหนดค่าอ้างอิงหรือช่วงที่เหมาะสมขององค์ประกอบทางเคมีในน้ำยางแต่ละพารามิเตอร์ได้ (ตารางที่ 2.1)

ตารางที่ 2.1 ค่าที่เหมาะสมขององค์ประกอบทางชีวเคมีของยางพันธุ์ต่าง ๆ (พิศมัย, 2553)

| พันธุ์ | ของแข็งทั้งหมด (%) | ซูโครส (mM) | อนินทรีย์ฟอสฟอรัส (mM) | ไทออล (mM) |
|---|---|---|---|---|
| PB 235 | 40.5-47.0 | 3.6-5.9 | 19.0-31.8 | 0.19-0.39 |
| RRIM 600 | 41.5-45.4 | 2.8-7.9 | 14.5-24.4 | 0.19-0.52 |
| GT 1 | 39.6-48.8 | 4.4-9.5 | 9.0-19.3 | 0.20-0.41 |

สารประกอบทางชีวเคมีในน้ำยางเกี่ยวข้องอย่างใกล้ชิดกับพันธุกรรม ในยางพันธุ์เดียวกันมีค่าใกล้เคียงกันแม้ว่าสภาพแวดล้อมจะต่างกัน การปลูกในเขตแห้งแล้งและเขตปลูกยางเดิมก็ให้ค่าใกล้เคียงกัน

ในยางพันธุ์ PB 235 มีค่าไทออลต่ำมักจะอ่อนแอต่อลักษณะอาการเปลือกแห้ง ส่วนพันธุ์ที่มีน้ำตาลสูง เช่น GT 1 ก็สามารถจะเพิ่มผลผลิตโดยใช้แก๊สเอทิลีน

**ธาตุอาหารยางพารา**

ธาตุอาหารเป็นปัจจัยที่สำคัญต่อการเจริญเติบโตและการพัฒนาตลอดจนการให้ผลผลิตของพืช ในปัจจุบันพบว่า ธาตุอาหารที่จำเป็นต่อพืชมี 17 ธาตุ คือ คาร์บอน (C) ไฮโดรเจน (H) ออกซิเจน (O) ไนโตรเจน (N) ฟอสฟอรัส (P) โพแทสเซียม (K) แคลเซียม (Ca) แมกนีเซียม (Mg) กำมะถัน (S) เหล็ก (Fe) แมงกานีส (Mn) สังกะสี (Zn) ทองแดง (Cu) โบรอน (B) คลอรีน (Cl) โมลิบดินัม (Mo) และนิกเกิล (Ni)

พืชสามารถใช้สารประกอบง่ายๆ เป็นแหล่งธาตุอาหาร ได้แก่ คาร์บอนไดออกไซด์ ($CO_2$) น้ำ ($H_2O$) ธาตุอื่นๆ จากดิน และพลังงานจากแสงแดด เพื่อสร้างอาหารโดยกระบวนการสังเคราะห์แสง (photosynthesis) ทำให้ได้น้ำตาลซูโครสซึ่งจะเปลี่ยนแปลงต่อไปเป็นสารประกอบต่างๆ ในพืช เช่น คาร์โบไฮเดรต โปรตีน ไขมัน วิตามิน รวมทั้งน้ำยาง โดยพืชแต่ละชนิดก็จะมีการสร้างและสะสมสารประกอบหลักๆ ที่แตกต่างกัน

ยางพาราต้องการธาตุต่างๆ เหล่านี้ครบทุกธาตุเช่นเดียวกับพืชชั้นสูงทั่วไป ธาตุอาหารทุกธาตุมีความสำคัญและจำเป็นต่อการเจริญเติบโตและการให้ผลผลิตของพืชแม้ว่าปริมาณที่พืชต้องการจะแตกต่างกันมาก ธาตุแต่ละธาตุมีหน้าที่ที่เฉพาะเจาะจง ดังนั้น พืชต้องได้รับธาตุอาหารในปริมาณที่เพียงพอครบทุกธาตุ จึงทำให้พืชเจริญเติบโตได้ดีและให้ผลผลิตสูง ธาตุอาหารในสวนยางจะสูญเสียไปกับผลผลิตน้ำยาง มีรายงานว่า ในน้ำยาง 1 ตัน จะสูญเสียไนโตรเจน 20 กิโลกรัม ฟอสฟอรัส 5 กิโลกรัม โพแทสเซียม 25 กิโลกรัม และแมกนีเซียม 5 กิโลกรัม (สถาบันวิจัยยาง, 2550) และในปัจจุบันยังสูญเสียไปกับไม้ยางหลังจากโค่นยางอีกด้วย

จากการศึกษาปริมาณธาตุอาหารหลักในต้นยางพาราพันธุ์ RRIM 600 (สุนทรี และจินตฌา, 2549) พบว่า ปริมาณธาตุไนโตรเจน ฟอสฟอรัส โพแทสเซียม แคลเซียม และแมกนีเซียม ในต้นยางรวมกันคิดเป็นร้อยละ 1.56 ของมวลแห้ง และแคลเซียมเป็นธาตุที่มีปริมาณสูงสุดคิดเป็น 1/3 ของธาตุทั้ง 5 ชนิด เมื่อประเมินธาตุอาหารดังกล่าวที่ต้นยางพาราต้องใช้เพื่อการเจริญเติบโตและสร้างผลผลิตเฉลี่ยในช่วงอายุ 8-25 ปี พบว่า ต้องใช้ ไนโตรเจน ฟอสฟอรัส โพแทสเซียม แคลเซียม และแมกนีเซียม เท่ากับ 142, 16, 95, 120 และ 28 กรัมต่อต้นต่อปี อย่างไรก็ตาม การเพิ่มธาตุอาหารหรือการใส่ปุ๋ยกับยางพาราส่วนใหญ่จะเป็นปุ๋ยผสมที่มีเฉพาะธาตุอาหารหลัก คือ ไนโตรเจน ฟอสฟอรัส และโพแทสเซียม เท่านั้น กล่าวคือ ในยางก่อนเปิดกรีดใช้ปุ๋ยสูตร 20-8-20 กับพื้นที่ปลูกยางเดิมในภาคใต้และภาคตะวันออก แต่ในพื้นที่ปลูกยางใหม่ในภาคตะวันออกเฉียงเหนือใช้สูตร 20-10-12 กับดินร่วนเหนียว และสูตร 20-10-17 กับดินร่วนทราย โดยอัตราที่ใช้จะเพิ่มขึ้นตามอายุต้นยาง สำหรับในยางที่เปิดกรีดแล้วใช้ปุ๋ยสูตร 29-5-18 ต้นละ 1 กิโลกรัมต่อปี (นุชนารถ, 2554) สำหรับหน้าที่และบทบาทของธาตุอาหารพืชกับยางพารามีดังนี้

**คาร์บอน ไฮโดรเจน และออกซิเจน** ธาตุทั้งสามนี้เป็นองค์ประกอบหลักของสารอินทรีย์ทุกชนิดในพืช ดังนั้น จึงพบธาตุทั้งสามชนิดนี้รวมกันมากถึงร้อยละ 94 ของธาตุทั้งหมดในพืช ส่วนที่เหลืออีกร้อยละ 6 เป็นธาตุอื่นๆ (Karthikakuttyamma *et al.*, 2000) ในน้ำยางซึ่งเป็นผลผลิตที่ต้องการจากยางพารามีเนื้อยางอยู่ประมาณร้อยละ 25-45 โดยที่องค์ประกอบหลักของเนื้อยางเป็นสารประกอบไฮโดรคาร์บอน ที่ประกอบจากหน่วยย่อยของไฮโซพรีน (isoprene: $C_5H_8$) อย่างไรก็ตาม พืชได้รับธาตุคาร์บอน ไฮโดรเจน และออกซิเจนจากน้ำและอากาศ จึงไม่ได้เป็นปัจจัยที่จำกัดการเจริญเติบโตและการให้ผลผลิตยางพารา

**ไนโตรเจน** ไนโตรเจนเป็นองค์ประกอบของคลอโรฟิลล์ (chlorophyll) ทำให้พืชมีใบสีเขียว สามารถสังเคราะห์แสงได้ดี นอกจากนั้น ไนโตรเจนยังเป็นองค์ประกอบของกรดอะมิโนซึ่งประกอบกันเป็นโปรตีนชนิดต่างๆ ที่ทำหน้าที่เป็นเอนไซม์ (enzyme) และโคเอนไซม์ (coenzyme) เพื่อเร่งปฏิกิริยาต่างๆ รวมทั้งกระบวนการสร้างน้ำยางที่เกิดขึ้นในพืช ในน้ำยางสดจะมีโปรตีนทั้งหมดประมาณร้อยละ 1 และประมาณร้อยละ 20 ของทั้งหมดจะถูกดูดซับที่อนุภาคยาง โดยส่วนใหญ่เป็นเอนไซม์ไอโซเพนทีนิลไพโรฟอสเฟตโพลีเมอเรส (isopentenyl pyrophosphate polymerase) และรับเบอร์ทรานส์เฟอเรส (rubber transferase) ซึ่งเกี่ยวข้องกับการสร้างอนุภาคยาง ส่วนในของเหลวที่เรียกว่า c-serum จะพบกรดอะมิโนชนิดต่างๆ และแอลฟากลูบูลิน (α-globulin) (Nair, 2000)

ไนโตรเจนเป็นธาตุที่มีความสำคัญต่อการเจริญเติบโตและผลผลิตยาง ในยางพาราก่อนเปิดกรีดทำให้ต้นยางเจริญเติบโตดี ส่วนในยางพาราหลังเปิดกรีดมีความต้องการไนโตรเจนสูง โดยมีรายงานว่า การใส่ปุ๋ยไนโตรเจนระดับสูงทำให้ผลผลิตยางสูงกว่าการใส่ปุ๋ยไนโตรเจนระดับต่ำ (นุชนารถ, 2542)

ไนโตรเจนในดินไม่ได้เกิดจากการผุพังของแร่เหมือนกับธาตุชนิดอื่นๆ แต่ได้จากการตรึงไนโตรเจนของจุลินทรีย์ดินบางชนิด และจากย่อยสลายของอินทรียวัตถุในดิน อย่างไรก็ตาม ดินในประเทศไทยซึ่งอยู่ในเขตร้อนมีปริมาณอินทรียวัตถุต่ำเนื่องจากการผุพังสลายตัวของอินทรียวัตถุสูง การปลูกพืชคลุมดินซึ่งเป็นพืชตระกูลถั่ว ได้แก่ คาโลโปโกเนียม (*Calopogonium mucunoides*) เพอราเรีย (*Pueraria phaseoloides*) เซ็นโตรซีมา (*Centrosema pubescens*) และซีลูเนียม (*Calopogonium caeruleum*) ในระหว่างแถวยางในช่วงยางอ่อนจะมีจุลินทรีย์ที่อยู่ร่วมกับรากพืชตระกูลถั่วช่วยตรึงไนโตรเจนให้พืชดูดไปใช้และสะสมอยู่ในพืชคลุมดิน เมื่อพืชคลุมดินถูกย่อยสลายก็ปลดปล่อยไนโตรเจนให้ยางพาราดูดไปใช้ได้ และการปลูกยางโดยทั่วไปก็ใส่ปุ๋ยไนโตรเจน ดังนั้น จึงไม่ค่อยพบอาการขาดไนโตรเจน ยกเว้นในสวนที่มีการดูแลไม่ดี ไม่ใส่ปุ๋ยและมีหญ้าคาแก่งแย่งการดูดธาตุอาหาร (Shorrocks, 1964)

เมื่อต้นยางได้รับไนโตรเจนเพียงพอจะเจริญเติบโตสมบูรณ์ดี การขาดไนโตรเจนมักพบในสวนยางที่เป็นดินทราย โดยถ้าขาดไนโตรเจนพืชจะมีอาการใบล่างเหลือง มีขนาดเล็กกว่าปกติ จำนวนใบน้อย เจริญเติบโตช้า ขนาดลำต้นเล็ก และทำให้แคระแกร็น ถ้าขาดรุนแรงทำให้ใบเปลี่ยนเป็นสีน้ำตาลและร่วง สีผิวของเปลือกกร้านและแข็งกว่าต้นปกติทำให้กรีดยาก (นุชนารถ, 2550) ผลผลิตยางลดลง

ในต้นยางที่ยังไม่แตกกิ่งจะเริ่มเกิดอาการใบเหลืองทั้งใบที่ใบแก่ของฉัตรล่าง (lower storey) และถ้าขาดรุนแรงก็แสดงอาการที่ฉัตรบนด้วย ในต้นยางที่โตแล้วการเจริญเติบโตจะถูกยับยั้งทำให้ส่วนยอด (crown) มีขนาดเล็ก และส่วนใหญ่จะเห็นได้ชัดกับใบที่โดนแสงแดด (Karthikakuttyamma *et al.*, 2000)

**ฟอสฟอรัส** ฟอสฟอรัสเป็นองค์ประกอบที่สำคัญของสารที่ให้พลังงาน (adenosine triphosphate: ATP) ซึ่งจำเป็นต่อกระบวนการต่างๆ ในพืช ดังนั้น ฟอสฟอรัสจึงจำเป็นต่อการเจริญเติบโต การแบ่งเซลล์ การเจริญเติบโตของราก การพัฒนาของเมล็ดและผล รวมทั้งการสร้างน้ำยางในยางพารา ในพืชทั่วไป เมื่อได้รับฟอสฟอรัสไม่เพียงพอทำให้การพัฒนาของราก การเจริญเติบโตช้า ผลจะสุกช้า

ในกระบวนการสร้างน้ำยางจากซูโครส ต้องใช้พลังงาน ATP เพื่อนำซูโครสที่ได้จากการสังเคราะห์แสงที่ไปเข้าสู่เซลล์ท่อน้ำยาง (latex vessel หรือ lacticifer) และในกระบวนการเปลี่ยนกรดเมวาโลนิก (mevalonic acid) จนได้เป็นไอโซเพนทีนิลไพโรฟอสเฟต (isopentenyl pyrophosphate : IPP) ก็ต้องใช้ ATP จากนั้น IPP ก็จะเปลี่ยนแปลงต่อไปเป็นโมเลกุลของไฮโซพรีนและเชื่อมต่อกันจนได้เป็นเนื้อยาง ดังนั้น ปริมาณอนินทรีย์ฟอสฟอรัสในน้ำยางจึงมีความสัมพันธ์โดยตรงกับกระบวนการสร้างเนื้อยาง ในพันธุ์ยางที่ให้ผลผลิตสูงจะมีฟอสฟอรัสในน้ำยางสูงกว่าพันธุ์ที่ให้ผลผลิตต่ำ (พิศมัย, 2553ข)

ฟอสฟอรัสในดินมีทั้งรูปที่เป็นสารประกอบอินทรีย์และอนินนินทรีย์ อินทรีย์ฟอสฟอรัสในดินมีร้อยละ 20-80 ของฟอสฟอรัสทั้งหมด (Brady and Weil, 2008) ในดินเขตร้อนอาจพบอินทรีย์ฟอสฟอรัสมากถึงร้อยละ 30-80 โดยฟอสฟอรัสในรูปนี้จะถูกย่อยละลาย (solibilization)โดยเอนไซม์แอซิดฟอสฟาเทส (acid phosphatase) ที่ปลดปล่อยจากจุลินทรีย์ดินหรือรากพืชทำให้ได้ฟอสฟอรัสรูปที่พืชดูดไปใช้ได้ ส่วนอนินทรีย์ฟอสฟอรัสส่วนใหญ่ได้จากจากการผุพังของแร่อพะไทต์ (apatite) ซึ่งเป็นสารประกอบแคลเซียมฟอสเฟตและพบมากในดินที่มีสภาพเป็นด่าง แต่ในดินที่ผ่านการผุพังสลายตัวสูงซึ่งมีสภาพเป็นกรด ทำให้อะลูมินัมและเหล็กละลายออกมามาก ฟอสฟอรัสในดินเขตร้อนส่วนใหญ่จึงอยู่ในรูปของสารประกอบเหล็กและอะลูมินัมฟอสเฟตซึ่งละลายได้ยาก ทำให้ดินมีฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์ต่ำ มีรายงานว่า ต้นยางพาราจะตอบสนองต่อการใส่ปุ๋ยฟอสเฟตเมื่อในดินมีฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์ที่สกัดด้วยน้ำยาเบรย์ทู (Bray no. 2) ต่ำกว่า 10 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม (นุชนารถ, 2547) อย่างไรก็ตาม พืชเขตร้อนหลายชนิดรวมทั้งยางพาราสามารถเจริญเติบโตได้ดีแม้ในดินมีฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์ต่ำ ทั้งนี้เพราะจุลินทรีย์และรากพืชในเขตร้อนบางชนิดสามารถขับ (exudation) กรดอินทรีย์โดยเฉพาะกรดซิทริก (citric acid) ออกมาเพื่อสร้างเป็นสารประกอบเชิงซ้อนกับเหล็กหรืออะลูมินัมจากสารประกอบเหล็กและอะลูมินัมฟอสเฟต ดังนั้น จึงทำให้มีการปลดปล่อยฟอสฟอรัสให้พืชดูดไปใช้ได้

แม้ว่ายางพาราจะตอบสนองต่อการใส่ปุ๋ยฟอสเฟต แต่โดยทั่วไปไม่ค่อยจะพบอาการขาดฟอสฟอรัส แต่อาจพบว่าพืชคลุมดินมีใบขนาดเล็ก มีสีเขียวเข้มหรือบางครั้งสีม่วงแดงเข้ม และใบร่วง (Shorrocks, 1964) แต่ในสภาพที่ทำให้ขาดแคลนอาการขาดฟอสฟอรัสในระยะต้นกล้าของยางพาราจะเริ่มเกิดที่ใบแก่ โดยผิวใบบนของฉัตรกลางและฉัตรบนมีสีน้ำตาลปนเหลือง และด้านใต้ท้องใบมีสีบรอนซ์และสีม่วงปนแดง ถ้าขาดรุนแรงทำให้ใบห่อขึ้นบน (bending upword) และปลายใบไหม้ (scorched) และตายจากปลายใบ (die

back) (Krishnakurmar and Potty, 1992) และเมื่อขาดรุนแรงมากก็ทำให้ใบร่วงได้ (Karthikakuttyamma *et al.*, 2000) .ในยางที่โตแล้วมักไม่แสดงอาการแต่ทำให้ต้นยางโตช้าและมีผลต่อเสถียรภาพของน้ำยางทำให้ยางจับตัวเป็นก้อนเร็ว แต่สามารถทราบได้จากการวิเคราะห์ฟอสฟอรัสในใบยาง (Krishnakurmar and Potty, 1992)

**โพแทสเซียม** โพแทสเซียมเป็นธาตุที่ไม่ได้เป็นองค์ประกอบของสารอินทรีย์ใดๆ ในพืช แต่โพแทสเซียมมีหน้าที่หลัก คือ ควบคุมแรงดันออสโมติก (osmoregulation) รักษาสมดุลของประจุไฟฟ้าในเซลล์ และควบคุมพีเอชให้อยู่ระหว่าง 7-8 ซึ่งเหมาะสมกับกิจกรรมของเอนไซม์โดยส่วนใหญ่ (Marschner, 1995) ดังนั้น จึงพบโพแทสเซียมมากในไซโตพลาสซึม (cytoplasm) โดยมีเอนไซม์ประมาณ 50 ชนิดที่ต้องใช้โพแทสเซียมเป็นตัวกระตุ้น

ในน้ำยางที่มีโพแทสเซียมสูงเชื่อว่าจะทำให้ผลผลิตสูง โดยมีรายงานว่า ผลผลิตและอัตราการไหลของน้ำยางจะเพิ่มขึ้นเมื่อได้รับปุ๋ยโพแทซมากขึ้น (Watson, 1989 อ้างโดย Sethuraj, 1992) นอกจากนั้น ยังมีรายงานว่า การเพิ่มผลผลิตยางเนื่องจากการใช้สารกระตุ้นเพื่อเร่งน้ำยางนั้นทำให้โพแทสเซียมในน้ำยางเพิ่มขึ้น (Tupy, 1973 อ้างโดย Sethuraj, 1992) ในเบื้องต้นคาดว่าการเพิ่มขึ้นของผลผลิตเมื่อใช้สารเร่งน้ำยางเกิดจากโพแทสเซียมช่วยลดการอุดตันของท่อน้ำยาง อย่างไรก็ตาม พบว่า เปลือกหน้ากรีดมีอาการผิดปกติมีลักษณะไหม้เป็นสีน้ำตาล (brown bast) เมื่อใช้ปุ๋ยโพแทซอัตราสูง (Pushpadas et al., 1975 อ้างโดย Sethuraj, 1992)

โดยทั่วไปโพแทสเซียมมักมีเพียงพอในดินเนื้อละเอียดแต่จะขาดโพแทสเซียมในดินทราย สำหรับยางพาราต้องการโพแทสเซียมเพื่อเพิ่มผลผลิต ในดินปลูกยางพาราที่มีโพแทสเซียมที่แลกเปลี่ยนได้ต่ำมาก (น้อยกว่า 40 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม) เช่น ชุดดินคอหงส์ ต้นยางจะตอบสนองต่อการใส่ปุ๋ยโพแทซ การใส่ปุ๋ยโพแทซทำให้ต้นยางดูดโพแทสเซียมและฟอสฟอรัสเพิ่มขึ้น แต่ทำให้ปริมาณแคลเซียมและแมกนีเซียมในน้ำยางลดลง การใส่ปุ๋ยโพแทซมากเกินไปอาจทำให้ต้นยางขาดแมกนีเซียมได้ (นุชนารถ, 2542) ปัญหาการขาดโพแทสเซียมมักพบทั่วไปกับยางที่เปิดกรีดแล้วที่ปลูกในดินทราย (Shorrocks, 1964)

โพแทสเซียมเป็นธาตุที่เคลื่อนย้ายได้ง่ายและพบมากในไซโทพลาสซึม อาการขาดโพแทสเซียมจะเกิดกับใบแก่หรือใบล่าง ในต้นยางที่ขาดโพแทสเซียมทำให้ปลายและขอบใบเหลือง (chlorosis) และต่อมาก็ไหม้ตาย (necrosis) ในต้นยางอ่อนที่ยังไม่แตกกิ่ง (unbranched tree) จะเริ่มแสดงอาการที่ฉัตรที่มีอายุมากกว่าก่อน แล้วจึงขยายไปเกิดกับใบของฉัตรกลางๆ ในยางที่โตแล้วจะเกิดกับใบที่ได้รับแสงแดด (Karthikakuttyamma *et al.*, 2000) ใบจะมีขนาดเล็กลงมากและมีสีเหลืองคล้ายเนย (butter yellow) เกือบทั้งต้น (Krishnakurmar and Potty, 1992; Karthikakuttyamma *et al.*, 2000)

**แคลเซียม** แคลเซียมส่วนใหญ่สะสมอยู่ที่ผนังเซลล์ (cell wall) โดยเป็นส่วนของโครงสร้าง (structural function) ในพืช ทำหน้าที่ช่วยให้ผนังเซลล์แข็งแรงและควบคุมการเคลื่อนย้ายของสารผ่านเยื่อหุ้มเซลล์ (membrane permeability) นอกจากนั้น แคลเซียมยังมีหน้าที่เกี่ยวกับการแบ่งเซลล์ การ

เจริญเติบโต และการยืดตัวของราก รวมทั้งกระตุ้นการทำงานของเอนไซม์บางชนิด ในยางพาราแคลเซียมมีบทบาทที่สำคัญต่อเสถียรภาพและการไหลของน้ำยาง (Krishnakurmar and Potty, 1992)

เมื่อประเมินธาตุอาหารที่สูญเสียไปกับผลผลิตยางพาราในรูปน้ำยางและเนื้อไม้ในแต่ละรอบของการปลูกยาง พบว่า มีการเคลื่อนย้ายแคลเซียมออกไปมากที่สุด คือ 1,260 กิโลกรัมต่อเฮกแตร์ ในขณะที่สูญเสียไนโตรเจน โพแทสเซียม และแมกนีเซียมเพียง 755, 833 และ 945 กิโลกรัมต่อเฮกแตร์ ตามลำดับ (Karthikakuttyamma , 1997 อ้างโดย Karthikakuttyamma *et al.*, 2000) แม้ว่ามีการสูญเสียแคลเซียมไปกับไม้ยางมากกว่าธาตุอาหารหลัก ในปัจจุบันยังไม่มีการใช้ปุ๋ยแคลเซียมโดยตรงกับยางพารา แต่ยางจะได้รับจากแคลเซียมที่เป็นองค์ประกอบในหินฟอสเฟตที่ใช้รองก้นหลุม (สถาบันวิจัยยาง, 2553) อย่างไรก็ตาม เมื่อปลูกยางหลายๆ รอบ ทำให้ดินกรดซึ่งปกติมีแคลเซียมต่ำอยู่แล้วมีแคลเซียมลดลงในระดับที่ไม่เพียงพอและต้องเพิ่มให้กับดินโดยระดับที่เพียงพอของแคลเซียมที่แลกเปลี่ยนได้ในดินเท่ากับ 0.30 เซนติโมลประจุต่อดิน 1 กิโลกรัม ($cmol_c\ kg^{-1}$) (นุชนารถ, 2550)

แคลเซียมเป็นธาตุที่เคลื่อนย้ายในท่ออาหารได้ยาก จึงแสดงอาการขาดบริเวณที่กำลังเจริญเติบโต เช่น ปลายราก ยอด และผล ต้นยางพาราที่ขาดแคลเซียมปลายและขอบใบจะค่อยๆ ไหม้ตาย โดยทั่วไปมักมีสีขาวถึงสีน้ำตาลอ่อน ในต้นยางที่ยังไม่แตกกิ่งจะแสดงอาการที่ฉัตรบนหรือใบอ่อน และกรณีที่ขาดรุนแรงก็จะตายจากยอด (died back) ในต้นยางที่โตแล้วจะแสดงอาการกับใบในที่ร่มในตอนล่างของทรงพุ่ม และไม่เกิดกับใบที่ได้รับแสงแดดเต็มที่ (Karthikakuttyamma *et al.*, 2000)

**แมกนีเซียม** แมกนีเซียมเป็นองค์ประกอบของคลอโรฟิลล์ จึงมีความสำคัญต่อการสังเคราะห์แสง แมกนีเซียมเกี่ยวข้องกับการสร้างน้ำตาล โปรตีน น้ำมัน (oil) และไขมัน (fat) โดยเป็นตัวกระตุ้นการทำงานของเอนไซม์หลายชนิด ถ้าน้ำยางมีแมกนีเซียมสูงจะทำให้น้ำยางมีเสถียรภาพลดลง ท่อน้ำยางอุดตัน น้ำยางไหลได้น้อย ระดับของแมกนีเซียมและฟอสฟอรัสในน้ำยางจึงเป็นสิ่งสำคัญ สัดส่วนของแมกนีเซียมต่อฟอสฟอรัสในน้ำยางควรมีค่าประมาณ 0.7-1.3 (Karthikakuttyamma *et al.*, 2000)

อาการขาดแมกนีเซียมในระยะแรกจะเกิดกับใบล่าง โดยเกิดอาการจุดสีเขียวซีด (pale green) ระหว่างเส้นใบแล้วเปลี่ยนเป็นสีเหลืองสว่าง (bright yellow) จากนั้นจะลุกลามไปที่ขอบใบ มีลักษณะคล้ายก้างปลา ในกรณีที่ขาดรุนแรงบริเวณที่เกิดสีเหลืองทั้งที่ขอบใบและระหว่างเส้นใบจะค่อยๆ ไหม้ตาย ในต้นยางที่ยังไม่แตกกิ่งจะแสดงอาการกับใบในฉัตรล่าง ในต้นยางที่โตแล้วมักแสดงอาการกับใบที่ได้รับแสงแดดเต็มที่ (Krishnakurmar and Potty, 1992) ถ้าขาดรุนแรงมากจะทำให้ใบร่วง เส้นรอบวงลำต้นและขนาดใบลดลง อาการขาดแมกนีเซียมมักพบในดินทรายที่มีการชะละลายสูงโดยเฉพาะพันธุ์ที่ต้องการแมกนีเซียมสูง นอกจากนั้น ยังพบได้ในบริเวณที่มีการใส่ปุ๋ยไนโตรเจนและฟอสเฟตมากเกินไป (Karthikakuttyamma *et al.*, 2000)

**กำมะถัน** กำมะถันเป็นองค์ประกอบของกรดอะมิโนที่มีชื่อว่า ซีสทีน (cystine) และเมไธโอมีน (methiomine) ดังนั้น กำมะถันจึงจำเป็นต่อการสร้างโปรตีน และเป็นองค์ประกอบของวิตามิน บางชนิด

ได้แก่ ไบโอทิน (biotin) และไทเอมีน (thiamine) นอกจากนั้น กำมะถันยังเกี่ยวข้องกับการสร้างคลอโรฟิลล์ กระตุ้นการทำงานของเอนไซม์หลายชนิด และเป็นองค์ประกอบของไทออล (thiol) ซึ่งเป็นโปรตีนที่กระตุ้นการทำงานของเอนไซม์หลายชนิดในการสร้างน้ำยาง และช่วยป้องกันออกซิเจนที่เป็นพิษ (toxic oxygen)

อาการขาดกำมะถันคล้ายกับขาดไนโตรเจนแต่จะเริ่มที่ใบอ่อน และยังคงมีอาการดังกล่าวแม้ได้รับปุ๋ยไนโตรเจน โดยเริ่มจากใบอ่อนมีสีเหลืองซีด (pale yellow) หรือสีเขียวอ่อน (light green) ใบมีขนาดเล็กลงและม้วนขึ้นเป็นรูปถ้วย พืชที่ขาดกำมะถันมีลำต้นขนาดเล็ก ผอมบาง และสั้น และเจริญเติบโตช้า

**เหล็ก** เหล็กเป็นธาตุที่มีความสำคัญต่อการสังเคราะห์แสง การหายใจ การสังเคราะห์โปรตีน และการสังเคราะห์ฮอร์โมนพืช โดยเหล็กเป็นองค์ประกอบของโปรตีนที่เกี่ยวข้องกับการเคลื่อนย้ายอิเล็กตรอนในไมโทคอนเดรียและคลอโรพลาสต์ ได้แก่ ไซโทโครม (cytochrome) ซึ่งเป็นฮีมโปรตีนหรือโปรตีนที่มีวงแหวนเททราไพโรล (tetrapyrole ring) ทำหน้าที่ในระบบการเคลื่อนย้ายอิเล็กตรอน เฟอร์รีดอกซิน (ferredoxin) ซึ่งเป็นโปรตีนขนาดเล็ก ทำหน้าที่รับและส่งอิเล็กตรอนในกระบวนการต่างๆ และเฟอร์ริทิน (ferritin หรือ phytoferritin) ซึ่งเป็นนอนฮีมโปรตีน (non-heam protein) ที่เก็บสำรองเหล็กในสะโทรมาของพลาสทิด หรือส่วนอื่นๆ ของพืช

เหล็กยังเป็นองค์ประกอบของเอนไซม์ต่างๆ ทั้งที่เป็นฮีมเอนไซม์ เช่น คาทาเลส (catalase) ซึ่งเร่งการเปลี่ยนไฮโดรเจนเพอร์ออกไซด์ ($H_2O_2$) ให้เป็นน้ำกับออกซิเจน เพอร์ออกซิเดส (peroxidase) ซึ่งเร่งการเปลี่ยน ไฮโดรเจนเพอร์ออกไซด์เป็นน้ำ และนอนฮีมเอนไซม์ ได้แก่ ซูเปอร์ออกไซด์ดิสมิวเทส (superoxide dismutase; SOD) ซึ่งเป็นเอนไซม์ที่เร่งปฏิกิริยาการเปลี่ยนอนุมูลอิสระซูเปอร์ออกไซด์ (superoxide free radical; $O^{\cdot}_2$) เป็นไฮโดรเจนเพอร์ออกไซด์และออกซิเจน ทำให้ช่วยป้องกันการทำลายเยื่อต่างๆ ตลอดจนองค์ประกอบของเซลล์ เอนไซม์ในกลุ่มนี้มีทั้งชนิดที่เป็น Fe-SOD, Mn-SOD และ Cu-Zn SOD โปรตีนชนิดอื่นๆ นอกจากนั้น ยังเป็นองค์ประกอบหรือโคแฟคเตอร์ของเอนไซม์ต่างๆ ที่เกี่ยวข้องกับการสร้างโปรตีน และฮอร์โมนพืช

เหล็กไม่ได้เป็นองค์ประกอบของคลอโรฟิลล์ แต่จำเป็นต่อการสร้างคลอโรฟิลล์โดยเหล็กกระตุ้นการทำงานของเอนไซม์ที่จำเป็นในกระบวนการสังเคราะห์คลอโรฟิลล์ ดังนั้น เมื่อพืชขาดเหล็กจะแสดงอาการพร่องคลอโรฟิลล์ ทำให้ใบมีอาการเหลืองซีด โดยเริ่มเกิดที่ใบอ่อน มีลักษณะเหลืองระหว่างเส้นใบ (intervienal chlorosis) แต่ถ้ารุนแรงก็จะเหลืองทั้งใบ

สำหรับดินปลูกยางพาราโดยทั่วไปเป็นกรด จึงมักไม่พบปัญหาการขาดเหล็ก แต่มักพบปัญหาการขาดเหล็กในดินด่าง ดังนั้น จึงมีรายงานว่า ในดินด่างยางพาราเจริญเติบโตได้ไม่ดี (กฤษดา และพิเชษฐ, 2551)

**แมงกานีส** แมงกานีสในพืชมีหน้าที่สำคัญ คือ ร่วมอยู่ในโครงสร้างโปรตีนอันเป็นศูนย์ปฏิกิริยาของระบบแสง II ในการสังเคราะห์แสง และเป็นตัวเร่งการทำงานหรือเป็นองค์ประกอบของเอนไซม์ Mn-superoxide dismutase ซึ่งทำหน้าที่เร่งปฏิกิริยาการเปลี่ยนอนุมูลอิสระซูเปอร์ออกไซด์ไปเป็นไฮโดรเจนเพอร์ออกไซด์ซึ่งสลายตัวเป็นน้ำกับออกซิเจน

ดินปลูกยางพาราส่วนใหญ่เป็นดินกรด มีแมงกานีสละลายออกมามาก ยางพาราจึงดูดแมงกานีสไปใช้ได้มาก จากการวิเคราะห์แมงกานีสในใบของยางพาราที่ปลูกในชุดดินคอหงส์ซึ่งเป็นดินที่พบมากในภาคใต้ พบว่า มีปริมาณแมงกานีส 200-300 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม ซึ่งอาจเป็นพิษกับต้นยางได้ (นุชนารถ, 2550) โดยที่ความเข้มข้นของแมงกานีสที่เพียงพอในพืชทั่วไป คือ 50-100 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม (ยงยุทธ, 2552)

