การปรับตัวลักษณะสรีรวิทยาและการเจริญเติบโตของต้นกาแฟโรบัสต้า ภายใต้สวนยางพารา

Adaptation of Physiological Characteristics and Growth of Robusta Coffee under Rubber Plantation

พงศกร สุธีกาญจโนทัย
Pongsakorn Suteekanjanothai

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญา
วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาพืชศาสตร์
มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์
A Thesis Submitted in Partial Fulfillment of the Requirements for the
Degree of Master of Science in Plant Science
Prince of Songkla University
2560

ลิขสิทธิ์ของมหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์

การปรับตัวลักษณะสรีรวิทยาและการเจริญเติบโตของต้นกาแฟโรบัสต้า ภายใต้สวนยางพารา

Adaptation of Physiological Characteristics and Growth of Robusta Coffee under Rubber Plantation

พงศกร สุธีกาญจโนทัย
Pongsakorn Suteekanjanothai

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญา
วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาพืชศาสตร์
มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์
A Thesis Submitted in Partial Fulfillment of the Requirements for the
Degree of Master of Science in Plant Science
Prince of Songkla University
2560

ลิขสิทธิ์ของมหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์

ชื่อวิทยานิพนธ์ การปรับตัวลักษณะสรีรวิทยาและการเจริญเติบโตของต้นกาแฟโรบัสต้าภายใต้สวนยางพารา
ผู้เขียน นายพงศกร สุธีกาญจโนทัย
สาขาวิชา พืชศาสตร์

อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก

....
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ระวี เจียรวิภา)

อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ร่วม

....
(ศาสตราจารย์ ดร.บัญชา สมบูรณ์สุข)

คณะกรรมการสอบ

....ประธานกรรมการ
(รองศาสตราจารย์ ดร.สายัณห์ สดุดี)

....กรรมการ
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ระวี เจียรวิภา)

....กรรมการ
(ศาสตราจารย์ ดร.บัญชา สมบูรณ์สุข)

....กรรมการ
(รองศาสตราจารย์ ดร.สมพร ณ นคร)

บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ อนุมัติให้นับวิทยานิพนธ์ฉบับนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษา ตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาพืชศาสตร์

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

ข้าพเจ้าขอรับรองว่า ผลงานวิจัยนี้มาจากการศึกษาวิจัยของตนเอง และได้แสดงความขอบคุณบุคคลที่มีส่วนช่วยเหลือแล้ว

ลงชื่อ ....
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ระวี เจียรวิภา)
อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก

ลงชื่อ ....
(ศาสตราจารย์ ดร.บัญชา สมบูรณ์สุข)
อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ร่วม

ลงชื่อ ....
(นาย พงศกร สุธีกาญจโนทัย)
นักศึกษา

ข้าพเจ้าขอรับรองว่า ผลงานวิจัยไม่เคยเป็นส่วนหนึ่งในการอนุมัติปริญญาในระดับใดมาก่อน และไม่ได้ถูกใช้ในการยื่นขออนุมัติปริญญาในขณะนี้

ลงชื่อ ....

(นาย พงศกร สุธีกาญจโนทัย)

นักศึกษา

ชื่อวิทยานิพนธ์ การปรับตัวลักษณะสรีรวิทยาและการเจริญเติบโตของต้นกาแฟโรบัสต้าภายใต้สวนยางพารา
ผู้เขียน นายพงศกร สุธีกาญจโนทัย
สาขาวิชา พืชศาสตร์
ปีการศึกษา 2559

บทคัดย่อ

ต้นกาแฟสามารถเจริญเติบโตได้ดีในระบบการปลูกพืชร่วม จึงประเมินลักษณะทางสัณฐานและสรีรวิทยาของใบภายใต้สภาพกลางแจ้ง (Full sunlight) และพรางแสง (Shade) รวมทั้งเปรียบเทียบสรีรวิทยาของใบกาแฟโรบัสต้าต่อพัฒนาการและการเจริญเติบโตของต้นกาแฟในสวนยางพาราบริเวณจังหวัดสตูล ทางภาคใต้ของประเทศไทย โดยปลูกกาแฟโรบัสต้าในสภาพกลางแจ้ง (T1) กาแฟโรบัสต้าในสวนยางพาราอายุ 8 ปี (T3) และกาแฟโรบัสต้าในสวนยางพาราอายุ 16 ปี (T3) ขณะเดียวกัน ศึกษาการให้ปุ๋ยเคมีและปุ๋ยอินทรีย์แก่ต้นกาแฟโรบัสต้าที่ปลูกร่วมยางพารา แบ่งเป็น 3 ทรีตเมนต์ คือ ปุ๋ยเคมี (15-15-15) (100%) (T1) ปุ๋ยเคมี (15-15-15) (75%) ร่วมกับปุ๋ยอินทรีย์ (50%) (T2) และปุ๋ยเคมี (15-15-15) (50%) ร่วมกับปุ๋ยอินทรีย์ (50%) (T3) ผลการศึกษา พบว่า ในช่วงฤดูฝนทำให้ต้นกาแฟในสภาพพรางแสงมีความสูงต้น และความกว้างทรงพุ่มมากกว่าในช่วงฤดูร้อน รวมถึงลักษณะสัณฐานวิทยาและสรีรวิทยาของใบ ซึ่งในช่วงฤดูฝนการพรางแสงทำให้มีพื้นที่ใบ น้ำหนักสดและแห้งใบ และไนโตรเจนในใบสูงกว่าอย่างมีนัยสำคัญ อย่างไรก็ตาม การพรางแสงทำให้ปริมาณคลอโรฟิลล์ทั้งหมดต่อพื้นที่ใบ และแคโรทีนอยด์ต่อพื้นที่ใบมีแนวโน้มต่ำกว่าสภาพกลางแจ้ง ขณะที่ สภาพร่มเงาสวนยางพาราทำให้มีการส่งผ่านของแสงไม่เกิน 60% และทำให้มีความชื้นดินที่ระดับความลึก 20 ซม. สูงขึ้น สำหรับต้นกาแฟโรบัสต้าสภาพกลางแจ้ง พบว่า มีศักยภาพการเจริญเติบโตทางลำต้นดีกว่าสภาพสวนยางพาราทั้ง 2 อายุ ได้แก่ ความกว้างทรงพุ่ม จำนวนใบ และขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางลำต้น ขณะเดียวกัน ต้นกาแฟสภาพกลางแจ้งยังมีปริมาณไนโตรเจนในใบและสัดส่วนของไนโตรเจนต่อพื้นที่ใบแตกต่างทางสถิติอย่างมีนัยสำคัญกับการปลูกร่วมกับยางพารา นอกจากนี้ การปลูกกาแฟโรบัสต้าในสภาพกลางแจ้งยังมีผลให้ความยาวรากสูงขึ้นอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความลึก 20 และ 40 ซม. เมื่อเปรียบเทียบกับความยาวรากต้นกาแฟในสภาพสวนยางพารา แต่ไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติของขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางราก ขณะเดียวกัน ความสูงต้นมีค่าสูงที่สุด (105.57 ซม.) เมื่อมีการให้เฉพาะปุ๋ยเคมี (100%) และแตกต่างทางสถิติกับทรีตเมนต์อื่นๆ แต่ความกว้างทรงพุ่ม ขนาดลำต้น และจำนวนใบ พบว่า ไม่แตกต่างกันทางสถิติ เช่นเดียวกับความยาวรากที่มีค่าสูงที่สุด ทั้งที่ระดับความลึก 20 และ 40 ซม. จากผิวดิน ในต้นกาแฟโรบัสต้าที่มีการให้ปุ๋ยเคมี

(100%) เพียงอย่างเดียว ส่วนการให้ปุ๋ยเคมี (15-15-15) (75%) ร่วมกับปุ๋ยอินทรีย์ ส่งผลให้มีจำนวนใบและเปอร์เซ็นต์การแตกใบสูงสุด เท่ากับ 51.43% ส่วนลักษณะสัณฐานและสรีรวิทยาของใบ (พื้นที่ใบ น้ำหนักแห้งใบ ปริมาณคลอโรฟิลล์และคาร์โบไฮเดรตในใบ) พบว่า ไม่มีความแตกต่างทางสถิติกัน อย่างไรก็ตาม ปริมาณไนโตรเจน และสัดส่วนไนโตรเจนต่อพื้นที่ใบมีค่าสูงที่สุดอย่างมีนัยสำคัญในต้นกาแฟโรบัสต้าที่ให้ปุ๋ยเคมี (75%) ร่วมกับปุ๋ยอินทรีย์ ผลการศึกษานี้ แสดงให้เห็นว่า ต้นกาแฟมีศักยภาพการเจริญเติบโตลดลง เมื่อได้รับปัจจัยจำกัดจากสภาพร่มเงาและการแข่งขันของรากในสวนยางพารา แต่การให้ปุ๋ยเคมีร่วมกับปุ๋ยอินทรีย์สามารถกระตุ้นการเจริญเติบโตของกาแฟโรบัสต้าที่ปลูกในสภาพร่มเงาสวนยางพาราได้ ทั้งนี้ ควรมีการศึกษาเพิ่มเติมถึงการส่องผ่านของแสงและการกระจายตัวของรากสำหรับการเจริญเติบโตและการให้ผลผลิตของกาแฟโรบัสต้าร่วมยางพาราในระยะก่อนและหลังการเปิดกรีดต่อไป

Thesis Title Adaptation Physiological Characteristics and Growth of Robusta Coffee under Rubber Plantation

Author Mr. Pongsakorn Suteekanjanothai

Major program Plant Science

Academic Year 2016

ABSTRACT

Coffee tree can be grown under shaded condition in a mixed cropping system. To evaluate the adaptation of robusta coffee leaf structural traits from the effects of full sunlight and shaded conditions. Also, the association of rubber tree with robusta coffee sapling was investigated to evaluate the effects of the limitation of leaf traits on the vegetative development. The experiment was carried out on the rubber plantation of rubber-based small holders, located at Satun province, in the South of Thailand. There was conducted under three different plots: sole robusta coffee (T1), rubber-robusta coffee intercropping (8-year-old rubber plantation) (T2) and rubber-robusta coffee intercropping (16-year-old rubber plantation) (T3). Also, the effects of chemical and organic fertilizer applications were investigated on coffee seedlings in one rubber plantation. Experiment was conducted with three treatments of 100% standard chemical fertilizer (15-15-15) (T1), 75% standard chemical fertilizer and 50% manure (T2), and 50% standard chemical fertilizer and 50% manure (T3). Results found that the effect of shading on coffee growth was significant in the rainy season, it tended to have a larger growth (height and canopy width) than in summer. Only in the rainy season, shade grown saplings had significantly greater LA (leaf area), leaf fresh weight, leaf dry weight and leaf nitrogen concentration (N) than the full-sun saplings. However, full-sun leaves generally had higher leaf chlorophyll content (Chl_{total}/LA) and leaf carotenoid content (Car/LA) than shaded leaves which appeared to be significantly affected. Under the rubber plantation, mean percentage of light penetration did not exceed 60% at any point measured beneath the rubber trees, while it was always 100% in full sunlight condition. The soil moisture content rose from the soil (20 cm soil depth) inside the rubber tree plantation. Coffee plants

grown under the full sunlight had higher values of height, canopy width, stem diameter and no. of leaves than coffee plants under shaded conditions. Robusta coffee leaves under direct sunlight were also significantly higher in leaf nitrogen content and nitrogen content/leaf area than those under shaded conditions. For the root system, there were significant differences of fine root length in the 20 and 40 cm layers which the highest densities found in coffee plants under direct sun light. However, no significant differences of root diameter were found. In addition, the significantly higher tree height (105.57 cm) was obtained using standard chemical fertilizer than with other manure applications, but there was no effect on canopy width, stem diameter and number of leaves in the Robusta coffee seedlings. Root length at 20 cm and 40 cm soil depths was significantly different according to the level of chemical fertilizer. New leaf flushing at 51.43% showed the highest increase for 75% chemical fertilizer and 50% manure. Chemical and organic fertilizer had no adverse effect on leaf characteristics of Robusta coffee seedlings (leaf area, leaf dry weight, chlorophyll contents and TNC). Leaf nitrogen content and nitrogen content/leaf area (Na) were significantly higher for the 75% chemical fertilizer and 50% manure seedlings. This study indicated that growth potential of coffee saplings was strongly limited by combination of shaded and root competition conditions under rubber plantation. Also, an adequate supply of chemical and organic fertilizers could promote rapid growth development of Robusta coffee saplings grown under shaded condition. Further studies on shaded Robusta coffee are required to focus on light transmission and root distribution for the vegetative development and production of coffee trees, as an intercropping system in immature and mature rubber plantations.

กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์นี้สำเร็จได้ด้วยดี ขอกราบขอบพระคุณ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. ระวี เจียรวิภา อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก และศาสตราจารย์ ดร. บัญชา สมบูรณ์สุข อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ร่วม ที่ให้ความกรุณาให้คำปรึกษาคำแนะนำในงานวิจัย ตลอดจนการเขียนการตรวจแก้ไขวิทยานิพนธ์ ให้สมบูรณ์มากที่สุด รวมถึงกราบขอบพระคุณคณะกรรมการสอบป้องกันวิทยานิพนธ์ รองศาสตราจารย์ ดร. สายัณห์ สดุดี และรองศาสตราจารย์ ดร. สมพร ณ นคร ช่วยในการวิจารณ์ผลการทดลองการวิจัยและการปรับแก้ไขเล่มวิทยานิพนธ์

ขอขอบพระคุณบัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ที่สนับสนุนเงินทุนการทำวิจัยให้ดำเนินได้ตามที่คาดหวังไว้ และขอขอบคุณบุคลากรภาควิชาพืชศาสตร์ที่เอื้อเฟื้อการยืมอุปกรณ์และสารเคมีต่างๆ ในการทำวิจัย ขณะเดียวกันผู้วิจัยขอขอบคุณสำนักวิจัยและพัฒนา มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ที่ได้สนับสนุนทุนอุดหนุนโครงการวิจัย เรื่อง “การปรับตัวลักษณะทางฟีโนไทป์และศักยภาพการเจริญเติบโตของต้นกาแฟโรบัสต้าที่ปลูกร่วมสวนยางพาราในจังหวัดสตูล” สัญญาเลขที่ NAT580919S

ขอขอบพระคุณเจ้าของสวนยางพารา (คุณศักรินทร์ แกสมาน) ที่ให้ความอนุเคราะห์ให้ใช้แปลงทำงานวิจัยและช่วยดูแลรักษาแปลงงานวิจัย รวมถึงนักศึกษาปริญญาโทสาขานิเวศสรีรวิทยาพืช (น.ส.อนุธิดา ชูแก้ว น.ส.วรัญญู ขวดหรีม นายพรเทพ ธีระวัฒนพงศ์ และ นายณัฐวิทย์ ญาณพิสิฐกุล) และผู้ช่วยวิจัย (นายวสันต์ มะประสิทธ์) ที่มีส่วนช่วยบันทึกและวิเคราะห์ข้อมูล

พงศกร สุธีกาญจโนทัย

สารบัญ

	หน้า
สารบัญ	(10)
รายการตาราง	(11)
รายการภาพประกอบ	(12)
รายการภาพภาคผนวก	(14)
บทที่ 1 บทนำ	1
บทนำต้นเรื่อง	1
ตรวจเอกสาร	2
วัตถุประสงค์	13
บทที่ 2 วัสดุ อุปกรณ์ และวิธีการ	14
วัสดุ อุปกรณ์	14
วิธีการ	17
บทที่ 3 ผล	31
บทที่ 4 บทวิจารณ์	70
บทที่ 5 สรุป	77
เอกสารอ้างอิง	78
ภาคผนวก	87
ประวัติผู้เขียน	89

รายการตาราง

ตารางที่ **หน้า**

1 การเจริญเติบโตทางลำต้นของกาแฟโรบัสต้าในสภาพกลางแจ้งและสภาพพรางแสงในช่วงระหว่างฤดูร้อนและฤดูฝน 32
2 ลักษณะสัณฐานและสรีรวิทยาของใบกาแฟโรบัสต้าในสภาพกลางแจ้งและสภาพพรางแสงในช่วงระหว่างฤดูร้อนและฤดูฝน 34
3 ลักษณะดินในกาแฟโรบัสต้าสภาพกลางแจ้ง (T1) กาแฟร่วมกับสวนยางพาราอายุ 8 (T2) และ 16 ปี (T3) ที่ระดับความลึก 20 40 และ 60 ซม. 41
4 ธาตุอาหารในดินของกาแฟโรบัสต้าสภาพกลางแจ้ง (T1) กาแฟร่วมกับสวนยางพาราอายุ 8 (T2) และ 16 ปี (T3) ที่ระดับความลึก 20 40 และ 60 ซม. 43
5 การเจริญเติบโตทางลำต้นของกาแฟโรบัสต้าในสภาพกลางแจ้ง (T1) กาแฟร่วมกับสวนยางพาราอายุ 8 (T2) และ 16 ปี (T3) ในเดือนมีนาคม กรกฎาคม ตุลาคม พ.ศ. 2558 มกราคม และเมษายน พ.ศ. 2559 45
6 ลักษณะสัณฐานและสรีรวิทยาของใบกาแฟโรบัสต้าในสภาพกลางแจ้ง (T1) กาแฟร่วมกับสวนยางพาราอายุ 8 (T2) และ 16 ปี (T3) ในปี พ.ศ. 2558 และ 2559 47
7 ปริมาณคาร์โบไฮเดรตที่ไม่ได้อยู่ในรูปโครงสร้างและธาตุอาหารในใบยางพาราอายุ 8 (T2) และ 16 ปี (T3) ในปีพ.ศ. 2558 และ 2559 55
8 การเจริญเติบโตทางลำต้นของต้นกาแฟโรบัสต้าในสวนยางพาราอายุ 8 ปี มีการให้ปุ๋ยเคมี (100%) (T1) ให้ปุ๋ยเคมี (75%) ร่วมกับปุ๋ยคอก (T2) และให้ปุ๋ยเคมี (50%) ร่วมกับปุ๋ยคอก (T3) ในเดือนตุลาคม พ.ศ. 2558 มกราคม เมษายน และมิถุนายน พ.ศ. 2559 64
9 ลักษณะสัณฐานและสรีรวิทยาของใบกาแฟโรบัสต้าในสวนยางพาราจากการให้ปุ๋ยเคมี (100%) (T1) ให้ปุ๋ยเคมี (75%) ร่วมกับปุ๋ยคอก (T2) และให้ปุ๋ยเคมี (50%) (T3)ร่วมกับปุ๋ยคอก ในช่วงสิ้นสุดการทดลอง 69

รายการภาพประกอบ

ภาพที่		หน้า
1	ปริมาณความเข้มแสง (ไมโครโมลต่อตารางเมตรต่อวินาที) และอุณหภูมิผิวใบ (องศาเซลเซียส) จากต้นกาแฟโรบัสต้าภายใต้สภาพกลางแจ้งและสภาพพรางแสง ในช่วงระหว่างฤดูร้อนและฤดูฝน	31
2	ปริมาณน้ำฝนรวม ปริมาณการคายระเหยน้ำ และอุณหภูมิสูงสุด-ต่ำสุด ในจังหวัดสตูลของช่วงเดือนมกราคม พ.ศ. 2558 – มิถุนายน พ.ศ. 2559	35
3	อุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์ภายใต้สวนยางพาราอายุ 8 ปี (a) และ 16 ปี (b) ในช่วงเดือนสิงหาคม พ.ศ. 2558 – มิถุนายน พ.ศ. 2559	36
4	ปริมาณความเข้มแสง (a) และเปอร์เซ็นต์แสงส่องผ่าน (b) ของกาแฟโรบัสต้าสภาพกลางแจ้ง (T1) กาแฟร่วมสวนยางพาราอายุ 8 ปี (T2) และกาแฟร่วมกับสวนยางพาราอายุ 16 ปี ในช่วงเดือนกุมภาพันธ์ พ.ศ. 2558 – มิถุนายน พ.ศ. 2559	37
5	ปริมาณความเข้มแสงรายชั่วโมงในสวนยางพาราอายุ 8 (a) และ 16 ปี (b) ช่วงเดือนสิงหาคม พ.ศ. 2558 – มิถุนายน พ.ศ. 2559	38
6	เปอร์เซ็นต์ความชื้นดินที่ระดับความลึก 0 - 20 ซม. ในกาแฟสภาพกลางแจ้ง (T1) กาแฟร่วมกับสวนยางพาราอายุ 8 (T2) และ 16 ปี (T3) ช่วงเดือนมกราคม พ.ศ. 2558 – มิถุนายน พ.ศ. 2559	39
7	พัฒนาการความยาวรากและเส้นผ่านศูนย์กลางรากกาแฟโรบัสต้าที่ระดับความลึก 0 - 20 และ 21 – 40 ซม. ในสภาพแจ้ง (T1) กาแฟร่วมกับสวนยางพาราอายุ 8 (T2) และ 16 ปี (T3) ในเดือนพฤศจิกายน พ.ศ. 2558 (a1 และ b1) กุมภาพันธ์ (a2 และ b2) และพฤษภาคม พ.ศ. 2559 (a3 และ b3)	49
8	ปริมาณคลอฟิลล์เอ (a) คลอโรฟิลล์บี (b) และคลอโรฟิลล์ทั้งหมด (c) ในใบกาแฟโรบัสต้าสภาพแจ้ง (T1) กาแฟร่วมกับสวนยางพาราอายุ 8 (T2) และ 16 ปี (T3) ช่วงเดือนกุมภาพันธ์ พ.ศ. 2558 – มิถุนายน พ.ศ. 2559	51
9	เส้นรอบวงลำต้นยางพาราอายุ 8 (T2) และ 16 ปี (T2) ในเดือนกรกฎาคม พ.ศ. 2558 และมกราคม พ.ศ. 2559	52
10	ดัชนีพื้นที่ใบภายใต้ทรงพุ่มยางพาราอายุ 8 (T2) และ 16 ปี (T3) ในช่วงเดือนกุมภาพันธ์ พ.ศ. 2558 – มิถุนายน พ.ศ. 2559	53
11	พัฒนาการรากและเส้นผ่านศูนย์กลางรากยางพาราอายุ 8 (T2) และ 16 ปี (T3) ที่ระดับความลึกดิน 0 – 20 และ 21 – 40 ซม. ในเดือนพฤศจิกายน (a1 และ b1) กุมภาพันธ์ (a2 และ b2) พ.ศ. 2558 และ พฤษภาคม พ.ศ. 2559 (a3 และb3)	57

รายการภาพประกอบ (ต่อ)

ภาพที่		หน้า
12	การแผ่กระจายของรากยางพาราอายุ 8 (T2) และ 16 ปี (T3) โดยมีระยะห่างจากต้นกาแฟ 150 100 และ 50 ซม. ในเดือนสิงหาคม (a) ธันวาคม (b) พ.ศ. 2558 มีนาคม (c) และมิถุนายน พ.ศ. 2559 (d)	58
13	เปรียบเทียบความยาวและเส้นผ่านศูนย์กลางรากระหว่างกาแฟโรบัสต้าและยางพาราอายุ 8 (a1 และ b1) และ 16 ปี (a2 และ b2)	60
14	ปริมาณซูโครส (a) อนินทรีย์ฟอสฟอรัส (b) รีดิวซ์ไธออล (c) และเปอร์เซ็นต์เนื้อยางแห้งจากต้นยางพาราอายุ 8 (T2) และ 16 ปี (T3) ช่วงเดือนมิถุนายน พ.ศ. 2558 – พฤษภาคม พ.ศ. 2559	62
15	เปอร์เซ็นต์การแตกใบใหม่ของกาแฟโรบัสต้าในสวนยางพารามีการให้ปุ๋ยเคมี (100%) (T1) ให้ปุ๋ยเคมี (75%) ร่วมกับปุ๋ยคอก (T2) และให้ปุ๋ยเคมี (50%) ร่วมกับปุ๋ยคอก (T3) ในช่วงเดือนตุลาคม พ.ศ. 2558 – มิถุนายน พ.ศ. 2559	65
16	พัฒนาการความยาวรากของกาแฟโรบัสต้าในสวนยางพาราที่ระดับความลึกดิน 0 - 20 (a) และ 21 – 40 ซม. (b) จากการให้ปุ๋ยเคมี (100%) (T1) ให้ปุ๋ยเคมี (75%) ร่วมกับปุ๋ยคอก (T2) และให้ปุ๋ยเคมี (50%) (T3) ร่วมกับปุ๋ยคอก ในเดือนตุลาคม พ.ศ. 2558 มกราคม เมษายน และมิถุนายน พ.ศ. 2559	66
17	ปริมาณคลอโรฟิลล์ เอ (a) คลอโรฟิลล์ บี (b) และคลอโรฟิลล์ทั้งหมด (c) ในใบกาแฟโรบัสต้าภายใต้สวนยางพาราจากการให้ปุ๋ยเคมี (100%) (T1) ให้ปุ๋ยเคมี (75%) ร่วมกับปุ๋ยคอก (T2) และให้ปุ๋ยเคมี (50%) (T3) ร่วมกับปุ๋ยคอก ช่วงเดือนสิงหาคม พ.ศ. 2558 – มิถุนายน พ.ศ. 2559	68

รายการภาพภาคผนวก

ภาพที่		หน้า
1	ความสัมพันธ์ของคลอโรฟิลล์ เอ (a) คลอโรฟิลล์ บี (b) คลอโรฟิลล์ทั้งหมด (c) และแคโรทีนอยด์ (d) (mg cm^{-2}) ต่อเครื่องวัดคลอโรฟิลล์มิเตอร์ (SPAD-502 Plus)	88

บทที่ 1

บทนำ

บทนำต้นเรื่อง

ภาคใต้เป็นแหล่งปลูกยางพาราจำนวนมากที่สุดในประเทศ ซึ่งมีเนื้อที่เท่ากับ 14 ล้านไร่ในปี พ.ศ. 2558 (สำนักเศรษฐกิจการเกษตร, 2559) และเกษตรกรส่วนใหญ่ปลูกยางพาราเป็นพืชเชิงเดี่ยว (Mono cropping) จำนวนร้อยละ 90 (จำนงค์ และคณะ, 2558) ทำให้เกิดภาวะผลผลิตล้นตลาด ราคาน้ำยางและยางแผ่นรมควันมีแนวโน้มที่ต่ำลง (สำนักงานตลาดกลางยางพารา สงขลา, 2558) โดยราคาเฉลี่ยของยางแผ่นดิบและน้ำยางสด ณ โรงงาน ในปี พ.ศ. 2558 อยู่ที่ 45.91 และ 45.18 บาท (สำนักงานคณะกรรมการกำกับการซื้อขายสินค้าเกษตรล่วงหน้า, 2558) ส่งผลต่อการใช้จ่ายในครัวเรือนและการบำรุงต้นยางพารา เกษตรกรจึงสนใจนำพืชร่วมมาปลูกในสวนยางพาราเพื่อเพิ่มรายได้ในครัวเรือน

โดยกาแฟเป็นพืชที่กำลังได้รับความสนใจปลูกร่วมกับยางพารา อีกทั้งยังเป็นพืชเศรษฐกิจที่สำคัญชนิดหนึ่งของโลก ในปี พ.ศ. 2556 ผลผลิตกาแฟของโลกประมาณ 9.04 ล้านตัน แบ่งเป็นกาแฟพันธุ์อาราบิก้า 62% พันธุ์โรบัสต้า 38% (International Coffee Organization, 2016) ซึ่งผลผลิตกาแฟของประเทศไทยมีเพียง 0.52% ของโลกเท่านั้นหรือเท่ากับ 2,700 ตันต่อปี (กรมวิชาการเกษตร, 2558) โดยมีราคาผลผลิตสดสูงเฉลี่ย 65 บาทต่อกิโลกรัม (กรมการค้าภายใน, 2558) พร้อมทั้งประชากรจำนวนมากมีการบริโภคกาแฟคั่วบดและสำเร็จรูปในอัตราที่สูงขึ้นทุกๆ ปี (เสาวนีย์, 2550) ซึ่งผลผลิตส่วนใหญ่มีการส่งทั้งรายปลีกและโรงงานอุตสาหกรรม ทั้งนี้ประเทศไทยยังมีผลผลิตค่อนข้างต่ำเมื่อเทียบกับภาพรวมของโลกและยังสามารถที่จะเติบโตได้ในด้านปริมาณผลผลิตและคุณภาพ อีกทั้งกาแฟยังเป็นพืชปลูกที่สามารถปรับตัวได้ดีในสภาพร่มเงาไม้ยืนต้นชนิดอื่นๆ ได้ (กรมวิชาการเกษตร, 2553)

ขณะเดียวกันลักษณะสวนยางพาราที่มีเนื้อที่บริเวณร่องกลางแถวยางพาราทำให้สามารถปลูกกาแฟได้ จึงศึกษาการปลูกกาแฟร่วมกับยางพาราอายุ 8 และ 16 ปี เพื่อเปรียบเทียบการเจริญเติบโตและการปรับตัวของกาแฟในสวนยางพารา ซึ่งจะเป็นประโยชน์ต่อเกษตรกรสำหรับการปลูกกาแฟเป็นทางเลือกหนึ่ง สำหรับการเพิ่มรายได้ในสวนยางพารา และใช้พื้นที่ในสวนยางพาราให้เกิดประสิทธิภาพสูงสุด

การตรวจเอกสาร

การปรับตัวทางลักษณะสัณฐานและสรีรวิทยาของใบ

ลักษณะสัณฐานและสรีรวิทยาของใบ ใบมีบทบาทสำคัญต่อประสิทธิภาพการสังเคราะห์แสง โดยลักษณะสัณฐานของใบ เช่น พื้นที่ใบ ปลายใบ มุมใบ ความกว้างและยาวใบ เป็นต้น เป็นสิ่งบ่งบอกถึงลักษณะการตอบสนองและการปรับตัวของพืชในสภาพแวดล้อมต่างๆ ขณะเดียวกันยังเป็นการศึกษาลักษณะใบ ซึ่งพิจารณาจากองค์ประกอบทางกายภาพและทางเคมีของใบ เช่น การเพิ่มขึ้นของพื้นที่ใบต่อมวลน้ำหนักแห้งต่อใบ ไนโตรเจนต่อพื้นที่ใบ และคลอโรฟิลล์ต่อพื้นที่ใบ เป็นต้น (Antonios *et al*., 2012)

ปัจจัยที่ส่งผลกระทบต่อลักษณะสัณฐานและสรีรวิทยาของใบ ตามผลการวิจัยของ Leonor และคณะ (2014) พบว่า แสงและธาตุอาหารมีผลกระทบต่อการพัฒนาการของใบกาแฟ เพราะเมื่อกาแฟได้รับแสงพอเหมาะ พื้นที่ใบจะมีขนาดพอเหมาะกันต่อความสมดุลของ source และ sink ในต้นกาแฟ แต่สภาพร่มเงาใบกาแฟจะเพิ่มพื้นที่ใบให้สูงขึ้น เพราะใบต้องการรับแสงมากขึ้นเพื่อเพิ่ม source ในการสังเคราะห์แสง ส่วน Marcelo และคณะ (2010) รายงานว่า แสงมีผลต่อการเปิดปิดปากใบ (Stomatal conductance) โดยสภาพร่มเงาอัตราการเปิดปิดปากใบในกาแฟสูง เพราะใบมีการขยายเพิ่มพื้นที่ใบเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพการสังเคราะห์แสง แต่ในสภาพกลางแจ้งอัตราการเปิดปิดปากใบจะต่ำกว่า หากสภาพแสงยังสูงขึ้นกาแฟจะตอบสนองโดยการปิดปากใบ เพราะเกิดจากอุณหภูมิบริเวณผิวใบและปริมาณความเข้มแสงมากเกินไปทำให้ใบเกิดการคายน้ำและสูญเสียน้ำมาก ใบกาแฟจึงต้องป้องกันอันตราย นอกจากนี้ธาตุอาหารยังเป็นปัจจัยอีกอย่างหนึ่งที่จะช่วยในการพัฒนาให้ใบสมบูรณ์และเพิ่มประสิทธิในการสังเคราะห์แสง การเปลี่ยนแปลงสีของใบหรืออาการขาดธาตุอาหาร เช่น ใบล่างลักษณะมีใบเหลืองอาจเกิดการขาดธาตุอาหารไนโตรเจน เป็นต้น

Loh และคณะ (2002) ได้อธิบายถึงลักษณะคลอโรฟิลล์ในพืช ซึ่งเป็นกลุ่มรงควัตถุสีเขียวที่พบในพืชทั่วไป มีหน้าที่จับพลังงานแสง (Primary light-accepting pigments) เพื่อใช้ในกระบวนการสังเคราะห์แสงที่เกิดขึ้นในคลอโรพลาสต์ (Chloroplasts) จากการศึกษาปัจจัยของแสงต่อการกำหนดปริมาณของคลอโรฟิลล์ โดย Karine และคณะ (2012) ซึ่งทดลองสร้างสภาวะการจำกัดการสังเคราะห์แสงในกาแฟ พบว่า คลอโรฟิลล์จะแปรผันตามการสังเคราะห์แสงหรือความเข้มแสงเมื่อจำกัดการสังเคราะห์แสง โดยปลูกในโรงเรือนที่พรางแสง และไม่พรางแสง ผลปรากฏว่ากาแฟที่พรางแสงมีค่าการสังเคราะห์แสงดีกว่าไม่พรางแสง เพราะใบมีการเพิ่มประสิทธิในการสังเคราะห์แสงได้ดี ส่วนปริมาณคลอโรฟิลล์ในใบที่ไม่ได้พรางแสงมีค่าน้อยกว่าที่พรางแสง เพราะกาแฟมีการปรับตัวเพิ่มปริมาณของคลอโรฟิลล์ พร้อมทั้งการเพิ่มพื้นที่ใบ อีกทั้งค่าการเปิดปิดปากใบในสภาพพรางแสงยังสูงกว่า เนื่องจากต้นกาแฟต้องการแลกเปลี่ยนก๊าซเพื่อใช้ในการสังเคราะห์แสงมากขึ้น นอกจากนี้

Liu และคณะ (2013) ยังพบว่า อุณหภูมิในอากาศมีผลต่อการเปิดปิดปากใบ โดยเมื่ออุณหภูมิสูงมากเกินไป พืชจะตอบสนองโดยการปิดปากเพื่อป้องกันการคายน้ำหรือสูญเสียน้ำในใบ โดยอุณหภูมิที่มีประสิทธิภาพในการสังเคราะห์แสง และการเปิดปิดปากใบของกาแฟโรบัสต้าจะอยู่ในช่วง 20 - 30 องศาเซลเซียส ส่วนกาแฟอาราบิก้าอยู่ในช่วง 15 - 26 องศาเซลเซียส

สำหรับการวัดคลอโรฟิลล์ในใบพืชมักเริ่มจากการบดตัวอย่าง และสกัดคลอโรฟิลล์ โดยใช้สารละลายเช่น Acetone หรือ Ethanol เป็นต้น ซึ่งการบดตัวอย่างทำให้เกิดการสูญเสียคลอโรฟิลล์ เป็นผลให้ได้ปริมาณคลอโรฟิลล์น้อยกว่าที่เป็นจริง โดยเฉพาะเมื่อมีตัวอย่างอยู่เป็นจำนวนมาก (พูนพิภพ และคณะ, 2537) แต่ในปัจจุบันมีการใช้เทคโนโลยีเครื่องวัดคลอโรฟิลล์ (Chlorophyll meter; SPAD-502) ซึ่งมีความเที่ยงตรงต่อปริมาณคลอโรฟิลล์ในใบและปริมาณไนโตรเจนในใบ มีหลักการทำงานโดยเครื่องจะวัดแสงในช่วงความยาวคลื่นจำเพาะ คือ 600 – 700 นาโนเมตร และ 400 – 500 นาโนเมตร ที่ส่องผ่านแผ่นใบพืช ซึ่งรงควัตถุคลอโรฟิลล์สามารถดูดซับแสงในช่วงความยาวคลื่นดังกล่าวได้ดี ค่าที่อ่านได้ผันแปรตามความเขียวของใบ (Leaf greenness) และมีความสัมพันธ์กับความเข้มข้นของคลอโรฟิลล์ในใบพืช กำหนดให้มีหน่วยเป็น SPAD–unit (Loh *et al*., 2002) โดย สิริมาส และคณะ (2555) ได้ทำการทดลองการใช้คลอโรฟิลล์มิเตอร์ประเมินระดับคลอโรฟิลล์และไนโตรเจนในใบส้มโอใช้เครื่อง SPAD-502 ผลปรากฏว่าความเข้มข้นของคลอโรฟิลล์รวมต่อหน่วยพื้นที่ใบกับระดับไนโตรเจนในใบมีความสัมพันธ์กันในเชิงบวก

การวัดและประเมินค่าดัชนีพื้นที่ใบ

ค่าดัชนีพื้นที่ใบ (Leaf area index: LAI) หมายถึง พื้นที่ใบต่อหน่วยพื้นที่ผิวดิน ความผันแปรดัชนีพื้นที่ใบขึ้นอยู่กับพันธุ์ อายุ และสภาพสิ่งแวดล้อม เป็นตัวแปรสำคัญที่ใช้ศึกษาโครงสร้างของทรงพุ่ม มีความสัมพันธ์กับกระบวนการทางสรีรวิทยาของพืช การรับแสง การหายใจ การสังเคราะห์แสง การใช้น้ำ และการแลกเปลี่ยนคาร์บอนไดออกไซด์ของพืช (Xavier and Vettorazzi, 2003) ดัชนีพื้นที่ใบสามารถใช้เป็นค่าตรวจวัดเชิงปริมาณของทรงพุ่มได้ โดยมีความสัมพันธ์กับกระบวนต่างๆ เช่น การคายระเหยของน้ำ การรับแสง การสังเคราะห์แสง การหายใจ และการร่วงของใบ ซึ่งใช้ประเมินพื้นที่ใบของยางพาราในช่วงที่มีการผลัดใบได้ (Jonckheere *et al*., 2005; Tianxiang *et al*., 2002) ขณะเดียวกัน ศรันย์ และคณะ (2555) ใช้ดัชนีพื้นที่ใบ (LAI) ในการประเมินการเจริญเติบโตของปาล์มน้ำมัน เพื่อเปรียบเทียบระหว่างพันธุ์ได้ อีกทั้งสามารถนำมาใช้ประเมินพัฒนาการ และการเจริญเติบโตของผลผลิต