จากการทดลองปลูกต้นกล้ายางในทราย พบว่า การขาดแมงกานีสทำให้ใบของฉัตรกลางและฉัตรบนเกิดสีเขียวปนเหลืองระหว่างเส้นใบ โดยที่เส้นใบมีสีขาวล้อมรอบด้วยแถบสีเขียวแตกต่างจากสีเขียวซีดบริเวณระหว่างเส้นใบอย่างชัดเจน อาการขาดแมงกานีสในต้นยางอ่อนเริ่มเกิดที่ใบล่างและอาจจะลุกลามเกิดกับทุกใบเมื่อเกิดรุนแรง (Krishnakurmar and Potty, 1992) ในต้นยางที่โตแล้วจะเริ่มเกิดกับใบที่ไม่โดนแดดแต่อาจจะลุกลามเกิดกับใบของกิ่งที่โดนแดดได้ (Watson, 1989 อ้างโดย Krishnakurmar and Potty, 1992)

**สังกะสี** สังกะสีมีความสำคัญกับระบบการทำงานของเอนไซม์หลายชนิดทั้งทางตรงและทางอ้อม โดยเกี่ยวข้องกับการสร้างโปรตีน การสังเคราะห์ออกซิน (auxin) และการสร้างเมล็ด

การขาดสังกะสีทำให้ต้นยางไม่ต้านทานต่อเชื้อออยเดียม (*Oidium*) ซึ่งเป็นสาเหตุโรคราแป้ง ชะงักการเจริญเติบโต ใบมีขนาดเล็ก และสีซีดถึงสีเหลือง อาการขาดสังกะสีมักพบในแปลงกล้ายางและในยางอ่อนที่ใส่ปุ๋ยฟอสเฟตสูง นอกจากนั้น ในประเทศไทยพบอาการขาดสังกะสีในเขตปลูกยางใหม่ในภาคกลางที่ปลูกในชุดดินตาคลีซึ่งเป็นดินด่าง ทำให้ต้นยางอายุ 1-2 ปี อ่อนแอต่อโรคใบจุดนูนและโรคใบจุดก้างปลา (นุชนารถ, 2550)

อาการขาดสังกะสีมักเกิดกับต้นยางเล็กในโรงเรือนอนุบาลกล้ายาง โดยเกิดกับใบของฉัตรบนของต้นยาง โดยใบมีขนาดความกว้างลดลงแต่จะยาวกว่าปกติ โดยขอบใบมีลักษณะเป็นคลื่น และบิดเบี้ยว (twisted) เกิดอาการเหลืองโดยเส้นใบหลัก (main vein) ยังเขียวอยู่ ในต้นยางเล็กพบว่าแสดงอาการที่ฉัตรยอด (top storey) โดยมีผลต่อการพัฒนาของเนื้อเยื่อเจริญและทำให้เนื้อเยื่อเจริญที่ปลายยอดตาย (Krishnakurmar and Potty, 1992) และอาจจะมีการแตกกิ่งด้านข้าง (Karthikakuttyamma *et al.*, 2000) หากขาดรุนแรงใบยางมีขนาดเล็ก ยาวเรียว ขอบหยัก ข้อสั้น ใบรวมเป็นกระจุก (นุชนารถ, 2550)

**ทองแดง** ทองแดงเป็นองค์ประกอบของพลาสโทไซยานิน (plastocyanin) ซึ่งเป็นโปรตีนสีน้ำเงิน (blue protein) ที่เกี่ยวข้องกับการเคลื่อนย้ายอิเล็กตรอนในกระบวนการสังเคราะห์แสง นอกจากนั้น ทองแดงเป็นธาตุที่คล้ายคลึงกับเหล็ก โดยเฉพาะในแง่ที่เกี่ยวกับปฏิกิริยาออกซิเดชัน-รีดักชัน โดยเป็นโคแฟเตอร์ (cofactor) ของเอนไซม์หลายชนิด ได้แก่ ออกซิเดส (oxidase) ซึ่งใช้ออกซิเจนเป็นตัวรับอิเล็กตรอน ซูเปอร์ออกไซม์ดิสมิวเทส (superoxide dismutase) ซึ่งใช้ทั้งทองแดงและสังกะสีเป็นโคแฟคเตอร์ ทำหน้าที่เร่งปฏิกิริยาการเปลี่ยนอนุมูลอิสระซูเปอร์ออกไซด์เป็นไฮโดรเจนเพอร์ออกไซด์และออกซิเจน และไซโท

โครมซีออกซิเดส (cytocrome C oxidase) ซึ่งเร่งปฏิกิริยารีดักชันของออกซิเจนให้กลายเป็นน้ำ โดยเกิดในขั้นตอนสุดท้ายของการเคลื่อนย้ายอิเล็กตรอนในไมโทคอนเดรีย

เมื่อพืชได้รับทองแดงไม่เพียงพอ จะมีผลกระทบต่อกระบวนการทางสรีระ เช่น การสังเคราะห์แสง การสะสมคาร์โบไฮเดรต การสังเคราะห์ลิกนิน และการพัฒนาในระยะเจริญพันธุ์ นอกจากนั้นยังเกิดความเสียหายในเซลล์จากภาวะความเครียด (ยงยุทธ, 2552)

การขาดธาตุทองแดงที่รุนแรงทำให้ต้นยางตายจากยอด ในดินทรายที่มีอินทรียวัตถุต่ำมากอาจขาดทองแดงได้ นอกจากนั้น ในดินอินทรีย์ธาตุทองแดงจะเกิดเป็นสารประกอบเชิงซ้อนกับอินทรียวัตถุ ทำให้ทองแดงเป็นประโยชน์กับพืชได้น้อย โดยปกติแล้วในน้ำยางไม่ควรมีทองแดงเกิน 8 มิลลิกรัมต่อลิตร ทั้งนี้เนื่องจากทองแดงมีผลต่อการเกิดออกซิเดชันของน้ำยาง หากมีมากทำให้ยางเสื่อมคุณภาพ มีลักษณะเหนียวเยิ้มง่ายเมื่อทำเป็นยางเครพ (Pushparajah et al., 1988 อ้างโดย นุชนารถ, 2550)

**โบรอน** โบรอนมีความสำคัญต่อพืชโดยมีหน้าที่เกี่ยวข้องกับการเปลี่ยนแปลงและพัฒนาของเซลล์ การงอกและการเจริญของละอองเกสร(pollen grain) การเคลื่อนย้ายน้ำตาล และการสังเคราะห์ลิกนิน

ในดินที่มีอินทรียวัตถุต่ำมีโอกาสขาดโบรอนเป็นธาตุใบพืชที่ขาดโบรอนจะมีรูปร่างบิดผิดปกติ (distorted) มีขนาดเล็กลง แข็งและแตกหักได้ง่าย (bristle) สีจางลง (loss of colour) ในต้นยางเล็กจะเริ่มแสดงอาการที่ใบอ่อนของฉัตรบน เนื้อเยื่อเจริญจะตายและปลายใบเปลี่ยนเป็นสีดำ แต่ละฉัตรแยกกันไม่ออกเพราะข้อสั้นทำให้มีลักษณะเหมือนแปลงล้างขวด (bottle brush) ในต้นยางที่โตแล้วตรวจสอบได้จากการวิเคราะห์ใบที่ไม่โดนแสงแดด (Karthikakuttyamma *et al.*, 2000)

ในดินปลูกยางที่มีการปนเปื้อนโบรอนเนื่องจากน้ำเสียจากโรงงานไม้ยาง อาจพบว่ามีโบรอนสูงจนเป็นพิษกับต้นยางได้ ปริมาณโบรอนในใบสูงถึง 250 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม ลักษณะอาการเป็นพิษของโบรอนโดยทั่วไป คือ ขอบใบและปลายใบล่างมีสีเหลืองแล้วค่อยๆ เปลี่ยนเป็นสีน้ำตาลและแห้งตาย และร่วงหล่นไปในที่สุด ความเป็นพิษของโบรอนทำให้ต้นยางเกิดอาการเปลือกแห้งและผลผลิตต่ำ (นุชนารถ, 2550) อย่างไรก็ตาม โบรอนในดินส่วนใหญ่อยู่ในสภาพที่เป็นโมเลกุลของกรดบอริกซึ่งถูกชะละลายได้ง่าย โดยเฉพาะจากดินบน ดังนั้น เมื่อฝนตกหนักประมาณ 1-2 ครั้ง ก็ทำให้ปริมาณโบรอนในดินลดลงจนไม่เป็นพิษกับพืช โดยสอดคล้องกับการศึกษาการใช้น้ำเพื่อชะโบรอนในชุดดินคอหงส์ที่ปนเปื้อน พบว่า การใช้น้ำ 1,000 มม. ทำให้โบรอนในดินลึก 0-15 ซม. ลดลงจาก 11.11 มก./กก. เหลืออยู่ในระดับที่ไม่เป็นพิษกับพืช คือ 1.21 มก./กก. และทำให้โบรอนในดินที่ระดับความลึก 15-50 ซม. ตกค้างอยู่น้อย และการใช้น้ำมากกว่า 1,000 มม. สามารถทำให้โบรอนในดินลดต่ำลงได้มากขึ้นอีก ดังนั้น การปล่อยให้ดินที่ปนเปื้อนโบรอนถูกน้ำฝนชะล้างก็คาดว่าจะทำให้โบรอนในดินลดลงได้ และเมื่อนำดินดังกล่าวที่มีโบรอนสูงชะด้วยน้ำทำให้โบรอนในดินลดลงตามปริมาณน้ำที่ใช้ เมื่อทดลองปลูกมะเขือเทศก็พบว่า มะเขือเทศเจริญเติบโตได้ดีขึ้นตามปริมาณน้ำที่ใช้ (ณัฐพงศ์, 2552)

สำหรับจุลธาตุอื่นๆ ได้แก่ โมลิบดินัม คลอรีน และนิกเกิล เป็นธาตุที่ยังไม่มีรายงานการศึกษาถึงบทบาทและหน้าที่โดยตรงของธาตุนี้กับยางพารา แต่เป็นธาตุที่จำเป็นกับยางพาราเช่นเดียวกับพืชโดยทั่วไป

# บทที่ 3
# การเก็บตัวอย่างและการเก็บรักษาตัวอย่างน้ำยางเพื่อวิเคราะห์ธาตุอาหาร และองค์ประกอบทางชีวเคมี

## คำนำ

ธาตุอาหารและองค์ประกอบทางชีวเคมีในน้ำยาง เป็นปัจจัยหนึ่งที่สะท้อนถึงสุขภาพของต้นยางพารา และผลผลิตยาง ธาตุอาหารมีความสำคัญต่อการเจริญเติบโตของต้นยางพาราและการสร้างผลผลิต เช่น ไนโตรเจนเป็นองค์ประกอบของกรดอะมิโน โปรตีน และคลอโรฟิลล์ โดยมีรายงานว่า การใส่ปุ๋ยไนโตรเจนทำให้เส้นรอบวงลำต้นเพิ่มขึ้น (Dissanayake and Mithrasena, 1986) ฟอสฟอรัสเป็นองค์ประกอบของกรดนิวคลีอิก ฟอสโฟลิปิด และสารให้พลังงานสูง การใส่ปุ๋ยฟอสเฟตทำให้ต้นยางมีเส้นรอบวงลำต้นเพิ่มขึ้น (Dissanayake *et al.*, 1994) ในขณะที่โพแทสเซียมช่วยควบคุมสมดุลของน้ำและแร่ธาตุ กระตุ้นการทำงานของเอนไซม์ และการเคลื่อนย้ายสารผ่านเยื่อหุ้มเซลล์ (Karthikakuttyamma *et al.*, 2000) ทั้งนี้มีรายงานว่า ในสภาพที่ขาดน้ำการใส่ปุ๋ยโพแทชช่วยทำให้การเจริญเติบโตของรากยางดีขึ้น ทำให้เพิ่มความสามารถในการดูดใช้น้ำ และส่งผลให้ยางพาราเจริญเติบโตดีขึ้น (Samarappuli *et al.*, 1993) การใส่โพแทสเซียมคลอไรด์ส่งผลให้น้ำยางไหลได้นานขึ้น (Watson,1989) และยางพาราให้ผลผลิตเพิ่มขึ้น (Joseph et al. 1998) นอกจากนั้น ยังมีรายงานว่า การใส่ปุ๋ยที่ให้ธาตุโพแทสเซียมและแมกนีเซียมทำให้ธาตุทั้งสองทั้งในใบและเปลือกต้นยางอ่อนเพิ่มขึ้น และเกิดอันตรกิริยา (interaction) ระหว่างโพแทสเซียมและแมกนีเซียม และธาตุทั้งสองยังทำให้แคลเซียมในใบลดลง (Weerasuiya and Yogaratnam, 1989) สำหรับแคลเซียมเป็นตัวกระตุ้นเอนไซม์เมวาโลเนตไคเนส (mevalonate kinase) ในกระบวนการสังเคราะห์ยาง (Kekwick, 1989) และหากมีแคลเซียมในน้ำยางมากจะส่งผลต่อการจับตัวของอนุภาคยาง (d'Auzac, 1989) และมีรายงานว่า แคลเซียมมีความสัมพันธ์เชิงลบกับผลผลิตยาง (Thomas *et al.*, 2009) ในขณะที่แมกนีเซียมเป็นตัวกระตุ้นของเอนไซม์เอทีพีเอส (ATPase) ทรานสเฟอเรส (transferase) และเป็นตัวยับยั้งเอนไซม์อินเวอร์เทส (invertase) ซึ่งเปลี่ยนซูโครสเป็นกลูโคสและฟรุกโทสเพื่อเป็นสารตั้งต้นในการสังเคราะห์ยาง (Jacob *et al.*, 1989a) โดยหากมีแมกนีเซียมในน้ำยางมากส่งผลต่อการจับตัวของอนุภาคยางทำให้อัตราการไหลและปริมาณของน้ำยางลดลง (Watson, 1989)

ส่วนองค์ประกอบทางชีวเคมีในน้ำยางที่นิยมศึกษาโดยทั่วไป ได้แก่ ปริมาณของแข็งทั้งหมด ซูโครส อนินทรีย์ฟอสฟอรัส และไทออล โดยแต่ละองค์ประกอบมีผลต่อการสร้างน้ำยางดังนี้ ปริมาณของแข็งทั้งหมดเป็นพารามิเตอร์ที่แสดงถึงความสามารถในการสร้างเนื้อยางและการไหลของน้ำยาง โดยที่ประมาณ 90% ของปริมาณของแข็งทั้งหมดเป็นเนื้อยางแห้ง (Jacob *et al.*, 1989b) โดยหากปริมาณเนื้อยางแห้งหรือปริมาณของแข็งทั้งหมดสูง แสดงว่า ภายในท่อน้ำยางเกิดกระบวนการสังเคราะห์ยางสูง และน้ำยางมีความหนืดสูง ทำให้น้ำยางไหลช้า เกิดการอุดตันที่ปลายท่อน้ำยางได้เร็ว ทำให้ผลผลิตยางต่ำ ซูโครสเป็นสารตั้งต้นในการสร้างเนื้อยาง โดยปริมาณซูโครสในน้ำยางสูง แสดงว่า ต้นยางมีศักยภาพในการสร้างน้ำยางสูง ซึ่งมีความสัมพันธ์ในทางบวกกับผลผลิต แต่ในอีกด้านหนึ่งหมายถึงมีการนำซูโครสไปใช้ในการสร้างน้ำยางต่ำ ทำให้เกิดการสะสมซูโครสในน้ำยางสูง ซึ่งมีความสัมพันธ์เชิงลบกับผลผลิต (พเยาว์ และคณะ, 2546; พิศมัย และคณะ, 2545; Jacob *et al.*, 1989b) อนินทรีย์ฟอสฟอรัสแสดงถึงพลังงานที่ใช้ในการสร้างเนื้อยาง โดยหากมี

ปริมาณอนินทรีย์ฟอสรัสสูง แสดงว่า มีการสร้างน้ำยางสูง อนินทรีย์ฟอสฟอรัสมีความสัมพันธ์เชิงบวกกับผลผลิต และไทออลแสดงถึงสารต้านอนุมูลอิสระที่ป้องกันออกซิเจนที่เป็นพิษซึ่งส่งผลต่อการหยุดไหลของน้ำยาง ตามลำดับ (พเยาว์ และคณะ, 2546; Jacob *et al.*, 1989b) ได้มีการศึกษาพบว่า ปริมาณเนื้อยางแห้งและซูโครสมีความสัมพันธ์เชิงลบกับผลผลิต โดยมีค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ (correlation coefficient: r) เท่ากับ -0.695 (Mak *et al.*, 2008) และ -0.869 (Lacote *et al.*, 2010) ตามลำดับ ส่วนอนินทรีย์ฟอสฟอรัสและไทออลมีความสัมพันธ์เชิงบวกกับผลผลิต โดยมีค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์เท่ากับ 0.979 (Lacote *et al.*, 2010) และ 0.745 (Sreelatha, 2003) ตามลำดับ

การวิเคราะห์องค์ประกอบทางชีวเคมีในน้ำยางได้มีการนำมาใช้ประโยชน์ในการจัดการระบบกรีดที่เหมาะสม (Soumahin *et al.*, 2010) ประเมินขนาดและรูปร่างของบริเวณที่สร้างน้ำยางเนื่องจากระบบกรีดต่างๆ (Chantuma *et al.*, 2006) และประเมินพื้นที่สร้างน้ำยาง (Silpi *et al.*, 2006) เป็นต้น ในการวิเคราะห์องค์ประกอบทางชีวเคมีในน้ำยางจะเก็บตัวอย่างบริเวณตำแหน่งใต้รอยกรีดประมาณ 5 ซม. นำน้ำยางมาสกัดแยกเซรัมน้ำยาง (serum) ออกจากเนื้อยางด้วยกรดไทรคลอโรอะคลอโรอะซิทิก (trichloroacetic acid; TCA) และนำส่วนเนื้อยางไปอบเพื่อหาปริมาณของเนื้อยางแห้ง และส่วนของเซรัมจะนำไปวิเคราะห์ซูโครส อนินทรีย์ฟอสฟอรัส และไทออล (พเยาว์ และคณะ, 2546; พิศมัย และคณะ, 2546ก; Soumahin *et al.*, 2010) ส่วนการวิเคราะห์ธาตุอาหารในน้ำยางอาจจะใช้ประเมินสถานะธาตุอาหารได้อีกวิธีหนึ่ง โดยได้มีรายงานว่า เมื่อใส่ปุ๋ยให้แก่ต้นยางพาราส่งผลให้สถานะธาตุอาหารในน้ำยางเพิ่มขึ้น เช่น เมื่อใส่ปุ๋ยแอมโมเนียมไนเทรตได้เพิ่มระดับไนโตรเจน โพแทสเซียม และแมกนีเซียมในน้ำยาง ใส่ปุ๋ยหินฟอสเฟตได้เพิ่มฟอสฟอรัสและแคลเซียม ใส่ปุ๋ยโพแทสเซียมคลอไรด์ได้เพิ่มโพแทสเซียมและฟอสฟอรัส แต่ลดแคลเซียมและแมกนีเซียม และปุ๋ยแมกนีเซียมได้เพิ่มแมกนีเซียม แต่ลดโพแทสเซียม เป็นต้น (Waston, 1989) ซึ่งการวิเคราะห์ธาตุอาหารเพื่อประเมินสถานะธาตุอาหารส่วนใหญ่จะเก็บใบมาวิเคราะห์ แต่การเก็บใบทำได้ไม่สะดวกเนื่องจากต้นยางมีความสูงประมาณ 15-20 เมตร อย่างไรก็ตาม เมื่อเก็บน้ำยางจากต้นยาง น้ำยางก็จะมีการเปลี่ยนแปลงและตกตะกอนจับกันเป็นก้อน ดังนั้น จึงสมควรศึกษาการเก็บรักษาน้ำยาง และวิธีการเก็บน้ำยาง สำหรับนำไปวิเคราะห์ธาตุอาหารเพื่อประเมินสถานะธาตุอาหารร่วมกับองค์ประกอบทางชีวเคมีในน้ำยาง

## อุปกรณ์และวิธีการ

### 1. ศึกษาการเก็บรักษาน้ำยางสำหรับการวิเคราะห์ธาตุอาหารและองค์ประกอบทางชีวเคมี

#### 1.1 การเก็บรักษาเซรัมน้ำยางต่อค่าวิเคราะห์ธาตุอาหารและองค์ประกอบทางชีวเคมี

วางแผนการทดลองแบบสุ่มอย่างสมบูรณ์ ประกอบด้วย 7 ทรีตเมนต์ คือ เก็บเซรัมน้ำยางในตู้เย็นไว้ 1, 2, 3, 4, 5, 6 และ 7 วัน ทำการทดลอง 3 ซ้ำ โดยเก็บน้ำยางสดจากสวนยางพาราพันธุ์ RRIM 600 ในอำเภอคลองหอยโข่ง จากต้นยางต้นละ 1 mL จำนวน 20 ต้นนำมาผสมให้เข้ากัน และปิเปตน้ำยางสด 2 mL ใส่หลอดเหวี่ยงพลาสติกขนาด 50 mL โดยทำการทดลอง 3 ซ้ำ เติมสารละลายไทรคลอโรอะซีทิกแอซิดผสมอีดีทีเอ (2.5 % w/v TCA + 0.01 %w/v EDTA) เขย่าให้ยางจับตัวกัน (พเยาว์ และคณะ, 2546) กรองสารละลายด้วยกระดาษกรอง Whatmann เบอร์ 1 เก็บสารที่กรองได้ซึ่งเรียกว่า เซรัม (serum) ไว้ในตู้เย็น และนำไป

วิเคราะห์องค์ประกอบทางชีวเคมีและธาตุอาหาร หลังจากเก็บไว้นาน 1, 2, 3,4, 5, 6 และ 7 วัน ตามวิธีการดังนี้

**ซูโครส** วิเคราะห์ซูโครสในเซรัมน้ำยางโดยการทำให้เกิดสีด้วยแอนโทรน (Anthrone method) ในสภาพที่เป็นกรด เพื่อให้น้ำตาลซูโครสเกิดการสลายตัวได้ฟรุกโทส (fructose) ซึ่งจะทำปฏิกิริยาอย่างรวดเร็วกับแอนโทรน และน้ำตาลกลูโคส (glucose) ซึ่งทำปฏิกิริยากับแอนโทรนเมื่อได้รับความร้อน ดังนั้น จึงต้องนำมาอุ่นในอ่างน้ำร้อนก่อนเพื่อทำให้ปฏิกิริยาเกิดขึ้นได้ดี หลังจากสารละลายเกิดเป็นสีเขียวอมฟ้า จึงนำไปวัดค่าการดูดกลืนแสงด้วยเครื่อง Visible Spectrophotometer (พเยาว์ และคณะ, 2546)

**ไทออล** วิเคราะห์ไทออลในเซรัมน้ำยางใช้วิธีทำให้เกิดสีเหลือง ด้วยวิธี Acid dinitro-dithio-dibenzoic โดยการเติม Dithionitrobenzoic acid (DTNB) เพื่อทำปฏิกิริยากับ Reduced thiol (R-SH) ซึ่งมีอยู่ในเซรัมน้ำยางเกิดเป็น 2-nitro-5-thiobenzoate ($NTB^-$) ซึ่งแตกตัวได้ $NTB^{2-}$ dianion ที่มีสีเหลือง จากนั้นจึงนำไปวัดค่าการดูดกลืนแสงด้วยเครื่อง Visible Spectrophotometer (Owens and belcher, 1965)

**อนินทรีย์ฟอสฟอรัส** นำเซรัมน้ำยางไปทำให้เกิดสีโดยวิธี Vanadomolybdate และวัดค่าการดูดกลืนแสงของสารประกอบสีเหลืองที่เกิดขึ้น ด้วยเครื่อง Visible Spectrophotometer (พเยาว์ และคณะ, 2546) เช่นเดียวกับการวิเคราะห์ฟอสฟอรัสในพืช (จำเป็น และจักรกฤษณ์, 2554)

**แอมโมเนียม** นำเซรัมน้ำยางไปทำให้เกิดสี (develop color) โดยวิธีซาลิไซเลต-ไฮโพคลอไรต์ (Salicylate-hypochlorite method) ในการเกิดสีแอมโมเนียมจะทำปฏิกิริยากับโซเดียมซาลิไซเลต (sodium salicylate) และคลอรีนซึ่งได้จากโซเดียมไฮโพคลอไรต์ (sodium hypochlorite) เกิดเป็นสารละลายสีเขียว โดยมีโซเดียมไนโทรพรัสไซด์ (sodium nitroprusside) เป็นตัวเร่งปฏิกิริยาในสภาพที่เป็นเบส แล้วนำไปวัดค่าการดูดกลืนแสง ด้วยเครื่อง Visible spectrophotometer เช่นเดียวกับการวิเคราะห์แอมโมเนียมในดิน (Mulvaney, 1996)

**ไนเทรต** นำไปทำให้เกิดสีโดยวิธีซาลิไซลิกแอซิด (Salicylic acid method) ในการเกิดสีไนเทรตจะทำปฏิกิริยากับกรดซาลิไซลิกในกรดซัลฟิวริกเข้มข้น และเกิดเป็นสารประกอบสีเหลืองหลังจากเติมโซเดียมไฮดรอกไซด์ลงไป จากนั้นจึงนำไปวัดค่าการดูดกลืนแสง ด้วยเครื่อง Visible spectrophotometer เช่นเดียวกับการวิเคราะห์ไนเทรตในดิน (จำเป็น และจักรกฤษณ์, 2554)

**โพแทสเซียม แคลเซียม และแมกนีเซียม** นำเซรัมน้ำยางไปวัดแคลเซียมและแมกนีเซียม โดยใช้เครื่อง Atomic Absorption Spectrophotometer โดยใช้เชื้อเพลิง Air-Acetylene ส่วนโพแทสเซียมนำไปวัดโดยใช้เครื่อง Flame Photometer

### 1.2 ผลของอุณหภูมิต่อการเก็บรักษาน้ำยางสดเพื่อวิเคราะห์ธาตุอาหารและองค์ประกอบทางชีวเคมี

วางแผนการทดลองแบบสุ่มอย่างสมบูรณ์ ประกอบด้วย 2 ทรีตเมนต์ คือ เก็บน้ำยางที่อุณหภูมิห้องและแช่ในกล่องน้ำแข็ง ทำการทดลอง 3 ซ้ำ โดยเก็บน้ำยางสดจากสวนยางพาราพันธุ์ RRIM 600 จากต้นยางต้นละ 5 mL จำนวน 60 ต้นนำมาผสมให้เข้ากัน ตวงน้ำยางใส่ขวดแก้วขนาด 100 mL ที่มีฝาปิด ขวดละ 30 mL จำนวน 6 ขวด โดยนำ 3 ขวดเก็บไว้ที่อุณหภูมิห้อง (31°C) และอีก 3 ขวดไปแช่ในกล่องน้ำแข็ง (3°C )

และปิเปตน้ำยางสด 2 mL ใส่หลอดเหวี่ยงพลาสติกขนาด 50 mL ไปตกตะกอนโดยการเติมสารละลายไทรคลอโรอะซีทิกแอซิดผสมอีดีทีเอ หลังจากเก็บน้ำยางสดไว้ 0-10 ชั่วโมง โดยนำไปตกตะกอนทุกๆ ชั่วโมง เขย่าให้ยางจับตัวกัน กรองสารละลายด้วยกระดาษกรอง Whatmann เบอร์ 1 เก็บสารที่กรองได้หรือเซรัมไว้ในตู้เย็น และนำเซรัมไปวิเคราะห์ธาตุอาหารและองค์ประกอบทางชีวเคมี ตามวิธีการเช่นเดียวกับการทดลองที่ 1.1

### 1.3 ผลของอุณหภูมิและสารยับยั้งจุลินทรีย์ต่อการเก็บรักษาน้ำยางสดเพื่อธาตุอาหารและองค์ประกอบทางชีวเคมี

จากผลการทดลองในข้อ 1.2 พบว่า ซูโครสในน้ำยางลดลงอย่างรวดเร็ว จึงได้ทำการทดลองเติมสารยับยั้งจุลินทรีย์และศึกษาการเปลี่ยนแปลงของซูโครสและธาตุอาหารอื่นๆ วางแผนการทดลองแบบสุ่มอย่างสมบูรณ์ ประกอบด้วย 3 ทรีตเมนต์ คือ 1) เก็บน้ำยางที่อุณหภูมิห้อง 2) นำน้ำยางมาเติมคลอโรฟอร์ม และ 3) นำน้ำยางแช่ในกล่องน้ำแข็ง ทำการทดลอง 3 ซ้ำ โดยการเก็บน้ำยางสดจากสวนยางพาราพันธุ์ RRIM 600 จากต้นยางต้นละ 5 mL จำนวน 60 ต้นนำมาผสมให้เข้ากัน ตวงน้ำยางใส่ขวดแก้วขนาด 100 mL ที่มีฝาปิดขวดละ 30 mL จำนวน 9 ขวด โดยนำ 3 ขวดเก็บไว้ที่อุณหภูมิห้อง (31°C) และ 3 ขวดเติมคลอโรฟอร์มเพื่อยับยั้งกิจกรรมของจุลินทรีย์และเก็บไว้ที่อุณหภูมิห้อง ส่วน 3 ขวดที่เหลือนำไปแช่ในกล่องน้ำแข็ง (3°C ) และปิเปตน้ำยางสด 2 mL ใส่หลอดเหวี่ยงพลาสติกขนาด 50 mL ไปตกตะกอนโดยการเติมไทรคลอโรอะซีทิกแอซิดผสมอีดีที ทุกๆ ชั่วโมง 6 ครั้ง เขย่าให้ยางจับตัวกัน กรองสารละลายด้วยกระดาษกรอง Whatmann เบอร์ 1 เก็บสารที่กรองได้หรือเซรัมไว้ในตู้เย็น และนำไปวิเคราะห์ธาตุอาหารและองค์ประกอบทางชีวเคมี ตามวิธีการเช่นเดียวกับการทดลองที่ 1.1

### 1.4 ผลของอุณหภูมิต่อการเก็บรักษาเซรัมน้ำยางเพื่อวิเคราะห์ธาตุอาหารและองค์ประกอบทางชีวเคมี

วางแผนการทดลองแบบสุ่มอย่างสมบูรณ์ ประกอบด้วย 2 ทรีตเมนต์ คือ เก็บเซรัมน้ำยางที่อุณหภูมิห้อง และแช่ในกล่องน้ำแข็ง ทำการทดลอง 3 ซ้ำ โดยเก็บน้ำยางสดจากสวนยางพาราพันธุ์ RRIM 600 จากต้นยางต้นละ 1 mL จำนวน 20 ต้น นำมาผสมให้เข้ากัน และปิเปตน้ำยางสด 3 mL ใส่หลอดเหวี่ยงพลาสติกขนาด 50 mL จำนวน 6 หลอด เติมไทรคลอโรอะซีทิกแอซิดผสมอีดีทีเอ จำนวน 27 mL เขย่าให้ยางจับตัวกัน กรองสารละลายด้วยกระดาษกรอง Whatman เบอร์ 1 โดยนำ 3 หลอดเก็บไว้ที่อุณหภูมิปกติ (31°C ) และอีก 3 ขวดไปแช่ในกล่องน้ำแข็ง (3°C ) และนำไปวิเคราะห์ธาตุอาหารและองค์ประกอบทางชีวเคมีตามวิธีการเช่นเดียวกับการทดลองที่ 1.1 หลังจากเก็บไว้ 1, 2, 4, ,6 และ 8 ชั่วโมง

### 1.5 ผลของการเจือจางน้ำยางสดต่อการเก็บรักษาน้ำยางเพื่อวิเคราะห์ธาตุอาหารและองค์ประกอบทางชีวเคมี

เก็บน้ำยางสดจากสวนยางพาราพันธุ์ RRIM 600 จากต้นยางมาเก็บรักษาและเจือจางก่อนการเก็บรักษา โดยวางแผนการทดลองแบบสุ่มอย่างสมบูรณ์ ประกอบด้วย 5 ทรีตเมนต์ คือ 1) น้ำยางสด 40 mLแช่

ในกล่องน้ำแข็ง 2) เจือจางน้ำยางสด 20 mL ด้วยน้ำกลั่น 2 เท่าและแช่ในกล่องน้ำแข็ง 3) เจือจางน้ำยางสด 20 mLด้วยน้ำกลั่น 2 เท่าแต่ไม่แช่ในกล่องน้ำแข็ง 4) เจือจางน้ำยางสด 20 mL ด้วย 0.01 % EDTA 2 เท่าและแช่ในกล่องน้ำแข็ง 5) เจือจางน้ำยางสด 20 mL ด้วย 0.01 % EDTA 2 เท่าแต่ไม่แช่ในกล่องน้ำแข็ง ทำการทดลอง 3 ซ้ำ หลังจากนั้นจึงนำน้ำยางไปตกตะกอนด้วยไทรคลอโรอะซีทิกแอซิดผสมอีดีทีเอ ที่เวลา 0, 1, 2, 4 และ 6 ชั่วโมง เพื่อแยกเนื้อยางและกรองเซรัมน้ำยางเพื่อนำไปหาเนื้อยางแห้งและวิเคราะห์ธาตุอาหารและองค์ประกอบทางชีวเคมี เช่นเดียวกับการทดลองที่ 1.1

**2 ศึกษาเวลาที่เหมาะสมในการเก็บน้ำยางสำหรับวิเคราะห์ ธาตุอาหารและองค์ประกอบทางชีวเคมี**

วางแผนการทดลองแบบสุ่มอย่างสมบูรณ์ ประกอบด้วย 2 ทรีตเมนต์ คือ เก็บน้ำยางน้ำยางสดในตอนเช้า (08.00-10.00 น.) และตอนบ่าย (14.00-16.00) ทำการทดลอง 3 ซ้ำ โดยเลือกต้นยางพันธุ์ RRIM 600 ที่มีความสม่ำเสมอ 30 ต้น ทำการเก็บตัวอย่างน้ำยางโดยใช้เหล็กปลายแหลมขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 1 มิลลิเมตร แทงที่บริเวณกลางๆ ใต้รอยกรีด 5 เซนติเมตร จนถึงเนื้อไม้ ดึงเหล็กออกและสอดหลอดพลาสติกเพื่อลำเลียงน้ำยางจากต้นยาง 10 ต้นๆ ละ 15 หยด ลงในหลอดสำหรับรับน้ำยาง นำน้ำยางจากทั้ง 10 ต้น มารวมกัน โดยเจาะในเวลาเช้า และช่วงบ่าย นำน้ำยางในแต่ละซ้ำไปทำให้ตกตะกอน กรอง และเก็บสารที่กรองได้หรือเซรัมไว้ในกล่องน้ำแข็ง และนำไปวิเคราะห์ธาตุอาหารและองค์ประกอบทางชีวเคมี เช่นเดียวกับการทดลองที่ 1.1

## ผลการทดลอง

จากการศึกษาการเก็บรักษาน้ำยางสดและเซรัมน้ำยางสำหรับนำไปวิเคราะห์ไทออล ซูโครส อนินทรีย์ฟอสฟอรัส และธาตุอาหาร คือ แอมโมเนียม ไนเทรต โพแทสเซียม แมกนีเซียม และแคลเซียม ได้ผลดังนี้

**1.1 การเก็บรักษาเซรัมน้ำยางต่อค่าวิเคราะห์ธาตุอาหารและองค์ประกอบทางชีวเคมี**

เมื่อนำเซรัมน้ำยางซึ่งได้จากการแยกเซรัมจากเนื้อยางไปเก็บรักษาไว้ในตู้เย็น (20 องศาเซลเซียส) เป็นระยะเวลา 1 - 7 วัน พบว่า ไทออลในเซรัมน้ำยางลดลงเมื่อเก็บรักษาไว้ในตู้เย็นนานขึ้น โดยที่ไทออลลดลงอย่างต่อเนื่องจาก 0.29 มิลลิโมลาร์ ในวันแรกของการทดลอง เป็น 0.20 มิลลิโมลาร์ หลังจากเก็บในตู้เย็น 7 วัน ในขณะที่ซูโครสและอนินทรีย์ฟอสฟอรัสในเซรัมน้ำยางที่เก็บรักษาไว้เป็นระยะเวลา 1 - 7 วัน ไม่แตกต่างกัน โดยพบว่า ซูโครสมีค่า 7.85 – 8.47 มิลลิโมลาร์ และอนินทรีย์ฟอสฟอรัสอยู่ในช่วง 21.64 – 22.28 มิลลิโมลาร์ (ตารางที่ 3.1)

สำหรับความเข้มของธาตุอาหารในเซรัมน้ำยาง ได้แก่ แอมโมเนียมและไนเทรต มีการเปลี่ยนแปลงที่ไม่แน่นอน โดยมีค่า 1.33 - 2.65 และ 0.21 - 0.32 ตามลำดับ ในขณะที่ความเข้มข้นของโพแทสเซียมและแมกนีเซียมไม่เปลี่ยนแปลงในทางสถิติแม้จะเก็บเซรัมน้ำยางไว้ในตู้เย็นนาน 7 วัน โดยมีค่า 47.65 - 58.82 และ 11.30 - 14.77 มิลลิโมลาร์ ตามลำดับ แต่แคลเซียมจะเพิ่มขึ้น (ตารางที่ 3.2)

**ตารางที่ 3.1** ผลของระยะเวลาการเก็บรักษาเซรัมน้ำยางในตู้เย็นต่อองค์ประกอบทางชีวเคมีในเซรัมน้ำยาง

| ระยะเวลา (วัน) | ไทออล (mM) | ซูโครส (mM) | อนินทรีย์ฟอสฟอรัส (mM) |
|---|---|---|---|
| 1 | 0.29a | 7.91 | 21.72 |
| 2 | 0.27a | 8.35 | 21.85 |
| 3 | 0.26ab | 7.39 | 21.95 |
| 4 | 0.22cd | 8.44 | 22.11 |
| 5 | 0.22cd | 8.43 | 22.28 |
| 6 | 0.21d | 8.47 | 22.14 |
| 7 | 0.20d | 7.85 | 21.64 |
| F-test | ** | ns | ns |
| C.V.(%) | 11.05 | 12.52 | 13.78 |

หมายเหตุ ** คือ แตกต่างที่ระดับ P≤0.01 และ ns คือ ไม่แตกต่างทางสถิติ

ตัวอักษรเหมือนกันในคอลัมน์เดียวกันแสดงว่าค่าไม่แตกต่างทางสถิติเมื่อเปรียบเทียบโดยวิธี DMRT ที่ ระดับนัยสำคัญ 0.05

**ตารางที่ 3.2** ผลของระยะเวลาการเก็บรักษาเซรัมน้ำยางในตู้เย็นต่อธาตุอาหารในเซรัมน้ำยาง

| ระยะเวลา (วัน) | แอมโมเนียม (mM) | ไนเทรต (mM) | โพแทสเซียม (mM) | แคลเซียม (mM) | แมกนีเซียม (mM) |
|---|---|---|---|---|---|
| 1 | 1.62d | 0.21d | 52.13 | 0.54b | 12.25 |
| 2 | 2.65a | 0.25bc | 54.95 | 0.59b | 14.77 |
| 3 | 1.33e | 0.23cd | 47.67 | 0.70ab | 11.71 |
| 4 | 1.81c | 0.31a | 51.47 | 0.59b | 11.30 |
| 5 | 1.53d | 0.30a | 58.82 | 0.38c | 11.73 |
| 6 | 2.11b | 0.32a | 58.26 | 0.78a | 11.62 |
| 7 | 1.78c | 0.29ab | 58.25 | 0.66ab | 11.86 |
| F-test | ** | ** | ns | ** | ns |
| C.V.(%) | 4.13 | 7.30 | 9.12 | 16.73 | 10.02 |

หมายเหตุ ** คือ แตกต่างที่ระดับ P≤0.01 และ ns คือ ไม่แตกต่างทางสถิติ

ตัวอักษรเหมือนกันในคอลัมน์เดียวกันแสดงว่าค่าไม่แตกต่างทางสถิติเมื่อเปรียบเทียบโดยวิธี DMRT ที่ระดับนัยสำคัญ 0.05

**1.2 ผลของอุณหภูมิต่อการเก็บรักษาน้ำยางสดเพื่อวิเคราะห์ธาตุอาหารและองค์ประกอบทางชีวเคมี**

การเก็บรักษาน้ำยางสดในกล่องน้ำแข็งซึ่งมีอุณหภูมิ 3 องศาเซลเซียส และการเก็บที่อุณหภูมิห้องซึ่งมีอุณหภูมิ 31 องศาเซลเซียส เป็นระยะเวลา 1 - 10 ชั่วโมง โดยทุกๆ ชั่วโมง นำน้ำยางสดที่เก็บรักษาไว้มาแยกเซรัมจากเนื้อยางและเก็บรักษาในตู้เย็น หลังจากนั้นนำเซรัมที่ได้ทั้งหมดไปวิเคราะห์องค์ประกอบทางชีวเคมีและธาตุอาหาร พบว่า อุณหภูมิมีผลต่อการเก็บรักษาน้ำยางสดสำหรับนำไปวิเคราะห์องค์ประกอบทางชีวเคมีและธาตุอาหาร ดังนี้

**ซูโครส** ค่าซูโครสในน้ำยางสดที่เก็บที่อุณหภูมิห้องและในกล่องน้ำแข็งนาน 1 ชั่วโมง ไม่แตกต่างกัน แต่เมื่อเก็บน้ำยางสดไว้นานมากกว่า 1 ชั่วโมง พบว่า การเก็บน้ำยางสดที่อุณหภูมิห้องทำให้ซูโครสที่วิเคราะห์ได้ต่ำกว่าการเก็บรักษาน้ำยางสดในกล่องน้ำแข็งอย่างชัดเจน ($P \leq 0.01$) อย่างไรก็ตาม ซูโครสในน้ำยางที่เก็บไว้ที่อุณหภูมิปกติมีค่าลดลงรวดเร็วกว่าการแช่ในกล่องน้ำแข็ง (ตารางที่ 3. 3) โดยที่ซูโครสในน้ำยางที่เก็บไว้ที่อุณหภูมิห้องลดลงจาก 8.75 เหลือ 1.04 มิลลิโมลาร์ ในขณะที่เมื่อแช่น้ำยางสดในกล่องน้ำแข็งซูโครสลดลงจาก 9.05 เหลือ 6.30 มิลลิโมลาร์ เมื่อเก็บไว้นาน 10 ชั่วโมง

**อนินทรีย์ฟอสฟอรัส** ค่าอนินทรีย์ฟอสฟอรัสในน้ำยางที่เก็บไว้ที่อุณหภูมิห้องและในกล่องน้ำแข็งนาน 1 - 10 ชั่วโมง มีการเปลี่ยนแปลงน้อย และส่วนใหญ่ไม่แตกต่างกัน โดยมีค่าระหว่าง 23.67 – 25.68 และ 23.43 – 25.10 มิลลิโมลาร์ ตามลำดับ (ตารางที่ 3.3)

**ไทออล** ค่าไทออลในน้ำยางที่เก็บไว้ที่อุณหภูมิห้องและในกล่องน้ำแข็งนาน 1 - 10 ชั่วโมง มีการเปลี่ยนแปลงน้อย โดยมีค่าระหว่าง 0.29 – 0.35 และ 0.33 – 0.38 มิลลิโมลาร์ ตามลำดับ โดยที่การเก็บน้ำยางที่อุณหภูมิห้องทำให้ค่าไทออลที่วิเคราะห์ได้ส่วนใหญ่น้อยกว่าการเก็บไว้ในกล่องน้ำแข็งซึ่งมีอุณหภูมิต่ำ (ตารางที่ 3.3)

**แอมโมเนียมและไนเทรต** ค่าแอมโมเนียมในน้ำยางที่เก็บไว้ที่อุณหภูมิห้องและในกล่องน้ำแข็งนาน 1 - 10 ชั่วโมง มีการเปลี่ยนแปลงน้อยและการเก็บรักษาน้ำสดทั้งสองวิธีไม่ได้ทำให้ค่าแอมโมเนียมแตกต่างกัน โดยแอมโมเนียมที่ได้มีค่าระหว่าง 6.64 – 8.30 และ 7.23 – 8.25 มิลลิโมลาร์ ตามลำดับ ส่วนไนเทรตที่เก็บไว้ที่อุณหภูมิห้องส่วนใหญ่มีค่าต่ำกว่าเมื่อแช่ในน้ำแข็ง โดยไนเทรตในน้ำยางสดที่เก็บรักษาทั้งสองวิธี มีค่า 0.38 – 0.47 และ 0.36 – 0.44 มิลลิโมลาร์ (ตารางที่ 3.4)

**โพแทสเซียม แคลเซียม และแมกนีเซียม** การเก็บรักษาน้ำสดที่อุณหภูมิห้องและในกล่องน้ำแข็งเป็นเวลานาน 1 – 10 ชั่วโมง ไม่ทำให้ค่าทำให้ธาตุอาหารทั้งสามชนิดในน้ำยางแตกต่างกัน โดยการเก็บรักษาน้ำยางทั้งสองวิธี ให้ค่าโพแทสเซียมเท่ากับ 60.04 – 63.47 และ 59.55 – 63.64 มิลลิโมลาร์ ให้ค่าแคลเซียมเท่ากับ0.42 – 0.54 และ 0.42 – 0.61 มิลลิโมลาร์ และให้ค่าแมกนีเซียมเท่ากับ 12.63 – 13.58 และ 12.84 – 13.82 มิลลิโมลาร์ ตามลำดับ (ตารางที่ 3.4)

**ตารางที่ 3 3 ผลของอุณหภูมิต่อการเก็บรักษาน้ำยางสดเพื่อวิเคราะห์ ซูโครส อนินทรีย์ฟอสฟอรัส และไทออลในเซรัมน้ำยาง**

| องค์ประกอบทางชีวเคมี | วิธีการ | เวลาการเก็บรักษาน้ำยางสด (ชั่วโมง) | | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 |
| ซูโครส | แช่ในกล่องน้ำแข็ง | 9.05 | 8.17 | 8.43 | 8.80 | 8.42 | 7.55 | 7.40 | 6.81 | 6.47 | 6.30 |
| (mM) | อุณหภูมิห้อง | 8.75 | 9.62 | 6.63 | 5.71 | 5.00 | 4.11 | 3.08 | 2.13 | 1.21 | 1.04 |
| | T-test | ns | ** | ** | ** | ** | ** | ** | ** | ** | ** |
| | C.V. (%) | 3.97 | 2.46 | 3.24 | 4.04 | 3.24 | 2.13 | 1.27 | 1.13 | 4.16 | 1.21 |
| อนินทรีย์ฟอสฟอรัส | แช่ในกล่องน้ำแข็ง | 23.43 | 24.17 | 23.60 | 24.72 | 25.10 | 23.19 | 24.43 | 23.78 | 23.98 | 23.61 |
| (mM)) | อุณหภูมิห้อง | 24.10 | 23.95 | 23.86 | 23.77 | 24.68 | 25.64 | 25.39 | 24.05 | 25.68 | 23.96 |
| | T-test | ns | ns | ns | * | ns | ns | ** | ns | ns | ns |
| | C.V. (%) | 2.30 | 1.89 | 2.25 | 1.54 | 1.87 | 5.58 | 0.57 | 2.56 | 5.33 | 1.25 |
| ไทออล | แช่ในกล่องน้ำแข็ง | 0.34 | 0.34 | 0.33 | 0.35 | 0.36 | 0.36 | 0.36 | 0.37 | 0.38 | 0.35 |
| (mM) | อุณหภูมิห้อง | 0.35 | 0.30 | 0.34 | 0.33 | 0.33 | 0.33 | 0.32 | 0.30 | 0.29 | 0.30 |
| | T-test | ns | * | ns | ns | * | ns | * | ** | ** | ns |
| | C.V. (%) | 1.67 | 4.32 | 2.79 | 3.57 | 2.56 | 4.31 | 4.25 | 2.81 | 2.23 | 4.59 |

หมายเหตุ *, ** คือ แตกต่างที่ระดับ $P \leq 0.05$ และ $P \leq 0.01$ ตามลำดับ และ ns คือ ไม่แตกต่างทางสถิติที่ระดับ $P \geq 0.05$

**ตารางที่ 3.4** ผลของอุณหภูมิต่อการเก็บรักษาน้ำยางสดเพื่อวิเคราะห์ธาตุอาหารในเซรัมน้ำยาง

| ธาตุอาหาร | วิธีการ | เวลาการเก็บรักษาน้ำยางสด (ชั่วโมง) | | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 |
| แอมโมเนียม | แช่ในกล่องน้ำแข็ง | 8.25 | 8.00 | 7.88 | 7.41 | 7.63 | 7.23 | 7.38 | 7.85 | 6.63 | 7.71 |
| (mM) | อุณหภูมิห้อง | 8.20 | 7.62 | 7.91 | 8.30 | 8.09 | 7.56 | 7.90 | 7.89 | 6.72 | 6.64 |
| | T-test | ns | * | ns | ** | ns | ns | ns | ns | ns | * |
| | C.V. (%) | 1.60 | 2.02 | 3.04 | 1.36 | 7.73 | 8.63 | 4.33 | 4.47 | 10.32 | 5.63 |
| ไนเทรต | แช่ในกล่องน้ำแข็ง | 0.36 | 0.38 | 0.41 | 0.44 | 0.39 | 0.42 | 0.42 | 0.43 | 0.40 | 0.42 |
| (mM) | อุณหภูมิห้อง | 0.46 | 0.45 | 0.47 | 0.47 | 0.43 | 0.44 | 0.46 | 0.43 | 0.38 | 0.42 |
| | T-test | ** | ** | ** | ns | * | ns | * | ns | ns | ns |
| | C.V. (%) | 6.98 | 1.68 | 4.65 | 5.47 | 3.77 | 4.55 | 4.06 | 3.15 | 3.02 | 7.14 |
| โพแทสเซียม | แช่ในกล่องน้ำแข็ง | 59.72 | 62.03 | 60.82 | 62.20 | 61.53 | 58.98 | 63.64 | 60.20 | 61.44 | 59.55 |
| (mM) | อุณหภูมิห้อง | 62.74 | 63.10 | 62.47 | 61.40 | 62.47 | 62.78 | 64.41 | 60.47 | 62.11 | 60.04 |
| | T-test | ns | * | ** | ns | ns | ns | ns | ns | ns | ns |
| | C.V. (%) | 2.89 | 1.04 | 0.51 | 1.30 | 1.56 | 5.83 | 1.20 | 2.43 | 0.82 | 3.00 |
| แคลเซียม | แช่ในกล่องน้ำแข็ง | 0.50 | 0.49 | 0.54 | 0.51 | 0.42 | 0.42 | 0.50 | 0.54 | 0.61 | 0.54 |
| (mM) | อุณหภูมิห้อง | 0.54 | 0.47 | 0.52 | 0.51 | 0.42 | 0.50 | 0.47 | 0.50 | 0.46 | 0.46 |
| | T-test | ns | ns | ns | ns | ns | ns | ns | ns | ** | * |
| | C.V. (%) | 4.90 | 7.35 | 11.04 | 11.21 | 8.85 | 12.26 | 4.16 | 8.10 | 8.63 | 9.76 |
| แมกนีเซียม | แช่ในกล่องน้ำแข็ง | 13.23 | 13.20 | 13.19 | 13.47 | 13.82 | 12.74 | 13.30 | 12.84 | 13.19 | 13.08 |
| (mM) | อุณหภูมิห้อง | 13.57 | 13.28 | 13.30 | 13.11 | 13.71 | 13.58 | 13.43 | 12.68 | 13.81 | 12.63 |
| | T-test | ns | ns | ns | ns | ns | ns | ns | ns | ns | ns |
| | C.V. (%) | 1.60 | 2.03 | 2.29 | 1.78 | 2.37 | 5.60 | 0.86 | 2.73 | 3.99 | 1.75 |

หมายเหตุ *, ** คือ แตกต่างที่ระดับ $P \leq 0.05$ และ $P \leq 0.01$ ตามลำดับ และ ns คือ ไม่แตกต่างทางสถิติที่ระดับ $P \geq 0.05$

**1.3 ผลของอุณหภูมิและสารยับยั้งจุลินทรีย์ต่อการเก็บรักษาน้ำยางสดเพื่อวิเคราะห์ธาตุอาหารและองค์ประกอบทางชีวเคมี**

ผลการเก็บรักษาน้ำยางสดโดยแช่ในกล่องน้ำแข็ง เก็บที่อุณหภูมิห้อง และการเก็บที่อุณหภูมิปกติร่วมกับการใส่คลอโรฟอร์มซึ่งเป็นสารยับยั้งจุลินทรีย์ พบว่า มีผลต่อองค์ประกอบทางชีวเคมีและธาตุอาหารในน้ำยางดังนี้

**เนื้อยางแห้ง** วิธีการเก็บรักษาน้ำยางสดไว้นาน 0 – 6 ชั่วโมง ไม่ได้ทำให้ค่าน้ำหนักเนื้อยางแห้งแตกต่างกัน โดยเนื้อยางแห้งที่ได้จากเก็บรักษาน้ำยางสดโดยแช่ในกล่องน้ำแข็ง เก็บที่อุณหภูมิห้อง และเก็บที่อุณหภูมิห้องร่วมกับใส่คลอโรฟอร์ม หลังจากเก็บไว้ 0 - 6 ชั่วโมง มีค่าเท่ากับ 38.02 – 41.78, 37.27 – 40.82 และ 36.77 – 40.88 % ตามลำดับ (ตารางที่ 3.5)

**ซูโครส** การเก็บรักษาน้ำยางสดที่อุณหภูมิห้องและการเก็บที่อุณหภูมิห้องร่วมกับใส่คลอโรฟอร์มทำให้ซูโครสลดลงอย่างรวดเร็ว เมื่อเทียบกับการแช่น้ำยางสดในกล่องน้ำแข็ง โดยมีค่าซูโครสของการเก็บรักษาโดยวิธีแช่น้ำแข็ง เก็บที่อุณหภูมิห้อง และเก็บที่อุณหภูมิห้องร่วมกับใส่คลอโรฟอร์ม ลดลงจาก 4.41 เหลือ 3.82, 4.47 เหลือ 2.82, และ 4.48 เหลือ 2.87 มิลลิโมลาร์ เมื่อเก็บไว้ 0 และ 6 ชั่วโมง ตามลำดับ (ตารางที่ 3.5)

**อนินทรีย์ฟอสฟอรัส** การเก็บรักษาน้ำยางสดทั้ง 3 วิธี ไว้นาน 0 – 6 ชั่วโมง มีผลต่อการเปลี่ยนแปลงไทออลน้อยมาก โดยมีค่าอนินทรีย์ฟอสฟอรัสของการเก็บรักษาโดยวิธีแช่น้ำแข็ง เก็บที่อุณหภูมิห้อง และเก็บที่อุณหภูมิห้องร่วมกับใส่คลอโรฟอร์ม เท่ากับ 10.80 – 12.90, 11.92 – 13.63 และ 10.73 – 13.77 มิลลิโมลาร์ ตามลำดับ (ตารางที่ 3.5)

**ไทออล** การเก็บรักษาน้ำยางสดทั้ง 3 วิธี ส่วนใหญ่ไม่มีผลต่อการเปลี่ยนแปลงไทออล แต่เมื่อเก็บน้ำยางไว้นานไทออลที่วิเคราะห์ได้สูงกว่าการวิเคราะห์ทันที โดยค่าไทออลที่สกัดทันที (0 ชั่วโมง) เมื่อเก็บรักษาน้ำยาสดโดยวิธีแช่น้ำแข็ง เก็บที่อุณหภูมิห้อง และเก็บที่อุณหภูมิห้องร่วมกับใส่คลอโรฟอร์ม เท่ากับ 0.21, 0.22 และ 0.21 มิลลิโมลาร์ ตามลำดับ แต่เมื่อเก็บน้ำยางไว้นาน 6 ชั่วโมง วิเคราะห์ไทออลได้เท่ากับ 0.30, 0.32 และ 0.34 มิลลิโมลาร์ ตามลำดับ (ตารางที่ 3.5)

**แอมโมเนียมและไนเทรต** วิธีการเก็บรักษาน้ำยางสดทั้ง 3 วิธี ไม่มีผลต่อค่าแอมโมเนียมในเซรัมน้ำยาง แต่การเก็บน้ำยางสดไว้นานทำให้ค่าแอมโมเนียมในน้ำยางลดลง โดยค่าแอมโมเนียมที่สกัดทันที (0 ชั่วโมง) เมื่อเก็บรักษาน้ำยางสดโดยวิธีแช่น้ำแข็ง เก็บที่อุณหภูมิห้อง และเก็บที่อุณหภูมิห้องร่วมกับใส่คลอโรฟอร์ม เท่ากับ 6.16, 5.67 และ 4.92 มิลลิโมลาร์ ตามลำดับ แต่เมื่อเก็บน้ำยางไว้นาน 6 ชั่วโมง วิเคราะห์แอมโมเนียมได้เท่ากับ 4.08, 3.96 และ 3.93 มิลลิโมลาร์ ตามลำดับ (ตารางที่ 3.5) สำหรับไนเทรต การแช่ในกล่องน้ำแข็งทำให้ค่าไนเทรตส่วนใหญ่ต่ำกว่าการเก็บน้ำยางไว้ที่อุณหภูมิห้อง อย่างไรก็ตาม การเก็บรักษาไว้นาน 0- 6 ชั่วโมง มีผลต่อการเปลี่ยนแปลงไนเทรตน้อยมาก โดยค่าไนเทรตที่สกัดทันทีเมื่อเก็บรักษาน้ำยาสดโดยวิธีแช่น้ำแข็ง เก็บที่อุณหภูมิห้อง และเก็บที่อุณหภูมิห้องร่วมกับใส่คลอโรฟอร์ม เท่ากับ

0.30, 0.41 และ 0.51 มิลลิโมลาร์ ตามลำดับ แต่เมื่อเก็บน้ำยางไว้นาน 6 ชั่วโมง วิเคราะห์ไนเทรตได้เท่ากับ 0.40, 0.47 และ 0.45 มิลลิโมลาร์ ตามลำดับ (ตารางที่ 3.6)

**ตารางที่ 3.5** ผลของอุณหภูมิ และสารยับยั้งจุลินทรีย์ต่อการเก็บรักษาน้ำยางสด เพื่อวิเคราะห์องค์ประกอบทางชีวเคมี และธาตุอาหารในน้ำยาง

| องค์ประกอบทางชีวเคมี | วิธีการ | เวลา (ชั่วโมง) | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | 0 | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 |
| เนื้อยางแห้ง | แช่น้ำแข็ง | 38.02 | 39.09 | 38.30 | 39.90 | 38.91 | 39.61 | 41.78 |
| (%) | อุณหภูมิห้อง | 39.21 | 38.61 | 37.27 | 38.45 | 39.94 | 40.22 | 40.82 |
| | อุณหภูมิห้อง + คลอโรฟอร์ม | 38.32 | 37.14 | 36.77 | 38.62 | 40.71 | 39.85 | 40.88 |
| | F-test | ns | ns | NS | NS | NS | NS | NS |
| | C.V. (%) | 4.26 | 4.15 | 4.08 | 4.46 | 2.84 | 3.83 | 5.15 |
| ซูโครส | แช่น้ำแข็ง | 4.41 | 4.25a | 4.45a | 3.27a | 3.88a | 3.93a | 3.82a |
| (mM) | อุณหภูมิห้อง | 4.47 | 4.03b | 4.02b | 2.78b | 3.22b | 3.38b | 2.82b |
| | อุณหภูมิห้อง + คลอโรฟอร์ม | 4.48 | 4.15ab | 3.70c | 2.67b | 3.25b | 3.39b | 2.87b |
| | F-test | ns | * | ** | * | ** | ** | ** |
| | C.V. (%) | 2.15 | 2.41 | 3.72 | 9.61 | 6.38 | 2.34 | 4.11 |
| อนินทรีย์ฟอสฟอรัส | แช่น้ำแข็ง | 12.35b | 12.51 | 12.33 | 10.80 | 12.90 | 12.78b | 11.80 |
| (mM) | อุณหภูมิห้อง | 12.51b | 12.80 | 12.74 | 11.92 | 13.56 | 13.63a | 12.17 |
| | อุณหภูมิห้อง + คลอโรฟอร์ม | 13.77a | 12.88 | 12.69 | 10.73 | 12.92 | 13.72a | 12.66 |
| | F-test | ** | ns | ns | ns | ns | ** | ns |
| | C.V. (%) | 4.92 | 2.44 | 4.56 | 6.78 | 3.48 | 1.60 | 4.74 |
| ไทออล | แช่น้ำแข็ง | 0.21 | 0.18 | 0.16 | 0.16b | 0.20b | 0.24b | 0.30 |
| (mM) | อุณหภูมิห้อง | 0.22 | 0.19 | 0.21 | 0.21a | 0.24a | 0.26b | 0.32 |
| | อุณหภูมิห้อง + คลอโรฟอร์ม | 0.21 | 0.22 | 0.19 | 0.19a | 0.23ab | 0.32a | 0.34 |
| | F-test | ns | ns | ns | * | * | ** | ns |
| | C.V. (%) | 5.44 | 13.54 | 21.47 | 10.80 | 8.35 | 6.88 | 11.82 |

หมายเหตุ *, ** คือ แตกต่างที่ระดับ P≤0.05 และ P≤0.01 ตามลำดับ และ ns คือ ไม่แตกต่างทางสถิติ ตัวอักษรเหมือนกันในคอลัมน์เดียวกันแสดงว่าค่าไม่แตกต่างทางสถิติเมื่อเปรียบเทียบโดยวิธี DMRT ที่ ระดับนัยสำคัญ 0.05

**โพแทสเซียม แคลเซียม และแมกนีเซียม** การเก็บรักษาน้ำยางสดโดยวิธีแช่น้ำแข็ง เก็บที่อุณหภูมิห้อง และเก็บที่อุณหภูมิห้องร่วมกับใส่คลอโรฟอร์มไม่มีผลต่อค่าวิเคราะห์โพแทสเซียมและแมกนีเซียม แต่เมื่อเก็บรักษาน้ำยางไว้นานทำให้ค่าธาตุอาหารในเซรัมน้ำยางลดลง โดยค่าโพแทสเซียมที่วิเคราะห์ทันทีของทั้ง 3 วิธี คือ 48.82, 46.96 และ 49.85 มิลลิโมลาร์ แต่เมื่อเก็บรักษาไว้ 6 ชั่วโมง เท่ากับ 30.35, 33.72 และ 34.35 มิลลิโมลาร์ ตามลำดับ ค่าแมกนีเซียมที่วิเคราะห์ทันทีของทั้ง 3 วิธี คือ 16.38, 15.37 และ 16.27 มิลลิโมลาร์ แต่เมื่อเก็บรักษาไว้ 6 ชั่วโมง เท่ากับ 12.59, 12.12 และ 12.90 มิลลิโมลาร์ ตามลำดับ นอกจากนั้น วิธีการเก็บรักษาน้ำยางไม่มีผลต่อค่าแคลเซียมและการเก็บรักษาน้ำยางไว้นาน 0 – 6 ชั่วโมง ก็ไม่ทำให้ค่าแคลเซียมที่วิเคราะห์ได้แตกต่างกันมาก (ตารางที่ 3.6)

**1.4 ผลของอุณหภูมิต่อการเก็บรักษาเซรัมน้ำยางเพื่อวิเคราะห์ธาตุอาหารและองค์ประกอบทางชีวเคมี**

เซรัมน้ำยางที่ได้จากการสกัดด้วยสารละลายกรดผสมไทรคลอโรอะซีทิกแอซิดและอีดีทีเอ ซึ่งเก็บรักษาไว้ในกล่องน้ำแข็ง และที่อุณหภูมิห้อง เป็นระยะเวลา 1, 2, 4, 6 และ 8 ชั่วโมง ก่อนทำการวิเคราะห์องค์ประกอบทางชีวเคมี พบว่า การเก็บรักษาเซรัมน้ำยางทั้ง 2 วิธี ให้ค่าวิเคราะห์ ซูโครส อนินทรีย์ฟอสฟอรัส และไทออล และแอมโมเนียมไม่แตกต่างกัน (ตารางที่ 3.7) โดยการเก็บเซรัมในกล่องน้ำแข็งและเก็บที่อุณหภูมิห้องให้ค่าซูโครส 5.64 – 6.35 และ 5.24 – 594 มิลลิโมลาร์ อนินทรีย์ฟอสฟอรัส 13.15 – 14.04 มิลลิโมลาร์ และ 12.85 – 13.58 มิลลิโมลาร์ ไทออล 0.16 – 0.22 มิลลิโมลาร์ และ 0.14 – 0.21 มิลลิโมลาร์ และแอมโมเนียม 0.80 – 1.77 และ 1.33 – 2.45 มิลลิโมลาร์ ตามลำดับ อย่างไรก็ตาม การเก็บเซรัมน้ำยางไว้นานเกิน 6 ชั่วโมง โดยการแช่น้ำแข็ง หรือเก็บที่อุณหภูมิห้อง ก็ทำให้ค่าไทออลและแอมโมเนียมที่วิเคราะห์ได้ลดลง

**ตารางที่ 3.6** ผลของอุณหภูมิ และสารยับยั้งจุลินทรีย์ต่อการเก็บรักษาน้ำยางสด เพื่อวิเคราะห์องค์ประกอบทางชีวเคมี และธาตุอาหารในน้ำยาง

| ธาตุอาหาร | วิธีการ | เวลา (ชั่วโมง) | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 |
| แอมโมเนียม | แช่น้ำแข็ง | 6.16 | 5.23 | 4.65 | 4.65 | 4.01 | 4.08 |
| (mM) | อุณหภูมิห้อง | 5.67 | 5.66 | 5.09 | 5.60 | 3.92 | 3.96 |
| | อุณหภูมิห้อง + คลอโรฟอร์ม | 4.92 | 4.86 | 4.54 | 4.82 | 4.05 | 3.93 |
| | F-test | ns | ns | ns | ns | ns | ns |
| | C.V. (%) | 13.33 | 8.83 | 14.24 | 11.83 | 15.32 | 18.50 |
| ไนเทรต | แช่น้ำแข็ง | 0.30c | 0.30b | 0.31c | 0.39b | 0.39b | 0.40 |
| (mM) | อุณหภูมิห้อง | 0.41b | 0.42a | 0.46b | 0.49a | 0.44ab | 0.47 |
| | อุณหภูมิห้อง + คลอโรฟอร์ม | 0.51a | 0.47a | 0.49a | 0.53a | 0.48a | 0.45 |
| | F-test | ** | ** | ** | ** | * | ns |
| | C.V. (%) | 10.40 | 9.54 | 6.01 | 8.90 | 7.30 | 8.39 |
| โพแทสเซียม | แช่น้ำแข็ง | 48.82 | 43.43b | 43.43 | 44.85 | 33.05 | 34.35 |
| (mM) | อุณหภูมิห้อง | 46.96 | 46.25a | 43.13 | 45.90 | 36.67 | 33.72 |
| | อุณหภูมิห้อง + คลอโรฟอร์ม | 49.85 | 45.54a | 46.26 | 46.27 | 36.02 | 34.35 |
| | F-test | ns | ** | ns | ns | ns | ns |
| | C.V. (%) | 6.20 | 1.42 | 6.50 | 4.91 | 8.36 | 5.12 |
| แคลเซียม | แช่น้ำแข็ง | 0.63 | 0.72 | 0.69 | 0.60 | 0.51b | 0.69a |
| (mM) | อุณหภูมิห้อง | 0.71 | 0.76 | 0.66 | 0.67 | 0.68a | 0.77a |
| | อุณหภูมิห้อง + คลอโรฟอร์ม | 0.66 | 0.64 | 0.60 | 0.60 | 0.65a | 0.57b |
| | F-test | ns | ns | ns | ns | ** | ** |
| | C.V. (%) | 7.82 | 7.03 | 9.44 | 8.82 | 8.47 | 6.78 |
| แมกนีเซียม | แช่น้ำแข็ง | 16.38 | 14.53 | 14.29 | 15.32 | 12.37 | 12.59 |
| (mM) | อุณหภูมิห้อง | 15.37 | 15.96 | 14.95 | 15.29 | 13.13 | 12.12 |
| | อุณหภูมิห้อง + คลอโรฟอร์ม | 16.27 | 15.44 | 14.71 | 15.96 | 13.56 | 12.90 |
| | F-test | ns | ns | ns | ns | ns | ns |
| | C.V. (%) | 4.56 | 3.95 | 6.01 | 5.14 | 7.15 | 5.76 |

หมายเหตุ *, ** คือ แตกต่างที่ระดับ P≤0.05 และ P≤0.01 ตามลำดับ และ ns คือ ไม่แตกต่างทางสถิติ ตัวอักษรเหมือนกันในคอลัมน์เดียวกันแสดงว่าค่าไม่แตกต่างทางสถิติเมื่อเปรียบเทียบโดยวิธี DMRT ที่ ระดับนัยสำคัญ 0.05

**ตารางที่ 3.7** ผลของการเก็บรักษาเซรัมน้ำยาง ที่ระยะเวลาต่างๆ ต่อองค์ประกอบทางชีวเคมี และธาตุอาหารในเซรัมน้ำยาง

| องค์ประกอบทางชีวเคมี และธาตุอาหาร | วิธีการ | ระยะเวลาการเก็บรักษาเซรัม (ชม.) | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| | | 1 | 2 | 4 | 6 | 8 |
| ซูโครส | แช่ในกล่องน้ำแข็ง | 6.35 | 6.22 | 6.03 | 5.64 | 5.96 |
| (mM) | เก็บไว้ที่อุณหภูมิห้อง | 5.84 | 5.94 | 5.57 | 5.26 | 5.54 |
| | t-test | ns | ns | ns | ns | ns |
| | C.V. (%) | 14.02 | 14.15 | 13.54 | 14.16 | 13.12 |
| อนินทรีย์ฟอสฟอรัส | แช่ในกล่องน้ำแข็ง | 14.03 | 13.15 | 13.40 | 13.50 | 13.25 |
| (mM) | เก็บไว้ที่อุณหภูมิห้อง | 13.58 | 12.86 | 12.85 | 13.17 | 12.96 |
| | t-test | ns | ns | ns | ns | ns |
| | C.V. (%) | 13.02 | 14.25 | 12.73 | 13.26 | 13.05 |
| ไทออล | แช่ในกล่องน้ำแข็ง | 0.22 | 0.21 | 0.16 | 0.20 | 0.17 |
| (mM) | เก็บไว้ที่อุณหภูมิห้อง | 0.21 | 0.17 | 0.13 | 0.16 | 0.14 |
| | t-test | ns | ns | ns | ns | ns |
| | C.V. (%) | 11.73 | 19.75 | 16.43 | 19.12 | 17.30 |
| แอมโมเนียม | แช่ในกล่องน้ำแข็ง | 1.38 | 1.77 | 1.12 | 0.99 | 0.80 |
| (mM) | เก็บไว้ที่อุณหภูมิห้อง | 1.44 | 2.45 | 1.44 | 1.48 | 1.33 |
| | t-test | ns | ns | ns | ns | ns |
| | C.V. (%) | 33.71 | 27.36 | 19.28 | 24.31 | 33.95 |