การวัดพื้นที่ใบโดยวิธีทางอ้อม (Indirect) เป็นวิธีการใช้แสง โดยอาศัยหลักการวัดการส่องผ่านแสงของทรงพุ่ม ประยุกต์ร่วมกับกฎของ Beer–Lambert ซึ่งเกี่ยวข้องกับข้อมูลรังสีที่ตกกระทบโดยตรงหรือแพร่กระจายที่ใต้ทรงพุ่ม และหาค่าสัมประสิทธิ์การส่องผ่านของแสง

(Light extinction coefficient) โดยใช้หัววัด (Sensor or Radiometer) ซึ่งขึ้นอยู่กับพื้นที่ ชนิดพืช มุมใบ และทรงพุ่ม แต่วิธีนี้จำเป็นต้องมีสภาพท้องฟ้าที่มีเมฆปกคลุมน้อย หรืออาจใช้วิธีการวิเคราะห์ช่องว่าง (Gap fraction) ของทรงพุ่ม ด้วยเครื่อง Digital Plant Imager CI 100 (MVI), LAI-2000 Plant Canopy Analyzer ซึ่งคำนวณ LAI โดยเปรียบเทียบปริมาณแสง บริเวณเหนือและใต้ของทรงพุ่ม ทั้งนี้วิธีดังกล่าวเหมาะสมกับพืชที่มีค่า LAI ที่ไม่เกิน 5 - 6 (Chen and Black, 1992; อ้างโดย Eriksson *et al*., 2005)

สำหรับปัจจัยที่ส่งผลต่อดัชนีพื้นที่ใบ เกิดจากมุมและการเรียงตัวของใบที่สัมพันธ์กับปริมาณความเข้มแสง (Turner *et al*., 1999) เช่นเดียวกับ Haboudane และคณะ (2004) กล่าวว่าลักษณะทรงพุ่มของพืชยังเป็นตัวแปรที่สำคัญ เนื่องจากกลุ่มของกิ่งก้าน และใบ (Clumping) ในทรงพุ่ม ขนาดของช่องว่างระหว่างต้น มีผลต่อการสะท้อนของคลื่นแสงทำให้ค่าดัชนีพื้นที่ใบแปรปรวนได้ Tianxiang และคณะ (2002) ยังพบว่า ในไม้ยืนต้นมีดัชนีพื้นที่ใบเพิ่มขึ้นตามอายุ และมีค่าสูงสุดเมื่อต้นโตเต็มที่ แต่อาจลดลงเล็กน้อยหลังจากโตเต็มที่หรือเพิ่มขึ้นสูงสุดในแต่ละฤดูกาล การเปลี่ยนแปลงมักขึ้นอยู่กับอุณหภูมิ ความชื้นสัมพัทธ์ และปริมาณน้ำฝน โดยเฉพาะบริเวณเขตร้อนชื้นรูปแบบการเปลี่ยนแปลงดัชนีพื้นที่ใบในรอบปีจะเปลี่ยนแปลงตลอดทั้งปีและเปลี่ยนแปลงมากในช่วงฤดูร้อน

สำหรับในไม้ยืนต้น เช่น ยางพาราการวัดพื้นที่ใบทำได้ยาก และใบมีจำนวนมาก ดังนั้นจึงมีวิธีการคำนวณจากช่องว่างระหว่างทรงพุ่ม (Gap fraction) ด้วยเซ็นเซอร์ (Sensor) ต่างๆ หรือการใช้ภาพถ่ายจากเลนส์ Fish eye แต่การวัดวิธี Gap fraction สามารถโดยใช้ข้อมูลจากการวัด LAI ร่วมกับการใช้ Litterfall trap เพื่อวัดปริมาณพื้นที่ใบจริงของต้นยางพารา (เจษฎา และคณะ, 2551)

ข้อมูลทั่วไปของยางพารา

ยางพารามีต้นกำเนิดจากทวีปอเมริกาใต้ เป็นพืชใบเลี้ยงคู่ ลักษณะลำต้นตั้งตรง แตกกิ่งก้านเป็นแขนง เนื้อไม้สามารถใช้ประโยชน์ได้หลากหลาย ใบมีรูปแบบเป็นใบประกอบ ดอกมีลักษณะเป็นช่อ การผสมพันธุ์แบบเปิด ผลยางมีลักษณะเป็นพูแต่ละพูมีเมล็ดอยู่ภายใน เมล็ดมีสีน้ำตาลลายดำ (การยางแห่งประเทศไทย, 2558) น้ำยางมีลักษณะสีขาวหรือเหลืองขุ่นในท่อน้ำยางบริเวณเปลือกลำต้น โดยต้นยางพาราสามารถปลูกได้ดีในเขตพื้นที่ร้อนชื้น ระดับความสูงน้ำทะเลไม่ต่ำกว่า 200 เมตร ลักษณะดินควรเป็นดินร่วน มีความเป็นกรดเป็นด่างอยู่ที่ 4.5 - 5.5 ปริมาณน้ำฝนไม่ต่ำกว่า 1,500 มิลลิเมตรต่อปี และมีจำนวนวันฝนตกไม่น้อยกว่า 120 วันต่อปี ความชื้นสัมพัทธ์ไม่ต่ำกว่า 65 เปอร์เซ็นต์ และอุณหภูมิอยู่ในช่วง 20 - 30 องศาเซลเซียส (Partelli *et al*., 2014)

ระบบนิเวศสวนยางพารา

ระบบนิเวศในสวนยางพารามีความแตกต่างกันหลายลักษณะ โดยพบว่าเกษตรกรมีการทำสวนยางพาราแบ่งได้ 6 รูปแบบ (บัญชา และคณะ, 2548) ได้แก่

1) ระบบการทำสวนยางเชิงเดี่ยว ลักษณะสวนยางพาราเป็นการปลูกพืชเชิงเดี่ยวไม่มีพืชอื่นร่วม ใช้ปุ๋ยเคมีสูตร 15-15-15 (2 ครั้งต่อปี) ส่วนใหญ่ใช้สารเคมีในการกำจัดวัชพืช ขนาดสวนค่อนข้างเป็นพื้นที่ใหญ่ การจัดการหวังพึ่งสารเคมีเป็นส่วนใหญ่

2) ระบบการทำสวนยางพาราร่วมกับปลูกพืชแซม ลักษณะก่อนยางเปิดกรีดมีการปลูกพืชล้มลุกเป็นพืชแซม เช่น สับปะรด ข้าวโพด ถั่วต่างๆ เป็นต้น มีวัตถุประสงค์เพิ่มรายได้และการใช้เนื้อที่อย่างมีประสิทธิภาพ การใช้ปุ๋ยเคมีสูตร 15-15-15 (3 ครั้งต่อปี) ใช้แหล่งน้ำธรรมชาติและสารเคมีในการกำจัดศัตรูพืช

3) ระบบการทำสวนยางพาราที่มีการปลูกข้าว ลักษณะปลูกข้าวก่อนยางเปิดกรีดส่วนใหญ่จะนำข้าวไร่มาปลูกพันธุ์พื้นเมือง ไม่ใช้สารเคมี มีวัตถุประสงค์เพิ่มรายได้และบริโภคในครัวเรือน การใช้ปุ๋ยเคมีสูตร 15-15-15 (2 - 3 ครั้งต่อปี)

4) ระบบการทำสวนยางพาราที่มีไม้ผลร่วม ลักษณะการปลูกจะร่วมกับยางพาราก่อนเกิดกรีดหรือหลังเปิดกรีด มีวัตถุประสงค์ปลูกไม้ผลในรูปผสมหลายชนิดในพื้นที่เดียวเพื่อลดความเสี่ยงเรื่องโรคและเพิ่มรายได้ของผลผลิต การใส่ปุ๋ยเคมีสูตร 15-15-15 (2 - 3 ครั้งต่อปี)

5) ระบบการทำสวนยางพาราร่วมกับการเลี้ยงสัตว์ ลักษณะทำฟาร์มเลี้ยงสัตว์ขนาดเล็กในสวนยางพารา โดยสัตว์ที่เลี้ยงในสวนยางได้แก่ แพะ วัวและไก่ เป็นต้น ใช้พันธุ์พื้นเมืองเป็นหลักส่วนใหญ่เลี้ยงเป็นอาชีพเสริมขายในตลาดท้องถิ่น การให้ปุ๋ยเคมีสูตร 15-15-15 (2 ครั้งต่อปี)

6) ระบบการทำสวนยางพาราร่วมกับกิจกรรมการเกษตรผสมผสาน ลักษณะการปลูกพืชหลากหลายชนิดในพื้นที่เดียวกัน มีวัตถุประสงค์เพื่อเพิ่มรายได้และทางเลือกในการทำกิจกรรมทางการเกษตรอันนำมาสู่การเพิ่มรายได้ ใช้พื้นที่อย่างมีประสิทธิภาพ และเพิ่มความหลากหลายทางชีวภาพในสวนยางพารา รูปแบบที่พบได้แก่ ยางร่วมกับไม้ผลและเลี้ยงสัตว์ ยางร่วมกับข้าวและไม้ผล โดยส่วนใหญ่ใช้แรงงานในครัวเรือนเป็นหลักและให้ปุ๋ยเคมีสูตร 15-15-15 (2 - 3 ครั้งต่อปี) สำหรับยางพาราร่วมกับไม้ผลอาจใช้สารเคมีในการป้องกันกำจัดศัตรูพืช

องค์ประกอบทางชีวเคมีของน้ำยาง

การศึกษาองค์ประกอบทางชีวเคมีของน้ำยาง เป็นการศึกษาตัวแปรสำคัญที่เกี่ยวข้องกับความสมดุลของกระบวนการทางสรีรวิทยา การผลิตน้ำยาง การไหลของน้ำยางหรืออนุภาคของยางทดแทน (Latex regeneration) (Jacob *et al.*, 1989) การหาค่าพารามิเตอร์ใช้

วิธีการวิเคราะห์ปริมาณการวัดการดูดกลืนแสง ซึ่งโดยทั่วไปการวิเคราะห์น้ำยางมี 4 ตัวแปรที่ใช้อธิบายกระบวนการทางสรีรวิทยา ดังนี้

ปริมาณซูโครส (Sucrose; suc) แสดงถึงน้ำตาลซูโครสในต้นยางได้จากการสังเคราะห์แสงแสดงสถานะคาร์โบไฮเดรต มีความสำคัญในการผลิตน้ำยาง ซึ่งใช้เป็นสารตั้งต้นในกระบวนการสร้าง น้ำตาลกลูโครส และกระบวนการสร้างอนุภาคยาง (Isoprenoid synthesis) ปริมาณซูโครสในน้ำยางมากหรือน้อย ขึ้นอยู่กับประสิทธิภาพของการสังเคราะห์แสง และการนำน้ำตาลไปใช้ในกระบวนการสร้างน้ำยาง ปริมาณน้ำตาลซูโครสในน้ำยาง จึงมีความสัมพันธ์ทั้งทางบวกและทางลบกับผลผลิตน้ำยาง (Jacob *et al*., 1997) พันธุ์ยางที่มีปริมาณซูโครสในน้ำยางสูงอาจแสดงให้เห็นว่า สายพันธุ์ที่มีประสิทธิในการสังเคราะห์แสงดี สามารถสังเคราะห์น้ำตาลซูโครสได้ในปริมาณมาก เช่น RRIM 600 เป็นพันธุ์ที่ให้ผลผลิตยางสูง และมีปริมาณซูโครสสูง อย่างไรก็ตาม ในทางตรงกันข้าม หากมีปริมาณซูโครสมาก อาจหมายถึงความสามารถในการนำน้ำตาลซูโครสไปใช้ในกระบวนการสร้างน้ำยางต่ำ ทำให้มีผลผลิตต่ำ ส่วนในยางบางพันธุ์มีปริมาณซูโครสในน้ำยางต่ำ แต่ให้ผลผลิตสูง จัดเป็นพันธุ์ที่มีความสามารถในการนำน้ำตาลซูโครสไปใช้ในกระบวนการสร้างน้ำยางได้ดี จนมีน้ำตาลซูโครสเหลืออยู่ในปริมาณน้อย ซึ่งลักษณะดังกล่าวอาจทำให้เกิดอาการเปลือกแห้งในต้นยางได้ (พัชราภรณ์, 2552)

ปริมาณอนินทรีย์ฟอสฟอรัส (Inorganic phosphorus; Pi) แสดงถึงกระบวนการเมทาบอ-ลิซึมในน้ำยางและเป็นอนุภาคให้พลังงาน ซึ่งปริมาณอนินทรีย์ฟอสฟอรัสในไซโทซอล (Cytosol) มีผลกับพลังงานที่ใช้ในกระบวนการเมทาบอลิซึม การสร้างน้ำยางสัมพันธ์กับปริมาณของ ATP และสัดส่วนระหว่าง ATP กับ ADP และการต่อกันของสาย Polyisoprene (Jacob *et al*., 1985) โดยปริมาณอนินทรีย์ฟอสฟอรัสมีความสัมพันธ์ทางบวกกับผลผลิตยาง ซึ่งในช่วงที่ยางผลัดใบปริมาณอนินทรีย์ฟอสฟอรัสในน้ำยางมีแนวโน้มลดลง (Lynon, 1969)

ปริมาณรีดิวซ์ไธออล (Reduced thiol; RSH) แสดงถึงระดับการป้องกันเซลล์และเกี่ยวข้องกับการไหลของน้ำยาง ช่วยในการป้องกันโครงสร้างของผนังเซลล์ โดยเฉพาะลูทอยด์และป้องกันการเป็นพิษของออกซิเจน (Toxin oxygen ได้แก่ AOS: Active Oxygen Species (เช่น O_2 H_2O_2 และ OH) ซึ่งพบในขณะที่มีการกระตุ้นกระบวนการเมทาบอลิซึม ปริมาณรีดิวซ์ประกอบด้วย Cysteine methionine และ Glutathione มีบทบาทสำคัญในน้ำยาง โดยกระตุ้นการทำงานของเอนไซม์ที่สำคัญบางชนิดในเซลล์ท่อน้ำยางเช่น Invertase และ Pyruvate kinase (Jacob *et al*., 1985) ซึ่งปริมาณรีดิวซ์ไธออลจะมีความสัมพันธ์ทางบวกกับผลผลิต หากมีปริมาณต่ำจะส่งผลต่อ Decompartmentation และ Metabolic activity ของเซลล์ท่อน้ำยาง ทำให้ผลผลิตลดต่ำลง (โสภณ, 2553)

ปริมาณเปอร์เซ็นต์เนื้อยางแห้ง (%DRC) เป็นตัวแปรที่แสดงถึงการสร้างน้ำยางในเซลล์ท่อน้ำยาง บ่งบอกถึงความสามารถในการสร้างน้ำยาง แสดงถึงความหนืดของน้ำยางและสัมพันธ์กับการไหลของน้ำยาง โดยค่าปริมาณเนื้อยางแห้งสูง ทำให้ความหนืดของน้ำยางเพิ่มและสามารถชะลอการไหลได้ ทั้งนี้ช่วงฤดูฝนมักมีความหนืดของน้ำยางลดลง การไหลของน้ำยาง จึงยาวนานขึ้นและมีผลทำให้ปริมาณผลผลิตสูง (พัชราภรณ์, 2552) แต่ถ้าปริมาณเนื้อยางแห้งต่ำแสดงว่ามีประสิทธิภาพในการสังเคราะห์ยางต่ำ (Jacob *et al*., 1985)

ปัจจัยที่ส่งผลต่อองค์ประกอบชีวเคมีของน้ำยาง กรมวิชาการเกษตร (2558) พันธุ์ยางถือเป็นปัจจัยสำคัญอันดับแรกในการให้ผลผลิตสูงหรือต่ำ ซึ่งพันธุ์ยางแนะนำของสถาบันวิจัยยางที่ให้ผลผลิตสูง ได้แก่ พันธุ์สถาบันวิจัยยาง RRIT 251 และ RRIM 600 เป็นต้น เพราะพันธุ์ยางถือเป็นสิ่งสำคัญในการให้ผลผลิตน้ำยางในด้านปริมาณและคุณภาพ พัชราภรณ์ (2552) รายงานว่าการให้น้ำเป็นอีกปัจจัยสำคัญหนึ่ง เพราะเมื่อยางพาราได้รับน้ำจะมีค่าปริมาณน้ำตาลซูโครสสูงกว่ายางพาราที่ไม่ได้รับน้ำ แสดงให้เห็นถึงประสิทธิภาพในการสังเคราะห์แสงที่ดีของต้นยางพารา Lynon (1969) รายงานว่าการหลุดร่วงของใบส่งผลต่อปริมาณอนินทรีย์ฟอสฟอรัสลดลง เกิดจากใบที่หลุดร่วงไม่มีการสังเคราะห์แสงเกิดขึ้นยางพาราจึงไม่ผลิตอนินทรีย์หรือผลิตน้อยมาก สายัณห์ และคณะ (2553) กล่าวว่าการดูแลให้ปุ๋ยในอัตราที่เหมาะสมสำหรับยางพาราตั้งแต่ปลูกจนถึงเปิดกรีด จำนวนวันกรีดและระบบกรีดส่งผลต่อการให้ปริมาณน้ำยางและคุณภาพน้ำยาง ซึ่งการดูแลต้นยางนั้นควรที่จะมีการปุ๋ยอย่างสม่ำเสมอ พร้อมทั้งการกรีดยางควรใช้ระบบกรีดหรือจำนวนวันกรีด ที่เหมาะสม เพื่อให้ต้นได้สร้างอาหารสำหรับให้ผลผลิตอย่างเพียงพอ ณัฐพงศ์ และคณะ (2556) รายงานว่าการกรีดยางถี่เกินไป ทำให้เกิดการกระตุ้นให้มีอนินทรีย์ฟอสฟอรัสและรีดิวซ์ไทออลเพิ่มสูงขึ้น แต่ส่งผลเสียต่อปริมาณเนื้อยางแห้งลดต่ำลง อีกทั้งสภาพพื้นที่ปลูกยังมีผลต่อปริมาณน้ำยาง โดย ระวี และอิบรอเฮม (2553) รายงานการปลูกยางพาราให้สภาพพื้นที่นาร้าง ส่งผลต่อองค์ประกอบทางชีวเคมีของน้ำยางซึ่งมีค่าปริมาณอนินทรีย์ฟอสฟอรัสต่ำ ทำให้กระบวนเมตาบอลิซึมของต้นยางพาราต่ำลง

การปลูกพืชแซมและพืชร่วมในสวนยางพารา

การปลูกพืชแซมยางเป็นการเสริมรายได้ในช่วง 3 ปี แรก พืชที่เกษตรกรปลูกควรเป็นพืชล้มลุกและเป็นพืชอายุสั้น โดยต้องพิจารณาถึงตลาด แรงงาน เงินทุน ขนาดพื้นที่ การคมนาคม และสภาพแวดล้อมต่างๆ ชนิดของพืชแซมยาง ได้แก่ สับปะรด ข้าวโพด ข้าวไร่ ถั่วลิสง ถั่วเขียว ถั่วหรั่ง ถั่วเหลือง ข้าวฟ่าง ฝ้าย งา เป็นต้น (สถาบันวิจัยยาง, 2558) ขณะเดียวกัน รัตน์ติยา และคณะ (2556) ได้ศึกษาการปลูกพืชแซมยางในแปลงเกษตรกรจังหวัดบุรีรัมย์ ปลูกยางพันธุ์ RRIT 251 ระยะปลูก 3x7 เมตร พบว่า เมื่อยางอายุ 2 ปี 10 เดือน ในพื้นที่ปลูกถั่วฝักยาวและพื้นที่ปลูกข้าวโพด การเจริญเติบโตเส้นรอบลำต้นยาง มีค่าเฉลี่ยสูงสุด คือ 29.71 และ 29.50 เซนติเมตร อยู่ในระดับเหมาะสม เมื่อเปรียบเทียบกับมาตรฐานต้นยางก่อนเปิดกรีดที่อายุ 3 ปี การปลูกถั่วฝักยาวมีกำไรมากกว่าการปลูกพืชชนิดอื่นๆ กำไรเฉลี่ย 40,069 บาทต่อครั้งปลูก อีกทั้งยังเป็นพืชอายุสั้นจึงปลูกได้หลายครั้ง ซึ่งการเลือกปลูกพืชแซมยางชนิดใดนั้นต้องพิจารณาให้เหมาะสมกับสภาพในแต่ละท้องถิ่น สภาพดินและภูมิอากาศ และควรเป็นพืชที่ตลาดมีความต้องการ

การปลูกพืชร่วมยางเป็นการปลูกพืชภายใต้สวนยางพาราตั้งแต่เริ่มปลูก จนถึงระยะหลังเปิดกรีดยางพารา โดยพืชร่วมต้องสามารถปรับตัวเข้ากับสวนยางพาราและเสริมรายได้ให้กับเกษตรได้ แต่เกษตรกรควรพิจารณาถึงตลาด ผลตอบแทน ความคุ้นเคยกับการปฏิบัติดูแลรักษาพืชร่วมยาง และพืชร่วมยางต้องไม่รบกวนต่อการปฏิบัติงานในสวนยางพารา ชนิดของพืชร่วมยางได้แก่ พืชสกุลระกำ หวายตะค้าทอง สะเดาเทียม กระวาน ไม้ดอกสกุลหน้าวัว ไม้ดอกวงศ์ขิง ไม้ดอกสกุลเฮลิโกเนีย ขิง ข่า ขมิ้น ผักพื้นบ้าน และไม้ป่าบางชนิด (สถาบันวิจัยยาง, 2550) ขณะเดียวกัน ไววิทย์ และคณะ (2555) รายงานการปลูกพืชร่วมในสวนยางพารา พบว่า การปลูกมะฮอกกานีไม่มีผลกระทบต่อการเจริญเติบโตของยางพารา โดยที่ขนาดลำต้นของยางอายุ 5 ปี มีค่าเฉลี่ย 46.4 เซนติเมตร อีกทั้ง ปฏิญญา และคณะ (2553) รายงานการปลูกลองกองร่วมกับยางพาราอายุ 21 ปี พบว่าลองกองไม่มีผลต่อการเจริญเติบโต ความสูง และเส้นรอบวงลำต้นของยางพารา รวมถึงเปอร์เซ็นต์เนื้อยางแห้ง แต่มีผลกระทบในด้านปริมาณผลผลิต โดยมีปริมาณน้ำยาง 1,516 กรัมต่อต้นต่อปี เมื่อเปรียบเทียบกับยางพาราเชิงเดี่ยวที่มีปริมาณ 1,601 กรัมต่อต้นต่อปี

ผลกระทบของการให้ปุ๋ยเคมีและปุ๋ยอินทรีย์ในต้นยางพารา

การให้ปุ๋ยแก่ยางพารานั้นถือเป็นสิ่งสำคัญที่จะช่วยเพิ่มปริมาณผลผลิตได้ เนื่องจากในแต่ละปีจะสูญเสียธาตุอาหารพืชไปจากดินในปริมาณมาก โดยสาเหตุหลัก คือ ติดไปกับน้ำยางที่เก็บเกี่ยว และจากการชะล้าง กัดกร่อนของดิน (ธงชัย และนภาวรรณ, 2554) โดยทาง กรมวิชาการเกษตร (2555) ได้แนะนำการใส่ปุ๋ยสูตร (15-15-15) ให้กับต้นยางพาราในระยะก่อนเปิดกรีด 11.5 - 23.1 กิโลกรัมต่อไร่ต่อปี ส่วนยางพาราระยะหลังเปิดกรีดควรให้ 40.3 กิโลกรัมต่อไร่ต่อปี ซึ่ง

การใส่นั้นควรคำนึงถึงค่าวิเคราะห์ธาตุอาหารในดินเพราะในสภาพดินแต่ละพื้นที่มีธาตุอาหารที่แตกต่างกัน หทัยกานต์ และคณะ (2556) ได้รายงานว่าเกษตรกรส่วนใหญ่ใช้ทั้งปุ๋ยเคมีร่วมกับปุ๋ยอินทรีย์ โดยในระยะก่อนเปิดกรีดใช้ปุ๋ยเคมีสูตร 20-8-20 อัตรา 23.1 กิโลกรัมต่อปี ส่วนระยะหลังเปิดกรีดใช้ปุ๋ยเคมีสูตร 15-7-18 และใช้ปุ๋ยเคมีสูตร 15-15-15 อัตรา 40.3 กิโลกรัมต่อปี ผลปรากฏว่าปริมาณและคุณภาพน้ำยางสูงขึ้น พร้อมทั้งต้นยางพารามีการเจริญเติบโตเส้นรอบวงของลำต้นดี นอกจากนี้ นุชนารถ (2547) ได้รายงานการใส่ปุ๋ยอินทรีย์อัตรา 5 กิโลกรัมต่อต้นปีละ 1 ครั้งร่วมกับปุ๋ยเคมีอัตรา 5.5 กิโลกรัมต่อต้นปีละ 2 ครั้ง ในปีที่ 1 จนถึงช่วงก่อนเปิดกรีด ส่งผลให้ต้นยางพารามีการเจริญเติบโตทางสรีรวิทยาได้ดี พร้อมทั้งสามารถลดการใช้ปุ๋ยเคมีในสวนยางพาราได้ สำหรับการให้ปุ๋ยพืชร่วมในสวนยางพาราปกติแล้ว พืชร่วมจะนิยมปลูกบริเวณร่องตรงกลางแถวยางพารา การให้ปุ๋ยต้องคำนึงถึงทรงพุ่มของพืชร่วม เพราะบริเวณทรงพุ่มมีการกระจายตัวของรากหาอาหาร หากทรงพุ่มของไม้ยืนต้นใหญ่ เช่น สละ ระกำ และกาแฟ เป็นต้น ควรที่จะใส่ปุ๋ยบริเวณกลางแถวของยางพาราและพืชร่วม (กรมส่งเสริมการเกษตร, 2558)

ข้อมูลทั่วไปของกาแฟ

กาแฟเป็นไม้พุ่มมีลำต้นตั้งตรง มีใบออกตรงข้ออยู่ตรงข้ามกันเป็นคู่ๆ กิ่งกาแฟออกจากโคนก้านใบแยกตรงข้ามขนานกับพื้นดิน หรือโน้มลงดิน เมื่อกาแฟเติบโตกิ่งใหม่จะแตกออกจากกิ่งรองนี้อีกเช่นเดียวกับกิ่งที่ออกจากลำต้น หน่อใหม่ของกาแฟจะออกจากโคนต้น อาจแตกเป็นจำนวนมากและขึ้นเบียดต้นเดิม รากแก้วมีลักษณะอ้วนสั้นยาวไม่เกิน 45 เซนติเมตร มีจำนวนรากแขนงที่แตกออกมากจากรากแก้วนี้ได้ 4-8 ราก แผ่กระจายขนานไปกับพื้นดินในระดับใต้ผิวดินที่ไม่ลึกนัก ดอกกาแฟมีสีขาว กลิ่นหอมคล้ายมะลิป่า รูปคล้ายดาว มีก้านสั้น อยู่รวมกันเป็นกลุ่ม โดยออกจากข้อของกิ่ง เริ่มไปจากข้อที่อยู่ใกล้ลำต้นไปหาปลายกิ่ง กาแฟที่มีลักษณะดี ข้อของกิ่งมีลักษณะสั้นเป็นที่เกิดของดอกและผล ดอกกาแฟเป็นดอกสมบูรณ์เพศมีทั้งเกสรตัวผู้และเกสรตัวเมียในดอกเดียวกัน โดยทั่วไปพันธุ์โรบัสต้า (Robusta) (*Coffea canephora*) มีดอกเมื่ออายุ 2 - 3 ปี และดอกผสมข้าม ในขณะที่พันธุ์อาราบิก้า (Arabica) (*Coffea arabica*) ออกดอกเมื่ออายุ 3 - 4 ปี และดอกจะผสมตัวเอง ผลกาแฟมีความยาว 1.5 เซนติเมตร ผลแก่เต็มที่แล้วมีรูปร่างค่อนข้างรี (Oval-elliptic) มีก้านผลที่สั้น ผลดิบจะมีสีเขียว เมื่อสุกอาจมีสีเหลือง ส้มหรือแดงถึงแดงเข้ม เมล็ดกาแฟมีรูปร่างค่อนข้างกลมรียาว 8.5 - 12.5 มิลลิเมตร หนึ่งผลมีเมล็ด 2 เมล็ด ประกบกันอยู่เหมือนไข่ผ่าซีกและด้านในเมล็ดมีร่องตรงกลางเมล็ด (ศูนย์วิจัยและพัฒนากาแฟบนที่สูง, 2537)

สภาพแวดล้อมที่เหมาะสมต่อการเจริญเติบโต โรคระบาด และการให้ผลผลิตของกาแฟที่พบในสภาพร่มเงา

กาแฟโรบัสต้ามีแหล่งปลูกอยู่ในภาคใต้ พื้นที่ปลูกมักอยู่บนที่ลาดชันหรือที่ราบไม่มีน้ำท่วมขัง สูงไม่เกิน 700 เมตรจากระดับน้ำทะเล กาแฟโรบัสต้าไม่ชอบสภาพอากาศร้อนหรือเย็นจัด แต่ชอบสภาพอากาศร้อนชื้นในเขตเส้นศูนย์สูตร อุณหภูมิที่เหมาะสมอยู่ในช่วง 20–30 องศาเซลเซียส แต่อาจสูงได้ถึง 37 องศาเซลเซียส การกระจายของฝนควรมีความสม่ำเสมอในช่วงที่มีผลผลิต แต่ไม่ควรมีฝนในช่วงเก็บเกี่ยว หากปลูกบริเวณภาคเหนือของประเทศควรเป็นที่ไม่มีน้ำค้างแข็ง (Frost) เพราะอาจทำให้ต้นกาแฟตายได้ (กรมวิชาการเกษตร, 2553) ส่วนกาแฟอาราบิก้า เจริญเติบโตได้ดีระหว่างอุณหภูมิ 15 ถึง 26 องศาเซลเซียส ความชื้นอยู่ประมาณ 80 เปอร์เซ็นต์ ปริมาณน้ำฝนเฉลี่ยประมาณ 1,500-2,300 มิลลิเมตรต่อปี และความสูงระดับน้ำทะเลตั้งแต่ 800 จนถึง 1,200 เมตร (สำนักงานพัฒนาการวิจัยการเกษตร, 2558)

กาแฟที่ปลูกภายใต้สภาพร่มเงาของไม้ยืนต้นสูง จะพบเห็นโรคราสนิมเกิดขึ้นบ่อยครั้ง สาเหตุจากสภาพภายใต้ร่มเงามีความชื้นสูง อุณหภูมิในแปลงต่ำ ส่งเสริมต่อการเจริญเติบโตของเชื้อรา *Hemileia vastatrix* B. and Br ลักษณะอาการของโรคอาการเริ่มแรกจะเห็นเป็นจุดสีเขียวเหลืองเล็กๆ ขนาด 3-4 มิลลิเมตร ทั้งด้านบนและใต้ใบ แต่ใต้ใบสีจะเข้มกว่า ต่อมาจุดที่ใต้ใบนี้จะขยายโตขึ้นจนเป็นแผลค่อนข้างกลม และมีกลุ่มสีส้มหรือสีเหลืองส้ม ซึ่งมีลักษณะคล้ายผงแป้งขึ้นคลุมอยู่บนแผลนั้นๆ กลุ่มสีส้มนี้คือ สปอร์ของเชื้อราสาเหตุนั้นเอง เมื่อเชื้อโรคเจริญเติบโตเต็มที่สีของแผลจะเปลี่ยนจากสีส้มเป็นสีเหลือง และใบบางครั้งอาจพบเส้นใยสีขาวของเชื้อราสาเหตุปรากฏบนแผลด้วย ส่วนด้านบนใบแผลที่อยู่ตรงข้ามใต้ใบจะเป็นสีน้ำตาลเข้ม (Soto-Pinto *et al*., 2002) การป้องกันอาจใช้พันธุ์ต้านทาน เช่น พันธุ์คาติเมอร์ (Catimor) พร้อมทั้งภายในไร่กาแฟต้องรักษาความสะอาดและกำจัดวัชพืช รวมทั้งต้องหมั่นตัดแต่งกิ่งกาแฟให้โปร่งอยู่เสมอ เพื่อช่วยลดความชื้นภายในไร่กาแฟลง และลดการระบาดของโรคได้ (ปณวัตร และคณะ, 2557)

การปลูกกาแฟร่วมกับไม้ยืนต้นทำให้ต้นกาแฟโรบัสต้าสามารถอาศัยร่มเงาได้ เช่น การปลูกกาแฟร่วมกับทุเรียนและลองกอง หรือปลูกไม้ให้ร่มเงาอื่นๆ เช่น สะตอ (ปลูกสะตอ 1 ต้น สลับกาแฟ 4 ต้น) แค และกระถิน ก่อนการปลูกกาแฟ 6–12 เดือน (กรมวิชาการเกษตร, 2553) ขณะเดียวกัน ระวี และชนินทร์ (2558) ศึกษาการปรับตัวลักษณะฟีโนไทป์ของต้นกาแฟโรบัสต้าภายใต้สวนไม้ผลผสมผสาน ผลปรากฏว่า การปลูกกาแฟในสภาพร่มเงาไม้ผลทำให้ปริมาณคลอโรฟิลล์ในใบมีปริมาณสูงกว่าในสภาพกลางแจ้ง พร้อมทั้งมีขนาดพื้นที่ใบมากกว่า แสดงให้เห็น ว่าความเข้มแสงภายใต้สภาพแวดล้อมในสวนไม้ผลผสมผสานมีผลต่อการปรับตัวของใบกาแฟโรบัสต้า เช่นเดียวกับ Partelli และคณะ (2014) ได้ศึกษาการปลูกกาแฟโรบัสต้า ร่วมกับสวนยางพารา พบว่า

ทำให้การสังเคราะห์แสงของต้นกาแฟมีประสิทธิภาพสูงขึ้น เนื่องจากสามารถปรับตัวเพิ่มพื้นที่ใบให้เข้ากับสภาพแวดล้อมในสวนยางพารา

ผลผลิตเมื่อเทียบกับกาแฟสายพันธุ์อาราบิก้าแล้ว กาแฟโรบัสต้าจะให้ผลผลิตเมล็ดกาแฟมากกว่าและผลสุกเร็วกว่า แต่ด้านคุณภาพ เมล็ดกาแฟพันธุ์โรบัสต้ามีคุณภาพต่ำกว่าพันธุ์อาราบิก้าจึงมีราคาถูก ส่วนใหญ่ถูกแปรรูปเป็นกาแฟผงสำเร็จรูป รสชาติของกาแฟพันธุ์อาราบิก้าเมื่อผ่านการคั่วและบดเป็นผงแล้วกาแฟจะมีกลิ่นหอมกว่ากาแฟโรบัสต้า แต่ในด้านความเข้ม หรือปริมาณคาเฟอีน กาแฟโรบัสต้ามีความเข้มมากกว่า คือ อยู่ในช่วง 2 ถึง 4.5 เปอร์เซ็นต์ ส่วนระดับคาเฟอีนในกาแฟอาราบิก้าอยู่ในช่วง 1.1 ถึง 1.7 เปอร์เซ็นต์ (ปรัชญา, 2556) ขณะที่ Netsere และ Kufa (2015) ได้ทำการทดลองปลูกขมิ้นและขิงแซมในกาแฟอาราบิก้าในประเทศเอธิโอเปีย ได้ผลสรุปว่าการปลูกขมิ้นและขิงไม่ส่งผลต่อคุณภาพของผลผลิตกาแฟ โดยควรมีความหนาแน่นของต้นกาแฟเท่ากับ 1,600 ต้นต่อเฮกแตร์ ส่วน Marcos และ Rogerio (2015) ได้รายงานว่าการปลูกกาแฟอาราบิก้าร่วมกับมะคาเดเมีย ทำให้มีปริมาณผลผลิตกาแฟอาราบิก้า 3.8 ตันต่อเฮกแตร์ และมะคาเดเมีย 6 ตันต่อเฮกแตร์ ทำให้เกษตรกรมีรายได้เสริม ขณะเดียวกันกาแฟยังสามารถเจริญเติบโตและให้ปริมาณผลผลิตไม่แตกต่างจากการปลูกในสภาพพื้นที่กลางแจ้ง นอกจากนี้ Asten และคณะ (2011) พบว่า การปลูกกาแฟร่วมกับกล้วย ทำให้มีผลผลิตกาแฟ 2.5 ตันต่อเฮกแตร์และกล้วย 20 ตันต่อเฮกแตร์

ผลกระทบของการให้ปุ๋ยเคมีและปุ๋ยอินทรีย์ในต้นกาแฟโรบัสต้า

กรมวิชาการเกษตร (2553) ได้แนะนำการให้ปุ๋ยของกาแฟโรบัสต้า โดยในช่วงอายุ 1-2 ปี ของการปลูกควรใส่ปุ๋ยเคมี 15-15-15 อัตรา 100 กรัมต่อต้นต่อปี ใส่ในช่วงเดือนพฤษภาคม หรือให้ปุ๋ยเคมี 46-0-0 อัตรา 100 กรัมต่อต้นต่อปี แต่จะแบ่งใส่ 2 ครั้ง ในเดือนพฤษภาคมและสิงหาคมในอัตรา 50 กรัมต่อต้นต่อครั้ง เมื่อกาแฟอายุ 3 ปี หรือเริ่มผลผลิตควรใส่ปุ๋ย 13-13-21 อัตรา 500 กรัมต่อต้นต่อปี แต่ควรแบ่งใส่ 2 ครั้ง ส่วนปุ๋ยอินทรีย์ใส่ในอัตรา 5 กิโลกรัมต่อต้นต่อปี โดยที่ Isabeli และคณะ (2011) ได้ทดลองการให้ปุ๋ยไนโตรเจนในแปลงกาแฟ อัตราปุ๋ยที่ให้ 400 กิโลกรัมต่อเฮกแตร์ ทำให้การเจริญเติบโตและผลผลิตเพิ่มขึ้น โดยมีผลผลิตเท่ากับ 4 ตันต่อเฮกแตร์ ขณะเดียวกัน สุรีรัตน์ และปานหทัย (2553) ทดลองการใช้แกลบกาแฟในการทดแทนปุ๋ยในสวนกาแฟ โดยให้ปุ๋ยหมักแกลบกาแฟ 10 กิโลกรัมต่อต้นต่อปี และปุ๋ยเคมี 150 กรัมต่อต้นต่อปี ได้ผลสรุปว่าการเจริญเติบโตด้านเปอร์เซ็นต์การแตกใบมากขึ้นและช่วยเพิ่มปริมาณน้ำหนักผลสดและน้ำหนักผลแห้ง แสดงว่าแกลบกาแฟสามารถใช้ทดแทนปุ๋ยเคมีโพแทสเซียมได้และควรมีการใส่ปุ๋ยไนโตรเจนร่วมด้วย นอกจากนี้ ควรใส่ปุ๋ยกาแฟตามค่าวิเคราะห์ดินและค่ามาตรฐานวิเคราะห์ดินเป็นวิธีที่ดีที่สุด ในการประหยัดต้นทุน นอกจากนี้ บัญชา (2555) ได้ศึกษาปุ๋ยอินทรีย์กับการปรับปรุงดินเสื่อมคุณภาพ