หมายเหตุ *, ** คือ แตกต่างที่ระดับ $P \leq 0.05$ และ $P \leq 0.01$ ตามลำดับ และ ns คือ ไม่แตกต่างทางสถิติ

### 1.5 ผลของการเจือจางน้ำยางสดต่อการเก็บรักษาน้ำยางเพื่อวิเคราะห์ธาตุอาหารและองค์ประกอบทางชีวเคมี

ผลของการเจือจางน้ำยางสด 2 เท่าด้วยน้ำกลั่นปราศจากไอออน และน้ำกลั่นที่มีอีดีทีเอ 0.01% โดยแช่ในกล่องน้ำแข็ง และไม่แช่น้ำแข็ง (เก็บไว้ที่อุณหภูมิห้อง) เป็นระยะเวลา 0, 1, 2, 4 และ 6 ชั่วโมง ก่อนทำการสกัดเซรัมน้ำยาง และนำมาวิเคราะห์ พบว่า การเจือจางทำให้ค่าวิเคราะห์มีแนวโน้มสูงกว่าที่ไม่เจือจาง โดยมีผลต่อค่าวิเคราะห์ธาตุต่างๆ และ องค์ประกอบทางชีวเคมีในเซรัมน้ำยาง ดังนี้

**เนื้อยางแห้ง** การเจือจางและเก็บน้ำยางไว้ในกล่องน้ำแข็งไม่มีผลต่อค่าวิเคราะห์เนื้อยางแห้ง แต่ถ้าเก็บไว้ที่อุณหภูมิห้อง (ไม่แช่น้ำแข็ง) พบว่าเนื้อยางแห้งมีค่าเพิ่มขึ้นหลังเก็บน้ำยางไว้นานเกิน 2 ชั่วโมง (ตารางที่ 3.8) อย่างไรก็ตาม ถ้าวิเคราะห์เนื้อยางแห้งภายใน 2 ชั่วโมงหลังการเจือจางจะไม่มีผลต่อค่าวิเคราะห์เนื้อยาง

**ซูโครส** การเจือจางทำให้ค่าวิเคราะห์ซูโครสสูงกว่าไม่เจือจาง โดยที่การเจือจางด้วย 0.01% EDTA ทำให้ค่าวิเคราะห์ซูโครสสูงกว่าการเจือจางด้วยน้ำกลั่น น้ำยางที่เจือจางแล้วสามารถจะเก็บไว้ที่อุณหภูมิห้อง

ได้นานถึง 4 ชั่วโมง โดยไม่ส่งผลต่อคาวิเคราะห์ซูโครส อย่างไรก็ตาม น้ำยางที่เจือจางด้วยน้ำกลั่นและ 0.01% EDTA โดยไม่แช่น้ำแข็งค่าซูโครสที่วิเคราะห์ได้หลังจากเก็บไว้นาน 6 ชั่วโมง ลดลงเหลือ 1.39 และ 1.77 มิลลิโมลาร์ ในขณะที่หากสกัดทันทีจะได้ค่าซูโครสเท่ากับ 4.65 และ 4.76 มิลลิโมลาร์ ตามลำดับ (ตารางที่ 3.9)

**อนินทรีย์ฟอสฟอรัส** การเจือจางทำให้ค่าวิเคราะห์อนินทรีย์ฟอสฟอรัสสูงกว่าไม่เจือจาง และการเจือจางแล้วไม่ได้แช่น้ำแข็งทำให้ค่าอนินทรีย์ฟอสฟอรัสสูงกว่าที่แช่ในน้ำแข็ง การเจือจางด้วยน้ำกลั่นและ 0.01% EDTA โดยไม่แช่น้ำแข็งได้ค่าวิเคราะห์อนินทรีย์ฟอสฟอรัส 14.36 - 16.15 และ 15.17 - 16.05 มิลลิโมลาร์ในขณะที่เมื่อแช่น้ำแข็งได้ค่าอนินทรีย์ฟอสฟอรัส 13.33 - 14.87 และ 13.53 - 15.07 มิลลิโมลาร์ ตามลำดับ (ตารางที่ 3.10)

**ไทออล** การเจือจางทำให้ค่าวิเคราะห์ไทออลสูงกว่าไม่เจือจาง และเมื่อเก็บตัวอย่างน้ำยางไว้นานทั้งที่แช่และไม่แช่น้ำแข็งทำให้ค่าวิเคราะห์ไทออลมีแนวโน้มสูงขึ้น (ตารางที่ 3.11)

**แอมโมเนียมและไนเทรต** การเจือจางและสกัดเซรัมทันทีไม่มีผลต่อค่าวิเคราะห์แอมโมเนียม แต่เมื่อเก็บไว้เกิน 1 ชั่วโมง พบว่า ค่าที่ได้จะมากขึ้นและการเจือจางทำให้ค่าวิเคราะห์แอมโมเนียมสูงกว่าไม่เจือจาง โดยเฉพาะเมื่อไม่ได้แช่น้ำแข็งค่าที่ได้จะสูงกว่าที่แช่น้ำแข็ง การเจือจางด้วยน้ำกลั่นและ 0.01% EDTA โดยไม่แช่น้ำแข็งได้ค่าวิเคราะห์แอมโมเนียม 1.09 - 2.98 และ 1.07 - 2.57 มิลลิโมลาร์ ในขณะที่เมื่อแช่น้ำแข็งได้ค่าแอมโมเนียม 1.13 - 1.51 และ 1.05 - 1.40 มิลลิโมลาร์ ตามลำดับ (ตารางที่ 3.12) ส่วนไนเทรตต่ำมากไม่สามารถจะวิเคราะห์ได้

**โพแทสเซียม แคลเซียม และแมกนีเซียม** การเจือจางทำให้ค่าวิเคราะห์โพแทสเซียมและแมกนีเซียมสูงขึ้นเล็กน้อย (ตารางที่ 3.13 และ 3.15) แต่ไม่มีผลต่อค่าแคลเซียม (ตารางที่ -ใ14) เมื่อพิจารณาโดยรวมแล้วพบว่า ทั้งการเจือจางและไม่เจือจางไม่ส่งผลต่อค่าวิเคราะห์ หากสกัดเซรัมมาวิเคราะห์ภายใน 6 ชั่วโมง เมื่อแช่น้ำยางในกล่องน้ำแข็ง

**ตารางที่ 3.8** ผลของการเจือจางน้ำยางสด ต่อเนื้อยางแห้ง (เปอร์เซ็นต์)

| วิธีการ | ระยะเวลาการเก็บรักษาน้ำยาง (ชม.) | | | | |
|---|---|---|---|---|---|
| | 0 | 1 | 2 | 4 | 6 |
| น้ำยางสด แช่น้ำแข็ง | 34.16 | 35.04 | 34.02 | 34.00ab | 32.51b |
| เจือจางน้ำยางสด 2 เท่า ด้วยน้ำกลั่นและแช่น้ำแข็ง | 34.03 | 33.23 | 32.53 | 32.50c | 32.06b |
| เจือจางน้ำยางสด 2 เท่า ด้วยน้ำกลั่นแต่ไม่แช่น้ำแข็ง | 33.50 | 33.38 | 34.04 | 35.04a | 34.19a |
| เจือจางน้ำยางสด 2 เท่า ด้วย 0.01% EDTA และแช่น้ำแข็ง | 33.11 | 34.95 | 32.85 | 32.84bc | 33.41ab |
| เจือจางน้ำยางสด 2 เท่า ด้วย 0.01% EDTA แต่ไม่แช่น้ำแข็ง | 33.78 | 33.10 | 33.99 | 34.68a | 34.71a |
| F-test | ns | ns | ns | ** | ** |
| C.V. (%) | 2.71 | 4.56 | 2.26 | 2.03 | 2.43 |

**ตารางที่ 3.9** ผลของการเจือจางน้ำยางสด ต่อซูโครส (mM) ในน้ำยาง

| วิธีการ | ระยะเวลาการเก็บรักษาน้ำยาง (ชม.) | | | | |
|---|---|---|---|---|---|
| | 0 | 1 | 2 | 4 | 6 |
| น้ำยางสด แช่น้ำแข็ง | 4.49 | 3.67b | 3.63c | 4.06b | 4.80a |
| เจือจางน้ำยางสด 2 เท่า ด้วยน้ำกลั่นและแช่น้ำแข็ง | 4.56 | 4.03ab | 4.32b | 4.56ab | 5.09a |
| เจือจางน้ำยางสด 2 เท่า ด้วยน้ำกลั่นแต่ไม่แช่น้ำแข็ง | 4.65 | 4.39a | 4.43ab | 4.56ab | 1.39b |
| เจือจางน้ำยางสด 2 เท่า ด้วย 0.01% EDTA และแช่น้ำแข็ง | 4.29 | 4.38a | 4.73a | 5.09a | 4.65a |
| เจือจางน้ำยางสด 2 เท่า ด้วย 0.01% EDTA แต่ไม่แช่น้ำแข็ง | 4.76 | 4.19a | 4.77a | 5.15a | 1.77b |
| F-test | ns | ** | ** | * | ** |
| C.V. (%) | 4.31 | 4.93 | 4.63 | 7.42 | 6.94 |

หมายเหตุ *, ** คือ แตกต่างที่ระดับ P≤0.05 และ P≤0.01 ตามลำดับ และ ns คือ ไม่แตกต่างทางสถิติ

**ตารางที่ 3.10** ผลของการเจือจางน้ำยางสด ต่ออนินทรีย์ฟอสฟอรัส (mM) ในน้ำยาง

| วิธีการ | ระยะเวลาการเก็บรักษาน้ำยาง (ชม.) | | | | |
|---|---|---|---|---|---|
| | 0 | 1 | 2 | 4 | 6 |
| น้ำยางสด แช่น้ำแข็ง | 12.59b | 11.11c | 11.23c | 11.95b | 11.94c |
| เจือจางน้ำยางสด 2 เท่า ด้วยน้ำกลั่นและแช่น้ำแข็ง | 13.66b | 13.33b | 14.24b | 14.87a | 13.67b |
| เจือจางน้ำยางสด 2 เท่า ด้วยน้ำกลั่นแต่ไม่แช่น้ำแข็ง | 14.36ab | 14.71ab | 14.54b | 14.88a | 16.15a |
| เจือจางน้ำยางสด 2 เท่า ด้วย 0.01% EDTA และแช่น้ำแข็ง | 13.53b | 14.45ab | 15.07ab | 14.09a | 14.90ab |
| เจือจางน้ำยางสด 2 เท่า ด้วย 0.01% EDTA แต่ไม่แช่น้ำแข็ง | 16.05a | 15.17a | 15.81a | 15.70a | 15.82a |
| F-test | * | ** | ** | ** | ** |
| C.V. (%) | 7.91 | 6.70 | 3.34 | 6.61 | 6.22 |

หมายเหตุ *, ** คือ แตกต่างที่ระดับ P≤0.05 และ P≤0.01 ตามลำดับ และ ns คือ ไม่แตกต่างทางสถิติ

**ตารางที่ 3.11** ผลของการเจือจางน้ำยางสด ต่อไทออล (mM) ในน้ำยาง

| วิธีการ | ระยะเวลาการเก็บรักษาน้ำยาง (ชม.) | | | | |
|---|---|---|---|---|---|
| | 0 | 1 | 2 | 4 | 6 |
| น้ำยางสด แช่น้ำแข็ง | 0.18b | 0.18 | 0.19c | 0.21c | 0.21b |
| เจือจางน้ำยางสด 2 เท่า ด้วยน้ำกลั่นและแช่น้ำแข็ง | 0.21a | 0.19 | 0.23b | 0.27ab | 0.22b |
| เจือจางน้ำยางสด 2 เท่า ด้วยน้ำกลั่นแต่ไม่แช่น้ำแข็ง | 0.22a | 0.22 | 0.22b | 0.26ab | 0.24ab |
| เจือจางน้ำยางสด 2 เท่า ด้วย 0.01% EDTA และแช่น้ำแข็ง | 0.21a | 0.21 | 0.23b | 0.25b | 0.24ab |
| เจือจางน้ำยางสด 2 เท่า ด้วย 0.01% EDTA แต่ไม่แช่น้ำแข็ง | 0.22a | 0.25 | 0.27a | 0.31a | 0.26a |
| F-test | * | ns | ** | ** | * |
| C.V. (%) | 5.52 | 13.91 | 5.99 | 9.03 | 9.04 |

หมายเหตุ *, ** คือ แตกต่างที่ระดับ P≤0.05 และ P≤0.01 ตามลำดับ และ ns คือ ไม่แตกต่างทางสถิติ

**ตารางที่ 3.12** ผลของการเจือจางน้ำยางสด ต่อแอมโมเนียม (mM) ในน้ำยาง

| วิธีการ | ระยะเวลาการเก็บรักษาน้ำยาง (ชม.) | | | | |
|---|---|---|---|---|---|
| | 0 | 1 | 2 | 4 | 6 |
| น้ำยางสด แช่น้ำแข็ง | 1.03 | 0.94b | 1.17 | 1.19b | 1.42b |
| เจือจางน้ำยางสด 2 เท่า ด้วยน้ำกลั่นและแช่น้ำแข็ง | 1.13 | 1.44ab | 1.14 | 1.23b | 1.51b |
| เจือจางน้ำยางสด 2 เท่า ด้วยน้ำกลั่นแต่ไม่แช่น้ำแข็ง | 1.09 | 1.76a | 1.24 | 1.86a | 2.98a |
| เจือจางน้ำยางสด 2 เท่า ด้วย 0.01% EDTA และแช่น้ำแข็ง | 1.05 | 1.34bc | 1.23 | 1.27b | 1.40b |
| เจือจางน้ำยางสด 2 เท่า ด้วย 0.01% EDTA แต่ไม่แช่น้ำแข็ง | 1.21 | 1.07bc | 1.39 | 1.42b | 2.57a |
| F-test | ns | ** | ns | ** | ** |
| C.V. (%) | 14.50 | 16.47 | 17.70 | 8.81 | 12.88 |

หมายเหตุ *, ** คือ แตกต่างที่ระดับ P≤0.05 และ P≤0.01 ตามลำดับ และ ns คือ ไม่แตกต่างทางสถิติ

**ตารางที่ 3.13** ผลของการเจือจางน้ำยางสด ต่อโพแทสเซียม (mM) ในน้ำยาง

| วิธีการ | ระยะเวลาการเก็บรักษาน้ำยาง (ชม.) | | | | |
|---|---|---|---|---|---|
| | 0 | 1 | 2 | 4 | 6 |
| น้ำยางสด แช่น้ำแข็ง | 59.13 | 49.18b | 52.66c | 52.39b | 53.52b |
| เจือจางน้ำยางสด 2 เท่า ด้วยน้ำกลั่นและแช่น้ำแข็ง | 61.26 | 56.04ab | 58.47b | 58.38a | 57.58ab |
| เจือจางน้ำยางสด 2 เท่า ด้วยน้ำกลั่นแต่ไม่แช่น้ำแข็ง | 58.34 | 58.52a | 58.10b | 59.97a | 57.33ab |
| เจือจางน้ำยางสด 2 เท่า ด้วย 0.01% EDTA และแช่น้ำแข็ง | 59.44 | 58.65a | 59.10b | 57.49a | 58.65ab |
| เจือจางน้ำยางสด 2 เท่า ด้วย 0.01% EDTA แต่ไม่แช่น้ำแข็ง | 56.80 | 60.31a | 62.28a | 61.33a | 61.82a |
| F-test | ns | * | ** | ** | * |
| C.V. (%) | 8.88 | 6.70 | 2.64 | 3.90 | 5.09 |

หมายเหตุ *, ** คือ แตกต่างที่ระดับ P≤0.05 และ P≤0.01 ตามลำดับ และ ns คือ ไม่แตกต่างทางสถิติ

**ตารางที่ 3.14** ผลของการเจือจางน้ำยางสด ต่อแคลเซียม (mM) ในน้ำยาง

| วิธีการ | ระยะเวลาการเก็บรักษาน้ำยาง (ชม.) | | | | |
|---|---|---|---|---|---|
| | 0 | 1 | 2 | 4 | 6 |
| น้ำยางสด แช่น้ำแข็ง | 0.71 | 0.70 | 0.82 | 0.64 | 0.51b |
| เจือจางน้ำยางสด 2 เท่า ด้วยน้ำกลั่นและแช่น้ำแข็ง | 0.72 | 0.69 | 0.74 | 0.45 | 0.62a |
| เจือจางน้ำยางสด 2 เท่า ด้วยน้ำกลั่นแต่ไม่แช่น้ำแข็ง | 0.73 | 0.72 | 0.88 | 0.58 | 0.61a |
| เจือจางน้ำยางสด 2 เท่า ด้วย 0.01% EDTA และแช่น้ำแข็ง | 0.67 | 0.75 | 0.74 | 0.56 | 0.66a |
| เจือจางน้ำยางสด 2 เท่า ด้วย 0.01% EDTA แต่ไม่แช่น้ำแข็ง | 0.74 | 0.73 | 0.75 | 0.67 | 0.66a |
| F-test | ns | ns | ns | ns | * |
| C.V. (%) | 12.97 | 11.05 | 9.65 | 20.00 | 7.61 |

หมายเหตุ *, ** คือ แตกต่างที่ระดับ P≤0.05 และ P≤0.01 ตามลำดับ และ ns คือ ไม่แตกต่างทางสถิติ

**ตารางที่ 3.15** ผลของการเจือจางน้ำยางสด ต่อแมกนีเซียม (mM) ในน้ำยาง

| วิธีการ | ระยะเวลาการเก็บรักษาน้ำยาง (ชม.) | | | | |
|---|---|---|---|---|---|
| | 0 | 1 | 2 | 4 | 6 |
| น้ำยางสด แช่น้ำแข็ง | 19.32 | 16.90b | 18.20b | 17.33 | 18.05 |
| เจือจางน้ำยางสด 2 เท่า ด้วยน้ำกลั่นและแช่น้ำแข็ง | 20.07 | 19.84ab | 21.17a | 20.60 | 20.60 |
| เจือจางน้ำยางสด 2 เท่า ด้วยน้ำกลั่นแต่ไม่แช่น้ำแข็ง | 20.97 | 21.49a | 22.19a | 21.94 | 20.55 |
| เจือจางน้ำยางสด 2 เท่า ด้วย 0.01% EDTA และแช่น้ำแข็ง | 21.10 | 21.47a | 22.24a | 20.67 | 21.05 |
| เจือจางน้ำยางสด 2 เท่า ด้วย 0.01% EDTA แต่ไม่แช่น้ำแข็ง | 20.35 | 22.05a | 21.36a | 20.50 | 21.56 |
| F-test | ns | * | ** | ns | ns |
| C.V. (%) | 5.72 | 8.11 | 5.56 | 9.50 | 8.06 |

หมายเหตุ *, ** คือ แตกต่างที่ระดับ P≤0.05 และ P≤0.01 ตามลำดับ และ ns คือ ไม่แตกต่างทางสถิติ

**2. ศึกษาเวลาที่เหมาะสมในการเก็บน้ำยาง สำหรับวิเคราะห์องค์ประกอบทางชีวเคมีและธาตุอาหารพืช**

การเจาะเก็บน้ำยางสดที่ช่วงเช้า (8.00-10.00 น.) และช่วงบ่าย (14.00 -16.00 น.) และนำไปตกตะกอนด้วยไทรคลอโนอะซีทิกแอซิดผสมอีดีทีเอ เพื่อแยกเซรัมจากเนื้อยาง แล้วนำเซรัมไปวิเคราะห์องค์ประกอบทางชีวเคมี และธาตุอาหาร พบว่า การเก็บตัวอย่างน้ำยางในช่วงเช้าและช่วงบ่ายส่งผลต่อองค์ประกอบทางชีวเคมี และธาตุอาหาร ดังนี้ ค่าซูโครสและไนเทรตในช่วงบ่ายจะสูงกว่าในช่วงเช้า

ในขณะที่ค่าอนินทรีย์ฟอสฟอรัส แอมโมเนียม แคลเซียม และแมกนีเซียม ในตัวอย่างน้ำยางสดที่เก็บในช่วงเช้าจะมีค่าสูงกว่า แต่การเจาะเก็บน้ำยางสดในช่วงช้าและบ่ายไม่มีผลต่อปริมาณของแข็งทั้งหมด เนื้อยางแห้ง ไทออล และโพแทสเซียมในเซรัมน้ำยาง (ตารางที่ 3.16 และ 3.17)

**ตารางที่ 3.16** ผลของช่วงเวลาการเจาะเก็บน้ำยางสดต่อองค์ประกอบทางชีวเคมีในน้ำยาง

| เวลาการเจาะเก็บน้ำยาง | ปริมาณของแข็งทั้งหมด (%) | เนื้อยางแห้ง (%) | ไทออล (mM) | ซูโครส (mM) | อนินทรีย์ฟอสฟอรัส (mM) |
|---|---|---|---|---|---|
| เช้า | 54.55 | 40.15 | 0.13 | 5.83 | 12.04 |
| บ่าย | 55.54 | 41.04 | 0.12 | 9.78 | 8.47 |
| t-test | ns | ns | ns | ** | ** |
| C.V. (%) | 4.58 | 7.94 | 9.55 | 35.42 | 19.84 |

หมายเหตุ *, ** คือ แตกต่างที่ระดับ P≤0.05 และ P≤0.01 ตามลำดับ และ ns คือ ไม่แตกต่างทางสถิติ

**ตารางที่ 3.17** ผลของช่วงเวลาการเจาะเก็บน้ำยางสดต่อธาตุอาหารในน้ำยาง

| เวลาการเจาะเก็บน้ำยาง | แอมโมเนียม (mM) | ไนเทรต (mM) | โพแทสเซียม (mM) | แคลเซียม (mM) | แมกนีเซียม (mM) |
|---|---|---|---|---|---|
| เช้า | 5.04 | 0.25 | 55.47 | 1.52 | 21.71 |
| บ่าย | 3.99 | 0.36 | 51.74 | 0.96 | 19.14 |
| t-test | * | ** | ns | ** | ** |
| C.V. (%) | 32.56 | 21.86 | 6.30 | 26.36 | 7.30 |

หมายเหตุ *, ** คือ แตกต่างที่ระดับ P≤0.05 และ P≤0.01 ตามลำดับ และ ns คือ ไม่แตกต่างทางสถิติ

## วิจารณ์ผลการทดลอง

**ระยะเวลาและอุณหภูมิในการเก็บรักษาเซรัมน้ำยาง** ค่าวิเคราะห์ธาตุอาหารในเซรัมน้ำยางที่เก็บรักษาไว้ในตู้เย็นเป็นระยะเวลา 1-7 วัน พบว่า ความเข้มข้นของแอมโมเนียมในแต่ละวันมีการเปลี่ยนแปลงและมีแนวโน้มไม่แน่นอน (ตารางที่ 3.1) นอกจากนี้ ยังพบว่า เซรัมน้ำยางที่เก็บรักษาในกล่องน้ำแข็ง (4 องศาเซลเซียส) และที่วางไว้ที่อุณหภูมิห้อง (31 องศาเซลเซียส) มีความเข้มข้นของแอมโมเนียมไม่แตกต่างกัน อย่างไรก็ตาม เมื่อเก็บเซรัมไว้นานกว่า 1 ชั่วโมง ความเข้มข้นของแอมโมเนียมมีแนวโน้มลดลง (ตารางที่ 3.7) ดังนั้น หากวิเคราะห์แอมโมเนียมจึงควรวิเคราะห์ทันทีหลังจากตกตะกอน ส่วนความเข้มข้นของไนเทรตมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นเล็กน้อยเมื่อเก็บรักษาเซรัมน้ำยางนานขึ้น (ตารางที่ 3.2) อย่างไรก็ตาม ความ

เข้มข้นของไนเทรตในเซรัมน้ำยางมีค่าต่ำมาก เนื่องจากไนเทรตเมื่อเข้าสู่พืชจะเปลี่ยนแปลงเป็นรูปแอมโมเนียมทำให้พบไนเทรตอยู่ในท่ออาหาร (ท่อน้ำยาง) น้อย ซึ่งสอดคล้องกับที่เคยมีรายงานว่า ไม่พบไนเทรตในส่วนของเซรัมน้ำยาง (Jacob *et al.*, 1989b) ดังนั้น ค่าวิเคราะห์ไนเทรตจึงต่ำมากใกล้เคียงกับในแบลงค์ (blank) ทำให้ค่าที่ได้มีความแปรปรวนสูง จึงไม่เหมาะที่จะนำมาใช้อธิบายสถานะธาตุไนโตรเจนในน้ำยางได้

ความเข้มข้นของโพแทสเซียมและแมกนีเซียมในเซรัมน้ำยางเมื่อเก็บรักษาเซรัมน้ำยางนาน 1-7 วัน มีค่าไม่แตกต่างกัน (ตารางที่ 3.2) โดยความเข้มข้นของโพแทสเซียมที่วิเคราะห์ได้อยู่ในช่วง 47.67-58.82 มิลลิโมลาร์ สอดคล้องกับที่รายงานว่า พบความเข้มข้นของโพแทสเซียมในเซรัมน้ำยาง เท่ากับ 30-80 มิลลิโมลาร์ (d'Auzac and Jacob, 1989) ขณะที่ความเข้มข้นของแมกนีเซียมที่วิเคราะห์ได้อยู่ในช่วง 11.30-14.77 มิลลิโมลาร์ ซึ่งมีค่าสูงกว่าที่ได้รายงานไว้ คือ 8.3 มิลลิโมลาร์ โดยค่าความเข้มข้นของแมกนีเซียมที่วิเคราะห์ได้มีค่าสูง อาจเกิดจากผลรวมของแมกนีเซียมที่อยู่ในส่วนของเซรัม ซึ่งมีประมาณ 39.8 เปอร์เซ็นต์ และแมกนีเซียมจากอนุภาคอื่นที่แขวนลอยอยู่ในเซรัมและสามารถผ่านรูของกระดาษกรองวัตแมนเบอร์ 1 ซึ่งมีขนาด 11 ไมโครเมตร ได้ คือ อนุภาคลูทอยด์ ซึ่งมีขนาด 0.5-3 ไมโครเมตร (Nair, 2000) โดยภายในอนุภาคลูทอยด์มีแมกนีเซียมประมาณ 41 เปอร์เซ็นต์ของแมกนีเซียมทั้งหมดในน้ำยาง (d'Auzac and Jacob, 1989) อย่างไรก็ตาม ความเข้มข้นของแคลเซียมในเซรัมน้ำยางมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นเมื่อเก็บรักษาเซรัมน้ำยางในตู้เย็นนานขึ้น (ตารางที่ 3.2) อาจเนื่องจากเซรัมน้ำยางที่เก็บรักษาไว้เป็นเวลานาน ทำให้ลูทอยด์แตกและปลดปล่อยแคลเซียมซึ่งมีอยู่มากประมาณ 56.8 เปอร์เซ็นต์ของแคลเซียมทั้งหมดในน้ำยาง (d'Auzac and Jacob, 1989)

ความเข้มข้นของแอมโมเนียม โพแทสเซียม และแมกนีเซียมในเซรัมน้ำยางที่วิเคราะห์ได้มีค่าสูง เนื่องจากธาตุเหล่านี้เป็นธาตุที่เคลื่อนย้ายได้ง่ายในท่ออาหาร (ยงยุทธ, 2552) นอกจากนี้ แอมโมเนียมที่วิเคราะห์ได้บางส่วนมาจากกรดอะมิโน เนื่องจากวิธีที่ใช้วิเคราะห์แอมโมเนียมในการทดลอง (Salicylate hypochlorite method) จะรวมแอมโมเนียมที่ได้จากกรดอะมิโนด้วย (Mulvaney, 1996) โดยในเซรัมน้ำยางมีกรดอะมิโนเป็นองค์ประกอบประมาณ 30 มิลลิโมลาร์ และประมาณ 81 เปอร์เซ็นต์ ของกรดอะมิโนในเซรัมน้ำยาง คือ กรดกลูตามิก (glutamic acid) อะลานีน (alanine) และกรดแอสพาทิก (aspartic acid) (d'Auzac and Jacob, 1989) ส่วนความเข้มข้นของไนเทรตและแคลเซียมในเซรัมน้ำยางที่วิเคราะห์ได้มีค่าต่ำ เนื่องจากแคลเซียมเป็นธาตุที่เคลื่อนย้ายได้ต่ำในท่ออาหาร ขณะที่ไนเทรตเมื่อเข้าสู่พืชจะเปลี่ยนไปอยู่ในรูปของแอมโมเนียม (ยงยุทธ, 2552)

ความเข้มข้นของซูโครสและอนินทรีย์ฟอสฟอรัสในเซรัมน้ำยางเมื่อเก็บรักษาเซรัมน้ำยางนาน 1-7 วัน มีค่าไม่แตกต่างกัน (ตารางที่ 3.1) โดยความเข้มข้นของซูโครสและอนินทรีย์ฟอสฟอรัสอยู่ในช่วง 7.39-8.47 และ 21.64-22.28 มิลลิโมลาร์ ซึ่งมีค่าสอดคล้องกับค่าอ้างอิง (ยางพาราพันธุ์ RRIM 600) คือ 2.44-11.73 และ 13.44-29.12 มิลลิโมลาร์ ตามลำดับ (พิศมัย และคณะ, 2546ข) นอกจากนี้ ยังพบว่า การเก็บรักษาเซรัมน้ำยางในกล่องน้ำแข็งและวางไว้ที่อุณหภูมิห้องไม่มีผลทำให้ความเข้มข้นของซูโครสและอนินทรีย์ฟอสฟอรัสต่างกัน (ตารางที่ 3.7) ดังนั้น หลังจากสกัดซีรัมแล้ว หากวิเคราะห์เซรัมภายในวันนั้นก็ไม่จำเป็นต้องแช่ในกล่องน้ำแข็ง

ความเข้มข้นของไทออลในเซรัมน้ำยางมีแนวโน้มลดลงเมื่อเก็บรักษาเซรัมน้ำยางในตู้เย็นนานขึ้น (ตารางที่ 3.1) เนื่องจากไทออลในรูปรีดิวส์ไทออล (รูปที่วิเคราะห์) ซึ่งอาจจะถูกออกซิไดส์เมื่อเก็บรักษาเซรัมน้ำยางไว้นาน นอกจากนี้ ยังพบว่า ไม่ว่าจะเก็บเซรัมน้ำยางโดยแช่ในกล่องน้ำแข็งหรือวางไว้ที่อุณหภูมิห้องค่าวิเคราะห์ไทออลก็ไม่ต่างกัน (ตารางที่ 3.7) อย่างไรก็ตาม หากเก็บรักษาเซรัมน้ำยางนานขึ้น ไทออลมีแนวโน้มลดลง โดยความเข้มข้นของไทออลจะลดลงอย่างชัดเจน เมื่อวางเซรัมน้ำยางไว้ที่อุณหภูมิห้อง ขณะที่การแช่เซรัมน้ำยางไว้ในกล่องน้ำแข็ง พบว่า ความเข้มข้นของไทออลลดลงเล็กน้อย อาจเนื่องจากอุณหภูมิต่ำทำให้การออกซิไดส์เกิดได้ช้า

ระยะเวลาการเก็บรักษาเซรัมน้ำยางในตู้เย็น 1-7 วัน ไม่มีผลต่อการเปลี่ยนแปลงความเข้มข้นของธาตุอาหารในน้ำยาง โพแทสเซียมและแมกนีเซียม ยกเว้นแคลเซียมและแอมโมเนียม ดังนั้น หลังจากตกตะกอนแล้วควรนำเซรัม น้ำยางไปวิเคราะห์แอมโมเนียม ไนเทรต และแคลเซียมทันที อย่างไรก็ตาม ไนเทรตมีความเข้มข้นต่ำมากจึงไม่จำเป็นต้องวิเคราะห์ นอกจากนี้ หากต้องการวิเคราะห์องค์ประกอบทางชีวเคมีในน้ำยางสามารถเก็บเซรัมน้ำยางไว้ได้นานอย่างน้อย 7 วัน สำหรับวิเคราะห์ซูโครสและอนินทรีย์ฟอสฟอรัส และสามารถเก็บโดยแช่ในกล่องน้ำแข็งหรือวางไว้ที่อุณหภูมิห้องก็ได้ แต่หากต้องการวิเคราะห์ไทออลร่วมด้วย ควรเก็บรักษาเซรัมน้ำยางโดยแช่ในกล่องน้ำแข็งและควรวิเคราะห์ไทออลทันทีหลังจากตกตะกอน ฉะนั้น ในการวิเคราะห์ธาตุอาหารและองค์ประกอบทางชีวเคมีในเซรัมน้ำยางควรเก็บเซรัมน้ำยางโดยวางไว้ในกล่องน้ำแข็งหรือแช่เซรัมน้ำยางไว้ตู้เย็น และควรวิเคราะห์แอมโมเนียม แคลเซียม และไทออลทันทีหลังจากตกตะกอน ส่วนโพแทสเซียม แมกนีเซียม ซูโครส และอนินทรีย์ฟอสฟอรัสสามารถเก็บรักษาไว้ในตู้เย็นได้อย่างน้อย 7 วัน

**วิธีการเก็บรักษาน้ำยางสด** ความเข้มข้นของธาตุอาหารและองค์ประกอบทางชีวเคมีในเซรัมน้ำยางที่ได้จากการเก็บรักษาตัวอย่างน้ำยางสดโดยแช่ไว้ในกล่องน้ำแข็ง (4 องศาเซลเซียส) และวางไว้ที่อุณหภูมิห้อง (31 องศาเซลเซียส) พบว่า มีค่าไม่ค่อยแตกต่างกัน (ภาพที่ 3.3 และ 3.4) ยกเว้น ความเข้มข้น

ของซูโครส ซึ่งมีค่าลดลงอย่างชัดเจนเมื่อเก็บรักษาน้ำยางสดไว้ที่อุณหภูมิห้อง ขณะที่การแช่น้ำยางสดในกล่องน้ำแข็งทำให้ความเข้มข้นของซูโครสลดลงน้อยกว่าการวางน้ำยางสดไว้ที่อุณหภูมิห้อง (ภาพที่ 3.3) เนื่องจากหลังจากที่มีการเก็บเกี่ยวผลผลิตออกจากต้นแล้ว กิจกรรมต่างๆ ภายในผลผลิตยังคงอยู่ โดยเฉพาะกระบวนการหายใจ โดยในน้ำยางเกิดกระบวนการหายใจแบบไม่ใช้ออกซิเจน กระบวนการหายใจดังกล่าวจะใช้ฟรุกโทสเป็นซับสเตรท และฟรุกโทสได้มาจากการซูโครสในน้ำยางเกิดการแตกตัว (ถูก hydrolase) (Tupy and Resing, 1968) ดังนั้น ซูโครสในเซรัมน้ำยางจึงมีแนวโน้มลดลงเมื่อระยะเวลาการเก็บรักษานานขึ้น สอดคล้องกับที่มีรายงานว่า ซูโครสในอ้อยมีแนวโน้มลดลงเมื่อเก็บรักษาอ้อยไว้นาน 0-120 ชั่วโมง (Verma *et al.*, 2012) อย่างไรก็ตาม อัตราของการเกิดปฏิกิริยาเหล่านี้ขึ้นอยู่กับอุณหภูมิด้วย โดยอุณหภูมิที่สูงอัตราความเร็วในการเร่งปฏิกิริยาของเอนไซม์ก็สูง ดังนั้น การเก็บรักษาน้ำยางสดที่อุณหภูมิสูงซูโครสจะมีการลดลงอย่างรวดเร็ว เช่นเดียวกับที่มีรายงานในอ้อยว่า ในเดือนที่อุณหภูมิสูงซูโครสในน้ำอ้อยมีความเข้มข้นน้อยกว่าในเดือนที่มีอุณหภูมิต่ำ (Verma *et al.*, 2012) นอกจากนี้ การลดลงของซูโครสคาดว่าน่าจะมาจากสาเหตุของกระบวนการหายใจภายในเซลล์ เนื่องจากได้ทดลองใส่สารยับยั้งจุลินทรีย์ลงไปในน้ำยางสด และวางไว้ที่อุณหภูมิห้อง พบว่า ความเข้มข้นของซูโครสในเซรัมน้ำยางมีค่าลดลง เช่นเดียวกับการวางน้ำยางสดไว้ที่อุณหภูมิห้องและไม่เติมสารยับยั้งจุลินทรีย์ (ตารางที่ 3.5) ขณะที่การแช่น้ำยางสดในกล่องน้ำแข็งความเข้มข้นของซูโครสในเซรัมน้ำยางมีค่าสูงกว่า

การเจือจางส่งผลให้ค่าวิเคราะห์ธาตุอาหารและองค์ประกอบทางชีวเคมีสูงกว่าไม่เจือจางเล็กน้อย (ตารางที่ 3.8 ถึง 3.15) การเจือจางแล้วเก็บน้ำยางที่อุณหภูมิห้องยังคงทำให้ซูโครสลดลงเช่นเดียวกับไม่ได้เจือจาง (ตารางที่ 3.9) ซึ่งสอดคล้องกับการทดลองผลของอุณหภูมิต่อการเก็บรักษาน้ำยางสด (ตารางที่ 3.5) ดังนั้น หากไม่สามารถตกตะกอนเพื่อแยกเนื้อยางออกจากเซรัมก็ควรเก็บรักษาน้ำยางสดโดยแช่ในกล่องน้ำแข็ง โดยไม่จำเป็นต้องเจือจาง

การเก็บรักษาน้ำยางสดมีผลต่อความเข้มข้นของธาตุอาหารและองค์ประกอบทางชีวเคมีน้อย ยกเว้นซูโครส ซึ่งพบว่าหลังจากที่เก็บรักษาน้ำยางสดนานกว่า 1 ชั่วโมง ซูโครสจะเริ่มลดลง โดยเฉพาะอย่างยิ่งเมื่ออุณหภูมิสูง (ตารางที่ 3.5) ซึ่งนอกจากซูโครสจะลดลงอย่างรวดเร็ว ค่าวิเคราะห์อื่นๆ มีความแปรปรวนแนวโน้มไม่แน่นอนหลังจากเก็บน้ำยางสดไว้นานกว่า 4 ชั่วโมง (ตารางที่ 3.6) เนื่องจาก น้ำยางมีการเสียสภาพ โดยอาจเกิดจากสารประกอบไลปิดในน้ำยางถูกไฮโดรไลซีส (hydrolysis) กลายเป็นอนุมูลอิสระ เอนไซม์ที่สลายโปรตีนทำให้เกิดกรดและไปทำลายโปรตีนที่หุ้มอนุภาคยาง และอาจเกิดจากจุลินทรีย์ในอากาศจากเปลือกของต้นยางไปย่อยสลายสารอาหารในน้ำยาง (วราภรณ์, 2524) ดังนั้น หากต้องการวิเคราะห์เฉพาะธาตุอาหาร จะเก็บรักษาน้ำยางสดโดยแช่ในกล่องน้ำแข็งหรือวางไว้ที่อุณหภูมิห้องก็ได้

อย่างไรก็ตาม หากต้องการวิเคราะห์องค์ประกอบทางชีวเคมี โดยเฉพาะซูโครสด้วย ควรเก็บน้ำยางสดในกล่องน้ำแข็ง และในขั้นตอนของการเจาะเก็บตัวอย่างน้ำยางควรมีภาชนะหล่อเย็นสำหรับรองรับน้ำยาง เพื่อป้องกันการเปลี่ยนแปลงของซูโครส และน้ำยางสดที่เก็บได้ควรเก็บในกล่องน้ำแข็งไม่เกิน 4 ชั่วโมง (ตารางที่ 3.9) และถ้าเป็นไปได้ควรตกตะกอนเป็นเซรัมน้ำยางทันทีหลังจากเก็บตัวอย่างน้ำยางสด อย่างไรก็ตาม มีการแนะนำว่าน้ำยางสดสามารถที่จะเก็บได้ที่อุณหภูมิห้องประมาณ 2 ชั่วโมง (พเยาว์ และคณะ, 2546)

**เวลาการเก็บน้ำยางสด** ความเข้มข้นของธาตุอาหารส่วนใหญ่ ยกเว้น ไนเทรต มีค่าสูงเมื่อเก็บน้ำยางในช่วงเช้า (8.00-10.00 นาฬิกา) และมีแนวโน้มลดลงเมื่อเก็บน้ำยางในช่วงเที่ยงถึงบ่าย (12.00-16.00 นาฬิกา) (ตารางที่ 3.16 และ 3.17) อาจเนื่องจากธาตุอาหารต่างๆ ถูกนำไปใช้ในกระบวนการสร้างน้ำยางในตอนกลางคืน โดยเฉพาะโพแทสเซียมเป็นธาตุที่มีบทบาทสำคัญในการเคลื่อนย้ายซูโครสเข้าสู่ท่อน้ำยาง กระตุ้นเอนไซม์ไพรูเวตไคเนส (pyruate kinase) (ยงยุทธ, 2552) เพื่อเปลี่ยน phosphoenolpyruvate (PEP) เป็นไพรูเวต (pyruvate) ในกระบวนการไกลโคไลซิส ซึ่งเป็นขั้นตอนแรกของการสังเคราะห์ยาง (Jacob *et al.*, 1989) ฟอสฟอรัสเป็นองค์ประกอบของ ATP ซึ่งต้องใช้ในกระบวนการสร้างน้ำยาง ส่วนแมกนีเซียมเป็นตัวกระตุ้นเอนไซม์ตัวกระตุ้นการทำงานของเอนไซม์ rubber transferase ซึ่งเป็นเอนไซม์ที่เกี่ยวข้องกับการสังเคราะห์ยาง (Costa *et al.*, 2006; Scott *et al.*, 2003) และแอมโมเนียมถูกใช้ในการสร้างโปรตีนและเนื้อยางทดแทน (Jacob *et al.*, 1989b) แต่เมื่อมีแสงแดดมากขึ้น ทำให้กระบวนการสังเคราะห์แสงเกิดได้ดี ทำให้มีซูโครสเพิ่มขึ้น (ตารางที่ 3.16) ดังนั้น ในช่วงบ่ายต้นยางจึงอาจแบ่งส่วนของธาตุอาหารไปใช้ในกระบวนการสังเคราะห์แสง ทำให้ธาตุอาหารในน้ำยางลดลง

ของแข็งทั้งหมดและเนื้อยางแห้งจากตัวอย่างน้ำยางสดที่เก็บในตอนเช้าและบ่ายมีค่าไม่ค่อยต่างกัน แต่ซูโครสมีแนวโน้มเพิ่มสูงขึ้นเมื่อเก็บน้ำยางในช่วงบ่าย (ตารางที่ 3.16) เนื่องจากในช่วงบ่ายต้นยางเกิดกระบวนการสังเคราะห์แสงอย่างต่อเนื่อง จึงทำให้มีการสะสมซูโครส ดังนั้น ผลผลิตที่ได้จากการสังเคราะห์แสง (ซูโครส) มีการเคลื่อนย้ายไปสะสมยังท่อน้ำยาง เพื่อใช้เป็นสารตั้งต้นในขั้นตอนของการสังเคราะห์ยางต่อไปในช่วงเวลากลางคืน ขณะเดียวกัน พบว่า อนินทรีย์ฟอสฟอรัสในช่วงเช้าสูง และมีแนวโน้มต่ำในช่วงบ่าย (ตารางที่ 3.16) เนื่องจากในช่วงเช้ายังมีการสังเคราะห์ยางเกิดขึ้นน้อยเพราะมีแสงแดดน้อย ส่วนในช่วงตอนบ่ายมีแสงแดดมากขึ้น ทั้งนี้สอดคล้องกับที่มีรายงานว่า เมื่ออุณหภูมิต่ำความเข้มข้นของอนินทรีย์ฟอสฟอรัสในน้ำยางมีแนวโน้มเพิ่มขึ้น (นภาวรรณ และคณะ, 2544)

ความเข้มข้นของไทออลในช่วงเช้ามีแนวโน้มสูงกว่าในช่วงบ่าย (ตารางที่ 3.16) เนื่องจากในช่วงเช้าอุณหภูมิต่ำและมีการสังเคราะห์ยางสูง ทั้งนี้ไทออลมีบทบาทสำคัญต่อการสังเคราะห์น้ำยาง โดยไทออลเป็นตัวกระตุ้นเอนไซม์อินเวอร์เทส (invertase) และไพรูเวตไคเนส (Jacob *et al.*, 1989b) ผลการศึกษาในครั้งนี้

สอดคล้องกับที่มีรายงานว่า อุณหภูมิต่ำส่งผลให้ความเข้มข้นของไทออลในน้ำยางสูง (นภาวรรณ และคณะ, 2544) นอกจากนั้น ยังมีรายงานว่าอุณหภูมิต่ำมีผลในการชักนำการเกิดอนุมูลอิสระจึงพบไทออลสูง (Wingsle *et al.*, 1999)

เวลาการเก็บน้ำยางสดมีผลต่อความเข้มข้นของธาตุอาหารในน้ำยาง โดยในช่วงเช้าความเข้มข้นของธาตุอาหารส่วนใหญ่สูงกว่าในช่วงบ่าย ขณะเดียวกันค่าองค์ประกอบทางชีวเคมีในช่วงเช้าได้สะท้อนถึงกิจกรรมของการสังเคราะห์ยางมากกว่าในช่วงบ่าย นอกจากนี้ ในช่วงเที่ยงถึงบ่าย มีอุณหภูมิในบรรยากาศสูงขึ้นและความชื้นสัมพัทธ์ลดลง (พิศมัย, 2553ก) อาจส่งผลให้ต้นยางขาดน้ำ ซึ่งจะมีผลต่อแรงดันภายในท่อน้ำยางต่ำลง (นภาวรรณ และคณะ, 2544) ทำให้น้ำยางไหลได้ช้ากว่าในช่วงเช้า ดังนั้น หากต้องการเก็บน้ำยางสดมาวิเคราะห์ธาตุอาหารและองค์ประกอบทางชีวเคมีในน้ำยางจึงควรเลือกเก็บน้ำยางในช่วงเช้า (8.00-10.00 นาฬิกา) ซึ่งสะดวกกว่า และมีเวลาในการวิเคราะห์น้ำยางในตอนบ่าย

# บทที่ 4
# การเปลี่ยนแปลงของธาตุอาหารและองค์ประกอบทางชีวเคมีในน้ำยางในรอบปี

## คำนำ

ยางพาราเป็นพืชเศรษฐกิจที่สำคัญของไทย ในปัจจุบันมีพื้นที่ปลูกยางพาราทั้งประเทศ 16.89 ล้านไร่ (สถาบันวิจัยยาง, 2553) โดยวัตถุประสงค์หลักของการปลูกยาง คือ ต้องการน้ำยาง ในน้ำยางพาราจะประกอบด้วย 2 ส่วน คือ ส่วนที่เป็นของแข็งซึ่งโดยปกติจะมีอยู่ประมาณ 25 ถึง 45 เปอร์เซ็นต์ และส่วนที่ไม่ใช่เนื้อยางประมาณ 55 ถึง 75 เปอร์เซ็นต์ ปริมาณน้ำยางที่ได้รับจะขึ้นอยู่กับปัจจัยต่าง ๆ ได้แก่ พันธุ์ยาง สภาพแวดล้อมของพื้นที่ปลูก ระบบกรีด ตลอดจนการใช้ปุ๋ย ซึ่งจะส่งผลต่อองค์ประกอบทางชีวเคมี และธาตุอาหารในน้ำยาง องค์ประกอบทางชีวเคมีที่ศึกษากันโดยทั่วจะประกอบด้วย ซูโครส ไทออล และของแข็งทั้งหมดในน้ำยาง และมักจะรวมถึงอนินทรีย์ฟอสฟอรัส โดยที่ซูโครสซึ่งเป็นสารตั้งต้นในการสร้างน้ำยางต้องมีมากพอที่จะนำไปใช้ในการเจริญเติบโตและการสร้างน้ำยาง เมื่อปริมาณซูโครสในน้ำยางสูง แสดงว่า ต้นยางมีศักยภาพในการสร้างน้ำยางสูง ซึ่งมีความสัมพันธ์ในทางบวกกับผลผลิต แต่ในอีกด้านหนึ่งหมายถึง มีการนำซูโครสไปใช้ในการสร้างน้ำยางต่ำ ทำให้เกิดการสะสมซูโครสในน้ำยางสูง ซึ่งทำให้มีความสัมพันธ์เชิงลบกับผลผลิต (พเยาว์ และคณะ, 2546; พิศมัย และคณะ, 2545; Jacob *et al.*, 1989b) ไทออลจะเป็นสารที่ทำปฏิกิริยากับสารพิษกลุ่มออกซิเจนที่เป็นพิษ จึงช่วยป้องกันเยื่อหุ้มออร์แกนเนลต่าง ๆ ของเซลล์ท่อน้ำยางซึ่งเป็นส่วนที่เกิดการสร้างน้ำยาง ไทออลมีความสัมพันธ์เชิงบวกกับผลผลิตน้ำยาง (Jacob *et al.*, 1989b; Sreelatha, 2003) อนินทรีย์ฟอสฟอรัสจะสะท้อนถึงระดับพลังงานในกระบวนการเมทาบอลิซึมซึ่งสำคัญต่อการสร้างน้ำยาง ปริมาณอนินทรีย์ฟอสฟอรัสมีความสัมพันธ์เชิงบวกกับผลผลิตยาง (พิศมัย และคณะ, 2546ก; Lacote *et al.*, 2010) และของแข็งทั้งหมดในน้ำยางหากมีอยู่สูงเมื่อนำน้ำยางมาทำยางแผ่นก็จะได้ปริมาณมาก แต่ถ้าหากมีมากเกินไปจะทำให้น้ำยางไหลช้า และหยุดไหลเร็ว โดยทั่วไปปริมาณของแข็งทั้งหมดและปริมาณเนื้อยางแห้งมีความสัมพันธ์เชิงลบกับปริมาณน้ำยาง (Jacob *et al.*, 1989b; Mak *et al.*, 2008)

ความสำคัญของปัจจัยด้านธาตุอาหารพืชได้มีการรายงานว่า เมื่อใส่ปุ๋ยที่ให้ธาตุไนโตรเจน ฟอสฟอรัส โพแทสเซียม และแมกนีเซียม ส่งผลให้ได้รับปริมาณน้ำยางเพิ่มขึ้น เมื่อเปรียบเทียบกับแปลงที่ไม่มีการใส่ปุ๋ย (นุชนารถ และคณะ, 2537) โดยไนโตรเจนจะเป็นองค์ประกอบของกรดอะมิโนซึ่งเป็นสารตั้งต้นของสารประกอบหลายชนิด และคลอโรฟิลล์ซึ่งจะส่งผลถึงการสังเคราะห์แสงและปริมาณซูโครสที่จะใช้สร้างน้ำยาง สำหรับฟอสฟอรัสจะเป็นองค์ประกอบของอะดีโนซีนไทรฟอสเฟต (ATP) ซึ่งเป็นพลังงานที่ใช้ในการสร้างน้ำยาง ส่วนโพแทสเซียม และแมกนีเซียมจะเกี่ยวข้องกับการกระตุ้นการทำงานของเอนไซม์ต่าง ๆ โดยเฉพาะอะดีโนซีนไทรฟอสฟาเทส (ATPase) ซึ่งเกี่ยวข้องกับการสังเคราะห์ยาง อีกทั้งโพแทสเซียมยังส่งผลถึงการไหลของน้ำยาง เนื่องจากมีบทบาทส่งเสริมการเคลื่อนย้ายภายในเซลล์ และ

แมกนีเซียมยังเป็นองค์ประกอบของคลอโรฟิลล์เช่นเดียวกับไนโตรเจนจึงส่งผลถึงการสังเคราะห์แสงด้วย แต่ถ้าหากได้รับธาตุบางชนิดมากเกินไป อาจจะก่อให้เกิดความไม่สมดุลของธาตุอาหารได้ เช่น หากได้รับแมกนีเซียมมากเกินไปก็จะมีปัญหาในเรื่องการตกตะกอนของน้ำยางที่เร็วกว่ากำหนด เนื่องจากแมกนีเซียมจะไปทำปฏิกิริยากับไดไฮโดรเจนฟอสเฟต ในน้ำยางเป็นแมกนีเซียมไดไฮโดรเจนฟอสเฟต (นุชนารถ, 2542)

ธาตุอาหาร และองค์ประกอบทางชีวเคมีในน้ำยางจึงอาจเป็นตัวชี้วัดถึงศักยภาพในการให้ผลผลิตและความสมบูรณ์ของต้นยางที่สัมพันธ์กับการจัดการดิน และปุ๋ย อย่างไรก็ตาม มีรายงานว่า ปริมาณน้ำฝน อุณหภูมิ การผลัดใบ และการสร้างใบใหม่ของต้นยาง มีผลต่อการเปลี่ยนแปลงองค์ประกอบทางชีวเคมีในน้ำยาง (นภาวรรณ และคณะ, 2544) ดังนั้น การศึกษาการเปลี่ยนแปลงของธาตุอาหาร และองค์ประกอบทางชีวเคมีในรอบปี จะสามารถทำให้ทราบถึงช่วงเวลาที่เหมาะสมต่อการเก็บตัวอย่างน้ำยาง เพื่อใช้ประเมินสถานะของธาตุอาหารและองค์ประกอบทางชีวเคมีในน้ำยางได้

## อุปกรณ์และวิธีการ

ศึกษาการเปลี่ยนแปลงของธาตุอาหารในน้ำยางในรอบปี โดยคัดเลือกสวนยางพาราพันธุ์ RRIM 600 อายุ 15 ปี ที่ไม่ใส่ปุ๋ยมาอย่างน้อย 1 ปี แบ่งพื้นที่เป็น 2 แปลง ๆ ละ 1 ไร่ คือ ไม่ใส่ปุ๋ย และใส่ปุ๋ยสูตร 29-5-18 อัตราต้นละ 1 กิโลกรัม/ปี โดยแบ่งใส่ปีละ 2 ครั้ง ๆ ละ 500 กรัม ในช่วงต้นฝน (เมย.) และปลายฝน (ตค.) ในแต่ละแปลงบันทึกจำนวนวันกรีดในแต่ละเดือน และน้ำหนักน้ำยางสดของแต่ละต้นจากต้นยาง 30 ต้น เดือนละ 2 ครั้ง

เก็บตัวอย่างดินที่ระดับ 0-30 และ 30- 50 เซนติเมตร ก่อนการทดลอง โดยเก็บแยกกันระหว่างแปลงที่ใส่ปุ๋ยและไม่ใส่ ในแต่ละแปลงเก็บดิน 5 จุดนำมารวมกัน เพื่อนำไปเตรียมตัวอย่างวิเคราะห์สมบัติเบื้องต้นของดิน ได้แก่ อินทรียวัตถุ ฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์ ไนโตรเจนทั้งหมด โพแทสเซียม แคลเซียม และแมกนีเซียมที่แลกเปลี่ยนได้ ตามคู่มือการวิเคราะห์ดินและพืช (จำเป็น และจักรกฤษณ์, 2554)

เก็บตัวอย่างใบยางหลังจากแตกใบใหม่ในแต่ละแปลงทุกๆ เดือน แปลงละ 3 ซ้ำ ในแต่ละซ้ำเก็บใบจากต้นยาง 10 ต้น โดยเก็บใบของกิ่งในร่มที่ระดับต่ำสองข้างของทรงพุ่ม ระหว่างแถวข้างละกิ่ง โดยเก็บใบคู่ล่าง (หรือใบที่ 1 และใบที่ 2) ของฉัตรแรก (นุชนารถ, 2542) นำไปอบที่อุณหภูมิ 70 องศาเซลเซียส ประมาณ 2 วัน บดให้ละเอียดด้วยเครื่องบดตัวอย่างพืช นำไปย่อย และวิเคราะห์ธาตุไนโตรเจน ฟอสฟอรัส โพแทสเซียม แคลเซียม และแมกนีเซียม ตามคู่มือการวิเคราะห์ดินและพืช (จำเป็น และจักรกฤษณ์, 2554) และวิเคราะห์คาร์โบไฮเดรตทั้งหมดในใบที่ไม่อยู่ในรูปโครงสร้าง (non-structural carbohydrate; TNC) โดยวิธี Anthrone (Osborne and Voogt, 1978)

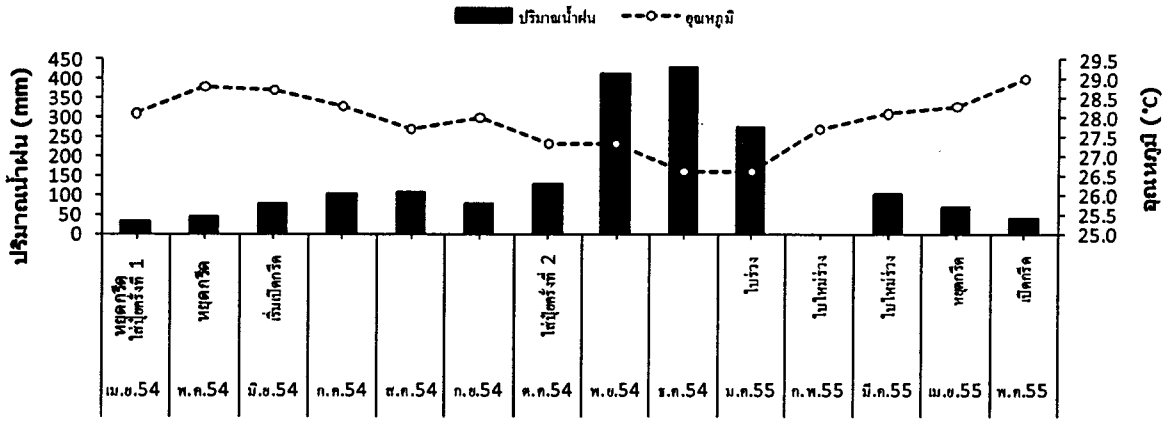
เก็บตัวอย่างน้ำยางในตอนเช้าทุก ๆ เดือน ๆ ละ 2 ครั้ง ทำ 3 ซ้ำ แต่ละซ้ำมี 10 ต้น โดยใช้เหล็กปลายแหลมแทงบริเวณกลาง ๆ ใต้รอยกรีด 5 เซนติเมตร และสอดท่อพลาสติกเพื่อลำเลียงน้ำยางลงในหลอดที่แช่อยู่ในน้ำแข็ง รับน้ำยางแต่ละต้นประมาณ 15 หยด ผสมรวมกันทั้ง 10 ต้น นำน้ำยางจากแต่ละซ้ำไปทำให้

ตกตะกอนทันทีด้วยทีซีเอ กรองด้วยกระดาษกรอง (Whatman no. 1) เพื่อแยกเนื้อยางไปอบที่ 105 °C สำหรับนำไปชั่งหาน้ำหนักยางแห้ง และนำส่วนที่กรองได้ไปวิเคราะห์ธาตุอาหารและองค์ประกอบทางชีวเคมี เช่นเดียวกับที่อธิบายในบทที่ 3

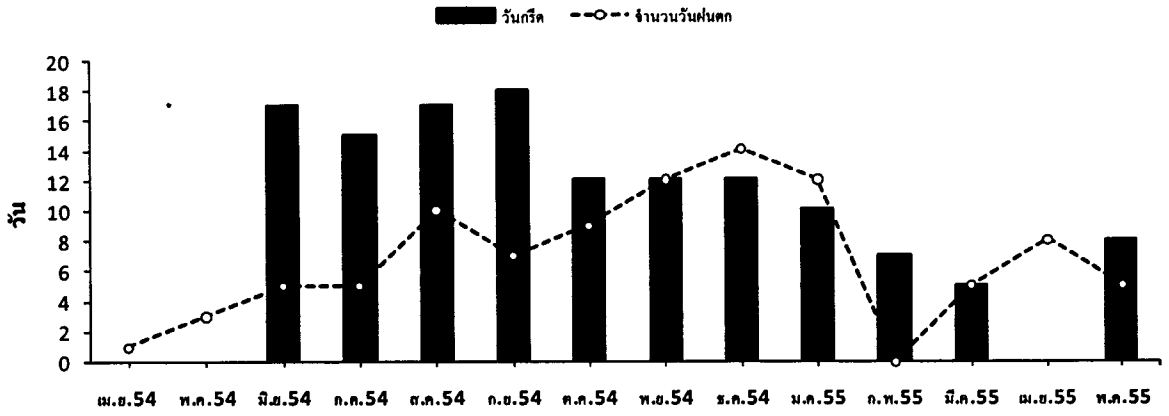
## ผลการทดลอง

### ปริมาณน้ำฝน อุณหภูมิ และสมบัติของดินในพื้นที่แปลงทดลอง

**การกระจายของฝนและจำนวนวันกรีดยาง** ในระหว่างที่ทำการทดลอง การกระจายของฝนค่อนข้างดี ปริมาณน้ำฝนในแต่ละเดือนไม่แตกต่างกันมาก ยกเว้นในเดือนพฤศจิกายน พ.ศ. 2554 ถึงเดือนมกราคม พ.ศ. 2555 ที่มีปริมาณน้ำฝนสูงกว่าช่วงอื่นๆ ส่งผลให้มีอุณหภูมิต่ำกว่าช่วงอื่นๆ ในรอบปี (รูปที่ 4.1) และทำให้จำนวนวันกรีดยางในช่วงดังกล่าวต่ำกว่าในช่วงมิถุนายนถึงกันยายน พ.ศ. 2554 (รูปที่ 4.2) ในการทดลองครั้งนี้เริ่มต้นจากการใส่ปุ๋ยสูตร 29-5-18 อัตรา 500 กรัมต่อต้นในเดือนเมษายน พ.ศ. 2554 และหยุดกรีดในระหว่างเดือนเมษายนถึงพฤษภาคม เปิดกรีดในเดือนมิถุนายนและใส่ปุ๋ยอัตราเดิมอีกครั้งในเดือนตุลาคม เมื่อเข้าสู่เดือนมกราคม พ.ศ. 2555 ยางพาราเริ่มผลัดใบ และผลิใบใหม่เดือนกุมภาพันธ์ เมื่อใบอายุประมาณ 1 เดือน เกิดอาการใบอ่อนร่วงแล้วแตกใบใหม่อีกครั้งในเดือนมีนาคม เมื่อใบแก่จึงได้ใส่ปุ๋ยและหยุดกรีดยางในเดือนเมษายน จากนั้นเริ่มเปิดกรีดในเดือนพฤษภาคมซึ่งเป็นช่วงแล้งอุณหภูมิสูง




**รูปที่ 4.1** การกระจายของฝนและการดูแลรักษาสวนยางพาราในระหว่างทำการทดลอง




**รูปที่ 4.2 จำนวนวันฝนตกและวันกรีดยาง**

**สมบัติของดิน** ดินในแปลงทดลองจัดเป็นดินร่วนถึงดินร่วนเหนียว มีสมบัติเป็นกรดเล็กน้อยถึงปานกลาง ค่าการนำไฟฟ้าต่ำ ดินมีอินทรียวัตถุ ฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์ และโพแทสเซียมที่แลกเปลี่ยนได้ต่ำ นอกจากนั้นพบว่า แมกนีเซียมและแคลเซียมในแปลงที่ไม่ใส่ปุ๋ยสูงกว่าในแปลงที่ใส่ปุ๋ย (ตารางที่ 4.1)

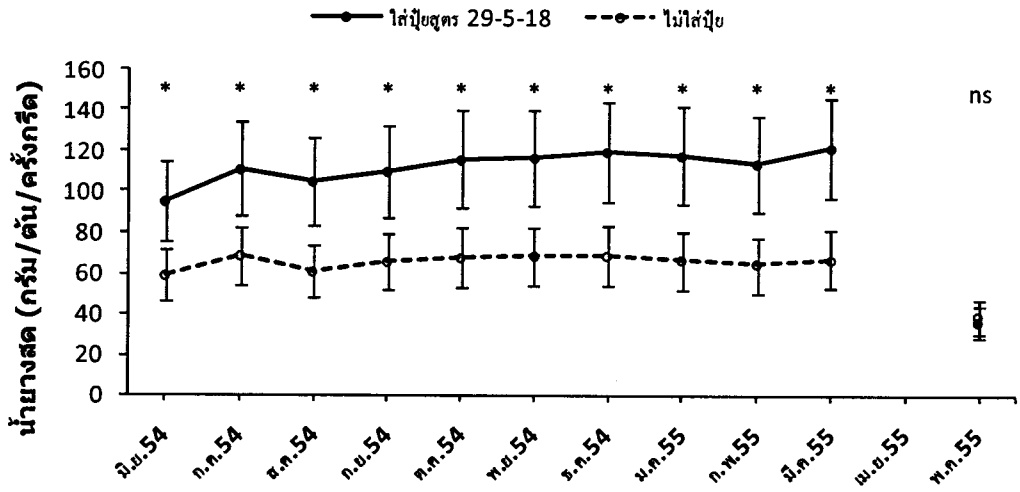
**ตารางที่ 4.1** สมบัติของดินก่อนการทดลอง

| สมบัติของดิน | 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 | 6.01 | 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 |

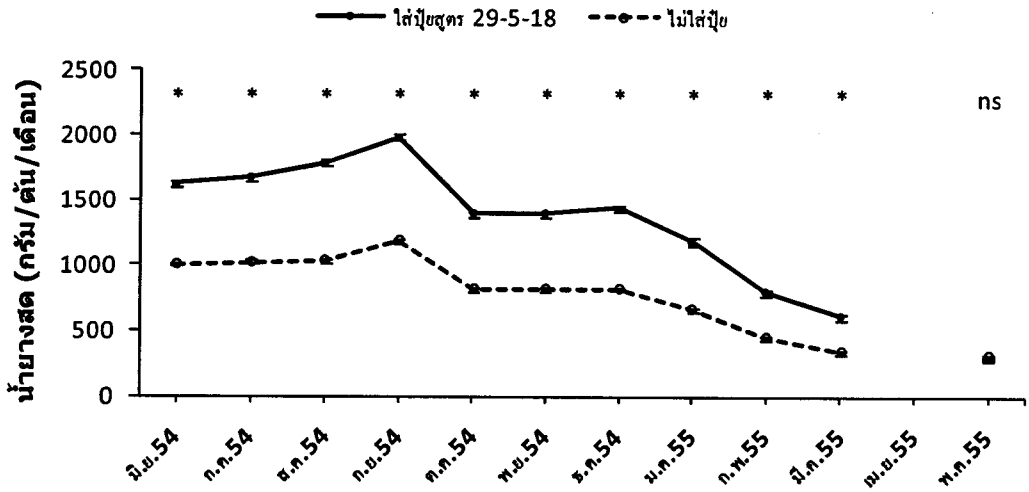
**การเปลี่ยนแปลงของผลผลิตน้ำยางและคาร์โบไฮเดรตในใบในรอบปี**

**ผลิตน้ำยางสด** ปริมาณผลผลิตน้ำยางสดเฉลี่ยในช่วงเดือนมิถุนายน พ.ศ. 2554 ถึงเดือนพฤษภาคม พ.ศ. 2555 จากแปลงที่ใส่ปุ๋ย เท่ากับ 97.05 กรัมต่อต้นต่อครั้งกรีด ซึ่งมีค่าสูงกว่าแปลงที่ไม่ใส่ปุ๋ย คือ 57.85 กรัมต่อต้นต่อครั้งกรีด อย่างชัดเจน และแนวโน้มการเปลี่ยนแปลงของปริมาณผลผลิตน้ำยางสดทั้ง 2 แปลง เป็นไปในทิศทางเดียวกัน โดยผลผลิตน้ำยางสดจากแปลงที่มีการใส่ปุ๋ย และแปลงที่ไม่ใส่ปุ๋ยมีปริมาณต่ำสุด

ในเดือนพฤษภาคม พ.ศ. 2555 คือ 36.25 และ 38.82 กรัมต่อต้นต่อครั้งกรีด ตามลำดับ และมีค่าสูงสุดในเดือนมีนาคม พ.ศ. 2555 คือ 121.67 และ 66.91 กรัมต่อต้นต่อครั้งกรีด ตามลำดับ (รูปที่ 4.3) อย่างไรก็ตาม ผลผลิตน้ำยางสด (ต่อต้นต่อเดือน) มีค่าสูงสุดในเดือนกันยายน (รูปที่ 4.4) โดยมีค่าเท่ากับ 2,562 และ 1,356 กรัมต่อต้นต่อเดือน ในแปลงที่ใส่ปุ๋ยและไม่ใส่ตามลำดับ หลังจากนั้นผลผลิตลดลงเล็กน้อยและค่อนข้างคงที่ในระหว่างเดือนตุลาคมถึงเดือนธันวาคม และเมื่อเข้าสู่เดือนมกราคม พ.ศ. 2555 ผลผลิตน้ำยางต่อเดือนลดลงอย่างต่อเนื่องจนต่ำสุดในเดือนมีนาคม และหยุดกรีดในเดือนเมษายน