พบว่า ปุ๋ยอินทรีย์ทำให้ดินมีคุณสมบัติ ดีขึ้นทั้งทางกายภาพ ทางเคมีและทางชีวภาพ คือ ทางกายภาพ ปุ๋ยอินทรีย์ส่งเสริมให้อนุภาคของดินจับตัวเป็นก้อนทำให้ดินมีโครงสร้างที่ดีและร่วนมีอากาศถ่ายเทได้สะดวก การระบายน้ำดี สำหรับการให้ปุ๋ยอินทรีย์แก่กาแฟโรบัสต้าจะให้ในช่วงเดือน กุมภาพันธ์ถึงมีนาคม ในช่วงหลังเก็บเกี่ยวและตัดแต่งกิ่งแล้ว โดยปุ๋ยอินทรีย์ที่ใช้เช่น ขี้ไก่แห้งหรือขี้วัวอัตรา 2-5 กิโลกรัมต่อต้นต่อปี (กรมวิชาการเกษตร, 2553) นอกจากนี้ Kiyingi และ Gwali (2012) ได้รายงานว่าการใช้ปุ๋ยอินทรีย์ 5 กิโลกรัมต่อต้นส่งผลต่อการเจริญเติบโตของกาแฟด้านการแตกกิ่ง จำนวนใบ และพัฒนาการของลำต้นเพิ่มขึ้น

ทั้งนี้การให้ปุ๋ยควรพิจารณาจากปัจจัยอื่นๆ ด้วย โดย Rafael และคณะ (2012) ได้รายงานว่าปริมาณน้ำฝนมีผลต่อการชะล้างของปุ๋ยไนโตรเจนในแปลงกาแฟ เมื่อให้ปุ๋ยไนโตรเจนในช่วงฤดูฝนต้นกาแฟจะดูดซับธาตุอาหารจากปุ๋ยน้อยมาก ดังนั้นฤดูฝนไม่เหมาะที่จะให้ปุ๋ย และการใส่ปุ๋ยควรให้ในช่วงก่อนเข้าฤดูฝนหรือหากจำเป็นเมื่อใส่ปุ๋ยเสร็จสิ้นควรที่จะมีการฝังกลบบริเวณรอบๆ ต้นกาแฟ

การศึกษารากด้วยเทคนิคมินิไรโซตรอน (Minirhizotron)

การศึกษาระบบรากทางตรงมีหลายวิธี เช่น Trench profile, Core sampling, Framed monolith, Pinboard และ Minirhizotron (Caldwell and Virginia, 1989) ต่อมา Doussan และคณะ (2006) ได้พัฒนา โดยปลูกพืชในกระบะหรือไรโซตรอน ซึ่งเป็นวิธีที่ประยุกต์ร่วมกันระหว่างเทคนิค Trench profile และเทคนิคมินิไรโซตรอนแบบเก่า ปัจจุบันเทคนิคไรโซตรอนนิยมใช้แผ่นอะคริลิคใส การบันทึกพัฒนาการของระบบรากโดยใช้ปากกาเขียนแผ่นใสแบบถาวร วาดการเจริญของรากแต่ละครั้งบนแผ่นพลาสติกใส ซึ่งทาบตรงบริเวณหน้าตัดของไรโซตรอน เพื่อศึกษาการเจริญเติบโตและพัฒนาการของรากพืช และวิเคราะห์การเจริญเติบโตโดยการนับจุดตัดบนแผ่น Grid line วิธีดังกล่าวเป็นวิธีที่สะดวกสามารถศึกษาได้อย่างต่อเนื่อง ประหยัดแรงงานและได้รับการยอมรับ

สำหรับเทคนิคมินิไรโตรอนเป็นวิธีการที่สามารถศึกษาหรือติดตามการเจริญของรากได้ โดยไม่ทำลายระบบรากเช่นเดียวกัน (Kirkham *et al.*, 1998) ขณะเดียวกัน กษมา และคณะ (2555) ได้รายงานการใช้เทคนิคมินิไรโซตรอนในการวัดรากของต้นกล้ายางพาราในสวนยางพาราสามารถบอกอัตราการเจริญเติบโตของราก และไม่มีผลกระทบต่อราก ต่อมาได้มีการใช้เทคโนโลยีภาพถ่ายรากด้วยชุดกล้องมินิไรโซตรอนสำหรับงานในสภาพพื้นที่แปลง โดยการนำภาพถ่ายรากเข้าโปรแกรมวิเคราะห์หาค่าความยาวราก (Guang *et al.*, 2006) โดยทางคณะทรัพยากรธรรมชาติ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ ร่วมกับสำนักพัฒนาการวิจัยการเกษตร (สวก) ได้คิดค้นชุดเครื่องบันทึกราก (PSU-ARDA Minirhizotron) สำหรับการวัดรากต้นไม้ในสภาพพื้นที่แปลงได้อย่างต่อเนื่องและ

ไม่ทำลายตัวอย่างราก เช่นเดียวกับการวัดรากในสวนยางพารา โดยใช้มินิไรโซตรอนของต่างประเทศ ซึ่งให้ผลการวัดค่าเช่นเดียวกัน เช่น ความยาวราก และความหนาแน่นราก เป็นต้น (Chairungsee *et al*., 2013)

วัตถุประสงค์

1. เพื่อศึกษาการปรับตัวลักษณะสัณฐานวิทยาและสรีรวิทยารวมทั้งการเจริญเติบโตของต้นกาแฟโรบัสต้าภายใต้สภาพแวดล้อมสวนยางพารา

2. เพื่อศึกษาผลการให้ปุ๋ยเคมีและปุ๋ยอินทรีย์ต่อการเจริญเติบโตของต้นกาแฟโรบัสต้าภายใต้สภาพแวดล้อมสวนยางพารา

บทที่ 2

วัสดุ อุปกรณ์ และวิธีการ

1. วัสดุ และอุปกรณ์

1. วัสดุ

1.1 วัสดุพืช

- ต้นกล้าเพาะเมล็ดกาแฟโรบัสต้า พันธุ์พื้นเมือง (ควนโดน) อายุ 1 ปี จำนวน 30 ต้น
- ต้นกล้าเพาะเมล็ดกาแฟโรบัสต้า พันธุ์ชุมพร 2 อายุ 1 ปี จำนวน 20 ต้น
- ต้นยางพาราพันธุ์ RRIM 600 ในสวนยางพาราอายุ 8 และ 16 ปี จำนวน 20 ต้นต่อแปลง

1.2 สารเคมีที่ใช้ในการทดลอง

1.2.1 สารเคมีวิเคราะห์องค์ประกอบชีวเคมีในน้ำยาง

- กรดไนตริก (Nitric acid)
- แอนโทรน (Anthrone)
- กรดซัลฟิวริก (Sunfuric acid)
- น้ำตาลซูโครส (Sucrose)
- ไตรคลอโรอะซิติคแอซิด (Trichloroacetic acid; TCA)
- เอทธิลีนไดเอมีนเตตระอะซิติค แอซิค (Ethylenediaminetetraaceti acid; EDTA)
- ดีทีเอ็นบี (5,5-Dithio bis-2nitro-benzoic acid; DTNB)
- กลูตาไทออน (Glutathion; GSH)
- แอมโมเนียมโมลิบเดต (Ammonium molybdate)
- ทรีส (Tris(Hydroxymethyl)-amunomethan)
- โพแทสเซียมไดฟอสเฟต Potassium di-phosphate

1.2.2 สารเคมีวิเคราะห์ปริมาณคาร์โบไฮเดรตที่ไม่ใช้โครงสร้าง

- กรดเปอร์คลอริก (Perchloric acid) ความเข้มข้น (70% v/v)
- แอนโทรน (Anthrone)
- กรดซัลฟิวริก (Sunfuric acid)
- น้ำตาลกลูโคส (Glucose)

1.2.3 สารเคมีวิเคราะห์คลอโรฟิลล์และแคโรทีนอยด์

- ไดเมทิลฟอร์มาไมด์ (*N,N*-Dimethylformamide)

1.3 วัสดุปลูก

- ดินผสม หน้าดิน:แกลบสด:ปุ๋ยดอก:ดินลำดวน อัตรา 2:2:1:1
- ปุ๋ยเคมีสูตร 15-15-15
- ปุ๋ยคอก

2. เครื่องมือเก็บข้อมูลและโปรแกรมวิเคราะห์

2.1 เครื่องมือทางสรีรวิทยา

- Chlorophyll Meter (SPAD-502, Minolta, Japan)
- ชุดกล้อง Fish Eye (E8400, Nikon, Japan)
- ชุดอุปกรณ์ศึกษาระบบราก (PSU-ARDA, Minirhizotron, Thailand)

เครื่องเจาะดิน (Soil Augor bit Machine)

คอมพิวเตอร์ (Notebook) (Aspire 4750G, Acer, Taiwan)

ท่ออะคริลิคโปร่งแสงทรงกระบอก ความยาว 100 เซนติเมตร

2.2 โปรแกรมวิเคราะห์ทางสรีรวิทยาพืช

- โปรแกรมวิเคราะห์ดัชนีพื้นที่ใบ (Gap Light Analysis; Cary Institute of Ecosystem Studies, USA)
- โปรแกรมบันทึกภาพถ่ายราก (Root Image Analyzer, PSU, Thailand)
- โปรแกรมวิเคราะห์ความยาวราก (Rootfly, Clemson University, UK)

2.3 อุปกรณ์บันทึกสภาพอากาศ

- เครื่องวัดปริมาณความเข้มแสง (Light meter) (Sun system, USA)
- ชุดบันทึกข้อมูลสภาพภูมิอากาศในแปลง (H21-002, HOBO Micro Station Data Logger, Australia)
- เครื่องวัดอุณหภูมิผิวใบ (Infrared gun, UT301A, Hong Kong)

2.4 อุปกรณ์ในการวัดการเจริญเติบโต

- เวอร์เนียร์คาลิปเปอร์
- ตลับเมตร
- สายวัด
- ไม้เมตร ขนาดความยาว 3 เมตร

3. อุปกรณ์

3.1 อุปกรณ์ในห้องปฏิบัติการ

- เครื่องชั่งดิจิตอล 2 และ 4 ตำแหน่ง (ES-1200HA)
- เครื่องวัดค่าเป็นกรด-ด่าง (pH) ในสารละลาย (FEP20 FiveEasy™ PLUS pH, U.P. Marketing General Supply)
- เครื่องคนสารละลาย (Hotplate and Magnetic Stirrer, C-MAG HS 7, U.P. Marketing General Supply)
- ไมโครปิเปต (Original Eppendrof, Germany)
- เครื่องอบตัวอย่างควบคุมอุณหภูมิ (UF 750, Memmert, Germany)
- เครื่องปั่นละเอียด (blender 600 W, PHILIPS, England)
- อ่างควบคุมอุณหภูมิ (Water Bath)
- เครื่องวัดค่าดูดกลืนแสง (Spectrophotometer) (Ultraspec 3000 UV/Visible, Pharmacia Biotech Inc., USA)
- เครื่องเขย่า (Vortex) (V-1 plus Personal Bio, Biosan Ltd, USA)

3.2 เครื่องแก้วและอุปกรณ์อื่น ๆ

- กระบอกตวง
- หลอดทดลอง
- ขวดปรับปริมาตร
- ขวดรูปชมพู่ขนาด 250 มิลลิลิตร
- บิกเกอร์ ขนาด 50 100 500 และ 1000 มิลลิลิตร
- แท่งแก้วสำหรับคนสารละลาย
- กระดาษอบ
- กระดาษกรองเบอร์ 1 ขนาด 90 มิลลิเมตร
- กรวยพลาสติก
- ขวดแก้วสาหรับเก็บสารละลาย
- ถุงซิป

2. วิธีการ

การทดลองที่ 1 การตอบสนองลักษณะสัณฐานและสรีรวิทยาของใบกาแฟโรบัสต้าภายใต้สภาพกลางแจ้งและพรางแสง

เปรียบเทียบกาแฟโรบัสต้าสภาพกลางแจ้ง (Full sun) และพรางแสง (Shade) ใช้ตาข่ายสีดำพรางแสง 50 เปอร์เซ็นต์ แบ่งเป็น 2 ทรีตเมนต์ ทรีตเมนต์ละ 10 ซ้ำ ซ้ำละ 1 ต้น บันทึกข้อมูลในช่วงหน้าร้อนและหน้าฝน คือ เดือนกุมภาพันธ์และกรกฎาคม พ.ศ. 2559

การทดลองที่ 2 การเจริญเติบโตลักษณะสัณฐานวิทยาและสรีรวิทยาของใบกาแฟโรบัสต้าภายใต้สภาพร่มเงาสวนยางพารา

สภาพบริเวณพื้นที่ปลูกกาแฟโรบัสต้าแบ่งออกเป็น 3 สภาพ ได้แก่ 1) สภาพกลางแจ้งเป็นพื้นที่ดอน ได้รับแสงเต็มที่ 2) กาแฟโรบัสต้าในสวนยางพาราอายุ 8 ปี และ 3) กาแฟโรบัสต้าในสวนยางพาราอายุ 16 ปี ซึ่งสวนยางพาราทั้งสองแปลงใช้ยางพันธุ์ RRIM 600 และเป็นสวนยางที่ได้รับการสงเคราะห์ การดูแลรักษาและการให้ปุ๋ย ตามหลักวิชาการ (สถาบันวิจัยยาง, 2556)

ลักษณะของชุดดินเป็นชุดดินช่องแค : มีลักษณะเนื้อดินเป็นดินเหนียวจัด หน้าดินแตกระแหงเป็นร่องเล็กในฤดูร้อน สีดินส่วนมากเป็นสีดำ หรือสีเทาแก่ ตลอดชั้นดินอาจมีจุดประสีน้ำตาลหรือสีเหลืองปะปนอยู่บ้างในดินชั้นบน ส่วนดินชั้นล่างมักจะมีก้อนปูนปะปน เกิดจากต้นกำเนิดดินพวกตะกอนลำน้ำบริเวณเทือกเขาหินปูน หรือหินภูเขาไฟ สภาพพื้นที่พบตามที่ราบลุ่มตั้งแต่ที่ราบน้ำท่วมถึงตะพักลำน้ำระดับต่ำ มีน้ำแช่ขังในฤดูฝนลึก 30 - 40 ซม.นาน 3 - 4 เดือน ดินลึก มีความอุดมสมบูรณ์ตามธรรมชาติปานกลางถึงสูง

การทดลองที่ 3 การให้ปุ๋ยเคมีและปุ๋ยอินทรีย์ต่อการเจริญเติบโตของต้นกาแฟโรบัสต้าที่ปลูกร่วมกับสวนยางพาราระยะก่อนเปิดกรีด

ศึกษาการให้ปุ๋ยแก่ต้นกล้าเพาะเมล็ดกาแฟโรบัสต้าพันธุ์พื้นเมือง (ควนโดน) ภายใต้สวนยางพาราอายุ 8 ปี แบ่งทรีตเมนต์เป็น 3 ทรีตเมนต์ดังนี้ 1) ปุ๋ยเคมี (15-15-15) (100%) 2) ปุ๋ยเคมี (15-15-15) (75%) + ปุ๋ยอินทรีย์ และ 3) ปุ๋ยเคมี (15-15-15) (50%) + ปุ๋ยอินทรีย์ โดยลักษณะชุดดินและการจัดการดูแลต้นยางพาราสอดคล้องกับการทดลองที่ 2

วางแผนการทดลอง

การทดลองที่ 1 การตอบสนองลักษณะสัณฐานและสรีรวิทยาของใบกาแฟโรบัสต้าภายใต้สภาพกลางแจ้งและพรางแสง

เปรียบเทียบกาแฟโรบัสต้าสภาพกลางแจ้ง (Full sunlight) และพรางแสง (Shaded) ใช้ตาข่ายสีดำพรางแสง 70% แบ่งเป็น 2 ทรีตเมนต์ ทรีตเมนต์ละ 10 ซ้ำๆ ละ 1 ต้น บันทึกข้อมูลในช่วงหน้าร้อน และหน้าฝน คือ เดือนกุมภาพันธ์และกรกฎาคม พ.ศ. 2559 และวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติ โดยวิธีแบบ t-test ที่ระดับความเชื่อมั่นทางสถิติ 95% ($P \leq 0.05$) ด้วยโปรแกรมการวิเคราะห์ R stat

ในการศึกษานี้ใช้ต้นกาแฟโรบัสต้า พันธุ์ชุมพร 2 อายุ 8 เดือน จำนวน 20 ต้น ปลูกในกระถางพลาสติกสีดำ ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 12 นิ้ว ด้วยวัสดุปลูกดิน แกลบ และปุ๋ยคอก อัตรา 2:1:1 โดยการพรางแสงจะวางเลี้ยงไว้ในโรงเรือนมีตาข่ายสีดำพรางแสง 70% และกาแฟสภาพกลางแจ้งวางบริเวณที่ได้รับแสง 100% ทำการดูแลรักษาด้วยการรดน้ำวันเว้นวัน เป็นเวลา 1 เดือน เริ่มบันทึกข้อมูล ณ บริเวณแปลงภาควิชาพืชศาสตร์ คณะทรัพยากรธรรมชาติ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ อำเภอหาดใหญ่ จังหวัดสงขลา

การบันทึกข้อมูล

1) ข้อมูลปริมาณความเข้มแสงและอุณหภูมิผิวใบ

เก็บข้อมูลในเดือนกุมภาพันธ์ และกรกฎาคม พ.ศ. 2559 ในช่วงเวลา 10.00 – 13.00 น. ของวัน โดยบันทึกความเข้มแสง บริเวณที่ปลูกต้นกาแฟ 5 จุดต่อทรีตเมนต์ จากเครื่อง (Light meter) ส่วนอุณหภูมิผิวใบบันทึกในใบระยะเพสลาดหรือข้อใบที่ 2 นับจากยอดทั้งหมด 2 ใบต่อต้น จากเครื่อง (Infrared gun) จำนวน 10 ต้นต่อทรีตเมนต์

2) ข้อมูลการเจริญเติบโตของต้นกาแฟโรบัสต้า

วัดความสูงต้นจากโคนต้นถึงยอด ความกว้างทรงพุ่ม เส้นผ่านศูนย์กลางลำต้นที่ระดับความสูงจากโคน 10 เซนติเมตร และจำนวนใบทั้งหมดในต้นกาแฟ แบ่งเป็น 2 ฤดู ฤดูร้อนและฤดูฝน จำนวน 10 ต้นต่อทรีตเมนต์

3) ข้อมูลลักษณะสัณฐานและสรีรวิทยาของใบกาแฟโรบัสต้า

เก็บใบระยะเพสลาดหรือข้อใบที่ 2 นับจากยอดทั้งหมด 4 ใบต่อต้น ทั้ง 2 ทรีตเมนต์ โดยทำการวัดปริมาณคลอโรฟิลล์ และแคโรทีนอยด์ จากเครื่องคลอโรฟิลล์มิเตอร์ (SPAD-502,

Minolta, Japan) และนำเข้าสมการหาปริมาณคลอโรฟิลล์และแคโนทีนอยด์ โดยวิธีการวิเคราะห์อยู่ในส่วนการบันทึกข้อมูลการทดลองที่ 2

วัดความยาวของใบ ความกว้างใบ และพื้นที่ใบ ด้วยเครื่องวัดพื้นที่ใบ (Leaf area meter) รวมถึงน้ำหนักสดใบ และน้ำหนักแห้งใบ ด้วยเครื่องชั่งดิจิตอล 2 ตำแหน่ง (ES-1200HA, Zepper scales LTD, Thailand) โดยน้ำหนักแห้งใบทำการอบใบที่อุณหภูมิ 65 องศาเซลเซียส เป็นระยะเวลา 72 ชั่วโมง หลังจากอบเสร็จสิ้นตัดใบเอาก้านใบออกและปั่นตัวอย่างให้ละเอียด เพื่อนำไปวิเคราะห์ปริมาณคาร์โบไฮเดรตที่ไม่ได้อยู่ในรูปโครงสร้าง และปริมาณไนโตรเจนวิธีการวิเคราะห์เช่นเดียวกับการทดลองที่ 2 โดยแต่ละทรีตเมนต์ทำ 5 ซ้ำ

การทดลองที่ 2 การเจริญเติบโต ลักษณะสัณฐานและสรีรวิทยาของใบกาแฟโรบัสต้าภายใต้สภาพร่มเงาสวนยางพารา

ทดลองปลูกต้นกล้าเพาะเมล็ดกาแฟโรบัสต้าในแปลงเกษตรกรอำเภอควนโดน จังหวัดสตูล ในสภาพกลางแจ้ง (เชิงเดี่ยว) และสภาพสวนยางพารา 2 ช่วงอายุ สุ่มต้นกาแฟโรบัสต้า 20 ต้นต่อทรีตเมนต์ และต้นยางพารา 20 ต้นต่อทรีตเมนต์ ในแปลงอำเภอควนโดน จังหวัดสตูล วางแผนการทดลองแบบสุ่มสมบูรณ์ (Completely Randomized Design; CRD) วิเคราะห์ข้อมูลโดยใช้ ANOVA และเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยโดยวิธี Least Significant Difference (LSD) ด้วยโปรแกรมวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติโปรแกรม R โดยแบ่งทรีตเมนต์ดังนี้

T1 : สภาพกลางแจ้ง (ควบคุม)
T2 : สภาพสวนยางพารายังไม่เปิดกรีด (อายุ 8 ปี)
T3 : สภาพยางพาราระยะหลังเปิดกรีด (อายุ 16 ปี)

เริ่มปลูกต้นกล้ากาแฟโรบัสต้าเพาะเมล็ด พันธุ์พื้นเมือง (ควนโดน) อายุ 1 ปี ในสภาพกลางแจ้งและสภาพสวนยางพาราพันธุ์ RRIM 600 ทั้ง 2 ช่วงอายุ โดยปลูกแถวเดี่ยวระหว่างแถวยางพารา 3.5 เมตร ระยะห่างระหว่างต้นกาแฟ 3 เมตร ซึ่งระยะปลูกของต้นยางพาราเท่ากับ 7x3 เมตร พร้อมกับดูแลต้นกาแฟให้ปุ๋ยเคมี (15-15-15) อัตรา 30 กรัมต่อต้นต่อครั้ง ฉีดสารสกัดสะเดาอัตรา 1 มิลลิลิตรต่อน้ำ 1 ลิตร เพื่อป้องกันโรคและแมลงศัตรูพืชเข้าทำลาย

การบันทึกผล

1) สภาพภูมิอากาศและความสมบูรณ์ของดินในแปลงทดลอง

บันทึกข้อมูลสภาพอากาศตั้งแต่เดือนเมษายน พ.ศ. 2558 จนถึงเดือนพฤษภาคม พ.ศ. 2559 ได้แก่ ความเข้มแสง ด้วยเครื่องวัดแสง (Light meter) (Sun system, USA) 5 จุดต่อแปลง ในช่วงเวลา 10.00 -12.00 น. อุณหภูมิอากาศบริเวณแปลงทดลอง ความชื้นสัมพัทธ์และอุณหภูมิดิน ที่ระดับความลึก 10 เซนติเมตร โดยใช้ ชุดบันทึกข้อมูลสภาพภูมิอากาศในแปลง (H21-002, HOBO Micro Station Data Logger, USA) ติดตั้งบริเวณระหว่างแถวยางพารา ส่วนความชื้นดิน สุ่มเก็บ 3 จุดต่อแปลง ที่ระดับความลึก 0-20 เซนติเมตร นำไปอบที่อุณหภูมิ 95 องศาเซสเซียส ด้วยตู้อบ (Hot air oven) (Memmert, UF 750) เป็นระยะเวลา 72 ชั่วโมง และนำไปคิดหาเปอร์เซ็นต์ความชื้นในดิน ดังสูตร พร้อมทั้งใช้ข้อมูลสภาพอากาศร่วมกับสถานีอากาศสตูล อ.ควนโดน จ.สตูล

$$\text{ความชื้นดิน (\%)} = \frac{\text{มวลของดินเปียก (กรัม) - มวลของดินแห้ง (กรัม)}}{\text{มวลของดินแห้ง (กรัม)}} \times 100$$

เก็บตัวอย่างดินทั้ง 3 ทรีตเมนต์ๆ ละ 3 จุด ที่ระดับความลึก 20 40 และ 60 เซนติเมตร ก่อนการทดลอง นำดินมาตากบริเวณโรงเรือนให้แห้ง ร่อนผ่านตะแกรงขนาด 1 ตารางเซนติเมตร นำไปวิเคราะห์คุณสมบัติของดิน ได้แก่ ไนโตรเจนทั้งหมด ฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์ และโพแทสเซียมที่เป็นประโยชน์ ความจุแลกเปลี่ยนแคตไอออน (CEC) ค่าการนำไฟฟ้าของดิน (EC) อินทรียวัตถุในดิน (OM) pH เป็นต้น รวมถึงวิเคราะห์ธาตุอาหารในปุ๋ยอินทรีย์ ได้แก่ ไนโตรเจนทั้งหมด ฟอสฟอรัส โพแทสเซียมที่เป็นประโยชน์ แคลเซียมและแมกนีเซียมแลกเปลี่ยนได้ ตามคู่มือการวิเคราะห์ดินและพืช (จำเป็น, 2560)

2) การเจริญเติบโตของต้นกาแฟโรบัสต้าและความสมบูรณ์ของต้นกาแฟโรบัสต้า

บันทึกข้อมูลทุกๆ 3 เดือน โดยสุ่มวัดข้อมูลต้นกาแฟทั้ง 3 ทรีตเมนต์ โดยมีการวัดความสูงของต้น ขนาดทรงพุ่มของต้น เส้นผ่านศูนย์กลางลำต้นจากพื้นดินสูงขึ้นมา 10 เซนติเมตร จำนวนข้อของลำต้น จำนวนยอด ส่วนความยาวใบ วัดจากส่วนโคนใบถึงปลายใบนำเข้าสมการหาพื้นที่ใบ (ระวี และชนินทร์, 2558)

$$LA = (0.5175(X^2)-13.859(X)) + 140.08$$

โดยที่ LA = พื้นที่ใบ (ตารางเซนติเมตร)

X = ความยาวใบ (เซนติเมตร)

ส่วนลักษณะสัณฐานและสรีรวิทยาของใบ บันทึกข้อมูลของต้นกาแฟโรบัสต้าหลังสิ้นสุดการทดลอง เพื่อหาสมการความสัมพันธ์ระหว่างพื้นที่ใบต่อน้ำหนักแห้งใบ โดยนำใบที่หาพื้นที่ใบเข้าอบที่อุณหภูมิ 65 องศาเซลเซียส เวลา 72 ชั่วโมง พื้นที่ใบต่อไนโตรเจนทั้งหมดของใบ และพื้นที่ใบต่อปริมาณคลอโรฟิลล์ในใบ

พัฒนาการของราก

การเจริญเติบโตของรากกาแฟโรบัสต้า บันทึกข้อมูลทุกๆ 3 เดือน โดยใช้ชุดอุปกรณ์บันทึกราก (PSU-ARDA Minirhizotron) ติดตั้งท่ออะคริลิคโปร่งแสงความยาว 100 เซนติเมตร บริเวณต้นกาแฟทั้ง 3 ทรีตเมนต์ๆ ละ 5 ต้น ให้ทำมุม 45 องศากับต้น ห่างจากต้น 60 เซนติเมตร เจาะที่ระดับความลึก 80 เซนติเมตร ใช้วัสดุทึบแสงหุ้มปิดท่อที่บริเวณเหนือพื้นดินให้เรียบร้อย บันทึกข้อมูล โดยใช้โปรแกรมบันทึกราก (Root Image Analyzer; RIA) นำภาพถ่ายที่บันทึกได้จากเครื่อง PSU-ARDA Minirhizotron เข้าโปรแกรมวิเคราะห์ความยาวราก (Rootfly, Clemson University) เพื่อวัดความยาวรากของต้นกาแฟโรบัสต้า

การกระจายตัวของราก

บันทึกการแผ่กระจายตัวของรากกาแฟทุกๆ 3 เดือน โดยใช้เทคนิควิธี Root coresampling ที่ทำมาจากท่อ PVC ด้วยการติดตั้งท่อ PVC ยาว 40 เซนติเมตร เส้นผ่านศูนย์กลาง 10 เซนติเมตร และเจาะรู 1 ตารางเซนติเมตร รอบท่อ PVC ฝังท่อที่ระดับความลึก 30 เซนติเมตร จากต้นกาแฟในทรีตเมนต์ที่ 2 และ 3 โดยสุ่มในทรีตเมนต์ ทรีตเมนต์ละ 3 ต้น ฝังท่อแนวดิ่ง (90 องศา) ทั้งซ้ายและขวาของต้นกาแฟ ระยะห่างจากต้นกาแฟ คือ 50 100 และ 150 เซนติเมตร ทั้ง 2 ฝั่ง เก็บตัวอย่างรากจากท่อ PVC และอบในตู้อบอุณหภูมิที่ 65 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 72 ชั่วโมง เพื่อนำไปชั่งน้ำหนักแห้งของรากต่อไป

ปริมาณคลอโรฟิลล์ในใบ

ปริมาณคลอโรฟิลล์เก็บข้อมูลทุกๆ เดือน โดยใช้เครื่อง Chlorophyll Meter (SPAD-502, Minolta, Japan) วัดข้อมูลทั้ง 3 ทรีตเมนต์ ทรีตเมนต์ละ 5 ต้น ต้นละ 2 ใบ ใบละ 5 ตำแหน่ง ข้อมูลที่ได้นำมาคำนวณในสมการโพลิโนเมียล เพื่อหาปริมาณคลอโรฟิลล์ที่แท้จริงในใบ โดยใช้สมการจากการสกัดวิเคราะห์คลอโรฟิลล์ในใบ

วิธีการสกัดและวิเคราะห์คลอโรฟิลล์และแคโรทีนอยด์ในใบ

นำสาร *N,N*-Dimethylformamide ปริมาณ 3 มิลลิลิตรต่อหลอดและตัวอย่างใบกาแฟใช้ที่เจาะรูขนาด 1 ตารางเซนติเมตรจำนวน 30 ใบ เจาะ 5 ตำแหน่งต่อใบ (ตำแหน่งที่เจาะต้องเป็นตำแหน่งที่วัดด้วยเครื่อง Chlorophyll Meter) นำไปใส่หลอดที่มีสารแล้วเก็บในที่ทึบแสงไว้ 24 ชั่วโมง จากนั้นนำมาอ่านค่าดูดกลืนแสงด้วยเครื่อง Spectrophotometer ที่ความยาวคลื่น 647 664 และ 480 นาโนเมตร นำค่าที่ได้เข้าสมการหาปริมาณคลอโรฟิลล์และแคโรทีนอยด์ (Moran, 1982) (Wellburn, 1994)

$$Chl_a = (-2.99(OD\ 647)) + (12.6(OD\ 664)) \times Vol/(Area*10)$$

$$Chl_b = (23.26(OD\ 647)) - (5.6(OD\ 664)) \times Vol/(Area*10)$$

$$Chl_{total} = (20.27(OD\ 647)) + (7.04(OD\ 664)) \times Vol/(Area*10)$$

$$Carotenoid = \frac{(1000(OD\ 480) - 1.12\ (Chl_a) - 34.07\ (Chl_b))}{245} \times Vol/(Area*10)$$

โดยที่ Chl_a = คลอโรฟิลล์เอ

Chl_b = คลอโรฟิลล์บี

Chl_{total} = คลอโรฟิลล์ทั้งหมด

Carotenoid = แคโรทีนอยด์

Vol = ปริมาณ DMF ที่ใช้สกัด (มิลลิลิตร) = 3 มิลลิลิตร

Area = พื้นที่ใบที่ใช้สกัด (ตารางเซนติเมตร) = 1 ตารางเซนติเมตร

OD 647 = ค่าที่อ่านได้จากเครื่อง Spectrophotometer ที่ความยาวคลื่น 647 นาโนเมตร

OD 664 = ค่าที่อ่านได้จากเครื่อง Spectrophotometer ที่ความยาวคลื่น 664 นาโนเมตร

OD 480 = ค่าที่อ่านได้จากเครื่อง Spectrophotometer ที่ความยาวคลื่น 480 นาโนเมตร

นำค่าที่ได้จากสมการแล้วมาสร้างกราฟ โดยให้แกน X เป็นค่าจากเครื่อง Chlorophyll Meter (SPAD-502) ส่วนแกน Y เป็นค่าคลอโรฟิลล์หรือแคโรทีนอยด์ที่ได้จากสมการข้างต้น จากนั้นนำค่าทั้งสองหาค่าสมการเส้นตรงโดยใช้โปรแกรม Microsoft Excel สร้างกราฟพร้อมกับหาค่าสมการโพลิโนเมียล

วิเคราะห์ปริมาณคาร์โบไฮเดรตที่ไม่ได้อยู่ในรูปโครงสร้าง (Total non-structural carbohydrate; TNC) และปริมาณไนโตรเจนทั้งหมด (Total Nitrogen; TN) เก็บตัวอย่างใบของต้นกาแฟโรบัสต้าในช่วงสิ้นสุดการทดลอง ซึ่งตัวอย่างใบกาแฟในแปลงทั้ง 3 ทรีตเมนต์ 4 ใบต่อต้น

ทั้งหมด 10 ต้นต่อทรีตเมนต์ นำมาอบที่อุณหภูมิ 65 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 72 ชั่วโมงจากนั้นบดใบให้ละเอียด นำไปวิเคราะห์เพื่อหาปริมาณคาร์โบไฮเดรตด้วยวิธี Manual Clang Anthrone (Osbone and Voogt, 1978) และปริมาณไนโตรเจนทั้งหมดตามคู่มือการวิเคราะห์ดินและพืช (จำเป็น, 2560)

การสกัดและการวิเคราะห์ปริมาณคาร์โบไฮเดรตที่ไม่ได้อยู่ในรูปโครงสร้าง (Total non-structural carbohydrate; TNC)

การสกัดตัวอย่างและวิเคราะห์ปริมาณ TNC

โดยใช้วิธี Manual Clang Anthrone (Osbone and Voogt, 1978) ดังนี้

ชั่งตัวอย่างพืชที่บดละเอียดแล้ว 0.1 กรัม ใส่ในหลอดทดลองขนาด 15 มิลลิลิตร เติมน้ำกลั่นและกรดเปอร์คลอริก (52% ปริมาตรต่อปริมาตร) อย่างละ 1.00 และ 1.30 มิลลิลิตร (ตามลำดับ) เขย่าสารละลายให้เข้ากัน กรองด้วยกระดาษกรอง เบอร์ 1 (Whatman) และปรับปริมาตรเป็น 50 มิลลิลิตร นำไปดูดสารละลายที่ได้จากการกรองมา 1 มิลลิลิตร ใส่หลอดทดลองขนาด 10 มิลลิลิตร และเติมแอนโทรน 0.1% (น้ำหนักต่อปริมาตร) (ละลายแอนโทรนในสารละลายกรดซัลฟิวริก เข้มข้น 14 โมลาร์) ปริมาตร 5 มิลลิลิตร นำสารละลายไปเขย่าให้เข้ากัน นำไปแช่ในอ่างน้ำร้อนอุณหภูมิประมาณ 80 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 15 นาที ทิ้งไว้ให้เย็นแล้วนำไปวัดค่าดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 630 นาโนเมตร เทียบกับกราฟสารละลายมาตรฐานกลูโคสเข้มข้น 0 - 550 มิลลิกรัมต่อลิตร ซึ่งนำไปทำให้เกิดสีเช่นเดียวกับตัวอย่าง คำนวณปริมาณ TNC โดยการเทียบจากกราฟมาตรฐานกลูโคส

3) การเจริญเติบโตต้นยางพาราและความสมบูรณ์ของต้นยางพารา

วัดข้อมูลเส้นรอบวงของยางพาราสูงจากพื้นดิน 150 ซม. โดยสุ่มในทรีตเมนต์ที่ 2 และทรีตเมนต์ที่ 3 จำนวน 20 ต้น ก่อนเริ่มการทดลองและหลังจากการทดลองทุกๆ 6 เดือน วัดดัชนีพื้นที่ใบใต้ทรงพุ่มของยางพาราทุกๆ เดือน โดยวิธีการถ่ายภาพด้วยชุดกล้องดิจิตอล เลนส์ตาปลา (Fish Eye) (Hemispherical photography technique) นำข้อมูลวิเคราะห์หาค่าดัชนีพื้นที่ใบด้วยโปรแกรม (Gap Light Analysis; GLA) ร่วมกับวิเคราะห์ด้วยสมการดัชนีพื้นที่ใบยางพารา (เจษฎา และคณะ, 2553)

$$LAI = (2.4683(X)-1.1691)$$

โดยที่ LAI = ค่าดัชนีพื้นที่ใบยางพารา

X = ค่าวิเคราะห์จากโปรแกรม (Gap Light Analysis)

ความสมบูรณ์ของต้นยางพารา โดยเก็บตัวอย่างน้ำยางวิเคราะห์หาปริมาณน้ำตาลซูโครส (Sucose; Suc) ปริมาณอนินทรีย์ฟอสฟอรัส (Inorganic Phosphorus; Pi) วิเคราะห์รีดิวซ์ไธออล (Reduced thiol; RSH) และปริมาณของแข็งทั้งหมด หรือปริมาณเนื้อยางแห้ง (Dry rubber content; %DRC) สุ่มเก็บในแปลงในทรีตเมนต์ที่ 2 และ 3 จำนวน 20 ต้น

วิธีการเก็บตัวอย่างน้ำยาง

สุ่มเก็บตัวอย่างน้ำยางในแปลงพื้นที่ยางพาราอายุ 8 และ 16 ปี โดยตรวจสอบความสมบูรณ์ของต้นยางพารา นำไปวิเคราะห์ ปริมาณน้ำตาลซูโครส ปริมาณอนินทรีย์ฟอสฟอรัส ปริมาณไธออล และเปอร์เซ็นต์เนื้อยางแห้งโดยใช้วิธีเก็บแบบ 1 ต้นต่อ 1 ตัวอย่าง ด้วยวิธีของ (Jacob *et al.*, 1989 ดัดแปลงโดย สายัณห์ และธงชัย, 2555)