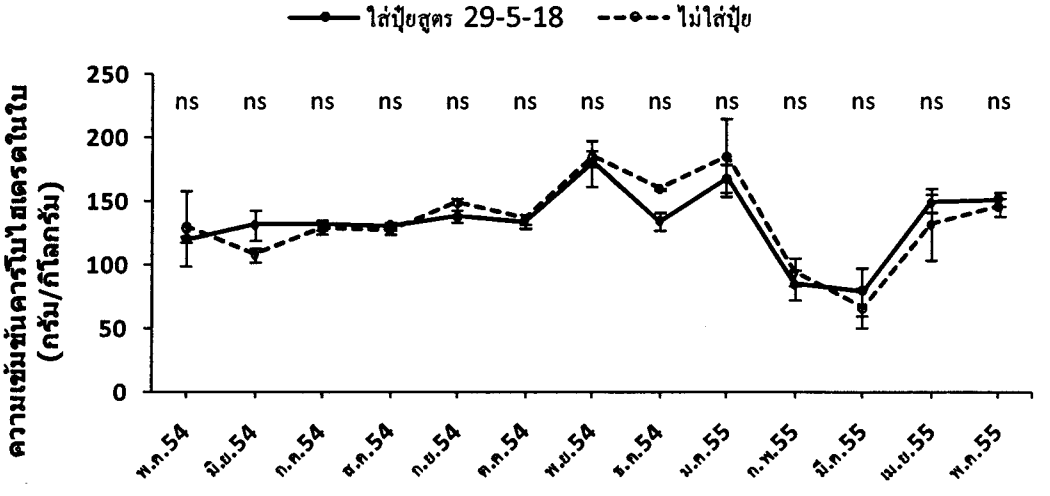



**รูปที่ 4.3** การเปลี่ยนแปลงของปริมาณผลผลิตน้ำยางสดต่อต้นต่อครั้งกรีด (ค่าเฉลี่ยจาก 30 ต้น; I = ค่าความคลาดเคลื่อน มาตรฐาน, * = แตกต่างทางสถิติที่ระดับ $P \leq 0.05$, ns = ไม่แตกต่างทางสถิติ)




**รูปที่ 4.4** การเปลี่ยนแปลงของปริมาณผลผลิตน้ำยางสดต่อไร่ต่อเดือน (ค่าเฉลี่ยจาก 30 ต้น; I คือ ค่าความคลาดเคลื่อน มาตรฐาน * = แตกต่างทางสถิติที่ระดับ $P \leq 0.05$, ns = ไม่แตกต่างทางสถิติ)

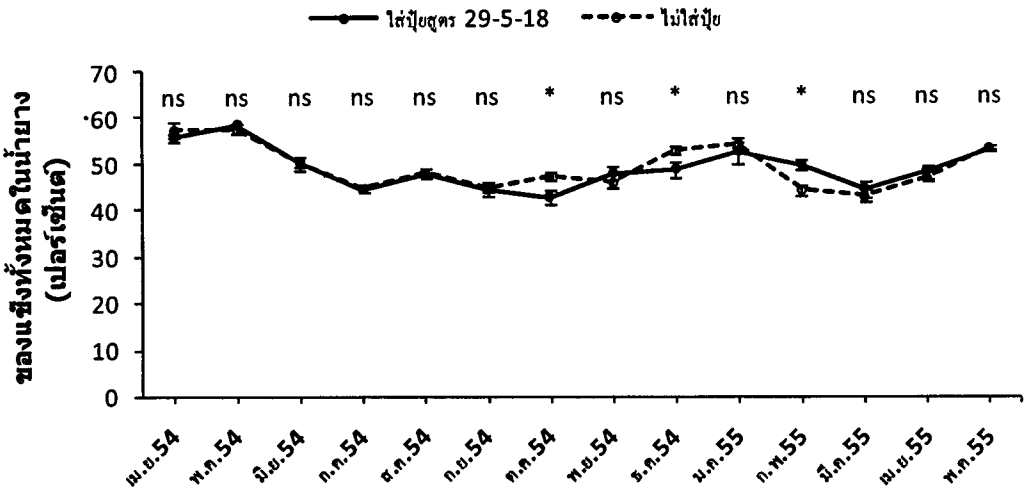
**คาร์โบไฮเดรตในใบ** การใส่และไม่ใส่ปุ๋ยไม่ได้ทำให้ความเข้มข้นคาร์โบไฮเดรตในใบแตกต่างกัน แต่เมื่อเข้าสู่ปีที่ 2 (มี.ค.-พ.ค. 55) การใส่ปุ๋ยมีแนวโน้มทำให้ คาร์โบไฮเดรตในใบสูงกว่าไม่ใส่ปุ๋ย ทั้งนี้ ความเข้มข้นของคาร์โบไฮเดรตในใบขึ้นกับอายุใบ (รูปที่ 4.5) ใบที่มีอายุระหว่าง 1-6 เดือน (พ.ค.-ก.ย.54) มีคาร์โบไฮเดรตใกล้เคียงกัน และเริ่มสูงขึ้นในเดือนพฤศจิกายน พ.ศ. 2554 จนกระทั่งใบแก่และร่วงในเดือนมกราคม พ.ศ.2555 ในใบใหม่ที่มีอายุน้อยกว่า 1 เดือน (ก.พ.และ มี.ค.55 ซึ่งเกิดใบร่วงหลังจากแตกใบอ่อน 3 สัปดาห์) มีคาร์โบไฮเดรตต่ำกว่าในระยะอื่นๆ




**รูปที่ 4.5** การเปลี่ยนแปลงคาร์โบไฮเดรตในใบในรอบปี (ns = ไม่แตกต่างทางสถิติ)

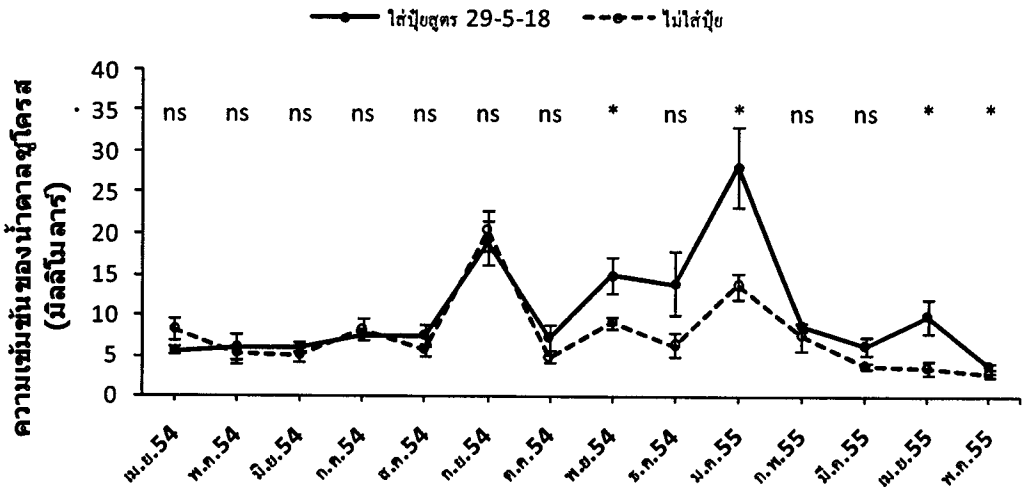
**การเปลี่ยนแปลงของธาตุอาหารและองค์ประกอบทางชีวเคมีในน้ำยางในรอบปี**

**ของแข็งทั้งหมดในน้ำยางพารา** ปริมาณของแข็งทั้งหมดในน้ำยางพาราเฉลี่ยในช่วงเดือนเมษายน พ.ศ. 2554 ถึงเดือนพฤษภาคม พ.ศ. 2555 จากแปลงที่มีการใส่ปุ๋ย เท่ากับ 49.08 เปอร์เซ็นต์ ซึ่งมีปริมาณใกล้เคียงกับแปลงที่ไม่ใส่ปุ๋ย คือ 49.22 เปอร์เซ็นต์ โดยแนวโน้มการเปลี่ยนแปลงของแข็งทั้งหมดในน้ำยางพาราทั้ง 2 แปลงเป็นไปในทิศทางเดียวกัน ปริมาณของแข็งทั้งหมดในน้ำยางจะมีค่าสูงในช่วงเดือนเมษายน พ.ศ. 2554 ถึงเดือนพฤษภาคม พ.ศ. 2554 โดยแปลงที่มีการใส่ปุ๋ย และแปลงที่ไม่ใส่ปุ๋ยมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 57.16 และ 57.42 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ และเริ่มลดต่ำลงตั้งแต่เดือนมิถุนายน พ.ศ. 2554 ถึงเดือนตุลาคม พ.ศ. 2554 และมีค่าต่ำสุดในเดือนมีนาคม พ.ศ. 2555 โดยในแปลงที่ใส่ปุ๋ยและไม่ใส่ปุ๋ยมีค่าปริมาณของแข็งทั้งหมดเท่ากับ 44.31 และ 42.85 % ตามลำดับ นอกจากนี้ ยังพบว่า ปริมาณของแข็งทั้งหมดในน้ำยางจะมีการเปลี่ยนแปลงน้อยที่สุดในช่วงเดือนกรกฎาคม พ.ศ. 2554 ถึงเดือนกุมภาพันธ์ พ.ศ. 2555(รูปที่ 4.6)



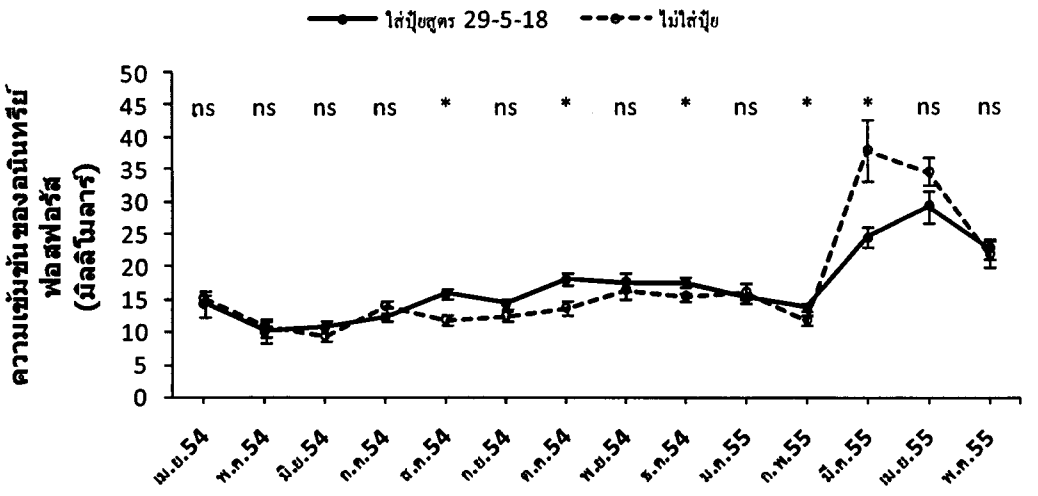

**รูปที่ 4.6** การเปลี่ยนแปลงของปริมาณของแข็งทั้งหมดในน้ำยาง (ค่าเฉลี่ยจาก 3 ซ้ำ; I คือ ค่าความคลาดเคลื่อนมาตรฐาน, * = แตกต่างทางสถิติที่ระดับ $P \leq 0.05$, ns = ไม่แตกต่างทางสถิติ)

**ซูโครส** ความเข้มข้นเฉลี่ยของซูโครสในน้ำยางพาราในช่วงเดือนเมษายน พ.ศ. 2554 ถึงเดือนพฤษภาคม พ.ศ. 2555 จากแปลงที่มีการใส่ปุ๋ย เท่ากับ 11.04 มิลลิโมลาร์ ซึ่งมีแนวโน้มที่สูงกว่าแปลงที่ไม่ใส่ปุ๋ย คือ 7.43 มิลลิโมลาร์ โดยแนวโน้มการเปลี่ยนแปลงของซูโครสในน้ำยางพาราทั้ง 2 แปลงเป็นไปในทิศทางเดียวกัน ความเข้มข้นของซูโครสมีค่าต่ำในช่วงเดือนเมษายน พ.ศ. 2554 ถึงเดือนสิงหาคม พ.ศ. 2554 โดยแปลงที่มีการใส่ปุ๋ย และแปลงที่ไม่ใส่ปุ๋ยมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 6.53 และ 8.74 มิลลิโมลาร์ ตามลำดับ และเพิ่มขึ้นในเดือนกันยายน พ.ศ. 2554 มีค่าเท่ากับ 18.96 และ 20.38 มิลลิโมลาร์ ตามลำดับ และลดลงอีกในช่วงเดือนตุลาคม โดยมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 12.07 และ 6.76 มิลลิโมลาร์ ตามลำดับ โดยในช่วงเดือนตุลาคม พ.ศ. 2554 ถึงเดือนมกราคม พ.ศ. 2555 ความเข้มข้นของน้ำตาลซูโครสจากแปลงที่มีการใส่ปุ๋ยมีค่าสูงกว่าแปลงที่ไม่ใส่ปุ๋ยอย่างเห็นได้ชัด โดยมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 18.59 และ 8.49 มิลลิโมลาร์ ตามลำดับ นอกจากนี้ ผลการทดลองยังแสดงให้เห็นอีกว่า ความเข้มข้นของซูโครสจะมีการเปลี่ยนแปลงน้อยที่สุดในช่วงเดือนมิถุนายน พ.ศ. 2554 ถึง กรกฎาคม พ.ศ. 2554 โดยแปลงที่มีการใส่ปุ๋ย และแปลงที่ไม่ใส่ปุ๋ยมีค่าอยู่ในช่วง 6.06 - 7.45 มิลลิโมลาร์ และ 4.97 - 8.17 มิลลิโมลาร์ ตามลำดับ (รูปที่ 4.7)



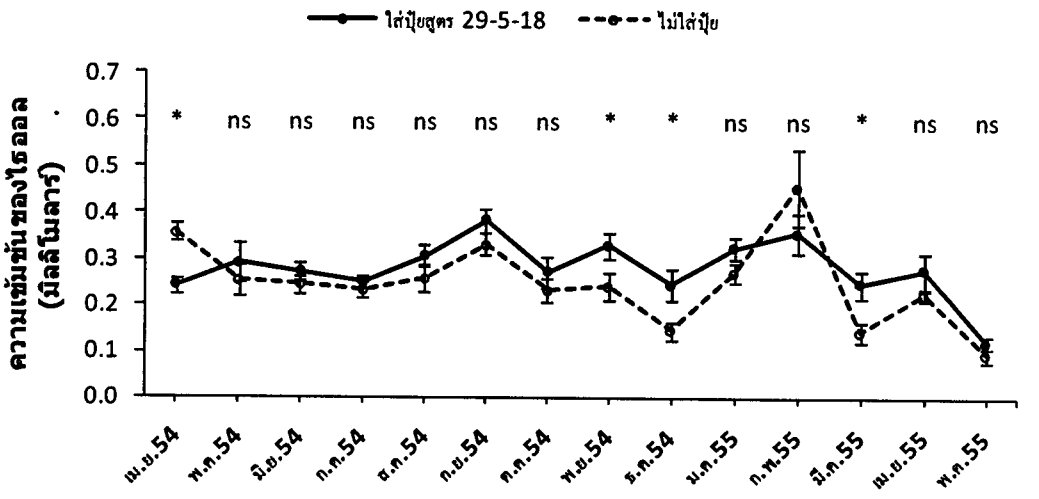

**รูปที่ 4.7** การเปลี่ยนแปลงของความเข้มข้นของน้ำตาลซูโครสในน้ำยาง (ค่าเฉลี่ยจาก 3 ซ้ำ; I คือ ค่าความคลาดเคลื่อนมาตรฐาน, * = แตกต่างทางสถิติที่ระดับ $P \leq 0.05$, ns = ไม่แตกต่างทางสถิติ)

**อนินทรีย์ฟอสฟอรัส** ความเข้มข้นเฉลี่ยของอนินทรีย์ฟอสฟอรัสในน้ำยางพาราในช่วงเดือนเมษายน พ.ศ. 2554 ถึงเดือนพฤษภาคม พ.ศ. 2555 จากแปลงที่มีการใส่ปุ๋ย เท่ากับ 16.85 มิลลิโมลาร์ ซึ่งมีค่าใกล้เคียงกับแปลงที่ไม่ใส่ปุ๋ย คือ 17.16 มิลลิโมลาร์ แต่ในช่วงปลายปีตั้งแต่ ตุลาคม 2554 ค่าอนินทรีย์ฟอสฟอรัสจากแปลงที่ใส่ปุ๋ยส่วนใหญ่สูงกว่าแปลงที่ไม่ใส่ปุ๋ย โดยที่แนวโน้มการเปลี่ยนแปลงของอนินทรีย์ฟอสฟอรัสในน้ำยางพาราทั้ง 2 แปลงเป็นไปในทิศทางเดียวกัน ความเข้มข้นของอนินทรีย์ฟอสฟอรัสมีค่าต่ำในช่วงเดือนพฤษภาคม พ.ศ. 2554 ถึงเดือนมิถุนายน พ.ศ. 2554 โดยแปลงที่มีการใส่ปุ๋ย และแปลงที่ไม่ใส่ปุ๋ยมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 10.39 และ 9.97 มิลลิโมลาร์ ตามลำดับ และจะเพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่องในเดือนกรกฎาคม พ.ศ. 2554 ถึงเดือนธันวาคม พ.ศ. 2554 โดยมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 15.92 และ 13.9 มิลลิโมลาร์ ตามลำดับ ความเข้มข้นของอนินทรีย์ฟอสฟอรัสในน้ำยางจากแปลงที่มีการใส่ปุ๋ย และแปลงที่ไม่ใส่ปุ๋ยจะมีค่าสูงสุดในเดือนมีนาคม พ.ศ. 2555 ถึงเดือนเมษายน พ.ศ. 2555 โดยมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 26.84 และ 36.16 มิลลิโมลาร์ ตามลำดับ นอกจากนี้ ผลการทดลองยังแสดงให้เห็นว่า ความเข้มข้นของอนินทรีย์ฟอสฟอรัสจะมีการเปลี่ยนแปลงน้อยที่สุดในช่วงเดือนพฤศจิกายน พ.ศ. 2554 ถึงเดือนธันวาคม พ.ศ. 2554 โดยแปลงที่มีการใส่ปุ๋ย และแปลงที่ไม่ใส่ปุ๋ยมีค่าอยู่ในช่วง 17.57 - 17.6 มิลลิโมลาร์ และ 16.46 - 15.33 มิลลิโมลาร์ ตามลำดับ (รูปที่ 4.8)




**รูปที่ 4.8** การเปลี่ยนแปลงของความเข้มข้นของอนินทรีย์ฟอสฟอรัสในน้ำยาง (ค่าเฉลี่ยจาก 3 ซ้ำ; I คือ ค่าความคลาดเคลื่อนมาตรฐาน, * = แตกต่างทางสถิติที่ระดับ $P \leq 0.05$, ns = ไม่แตกต่างทางสถิติ)

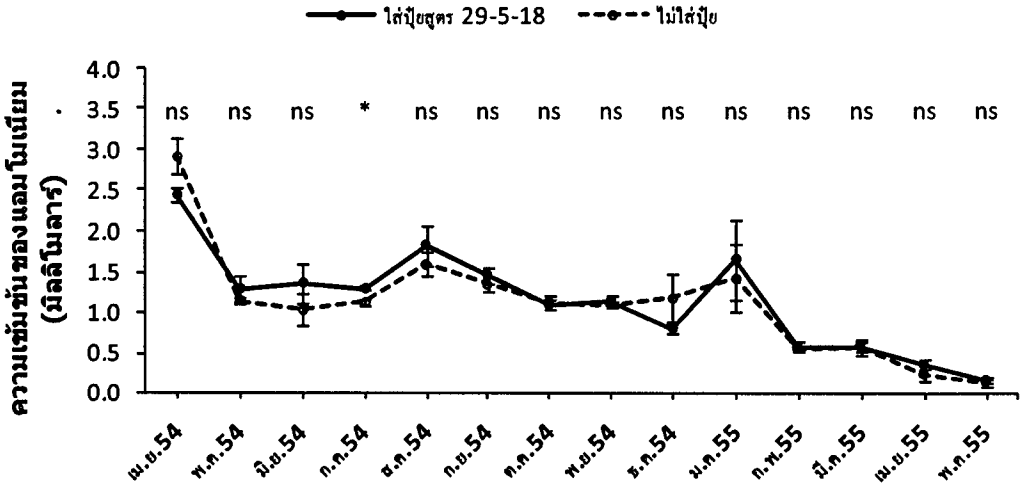
**ไทออล** ความเข้มข้นเฉลี่ยของไทออลในน้ำยางพาราในช่วงเดือนเมษายน พ.ศ. 2554 ถึงเดือนพฤษภาคม พ.ศ. 2555 จากแปลงที่มีการใส่ปุ๋ย เท่ากับ 0.28 มิลลิโมลาร์ มีความเข้มข้นใกล้เคียงกับแปลงที่ไม่ใส่ปุ๋ย คือ 0.25 มิลลิโมลาร์ ทั้งนี้การใส่ปุ๋ยมีแนวโน้มทำให้มีไทออลในน้ำยางสูงกว่าแปลงที่ไม่ใส่ปุ๋ย แนวโน้มการเปลี่ยนแปลงของไทออลในน้ำยางพาราทั้ง 2 แปลงเป็นไปในทิศทางเดียวกัน ความเข้มข้นของไทออลจะมีค่าต่ำในช่วงเดือนพฤษภาคม พ.ศ. 2554 ถึงเดือนกรกฎาคม พ.ศ. 2554 โดยแปลงที่มีการใส่ปุ๋ยและแปลงที่ไม่ใส่ปุ๋ยมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 0.27 และ 0.24 มิลลิโมลาร์ ตามลำดับ และเพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่องในช่วงเดือนกรกฎาคม พ.ศ. 2554 ไปจนถึงเดือนมกราคม 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 นอกจากนี้ ผลการทดลองยังแสดงให้เห็นอีกว่า ความเข้มข้นของไทออลมีการเปลี่ยนแปลงน้อยที่สุดในช่วงเดือนมิถุนายน พ.ศ. 2554 ถึงปลายปี พ.ศ. 2554 (รูปที่ 4.9)



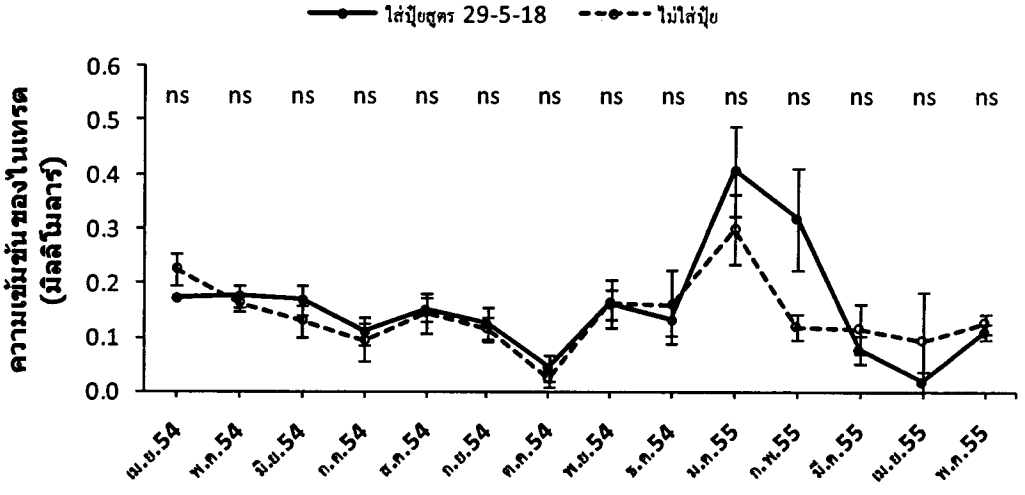

**รูปที่ 4.9** การเปลี่ยนแปลงของความเข้มข้นของไทออลในน้ำยาง (ค่าเฉลี่ยจาก 3 ซ้ำ; I คือ ค่าความคลาดเคลื่อนมาตรฐาน, * = แตกต่างทางสถิติที่ระดับ $P \leq 0.05$, ns = ไม่แตกต่างทางสถิติ)

**แอมโมเนียม** ความเข้มข้นเฉลี่ยของแอมโมเนียมในน้ำยางพาราในช่วงเดือนเมษายน พ.ศ. 2554 ถึงเดือนพฤษภาคม พ.ศ. 2555 จากแปลงที่มีการใส่ปุ๋ย เท่ากับ 1.14 มิลลิโมลาร์ ซึ่งใกล้เคียงแปลงที่ไม่ใส่ปุ๋ย คือ 1.10 มิลลิโมลาร์ แนวโน้มการเปลี่ยนแปลงของแอมโมเนียมในน้ำยางพาราทั้ง 2 แปลงเป็นไปในทิศทางเดียวกัน ความเข้มข้นของแอมโมเนียมจะมีค่าสูงสุดในเดือนเมษายน พ.ศ. 2554 โดยแปลงที่มีการใส่ปุ๋ยและแปลงที่ไม่ใส่ปุ๋ยมีค่าเท่ากับ 2.43 และ 2.92 มิลลิโมลาร์ ตามลำดับ และลดต่ำลงในช่วงเดือนพฤษภาคม พ.ศ. 2554 ถึงธันวาคม พ.ศ. 2554 โดยลดลงต่ำสุดในเดือนพฤษภาคม พ.ศ. 2555 มีค่าเท่ากับ 0.16 และ 0.13 มิลลิโมลาร์ ตามลำดับ นอกจากนี้ ผลกการทดลองยังแสดงให้เห็นอีกว่า ความเข้มข้นของแอมโมเนียมจะมีการเปลี่ยนแปลงน้อยที่สุดในช่วงเดือนพฤษภาคม พ.ศ. 2554 ถึงเดือนพฤศจิกายน พ.ศ. 2554 (รูปที่ 4.10)

**ไนเทรต** ความเข้มข้นเฉลี่ยของไนเทรตในน้ำยางพาราในช่วงเดือนเมษายน พ.ศ. 2554 ถึงเดือนพฤษภาคม พ.ศ. 2555 จากแปลงที่มีการใส่ปุ๋ย เท่ากับ 0.15 มิลลิโมลาร์ ซึ่งมีค่าใกล้เคียงกับแปลงที่ไม่ใส่ปุ๋ย คือ 0.14 มิลลิโมลาร์ แนวโน้มการเปลี่ยนแปลงของไนเทรตในน้ำยางพาราทั้ง 2 แปลงเป็นไปในทิศทางเดียวกัน ความเข้มข้นของไนเทรตจะลดต่ำลงจากเดือนเมษายน พ.ศ. 2554 และมีค่าต่ำสุดในเดือนตุลาคม พ.ศ. 2554 โดยมีค่าเท่ากับ 0.04 และ 0.02 มิลลิโมลาร์ ตามลำดับ และเพิ่มสูงขึ้นในเดือนมกราคม พ.ศ. 2555 และหลังจากเดือนมกราคม พ.ศ. 2555 ความเข้มข้นของไนเทรตมีแนวโน้มลดต่ำลงไปจนถึงเดือนเดือนพฤษภาคม พ.ศ. 2555 นอกจากนี้ ผลการทดลองยังแสดงให้เห็นอีกว่า ความเข้มข้นของไนเทรตจะมีการเปลี่ยนแปลงน้อยที่สุดในช่วงเดือนพฤษภาคม พ.ศ. 2554 ถึงกันยายน พ.ศ. 2554 (รูปที่ 4.11)



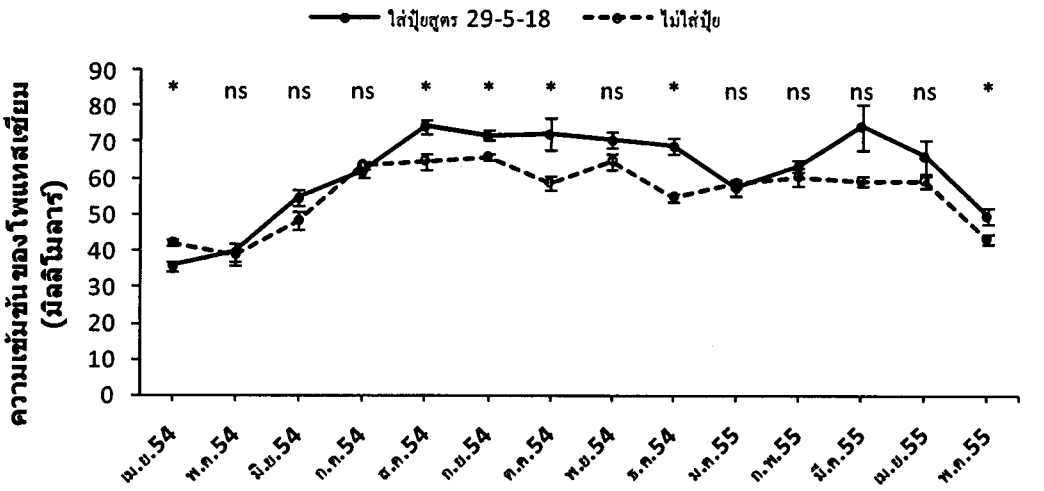

**รูปที่ 4.10** การเปลี่ยนแปลงของความเข้มข้นของแอมโมเนียมในน้ำยาง (ค่าเฉลี่ยจาก 3 ซ้ำ; I คือ ค่าความคลาดเคลื่อนมาตรฐาน, * = แตกต่างทางสถิติที่ระดับ $P \leq 0.05$, ns = ไม่แตกต่างทางสถิติ)




**รูปที่ 4.11** การเปลี่ยนแปลงของความเข้มข้นของไนเทรตในน้ำยาง (ค่าเฉลี่ยจาก 3 ซ้ำ; I คือ ค่าความคลาดเคลื่อนมาตรฐาน, ns = ไม่แตกต่างทางสถิติ))

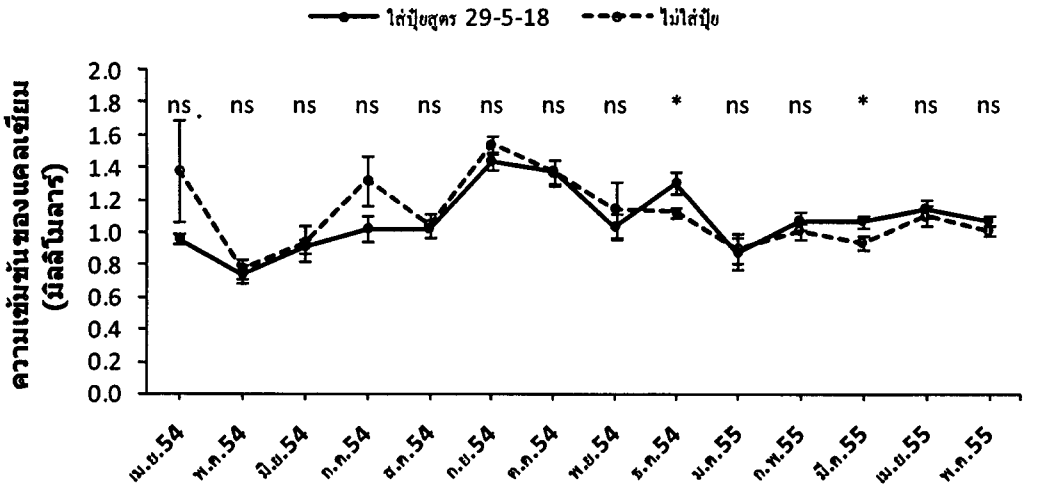
**โพแทสเซียม** ความเข้มข้นเฉลี่ยของโพแทสเซียมในน้ำยางพาราในช่วงเดือนเมษายน พ.ศ. 2554 ถึงเดือนพฤษภาคม พ.ศ. 2555 จากแปลงที่มีการใส่ปุ๋ย เท่ากับ 61.41 มิลลิโมลาร์ ซึ่งสูงกว่าแปลงที่ไม่ใส่ปุ๋ย คือ 55.82 มิลลิโมลาร์ แนวโน้มการเปลี่ยนแปลงของโพแทสเซียมในน้ำยางพาราทั้ง 2 แปลงเป็นไปในทิศทางเดียวกัน ความเข้มข้นของโพแทสเซียมจะมีค่าต่ำสุดในเดือนเมษายน พ.ศ. 2554 โดยแปลงที่มีการใส่ปุ๋ย และแปลงที่ไม่ใส่ปุ๋ยมีค่าเท่ากับ 35.76 และ 42.14 มิลลิโมลาร์ ตามลำดับ และมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่องในช่วงเดือนพฤษภาคม พ.ศ. 2554 ไปจนถึงเดือนมีนาคม พ.ศ. 2555 มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 64.4 และ 57.88 มิลลิ

โมลาร์ ตามลำดับ และหลังจากเดือนมีนาคม พ.ศ. 2555 มีแนวโน้มลดลงอย่างต่อเนื่องไปจนถึงเดือนพฤษภาคม พ.ศ. 2555 ในช่วงเดือนสิงหาคม พ.ศ. 2554 ถึงเดือนมีนาคม พ.ศ. 2555 ความเข้มข้นของโพแทสเซียมในน้ำยางในแปลงที่ใส่ปุ๋ย มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 69.1 มิลลิโมลาร์ ตามลำดับ ซึ่งสูงกว่าแปลงที่ไม่ใส่ปุ๋ย คือ 60.75 มิลลิโมลาร์ อย่างเห็นได้ชัด นอกจากนี้ ผลการทดลองยังแสดงให้เห็นว่า ความเข้มข้นของโพแทสเซียมจะมีการเปลี่ยนแปลงน้อยที่สุดในช่วงเดือนสิงหาคม พ.ศ. 2554 ถึงธันวาคม พ.ศ. 2554 (รูปที่ 4.12)



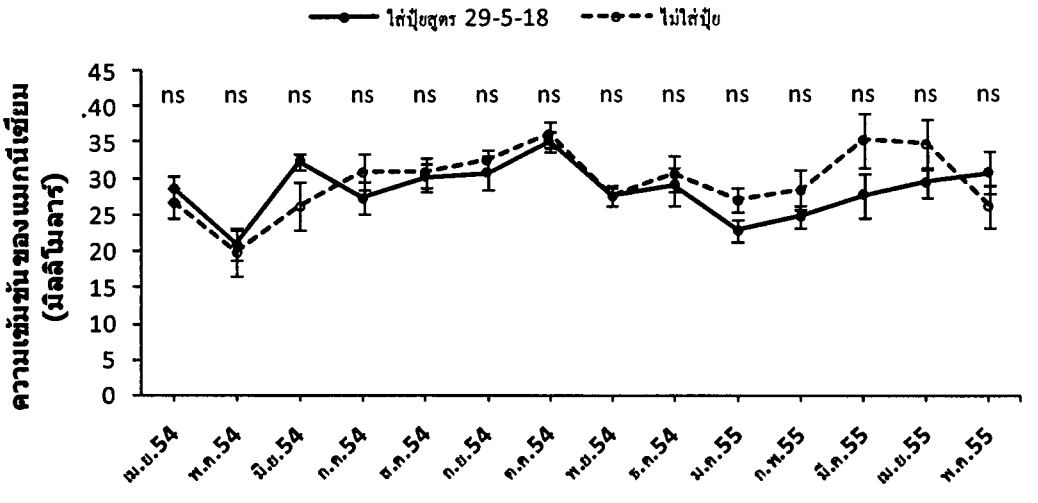

**รูปที่ 4.12** การเปลี่ยนแปลงของความเข้มข้นของโพแทสเซียมในน้ำยาง (ค่าเฉลี่ยจาก 3 ซ้ำ; I คือ ค่าความคลาดเคลื่อนมาตรฐาน , * = แตกต่างทางสถิติที่ระดับ $P \leq 0.05$, ns = ไม่แตกต่างทางสถิติ)