ก่อนทำการเก็บตัวอย่างชั่งน้ำหนักหลอดเปล่า (T) น้ำหนักหลอดเปล่ารวมกับน้ำหนัก 0.01% EDTA ปริมาตร 5 มิลลิลิตร (T+E) เก็บตัวอย่าง 10 หยดต่อต้น ใส่หลอดที่มี 0.01%EDTA ปริมาตร 5 มิลลิลิตร รวมกับน้ำหนักน้ำยาง 10 หยด (T+E+L) เติม 20% TCA ปริมาตร 0.715 มิลลิลิตร เพื่อให้น้ำยางจับตัวเป็นก้อน เขย่าเบา ๆ จากขั้นตอนนี้สามารถเก็บน้ำยางที่อุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียส ไว้ได้ 48 ชั่วโมง และเก็บที่อุณหภูมิห้องไว้ได้ 8 ชั่วโมง เมื่อมาถึงห้องปฏิบัติการนำน้ำยางไปเขย่ากับเครื่องเขย่า จะได้ตัวอย่าง 2 ส่วน ส่วนของก้อนยางนำไปหาค่า DRC โดยอบที่อุณหภูมิ 70 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 24 ชั่วโมง ส่วนของสารละลายใสนำไปหาปริมาณน้ำตาลซูโครส อนินทรีย์ฟอสฟอรัส และรีดิวซ์ไธออล การวิเคราะห์แต่ละครั้งจะต้องทำ Standard curve ของแต่ละพารามิเตอร์ (Jacob *et al.*, 1989 ดัดแปลงโดย สายัณห์ และธงชัย, 2555)

วิธีการวิเคราะห์หาปริมาณน้ำตาลซูโครส (Sucose content; Suc)

เตรียมหลอดแก้วฝาเกลียวเท่ากับจำนวนตัวอย่าง เติมสารต่างๆ ดังนี้

- สารละลาย TCA ความเข้มข้น 2.5 เปอร์เซ็นต์ 400 ไมโครลิตร
- สารตัวอย่าง (น้ำยาง) 100 ไมโครลิตร
- Anthrone reactive 3 มิลลิลิตร

จากนั้นปิดฝาหลอด นำไปเขย่าด้วยเครื่องเขย่า หลังจากนั้นนำไปอุ่นในอ่างควบคุมอุณหภูมิ 90 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 10 นาที เมื่อครบเวลา นำมาแช่ในกะละมังที่มีน้ำประมาณครึ่งกะละมัง ทิ้งให้สารละลายเย็น แล้วนำไปวัดค่าดูดกลืนแสง ที่ความยาวคลื่น 627 นาโนเมตร คำนวณความเข้มข้นของน้ำตาลซูโครสในหน่วยมิลลิโมลต่อน้ำยาง 1 ลิตร (mM/L) จากสูตร

$$[Suc]mM = OD627 \times K_{suc} \times [(F_w + w1 + w2)/F_w]$$

โดยที่ [Suc]mM = ความเข้มข้นของน้ำตาลซูโครส (มิลลิโมล)

OD_{627} = ค่าที่อ่านได้จากเครื่อง Spectrophotometer ที่ความยาวคลื่น 627

K_{suc} = ค่าสัมประสิทธิ์การดูดกลืนแสงของน้ำตาลซูโครส จาก Standard curve

F_w = น้ำหนักยางสด (กรัม)

w1 = น้ำหนักน้ำกลั่นต่อหลอด (กรัม)

w2 = น้ำหนักของสารละลาย TCA ความเข้มข้น 20% ซึ่งใช้ในการชักนำให้น้ำยางเกิดการตกตะกอน

ทั้งนี้กรณีใช้	Standard CRRC และเก็บน้ำยาง 10 หยดต่อต้น; w1 =	5	กรัม
หรือ	Standard CIRAD และเก็บน้ำยาง 7 หยดต่อต้น; w1 =	3.5	กรัม
	Standard CRRC และเก็บน้ำยาง 10 หยดต่อต้น; w2 =	0.715	กรัม
หรือ	Standard CIRAD และเก็บน้ำยาง 7 หยดต่อต้น; w2 =	0.5	กรัม

วิธีการวิเคราะห์หาปริมาณอนินทรีย์ฟอสฟอรัส (Inorganic Phosphorus; Pi)

เตรียมหลอดแก้วฝาเกลียวเท่ากับจานวนตัวอย่าง เติมสารต่างๆ ดังนี้

- สารละลาย TCA ความเข้มข้น 2.5 เปอร์เซ็นต์	1	มิลลิลิตร
- สารตัวอย่าง (น้ำยาง)	500	ไมโครลิตร
- IN reactive	3	มิลลิลิตร

จากนั้นปิดฝาหลอด นำไปเขย่าด้วยเครื่องเขย่า หลังจากนั้นนำไปวัดค่าการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 410 นาโนเมตร คำนวณความเข้มข้นของอนินทรีย์ฟอสฟอรัสในหน่วยมิลลิโมลต่อน้ำยาง 1 ลิตร (mM/L) จากสูตร

$$[Pi]mM = OD410 \times K_{Pi} \times [(F_w + w1 + w2)/F_w]$$

โดยที่	[Pi]mM	=	ความเข้มข้นของอนินทรีย์ฟอสฟอรัส (มิลลิโมล)
	OD_{410}	=	ค่าที่อ่านได้จากเครื่อง Spectrophotometer ที่ ความยาวคลื่น 410
	K_{Pi}	=	ค่าสัมประสิทธิ์การดูดกลืนแสงของอนินทรีย์ฟอสฟอรัส จาก Standard curve
	F_w	=	น้ำหนักยางสด (กรัม)
	w1	=	น้ำหนักน้ำกลั่นต่อหลอด (กรัม)
	w2	=	น้ำหนักของสารละลาย TCA ความเข้มข้น 20% ซึ่งใช้ในการชักนำ ให้น้ำยางเกิดการตกตะกอน

ทั้งนี้กรณีใช้	Standard CRRC และเก็บน้ำยาง 10 หยดต่อต้น; w1 =	5	กรัม
หรือ	Standard CIRAD และเก็บน้ำยาง 7 หยดต่อต้น; w1 =	3.5	กรัม
	Standard CRRC และเก็บน้ำยาง 10 หยดต่อต้น; w2 =	0.715	กรัม
หรือ	Standard CIRAD และเก็บน้ำยาง 7 หยดต่อต้น; w2 =	0.5	กรัม

วิธีการวิเคราะห์หารีดิวซ์ไธออล (Reduced thiol content; RSH)

เตรียมหลอดแก้วฝาเกลียวเท่ากับจำนวนตัวอย่าง เติมสารต่างๆ ดังนี้

- 0.5 โมล TRIS	1	มิลลิลิตร
- สารตัวอย่าง (สารจากหลอด centrifuged)	1.5	มิลลิลิตร
- 20 มิลลิโมล DTNB reactive	50	ไมโครลิตร

จากนั้นปิดฝาหลอด นำไปเขย่าด้วยเครื่องเขย่า แล้วนำไปวัดค่าการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 412 นาโนเมตร คำนวณความเข้มข้นของรีดิวซ์ไธออลในหน่วยมิลลิลิตรต่อน้ำยาง 1 ลิตร (mM/L) จากสูตร

$$[GSH]mM = OD412 \times K_{GSH} \times [(F_w+W1+W2)/F_w]$$

โดยที่

[GSH]mM = ความเข้มข้นของรีดิวซ์ไธออล (มิลลิโมล)

OD_{412} = ค่าที่อ่านได้จากเครื่อง Spectrophotometer ที่ ความยาวคลื่น 412

K_{GSH} = ค่าสัมประสิทธิ์การดูดกลืนแสงของรีดิวซ์ไธออล จาก Standard curve

F_w = น้ำหนักยางสดในหน่วยกรัม

w1 = น้ำหนักน้ากลั่นต่อหลอดในหน่วยกรัม

w2 = น้ำหนักของสารละลาย TCA ความเข้มข้น 20% ซึ่งใช้ในการชักนำให้น้ำยางเกิดการตกตะกอน

ทั้งนี้กรณีใช้	Standard CRRC และเก็บน้ำยาง 10 หยดต่อต้น; w1 =	5	กรัม
หรือ	Standard CIRAD และเก็บน้ำยาง 7 หยดต่อต้น; w1 =	3.5	กรัม
	Standard CRRC และเก็บน้ำยาง 10 หยดต่อต้น; w2 =	0.715	กรัม
หรือ	Standard CIRAD และเก็บน้ำยาง 7 หยดต่อต้น; w2 =	0.5	กรัม

การหาปริมาณของแข็งทั้งหมด (TSC) หรือปริมาณเนื้อยางแห้ง (%Dry rubber content; %DRC)

ชั่งน้ำหนักหลอดเปล่าทุกหลอด เติม 0.01%EDTA หลอดละ 5 มิลลิลิตร แล้วชั่งน้ำหนักหลอด หลังจากนั้นเก็บน้ำยางจำนวน 10 หยดต่อต้น และชั่งน้ำหนักอีกครั้ง และคำนวณน้ำหนักยางสด (F_w) หยดกรด 20% TCA ปริมาตร 0.715 มิลลิลิตร เขย่าให้น้ำยางจับตัวเป็นก้อน

เมื่อถึงห้องปฏิบัติการให้นำส่วนของเนื้อยางอบที่อุณหภูมิ 70 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 24 ชั่วโมง และนำมาชั่งน้ำหนักแห้งยางแต่ละก้อน (D_w) คำนวณเปอร์เซ็นต์เนื้อยางแห้งจากสูตร

$$\%DRC = (D_w/F_w)\times 100$$

โดยที่ %DRC = เปอร์เซ็นต์เนื้อยางแห้ง

D_w = น้ำหนักยางแห้ง (กรัม)

F_w = น้ำหนักยางสด (กรัม)

การทดลองที่ 3 การให้ปุ๋ยเคมีและปุ๋ยอินทรีย์ต่อการเจริญเติบโตของต้นกาแฟโรบัสต้าที่ปลูกร่วมกับสวนยางพาราระยะก่อนเปิดกรีด

ปลูกต้นกล้าเพาะเมล็ดกาแฟร่วมกับยางพาราในสวนอายุ 8 ปี ในแปลงเกษตรกร อำเภอควนโดน จังหวัดสตูล ศึกษาการให้ปุ๋ยต่อการเจริญเติบโตของต้นกาแฟโรบัสต้า วางแผนการทดลองแบบสุ่มในบล็อกสมบูรณ์ (Randomized Complete Block Design; RCBD) สุ่มต้นกล้ากาแฟโรบัสต้าที่มีขนาดใกล้เคียงกัน แบ่งเป็น 3 บล็อก บล็อกละ 2 ซ้ำย่อย (1 ต้นต่อซ้ำย่อย) ให้ปุ๋ยทุกๆ 3 เดือน (เดือนตุลาคม พ.ศ. 2558 เดือนมกราคม และเดือนเมษายน พ.ศ. 2559) พร้อมกันทุกทรีตเมนต์ โดยแบ่งใส่ตามอัตราแนะนำต่อต้น (กรมวิชาการเกษตร, 2553) ได้แก่ ปุ๋ยเคมีอัตรา 30 กรัมต่อต้น (100%) 22.5 กรัมต่อต้น (75%) และ 15 กรัมต่อต้น (50%) ส่วนปุ๋ยอินทรีย์ (ปุ๋ยคอก) อัตรา 500 กรัมต่อต้น (50%) วิเคราะห์ข้อมูลโดยใช้ ANOVA และเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยโดยวิธี Least Significant Difference (LSD) ด้วยโปรแกรมวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติโปรแกรม R แบ่งทรีตเมนต์ดังนี้

T1: ปุ๋ยเคมี (15-15-15) (100%)

T2: ปุ๋ยเคมี (15-15-15) (75%) + ปุ๋ยอินทรีย์ (ปุ๋ยคอก)

T3: ปุ๋ยเคมี (15-15-15) (50%) + ปุ๋ยอินทรีย์ (ปุ๋ยคอก)

เริ่มปลูกต้นกล้ากาแฟโรบัสต้าเพาะเมล็ด พันธุ์พื้นเมือง (ควนโดน) อายุ 1 ปี ในสภาพสวนยางพาราพันธุ์ RRIM 600 อายุต้นยางพารา 8 ปี โดยปลูกระยะห่างจากแถวยางพารา 3 เมตร ระยะห่างระหว่างต้นกาแฟ 3 เมตร ซึ่งสภาพสวนยางพาราระยะปลูกของต้นยางพาราเท่ากับ 7x3 เมตร ทุกทรีตเมนต์ใส่ปุ๋ยเคมีสูตร 15-15-15 โดยทรีตเมนต์ที่ 1 ใส่อัตรา 30 กรัมต่อต้นต่อครั้ง ทรีตเมนต์ที่ 2 อัตรา 22.5 กรัมต่อต้นต่อครั้ง และทรีตเมนต์ที่ 3 อัตรา 15 กรัมต่อต้นต่อครั้ง ตามลำดับ ส่วนปุ๋ยอินทรีย์ใส่ใน อัตรา 500 กรัมต่อต้นต่อครั้ง ดูแลรักษาต้นกาแฟ โดยฉีดสารสกัดสะเดาอัตรา 1 มิลลิลิตรต่อน้ำ 1 ลิตร ทุกๆ 1 - 2 สัปดาห์ เพื่อป้องกันโรคและแมลงศัตรูพืชเข้าทำลาย

การบันทึกผล

ข้อมูลสภาพภูมิอากาศและความสมบูรณ์ของดินในสวนยางพาราอายุ 8 ปี

บันทึกข้อมูลสภาพอากาศตั้งแต่เดือนเมษายน พ.ศ. 2558 จนถึงเดือนพฤษภาคม พ.ศ. 2559 โดยใช้ข้อมูลสภาพอากาศสถานีอากาศสตูล อ.ควนโดน จ.สตูล ได้แก่ ปริมาณน้ำฝน ค่าการคายระเหยน้ำ อุณหภูมิสูงสุดและต่ำสุด ส่วนการบันทึกข้อมูลสภาพอากาศในสวนยางพารา ได้แก่ ความเข้มแสง ด้วยเครื่องวัดแสง (Light meter) (Sun system, USA) 5 จุดต่อแปลง ในช่วงเวลา 10.00 -12.00 น. วัดอุณหภูมิอากาศบริเวณแปลงทดลอง ความชื้นสัมพัทธ์และอุณหภูมิดิน ที่ระดับความลึก 10 เซนติเมตร โดยใช้ ชุดบันทึกข้อมูลสภาพภูมิอากาศในแปลง (H21-002, HOBO Micro Station Data Logger, USA) ติดตั้งบริเวณระหว่างแถวยางพารา ส่วนความชื้นดิน สุ่มเก็บ 3 จุดต่อแปลง ที่ระดับความลึก 0 - 20 เซนติเมตร นำไปอบที่อุณหภูมิ 95 องศาเซลเซียส ด้วยตู้อบ (Hot air oven) (Memmert, UF 750) เป็นระยะเวลา 72 ชั่วโมง และนำไปคิดหาเปอร์เซ็นต์ความชื้นในดิน ดังสูตร

$$\text{ความชื้นดิน (\%)} = \frac{\text{มวลของดินเปียก (กรัม)} - \text{มวลของดินแห้ง (กรัม)}}{\text{มวลของดินแห้ง (กรัม)}} \times 100$$

เก็บตัวอย่างดินทั้ง 3 จุด ที่ระดับความลึก 20 40 และ 60 เซนติเมตร ก่อนการทดลอง นำดินมาตากบริเวณโรงเรือนให้แห้ง ร่อนผ่านตะแกรงขนาด 1 ตารางเซนติเมตร นำไปวิเคราะห์คุณสมบัติของดิน ได้แก่ ไนโตรเจนทั้งหมด ฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์ และโพแทสเซียมที่เป็นประโยชน์ ความจุแลกเปลี่ยนแคตไอออน (CEC) ค่าการนำไฟฟ้าของดิน (EC) อินทรียวัตถุในดิน (OM) pH เป็นต้น รวมถึงวิเคราะห์ธาตุอาหารในปุ๋ยอินทรีย์ ได้แก่ ไนโตรเจนทั้งหมด ฟอสฟอรัส โพแทสเซียมที่เป็นประโยชน์ แคลเซียมและแมกนีเซียมแลกเปลี่ยนได้ ตามคู่มือการวิเคราะห์ดินและพืช (จำเป็น, 2560)

การเจริญเติบโตของต้นกาแฟและความสมบูรณ์ของต้นกาแฟ

สุ่มวัดข้อมูลการเจริญเติบโตของต้นกาแฟทั้ง 3 ทรีตเมนต์ โดยมีการวัดความสูงของต้น ความกว้างทรงพุ่มของต้น เส้นผ่านศูนย์กลางลำต้นสูงจากพื้นดิน 10 เซนติเมตร จำนวนข้อของลำต้น จำนวนข้อของกิ่ง เปอร์เซ็นต์การแตกใบใหม่ ความยาวใบ เพื่อนำไปคำนวณในสมการหาพื้นที่ใบและปริมาณคลอโรฟิลล์เช่นเดียวกับการทดลองที่ 2

การวิเคราะห์ปริมาณคาร์โบไฮเดรตที่ไม่ได้อยู่ในรูปโครงสร้าง (Total non-structural carbohydrate; TNC) และปริมาณไนโตรเจนทั้งหมด (Total Nitrogen; TN) โดยเก็บตัวอย่างใบกาแฟจากแปลงทั้ง 3 ทรีตเมนต์ เพื่อหาปริมาณคาร์โบไฮเดรตและไนโตรเจนทั้งหมดสำหรับตรวจสอบหาความสมบูรณ์ของต้นกาแฟเช่นเดียวกับการทดลองที่ 2

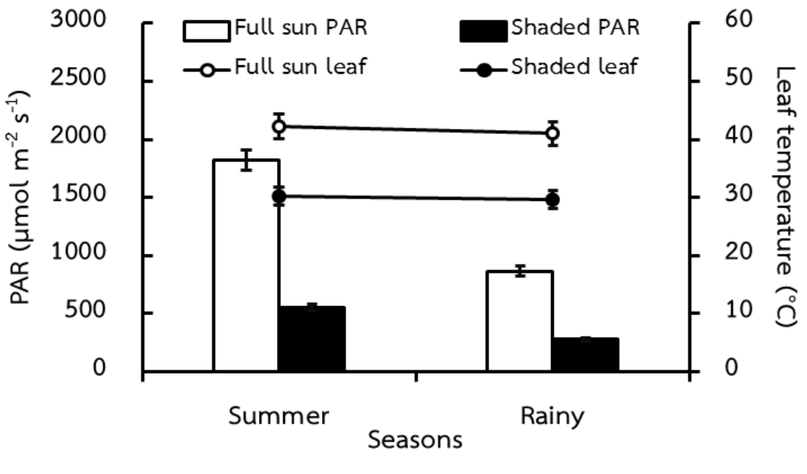
บทที่ 3

ผล

การทดลองที่ 1 การตอบสนองลักษณะสัณฐานและสรีรวิทยาของใบกาแฟโรบัสต้าภายใต้สภาพกลางแจ้งและพรางแสง

1) ปริมาณความเข้มแสงและอุณหภูมิผิวใบ

สภาพแวดล้อมในช่วงฤดูร้อน (เดือนกุมภาพันธ์ พ.ศ. 2559) มีความเข้มแสงบริเวณต้นกาแฟสภาพกลางแจ้ง (1,822 ไมโครโมลต่อตารางเมตรต่อวินาที) มากกว่ากาแฟในสภาพพรางแสง (551 ไมโครโมลต่อตารางเมตรต่อวินาที) เช่นเดียวกับอุณหภูมิผิวใบกาแฟในสภาพกลางแจ้ง (42.30 องศาเซลเซียส) มีค่าสูงกว่ากาแฟในสภาพพรางแสง (30.18 องศาเซลเซียส) ส่วนในฤดูฝน (เดือนกรกฎาคม พ.ศ. 2559) พบว่า ความเข้มแสงมีค่าน้อยกว่าช่วงหน้าร้อน โดยที่กาแฟสภาพกลางแจ้ง (867 ไมโครโมลต่อตารางเมตรต่อวินาที) ยังคงมีค่าความเข้มแสงสูงกว่า ส่วนกาแฟสภาพพรางแสง (280 ไมโครโมลต่อตารางเมตรต่อวินาที) เช่นเดียวกับอุณหภูมิผิวใบสภาพกลางแจ้ง (40.99 องศาเซลเซียส) ซึ่งยังมีค่าสูงกว่าสภาพพรางแสง (29.65 องศาเซลเซียส) (ภาพที่ 1)



ภาพที่ 1 ปริมาณความเข้มแสง (ไมโครโมลต่อตารางเมตรต่อวินาที) และอุณหภูมิผิวใบ (องศาเซลเซียส) จากต้นกาแฟโรบัสต้าภายใต้สภาพกลางแจ้งและสภาพพรางแสงในช่วงระหว่างฤดูร้อนและฤดูฝน

2) การเจริญเติบโตของต้นกล้ากาแฟโรบัสต้า

การเจริญเติบโตของต้นกาแฟโรบัสต้าในฤดูร้อน มีความสูงต้น เส้นผ่านศูนย์กลางลำต้น ความกว้างทรงพุ่ม และจำนวนใบ ไม่มีความแตกต่างทางสถิติระหว่างต้นกาแฟในสภาพพรางแสงและกลางแจ้ง อย่างไรก็ตามในสภาพพรางแสง ความสูงต้น (68.20 เซนติเมตร) เส้นผ่านศูนย์กลางลำต้น (0.80 เซนติเมตร) ความกว้างทรงพุ่ม (33.80 เซนติเมตร) และจำนวนใบ (11.20 ใบ) สูงกว่ากาแฟสภาพกลางแจ้ง ทำนองเดียวกับฤดูฝน พบว่า กาแฟสภาพพรางแสงมีความสูงต้น (83.10 เซนติเมตร) และความกว้างทรงพุ่ม (29.72 เซนติเมตร) มากกว่ากาแฟสภาพกลางแจ้งอย่างมีนัยสำคัญยิ่ง ส่วนเส้นผ่านศูนย์กลางลำต้น (1.02 เซนติเมตร) กับจำนวนใบ (8.40 ใบ) มากกว่าแต่ไม่มีความแตกต่างทางสถิติ (ตารางที่ 1)

ตารางที่ 1 การเจริญเติบโตทางลำต้นของกาแฟโรบัสต้าในสภาพกลางแจ้งและสภาพพรางแสงในช่วงระหว่างฤดูร้อนและฤดูฝน

Treatment	Seasons	Height (cm)	Stem diameter (cm)	Canopy width (cm)	No. of leaves
Full sunlight	Summer	65.60 ± 6.22	0.77 ± 0.14	32.40 ± 2.95	10.40 ± 2.95
Shade		68.20 ± 7.82	0.80 ± 0.12	33.80 ± 4.86	11.20 ± 2.53
C.V. (%)		10.57	16.97	12.75	25.45
t-test		ns	ns	ns	ns
Full sunlight	Rainy	70.90 ± 5.82b	0.90 ± 0.15	18.85 ± 3.45b	7.70 ± 1.77
Shade		83.10 ± 8.03a	1.02 ± 0.17	29.75 ± 5.29a	8.40 ± 3.09
C.V. (%)		9.11	16.77	20.98	31.33
t-test		**	ns	**	ns

ns = ไม่แตกต่างทางสถิติ ** = มีความแตกต่างทางสถิติอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่น 99 ($P \leq 0.01$) จากการเปรียบเทียบโดยวิธี t-test ที่ $P \leq 0.05$

3) สัณฐานและสรีรวิทยาของใบกาแฟโรบัสต้า

เมื่อพิจารณาสัณฐาน และสรีรวิทยาของใบกาแฟโรบัสต้า พบว่า ในฤดูร้อนไม่มีความแตกต่างทางสถิติ ระหว่างสภาพกลางแจ้งและพรางแสง แต่กาแฟสภาพพรางแสงมีพื้นที่ใบ (107.89 ตารางเซนติเมตร) น้ำหนักสด (2.22 กรัม) น้ำหนักแห้งใบ (0.68 กรัม) สูงกว่ากาแฟสภาพกลางแจ้ง รวมไปถึงปริมาณคลอโรฟิลล์ทั้งหมด (28.20 มิลลิกรัมต่อตารางเซนติเมตร) สัดส่วนของคลอโรฟิลล์เอต่อบี (1.79 มิลลิกรัมต่อตารางเซนติเมตร) สัดส่วนคลอโรฟิลล์ทั้งหมดต่อแคโรทีนอยด์ (27.64 มิลลิกรัมต่อตารางเซนติเมตร) และคาร์โบไฮเดรตต่อไนโตรเจน (27.88) ขณะเดียวกัน ในช่วงหน้าฝน พบว่า กาแฟในสภาพพรางแสงมีพื้นที่ใบ (80.86 ตารางเซนติเมตร) น้ำหนักสด (1.61 กรัม) และน้ำหนักแห้ง (0.43 กรัม) มากกว่ากาแฟในสภาพกลางแจ้งเช่นเดียวกัน พร้อมทั้งมีความแตกต่างทางสถิติอย่างมีนัยสำคัญยิ่ง แม้ค่าอื่นๆ ไม่มีความแตกต่างทางสถิติ แต่กาแฟสภาพพรางแสงมีปริมาณคลอโรฟิลล์ทั้งหมด (24.05 มิลลิกรัมต่อตารางเซนติเมตร) แคโรทีนอยด์ (0.94 มิลลิกรัมต่อตารางเซนติเมตร) คาร์โบไฮเดรต (39.36 มิลลิกรัมกลูโคสต่อกรัมน้ำหนักแห้ง) สูงกว่า รวมไปถึงสัดส่วนของคลอโรฟิลล์เอต่อบี (2.00) และคลอโรฟิลล์ทั้งหมดต่อ แคโรทีนอยด์ (24.90) ในขณะที่กาแฟสภาพกลางแจ้งมีสัดส่วนไนโตรเจนต่อพื้นที่ใบ (0.041) คลอโรฟิลล์ต่อพื้นที่ใบ (0.50) และแคโรทีนอยด์ต่อพื้นที่ใบ (0.022) มากกว่าสภาพพรางแสง (ตารางที่ 2)

ตารางที่ 2 ลักษณะสัณฐานและสรีรวิทยาของใบกาแฟโรบัสต้าในสภาพกลางแจ้งและสภาพพรางแสงในช่วงระหว่างฤดูร้อนและฤดูฝน

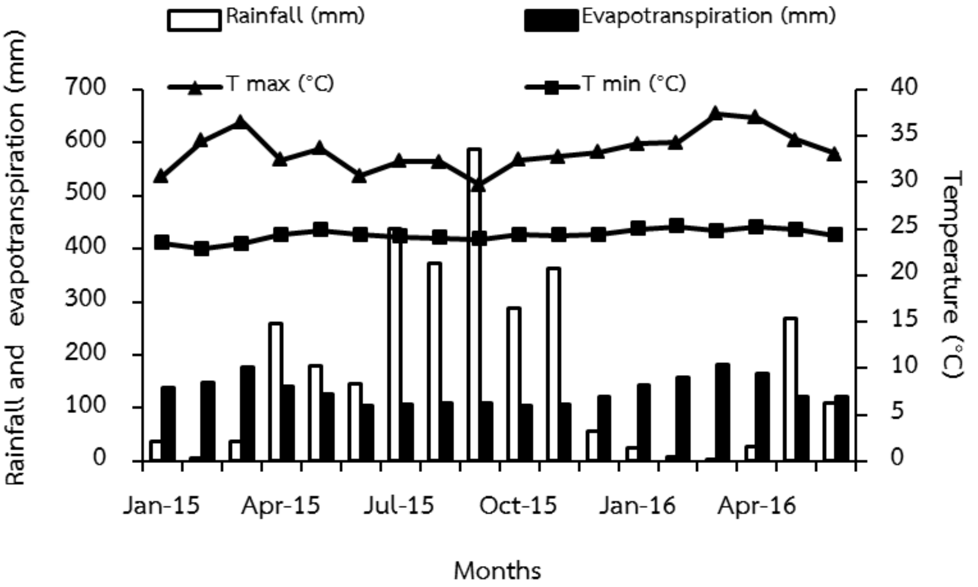
Parameters	Summer				Rainy			
	Full sunlight	Shade	C.V. (%)	t-test	Full sunlight	Shade	C.V. (%)	t-test
LA (cm^2)	98.44±22.64	107.89±34.53	26.69	ns	37.50±6.65	80.86±25.18	30.26	**
FW (g)	1.74±0.50	2.22±0.73	30.68	ns	0.75±0.13	1.61±0.50	30.01	**
DW (g)	0.59±0.16	0.68±0.23	31.24	ns	0.20±0.04	0.43±0.13	29.63	**
Chl_a (mg cm^{-2})	13.95±1.26	18.10±0.67	35.44	ns	11.43±4.24	16.07±4.52	28.46	ns
Chl_b (mg cm^{-2})	7.87±0.65	10.01±0.34	38.64	ns	6.11±1.42	7.96±2.07	24.67	ns
Chl_{total} (mg cm^{-2})	21.88±1.92	28.20±1.01	35.89	ns	17.56±5.63	24.05±6.59	26.92	ns
Carotenoid (mg cm^{-2})	0.89±0.05	0.98±0.02	18.91	ns	0.81±0.10	0.94±0.17	15.46	ns
TNC (mg g^{-1} dry wt.)	39.03±5.27	38.20±2.84	10.86	ns	35.94±2.01	39.36±2.26	5.68	ns
Total N (%)	1.58±0.01	1.37±0.01	0.80	ns	1.54 ± 0.01	1.88 ± 0.02	0.99	**
DW/LA	0.006±0.001	0.007±0.002	25.99	ns	0.005 ± 0.001	0.005 ± 0.001	5.84	ns
N_a	0.09 ± 0.01	0.09 ± 0.02	11.29	ns	0.08 ± 0.01	0.11 ± 0.03	19.81	ns
Chl_{total}/LA	0.23±0.11	0.28±0.16	26.96	ns	0.50±0.13	0.33±0.18	25.47	**
Chl_a/Chl_b	0.009±0.003	0.010±0.004	9.08	ns	1.81±0.37	2.00±0.08	5.4	ns
Chl_{total}/Carotenoid	1.68±0.21	1.79±0.06	19.92	ns	21.22±4.69	24.90±2.78	12.41	ns

ns = ไม่แตกต่างทางสถิติ ** = มีความแตกต่างทางสถิติอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่น 99 (P≤0.01) จากการเปรียบเทียบโดยวิธี t-test ที่ P≤0.05

การทดลองที่ 2 การเจริญเติบโต ลักษณะสัณฐานและสรีรวิทยาของใบกาแฟโรบัสต้าภายใต้สภาพร่มเงาสวนยางพารา

1) ข้อมูลสภาพภูมิอากาศในจังหวัดสตูล

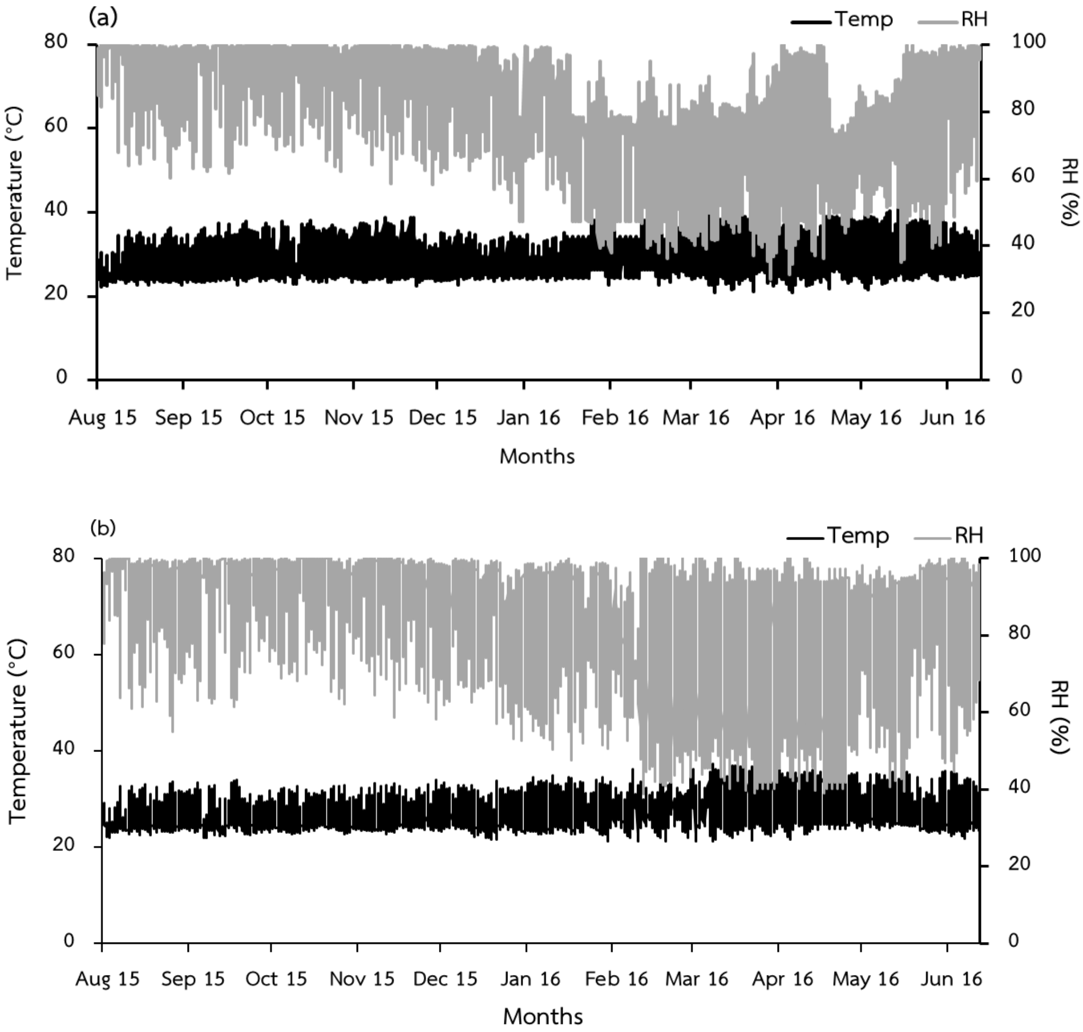
จากข้อมูลศูนย์อุตุนิยมวิทยาในจังหวัดสตูล ตั้งแต่ มกราคม 2558 – มิถุนายน พ.ศ. 2559 พบว่า ปริมาณน้ำฝนในช่วงเดือน มกราคม – มีนาคม พ.ศ. 2558 มีปริมาณน้อยกว่าเดือนอื่นๆ เฉลี่ยเท่ากับ 26 มิลลิเมตร ขณะที่เดือนกันยายนมีปริมาณน้ำฝนมากที่สุด เท่ากับ 587.90 มิลลิเมตร ต่อมาในช่วงต้นปี มกราคม – มีนาคม พ.ศ. 2559 มีปริมาณน้ำฝนน้อยสุดเฉลี่ยเท่ากับ 11.77 มิลลิเมตร และเริ่มมีปริมาณน้ำฝนมากในเดือนพฤษภาคมเท่ากับ 268 มิลลิเมตร สำหรับค่าการคายระเหยน้ำในเดือนมีนาคม พ.ศ. 2558 มีค่ามากที่สุดเท่ากับ 178.33 มิลลิเมตร รวมถึงในปี พ.ศ. 2559 เดือนมีนาคมยังคงมีค่ามากที่สุดเท่ากับ 181.80 มิลลิเมตร ส่วนอุณหภูมิสูงสุดในปี 2558 – 2559 มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 33.45 องศาเซลเซียส ขณะที่อุณหภูมิต่ำสุดเฉลี่ยเท่ากับ 24.34 องสาเซลเซียส (ภาพที่ 2)



ภาพที่ 2 ปริมาณน้ำฝนรวม ปริมาณการคายระเหยน้ำ และอุณหภูมิสูงสุด-ต่ำสุด ในจังหวัดสตูลของช่วงเดือนมกราคม พ.ศ. 2558 – มิถุนายน พ.ศ. 2559

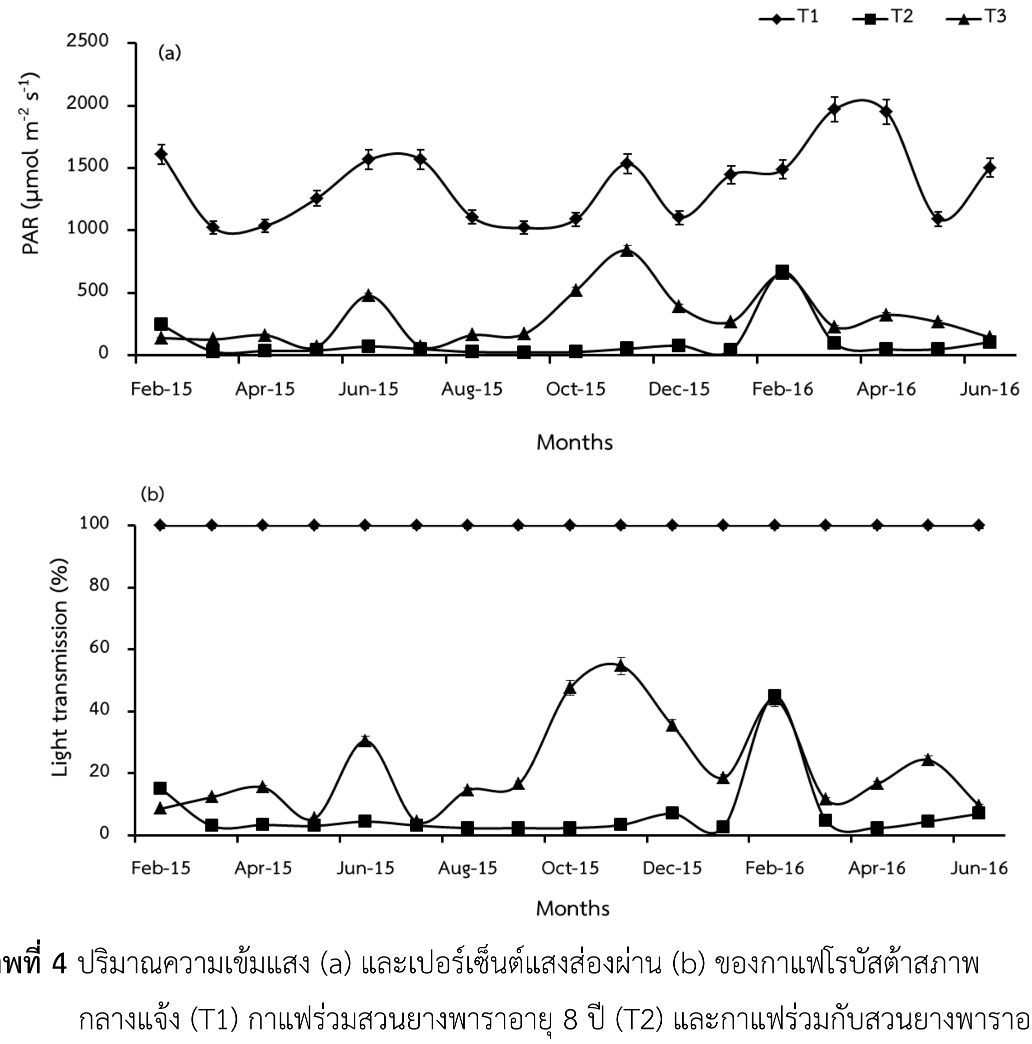
2) สภาพแวดล้อมบริเวณแปลงทดลอง

สภาพภูมิอากาศแปลงทดลองกาแฟร่วมกับยางพารา 8 ปี มีอุณหภูมิในช่วงเดือนกรกฎาคม พ.ศ. 2558 – มิถุนายน พ.ศ. 2559 อยู่ที่ 28.33 องศาเซลเซียส โดยในช่วงเดือนกุมภาพันธ์และเมษายน มีอุณหภูมิเท่ากับ 39 องศาเซลเซียส สำหรับบริเวณแปลงทดลองกาแฟร่วมยางพาราอายุ 16 ปี อุณหภูมิช่วงเดือนกรกฎาคม พ.ศ. 2558 – มิถุนายน พ.ศ. 2559 มีแนวโน้มต่ำกว่าในสวนยางพาราอายุ 8 ปี (26.95 องศาเซลเซียส) ส่วนความชื้นสัมพัทธ์เฉลี่ยในช่วงเดือนกรกฎาคม พ.ศ. 2558 – มิถุนายน พ.ศ. 2559 กาแฟร่วมยางพาราอายุ 16 ปี มากกว่ากาแฟร่วมยางอายุ 8 ปี (86.00% และ 81.85% ตามลำดับ) (ภาพที่ 3)



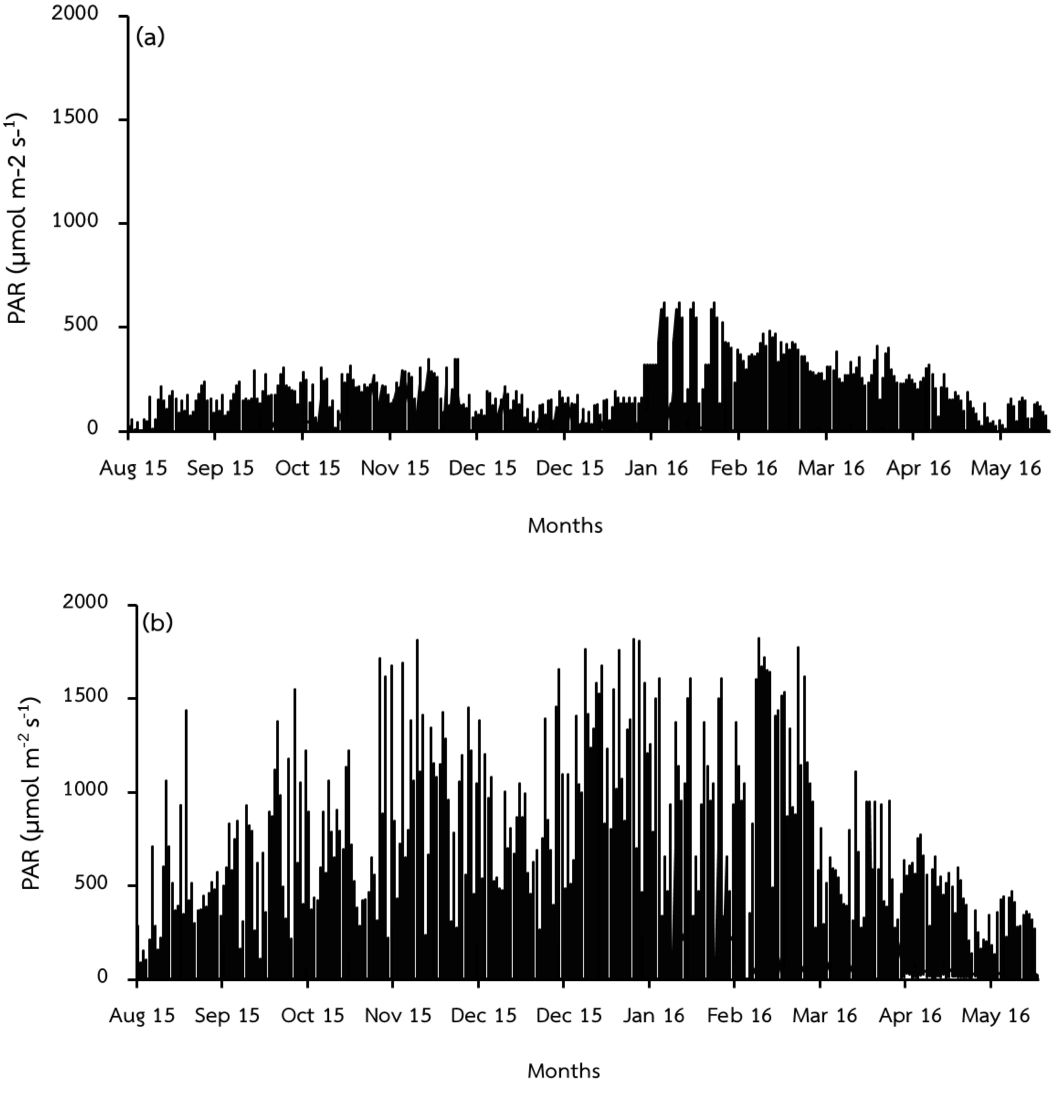
ภาพที่ 3 อุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์ภายใต้สวนยางพาราอายุ 8 ปี (a) และ 16 ปี (b) ในช่วงเดือนสิงหาคม พ.ศ. 2558 – มิถุนายน พ.ศ. 2559

จากการบันทึกความเข้มแสงเฉลี่ยรายเดือนในสภาพพื้นที่แปลงกาแฟโรบัสต้ากลางแจ้ง (T1) กาแฟร่วมยางพาราอายุ 8 (T2) และ 16 ปี (T3) ในช่วงเดือนกุมภาพันธ์ 2558 – มิถุนายน 2559 พบว่า ความเข้มแสงในสภาพพื้นที่กลางแจ้งมีค่าความเข้มแสงอยู่ในช่วง 307.60 - 1972.40 ไมโครโมลต่อตารางเมตรต่อวินาที ส่วนในกาแฟร่วมยางพาราอายุ 8 ปี คือ 24.00 - 669.00 ไมโครโมลต่อตารางเมตรต่อวินาที และกาแฟร่วมยางพาราอายุ 16 ปี อยู่ในช่วง 68.60 - 839.80 ไมโครโมลต่อตารางเมตรต่อวินาที ส่วนเปอร์เซ็นต์แสงส่องผ่านพบว่า ทั้ง 2 ทรีตเมนต์เปรียบเทียบกับกาแฟสภาพกลางแจ้ง มีแนวโน้มแสงส่องผ่านใกล้เคียงกัน (2.35 – 54.72%) โดยในช่วงเดือนสิงหาคม – ธันวาคม พ.ศ. 2559 กาแฟร่วมกับยางพาราอายุ 16 ปี (14.58 – 54.72%) มีเปอร์เซ็นต์แสงส่องผ่านสูงกว่ากาแฟร่วมกับยางพาราอายุ 8 ปี (ภาพที่ 4)



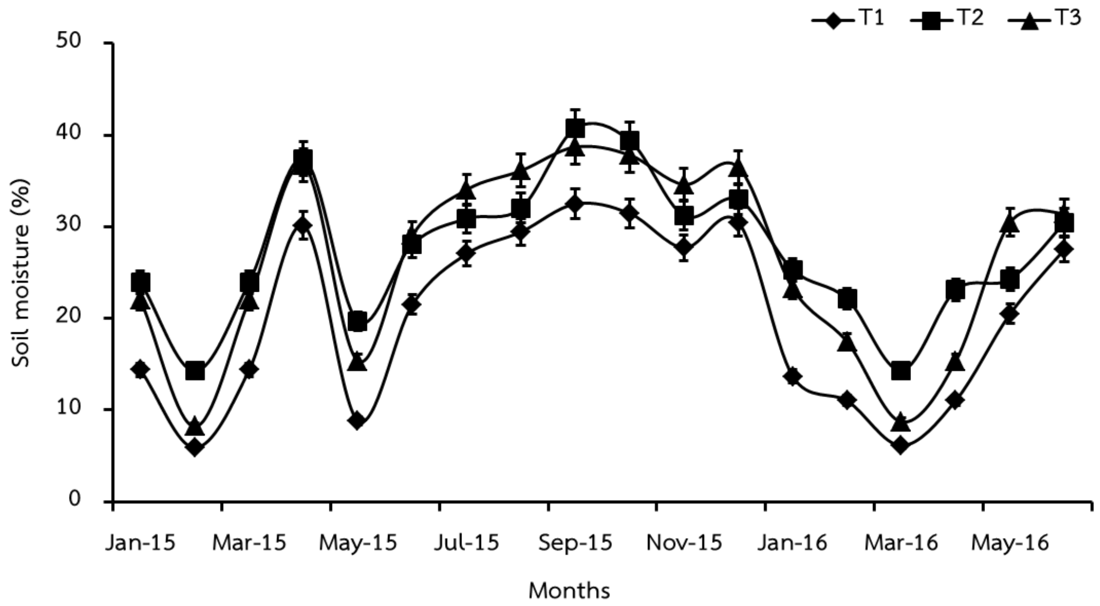
ภาพที่ 4 ปริมาณความเข้มแสง (a) และเปอร์เซ็นต์แสงส่องผ่าน (b) ของกาแฟโรบัสต้าสภาพกลางแจ้ง (T1) กาแฟร่วมสวนยางพาราอายุ 8 ปี (T2) และกาแฟร่วมกับสวนยางพาราอายุ 16 ปี ในช่วงเดือนกุมภาพันธ์ พ.ศ. 2558 – มิถุนายน พ.ศ. 2559

จากการบันทึกค่าความเข้มแสงรายชั่วโมง พบว่า ในกาแฟร่วมกับยางอายุ 8 ปี (T2) มีความเข้มแสง เดือนสิงหาคม – ธันวาคม พ.ศ. 2559 มีความเข้มแสงต่ำ (1.20 – 350.01 ไมโครโมลต่อตารางเมตรต่อวินาที) และต่อมาในเดือนกุมภาพันธ์เริ่มเป็นช่วงทิ้งใบของต้นยางพารา ทำให้ความเข้มแสงสูง (1.20 – 621.46 ไมโครโมลต่อตารางเมตรต่อวินาที) และกาแฟร่วมยางอายุ 16 ปี ในช่วงเดือนสิงหาคม – ธันวาคม พ.ศ. 2559 มีความเข้มแสง 1.20 – 1,813.70 ไมโครโมลต่อตารางเมตรต่อวินาที ส่วนในปีพ.ศ. 2559 ในช่วงเดือน มกราคม – มิถุนายน มีความเข้มแสง 1.20 – 1,821.20 ไมโครโมลต่อตารางเมตรต่อวินาที (ภาพที่ 5)



ภาพที่ 5 ปริมาณความเข้มแสงรายชั่วโมงในสวนยางพาราอายุ 8 (a) และ 16 ปี (b) ช่วงเดือนสิงหาคม พ.ศ. 2558 – มิถุนายน พ.ศ. 2559

การเปลี่ยนแปลงเปอร์เซ็นต์ความชื้นในดิน ที่ระดับความลึก 0 - 20 เซนติเมตร จากผิวดิน พบว่า ทรีตเมนต์กาแฟกลางแจ้ง (T1) มีเปอร์เซ็นต์ความชื้นดินน้อยที่สุด โดยในเดือนธันวาคม พ.ศ. 2558 มกราคม และเมษายน พ.ศ. 2559 มีความชื้นดินเท่ากับ 30.47 13.66 และ 11.04% ตามลำดับ ส่วนทรีตเมนต์กาแฟร่วมยางพารา 8 ปี (T2) มีความชื้นดินมากกว่าทรีตเมนต์อื่นๆ โดยเฉพาะในช่วงเดือนมกราคม – มิถุนายน พ.ศ. 2559 อยู่ในช่วง 14.32 – 30.47% อย่างไรก็ตาม ความชื้นดินในแต่ละทรีตเมนต์มีแนวโน้มเปลี่ยนแปลงไปในทิศทางเดียวกัน (ภาพที่ 6)



ภาพที่ 6 เปอร์เซ็นต์ความชื้นดินที่ระดับความลึก 0 - 20 ซม. ในกาแฟสภาพกลางแจ้ง (T1) กาแฟร่วมกับสวนยางพาราอายุ 8 (T2) และ 16 ปี (T3) ช่วงเดือนมกราคม พ.ศ. 2558 – มิถุนายน พ.ศ. 2559

3) ลักษณะเนื้อดินและความสมบูรณ์ดิน

จากการวิเคราะห์ดินที่ระดับความลึกของดิน 20 40 และ 60 เซนติเมตร สภาพแวดล้อมของสวนกาแฟสภาพกลางแจ้ง (T1) พบว่า มีเนื้อดินเป็น ดินร่วนเหนียวปนทรายแป้ง ความเป็นกรดด่างมีค่าอยู่ในช่วง 4.15 – 4.26 อินทรีย์คาร์บอนและอินทรียวัตถุอยู่ในช่วง 0.74 – 1.10% และ 1.12 – 1.90% ส่วนกาแฟร่วมกับสวนยางพาราอายุ 8 ปี (T2) พบว่า ลักษณะเนื้อดินส่วนใหญ่ทุกระดับความลึกเป็นดินร่วนเหนียว ความเป็นกรดด่างอยู่ในช่วง 4.73 – 5.24 อินทรีย์คาร์บอนและอินทรียวัตถุอยู่ในช่วง 0.36 – 1.06% และ 0.62 – 1.83% และกาแฟร่วมกับสวนยางพาราอายุ 16 ปี (T3) พบว่า ทั้ง 3 ระดับความลึกของดินเป็นดินเหนียวทั้งหมด โดยมีกรดด่างอยู่ในช่วง 3.82 – 4.04 อินทรีย์คาร์บอนและอินทรียวัตถุอยู่ในช่วง 0.88 – 1.56% และ 1.52 – 2.69% เมื่อพิจารณาคุณสมบัติดินในสวนยางพาราอายุ 16 ปี มีแนวโน้มสูงกว่าทรีตเมนต์อื่นๆ (ตารางที่ 3)

ตารางที่ 3 ลักษณะดินในกาแฟโรบัสต้าสภาพกลางแจ้ง (T1) กาแฟร่วมกับสวนยางพาราอายุ 8 (T2) และ 16 ปี (T3) ที่ระดับความลึก 20 40 และ 60 ซม.

Treatment	Soil depth (cm)	Soil texture	pH	Organic carbon (%)	Organic matte (%)
T1	20	clay loam	4.26±0.19	1.10±0.25	1.90±0.42
	40	sandy clay loam	4.15±0.15	0.81±0.13	1.40±0.23
	60	clay loam	4.20±0.10	0.74±0.05	1.12±0.15
T2	20	sandy clay loam	4.73±0.20	1.06±0.50	1.83±0.85
	40	clay loam	4.87±0.18	0.47±0.18	0.81±0.31
	60	clay loam	5.24±0.24	0.36±0.06	0.62±0.10
T3	20	clay	4.04±0.11	1.56±0.10	2.69±0.17
	40	clay	3.82±0.11	1.05±0.12	1.80±0.21
	60	clay	3.89±0.38	0.88±0.11	1.52±0.20

Soil texture = เนื้อดิน pH = ความเป็นกรด-ด่าง

Organic carbon = อินทรีย์คาร์บอน Organic matte = อินทรีย์วัตถุ

จากการวิเคราะห์ธาตุอาหารในดินที่ระดับความลึก 20 40 และ 60 เซนติเมตร สภาพแวดล้อมของสวนกาแฟ (T1) พบว่า มีค่าธาตุอาหารในดินใกล้เคียงกันทุกระดับความลึกได้แก่ ปริมาณไนโตรเจน (0.06 – 0.09%) ฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์ (1.02 – 1.60 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม) โพแทสเซียมที่เป็นประโยชน์ (30.22 – 65.40 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม) แคลเซียมที่แลกเปลี่ยนได้ (0.52 – 0.95 cmolcต่อกิโลกรัม) และแมกนีเซียมที่แลกเปลี่ยนได้ (0.14 - 0.36 cmolcต่อกิโลกรัม) เช่นเดียวกับในกาแฟร่วมกับสวนยางพาราอายุ 8 ปี (T2) ซึ่งทุกระดับความลึกมีธาตุอาหารในดินใกล้เคียงกันได้แก่ ปริมาณไนโตรเจนอยู่ในช่วง (0.03 – 0.09%) ฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์ (0.12 – 0.83 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม) โพแทสเซียมที่เป็นประโยชน์ (15.23 – 60.22 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม) แคลเซียมที่แลกเปลี่ยนได้ (0.43 – 0.79 cmolcต่อกิโลกรัม) และแมกนีเซียมที่แลกเปลี่ยนได้ (0.12 - 0.18 cmolcต่อกิโลกรัม) ขณะเดียวกันกาแฟร่วมกับสวนยางพาราอายุ 16 ปี (T3) พบว่า มีปริมาณไนโตรเจน (0.08 – 0.13%) ฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์ (1.52 – 11.87 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม) โพแทสเซียมที่เป็นประโยชน์ (51.50 – 100.87 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม) แคลเซียมที่แลกเปลี่ยนได้ (0.11 – 0.21 เซนติโมลต่อกิโลกรัม) และแมกนีเซียมที่แลกเปลี่ยนได้ (0.05 - 0.12 เซนติโมลต่อกิโลกรัม) ใกล้เคียงกันทุกระดับความลึกของดิน โดยเมื่อพิจารณาจากธาตุอาหารในดินระหว่างสวนยางพารา พบว่า อายุ 16 ปี มีแนวโน้มสูงกว่าสวนยางพาราอายุอื่นๆ (ตารางที่ 4)

ตารางที่ 4 ธาตุอาหารในดินของกาแฟโรบัสต้าสภาพกลางแจ้ง (T1) กาแฟร่วมกับสวนยางพาราอายุ 8 (T2) และ 16 ปี (T3) ที่ระดับความลึก 20 40 และ 60 ซม.

Treatment	Soil depth (cm)	Total N (%)	Avai. P (mg kg^{-1})	Avai. K (mg kg-^{1})	Exch. Ca ($cmol_c$ kg^{-1})	Exch. Mg ($cmol_c$ kg^{-1})
T1	20	0.09±0.02	1.60±0.24	65.40±9.66	0.95±0.28	0.36±0.05
	40	0.07±0.01	1.14±0.16	50.63±10.33	0.62±0.24	0.21±0.01
	60	0.06±0.01	1.02±0.11	30.22±5.12	0.52±0.13	0.14±0.03
T2	20	0.09±0.04	0.83±0.50	60.22±11.10	0.60±0.30	0.31±0.19
	40	0.04±0.02	0.26±0.19	24.76±8.18	0.43±0.25	0.15±0.05
	60	0.03±0.01	0.12±0.04	15.23±1.53	0.79±0.38	0.18±0.08
T3	20	0.13±0.01	11.87±9.84	100.87±56.10	0.21±0.11	0.12±0.06
	40	0.09±0.01	2.13±0.91	75.70±54.85	0.12±0.05	0.06±0.01
	60	0.08±0.01	1.52±0.20	51.50±43.12	0.11±0.05	0.05±0.02

Total N = ปริมาณไนโตรเจน Avai. P = ปริมาณฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์ Avai. K = ปริมาณโพแทสเซียมที่เป็นประโยชน์

Exch. Ca = ปริมาณแคลเซียมที่แลกเปลี่ยนได้ Exch. Mg = ปริมาณแมกนีเซียมที่แลกเปลี่ยนได้

4) การเจริญเติบโตทางลำต้นของต้นกล้ากาแฟโรบัสต้า

จากการปลูกกาแฟในสภาพต่างๆ ในเดือนมีนาคม พ.ศ. 2558 พบว่า ความสูงต้นไม่มีความแตกต่างทางสถิติ ซึ่งในกาแฟสภาพกลางแจ้ง (T1) มีแนวโน้มความสูงต้นมากกว่าทรีตเมนต์อื่นๆ (69.33 เซนติเมตร) รวมถึงความกว้างทรงพุ่ม (40.15 เซนติเมตร) และเส้นผ่านศูนย์กลางลำต้น (0.87 เซนติเมตร) ซึ่งมีความแตกต่างทางสถิติกับทรีตเมนต์อื่นๆ ขณะที่กาแฟร่วมสวนยางพาราอายุ 8 ปี มีจำนวนใบมากที่สุด (10.25 ใบ) เช่นเดียวกับในเดือน กรกฎาคม พ.ศ. 2558 ต้นกาแฟสภาพกลางแจ้ง มีความสูงต้น (82.22 เซนติเมตร) ความกว้างทรงพุ่ม (67.33 เซนติเมตร) เส้นผ่านศูนย์กลางลำต้น (1.12 เซนติเมตร) และจำนวนใบ (46.40 ใบ) มากกว่าทรีตเมนต์อื่นๆ และมีความแตกต่างทางสถิติอย่างมีนัยสำคัญยิ่ง ต่อมาเดือนตุลาคม พ.ศ. 2558 กาแฟสภาพกลางแจ้งยังคงมีความสูงต้น (101.80 เซนติเมตร) ความกว้างทรงพุ่ม (92.20 เซนติเมตร) เส้นผ่านศูนย์กลางลำต้น (1.62) และจำนวนใบ (100.80 ใบ) มากกว่าทรีตเมนต์อื่นๆ และมีความแตกต่างทางสถิติอย่างนัยสำคัญยิ่ง รวมไปถึงเดือนมกราคม พ.ศ. 2559 ต้นกาแฟสภาพกลางแจ้งยังคงมีค่าสูงที่สุดเช่นเดียวกันกับเดือนตุลาคม แต่ขณะที่ในเดือนเมษายน พ.ศ. 2559 พบว่า ความสูงต้นในกาแฟสภาพกลางแจ้ง (105.12 เซนติเมตร) และกาแฟร่วมสวนยางพาราอายุ 8 ปี (105.75 เซนติเมตร) มีค่าใกล้เคียงกัน ส่วนความกว้างทรงพุ่ม (50.30 เซนติเมตร) และเส้นผ่านศูนย์กลางลำต้น (1.79 เซนติเมตร) ในกาแฟสภาพกลางแจ้งมีค่ามากที่สุด อย่างไรก็ตามจำนวนใบกลับไม่มีความแตกต่างทางสถิติ โดยที่กาแฟสภาพกลางแจ้งมีค่ามากกว่าทรีตเมนต์อื่นๆ คือ 8.40 ใบ (ตารางที่ 5)

ตารางที่ 5 การเจริญเติบโตทางลำต้นของกาแฟโรบัสต้าในสภาพกลางแจ้ง (T1) กาแฟร่วมกับสวนยางพาราอายุ 8 (T2) และ 16 ปี (T3) ในเดือนมีนาคม กรกฎาคม ตุลาคม พ.ศ. 2558 มกราคม และเมษายน พ.ศ. 2559

Treatments	Date	Height (cm)	Canopy width (cm)	Stem diameter (cm)	No. of leaves
T1	Mar-15	69.33±11.89	40.15±10.03a	0.87±0.05a	6.50±1.26ab
T2		63.66±11.22	28.45±9.21b	0.73±0.09ab	10.25±0.85a
T3		60.57±11.52	23.75±4.11c	0.45±0.27b	3.40±1.47b
C.V. (%)		14.99	6.85	26.03	38.17
F-test		ns	**	**	*
T1	Jul-15	82.22±5.51a	67.33±12.29a	1.12±0.22a	46.40±12.44a
T2		79.63±4.56a	34.72±8.66b	0.71±0.16b	9.60±3.21b
T3		60.20±4.02b	28.86±7.61b	0.68±0.24b	7.00±1.87b
C.V. (%)		14.07	22.1	25.3	35.7
F-test		*	**	**	**
T1	Oct-15	101.80±15.10a	92.20±8.02a	1.62±0.24a	100.80±27.62a
T2		87.40±19.83ab	43.20±9.31b	1.09±0.24b	15.00±5.29b
T3		64.00±11.14b	26.40±6.77c	0.86±0.23b	9.60±3.85b
C.V. (%)		18.67	15.02	19.95	39.2
F-test		**	**	**	**
T1	Jun-16	104.00±5.09a	93.44±7.74a	1.65±0.44a	76.50±2.75a
T2		102.35±15.47a	44.57±5.82b	1.13±0.27ab	13.90±2.73b
T3		66.20±14.90b	28.98±11.97b	0.87±0.06b	9.22±3.09b
C.V. (%)		10.53	16.9	23.99	12.59
F-test		**	**	**	**
T1	Apr-16	105.12±8.77a	50.30±6.15a	1.79±0.43a	8.40±13.45
T2		105.75±8.99a	26.00±4.24b	1.15±0.05b	4.75±3.09
T3		67.14±7.07b	11.33±1.89c	0.89±0.12b	3.33±1.15
C.V. (%)		8.72	20.3	20.33	13.54
F-test		**	**	**	ns

ns = ไม่แตกต่างทางสถิติ * = มีความแตกต่างทางสถิติอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่น 95 ($P \leq 0.05$) ** = มีความแตกต่างทางสถิติอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่น 99 ($P \leq 0.01$) ค่าเฉลี่ยที่กำกับด้วยตัวอักษรต่างกันในแต่ละสดมภ์มีความแตกต่างทางสถิติอย่างมีนัยสำคัญ ด้วยเปรียบเทียบ LSD ที่ $P \leq 0.05$

5) ลักษณะสัณฐานและสรีรวิทยาของใบกาแฟโรบัสต้า

ลักษณะใบกาแฟโรบัสต้า ในช่วงปี พ.ศ. 2558 (2015) พบว่า กาแฟร่วมยางพาราอายุ 8 ปี (T2) มีพื้นที่ใบ (88.03 ตารางเซนติเมตร) และปริมาณไนโตรเจน (3.04%) สูงกว่าทรีตเมนต์อื่นๆ แต่ในกาแฟสภาพกลางแจ้งมีคลอโรฟิลล์ เอ (24.37 มิลลิกรัมต่อตารางเซนติเมตร) คลอโรฟิลล์ บี (13.49 มิลลิกรัมต่อตารางเซนติเมตร) คลอโรฟิลล์ทั้งหมด (36.51 มิลลิกรัมต่อตารางเซนติเมตร) แคโรทีนอยด์ (1.61 มิลลิกรัมกรัมต่อตารางเซนติเมตร) คาร์โบไฮเดรตที่ไม่ได้อยู่ในรูปโครงสร้าง (42.64 มิลลิกรัมต่อกรัมน้ำหนักแห้ง) และคลอโรฟิลล์ทั้งหมดต่อพื้นที่ใบ (0.23) สูงกว่าทรีตเมนต์อื่นๆ ยกเว้นสัดส่วนปริมาณคาร์โบไฮเดรตต่อไนโตเจนในกลางแจ้งสภาพกลางแจ้งที่มีค่าใกล้เคียงกันกับกาแฟร่วมกับยางพาราอายุ 16 ปี (15.99 และ 16.93 ตามลำดับ) ขณะที่สัดส่วนน้ำหนักแห้งต่อพื้นที่ใบและไนโตรเจนต่อพื้นที่ใบไม่มีความแตกต่างทางสถิติ (ตารางที่ 6)

ส่วนในปี พ.ศ. 2559 (2016) กาแฟร่วมกับยางพาราอายุ 8 ปี มีพื้นที่ใบ (134.40 ตารางเซนติเมตร) น้ำหนักสดใบ (3.00 กรัม) น้ำหนักแห้งใบ (0.60 กรัม) คลอโรฟิลล์ เอ (14.37 มิลลิกรัมต่อตารางเซนติเมตร) คลอโรฟิลล์ บี (5.66 มิลลิกรัมต่อตารางเซนติเมตร) คลอโรฟิลล์ทั้งหมด (20.37 มิลลิกรัมต่อตารางเซนติเมตร) แคโรทีนอยด์ (3.07 มิลลิกรัมต่อตารางเซนติเมตร) และสัดส่วนคลอโรฟิลล์เอต่อคลอโรฟิลล์บี (2.53) มากกว่าทรีตเมนต์อื่นๆ อย่างมีนัยสำคัญยิ่ง แต่ในส่วนของปริมาณไนโตรเจนในกาแฟสภาพกลางแจ้ง (4.30%) และสัดส่วนไนโตรเจนต่อพื้นที่ใบ (0.21) มีค่ามากกว่าทรีตเมนต์อื่นๆ (ตารางที่ 6)

ตารางที่ 6 ลักษณะสัณฐานและสรีรวิทยาของใบกาแฟโรบัสต้าในสภาพกลางแจ้ง (T1) กาแฟร่วมกับสวนยางพาราอายุ 8 (T2) และ 16 ปี (T3) ในปี พ.ศ. 2558 และ 2559

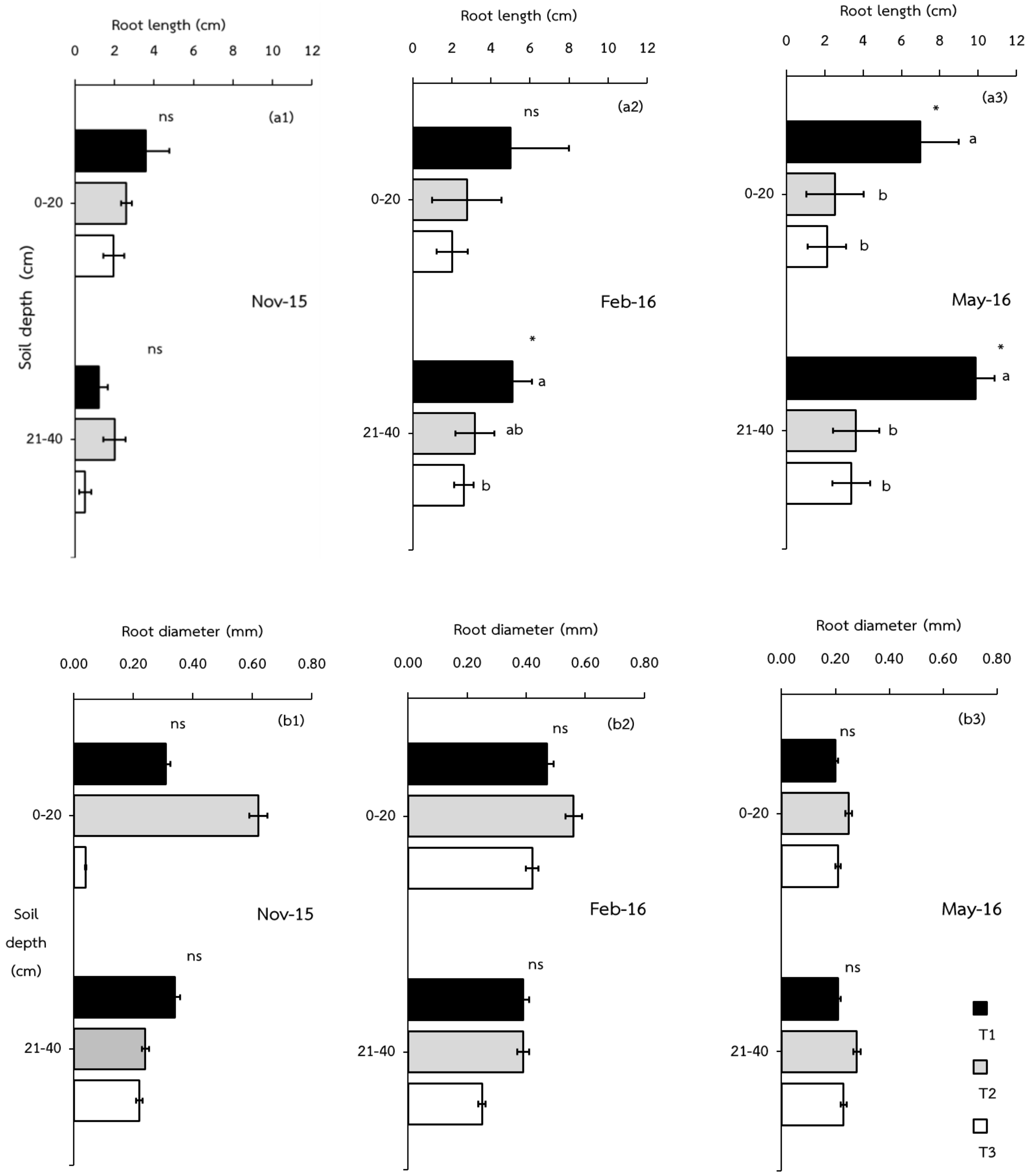
Parameters	2015					2016				
	T1	T2	T3	C.V. (%)	F-test	T1	T2	T3	C.V. (%)	F-test
LA (cm^2)	60.42±7.60b	88.03±13.46a	49.90±1.00b	30.25	*	70.88±27.06b	134.40±40.63a	74.37±48.15b	25.90	**
FW (g)	1.70±0.45	1.75±0.27	1.00±0.17	26.07	ns	1.65±0.07b	3.00±0.24a	1.18±0.30b	26.38	**
DW (g)	0.46±0.12	0.48±0.07	0.27±0.01	25.47	ns	0.42±0.01ab	0.60±0.05a	0.29±0.10b	33.97	*
Chl_a (mg cm^{-2})	24.37±0.47a	19.70±0.32b	14.45±0.19c	3.99	**	12.71±4.42ab	14.37±2.58a	7.94±1.09b	24.02	**
Chl_b (mg cm^{-2})	13.49±0.37a	10.22±0.28b	6.78±1.84c	5.54	**	5.06±1.74ab	5.66±0.95a	3.73±0.21b	21.11	*
Chl_{total} (mg cm^{-2})	36.51±1.08a	29.30±0.81b	21.29±5.42c	4.14	**	18.04±1.90a	20.37±2.32a	11.77±0.45b	23.45	*
Carotenoid (mg cm^{-2})	1.61±0.08a	1.30±0.05b	0.97±0.20c	3.94	**	2.70±0.29a	3.07±0.37a	1.79±0.05c	24.44	*
TNC (mg g^{-1} dry wt.)	42.64±1.43a	32.86±1.84b	35.47±4.02b	7.26	*	28.03±3.41	12.35±0.85	20.99±5.69	18.86	ns
Total N (%)	2.68±0.02b	3.04±0.02a	2.10±0.02c	0.71	**	4.30±0.03a	3.60±0.08b	1.64±0.01c	1.54	**
DW/LA	0.007±0.003	0.005±0.003	0.005±0.001	30.88	ns	0.006±0.001	0.005±0.001	0.003±0.001	33.54	ns
N_a	0.21±0.10	0.21±0.15	0.12±0.01	27.77	ns	0.21±0.07a	0.14±0.08ab	0.08±0.03b	19.69	*
Chl_{total}/LA	0.23±0.03a	0.16±0.02b	0.14±0.02b	25.00	*	0.25±0.10	0.16±0.12	0.18±0.61	30.98	ns
Chl_a/Chl_b	1.86±0.01	1.88±0.01	1.89±0.05	6.10	ns	2.49±0.05 a	2.53±0.01a	2.12±0.07b	5.04	**
Chl_{total}/Carotenoid	16.23±0.15	16.94±0.11	17.00±0.16	1.16	ns	6.66±0.10	6.68±0.06	6.56±0.09	1.40	ns
C/N ratio	15.99±0.62a	10.83±0.67b	16.93±1.84a	8.10	**	6.50±0.75b	3.49±0.32b	12.82±3.31a	25.89	*

ns = ไม่แตกต่างทางสถิติ * = มีความแตกต่างทางสถิติอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่น 95 ($P \leq 0.05$) ** = มีความแตกต่างทางสถิติอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่น 99% ($P \leq 0.01$) ค่าเฉลี่ยที่กำกับด้วยตัวอักษรต่างกันในแต่ละแถวมีความแตกต่างทางสถิติอย่างมีนัยสำคัญ จากการเปรียบเทียบโดยวิธี LSD ที่ P=0.05

6) การเจริญเติบโตของรากต้นกาแฟโรบัสต้า

ความยาวของรากกาแฟในเดือนพฤศจิกายน พ.ศ. 2558 ที่ระดับความลึกของดิน 0 - 20 เซนติเมตร ในกาแฟกลางแจ้ง (T1) มีความยาวมากที่สุด (3.50 เซนติเมตร) ส่วนระดับความลึก 21 - 40 เซนติเมตร กาแฟร่วมยางพารา 8 ปี (T2) มีความยาวรากมากกว่าทรีตเมนต์อื่นๆ (2 เซนติเมตร) ต่อมาในเดือนกุมภาพันธ์ กาแฟกลางแจ้งมีความยาวรากที่ระดับความลึก 0 - 20 และ 21 - 40 (เซนติเมตร 5.00 และ 4.90 เซนติเมตร ตามลำดับ) มากกว่าทรีตเมนต์อื่นๆ ทั้ง 2 ระดับความลึกและในเดือนพฤษภาคม พ.ศ. 2559 ที่ระดับความลึก 0-20 เซนติเมตร กาแฟสภาพกลางแจ้งยังคงมีความยาวรากมากที่สุด (6.98 เซนติเมตร) รวมถึงที่ระดับ 21-40 เซนติเมตร ซึ่งมีความยาวรากมากที่สุดเช่นเดียวกัน (9.87 เซนติเมตร)