**แคลเซียม** ความเข้มข้นเฉลี่ยของแคลเซียมในน้ำยางพาราในช่วงเดือนเมษายน พ.ศ. 2554 ถึงเดือนพฤษภาคม พ.ศ. 2555 จากแปลงที่มีการใส่ปุ๋ย เท่ากับ 1.08 มิลลิโมลาร์ ซึ่งมีความเข้มข้นใกล้เคียงกับแปลงที่ไม่ใส่ปุ๋ย คือ 1.11 มิลลิโมลาร์ แนวโน้มการเปลี่ยนแปลงของแคลเซียมในน้ำยางพาราทั้ง 2 แปลงเป็นไปในทิศทางเดียวกัน ความเข้มข้นของแคลเซียมมีค่าต่ำสุดในเดือนพฤษภาคม พ.ศ. 2554 โดยแปลงที่มีการใส่ปุ๋ยและแปลงที่ไม่ใส่ปุ๋ยมีค่าเท่ากับ 0.74 และ 0.77 มิลลิโมลาร์ ตามลำดับ และมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่องไปจนถึงเดือนกันยายน พ.ศ. 2554 โดยมีความเข้มข้นสูงสุดในเดือนกันยายน และลดลงอีกในช่วงเดือนตุลาคม พ.ศ. 2554 ถึงเดือนพฤษภาคม พ.ศ. 2555 นอกจากนี้ ผลการทดลองยังแสดงให้เห็นว่า ความเข้มข้นของแคลเซียมจะมีการเปลี่ยนแปลงน้อยที่สุดในช่วงเดือนเมษายน พ.ศ. 2555 ถึงเดือนพฤษภาคม พ.ศ. 2555 (รูปที่ 4.13)




**รูปที่ 4.13** การเปลี่ยนแปลงของความเข้มข้นของแคลเซียมในน้ำยาง (ค่าเฉลี่ยจาก 3 ซ้ำ; I คือ ค่าความคลาดเคลื่อนมาตรฐาน, * = แตกต่างทางสถิติที่ระดับ $P \leq 0.05$, ns = ไม่แตกต่างทางสถิติ)

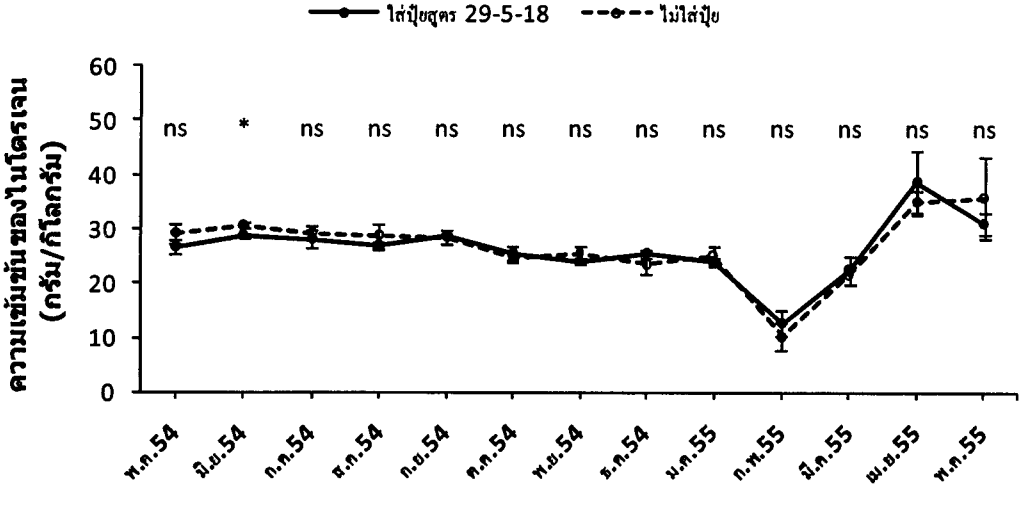
**แมกนีเซียม** ความเข้มข้นเฉลี่ยของแมกนีเซียมในน้ำยางพาราในช่วงเดือนเมษายน พ.ศ. 2554 ถึงเดือนพฤษภาคม พ.ศ. 2555 จากแปลงที่มีการใส่ปุ๋ย เท่ากับ 28.34 มิลลิโมลาร์ ซึ่งมีความเข้มข้นใกล้เคียงกับแปลงที่ไม่ใส่ปุ๋ย คือ 29.47 มิลลิโมลาร์ อย่างไรก็ตาม แมกนีเซียมในน้ำยางจากแปลงที่ใส่ปุ๋ยมีแนวโน้มต่ำกว่าแปลงที่ไม่ใส่ปุ๋ย ทั้งนี้แนวโน้มการเปลี่ยนแปลงของแมกนีเซียมในน้ำยางพาราทั้ง 2 แปลงเป็นไปในทิศทางเดียวกัน ความเข้มข้นของแมกนีเซียมจะมีค่าสูงสุดในเดือนตุลาคม พ.ศ. 2554 โดยแปลงที่มีการใส่ปุ๋ยและแปลงที่ไม่ใส่ปุ๋ยมีค่าเท่ากับ 35.09 และ 36.07 มิลลิโมลาร์ ตามลำดับ และมีค่าต่ำสุดในเดือนพฤษภาคม พ.ศ. 2554 เท่ากับ 20.9 และ 19.84 มิลลิโมลาร์ ตามลำดับ นอกจากนี้ ผลการทดลองยังแสดงให้เห็นว่า ความเข้มข้นของแมกนีเซียมจะมีการเปลี่ยนแปลงน้อยที่สุดในช่วงเดือนกรกฎาคม พ.ศ. 2554 ถึงเดือนกันยายน พ.ศ. 2554 (รูปที่ 4.14)




**รูปที่ 4.14** การเปลี่ยนแปลงของความเข้มข้นของแมกนีเซียมในน้ำยาง (ค่าเฉลี่ยจาก 3 ซ้ำ; I คือ ค่าความคลาดเคลื่อนมาตรฐาน, ns = ไม่แตกต่างทางสถิติ)

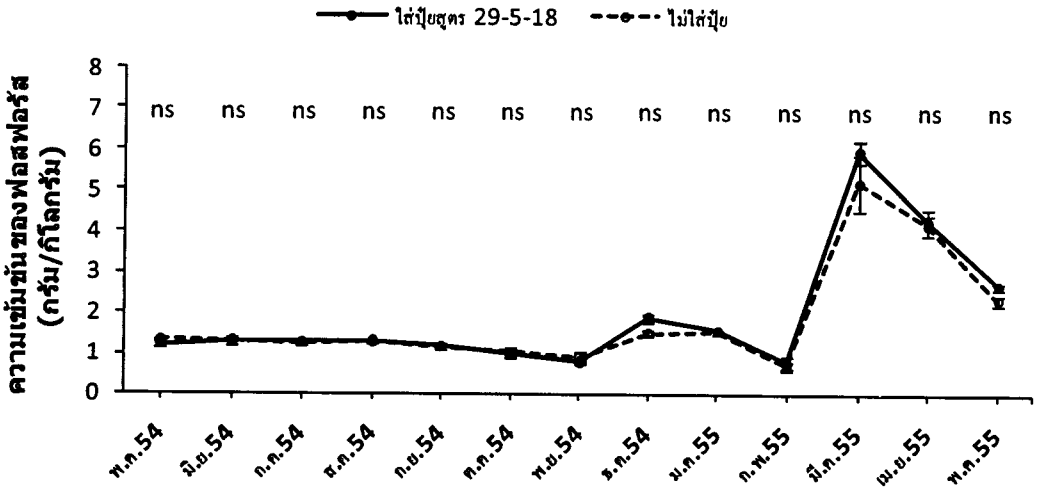
**การเปลี่ยนแปลงของธาตุอาหารในใบยางพาราในรอบปี**

**ไนโตรเจน** ความเข้มข้นเฉลี่ยของไนโตรเจนทั้งหมดในช่วงเดือนพฤษภาคม พ.ศ. 2554 ถึงเดือนพฤษภาคม พ.ศ. 2555 จากแปลงที่มีการใส่ปุ๋ย เท่ากับ 26.37 กรัมต่อกิโลกรัม ซึ่งมีค่าใกล้เคียงกับแปลงที่ไม่ใส่ปุ๋ย คือ 26.75 กรัมต่อกิโลกรัม และแนวโน้มการเปลี่ยนแปลงของความเข้มข้นไนโตรเจนทั้งหมดทั้ง 2 แปลงเป็นไปในทิศทางเดียวกัน โดยความเข้มข้นไนโตรเจนทั้งหมดจากแปลงที่มีการใส่ปุ๋ย และแปลงที่ไม่ใส่ปุ๋ยจะมีความเข้มข้นต่ำสุดในเดือนกุมภาพันธ์ พ.ศ. 2555 คือ 12.7 และ 10.22 กรัมต่อกิโลกรัม ตามลำดับ และมีค่าสูงสุดในเดือนเมษายน พ.ศ. 2555 คือ 38.65 และ 35.15 กรัมต่อกิโลกรัม ตามลำดับ (รูปที่ 4.15)



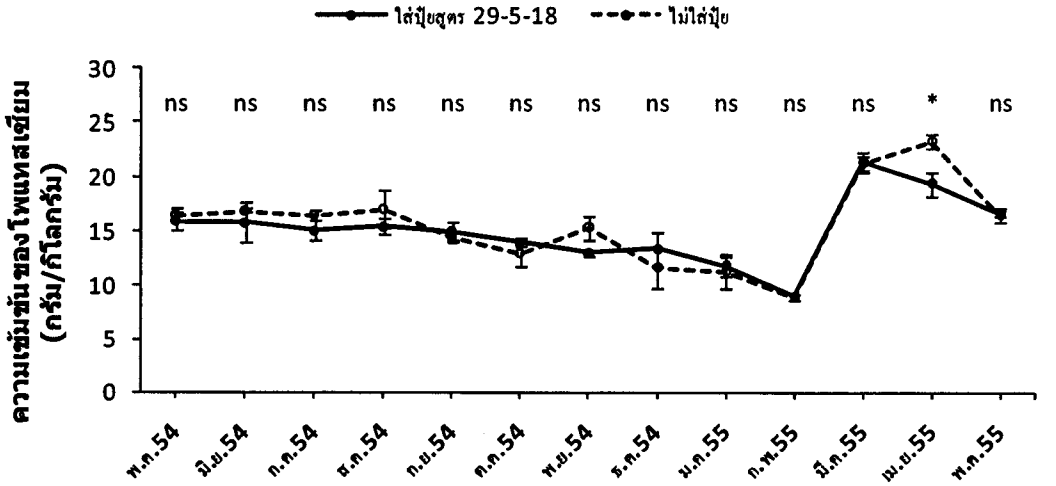

**รูปที่ 4.15** การเปลี่ยนแปลงของความเข้มข้นไนโตรเจนทั้งหมดในใบยาง (ค่าเฉลี่ยจาก 3 ซ้ำ; I คือ ค่าความคลาดเคลื่อนมาตรฐาน, * = แตกต่างทางสถิติที่ระดับ $P \leq 0.05$, ns = ไม่แตกต่างทางสถิติ)

**ฟอสฟอรัส** ความเข้มข้นเฉลี่ยของฟอสฟอรัสทั้งหมดในช่วงเดือนพฤษภาคม พ.ศ. 2554 ถึงเดือนพฤษภาคม พ.ศ. 2555 จากแปลงที่มีการใส่ปุ๋ย เท่ากับ 1.92 กรัมต่อกิโลกรัม ซึ่งมีค่าใกล้เคียงกับแปลงที่ไม่ใส่ปุ๋ย คือ 1.82 กรัมต่อกิโลกรัม และแนวโน้มการเปลี่ยนแปลงของความเข้มข้นฟอสฟอรัสทั้งหมดในทั้ง 2 แปลงเป็นไปในทิศทางเดียวกัน โดยความเข้มข้นฟอสฟอรัสทั้งหมดจากแปลงที่มีการใส่ปุ๋ย และแปลงที่ไม่ใส่ปุ๋ยจะมีความเข้มข้นต่ำสุดในเดือนกุมภาพันธ์ พ.ศ. 2555 คือ 0.76 และ 0.70 กรัมต่อกิโลกรัม ตามลำดับ และมีค่าสูงสุดในเดือนมีนาคม พ.ศ. 2555 คือ 5.95 และ 5.20 กรัมต่อกิโลกรัม ตามลำดับ โดยที่ความเข้มข้นของฟอสฟอรัสในระหว่างเดือน พฤษภาคม ถึงพฤศจิกายน พ.ศ. 2554 มีการเปลี่ยนแปลงน้อย (รูปที่ 4.16)



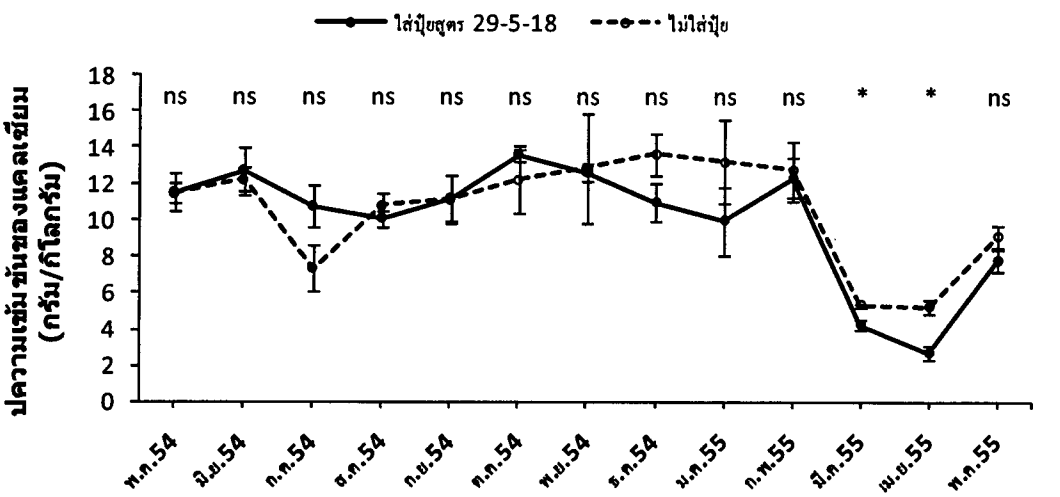

**รูปที่ 4.16** การเปลี่ยนแปลงของความเข้มข้นฟอสฟอรัสทั้งหมดในใบยาง (ค่าเฉลี่ยจาก 3 ซ้ำ; I คือ ค่าความคลาดเคลื่อนมาตรฐาน, ns = ไม่แตกต่างทางสถิติ)

**โพแทสเซียม** ความเข้มข้นเฉลี่ยของโพแทสเซียมทั้งหมดในช่วงเดือนพฤษภาคม พ.ศ. 2554 ถึงเดือนพฤษภาคม พ.ศ. 2555 จากแปลงที่มีการใส่ปุ๋ย เท่ากับ 15.05 กรัมต่อกิโลกรัม ซึ่งมีค่าใกล้เคียงกับแปลงที่ไม่ใส่ปุ๋ย คือ 15.55 กรัมต่อกิโลกรัม และแนวโน้มการเปลี่ยนแปลงของความเข้มข้นโพแทสเซียมทั้งหมดในทั้ง 2 แปลงเป็นไปในทิศทางเดียวกัน โดยความเข้มข้นโพแทสเซียมทั้งหมดจากแปลงที่มีการใส่ปุ๋ย และแปลงที่ไม่ใส่ปุ๋ยจะมีความเข้มข้นต่ำสุดในเดือนกุมภาพันธ์ พ.ศ. 2555 คือ 8.95 และ 8.90 กรัมต่อกิโลกรัม ตามลำดับ และมีค่าสูงสุด คือ 21.42 กรัมต่อกิโลกรัม ในเดือนมีนาคม พ.ศ. 2555 ในแปลงที่ใส่ปุ๋ย และ 23.23 กรัมต่อกิโลกรัม ในเดือนเมษายน พ.ศ. 2555 ในแปลงที่ไม่ใส่ปุ๋ย โดยที่ความเข้มข้นของโพแทสเซียมในระหว่างเดือน พฤษภาคม ถึงพฤศจิกายน พ.ศ. 2554 มีการเปลี่ยนแปลงน้อย (รูปที่ 4.17)



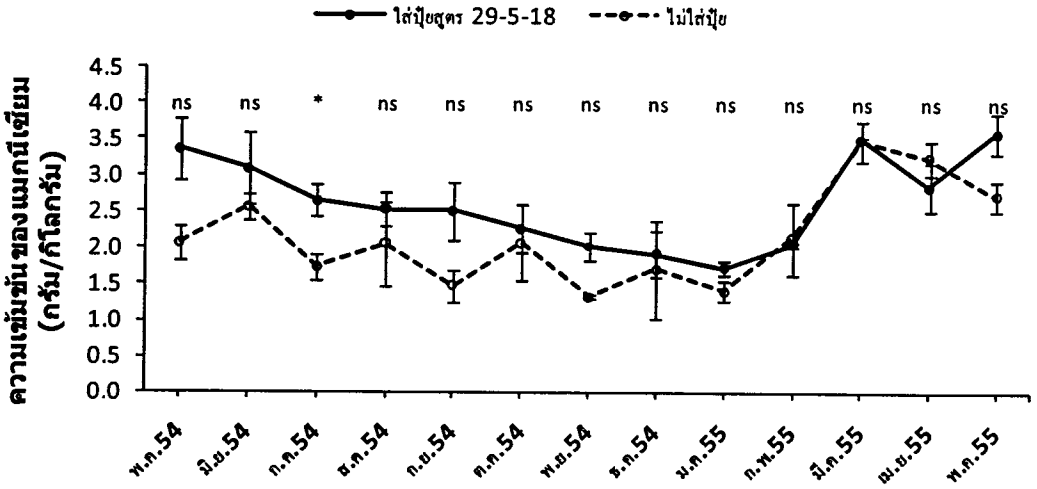

**รูปที่ 4.17** การเปลี่ยนแปลงของความเข้มข้นโพแทสเซียมทั้งหมดในใบยาง (ค่าเฉลี่ยจาก 3 ซ้ำ; I คือ ค่าความคลาดเคลื่อนมาตรฐาน, * = แตกต่างทางสถิติที่ระดับ $P \leq 0.05$, ns = ไม่แตกต่างทางสถิติ)

**แคลเซียม** ความเข้มข้นเฉลี่ยของแคลเซียมทั้งหมดในช่วงเดือนพฤษภาคม พ.ศ. 2554 ถึงเดือนพฤษภาคม พ.ศ. 2555 จากแปลงที่มีการใส่ปุ๋ย เท่ากับ 10.03 กรัมต่อกิโลกรัม ซึ่งมีค่าใกล้เคียงกับแปลงที่ไม่ใส่ปุ๋ย คือ 10.58 กรัมต่อกิโลกรัม และแนวโน้มการเปลี่ยนแปลงของความเข้มข้นแคลเซียมทั้งหมดในทั้ง 2 แปลงเป็นไปในทิศทางเดียวกัน ความเข้มข้นแคลเซียมทั้งหมดจากแปลงที่มีการใส่ปุ๋ย และแปลงที่ไม่ใส่ปุ๋ยจะมีความเข้มข้นลดลงในเดือนมีนาคมและเมษายน พ.ศ. 2555 โดยที่ความเข้มข้นของแคลเซียมในระหว่างเดือน พฤษภาคม พ.ศ. 2554 ถึงกุมภาพันธ์ พ.ศ. 2555 มีการเปลี่ยนแปลงน้อย (รูปที่ 4.18)




**รูปที่ 4.18** การเปลี่ยนแปลงของความเข้มข้นแคลเซียมทั้งหมดในใบยาง (ค่าเฉลี่ยจาก 3 ซ้ำ; I คือ ค่าความคลาดเคลื่อนมาตรฐาน, * = แตกต่างทางสถิติที่ระดับ $P \leq 0.05$, ns = ไม่แตกต่างทางสถิติ)

**แมกนีเซียม** ความเข้มข้นเฉลี่ยของแมกนีเซียมทั้งหมดในช่วงเดือนพฤษภาคม พ.ศ. 2554 ถึงเดือนพฤษภาคม พ.ศ. 2555 จากแปลงที่มีการใส่ปุ๋ย เท่ากับ 2.62 กรัมต่อกิโลกรัม ซึ่งมีค่าสูงกว่าในแปลงที่ไม่ใส่ปุ๋ย คือ 2.15 กรัมต่อกิโลกรัม และแนวโน้มการเปลี่ยนแปลงของความเข้มข้นแมกนีเซียมทั้งหมดในทั้ง 2 แปลงเป็นไปในทิศทางเดียวกัน โดยความเข้มข้นแมกนีเซียมทั้งหมดจากแปลงที่มีการใส่ปุ๋ย และแปลงที่ไม่ใส่ปุ๋ยจะมีความเข้มข้นต่ำสุดในเดือนมกราคม พ.ศ. 2555 คือ 1.72 และ 1.40 กรัมต่อกิโลกรัม ตามลำดับ โดยที่ความเข้มข้นของแมกนีเซียมมีแนวโน้มลดลงตามอายุใบที่เพิ่มขึ้น (รูปที่ 4.19)




**รูปที่ 4.19** การเปลี่ยนแปลงของความเข้มข้นแมกนีเซียมทั้งหมดในใบยาง (ค่าเฉลี่ยจาก 3 ซ้ำ; I คือ ค่าความคลาดเคลื่อนมาตรฐาน, * = แตกต่างทางสถิติที่ระดับ $P \leq 0.05$, ns = ไม่แตกต่างทางสถิติ)

## วิจารณ์ผลการทดลอง

### การเปลี่ยนแปลงของผลผลิต

การเปลี่ยนแปลงผลผลิตน้ำยางสดในรอบปีในแปลงที่ใส่และไม่ใส่ปุ๋ยเป็นแบบเดียวกัน กล่าวคือ เมื่อเริ่มเปิดกรีดในเดือนพฤษภาคมยางพาราให้ผลผลิตต่ำสุด และผลผลิตจะเพิ่มขึ้นจนถึงเดือนกรกฎาคม จากนั้นผลผลิตน้ำยางเริ่มคงที่ และให้ผลผลิตสูงสุดในช่วงเดือนตุลาคมถึงมกราคม (รูปที่ 4.3) สอดคล้องกับที่เคยรายงานไว้ (นภาวรรณ และคณะ, 2544; พิศมัย, 2553ก) โดยที่ปริมาณน้ำฝน อุณหภูมิ การผลัดใบและสร้างใบใหม่ของต้นยางมีผลต่อการให้ผลผลิตยางพารา (นภาวรรณ และคณะ, 2544) ในตอนเริ่มเปิดกรีดในเดือนพฤษภาคมซึ่งเป็นช่วงแล้งและเพิ่งผ่านการสร้างใบใหม่ ยางให้ผลผลิตต่ำ เพราะช่วงนี้ปริมาณฝนตกน้อยและอุณหภูมิสูง (รูปที่ 4.1) ต้นยางอาจจะลดการใช้น้ำ โดยทำให้ปากใบปิด ส่งผลให้นำก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ไปใช้ในกระบวนการสังเคราะห์แสงได้น้อย ทำให้น้ำตาลซูโครสซึ่งเป็นสารตั้งต้นใน

การสร้างน้ำยางมีน้อย (รูปที่ 4.7) ขณะเดียวกันเมื่อต้นยางพาราขาดน้ำทำให้แรงดันในท่อน้ำและท่ออาหารต่ำ จึงทำให้น้ำยางไหลช้า (นภาวรรณ และคณะ, 2544) ประกอบกับอุณหภูมิสูง (รูปที่ 4.1) และมีของแข็งทั้งหมดสูง (รูปที่ 4:6) จึงทำให้น้ำยางหยุดไหลเร็วขึ้น ผลผลิตจึงต่ำสุดในรอบปี แต่หลังจากเดือนพฤษภาคมมีปริมาณน้ำฝนมากขึ้น อุณหภูมิต่ำลง ทำให้ต้นยางพาราใช้น้ำและคาร์บอนไดออกไซด์ในการสังเคราะห์แสงได้ดีขึ้น จึงส่งผลผลให้ผลผลิตยางสูงขึ้น และเนื่องจากการกระจายของน้ำฝนค่อนข้างดีตลอดที่ทำการทดลอง จึงทำให้ผลผลิตในแต่ละเดือนไม่แตกต่างกันมาก อย่างไรก็ตาม ในเดือนกุมภาพันธ์ซึ่งเป็นระยะที่ยางผลิใบใหม่และเป็นช่วงแล้ง ก็ทำให้ผลผลิตยางลดลง

**การเปลี่ยนแปลงองค์ประกอบางชีวเคมีในน้ำยาง**

การเปลี่ยนแปลงองค์ประกอบทางชีวเคมีในน้ำยาง พบว่า ในน้ำยางในเดือนเมษายนถึงพฤษภาคม มีปริมาณของแข็งทั้งหมดสูงกว่าในช่วงอื่นๆ ทั้งนี้เพราะเป็นช่วงที่หยุดกรีดและเริ่มกรีดซึ่งเป็นช่วงแล้ง มีอุณหภูมิสูงกว่าช่วงอื่น ๆ ผลดังกล่าวสอดคล้องกับที่มีรายงานว่า อุณหภูมิสูงสุดและต่ำสุดมีความสัมพันธ์โดยตรงกับปริมาณของแข็งทั้งหมดในน้ำยาง แต่มีความสัมพันธ์เชิงลบกับปริมาณน้ำยาง (Vinod *et al.*, 2000) ทั้งนี้การใส่ปุ๋ยไม่มีผลต่อปริมาณของแข็งทั้งหมด ในขณะที่ซูโครสในน้ำยางในช่วงเดือนเมษายนถึงสิงหาคมมีค่าต่ำ โดยในเดือนเมษายนเป็นช่วงที่หยุดกรีดยางและใบยางกำลังพัฒนาทำให้ต้องนำซูโครสไปใช้ในการเจริญทางด้านกิ่งก้านและใบ แต่หลังจากเปิดกรีดยางในเดือนพฤษภาคมจนถึงเดือนสิงหาคมซึ่งยังมีฝนตกไม่มากและกรีดถี่มากถึง 16-18 วันในรอบเดือน จึงทำให้มีการนำซูโครสไปสร้างเนื้อยาง ทำให้มีซูโครสในน้ำยางต่ำกว่าในระยะอื่นซึ่งมีความถี่ในการกรีดยางน้อยกว่า (รูปที่ 4.2) ในขณะที่ปลายปีมีฝนตกชุก อุณหภูมิไม่สูงเท่าช่วงแล้ง ต้นยางพาราจึงสังเคราะห์แสงได้ดี และมีจำนวนวันกรีดยางน้อย ส่งผลให้มีการสะสมซูโครสในน้ำยางสูงกว่าระยะอื่นๆ แต่เมื่อปริมาณฝนลดลงและมีการกรีดยางถี่ขึ้นก็ทำให้ซูโครสในน้ำยางลดลงอีกครั้ง (รูปที่ 4.7) ซึ่งสอดคล้องกับการศึกษาของพเยาว์ และคณะ (2546) ที่พบว่า ต้นยางที่เปิดกรีดมีซูโครสจะลดลง และเมื่อกรีดถี่จะทำให้ซูโครสลดลง (Koshy, 1997) ทั้งนี้การใส่ปุ๋ยทำให้ซูโครสในน้ำยางสูงกว่าไม่ใส่ปุ๋ย โดยเฉพาะหลังจากการใส่ปุ๋ยครั้งที่ 2 (เดือนตุลาคม 54)

การเปลี่ยนแปลงของอนินทรีย์ฟอสฟอรัสในน้ำยาง พบว่า สอดคล้องการเปลี่ยนแปลงของผลผลิตน้ำยางสดและซูโครส โดยอนินทรีย์ฟอสฟอรัสจะสูงเมื่อผลผลิตน้ำยางสูงในขณะที่ซูโครสต่ำ (Koshy,. 1997) สอดคล้องกับที่เคยรายงานว่า อนินทรีย์ฟอสฟอรัสมีความสัมพันธ์เชิงบวกกับผลผลิตยางพารา (พิศมัย และคณะ, 2546ก; Sreelatha *et al.*, 2007; Lacote *et al.*, 2010) หลังจากเปิดกรีดยางในเดือนพฤษภาคม อินทรีย์ฟอสฟอรัสก็เริ่มค่อยๆ สูงขึ้นสอดคล้องกับผลผลิตน้ำยางสด และเปลี่ยนแปลงน้อยจนถึงสิ้นปี เป็นที่น่าสังเกตว่า อนินทรีย์ฟอสฟอรัสเพิ่มขึ้นสูงในช่วงเดือนมีนาคมถึงเมษายน (รูปที่ 4.8) ทั้งนี้ยางพาราผลิใบใหม่ในเดือนมีนาคมซึ่งยังคงกรีดยางอยู่ ดังนั้น อนินทรีย์ฟอสฟอรัสที่สูงขึ้นมากอาจเกิดจากกระบวนการสร้างน้ำยางโดยตรงในเดือนมีนาคม และกระบวนการเคลื่อนย้ายซูโครสในน้ำยางเพื่อนำไปใช้ในการพัฒนาของใบ ซึ่งสอดคล้องกับการที่ซูโครสในช่วงดังกล่าวลดลง (รูปที่ 4.7 ) ทั้งนี้ การใส่ปุ๋ยทำให้

อนินทรีย์ฟอสฟอรัสในน้ำยางในรอบปีส่วนใหญ่สูงกว่าไม่ใส่ปุ๋ย เช่นเดียวกับที่เคยรายงานว่า อนินทรีย์ฟอสฟอรัสในแปลงที่ใส่ปุ๋ยสูงกว่าแปลงที่ไม่ใส่ปุ๋ย (ภัทธาวุธ และคณะ, 2537) และในแปลงที่ใส่ปุ๋ยฟอสเฟตสูงกว่าทำให้พบอนินทรีย์ฟอสฟอรัสในน้ำยางมากกว่า (สิทธิชัย และคณะ, 2556)

การเปลี่ยนแปลงของไทออลในรอบปี ในช่วงกุมภาพันธ์ซึ่งเป็นช่วงแล้ง ต้นยางมีความเครียดและผลัดใบ จึงทำให้ไทออลในช่วงนี้สูง โดยที่มีรายงานว่า ในระยะที่ต้นยางเกิดความเครียดจะมีไทออลสูง (Sreelathe *et al.*, 2007) และค่อยๆ ลดลงจนกระทั่งเดือนพฤษภาคมต้นยางเกิดความเครียดอีกครั้งจากการเปิดกรีดยาง หลังจากนั้นไทออลจึงค่อย ๆ เพิ่มขึ้นจนมีการเปลี่ยนแปลงน้อยในช่วงเดือนสิงหาคมถึงธันวาคม (รูปที 4.9) ทั้งนี้ ในสภาพปกติไทออลจะสูงเมื่อยางให้ผลผลิตสูง ซึ่งสอดคล้องกับที่มีรายงานว่าไทออลมีความสัมพันธ์เชิงบวกกับผลผลิตน้ำยาง (Jacob *et al.*, 1989b; Sreelatha, 2003; Sreelathe *et al.*, 2007) โดยที่ในสภาพที่ต้นยางอยู่ในสภาวะเครียด ไทออลทำหน้าที่ลดความเป็นพิษของออกซิเจนที่เป็นพิษ นอกจากนั้น ไทออล ยังเป็นตัวกระตุ้นเอนไซม์ที่ช่วยเร่งปฏิกิริยาในกระบวนการหนึ่งของการสังเคราะห์ยาง (Jacob *et al.*, 1989b) โดยที่พบว่า ไทออลในน้ำยางจากแปลงที่ใส่ปุ๋ยส่วนใหญ่จะสูงกว่าในแปลงที่ไม่ใส่ปุ๋ย เช่นเดียวกับที่มีรายงานว่าเมื่อใส่ปุ๋ยเพิ่มขึ้นทำให้พบไทออลในน้ำยางเพิ่มขึ้น (สิทธิชัย และคณะ, 2556)

**การเปลี่ยนแปลงของธาตุอาหารในน้ำยางและในใบ**

ไนเทรตไอออนในน้ำยางในเดือนมกราคมมีค่าสูงกว่าช่วงอื่นๆ (รูปที่ 4.11 ) อาจเกิดจากในระยะนี้ยางใบแก่ จึงต้องการธาตุไนโตรเจนน้อยทำให้มีทั้งไนโตรเจนและซูโครสในน้ำยางสูง โดยที่แอมโมเนียมไนน้ำยางสูงกว่าไนเทรต และมีการเปลี่ยนแปลงน้อยในช่วงเดือนพฤษภาคมถึงธันวาคม ในขณะที่ไนโตรเจนในใบยางจะผันแปรมากขึ้นกับอายุใบ โดยไนโตรเจนในใบยางลดลงอย่างช้า ๆ ตามอายุใบที่เพิ่มขึ้น โดยลดลงชัดเจนมากเมื่อใบอายุ 10 เดือน (รูปที่ 4.15) เช่นเดียวกับที่รายงานไว้ในใบยางพารา (ลิขิต และคณะ, 2515) ในใบทุเรียน (สุมิตรา และคณะ, 2545) และในใบมะกอก (Fernandez-Escobar *et al.*, 1999) และลองกอง (จำเป็น และคณะ, 2547)

ค่าวิเคราะห์แอมโมเนียมจากการทดลองนี้เป็นการใช้วิธีซาลิไซเลตไฮโพคลอไรด์ ซึ่งเป็นการวิเคราะห์แอมโมเนียมที่ได้จากกรดอะมิโนด้วย จึงอาจส่งผลให้ได้ค่าวิเคราะห์แอมโมเนียมที่สูงกว่าปกติ (Mulvaney, 1996) ส่วนความเข้มข้นของไนเทรตในน้ำยางมีปริมาณน้อย อาจเกิดจากเมื่อไนเทรตเข้าสู่พืชจะเปลี่ยนแปลงเป็นรูปของแอมโมเนียมทำให้พบไนเทรตอยู่ในท่ออาหารน้อย (ยงยุทธ, 2552) ซึ่งสอดคล้องกับการไม่พบไนเทรตในส่วนของเซรัมน้ำยาง (Jacob *et al.*, 1989b) ดังนั้น จึงอาจไม่มีความจำเป็นที่จะต้องวิเคราะห์ไนเทรต

ค่าอนินทรีย์ฟอสฟอรัสในน้ำยางสูงหลังจากแตกใบอ่อน (มี.ค.- เม.ย. 54) เช่นเดียวกับที่พบในใบ (รูปที่ 4.16) แต่หลังจากใบพัฒนาเต็มที่แล้วอนินทรีย์ฟอสฟอรัสมีค่าลดลงและมีการเปลี่ยนแปลงน้อย

โดยเฉพาะในเดือนกรกฎาถึงธันวาคม (รูปที่ 4.8) ในขณะที่ฟอสฟอรัสในใบมีค่าต่ำสุดในใบแก่และค่าสูงในใบอ่อนและเริ่มคงที่หลังจากใบอายุประมาณ 3 เดือน เช่นเดียวกับไนโตรเจน