ส่วนเส้นผ่านศูนย์กลางของรากในเดือนพฤศจิกายน พ.ศ. 2558 พบว่า กาแฟร่วมยางพารา 8 ปี (T2) ที่ระดับความลึก 0 - 20 เซนติเมตร มีค่ามากที่สุด (0.60 มิลลิเมตร) และที่ระดับความลึก 21 - 40 เซนติเมตร กาแฟสภาพกลางแจ้ง (T1) มีเส้นผ่านศูนย์กลางมากที่สุด (0.30 มิลลิเมตร) ส่วนเดือนกุมภาพันธ์ พ.ศ. 2559 ในกาแฟร่วมยางพารา 8 ปี (0.60 มิลลิเมตร) ยังคงมีเส้นผ่านศูนย์กลางสูงที่สุด แต่ที่ระดับความลึก 21 - 40 เซนติเมตร พบว่ากาแฟสภาพแจ้งและกาแฟร่วมกับยางพาราอายุ 8 ปี มีค่าเท่ากัน (0.40 มิลลิเมตร) และในเดือนพฤษภาคมเส้นผ่านศูนย์กลางรากกาแฟทั้ง 3 ทรีตเมนต์ มีค่าใกล้เคียงกัน (0.30 มิลลิเมตร) แต่ที่ระดับความลึก 21 - 40 เซนติเมตร กาแฟร่วมกับยางพาราอายุ 8 ปี ยังคงมีค่ามากที่สุด (0.30 มิลลิเมตร) (ภาพที่ 7)



ภาพที่ 7 พัฒนาการความยาวรากและเส้นผ่านศูนย์กลางรากกาแฟโรบัสต้าที่ระดับความลึก 0 - 20 และ 21 – 40 ซม. ในสภาพแจ้ง (T1) กาแฟร่วมกับสวนยางพาราอายุ 8 (T2) และ 16 ปี (T3) ในเดือนพฤศจิกายน พ.ศ. 2558 (a1 และ b1) กุมภาพันธ์ (a2 และ b2) และพฤษภาคม พ.ศ. 2559 (a3 และ b3)

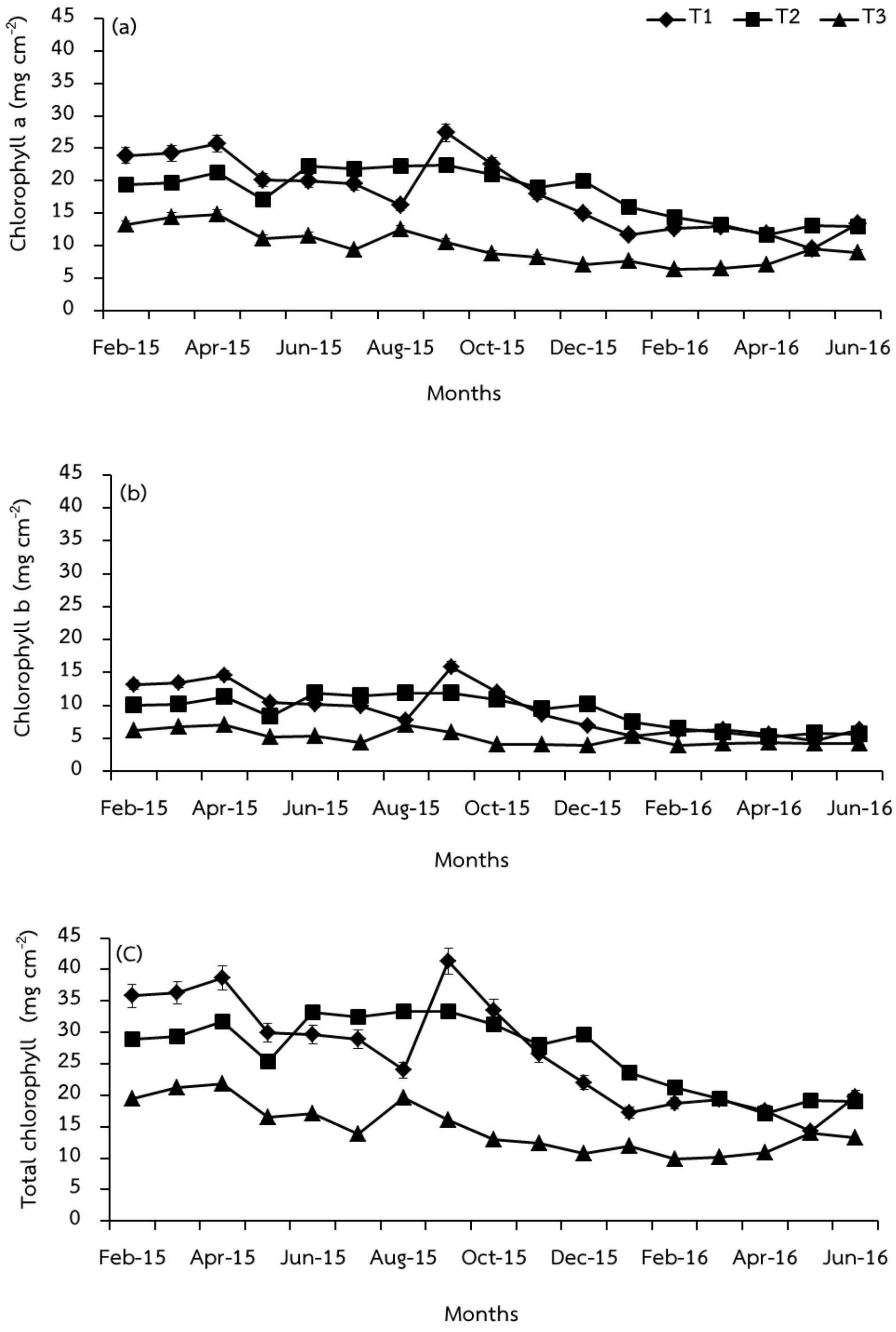
ns = ไม่แตกต่างทางสถิติ * = มีความแตกต่างทางสถิติอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่น 95 ($P \leq 0.05$) ** = มีความแตกต่างทางสถิติอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่น 99 ($P \leq 0.01$) ด้วยการเปรียบเทียบวิธี LSD

7) การเปลี่ยนแปลงคลอโรฟิลล์ในใบกาแฟโรบัสต้า

คลอโรฟิลล์เอในใบกาแฟโรบัสต้าในช่วงกุมภาพันธ์ พ.ศ. 2558 – มิถุนายน พ.ศ. 2559 มีแนวโน้มลดลง โดยแบ่งเป็นกาแฟสภาพกลางแจ้ง (T1) มีค่าอยู่ในช่วง 9.54 - 27.39 มิลลิกรัมต่อตารางเซนติเมตร กาแฟร่วมกับยางพาราอายุ 8 ปี (T2) อยู่ในช่วง 11.64 - 22.34 มิลลิกรัมต่อตารางเซนติเมตร และกาแฟร่วมยางพาราอายุ 16 ปี (T3) อยู่ในช่วง 6.35 - 14.83 มิลลิกรัมต่อตารางเซนติเมตร ซึ่งในเดือนกันยายนกาแฟสภาพกลางแจ้งมีค่าสูงสุด (27.39 มิลลิกรัมต่อตารางเซนติเมตร) (ภาพที่ 8a)

ส่วนคลอโรฟิลล์บีในใบกาแฟโรบัสต้าในช่วงกุมภาพันธ์ พ.ศ. 2558 – มิถุนายน พ.ศ. 2559 มีแนวโน้มลดลง โดยแบ่งเป็นกาแฟสภาพกลางแจ้ง (T1) มีค่าอยู่ในช่วง 4.70 - 15.91 มิลลิกรัมต่อตารางเซนติเมตร กาแฟร่วมกับยางพาราอายุ 8 ปี (T2) อยู่ในช่วง 5.22 - 11.89 มิลลิกรัมต่อตารางเซนติเมตร และกาแฟร่วมยางพาราอายุ 16 ปี (T3) อยู่ในช่วง 3.92 - 7.12 มิลลิกรัมต่อตารางเซนติเมตร ซึ่งในเดือนกันยายนกาแฟสภาพกลางแจ้งมีค่าสูงสุด (15.91 มิลลิกรัมต่อตารางเซนติเมตร) (ภาพที่ 8b)

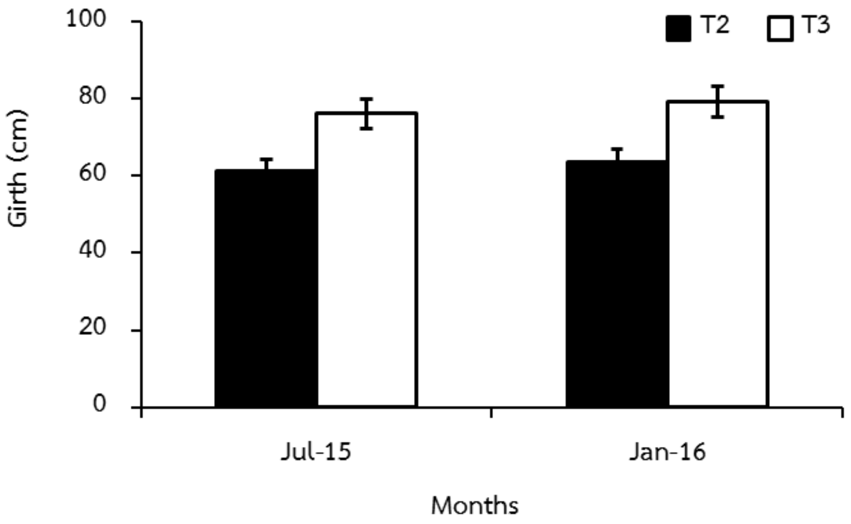
คลอโรฟิลล์ทั้งหมดในใบกาแฟโรบัสต้าในช่วงกุมภาพันธ์ พ.ศ. 2558 – มิถุนายน พ.ศ. 2559 มีแนวโน้มลดลง โดยแบ่งเป็นกาแฟสภาพกลางแจ้ง (T1) มีค่าอยู่ในช่วง 14.24 - 41.26 มิลลิกรัมต่อตารางเซนติเมตร กาแฟร่วมกับยางพาราอายุ 8 ปี (T2) อยู่ในช่วง 17.12 - 33.31 มิลลิกรัมต่อตารางเซนติเมตร และกาแฟร่วมยางพาราอายุ 16 ปี (T3) อยู่ในช่วง 9.88 - 21.88 มิลลิกรัมต่อตารางเซนติเมตร ซึ่งในเดือนกันยายนกาแฟสภาพกลางแจ้งมีค่าสูงสุด (41.26 มิลลิกรัมต่อตารางเซนติเมตร) (ภาพที่ 8c)



ภาพที่ 8 ปริมาณคลอฟิลล์เอ (a) คลอโรฟิลล์บี (b) และคลอโรฟิลล์ทั้งหมด (c) ในใบกาแฟโรบัสต้าสภาพแจ้ง (T1) กาแฟร่วมกับสวนยางพาราอายุ 8 (T2) และ 16 ปี (T3) ช่วงเดือนกุมภาพันธ์ พ.ศ. 2558 – มิถุนายน พ.ศ. 2559

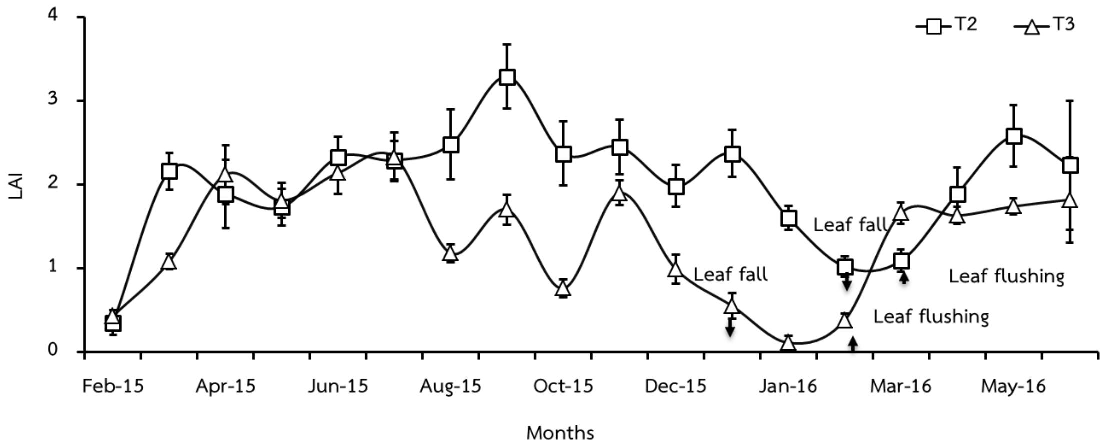
8) การเจริญเติบโตทางลำต้นยางพาราที่ปลูกร่วมกาแฟโรบัสต้า

จากการวัดเส้นรอบวงลำต้นยางพาราเหนือพื้นดิน 150 เซนติเมตร เดือนกรกฎาคม พ.ศ. 2558 ในทรีตเมนต์กาแฟร่วมกับยางพาราอายุ 8 และ 16 ปี พบว่า เส้นรอบวงลำต้นยางพาราอายุ 16 ปี (76.26 เซนติเมตร) มีค่ามากกว่ายางพาราอายุ 8 ปี (61.25 เซนติเมตร) ส่วนในเดือนมกราคม พ.ศ. 2559 เส้นรอบวงทั้ง 2 ทรีตเมนต์เพิ่มขึ้นเป็น 79.39 และ 63.72 เซนติเมตร ตามลำดับ (ภาพที่ 9)



ภาพที่ 9 เส้นรอบวงลำต้นยางพาราอายุ 8 (T2) และ 16 ปี (T2) ในเดือนกรกฎาคม พ.ศ. 2558 และมกราคม พ.ศ. 2559

ดัชนีพื้นที่ใบในช่วงเดือนกุมภาพันธ์ พ.ศ. 2558 – มิถุนายน พ.ศ. 2559 พบว่าในยางพาราอายุ 8 และ 16 ปี อยู่ในช่วง 0.35 – 3.30 และ 0.43 - 2.32 ตามลำดับ พบค่ามากสุดในเดือนกันยายน พ.ศ. 2558 ในยางพาราอายุ 8 ปี (3.30) และมีค่าลดลงในช่วงยางพาราทิ้งใบ โดยที่ยางพาราอายุ 16 ปี ทิ้งใบก่อนในต้นเดือนมกราคม พ.ศ. 2559 ส่วนยางพาราอายุ 8 ปี ทิ้งใบในเดือนกุมภาพันธ์ พ.ศ. 2559 (ภาพที่ 10)



ภาพที่ 10 ดัชนีพื้นที่ใบภายใต้ทรงพุ่มยางพาราอายุ 8 (T2) และ 16 ปี (T3) ในช่วงเดือนกุมภาพันธ์ พ.ศ. 2558 – มิถุนายน พ.ศ. 2559

9) ธาตุอาหารในใบยางพารา

ธาตุอาหารในใบยางพารา ในช่วงปี พ.ศ. 2558 (2015) พบว่า ใบยางพาราอายุ 16 ปี มีปริมาณคาร์โบไฮเดรต (105.24 มิลลิกรัมกูลโครสต่อกรัมน้ำหนักสด) โพแทสเซียม (1.32%) และสัดส่วนคาร์โบไฮเดรตต่อไนโตรเจน (42.53) แนวโน้มมากที่สุด ขณะที่ใบยางพาราอายุ 8 ปี มีปริมาณไนโตรเจน (2.99%) ฟอสฟอรัส (0.24) แคลเซียม (0.66%) และแมกนีเซียม (0.26%) มากกว่าใบยางพาราอายุ 16 ปี

ส่วนในปี พ.ศ. 2559 (2016) ในใบยางพาราอายุ 8 ปี มีปริมาณไนโตรเจน (2.99%) ฟอสฟอรัส (0.18%) โพแทสเซียม (1.00%) และแคลเซียม (1.10%) มีแนวโน้มมากกว่าใบยางพาราอายุ 16 ปี ขณะที่ใบยางพาราอายุ 16 ปี กลับพบว่า มีคาร์โบไฮเดรต (92.44) และสัดส่วนคาร์โบไฮเดรตต่อไนโตรเจนมากกว่าใบยางพาราอายุ 8 ปี อย่างไรก็ตามปริมาณแมกนีเซียมทั้งใบยางพาราอายุ 8 และ 16 ปี มีค่าเท่ากัน (0.35%) (ตารางที่ 7)

ตารางที่ 7 ปริมาณคาร์โบไฮเดรตที่ไม่ได้อยู่ในรูปโครงสร้างและธาตุอาหารในใบยางพาราอายุ 8 (T2) และ 16 ปี (T3) ในปีพ.ศ. 2558 และ 2559

Treatment	**2015**				**2016**			
	T2	**T3**	**t-test**	**C.V. (%)**	**T2**	**T3**	**t-test**	**C.V. (%)**
TNC (mg glucose g^{-1} dry wt.)	96.40±5.77	105.24±7.84	ns	5.18	91.71±10.62	92.44±5.16	ns	6.27
N (%)	3.00 ± 0.03	2.48 ± 0.07	**	2.11	2.99±0.13	2.60±0.09	**	4.04
P (%)	0.24±0.17	0.17±0.01	**	2.02	0.18±0.02	0.14±0.01	*	10.83
K (%)	1.16±0.03	1.32±0.02	**	1.75	1.00±0.10	0.97±0.11	ns	10.54
Ca (%)	0.66±0.01	0.57±0.03	**	3.31	1.10±0.01	0.88±0.04	**	3.32
Mg (%)	0.26±0.01	0.24±0.01	**	2.36	0.35±0.02	0.35±0.01	ns	4.34
C/N ratio	32.05±1.70	42.53±4.42	*	8.98	31.22±4.84	35.96±1.34	ns	10.57

ns = ไม่แตกต่างทางสถิติ * = มีความแตกต่างทางสถิติอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่น 95 ($P \leq 0.05$)

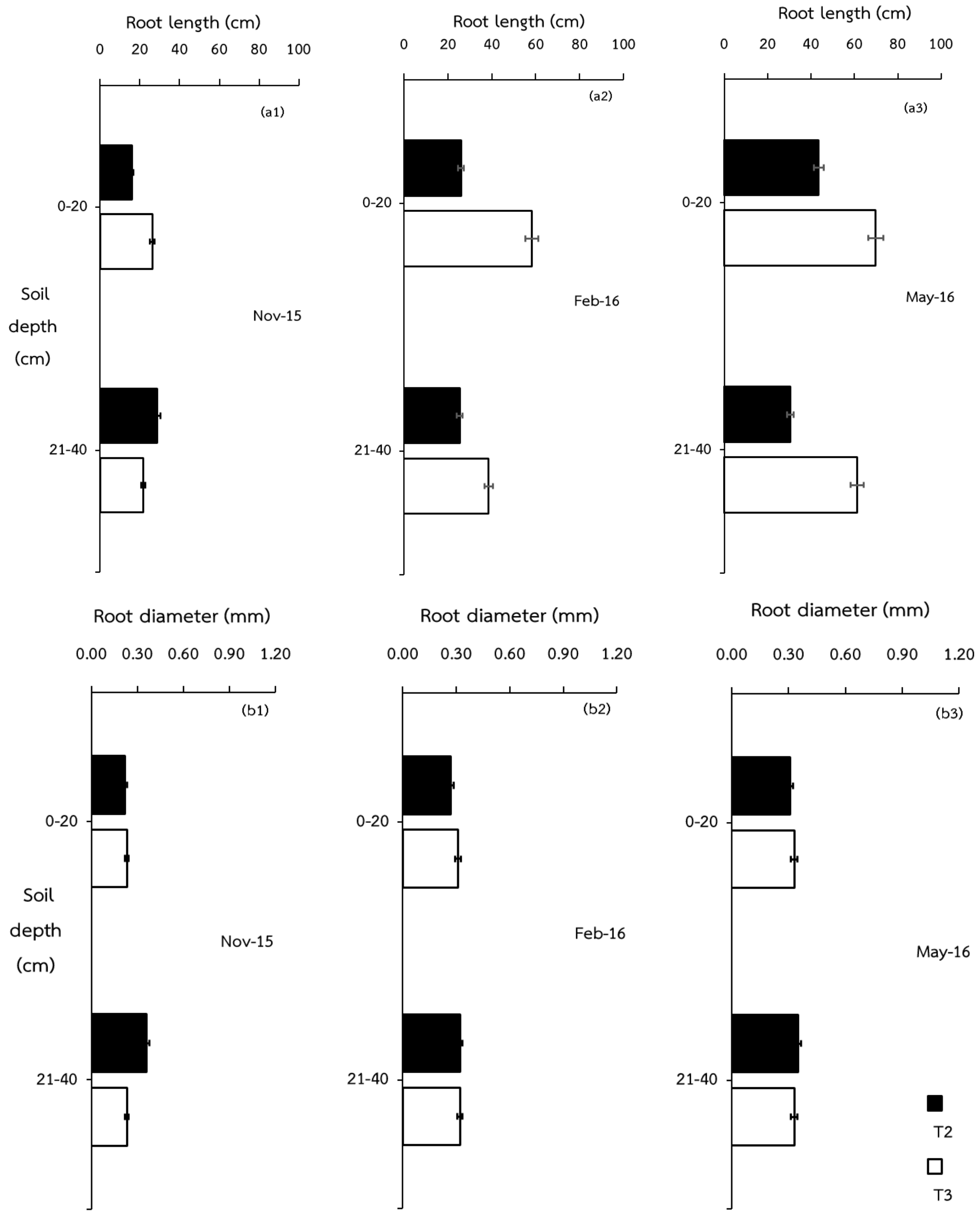
** = มีความแตกต่างทางสถิติอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่น 99 ($P \leq 0.01$)

เปรียบเทียบโดยวิธี t-test ที่ $P \leq 0.05$

10) การเจริญเติบโตของรากยางพาราที่ปลูกกาแฟโรบัสต้าเป็นพืชร่วม

ความยาวของรากยางพาราในเดือนพฤศจิกายน พ.ศ. 2558 ที่ระดับความลึกของดิน 0 - 20 และ 21 - 40 เซนติเมตร ในต้นยางพารา 16 ปีมีความยาวรากมากที่สุด (56.60 และ 41.00 เซนติเมตร ตามลำดับ) ต่อมาในเดือนกุมภาพันธ์ พ.ศ. 2559 ต้นยางพารา 16 ปี มีการเพิ่มขึ้นของความยาวรากระดับความลึกของดิน 0 - 20 และ 21 - 40 เซนติเมตร มากกว่าต้นยางพารา 8 ปี เท่ากับ 68.00. และ 58.40 เซนติเมตร ตามลำดับ และเดือนพฤษภาคม พ.ศ. 2559 ต้นยางพาราอายุ 16 ปียังคงมีความยาวรากสูงกว่าเช่นเดียวกันที่ 2 ระดับความลึกของดิน (69.70 และ 61.10 เซนติเมตร ตามลำดับ)

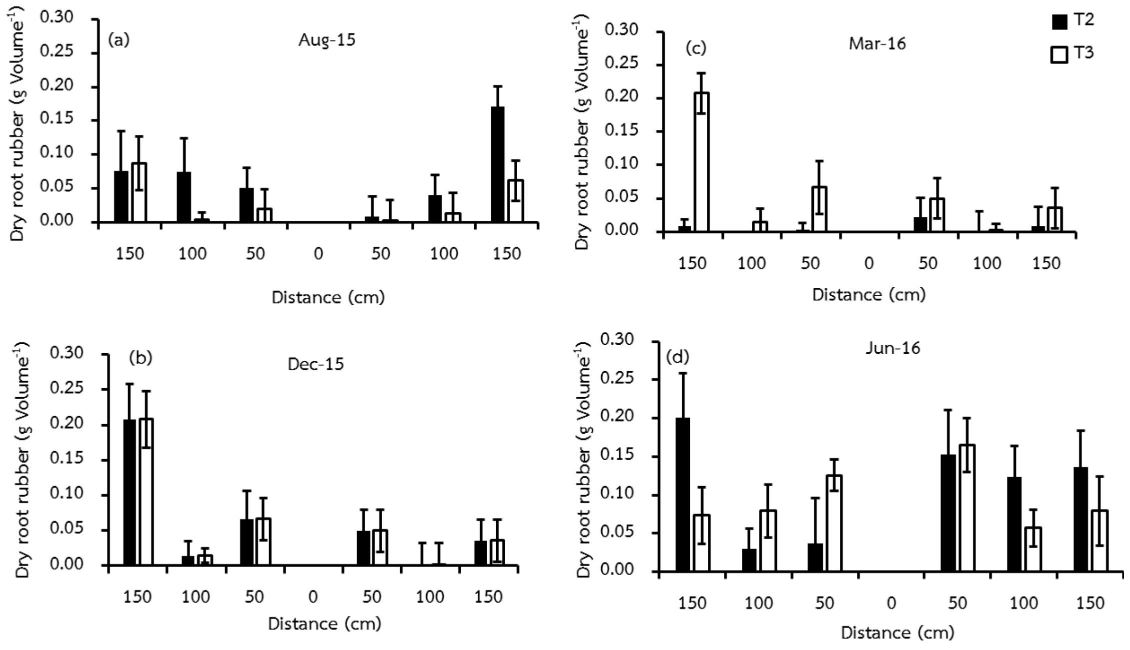
ส่วนเส้นผ่านศูนย์กลางของรากในเดือนพฤศจิกายน พ.ศ. 2558 ที่ระดับความลึก 0 - 20 เซนติเมตร ทั้งยางพารา 8 และ 16 ปี มีค่าเท่ากัน (0.20 มิลลิเมตร) แต่ระดับความลึก 21 - 40 เซนติเมตร ยางพารา 8 ปีมีค่ามากกว่าเท่ากับ 0.35 มิลลิเมตร ขณะที่เดือนกุมภาพันธ์ พ.ศ. 2559 ที่ระดับความลึก 0 - 20 เซนติเมตร ยางพารา 16 ปี มีค่ามากกว่าเท่ากับ 0.27 มิลลิเมตร ส่วนระดับความลึก 21 - 40 เซนติเมตร มีค่าเท่ากัน (0.32 มิลลิเมตร) และสุดท้ายเดือนพฤษภาคม พ.ศ. 2559 ในต้นยางพาราอายุ 8 และ 16 ปี มีเส้นผ่าศูนย์กลางรากใกล้เคียงกันเท่ากับ 0.30 มิลลิเมตร ที่ระดับความลึก 0 - 20 เซนติเมตร แต่ที่ระดับความลึกดิน 21 - 40 เซนติเมตร ยางพาราอายุ 8 ปีมีค่ามากกว่าเท่ากับ 0.35 มิลลิเมตร (ภาพที่ 11)



ภาพที่ 11 พัฒนาการรากและเส้นผ่านศูนย์กลางรากยางพาราอายุ 8 (T2) และ 16 ปี (T3) ที่ระดับความลึกดิน 0 – 20 และ 21 – 40 ซม. ในเดือนพฤศจิกายน (a1 และ b1) กุมภาพันธ์ (a2 และ b2) พ.ศ. 2558 และ พฤษภาคม พ.ศ. 2559 (a3 และb3)

11) การแผ่กระจายของรากยางพารา

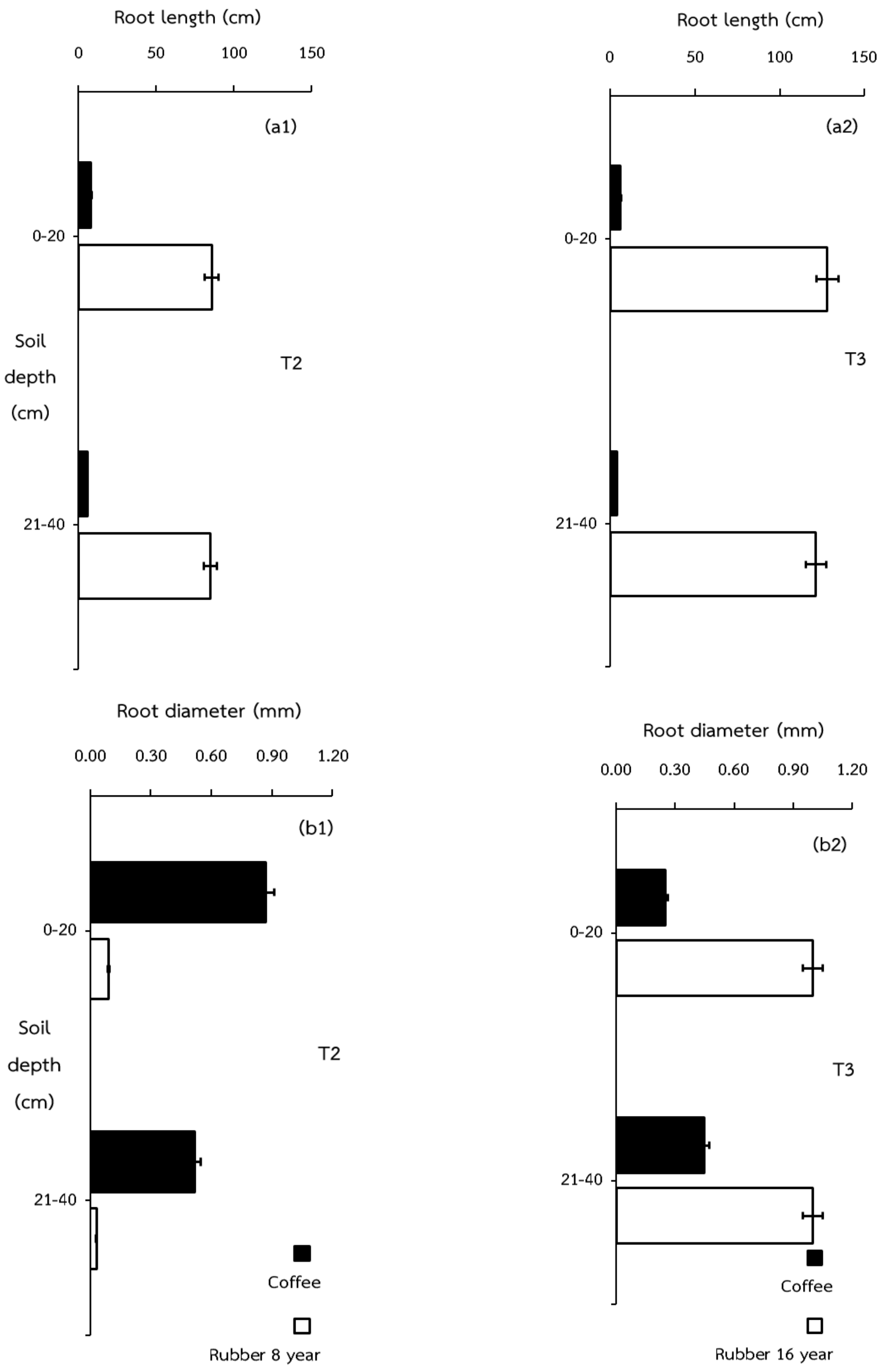
เดือนกรกฎาคม พ.ศ. 2558 ยางพาราอายุ 8 ปี มีปริมาณของรากยางพาราที่ระยะ 150 เซนติเมตรมากที่สุดเท่ากับ 0.13 กรัม ส่วนยางพาราอายุ 16 ปี มีปริมาณรากที่ระยะ 150 เซนติเมตร มากที่สุดเท่ากับ 0.05 กรัม ส่วนในเดือนธันวาคม พ.ศ. 2558 ยางพาราอายุ 8 ปี ที่ระยะ 150 เซนติเมตรยังคงมีรากมากที่สุดเท่ากับ 0.16 กรัม และยางพาราอายุ 16 ปี เท่ากับ 0.11 กรัม ขณะที่เดือนมีนาคม พ.ศ. 2559 ปริมาณรากยางพารา มีน้อยกว่าทุกๆ เดือน โดยที่ยางพาราอายุ 16 ปี พบมากที่สุดในระยะ 150 เซนติเมตร (0.21 กรัม) และเดือนมิถุนายน พ.ศ. 2559 เป็นช่วงเริ่มมีฝนตก ทำให้ยางพาราแผ่กระจายรากได้มากขึ้น โดยมีปริมาณรากมากที่สุดในยางพาราอายุ 8 ปี เท่ากับ 0.79 กรัม ที่ระยะห่างจากต้นกาแฟ 150 เซนติเมตร (ภาพที่ 12)



ภาพที่ 12 การแผ่กระจายของรากยางพาราอายุ 8 (T2) และ 16 ปี (T3) โดยมีระยะห่างจากต้นกาแฟ 150 100 และ 50 ซม. ในเดือนสิงหาคม (a) ธันวาคม (b) พ.ศ. 2558 มีนาคม (c) และมิถุนายน พ.ศ. 2559 (d)

12) การแข่งขันของรากกาแฟโรบัสต้าและยางพารา

การแข่งขันของรากยางพาราและกาแฟโรบัสต้า พบว่า ต้นกาแฟในสวนยางพาราอายุ 8 ปี ที่ระดับความลึกดิน 0 - 20 เซนติเมตร มีความยาวราก (3.83 เซนติเมตร) น้อยกว่ารากยางพาราอายุ 8 ปี รวมถึงระดับความลึก 21 - 40 เซนติเมตร กาแฟโรบัสต้ามีการสะสมรากน้อยกว่าเช่นเดียวกันเท่ากับ 5.63 เซนติเมตร รวมถึงเส้นผ่านศูนย์กลางราก พบว่า รากกาแฟมีขนาดเท่ากับ 0.87 มิลลิเมตร มากกว่ารากยางพารา ทั้งที่ระดับ 0 - 20 และ 21 - 40 เซนติเมตร ส่วนกาแฟในสวนยางพาราอายุ 16 ปี พบว่า ความยาวรากสะสมของยางพาราที่ระดับความลึก 0 - 20 และ 21 - 40 เซนติเมตร (128.10 และ 121.40 เซนติเมตร ตามลำดับ) มีความยาวรากมากกว่ารากกาแฟเช่นเดียวกับขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางรากทั้ง 2 ระดับความลึก (1.00 และ 1.00 มิลลิเมตร) (ภาพที่ 13)



ภาพที่ 13 เปรียบเทียบความยาวและเส้นผ่านศูนย์กลางรากระหว่างกาแฟโรบัสต้าและยางพาราอายุ 8 (a1 และ b1) และ 16 ปี (a2 และ b2)

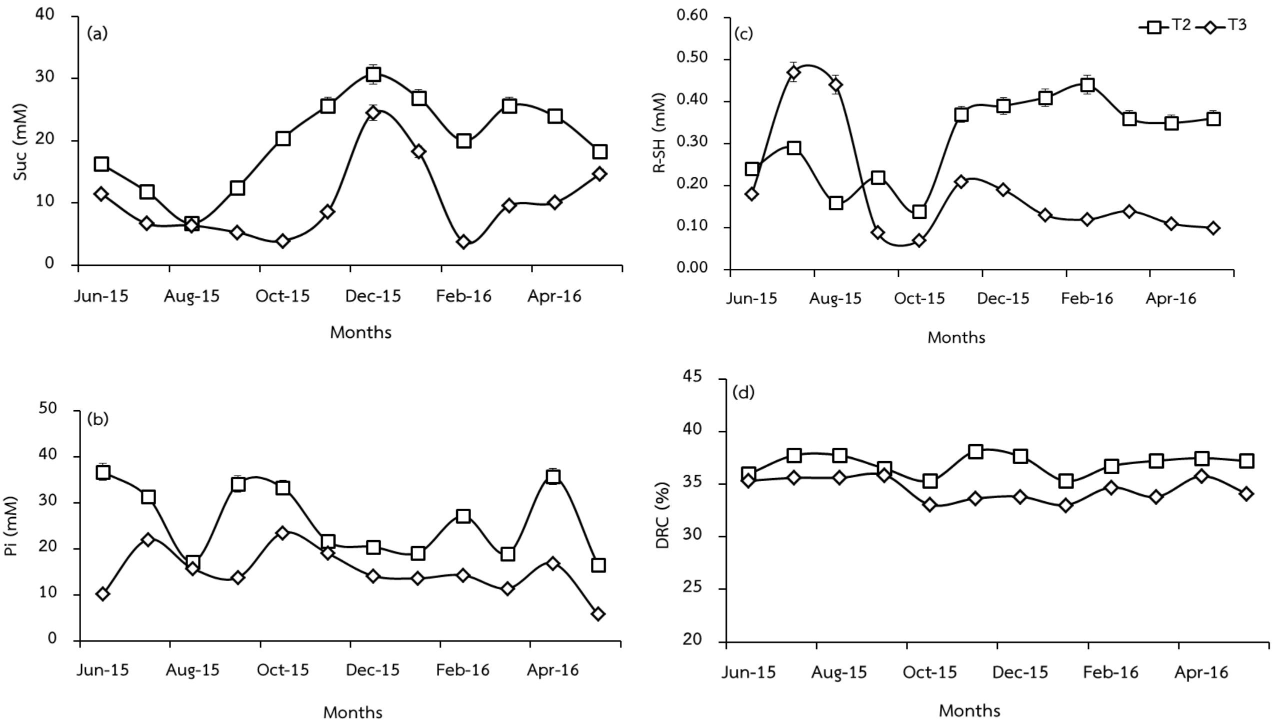
13) องค์ประกอบทางชีวเคมีในต้นยางพาราที่ปลูกกาแฟโรบัสต้าเป็นพืชร่วม

ปริมาณซูโครสในช่วงเดือนมิถุนายน พ.ศ. 2558 - พฤษภาคม พ.ศ. 2559 ในต้นยางพาราอายุ 8 ปี มีค่าอยู่ในช่วง 6.73 - 30.68 มิลลิโมล ส่วนต้นยางพาราอายุ 16 ปี อยู่ในช่วง 3.72 - 24.47 มิลลิโมล โดยพบค่ามากสุดในเดือนธันวาคม พ.ศ. 2558 ในต้นยางพาราอายุ 8 ปี (30.68 มิลลิโมล) (ภาพที่ 14 a)

ปริมาณอนินทรีย์ฟอสฟอรัสในช่วงเดือนมิถุนายน พ.ศ. 2558 – พฤษภาคม พ.ศ. 2559 ในต้นยางพาราอายุ 8 ปี มีค่าอยู่ในช่วง 16.55-36.74 มิลลิโมล ส่วนต้นยางพาราอายุ 16 ปี อยู่ในช่วง5.77 - 23.49 มิลลิโมล โดยพบค่ามากสุดในเดือนกันยายน พ.ศ. 2558 และเดือนเมษายน พ.ศ. 2559 ในต้นยางพาราอายุ 8 ปี (34.08 และ 35.73 มิลลิโมล) (ภาพที่ 14 b)

ปริมาณรีดิวซ์ไธออลในช่วงเดือนมิถุนายน พ.ศ. 2558 – พฤษภาคม พ.ศ. 2559 ในต้นยางพาราอายุ 8 ปี มีค่าอยู่ในช่วง 0.14 - 0.44 มิลลิโมล ส่วนต้นยางพาราอายุ 16 ปี อยู่ในช่วง 0.07 - 0.47 มิลลิโมล ในช่วงแรกพบค่ามากสุดในเดือนกรกฎาคม พ.ศ. 2558 จากต้นยางพาราอายุ 16 ปี (0.47 มิลลิโมล) และเดือนกุมภาพันธ์ พ.ศ. 2559 พบในต้นยางพาราอายุ 8 ปี (0.44 มิลลิโมล) มีค่ามากสุด (ภาพที่ 14 c)

เปอร์เซ็นต์เนื้อยางแห้งในช่วงเดือนมิถุนายน พ.ศ. 2558 – พฤษภาคม พ.ศ. 2559 ในต้นยางพาราอายุ 8 ปี มีค่าอยู่ในช่วง 35.31 - 38.15% ส่วนต้นยางพาราอายุ 16 ปี อยู่ในช่วง 33.02 - 35.88% โดยพบเปอร์เซ็นต์เนื้อยางมากสุดในเดือนพฤศจิกายน พ.ศ. 2558 ของต้นยางพาราอายุ 8 ปี (38.15%) (ภาพที่ 14 d)



ภาพที่ 14 ปริมาณซูโครส (a) อนินทรีย์ฟอสฟอรัส (b) รีดิวซ์ไธออล (c) และเปอร์เซ็นต์เนื้อยางแห้ง จากต้นยางพาราอายุ 8 (T2) และ 16 ปี (T3) ช่วงเดือนมิถุนายน พ.ศ. 2558 – พฤษภาคม พ.ศ. 2559

การทดลองที่ 3 การให้ปุ๋ยเคมีและปุ๋ยอินทรีย์ต่อการเจริญเติบโตของต้นกาแฟโรบัสต้าที่ปลูกร่วมกับสวนยางพาราระยะก่อนเปิดกรีด

1) ข้อมูลการเจริญเติบโตทางลำต้นของกาแฟโรบัสต้า

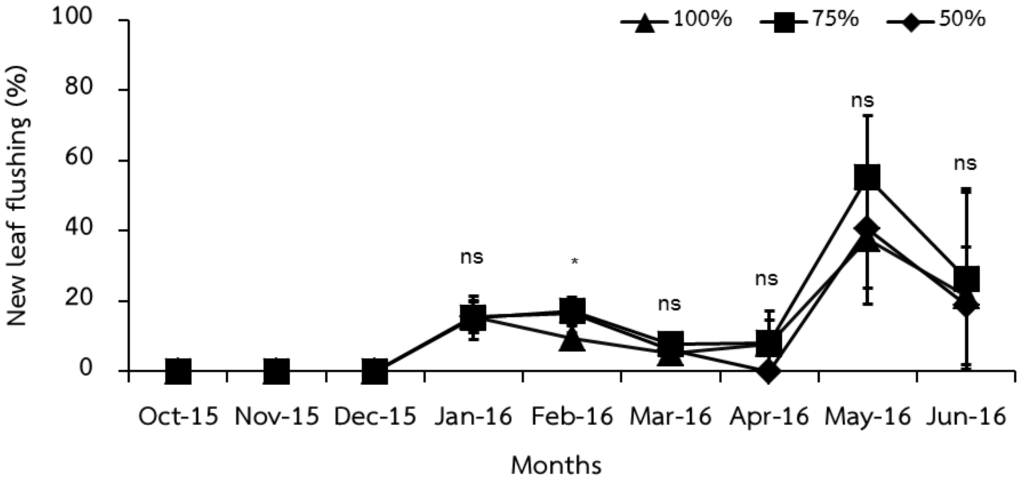
ผลการให้ปุ๋ยเคมีและปุ๋ยอินทรีย์แก่ต้นกล้ากาแฟโรบัสต้าภายใต้สภาพสวนยางพาราพบว่า ในเดือนตุลาคม พ.ศ. 2558 ทุกทรีตเมนต์ไม่มีความแตกต่างทางสถิติและต่อมาในเดือนมกราคม พ.ศ. 2559 การให้ปุ๋ยเคมี (100%) มีความสูงมากที่สุดเท่ากับ 102.36 ซม. และแตกต่างทางสถิติอย่างมีนัยสำคัญยิ่ง ส่วนความกว้างทรงพุ่ม และเส้นผ่านศูนย์กลางลำต้น ไม่มีความแตกต่างทางสถิติ แต่จำนวนใบต่อต้นการให้ปุ๋ยเคมี (75%) ร่วมกับปุ๋ยคอก มีแนวโน้มสูงที่สุดหรือเท่ากับ 19.17 ใบต่อต้น ส่วนเดือนเมษายน พ.ศ. 2559 การให้ปุ๋ยเคมี (100%) ทำให้มีความสูงดีที่สุดเท่ากับ 104.29 ซม. รวมไปถึงเดือนมิถุนายนการให้ปุ๋ยเคมี (100%) ส่งผลต่อความสูงได้ดีที่สุดเท่ากับ 105.57 ซม. แต่ความกว้างทรงพุ่ม เส้นผ่านศูนย์กลางลำต้น และจำนวนใบ ไม่มีความแตกต่างทางสถิติ (ตารางที่ 8)

ตารางที่ 8 การเจริญเติบโตทางลำต้นของต้นกาแฟโรบัสต้าในสวนยางพาราอายุ 8 ปี มีการให้ปุ๋ยเคมี (100%) (T1) ให้ปุ๋ยเคมี (75%) ร่วมกับปุ๋ยคอก (T2) และให้ปุ๋ยเคมี (50%) ร่วมกับปุ๋ยคอก (T3) ในเดือนตุลาคม พ.ศ. 2558 มกราคม เมษายน และมิถุนายน พ.ศ. 2559

Treatments	Months	Height (cm)	Canopywidth (cm)	Stem diameter (cm)	No. of leaves
T1: 100%	**Oct-15**	80.00±23.15	42.57±7.73	1.12±0.27	13.14±5.43
T2: 75%		73.57±8.46	39.64±11.93	0.86±0.10	10.57±5.74
T3: 50%		74.86±15.44	35.50±9.13	0.95±0.30	10.43±4.93
C.V. (%)		22.06	24.86	24.75	22.38
F-test		ns	ns	ns	ns
T1: 100%	**Jan-16**	102.36±13.57a	44.57±4.80	1.13±0.31	14.43±2.82
T2: 75%		76.00±5.74b	42.71±11.63	0.87±0.08	18.43±10.40
T3: 50%		75.29±13.31b	39.29±10.29	0.96±0.14	13.00±7.55
C.V. (%)		13.56	22.75	20.65	24.86
F-test		**	ns	ns	ns
T1: 100%	**Apr-16**	104.29±3.80a	32.71±3.63	1.34±0.11	5.29±2.87
T2: 75%		80.71±9.72b	19.57±5.89	1.05±0.21	6.28±6.28
T3: 50%		81.14±5.38b	15.14±5.89	1.06±0.28	4.14±4.21
C.V. (%)		12.41	30.89	20.57	31.3
F-test		**	ns	ns	ns
T1: 100%	**Jun-16**	105.57±7.50a	34.07±11.81	1.22±0.17	10.71±5.41
T2: 75%		81.00±3.41b	34.86±10.14	1.14±0.19	11.86±8.07
T3: 50%		82.14±17.75b	29.00±10.69	1.07±0.20	10.71±4.99
C.V. (%)		12.71	33.39	16.27	28.42
F-test		**	ns	ns	ns

ns = ไม่แตกต่างทางสถิติ ** = มีความแตกต่างทางสถิติอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่น 99 ($P \leq 0.01$) ค่าเฉลี่ยที่กำกับด้วยตัวอักษรต่างกันในแต่ละสดมภ์มีความแตกต่างทางสถิติอย่างมีนัยสำคัญ จากการเปรียบเทียบโดยวิธี LSD ที่ $P \leq 0.05$

การแตกใบใหม่ในต้นกล้ากาแฟโรบัสต้า พบว่า ไม่มีการแตกใบใหม่ในช่วงเดือนตุลาคมถึงธันวาคม พ.ศ. 2558 แต่ในช่วงเดือนมกราคมถึงเมษายน พ.ศ. 2559 พบการแตกใบใหม่โดยการให้ปุ๋ยเคมี (75%) ร่วมกับปุ๋ยคอกมีค่ามากที่สุดอยู่ในช่วง 7.82 - 55.16% โดยพบการแตกใบใหม่มีแนวโน้มมากที่สุด ในช่วงเดือนมีนาคม เมื่อเปรียบเทียบกับช่วงเดือนอื่นๆ (ภาพที่ 15)



ภาพที่ 15 เปอร์เซ็นต์การแตกใบใหม่ของกาแฟโรบัสต้าในสวนยางพารามีการให้ปุ๋ยเคมี (100%) (T1) ให้ปุ๋ยเคมี (75%) ร่วมกับปุ๋ยคอก (T2) และให้ปุ๋ยเคมี (50%) ร่วมกับปุ๋ยคอก (T3) ในช่วงเดือนตุลาคม พ.ศ. 2558 – มิถุนายน พ.ศ. 2559

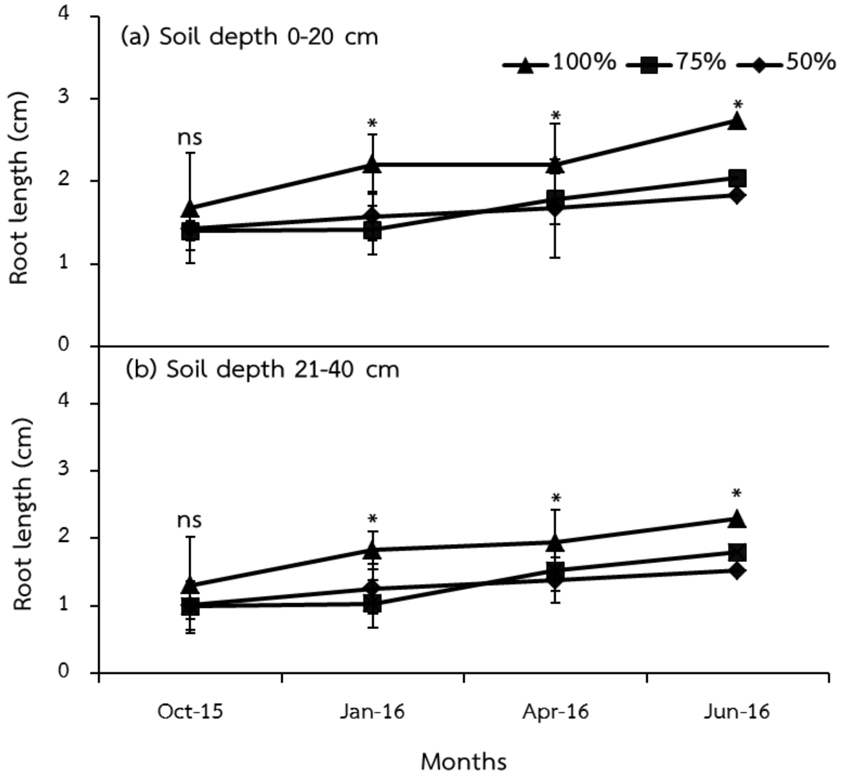
ns = ไม่แตกต่างทางสถิติ

** = มีความแตกต่างทางสถิติอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่น 95 (P≤0.05)

2) การเจริญเติบโตของรากกาแฟโรบัสต้า

ในเดือนตุลาคม พ.ศ. 2558 ความยาวรากที่ระดับความลึก 0 - 20 เซนติเมตร ยังไม่พบความแตกต่างทางสถิติ แต่การให้ปุ๋ยทุกทรีตเมนต์ มีความยาวของรากเพิ่มขึ้นทั้งหมด โดยการให้ปุ๋ยเคมี (100%) ส่งผลให้มีความยาวรากดีที่สุด สังเกตเห็นได้ในเดือนมกราคม พ.ศ. 2559 (2.21 เซนติเมตร) เมษายน (2.20 เซนติเมตร) และมิถุนายน (2.74 เซนติเมตร) (ภาพที่ 16 a)

ส่วนที่ระดับความลึก 21 - 40 เซนติเมตร การให้ปุ๋ยเคมี (100%) ยังคงมีความยาวรากดีกว่าทุกทรีตเมนต์ ในเดือนมกราคม พ.ศ. 2559 (1.31 เซนติเมตร) เมษายน (1.94 เซนติเมตร) และมิถุนายน (2.29 เซนติเมตร) (ภาพที่ 16 b)



ภาพที่ 16 พัฒนาการความยาวรากของกาแฟโรบัสต้าในสวนยางพาราที่ระดับความลึกดิน 0 - 20 (a) และ 21 – 40 ซม. (b) จากการให้ปุ๋ยเคมี (100%) (T1) ให้ปุ๋ยเคมี (75%) ร่วมกับปุ๋ยคอก (T2) และให้ปุ๋ยเคมี (50%) (T3) ร่วมกับปุ๋ยคอก ในเดือนตุลาคม พ.ศ. 2558 มกราคม เมษายน และมิถุนายน พ.ศ. 2559

ns = ไม่แตกต่างทางสถิติ

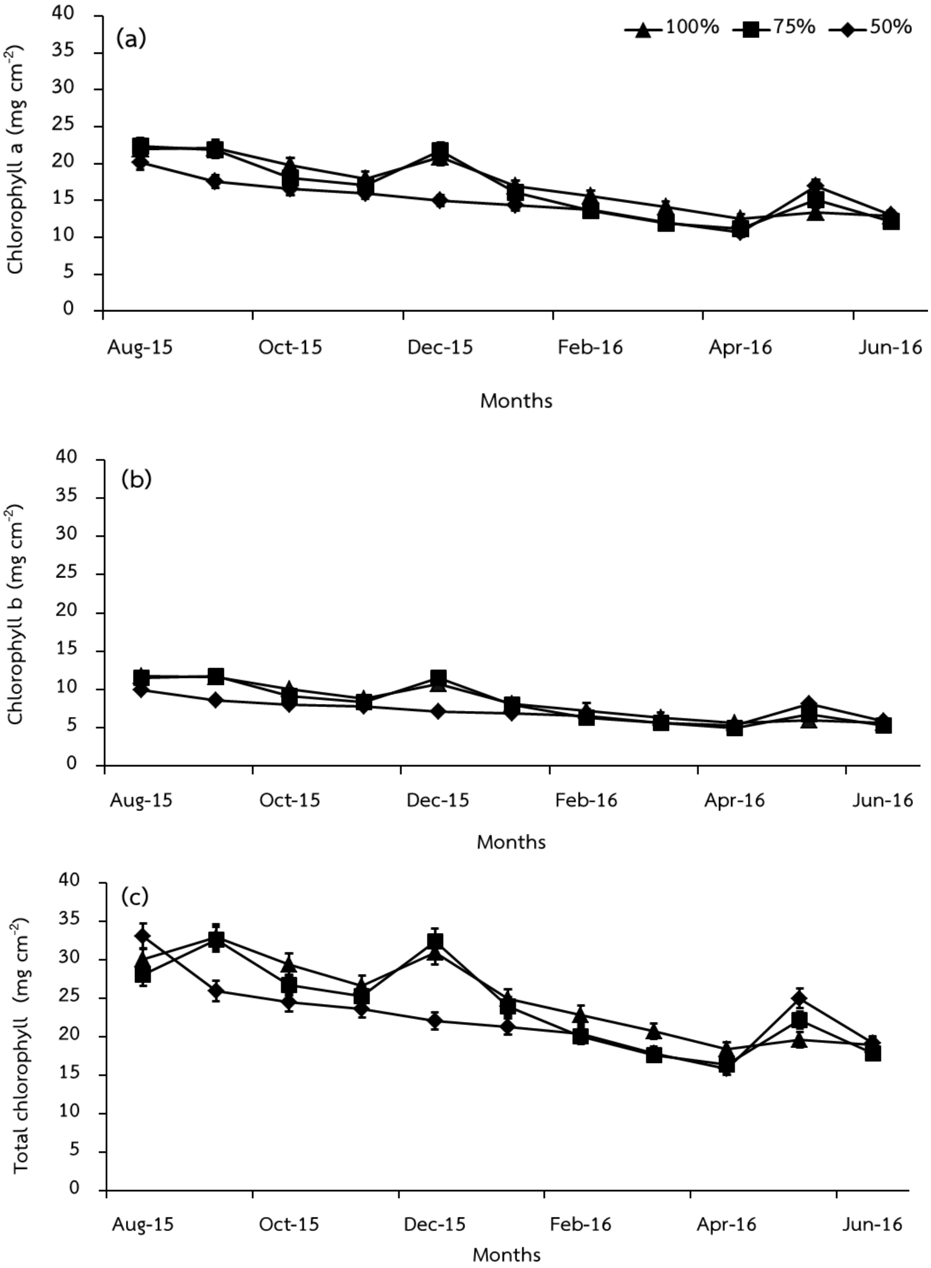
** = มีความแตกต่างทางสถิติอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่น 95 ($P \leq 0.05$)

3) ลักษณะสัณฐานและสรีรวิทยาของใบกาแฟโรบัสต้าในสวนยางพารา

ปริมาณคลอโรฟิลล์ เอ ทุกทรีตเมนต์มีค่าลดลงอย่างต่อเนื่อง ตั้งแต่เดือนสิงหาคม พ.ศ. 2558 ถึง มิถุนายน พ.ศ. 2559 โดยการให้ปุ๋ยเคมี (100%) มีค่าอยู่ในช่วง 12.50 – 22.14 มิลลิกรัมต่อตารางเซนติเมตร การให้ปุ๋ยเคมี (75%) ร่วมกับปุ๋ยอินทรีย์ อยู่ในช่วง 11.14 – 22.34 มิลลิกรัมต่อตารางเซนติเมตร และการให้ปุ๋ยเคมี (50%) ร่วมกับปุ๋ยอินทรีย์ 10.63 – 20.18 มิลลิกรัมต่อตารางเซนติเมตร ซึ่งจะพบค่าคลอโรฟิลล์ เอ มากในเดือนธันวาคม พ.ศ. 2558 จากการให้ปุ๋ยเคมี (75%) (21.72 มิลลิกรัมต่อตารางเซนติเมตร) (ภาพที่ 17 a)

ปริมาณคลอโรฟิลล์ บี ทุกทรีตเมนต์มีค่าลดลงอย่างต่อเนื่อง ตั้งแต่เดือนสิงหาคม พ.ศ. 2558 ถึง มิถุนายน พ.ศ. 2559 โดยการให้ปุ๋ยเคมี (100%) มีค่าอยู่ในช่วง 5.65 – 11.80 มิลลิกรัมต่อตารางเซนติเมตร การให้ปุ๋ยเคมี (75%) ร่วมกับปุ๋ยอินทรีย์ อยู่ในช่วง 4.98 – 11.77 มิลลิกรัมต่อตารางเซนติเมตร และการให้ปุ๋ยเคมี (50%) ร่วมกับปุ๋ยอินทรีย์ อยู่ในช่วง 5.26 – 10.00 มิลลิกรัมต่อตารางเซนติเมตร ซึ่งจะพบค่าคลอโรฟิลล์ บี มากในเดือนธันวาคม พ.ศ. 2558 ในการให้ปุ๋ยเคมี (75%) (11.51 มิลลิกรัมต่อตารางเซนติเมตร) (ภาพที่ 17 b)

ปริมาณคลอโรฟิลล์ทั้งหมดทุกทรีตเมนต์มีค่าลดลงอย่างต่อเนื่อง ตั้งแต่เดือนสิงหาคม พ.ศ. 2558 ถึง มิถุนายน พ.ศ. 2559 โดยการให้ปุ๋ยเคมี (100%) มีค่าอยู่ในช่วง 18.38 – 32.98 มิลลิกรัมต่อตารางเซนติเมตร การให้ปุ๋ยเคมี (75%) ร่วมกับปุ๋ยอินทรีย์ อยู่ในช่วง 16.39 – 32.64 มิลลิกรัมต่อตารางเซนติเมตร และการให้ปุ๋ยเคมี (50%) ร่วมกับปุ๋ยอินทรีย์ในช่วง 15.84 – 33.00 มิลลิกรัมต่อตารางเซนติเมตร ซึ่งจะพบค่าคลอโรฟิลล์ทั้งหมดมากในเดือนธันวาคม พ.ศ. 2558 ในการให้ปุ๋ยเคมี (75%) (32.37 มิลลิกรัมต่อตารางเซนติเมตร) (ภาพที่ 17 c)



ภาพที่ 17 ปริมาณคลอโรฟิลล์ เอ (a) คลอโรฟิลล์ บี (b) และคลอโรฟิลล์ทั้งหมด (c) ในใบกาแฟโรบัสต้าภายใต้สวนยางพาราจากการให้ปุ๋ยเคมี (100%) (T1) ให้ปุ๋ยเคมี (75%) ร่วมกับปุ๋ยคอก (T2) และให้ปุ๋ยเคมี (50%) (T3) ร่วมกับปุ๋ยคอก ช่วงเดือนสิงหาคม พ.ศ. 2558 – มิถุนายน พ.ศ. 2559

ผลของการให้ปุ๋ยต่อลักษณะสัณฐานและสรีรวิทยาของใบกาแฟในช่วงสิ้นสุดการทดลอง พบว่า ส่วนใหญ่ไม่มีความแตกต่างทางสถิติกันระหว่างทรีตเมนต์ โดยเฉพาะค่าพื้นที่ใบ น้ำหนักแห้งใบ คลอโรฟิลล์ เอ คลอโรฟิลล์ บี คลอโรฟิลล์ทั้งหมด แคโรทีนอยด์ และ น้ำหนักแห้งต่อพื้นที่ใบ ซึ่งพบว่ามีค่าต่ำที่สุดในต้นกาแฟโรบัสต้าที่ได้รับปุ๋ยเคมี (50%) เช่นเดียวกับ ปริมาณคาร์โบไฮเดรตที่ไม่ได้อยู่ในรูปโครงสร้าง คลอโรฟิลล์ต่อพื้นที่ใบ คลอโรฟิลล์ต่อแคโรทีนอยด์ และสัดส่วน C/N ซึ่งมีค่าใกล้เคียงกันระหว่างทรีตเมนต์ ขณะที่ ปริมาณไนโตรเจนในใบ พบว่า การให้ปุ๋ยเคมี (75%) ร่วมกับปุ๋ยอินทรีย์ มีค่ามากกว่าทรีตเมนต์อื่นๆ เท่ากับ 3.72% และมีความแตกต่างทางสถิติอย่างมีนัยสำคัญยิ่ง สอดคล้องกับปริมาณไนโตรเจนต่อพื้นที่ใบ (N_a) โดยพบว่า การให้ปุ๋ยเคมี (100%) และปุ๋ยเคมี (75%) ร่วมกับปุ๋ยอินทรีย์ มีความแตกต่างทางสถิติกับการให้ปุ๋ยเคมี (50%) ซึ่งมีค่าต่ำสุดเท่ากับ 0.11 (ตารางที่ 9)

ตารางที่ 9 ลักษณะสัณฐานและสรีรวิทยาของใบกาแฟโรบัสต้าในสวนยางพาราจากการให้ปุ๋ยเคมี (100%) (T1) ให้ปุ๋ยเคมี (75%) ร่วมกับปุ๋ยคอก (T2) และให้ปุ๋ยเคมี (50%) (T3)ร่วมกับปุ๋ยคอก ในช่วงสิ้นสุดการทดลอง

Parameter	T1: 100%	T2: 75%	T3: 50%	C.V. (%)	F-test
LA (cm^2)	100.15±40.63	92.68±39.59	78.24±49.39	26.89	ns
Dw (g)	0.41±0.18	0.48±0.23	0.35±0.26	14.30	ns
Chl_a (mg cm^{-2})	13.61±2.58	13.70±3.41	12.75±2.63	15.47	ns
Chl_b (mg cm^{-2})	5.35±0.94	5.44±1.19	5.06±0.89	14.30	ns
Chl_{total} (mg cm^{-2})	19.28±3.63	19.46±4.72	18.09±3.62	14.49	ns
Carotenoid (mg cm^{-2})	2.89±0.57	2.93±0.73	2.71±0.56	15.47	ns
TNC (mg g^{-1} dry wt.)	2.10±0.39	5.10±2.15	3.17±0.84	19.38	ns
Total N (%)	3.60±0.08b	3.72±0.02a	3.36±0.01c	1.31	**
DW/LA	0.004±0.001	0.005±0.001	0.003±0.001	13.32	ns
N_a	0.15 ± 0.01ab	0.19 ± 0.01a	0.11 ± 0.01b	11.62	*
Chl_{total}/LA	0.05±0.01^{ns}	0.06±0.01	0.08±0.04	37.01	ns
Chl_a/Chl_b	2.54±0.08	2.46±0.14	2.57±0.02	15.50	ns
Chl_{total}/Carotenoid	6.68±0.06	6.65±0.06	6.68±0.05	20.3	ns
C/N ratio	3.39±0.18	5.01±1.27	4.30±0.57	19.19	ns

ns = ไม่แตกต่างทางสถิติ * = มีความแตกต่างทางสถิติอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่น 95 ($P \leq 0.05$) ** = มีความแตกต่างทางสถิติอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่น 99 ($P \leq 0.01$)

บทที่ 4

บทวิจารณ์

การทดลองที่ 1 การตอบสนองลักษณะสัณฐานและสรีรวิทยาของใบกาแฟโรบัสต้าภายใต้สภาพกลางแจ้งและพรางแสง

1.1 การเจริญเติบโตของต้นกาแฟโรบัสต้าในสภาพความเข้มแสงที่ต่างกัน

การพรางแสงทำให้ต้นกาแฟได้รับความเข้มแสงและอุณหภูมิผิวใบลดลง จึงส่งผลให้มีการเจริญเติบโตได้ดี แม้เป็นช่วงฤดูร้อน เช่นเดียวกับการเจริญเติบโตและการให้ผลผลิตภายใต้สภาพพรางแสงของโกโก้ (Osei-Bonsu *et al*., 2002) ส่วนในช่วงฤดูฝนการพรางแสงยังช่วยให้ต้นกาแฟมีความสูงต้นและความกว้างทรงพุ่มเพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญยิ่ง เนื่องจากในสภาพพรางแสงต้นกาแฟจะมีการยืดของลำต้นและขยายทรงพุ่มเข้าหาแสงมากขึ้น (ระวี และชนินทร์, 2558) สอดคล้องกับ การปลูกกาแฟร่วมกับไม้ยืนต้นที่มีร่มเงาปกคลุม เช่น มะคาเดเมีย ทำให้มีความสูงต้นมากกว่าและมีแนวโน้มให้ผลผลิตสูงกว่าการปลูกเชิงเดี่ยว (Perdona and Soratto, 2015) ดังนั้นต้นกาแฟในสภาพกลางแจ้ง จึงมีการเจริญเติบโตช้ากว่า เนื่องจาก สภาพที่มีปริมาณความเข้มแสงสูง มักทำให้ต้นกาแฟชะงักการเจริญเติบโต รวมถึงมีการทิ้งใบมากขึ้น (Morais *et al*., 2006)

1.2 การเปลี่ยนแปลงลักษณะสัณฐานและสรีรวิทยาของใบกาแฟโรบัสต้าต่อความความเข้มแสง

สำหรับลักษณะสัณฐานและสรีรวิทยาของใบ ต้นกาแฟสภาพพรางแสงมีแนวโน้มปรับตัวได้ดีทั้งในช่วงฤดูร้อนและฤดูฝน โดยมีพื้นที่ใบ น้ำหนักสดและแห้งของใบสูงกว่า เนื่องจากต้องการแสงสำหรับเพิ่มประสิทธิภาพในการสังเคราะห์แสง (Antonios *et al*., 2012) ร่วมถึงการเพิ่มปริมาณคลอโรฟิลล์และแคโรทีนอยด์ (Holwerda *et al*., 2012) จึงทำให้การสะสมคาร์โบไฮเดรตไนโตรเจน และคลอโรฟิลล์มากขึ้น ซึ่งสอดคล้องกับรายงานของ Batista และคณะ (2012) ในสภาพที่มีความเข้มแสงสูง ทำให้มีการสะสมปริมาณแป้งและน้ำตาลหรือคาร์โบไฮเดรตที่ไม่ได้อยู่ในรูปโครงสร้างลดลง เนื่องจากสภาพกลางแจ้งมีความเข้มแสงสูงเกินไป จึงส่งผลให้เกิดกระบวนการยับยั้งการสังเคราะห์แสงและการสร้างอาหารในใบกาแฟ ดังนั้น ความเข้มแสงในแต่ละฤดูกาล จึงมีผลต่อการเปลี่ยนแปลงของใบและการเจริญเติบโตของต้นกาแฟได้ โดยเฉพาะในช่วงฤดูร้อนที่มักมีอุณหภูมิเฉลี่ยรอบวันและความเข้มแสงสูง ซึ่งเป็นปัจจัยสภาพอากาศที่สำคัญ ที่จะมีผลกระทบโดยตรงต่อการเจริญเติบโตและส่งผลต่อลักษณะสัณฐานและสรีรวิทยาของใบกาแฟได้

การทดลองที่ 2 การเจริญเติบโต ลักษณะสัณฐานและสรีรวิทยาของใบกาแฟโรบัสต้าภายใต้สภาพร่มเงาสวนยางพารา

2.1 การเจริญเติบโตของต้นกาแฟโรบัสต้าในสภาพกลางแจ้งและร่มเงาสวนยางพารา

พัฒนาการของต้นกาแฟโรบัสต้าในสภาพกลางแจ้งมีการเจริญเติบโตได้ดีกว่าสภาพร่มเงาในสวนยางพารา โดยมีความสูงต้น ความกว้างทรงพุ่ม เส้นผ่านศูนย์กลางลำต้น และจำนวนใบมากกว่ากาแฟภายใต้สวนยางพาราอายุ 8 และ 16 ปี อย่างมีนัยสำคัญยิ่ง เนื่องจากปริมาณความเข้มแสงเป็นส่วนสำคัญในกระบวนการสังเคราะห์แสงและเจริญเติบโตทางลำต้น ดังนั้น กาแฟในสภาพกลางแจ้งได้รับปริมาณแสงอย่างเต็มที่ จึงทำให้มีการเจริญเติบโตได้ดี อย่างไรก็ตามพบว่า การปลูกกาแฟร่วมกับสวนยางพาราอายุ 8 ปี การเจริญเติบโตใกล้เคียงกับกาแฟสภาพกลางแจ้งมากที่สุด โดยทั่วไปกาแฟจะมีลักษณะสัณฐานวิทยาลำต้นตั้งตรงและแตกกิ่งแขนงเป็นทรงพุ่ม (Da Matta, 2004) แต่สภาพสวนยางพาราอายุ 8 ปี มีปริมาณความเข้มแสงต่ำ ต้นกาแฟจึงปรับตัวโดยเอียงหรือโน้มลำต้น รวมทั้งการแตกกิ่งเข้าหาแสงบริเวณพื้นที่แสงส่องผ่าน (ระวี และชนินทร์, 2558) และการศึกษาครั้งนี้ยังพบโรคราสนิมในกาแฟโรบัสต้าภายใต้ร่มเงาสวนยางพาราอายุ 8 ปี ซึ่งเกิดจากเชื้อ *Hemileia vastatrix* ในช่วงหน้าฝน ซึ่งมีสาเหตุมาจากความชื้นสัมพัทธ์ในอากาศสูง เนื่องจากในสวนยางพารามีอุณหภูมิอากาศต่ำ จึงส่งผลให้เกิดโรคเข้าทำลายใบกาแฟได้และทำให้ใบหลุดร่วงจากต้น (ศูนย์วิจัยและพัฒนากาแฟบนที่สูง, 2537)

2.2 พัฒนาการและการแข่งขันของรากกาแฟและรากยางพารา

กาแฟในสภาพสวนยางพารา จากการศึกษาพบว่า มีปริมาณของรากยางพาราหนาแน่น บริเวณโคนต้นกาแฟโรบัสต้า จึงทำให้ต้นกาแฟมีพัฒนาการทางลำต้นและความยาวรากต่ำในสภาพสวนยางพาราอายุ 8 และ 16 ปี โดยการปลูกกาแฟกลางแจ้งมีระบบรากดีกว่าภายใต้ไม้ยืนต้น เนื่องจากการปลูกพืชระบบวนเกษตรอาจมีผลต่อการแข่งขันรากหรือแก่งแย่งธาตุอาหาร จึงทำให้พืชร่วมไม่สามารถพัฒนาการรากได้อย่างมีประสิทธิภาพ (Defrenet *et al.*, 2016) ขณะที่ต้นยางพาราอายุ 16 ปี มีการเจริญเติบโตความยาวรากและขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางดีกว่าต้นกาแฟ ซึ่งเป็นต้นยางพาราในระยะเปิดกรีดและเก็บเกี่ยวผลผลิต ระบบรากจึงมีความสามารถในการหาน้ำและสารอาหารไปหล่อเลี้ยงลำต้นได้ดี (Chairungsee *et al.*, 2013) ขณะที่กาแฟในสภาพกลางแจ้งมีความยาวรากมากที่สุดเมื่อเทียบกับกาแฟภายใต้สวนยางพารา เนื่องจากการปลูกกาแฟสภาพกลางแจ้งเป็นพืชเชิงเดี่ยวทำให้การเจริญทางลำต้นดีกว่าสภาพในสวนยางพารา ดังนั้นความยาวรากกาแฟโรบัสต้ายิ่งเพิ่มขึ้นส่งผลต่อการเจริญเติบโตทางลำต้นได้ดีขึ้น

2.3 การตอบสนองและการปรับตัวลักษณะสัณฐานและสรีรวิทยาของใบกาแฟโรบัสต้าในสภาพกลางแจ้งและภายใต้สวนยางพาราอายุ 8 และ 16 ปี

จากการประเมินพื้นที่ใบและปริมาณไนโตรเจนทั้งหมดของใบกาแฟโรบัสต้า ในปี พ.ศ. 2558 (2015) พบว่า กาแฟในสภาพสวนยางพาราอายุ 8 ปี มีค่ามากกว่าทรีตเมนต์อื่นๆ ขณะที่ปริมาณคลอโรฟิลล์ เอ คลอโรฟิลล์ บี แคโรทีนอยด์ คาร์โบไฮเดรต สัดส่วนคลอโรฟิลล์ต่อพื้นที่ใบและสัดส่วนคาร์โบไฮเดรตต่อไนโตรเจน พบว่า กาแฟโรบัสต้าสภาพกลางแจ้งมีปริมาณสูงกว่าทรีตเมนต์อื่นๆ เนื่องจากมีสภาพแสงที่เพียงพอต่อการเจริญเติบโตและความสมบูรณ์ของใบ จึงส่งผลต่อลักษณะสัณฐานและสรีรวิทยาของใบกาแฟได้ดี (Jaramillo-Botero *et al.*, 2010) แต่ในสภาพสวนยางพาราอายุ 8 และ 16 ปี กาแฟมีค่าลักษณะสัณฐานและสรีรวิทยาของใบค่อนข้างต่ำ โดยในปี พ.ศ. 2559 (2016) มีแนวโน้มปริมาณคลอโรฟิลล์ลดลง เพราะคลอโรฟิลล์เป็นส่วนหนึ่งในการดูดซับแสง เพื่อสร้างแป้งและน้ำตาล (Franck and Vaast, 2009) อย่างไรก็ตาม กาแฟในสวนยางพาราอายุ 8 ปี มีจำนวนใบน้อยกว่าสภาพกลางแจ้ง แต่มีการปรับตัวเพิ่มพื้นที่ใบและลดความหนาใบลงต่อหนึ่งหน่วยใบ เนื่องจากสภาพความเข้มแสงต่ำทำให้พืชปรับตัวเพิ่มประสิทธิภาพรับแสงให้มากขึ้น พร้อมมีการเพิ่มปริมาณคลอโรฟิลล์ต่อหน่วยพื้นที่ใบให้สูงขึ้น สำหรับกระบวนการสังเคราะห์แสงให้มีประสิทธิภาพมากขึ้น (Silva *et al.*, 2004)

ขณะเดียวกันในช่วงปี พ.ศ. 2559 (2016) ต้นกาแฟอาจได้รับผลกระทบจากสภาวะ Heat stress ซึ่งมีสาเหตุมาจากอุณหภูมิอากาศสูงและความยาวนานของฤดูร้อน (Da Matta and Ramalho, 2006) และมีปริมาณน้ำฝนสะสมในช่วงเดือนมกราคม – เมษายน พ.ศ. 2559 น้อยกว่าปีก่อนหน้า จึงส่งผลต่อปริมาณคลอโรฟิลล์ทั้ง 3 ทรีตเมนต์ ลดลงอย่างเห็นได้ชัด รวมถึงสภาพสวนยางพาราอายุ 8 และ 16 ปี มีการผลัดใบ จึงทำให้แสงและอุณหภูมิอากาศในสวนยางพาราเพิ่มสูงขึ้น ดังนั้นจากการเปลี่ยนแปลงลักษณะสัณฐานและสรีรวิทยาของใบ จึงสามารถประเมินประสิทธิภาพของใบต่อหนึ่งหน่วยพื้นที่ใบในการสังเคราะห์แสง เพื่อสร้างคาร์โบไฮเดรต แป้ง และน้ำตาล ที่จะมีผลต่อการเจริญเติบโตทางลำต้นในกาแฟโรบัสต้าได้ (Koike *et al.*, 2000) แสดงให้เห็นว่าลักษณะสัณฐานและสรีรวิทยาใบที่มีประสิทธิภาพเหมาะสม เช่น ไนโตรเจนและปริมาณคาร์โบไฮเดรตในใบที่มีปริมาณมากบ่งบอกถึงความสามารถสังเคราะห์แสงและส่งเสริมต่อศักยภาพการเจริญเติบโตได้ดี รวมถึงใบเป็นสิ่งหนึ่งที่บ่งบอกหรือแสดงลักษณะการปรับตัวภายใต้สวนยางพาราได้เป็นอย่างดี