โพแทสเซียมในน้ำยาง (รูปที่ 4.12) มีค่าสูงกว่าฟอสฟอรัสและไนโตรเจนมาก ในช่วงที่เริ่มเปิดกรีดมีโพแทสเซียมต่ำและค่อยๆ เพิ่มขึ้นตามผลผลิตที่เพิ่มขึ้น จนเริ่มคงที่ในเดือนสิงหาคมถึงธันวาคม ทั้งนี้เพราะโพแทสเซียมมีหน้าที่สำคัญในการเคลื่อนย้ายน้ำตาลซูโครส (ยงยุทธ, 2552) เพื่อนำไปสร้างน้ำยาง ทำให้ความเข้มข้นของโพแทสเซียมที่วิเคราะห์ได้มีค่าสูง (35-75 mM) สอดคล้องกับที่เคยมีรายงานไว้ คือ 30-80 mM (d'Auzac and Jacob, 1989) และโพแทสเซียมเป็นธาตุที่เคลื่อนย้ายได้ง่ายในท่ออาหาร (ยงยุทธ, 2552) และการเพิ่มขึ้นของโพแทสเซียมหลังการกรีด ซึ่งเกิดจากโพแทสเซียมมีหน้าที่เกี่ยวข้องกับการควบคุมสมดุลของน้ำและแร่ธาตุระหว่างการไหลของน้ำยาง (d'Auzac, 1989) ทำให้พบโพแทสเซียมในน้ำยางมาก สอดคล้องกับที่พบว่า ในต้นยางที่เปิดกรีดก่อนกำหนดมีโพแทสเซียมในน้ำยางสูงกว่าต้นที่ไม่ได้เปิดกรีด (สิทธิชัย และคณะ, 2556) ในขณะที่โพแทสเซียมในใบอ่อนจะสูงและลดลงตามอายุใบ แต่โพแทสเซียมในใบอายุ 1-7 เดือน มีการเปลี่ยนแปลงน้อย (รูปที่ 4.17)

การเปลี่ยนแปลงของแคลเซียมและแมกนีเซียมในน้ำยางในรอบปีมีรูปแบบที่คล้ายกัน กล่าวมีค่าต่ำในตอนเริ่มเปิดกรีด ค่อยๆ สูงขึ้นจนถึงเดือนกรกฎาคม และลดลงต่ำในเดือนมกราคมซึ่งเป็นระยะที่ใบแก่ โดยแคลเซียมเป็นธาตุที่เคลื่อนย้ายได้น้อยในท่ออาหาร (ยงยุทธ, 2552) และแคลเซียมเป็นธาตุหนึ่งที่เป็นตัวกระตุ้นเอนไซม์เมวาโลเนตไคเนส เพื่อเปลี่ยนเมวาโลเนต (mevalonate) เป็นไดฟอสโฟเมวาโลเนต (diphosphomevalonate) ในขั้นตอนการสังเคราะห์ยาง (Kekwick, 1989) ส่วนแมกนีเซียมเป็นธาตุที่เคลื่อนย้ายได้ง่ายในน้ำเลี้ยงโฟลเอ็ม (ยงยุทธ, 2552) และเป็นธาตุซึ่งมีหน้าที่เป็นตัวกระตุ้นเอนไซม์ที่เกี่ยวข้องกับการสังเคราะห์ยาง เช่น เอทีพีเอส และทรานสเฟอเรส (Jacob *et al.*, 1989a) จึงทำให้พบในน้ำยางมากกว่าแคลเซียม อย่างไรก็ตาม การเปลี่ยนแปลงของธาตุทั้งสองในใบในรอบปีแตกต่างกัน กล่าวคือ แมกนีเซียมในใบอ่อนในเดือนมีนาคมมีค่าสูงและลดลงตามอายุใบที่เพิ่มขึ้น (รูปที่ 4.19) เช่นเดียวกับไนโตรเจน ฟอสฟอรัส และโพแทสเซียม ในขณะที่แคลเซียมในใบอ่อนมีน้อยและเพิ่มขึ้นตามอายุใบ เช่นเดียวกับผลการศึกษาของ ลิขิต และคณะ (2515)

**ผลการใส่ปุ๋ยต่อผลผลิต ธาตุอาหารและองค์ประกอบทางชีวเคมีในน้ำยาง และธาตุอาหารในใบ**

ในแปลงที่ใส่ปุ๋ยผสมสูตร 29-5-18 อัตรา 1 กิโลกรัมต่อต้นต่อปี ให้ผลผลิตสูงกว่าในแปลงที่ไม่ใส่ปุ๋ย เพราะดินในแปลงที่ศึกษามีไนโตรเจนทั้งหมด ฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์ และโพแทสเซียมที่เป็นประโยชน์ต่ำ (ตารางที่ 4.1) เมื่อเทียบกับระดับที่เหมาะสม (นุชนารถ, 2554) จึงทำให้ยางพาราตอบสนองต่อการใส่ปุ๋ยได้ดี ให้ผลผลิตเพิ่มขึ้นถึงร้อยละ 67 สอดคล้องกับผลการศึกษาการใช้ปุ๋ยสูตร 30-5-18 กับยางพาราที่พบว่า ทำให้ยางพาราให้ผลผลิต 375 กิโลกรัมต่อไร่ต่อปี ในขณะที่แปลงที่ไม่ใส่ปุ๋ยให้ผลผลิตเพียง 284 กิโลกรัมต่อไร่ต่อปี (นุชนารถ, 2550) นอกจากนั้น การใส่ปุ๋ยยังช่วยเพิ่มซูโครสและโพแทสเซียมในน้ำยาง โดยซูโครสเป็นสารตั้งต้นที่นำไปสร้างน้ำยาง ในขณะที่โพแทสเซียมเป็นส่วนประกอบที่สำคัญ

ของเอนไซม์ที่ช่วยในการสังเคราะห์ และการสร้างโปรตีน แป้ง ช่วยลำเลียงแป้งและน้ำตาล ควบคุมและรักษาความเป็นกรดเป็นด่าง ควบคุมการเปิด-ปิดของปากใบ และโพแทสเซียมยังมีส่วนช่วยในการกระตุ้นการทำงานของเอนไซม์อะดีโนซีนไทรฟอสฟาเทส (ยงยุทธ, 2552) ซึ่งมีส่วนช่วยในการลำเลียงน้ำตาลซูโครสเข้าสู่เซลล์ท่อน้ำยางอีกด้วย อย่างไรก็ตาม การใส่ปุ๋ยไม่ได้ทำให้ธาตุอาหารชนิดอื่นทั้งในน้ำยางและในใบเพิ่มขึ้นเมื่อเทียบกับไม่ใส่ปุ๋ย ยกเว้นแมกนีเซียมในใบจากแปลงที่ใส่ปุ๋ยส่วนใหญ่มีค่าต่ำกว่าแปลงที่ใส่ปุ๋ย ทั้งนี้อาจเกิดจากระดับแมกนีเซียมที่มีอยู่เดิมในแปลงทดลองที่ไม่ใส่ปุ๋ยสูงกว่าในแปลงที่ใส่ปุ๋ยมาก (ตารางที่ 4.1)

ธาตุไนโตรเจน ฟอสฟอรัส โพแทสเซียม และแมกนีเซียมในใบในช่วงเดือนมิถุนายนถึงกันยายน (ใบมีอายุ 4-7 เดือน) ซึ่งเหมาะสมสำหรับการประเมินสถานะธาตุอาหารในทั้ง 2 แปลงอยู่ในระดับต่ำกว่าระดับที่เหมาะสม (นุชนารถ, 2542) แสดงว่า เมื่อใส่ปุ๋ยกับยางพาราที่ปลูกในดินที่มีธาตุอาหารหลักต่ำ เมื่อต้นยางได้รับธาตุอาหารก็จะถูกนำไปใช้ในกระบวนการต่างๆ รวมทั้งการสร้างน้ำยาง จึงทำให้ผลผลิตน้ำยางสดเพิ่มขึ้นชัดเจน ดังนั้น ธาตุอาหารจากปุ๋ยอาจไม่มากพอที่จะสะสมในใบและในน้ำยาง ทั้งๆ ที่เคยมีรายงานว่า เมื่อใส่ปุ๋ยให้แก่ต้นยางพาราส่งผลให้สถานะธาตุอาหารในน้ำยางเพิ่มขึ้น เช่น เมื่อใส่ปุ๋ยแอมโมเนียมไนเทรตได้เพิ่มระดับไนโตรเจน โพแทสเซียม และแมกนีเซียมในน้ำยาง ใส่ปุ๋ยหินฟอสเฟตได้เพิ่มฟอสฟอรัสและแคลเซียม ใส่ปุ๋ยโพแทสเซียมคลอไรด์ได้เพิ่มโพแทสเซียมและฟอสฟอรัส แต่ลดแคลเซียมและแมกนีเซียม และปุ๋ยแมกนีเซียมได้เพิ่มแมกนีเซียม แต่ลดโพแทสเซียม เป็นต้น (Waston, 1989) อย่างไรก็ตาม ธาตุอาหารส่วนใหญ่ในน้ำยางมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นสัมพันธ์กับผลผลิตน้ำยาง สอดคล้องกับที่มีรายงานว่า เมื่อใส่ปุ๋ยที่ให้ธาตุไนโตรเจน ฟอสฟอรัส โพแทสเซียม และแมกนีเซียม ส่งผลให้ได้รับปริมาณน้ำยางเพิ่มขึ้น เมื่อเปรียบเทียบกับแปลงที่ไม่มีการใส่ปุ๋ย (นุชนารถ และคณะ, 2537) ดังนั้น การวิเคราะห์ธาตุอาหารในน้ำยางจึงใช้ประเมินสถานะธาตุอาหารในยางพาราได้

**ระยะเวลาที่เหมาะสมในการเก็บน้ำยางเพื่อวิเคราะห์ธาตุอาหาร**

การเก็บใบยางพาราเพื่อประเมินสถานะธาตุอาหารได้เลือกในช่วงเวลาที่ปริมาณธาตุอาหารในใบยางพารามีการเปลี่ยนแปลงน้อยที่สุด โดยไนโตรเจน ฟอสฟอรัส โพแทสเซียม และแมกนีเซียม จะลดลงตามอายุใบที่เพิ่มขึ้น ส่วนแคลเซียมจะเพิ่มขึ้นตามอายุใบยางพารา และใบที่เหมาะสมควรมีอายุ 3.5 – 6.5 เดือน (ลิขิต และคณะ, 2515) ในขณะที่การเก็บตัวอย่างน้ำยางเพื่อวิเคราะห์องค์ประกอบทางชีวเคมีได้เลือกช่วงเดือนตุลาคมถึงเดือนเพราะองค์ประกอบดังกล่าวมีความแปรปรวนน้อยกว่าช่วงอื่น ๆ ในรอบปี (นภาวรรณ และคณะ, 2544) สำหรับธาตุอาหารส่วนใหญ่ในน้ำยางมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นสัมพันธ์กับผลผลิตน้ำยาง โดยเฉพาะในช่วงตั้งแต่กันยายนจนถึงธันวาคม เป็นช่วงที่ธาตุอาหารส่วนใหญ่ในน้ำยางมีการเปลี่ยนแปลงน้อย ดังนั้น จึงควรเก็บตัวอย่างน้ำยางในช่วงนี้ซึ่งสามารถจะนำไปวิเคราะห์องค์ประกอบทางชีวเคมีได้ด้วย

# บทที่ 5

# สรุปผลการทดลองและข้อเสนอแนะ

จากการศึกษาวิธีการเก็บตัวอย่างน้ำยางและการเก็บรักษาน้ำยางสำหรับวิเคราะห์ธาตุอาหารและองค์ประกอบทางชีวเคมี สรุปผลได้ดังนี้

1. การเก็บรักษาเซรัมน้ำยาง การเตรียมตัวอย่างน้ำยางสำหรับวิเคราะห์ธาตุอาหารและองค์ประกอบทางชีวเคมี ต้องนำน้ำยางสดมาตกตะกอนด้วยทีซีเอ (2.5 %w/v + 0.01%w/v EDTA) โดยใช้อัตราส่วนเท่ากับ 1:9 แล้วกรองแยกเนื้อยางออกไป ส่วนที่กรองได้ที่เรียกว่า เซรัม ควรนำไปวิเคราะห์แอมโมเนียม ไนเทรต แคลเซียม และไทออลทันทีหรือภายในวันนั้น หากเก็บไว้นานทำให้ค่าวิเคราะห์แคลเซียมเพิ่มขึ้น ในขณะที่ทำให้ค่าวิเคราะห์ไทออลลดลง อย่างไรก็ตาม สามารถเก็บเซรัมไว้ในตู้เย็นได้นานไม่ต่ำกว่า 7 วัน โดยไม่มีผลต่อค่าวิเคราะห์โพแทสเซียม แมกนีเซียม ฟอสฟอรัส และซูโครส
2. การเก็บรักษาน้ำยางสด หากเก็บน้ำยางไว้ที่อุณหภูมิในสภาพแวดล้อมนั้นๆ ทำให้ซูโครสลดลงอย่างรวดเร็ว แต่ไม่มีผลต่อค่าวิเคราะห์ธาตุอาหาร และไทออล อย่างไรก็ตาม สามารถเก็บน้ำยางสดในกล่องน้ำแข็งได้นาน 4 ชั่วโมง โดยไม่มีผลต่อค่าวิเคราะห์ซูโครส ดังนั้น ขณะเก็บน้ำยางจากต้นควรแช่หลอดรับน้ำยางในภาชนะที่บรรจุน้ำแข็ง และควรนำไปตกตะกอนด้วยทีซีเอทันที หรือแช่น้ำยางสดในกล่องน้ำแข็งไม่เกิน 4 ชั่วโมง ทั้งนี้การเจือจางน้ำยางด้วยน้ำกลั่นและสารละลายอีดีทีเอไม่สามารถช่วยให้เก็บรักษาน้ำยางสดได้นานขึ้น
3. เวลาในการเก็บตัวอย่างน้ำยาง ในช่วงเช้ามีธาตุอาหารในน้ำยางสูงกว่าในช่วงบ่าย เพื่อให้เป็นมาตรฐานเดียวกันจึงต้องกำหนดให้ชัดเจนว่าควรเก็บน้ำยางช่วงเวลาใด อย่างไรก็ตาม ในช่วงเช้าน้ำยางไหลเร็วกว่าในช่วงบ่าย ทำให้เก็บได้รวดเร็วกว่า ดังนั้น จึงควรเก็บน้ำยางในช่วงเช้า
4. ช่วงเวลาในการเก็บตัวอย่างน้ำยาง ธาตุอาหารและองค์ประกอบทางชีวเคมีในน้ำยางในรอบปีมีการเปลี่ยนแปลงขึ้นกับกระบวนการหลักทางสรีรวิทยาที่เกิดขึ้น อย่างไรก็ตาม ในช่วงปลายปี คือ เดือนกันยายนถึงเดือนธันวาคม ธาตุอาหารส่วนใหญ่ในน้ำยางมีการเปลี่ยนแปลงน้อย ดังนั้น จึงเป็นช่วงที่เหมาะสมในการเก็บน้ำยางสำหรับวิเคราะห์ธาตุอาหาร
5. การเก็บและเตรียมตัวอย่างน้ำยางเพื่อวิเคราะห์ธาตุอาหารและองค์ประกอบทางชีวเคมี ให้เก็บน้ำยางในตอนเช้า (8.00-10.00) ในช่วงเดือนกันยายนถึงธันวาคม โดยเจาะเก็บน้ำยางบริเวณกลางๆ ใต้รอยกรีด 5 เซนติเมตร จากประมาณ 10 ต้นต่อแปลง ต้นละประมาณ 10 หยด เพื่อรวมเป็นตัวแทนของแต่ละแปลง ขณะเก็บให้แช่หลอดรับน้ำยางในน้ำแข็ง เมื่อได้ตัวอย่างแล้วควรตกตะกอนทันทีด้วยทีซีเอ นำสารที่กรองได้หรือเซรัมไปวิเคราะห์แอมโมเนียม แคลเซียม และไทออลภายในวันนั้น

ส่วนเซรัมที่เหลือสามารถเก็บไว้ได้นานอย่างน้อย 7 วัน เพื่อนำไปวิเคราะห์ฟอสฟอรัส โพแทสเซียม แมกนีเซียม และซูโครส

6. ผลการใส่ปุ๋ยต่อธาตุอาหารในน้ำยาง การใส่ปุ๋ยเชิงผสมสูตร 29-5-18 ทำให้ต้นยางพารามีซูโครสในน้ำยางและให้ผลผลิตเพิ่มขึ้น และมีแนวโน้มทำให้ธาตุไนโตรเจน ฟอสฟอรัส และโพแทสเซียมในน้ำยางสูงกว่าแปลงที่ไม่ใส่ปุ๋ย ในขณะที่ค่าวิเคราะห์ธาตุดังกล่าวในใบไม่แตกต่างกัน ดังนั้นสามารถที่จะวิเคราะห์ธาตุอาหารในน้ำยางเพื่อตรวจสอบสถานะธาตุอาหารในยางพาราได้
7. ข้อเสนอแนะ ควรศึกษาค่ามาตรฐานเบื้องต้นของธาตุอาหารที่สำคัญ ที่พบมากในน้ำยาง คือ ฟอสฟอรัส โพแทสเซียม และแมกนีเซียม รวมทั้งซูโครส และผลิตชุดทดสอบน้ำยางเพื่อให้สะดวกต่อการนำไปตรวจสอบสถานะธาตุอาหารและสุขภาพต้นยางในสภาพแปลงทดลอง

**เอกสารอ้างอิง**


กฤษดา สังข์สิงห์ และพิเชษฐ ไชยพาณิชย์. 2551. การวิเคราะห์ศักยภาพการปลูกยางพาราในช่วงก่อนเปิดกรีดระดับแปลงเกษตรกรในเขตปลูกยางใหม่. ว. ยางพารา 23 : 5-29.

จำเป็น อ่อนทอง และจักรกฤษณ์ พูนภักดี. 2554. คู่มือการวิเคราะห์ดินและพืช. สงขลา : ภาควิชาธรณีศาสตร์ คณะทรัพยากรธรรมชาติ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์.

จำเป็น อ่อนทอง, สุรชาติ เพชรแก้ว, จรัสศรี นวลศรี, มงคล แซ่หลิม และสายใจ กิ้มสงวน. 2547. วิธีมาตรฐานในการเก็บตัวอย่างใบลองกองสำหรับประเมินสถานะธาตุอาหารพืช. ว. สงขลานครินทร์ วทท. 26 : 357-368.

ชัยรัตน์ นิลนนท์, ธีระพงศ์ จันทรนิยม, ธีระ เอกสมทราเมษฐ์, ประกิจ ทองคำ และปราณี สุวรรณรัตน์. 2553. หลักสำคัญของการจัดการสวนปาล์มน้ำมันอย่างมีประสิทธิผล. สงขลา : สถานวิจัยพืชกรรมปาล์มน้ำมัน คณะทรัพยากรธรรมชาติ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์.

ณัฐพงศ์ เยาว์จุ้ย. 2552. แนวทางการลดโบรอนในน้ำเสียจากโรงงานแปรรูปไม้ยางพาราและในดินที่ปนเปื้อนโบรอน. วิทยานิพนธ์ วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์.

นภาวรรณ เลขะวิพัฒน์, รัชนี รัตนวงศ์ และอนุสรณ์ แรมลี. 2544. การศึกษาชีวเคมีของยางพันธุ์แลกเปลี่ยนระหว่างประเทศในเขตภูมิอากาศที่ 1. รายงานผลงานวิจัยเรื่องเต็ม ประจำปี 2546 หน้า 135-154. กรุงเทพฯ : สถาบันวิจัยยาง กรมวิชาการเกษตร กระทรวงเกษตรและสหกรณ์.

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

นุชนารถ กังพิสดาร. 2547. การใช้ปุ๋ยและการปรับปรุงดินในสวนยาง. กรุงเทพฯ : สถาบันวิจัยยาง กรมวิชาการเกษตร กระทรวงเกษตรและสหกรณ์.

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

นุชนารถ กังพิสดาร. 2554. คำแนะนำการใช้ปุ๋ยยางพารา ปี 2554. กรุงเทพฯ : สถาบันวิจัยยาง กรมวิชาการเกษตร กระทรวงเกษตรและสหกรณ์.

ปรีดิ์เปรม ทัศนกุล. 2553. การแปรรูปน้ำยาง. เอกสารประกอบการฝึกอบรมหลักสูตร การพัฒนานักวิจัยรุ่นเยาว์เพื่อเพิ่มทักษะความรู้ในการวิจัยยางพารา ณ สำนักงานตลาดกลางยางพาราสงขลา อำเภอหาดใหญ่ จังหวัดสงขลา วันที่ 19 สิงหาคม-24 กันยายน 2553.

ปัทมา ชนะสงคราม. 2539. โครงสร้างของเปลือกยาง ท่อน้ำยาง และผลผลิต. ว. ยางพารา 16 : 5-23.

พเยาว์ ร่มรื่นสุขารมย์, รัชนี รัตนวงศ์, นภาวรรณ เลขะวิพัฒน์, กรรณิการ์ ธีรวัฒนสุข, บุตรี พุทธรักษ์, สมบัติ พิงกุศล. 2546. การใช้เทคนิคทางชีวเคมีระบุสมบัติพันธุ์ยาง. รายงานผลวิจัยเรื่องเต็ม

ประจำปี 2546 หน้า 95-119. กรุงเทพฯ : สถาบันวิจัยยาง กรมวิชาการเกษตร กระทรวงเกษตรและสหกรณ์.

พิศมัย จันทุมา, พิชิต สพโชค, วิทยา พรหมมี, พนัส แพชนะ, พรรษา อดุลธรรม, นอง ยกถาวร, พิบูลย์ เพ็ชรยิ่ง และสว่างรัตน์ ลมนาค. 2546ก. การใช้องค์ประกอบทางชีวเคมีของน้ำยางตรวจสอบความสมบูรณ์ของต้นยางสำหรับระบบกรีดที่เหมาะสม. รายงานผลวิจัยเรื่องเต็ม ประจำปี 2546 หน้า 250-296. กรุงเทพฯ : สถาบันวิจัยยาง กรมวิชาการเกษตร กระทรวงเกษตรและสหกรณ์.

พิศมัย จันทุมา, อารักษ์ จันทุมา และสว่างรัตน์ ลมนาค. 2546ข. การเปลี่ยนแปลงองค์ประกอบทางชีวเคมีในน้ำยางต่อระบบกรีดและผลผลิตยางพารา. รายงานผลวิจัยเรื่องเต็ม ประจำปี 2546 หน้า 395-447. กรุงเทพฯ : สถาบันวิจัยยาง กรมวิชาการเกษตร กระทรวงเกษตรและสหกรณ์.

พิศมัย จันทุมา, อารักษ์ จันทุมา, Gohet, E. และอุณากรณ์ ศิลปะลี. 2545. การใช้ลักษณะทางสรีรวิทยาในการตรวจสอบความสมบูรณ์ของต้นยาง. เอกสารประกอบการประชุมวิชาการยางพาราประจำปี 2545 หน้า 32-72 ณ โรงแรมหนองคายแกรนด์ อำเภอเมือง จังหวัดหนองคาย วันที่ 19-22 กุมภาพันธ์ 2545.

พิศมัย จันทุมา. 2553ก. การเพิ่มประสิทธิภาพการกรีดและผลผลิตยาง. ว. ยางพารา 31 : 6-26.

พิศมัย จันทุมา. 2553ข. น้ำยางและการวิเคราะห์น้ำยาง. เอกสารประกอบการฝึกอบรมหลักสูตร การพัฒนานักวิจัยรุ่นเยาว์เพื่อเพิ่มทักษะความรู้ในการวิจัยยางพารา ณ สำนักงานตลาดกลางยางพารา สงขลา อำเภอหาดใหญ่ จังหวัดสงขลา วันที่ 19 สิงหาคม- 24 กันยายน 2553.

ภัทธาวุธ จิวตระกูล, ปัทมา ชนะสงคราม, นุชนารถ กังพิศดาร, วีรพงศ์ ตันอภิรมย์ และโชคชัย เอนกชัย. 2537. สรีรวิทยาน้ำยางของต้นยางหลังเปิดกรีดที่ได้รับปุ๋ยระดับต่างๆ. รายงานผลวิจัยเรื่องเต็ม ประจำปี 2537 หน้า 398-407. กรุงเทพฯ : สถาบันวิจัยยาง กรมวิชาการเกษตร กระทรวงเกษตรและสหกรณ์.

ยงยุทธ โอสถสภา. 2543. ธาตุอาหารพืช. กรุงเทพฯ : สำนักพิมพ์มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

ยงยุทธ โอสถสภา. 2552. ธาตุอาหารพืช. กรุงเทพฯ : สำนักพิมพ์มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

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

วราภรณ์ ขจรไชยกุล. 2524. คุณสมบัติและส่วนประกอบของน้ำยางธรรมชาติ. ว. ยางพารา 2 : 19-27.

นุชนารถ กังพิศดาร, ลิขิต นวลศรี, ยุบล ลิมจิตติ, ชำนาญ บุญเลิศ, วีรพงศ์ ตันอภิรมย์, และไววิทย์ บูรณธรรม. 2537. การตอบสนองของยางหลังเปิดกรีดต่อปุ๋ย N P K และ Mg ในดินชุดคอหงส์. รายงานผลวิจัยเรื่องเต็ม ประจำปี 2537 หน้า 127-154. กรุงเทพฯ : สถาบันวิจัยยาง กรมวิชาการเกษตร กระทรวงเกษตรและสหกรณ์.

วุฒิชาติ ศิริช่วยชู. 2550. ฐานข้อมูลดินภาคใต้เพื่อการพัฒนาที่ดิน. กรุงเทพฯ : สำนักสำรวจดินและวางแผนการใช้ที่ดิน กรมพัฒนาที่ดิน กระทรวงเกษตรและสหกรณ์.

สถาบันวิจัยยาง. 2547. ข้อมูลวิชาการยางพารา 2547. กรุงเทพฯ : สถาบันวิจัยยาง กรมวิชาการเกษตร กระทรวงเกษตรและสหกรณ์.

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

สถาบันวิจัยยาง. 2550. ข้อมูลวิชาการยางพารา 2550. กรุงเทพฯ : สถาบันวิจัยยาง กรมวิชาการเกษตร กระทรวงเกษตรและสหกรณ์.

สิทธิชัย บุญมณี, จำเป็น อ่อนทอง และขวัญตา ขาวมี. 2556. ธาตุอาหารและองค์ประกอบทางชีวเคมีในน้ำยางจากต้นยางพาราก่อนเปิดกรีดที่ใส่ตามค่าทดสอบดินและปุ๋ยเชิงผสมสูตร 20-8-20. การประชุมวิชาการดินและปุ๋ยแห่งชาติครั้งที่ 3 ณ มหาวิทยาลัยขอนแก่น วันที่ 25-27 เมษายน 2556.

สุนทรี ยิ่งชัชวาลย์ และจินตณา บางจั่น. 2549. ปริมาณธาตุอาหารหลักในต้นยางพาราพันธุ์ RRIM 600. ว. วิทย. กษ. 37 : 353-364.

สุมิตรา ภู่วโรดม, นุกูล ถวิลถึง, สมพิศ ไม้เรียง, พิมล เกษสยม และจิรพงษ์ ประสิทธิเขตร. 2544. โครงการความต้องการธาตุอาหารและการแนะนำปุ๋ยในทุเรียน. รายงานวิจัยฉบับสมบูรณ์. กรุงเทพฯ : สำนักงานกองทุนสนับสนุนการวิจัย.

สุมิตรา ภู่วโรดม, นุกูล ถวิลถึง, สมพิศ ไม้เรียง, พิมล เกษสยม และจิรพงษ์ ประสิทธิเขตร. 2545ก. การสร้างค่ามาตรฐานธาตุอาหารสำหรับทุเรียน: 1. วิธีมาตรฐานในการเก็บตัวอย่างใบ. ว. วิทย. กษ. 33 : 269-278.

สุมิตรา ภู่วโรดม, พรทิวา กัญยวงศ์หา, นุจรี บุญแปลง และนุกูล ถวิลถึง. 2547. การวิเคราะห์พืชเพื่อเป็นแนวทางการใส่ปุ๋ยในมังคุด. รายงานวิจัยฉบับสมบูรณ์. กรุงเทพฯ : สำนักงานกองทุนสนับสนุนการวิจัย.

เสาวนีย์ ก่อวุฒิกุลรังษี. 2541ก. อนุภาคน้ำยางธรรมชาติ. ว. ยางและพอลิเมอร์ 2 : 10-17.

เสาวนีย์ ก่อวุฒิกุลรังษี. 2541ข. การผลิตยางธรรมชาติ. ปัตตานี : ภาควิชาวิทยาศาสตร์การยาง คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์.

เอิบ เขียวรื่นรมย์. 2533. ดินของประเทศไทย. กรุงเทพฯ : ภาควิชาปฐพีวิทยา มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

Brady, N. C. and Weil, R. R. 2008. The Nature and Properties of Soils. New Jersey : Pearson Prentice Hall.

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. Tapping systems and area of the drained bark. *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.

d'Auzac, J. and Jacob, J. L. 2000. The composition of latex from *Hevea brasiliensis* as a laticiferous cytoplassm. *In* Physiology of Rubber Tree Latex. (eds. d'Auzac, J., Jacob, J. L. and Chrestin, H.), pp. 59-96. Florida : CRC Press.

Dissanayake, D. A. M. P. and Mithrasena, U. 1986. Influence of fertilizers on growth and mineral composition of *Hevea* seedlings grown in the field nursery. J. Rubb. Res. Inst. 65 : 32-46.

Dissanayake, D. A. M. P., Dissanayake, T., Maheepala, C. and Gunasekera, R. 1994. Role of rock phosphates in the nutrition of immature and mature *Hevea*. J. Rubb. Res. Inst. 74 : 42-56.

Fernandez-Escobar, R., Moreno, R. and Garcia-Creus, M. 1999. Seasonal changes of mineral nutrients in olive leaves during the alternat-bearing cycle. Sci. Hort. 82 : 25-45.

Jacob, J. L., Prevot, J. C. and Kekwick, R. G. O. 1989a. General metabolism of *Hevea brasiliensis* latex (with the exception of isoprenic anabolism). *In* Physiology of Rubber Tree Latex. (eds. d'Auzac, J., Jacob, J. L. and Chrestin, H.), pp. 101-144. Boca Raton : CRC Press.

Jacob, J. L., Prevot, J. C., Roussel, D., Lacrotte, R., Serres, E., d'Auzac, J., Eschbach, J. M. and Omont, H. 1989b. 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.

Jacob, J. L. and Prevot, J. C. 1992. Metabolism of the laticiferous system and its biochemical regulation. *In* Natural Rubber: Biology, Cultivation and Technology. (eds. Sethuraj, M. R. and Mathew, M. M.), pp. 116-135. Amsterdam : Elsevier.

Jones, J. B. 1998. Plant Nutrition Manual. Boca Raton : CRC Press.

Joseph, M., Nair, R. B., Mathew, M. and Punnoose, K. I. 1998. Potassium nutrition of mature rubber. Indian Journal of Natural Rubber Research 11 : 58-66.

Karthikakuttyamma, M., Joseph, M. and Nair, A. N. S. 2000. Soil and nutrition. *In* Natural Rubber: Agromanagement and Crop Proceeeing. (eds. George, P. J. and Jacob, C. K.), pp. 170-198. Kottayam : Rubber Research Institute of India.

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. 101-144. Boca Raton : CRC Press.

Koshy, G. 1997. Studies on The Factors Influencing The Regeneration and Flow of Latex in *Hevea brasiliensis*. Ph.D. Dissertation. Mahatma Gandhi University.

Krishnakurmar, A: K. and Potty, S. N. 1992. Nutrition of *Hevea*. *In* Natural Rubber: Biology, Cultivation and Technology. (eds. Sethuraj, M. R. and Mathew, N. M.), pp. 239-262. Amsterdam : Elsevier.

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

Mak, S., Chinsathit, S., Pookpakdi, A. and Kasemsap, P. 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.

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: Agromanagement and Crop Proceeeing. (eds. George, P. J. and Jacob, C.K.), pp. 249-260. Kottayam : Rubber Research Institute of India.

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

Owens, C. W. I. and Belcher, R. V. 1965. A colorimetric micro-method for the determination of glutathione. J. Biochem. 94 : 705-711.

Rizhong, Z., Cuifang, D., Xiaoyuan, L., Weimin, T. and Zhiyi, N. 2009. Vocuolar-type inorganic pyrophosphatase located on the rubber particle in the latex is an essential enzyme in regulation of the rubber biosynthesis in *Hevea brasiliensis*. Plant Sci. 176 : 602-607.

Samarappuli, L., Yogaratnam, N., Karunadasa, P., Mitrasena, U. and Hettiarachchi, R. 1993. Role of potassium on growth and water relations of rubber plants. J. Rubb. Res. Inst. 73 : 37-57.

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.

Shorrocks, V. M. 1964. Mineral Deficiencies in *Hevea* and Associated Cover Plants. Kuala Lumpur : Rubber Research Institute.

Silpi, U., Chantuma, P., Kasamesap, P., Thaler, P., Thanisawanyangkura, S., Lacointe, A., Ameglio, T. and Gohet, E. 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., 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. 2003. Biochemical factors influencing latex flow during stress, tapping frequency and stimulation in *Hevea brasiliensis*. Ph.D. Dissertation. Mahatma Gandhi University.

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.

Thomas, M., Jayasree, G., Prasanakumari, P., Joshua, A., Krishnakumar, R. and Jacob, J. 2009. Biochemical and ionic composition of latex influencing yield attributes and productivity in *Hevea brasiliensis*. J. Rubb. Res. 22 : 140-145.

Tupy, J. and Resing, W. L. 1968. Anaerobic respiration in latex of *Hevea brasiliensis* substrate and limiting factors. Biol. Plantarum. 10 : 72-80.

Verma, A. K., Singh, S. B., Agarwal, A. K. and Solomon, S. 2012. Influence of postharvest storage temperature, time, and invertase enzyme activity on sucrose and weight loss in sugarcane. Postharvest Biol. Tec. 73 : 14-21.

Vinod, K. K., Pothen, J., Chaudhuri, D., Priyadarshan, P. M., Eappen, T., Varghese, M., Manadal, D., Sharma, A. C., Pal, T. K., Devakumar, A. S. and Krishnakumar, A. K. 2000. Variation and trend of yield and related traits of *Hevea brasiliensis* Muell. Agr. 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.

Weerasuriya, S. M. and Yogaratnam, N. 1989. Effects of potassium and magnesium on leaf and bark nutrient contents of young *Hevea brasiliensis*. J. Rubb. Res. Inst. 69 : 1-20.

Wingsle, G., Karpinski, S. and Hallgren, J. E. 1999. Low temperature, high light stress and antioxidant defence mechanisms in higher plants. Phyton-Ann. Rei. Bot. A. 39 : 253-268.