2.4 การเจริญเติบโตของยางพาราและองค์ประกอบชีวเคมีในน้ำยางที่ปลูกกาแฟเป็นพืชร่วม

ขนาดเส้นรอบวงลำต้นในยางพาราอายุอายุ 16 ปี มีเส้นรอบวงมากกว่ายางพาราอายุ 8 ปี เมื่อเปรียบเทียบกับงานวิจัยยางพาราอายุใกล้เคียงกันทั้ง 2 อายุ มีขนาดเส้นรอบวงใกล้เคียงกัน ดังนั้นการปลูกกาแฟโรบัสต้าร่วมยางพารา จึงไม่มีผลกระทบต่อการเจริญเติบโตทางลำต้นของยางพาราทั้ง 2 อายุ ขณะที่ดัชนีพื้นที่ใบใต้ทรงพุ่มของยางพาราเปลี่ยนแปลงตามสภาพภูมิอากาศในรอบปีในจังหวัดสตูล โดยในเดือนกันยายน พ.ศ. 2558 (2015) ยางพาราอายุ 8 ปี มีดัชนีพื้นที่ใบมากกว่ายางพาราอายุ 16 ปี ซึ่งสภาพอากาศในเดือนกันยายนมีปริมาณน้ำฝนมากสุด รวมถึงอุณหภูมิสูงสุดมีค่าน้อยสุด เมื่อเทียบกับเดือนอื่นๆ ในช่วงการทดลอง แสดงถึงลักษณะทรงพุ่มของยางพาราที่หนาแน่น (เจษฎา และคณะ, 2551) จึงทำให้ปริมาณความเข้มแสงและอุณหภูมิอากาศรายชั่วโมงในสวนยางพาราอายุ 8 ปี มีค่าต่ำ ขณะที่ความชื้นสัมพัทธ์ในอากาศและความชื้นดินมีเปอร์เซ็นต์สูง จึงมีผลให้การกระจายตัวของรากยางพารา (Root distribution) ดีขึ้น (Maeght *et al*., 2015) โดยสูงสุดในเดือนธันวาคม พ.ศ. 2558 ส่งผลกระทบต่อการเจริญเติบโตของรากกาแฟโรบัสต้าอย่างเห็นได้ชัด ต่อมาในช่วงต้นปี พ.ศ. 2559 (2016) มีค่าดัชนีพื้นที่ใบต่ำ เนื่องจากสภาพแวดล้อมมีอุณหภูมิอากาศสูงและปริมาณน้ำฝนสะสมน้อย ส่งผลให้ยางพาราทิ้งใบในช่วงนี้ ซึ่งพบยางพาราอายุ 16 ปี ทิ้งใบก่อนในเดือนมกราคม ขณะที่ยางพาราอายุ 8 ปี ทิ้งใบในเดือนกุมภาพันธ์ ดังนั้นการลำเลียงสารอาหารจากใบมาสะสมบริเวณลำต้น จึงส่งผลให้ปริมาณซูโครส (Sucrose) สูงขึ้น (Sreelatha *et al*., 2007) ในเดือนมกราคม และกุมภาพันธ์ ส่วนปริมาณอนินทรีย์ฟอสฟอรัส (Inorganic phosphorus) รีดิวซ์ไธออล (Reduced thiol) และเปอร์เซ็นต์เนื้อยางแห้ง ยางพาราอายุ 8 ปี มีการสะสมมากกว่ายางพาราอายุ 16 ปี เพราะสภาพต้นยางพาราอายุ 8 ปี ไม่มีการเปิดกรีดทำให้มีสารอาหารสะสมได้มากกว่า ขณะที่ยางพาราอายุ 16 ปี มีการเปิดกรีดทำให้สารอาหารออกไปในรูปผลผลิตน้ำยางจากลำต้นและสารอาหารบางส่วนช่วยซ่อมแซมรอยแผลบริเวณลำต้น (Silpi *et al*., 2007)

นอกจากนี้ ธาตุอาหารในใบยางพาราอายุ 8 ปี มีปริมาณไนโตรเจน ฟอสฟอรัส โพแทสเซียม แคลเซียม และแมกนีเซียม มีแนวโน้มมากกว่ายางพาราอายุ 16 ปี ขณะที่สัดส่วนคาร์โบไฮเดรตต่อไนโตรเจนในยางพาราอายุ 16 ปี สูงกว่า เนื่องจากการนำสารอาหารจากใบไปใช้ในส่วนลำต้นได้ดีกว่าหรือนำไปซ่อมแซมส่วนที่เป็นรอยแผล จากการเก็บเกี่ยวผลผลิตน้ำยาง (ระวี และวิทยา, 2556) เช่นเดียวกับ จีรยุทธ และสายัณห์ (2552) ที่ศึกษาระบบกรีดในยางพาราอายุ 7 ปี พบว่า เมื่อทำการเปิดกรีดลำต้นมีค่าลดลง โดยยางพาราอายุ 8 ปี มีปริมาณซูโครสแนวโน้มสูงกว่า ขณะที่ปริมาณคาร์โบไฮเดรตที่ไม่ได้อยู่ในรูปโครงสร้างบริเวณเปลือกไม้ มีค่าต่ำกว่ายางพาราที่ทำการเปิดกรีด

การทดลองที่ 3 การให้ปุ๋ยเคมีและปุ๋ยอินทรีย์ต่อการเจริญเติบโตของต้นกาแฟโรบัสต้าที่ปลูกร่วมกับสวนยางพาราระยะก่อนเปิดกรีด

3.1 ผลการให้ปุ๋ยเคมีและปุ๋ยคอกต่อการเจริญเติบโตของกาแฟโรบัสต้าภายใต้สวนยางพาราอายุ 8 ปี

ผลการศึกษาแสดงให้เห็นว่า กาแฟโรบัสต้าสามารถเจริญเติบโตได้ดีภายใต้สภาพร่มเงาสวนยางพารา เช่นเดียวกับภายใต้สภาพแวดล้อมการปลูกกาแฟร่วมกับไม้ยืนต้นอื่นๆ (Da Matta, 2004) เมื่อมีการให้ปุ๋ยแก่ต้นกาแฟโรบัสต้า พบว่า การให้ปุ๋ยเคมี (100%) สามารถช่วยกระตุ้นการเจริญเติบโตได้ดี โดยเฉพาะความสูงต้น ส่วนการให้ปุ๋ยเคมี (75%) ร่วมกับปุ๋ยคอก พบว่า สามารถช่วยกระตุ้นทำให้มีจำนวนใบและเปอร์เซ็นต์การแตกใบมากขึ้น (Isabeli *et al.*, 2011) เช่นเดียวกับการให้ปุ๋ยเคมีและอินทรีย์แก่ต้นกาแฟอาราบิก้า ซึ่งทำให้มีเปอร์เซ็นต์การแตกใบได้มากขึ้น และส่งผลต่อพัฒนาการทางลำต้นได้ดีขึ้น (Chemura, 2014) โดยปุ๋ยอินทรีย์มีคุณสมบัติฟื้นฟูสภาพดินและปรับปรุงโครงสร้างดินได้ดี จึงมีส่วนช่วยการดูดซึมธาตุอาหารของรากได้อย่างมีประสิทธิภาพ (บัญชา, 2552) อย่างไรก็ตาม การเจริญเติบโตของต้นกล้ากาแฟโรบัสต้าได้รับผลกระทบจากสภาวะแล้งต่อเนื่องยาวนาน ตั้งแต่ช่วงเดือนธันวาคม 2558 จนถึง เมษายน พ.ศ. 2559 ซึ่งมีปริมาณน้ำฝนน้อยและมีค่าระเหยของน้ำสูง ส่งผลให้ต้นกาแฟโรบัสต้าในสภาพสวนยางพาราชะงักการเจริญเติบโต ทำให้มีการร่วงของใบ และมีความกว้างทรงพุ่มลดลง

จากพัฒนาการของรากที่ระดับความลึก 0 - 40 เซนติเมตร พบว่า การให้ปุ๋ยเคมี (100%) สามารถกระตุ้นให้ต้นกล้ากาแฟโรบัสต้ามีการแตกรากใหม่ได้ดี ซึ่งเป็นการช่วยให้ต้นกล้าสามารถหาธาตุอาหารและปริมาณน้ำในดินได้ดีขึ้น จนมีพัฒนาการด้านความยาวรากมากกว่าการได้รับปุ๋ยคอกร่วมกับปุ๋ยเคมี (Padovan *et al.*, 2015) อย่างไรก็ตาม การให้ปุ๋ยเคมีร่วมกับปุ๋ยคอกมีส่วนช่วยการกระตุ้นการสร้างรากฝอยต้นกล้ายางพาราได้มากขึ้น จึงเป็นการช่วยลดต้นทุนการใช้ปุ๋ยเคมีได้อย่างมีประสิทธิภาพด้วย (ระวี และคณะ, 2550) ทั้งนี้ ค่าความหนาแน่นและความยาวรากสามารถใช้เป็นดัชนีชี้วัดการเจริญเติบโตของรากได้ โดยทั่วไปความหนาแน่นและความยาวรากพบมากบริเวณชั้นผิวดินที่ระดับความลึก 30 เซนติเมตร ซึ่งมีผลต่อประสิทธิภาพในการดูดซึมธาตุอาหาร (Burton *et al.*, 2000)

3.2 การให้ปุ๋ยเคมีและปุ๋ยอินทรีย์ต่อการตอบสนองลักษณะสัณฐานและสรีรวิทยาของใบกาแฟโรบัสต้า

ลักษณะสัณฐานและสรีรวิทยาของใบกาแฟโรบัสต้า พบว่า การให้ปุ๋ยเคมี (75%) ร่วมกับปุ๋ยคอกทำให้มีแนวโน้มการเพิ่มขนาดพื้นที่ใบและการสะสมปริมาณไนโตรเจนในใบสูงขึ้น จึงส่งผลให้มีสัดส่วนไนโตรเจนต่อพื้นที่ใบสูงขึ้น และมีผลต่อการเจริญเติบโตทางลำต้นของต้นกล้ากาแฟโรบัสต้า โดยเฉพาะการสะสมมวลแห้งของใบ และมีสัดส่วนมวลแห้งต่อพื้นที่ใบเพิ่มขึ้นในระยะต่อมา (Jaramillo-Botero *et al.*, 2010) ขณะเดียวกัน ยังส่งผลให้ใบมีปริมาณคลอโรฟิลล์และแคโรทีนอยด์สูงขึ้น ซึ่งมักมีความสัมพันธ์กับประสิทธิภาพสังเคราะห์แสงของใบในทรงพุ่ม (Pompelli *et al.*, 2010) โดยที่คลอโรฟิลล์เป็นส่วนหนึ่งในการดูดซับแสง เพื่อสร้างแป้งและน้ำตาล (Franck and Vaast, 2009) จึงส่งผลให้มีปริมาณคาร์โบไฮเดรตในใบกาแฟสูงขึ้น ดังนั้น การให้ปุ๋ยเคมีร่วมกับปุ๋ยคอกจึงนับว่าเป็นการส่งเสริมให้มีการเจริญเติบโตทางลำต้นของกาแฟโรบัสต้าแนวโน้มใกล้เคียงกับการให้ปุ๋ยเคมี (100%) เนื่องจากปุ๋ยคอกทำให้ดินมีคุณสมบัติดีขึ้น เช่น ทำให้ดินมีโครงสร้างที่ดีและร่วน อากาศถ่ายเทได้สะดวกและระบายน้ำดี (บัญชา, 2552) สอดคล้องกับการใช้ปุ๋ยอินทรีย์รูปแบบต่างๆ ร่วมกับปุ๋ยเคมี ทำให้ต้นกาแฟมีการเจริญเติบโตและผลผลิตเพิ่มขึ้น (Isabeli *et al.*, 2011) ขณะเดียวกัน การใช้แกลบกาแฟร่วมกับปุ๋ยเคมี ทำให้ต้นกาแฟมีการเจริญเติบโตด้านจำนวนใบมากขึ้น และส่งผลให้มีผลผลิตต่อไร่เพิ่มขึ้น (สุรีรัตน์ และปานหทัย, 2553) ส่วนการใช้ปุ๋ยคอกทำให้มีการเจริญเติบโตของกาแฟด้านการแตกกิ่ง จำนวนใบ และพัฒนาการของลำต้นเพิ่มขึ้นเร็วกว่าปกติ (Kiyingi and Gwali, 2012) อย่างไรก็ตาม ในสภาพร่มเงาต้นกาแฟโรบัสต้ามักมีการเปลี่ยนแปลงลักษณะสัณฐานวิทยาของใบ และการปรับตัวลักษณะโครงสร้างของทรงพุ่ม สอดคล้องกับการปลูกกาแฟโรบัสต้าในสภาพร่มเงาของสวนไม้ผลผสมผสาน กาแฟจะเอนเอียงลำต้นเข้าหาแสง เพื่อต้องการปริมาณความเข้มแสงต่อการเพิ่มประสิทธิภาพกระบวนการ (ระวี และชนินทร์, 2558) สังเคราะห์แสงหรือการปลูกกาแฟอาราบิก้าในสภาพร่มเงา ใบกาแฟมีขนาดพื้นที่ใบมากกว่าใบสภาพกลางแจ้ง (Jaramillo-Botero *et al.*, 2010)

ดังนั้น การให้ปุ๋ยเคมีร่วมกับปุ๋ยคอกแก่ต้นกาแฟโรบัสต้าในสภาพร่มเงาสวนยางพารา นอกจากเป็นการช่วยให้ต้นกาแฟโรบัสต้ามีแนวโน้มเจริญเติบโตได้ดี เช่นเดียวกับภายใต้สภาพแวดล้อมการปลูกกาแฟร่วมกับไม้ยืนต้นอื่นๆ (Da Matta, 2004) ยังเป็นการช่วยลดต้นทุนปุ๋ยเคมีได้ โดยยังคงมีการเจริญเติบโตใกล้เคียงกัน ทั้งนี้ ควรมีการศึกษาเพิ่มเติมถึงผลกระทบและการจัดการปุ๋ยของต้นกาแฟโรบัสต้าที่ปลูกร่วมสวนยางพาราในระยะหลังเปิดกรีดด้วย เพื่อประโยชน์ด้านประสิทธิภาพการปลูกพืชร่วมในสวนยางพาราแก่เกษตรกรต่อไปได้

ความเป็นไปได้ในการปลูกกาแฟโรบัสต้าภายใต้สวนยางพารา

ศักยภาพการเจริญเติบโตของกาแฟโรบัสต้าภายใต้สภาพร่มเงามีปัจจัยหลายๆ ปัจจัยเป็นตัวกำหนด เช่น สภาพความเข้มแสง การจัดการปุ๋ย และปฏิสัมพันธ์ราก ทำให้กาแฟโรบัสต้าในสภาพพรางแสง (50%) มีการเจริญเติบโตได้ดี รวมถึงมีการปรับตัวลักษณะสัณฐานและสรีรวิทยาของใบดีกว่าสภาพกลางแจ้ง ขณะที่การปลูกกาแฟโรบัสต้าร่วมกับสวนยางพารามีการเจริญเติบโตน้อยกว่ากาแฟสภาพเชิงเดี่ยว และมีการปรับตัวทางนิเวศสรีรวิทยาได้ดี เช่น การขยายพื้นที่ใบ และการเอนเอียงลำต้นเข้าหาแสง อย่างไรก็ตามหากมีการให้ปุ๋ยเคมีและปุ๋ยอินทรีย์กาแฟภายใต้สวนยางพาราทำให้แนวโน้มเจริญเติบโตได้ดีกว่าการให้ปุ๋ยเคมีเพียงอย่างเดียว รวมถึงช่วยประหยัดต้นทุนปุ๋ยเคมีและช่วยปรับปรุงโครงสร้างของดินในสวนยางพารา ดังนั้น การปลูกกาแฟโรบัสต้าภายใต้สวนยางพาราควรคำนึงถึงการศึกษาการจัดการสวนยางพาราที่รองรับการปลูกพืชร่วมและควรมีการศึกษารูปแบบการจัดระยะปลูกที่ไม่ส่งผลกระทบต่อการเจริญเติบโตและการให้ผลผลิตของกาแฟโรบัสต้า

บทที่ 5

สรุป

กาแฟในสภาพพรางแสงมีการเจริญเติบโตทางลำต้นดีกว่ากาแฟสภาพกลางแจ้ง ได้แก่ ความสูงต้น ความกว้างทรงพุ่ม และจำนวนใบ นอกจากนี้ลักษณะสัณฐานและสรีรวิทยาของใบ ได้แก่พื้นที่ใบ น้ำหนักแห้งและปริมาณไนโตรเจนในใบในสภาพพรางแสงมีค่าสูงเช่นเดียวกัน

การปลูกกาแฟในสวนยางพาราอายุ 8 ปี มีการปรับตัวทางด้านลักษณะสัณฐานและสรีรวิทยาของใบดีกว่าสภาพอื่นๆ ได้แก่ พื้นที่ใบ ปริมาณคลอโรฟิลล์และแคโรทีนอลย์ ขณะที่การเจริญเติบโตลำต้นกลับ พบว่า การปลูกกาแฟสภาพกลางแจ้งให้ผลดีที่สุด ได้แก่ ความกว้างทรงพุ่ม เส้นผ่านศูนย์กลางลำต้น และพัฒนาการรากกาแฟดีกว่ากาแฟในสวนยางพารา ซึ่งต้นยางพารามีการกระจายตัวของราก ส่งผลต่อพัฒนาการรากของกาแฟ จึงทำให้การเจริญเติบโตน้อยกว่ากาแฟสภาพกลางแจ้ง ดังนั้นกาแฟโรบัสต้าไม่เหมาะสมต่อการปลูกในสภาพสวนยางพาราที่อายุ 8 และ 16 ปี

การให้ปุ๋ยเคมี (15-15-15) (75%) ร่วมกับปุ๋ยอินทรีย์แก่กาแฟที่ปลูกภายใต้สวนยางพารา ส่งผลให้มีจำนวนใบ เปอร์เซ็นต์การแตกใบ และปริมาณไนโตรเจนในใบสูงขึ้นกว่าการให้ปุ๋ยเคมีเพียงอย่างเดียว อย่างไรก็ตาม การลดปริมาณปุ๋ยเคมีอาจทำให้ต้นกาแฟโรบัสต้ามีพัฒนาทางความสูงและความยาวรากลดลงได้

เอกสารอ้างอิง

กรมการค้าภายใน. 2558. ราคารับซื้อเมล็ดกาแฟ. เข้าถึงได้จาก: http://www.dit.go.th/Chumpon/contentdet.asp?deptid=67&catid=167&id=670. (เข้าถึงเมื่อวันที่ 11 พฤศจิกายน 2558)

กรมพัฒนาที่ดิน. 2559. การจัดการดินจังหวัดสตูล. เข้าถึงได้จาก: http://osl101.ldd.go.th/soilgr_man/south/m_stn.htm (เข้าถึงเมื่อวันที่ 10 มกราคม พ.ศ. 2560)

กรมวิชาการเกษตร. 2553. การจัดการความรู้เทคโนโลยีการผลิตกาแฟครบวงจร. กรุงเทพฯ: ห้างหุ้นส่วนจำกัดรักษ์พิมพ์.

กรมวิชาการเกษตร. 2558. หนทางสู่การเป็นศูนย์กลางการแปรรูปกาแฟของ AEC. เข้าถึงได้จาก: http://www.doa.go.th/pibai/pibai/n15/v_9-oct/kayaipon.html. (เข้าถึงเมื่อวันที่ 6 ตุลาคม 2558)

กรมส่งเสริมการเกษตร. 2558. ห้องสมุดความรู้เกษตร “ยางพารา”. เข้าถึงได้จาก: http://www.doae.go.th/library/html/putsetakit/yangpara.pdf (เข้าถึงเมื่อวันที่ 1 สิงหาคม 2558)

กษมา เชิงฉลาด, จรัสศรี นวลศรี และสายัณห์ สดุดี. 2555. ศึกษาการเจริญเติบโตของรากต้นกล้ายางพาราพันธุ์ดั้งเดิมเพื่อใช้เป็นต้นตอด้วยเทคนิคไรโซตรอน. วารสารเกษตรพระจอมเกล้า 30: 78-86.

การยางแห่งประเทศไทย. 2558. ประวัติยางพารา. เข้าถึงได้จาก: http://www.rubber.co.th/rubber2012/menu5.php. (เข้าถึงเมื่อวันที่ 6 ตุลาคม 2558)

จิตติยา สุระนรากุล, ธนพัฒน์ สุระนรากุล และเสาวคนธ์ เหมวงษ์. 2555. การเปรียบเทียบต้นทุนและ ผลตอบแทนของเกษตรกรที่ปลูกผักระหว่างการใช้ปุ๋ยมูลกระบือและปุ๋ยเคมี. วารสารแก่นเกษตร 40: 135-144.

จีรยุทธ ดาเระสาและ และสายัณห์ สดุดี. 2552. การศึกษาเปรียบเทียบระหว่างระบบกรีดสองรอยกรีด (DCA) กับระบบกรีดของสวนยางขนาดเล็กที่อำเภอนาหม่อม จังหวัดสงขลา. วารสารมหาวิทยาลัยทักษิณ 12: 38-46.

เจษฎา โสภารัตน์, เชาวน์ ยงเฉลิมชัย และสายัณห์ สดุดี. 2551. การประยุกต์ใช้ภาพดาวเทียม SPOT-5 เพื่อประเมินดัชนีพื้นที่ใบของยางพารากรณีศึกษาอำเภอนาหม่อม จังหวัดสงขลา. วารสารเทคโนโลยีอวกาศและภูมิสารสนเทศ 9: 76-84.

จำนงค์ จุลเอียด, พรชุลีย์ นิลวิเศษ, บาเพ็ญ เขียวหวาน และสมจิต โยธะคง. 2558. รูปแบบการส่งเสริมเพื่อการพึ่งพาตนเองของเกษตรกรชาวสวนยางในจังหวัดชายแดนภาคใต้. วารสารมหาวิทยาลัยนราธิวาสราชนครินทร์ 7: 135-144.

จำเป็น อ่อนทอง. 2560. การวิเคราะห์ดินและพืช. สงขลา: โรงพิมพ์ดิจิตอลคณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์.

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

นุชนารถ กังพิศดาร. 2547. การใช้ปุ๋ยและการปรับปรุงดินในสวนยาง. กรุงเทพ: สถาบันวิจัยยาง กรมวิชาการเกษตร.

บัญชา รัตนีทู. 2555. ปุ๋ยอินทรีย์กับการปรับปรุงดินเสื่อมคุณภาพ. วารสารวิจัยมหาวิทยาลัยนราธิวาส-ราชนครินทร์ 4: 115-127.

บัญชา สมบูรณ์สุข, ปริญญา เฉิดโฉม, ปรัตถ พรหมมี และรจเรข หนูสังข์. 2548. การปรับตัวทางเศรษฐกิจและสังคมของเกษตรกรชาวสวนยางในระบบการทำฟาร์มสวนยางพาราขนาดเล็กเพื่อการพัฒนาคุณภาพชีวิต สิ่งแวดล้อม และเศรษฐกิจครัวเรือนในภาคใต้ ประเทศไทย. รายงานการสัมมนาวิชาการระบบเกษตรแห่งชาติ ครั้งที่ 3 ณ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่ 9-11 พฤศจิกายน 2548. หน้า 95-109.

ปฏิญญา สระกวี, สายัณห์ สดุดี และปราโมทย์ แก้ววงศ์ศรี. 2553. ผลของระบบการปลูกพืชร่วมต่อการเจริญเติบโตและผลผลิตของลองกองและยางพารา. รายงานการสัมมนาวิชาการระบบเกษตรแห่งชาติ ครั้งที่ 6 ณ โรงแรมเจบี อำเภอหาดใหญ่ จังหวัดสงขลา. 16-18 สิงหาคม 2553 หน้า 89-99.

ปณวัตร สิขัณฑกสมิต, อุณารุจ บุญประกอบ และรัติยา พงศ์พิสุทธา. 2557. การระบาดของโรคราสนิมและความต้านทานของพืชในประเทศไทย. แก่นเกษตร 42: 668-673.

ปรัชญา รัศมีธรรมวงศ์. 2556. การเพาะปลูกและแปรรูปกาแฟสายพันธุ์อาราบิก้า โรบัสต้า. กรุงเทพฯ: เพชรกะรัตจำกัด.

พัชราภรณ์ รักชุม. 2552. การตอบสนองทางสรีรวิทยา ผลผลิตน้ำยาง และองค์ประกอบทางชีวเคมี ของน้ำยางของต้นยางพารา (*Hevea brasiliensis*) ภายใต้การจัดการให้น้ำ. วิทยานิพนธ์วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์.

พูนพิภพ เกษมทรัพย์, รวี เสรฐภักดี, เพ็น สายขุนทด, เจษฎา ภัทรเลอพงษ์ และพัชรียา บุญกอแก้ว. 2537. การประเมินปริมาณคลอโรฟิลล์จากความเขียวของใบพืชบางชนิดในประเทศไทย. รายงานการสัมมนาวิชาการของมหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ ครั้งที่ 32. ณ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ วิทยาเขตกาแพงแสน 3-5 กุมภาพันธ์ 2537. หน้า 114-129.

ธงชัย คาโคตร และนภาวรรณ เลขะวิพัฒน์. 2554. การใช้ปุ๋ยเคมีร่วมกับปุ๋ยอินทรีย์ในสวนยางพารา ภาคตะวันออกเฉียงเหนือ. วารสารยางพารา 32: 9-14.

ระวี เจียรวิภา และชนินทร์ ศิริขันตยกุล. 2558. การปรับตัวลักษณะฟีโนไทป์ของต้นกาแฟโรบัสต้า ภายใต้สวนไม้ผลผสมผสาน. วารสารวิทยาศาสตร์เกษตรศาสตร์ (พิเศษ) 46:433-436.

ระวี เจียรวิภา และวิทยา พรหมมี. 2556. ความสัมพันธ์ด้านอายุต่อปริมาณคาร์โบไฮเดรต ผลผลิตน้ำยาง ธาตุอาหารหลัก องค์ประกอบทางเคมี และคุณสมบัติเชิงกลและกายภาพของต้นยางพารา. แก่นเกษตร 18: 449-461.

ระวี เจียรวิภา และอิบรอเฮม ยีดำ. 2553. การเจริญเติบโตและผลผลิตของยางพาราในพื้นที่นาร้าง และพื้นที่ดอน. วารสารวิชาการเกษตร 28: 58-74.

รัตน์ติยา พวงแก้ว, เฉลิมพงษ์ ขาวช่วง, สุทัศน์ สุรวาณิช และสุจินต์ แม้นเหมือน. 2556. ศึกษาการปลูกพืชแซมยางของเกษตรกรจังหวัดบุรีรัมย์. วารสารมหาวิทยาลัยนครพนม 8: 285-288.

ไววิทย์ บูรณธรรม, ผลึก บารุงวงศ์, นิลรัตน์ โชติมณี และสุรพล สุขพนธ์. 2555. การปลูกไม้ป่าบางชนิดเป็นพืชร่วมในสวนยางพารา. เข้าถึงได้จาก: http://www.oard8.go.th/15y/index-15y.html. (เข้าถึงเมื่อ 4 ธันวาคม 2558)

ศูนย์วิจัยและพัฒนากาแฟบนที่สูง. 2537. การปลูกและกาแฟอาราบิก้าบนที่สูง. เชียงใหม่: มหาวิทยาลัยเชียงใหม่.

ศรันย์ หงษาครประเสริฐ, สุตเขตต์ นาคะเสถียร, เอ็จ สโรบล, สุเทพ ทองแพ, วันชัย จันทร์ประเสริฐ, สุดสายสิน แก้วเรือง, พรชัย เหลืองอาภาพงษ์ , ยุวลักษณ์ ขอประเสริฐ, ศักดิ์ศิลป์ โชติสกุล, สราวุธ รุ่งเมฆารัตน์, เฉลิมพล ภูมิไชย์, ธานี ศรีวงศ์ชัย, สุขุมาลย์ เลิศมงคล, ฐากร สายขุนทด, พงษ์ศักดิ์ เมืองสมบัติ และสุชาดา อ่ำเจริญ. 2555. การประเมินการเจริญเติบโตของปาล์มน้ำมัน 4 สายต้น (Clone) ภายใต้สภาพดินกรดกำมะถัน. รายงานประชุมวิชาการแห่งชาติ ครั้งที่ 9 ณ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ วิทยาเขตกำแพงแสน 6-7 ธันวาคม 2555 หน้า 2254-2261.

สถาบันวิจัยยาง. 2550. พืชแซม พืชร่วมเศรษฐกิจพอเพียงในสวนยาง. เข้าถึงได้จาก: http://www.rubberthai.com/news/newsinfo/2550/news_Nov50/news_1901. htm (เข้าถึงเมื่อวันที่ 8 ตุลาคม 2558)

สถาบันวิจัยยาง. 2556. การพัฒนาเทคโนโลยีการจัดการธาตุอาหารพืชสำหรับยางพาราเฉพาะพื้นที่. กรุงเทพฯ: โรงพิมพ์ชุมนุมสหกรณ์การเกษตรแห่งประเทศไทย.

สายัณห์ สดุดี, อิบรอเฮม ยีดำ และระวี เจียรวิภา. 2553. การปรับปรุงระบบกรีดเพื่อเพิ่มผลผลิตน้ำยางของยางพารา. สงขลา: มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์.

สายัณห์ สดุดี และธงชัย ไทรย้อย. 2555. การวิเคราะห์องค์ประกอบทางชีวเคมีในน้ำยาง. สงขลา: มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์.

สายทิพย์ ทิพย์ปาน. 2558. ผลของการรัดลำต้นและสารพาโคลบิวทราโซลต่อการชักนำการออกดอกและการแสดงออกของยีน GA20-oxidase ของลองกอง (*Aglaia dookkoo* Griff). วิทยานิพนธ์วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์.

สำนักงานคณะกรรมการกำกับการซื้อขายสินค้าเกษตรล่วงหน้า. 2558. AFET กับการเป็นศูนย์กลางซื้อขายล่วงหน้ายางพาราโลก . เข้าถึงได้จาก: http://www2.moc.go.th/ewtadmin/ewt/moc_web/ewt_news.php?nid=5630&filename=index (เข้าถึงเมื่อ 6 ตุลาคม 2558)

สำนักงานตลาดกลางยางพาราสงขลา. 2558. สถานการณ์ตลาดและราคายางประจำเดือนสิงหาคม. เข้าถึงได้จาก: http://www.rubberthai.com/rubberthai (เข้าถึงเมื่อวันที่ 6 ตุลาคม 2558)

สำนักงานพัฒนาการวิจัยการเกษตร. 2558. สภาพแวดล้อมที่เหมาะสมในการปลูกกาแฟ. เข้าถึงได้ จาก: http://www.arda.or.th/kasetinfo/south/coffee/controller/01-03.php (เข้าถึง เมื่อ 11 พฤศจิกายน 2558)

สำนักเศรษฐกิจการเกษตร. 2559. พื้นที่ปลูกยางของประเทศไทย. เข้าถึงได้จาก: http://www.rubberthai.com/statistic/stat_index.htm (เข้าถึงเมื่อวันที่ 6 ตุลาคม 2558)

สิริมาส วงศ์สุบรรณ, กฤษณา กฤษณพุกต์, และลพ ภวภูตานนท์. 2555. การใช้คลอโรฟิลล์มิเตอร์ประเมินระดับคลอโรฟิลล์และไนโตรเจนในใบส้มโอ. วารสารวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี 1: 41-50.

สุรีรัตน์ ปัญญาโตนะ และปานหทัย นพชินวงศ์. 2553. การพัฒนาระบบการผลิตกาแฟโรบัสต้าในเขตพื้นที่จังหวัดชุมพร. ชุมพร: ศูนย์วิจัยพืชสวนชุมพร.

เสาวนีย์ อาษากิจ. 2550. เปรียบเทียบทัศนคติและพฤติกรรมการบริโภคกาแฟคั่วบดและกาแฟสำเร็จรูปของผู้บริโภคในเขตกรุงเทพมหานครและปริมณฑล. วิทยานิพนธ์วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ.

โสภณ รองสวัสดิ์. 2553. การประเมินประสิทธิภาพระบบกรีดยางแบบสองหน้ากรีดในสวนยางพาราที่อำเภอหาดใหญ่ จังหวัดสงขลา. วิทยานิพนธ์วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์.

หทัยกานต์ นวลแก้ว, จักรกฤษณ์ พูนภักดีม, จุฑามาศ แก้วมโนม และจำเป็น อ่อนทอง. 2556. การใช้ปุ๋ยและแนวทางการจัดการดินปลูกยางพาราในที่ลุ่มและที่ดอนในจังหวัดสงขลา. วารสารมหาวิทยาลัยราชภัฏยะลา 8: 146-158.

Antonios, P., Ioannis, T., Georgios, S. and Stefanos, K. 2012. Effect of water deficit on leaf phenolic composition, gas exchange, oxidative damage and antioxidant activity of four Greek olive (*Olea europaea* L.) cultivars. Plant Physiology and Biochemistry 60: 1-11.

Asten, P.J.A., Wairegi, L.W.I., Mukasa, D. and Uringi, N.O. 2011. Agronomic and economic benefits of coffee–banana intercropping in Uganda's smallholder farming systems. Agricultural Systems 104: 326–334.

Caldwell, M.M. and Virginia, R.A. 1989. Field methods and instrumentation. *In* Plant Physiological Ecology, pp. 367-398. London: Chapman and Hall.

Chairungsee, N., Gay, F., Thaler, P., Kasemsap, P., Thanisawanyangkura, S., Chantuma, A. and Jourdan, C. 2013. Impact of tapping and soilwater status on fine root dynamics in a rubber tree plantation in Thailand. Frontiers in Plant Science 4: 1-11.

Chemura, A. 2014. The growth response of coffee (*coffee arabica* L) plants to organic manure, inorganic fertilizers and integrated soil fertility management under different irrigation water supply levels. Organic Waste Agricultural 3: 59-63.

Da Matta, F.M. 2004. Ecophysiological constraints on the production of shaded and unshaded coffe: A review. Field Crops Research 86: 99-114.

Da Matta, F.M. and Ramalho, J.D.C. 2006. Impacts of drought and temperature stress on coffee physiology and production: A review. Plant Physiology 18: 55-81.

Defrenet, E., Roupsard, O., Meersche, K.V., Charbonnier, F., Perez-Molina, J.P., Khac, E., Prieto, I., Stokes, A., Roumet, C., Rapidel, B., Filho, E.M.V., Vargas, V.J., Robelo, D., Barquero, A. and Jourdan, C. 2016. Root biomass, turnover and net primary productivity of a coffee agroforestry system in Costa Rica: effects of soil depth, shade trees, distance to row and coffee age. Annals of Botany 118: 833–851.

Doussan, C., Pierret, A., Garrigues, E. and Pages., L. 2006. Water uptake by plant roots: II – modeling of water transfer in the soil root-system with explicit account of flow within the root system comparison with experiments. Plant and Soil 283: 99-117.

Eriksson, H.L. Eklundh, K.H. and Lindroth, A. 2005. Estimating LAI in deciduous forest stands. Agricultural and Forest Meteorology 129: 27–37.

Franck, N and Vaast, P. 2009. Limitation of coffee leaf photosynthesis by stomatal conductance and light availability under different shade levels. Trees 23:761–769.

Guang, Z., Stanley, T.B. and Christina, E.W. 2006. Detecting and measuring fine roots in minirhizotron images using matched filtering and local entropy thresholding. Machine Vision and Applications 17: 265–278.

Haboudane, D.J.R., Miller, E., Patty, P.J., Zarco, T. and Strachan, I.B. 2004. Hyperspectral vegetation indices and novel algorithms for predicting green LAI of crop canopies: modeling and validation in the context of precision agriculture. Remote Sensing Environment 90: 337-352.

International Coffee Organization. 2015. The Current State of the Global Coffee Trade. [Online] Available: http://www.ico.org/monthly_coffee_ trade_stats.asp#sthash.AfyWvZ2z.dpuf. (aceessed on 13 December 2016)

Isabeli, P.B., Murray, J.U., Rafael, P.B., Osny O.S.B., Durval, D.N. and Klaus, R. 2011. Fertilizer nitrogen in fertigated coffee crop: Absorption changes in plant compartments over time. Field Crops Research 124: 369–377.

Jacob, J.L., Eschbach, J.M., Prevot, J.C., Roussel, D., Lacrotte, R., Chrestin, H. and Auzac, J.D. 1985. Physiological basis for latex diagnosis of functioning of the laticiferous system in rubber tree. Proceedings of International Rubber Conference, Kuala Lumpur, Malaysia, 4-10 October 1985, pp. 43-65.

Jacob, J.L., Prevot, J.C. and Kekwick, R.G.O. 1989. General metabolism of *Hevea brasiliensis* Latex. *In* Physiology of Rubber Tree Latex. (eds. J.D. Auzac and H. Chrestin), pp. 102-141. Florida: CRC Press.

Jacob, J.L., Lacrotte, R., Prevot, J.C., Clement, A., Chrestin, H., Pujade-Renaud, V., Montoro, P., Gohet, E., Gallois, R. and d, Auzac, J.D. 1997. The laticiferous system of Hevea brasiliensis: description functioning ethylene stimulation; The Latex Diagnosis and Clonal Typology for Modern Methods of Exploitation. Paper Presented The Biochemicaland Molecular Tools for Exploitation Diagnostic and Rubber Tree Improvement, Mahidol University Bangkok, 20-22 October 1997.

Jaramillo-Botero, C., Santos, R.H.S., Martinez, H.E.P., Cecon, P.R. and Fardin, M.P. 2010. Production and vegetative growth of coffee trees under fertilization and shade levels. Science Agriculture (Piracicaba, Braz.) 67: 639-645.

Jonckheere, I., Muys, B. and Coppin, P. 2005. Allometry and evaluation of in situ optical LAI determination in Scots pine: a case study in Belgium. Tree Physiology 25: 723-732.

Karine, D., Wagner, L., Werner, C., Paulo, C., Gustavo, A.B.K., Samuel, C.V. and Da Matta, F. 2012. Photosynthetic limitations in coffee plants are chiefly governed by diffusive factors. Trees 26: 459-468.

Kirkham, M.B., Grecu, S.J. and Kanemasu, E.T. 1998. Comparison of minirhizotron and soil-water-depletion method to determine maize and soybean root length and depth. European Journal of Agronomy 8: 117-125.

Kiyingi, I. and Gwali, S. 2012. Productivity and profitability of robusta coffee agroforestry systems in central Uganda. Uganda Journal of Agricultural Sciences 13: 85-93.

Koike, T., Kitao, M., Maruyama, Y., Mori, S. and Lei, T.T. 2000. Leaf morphology and photosynthetic adjustments among deciduous broad-leaved trees within the vertical canopy profile. Tree Physiology 21: 951–958.

Leonor, G.G., Ana, V.I., Chavesb, C., Pinheirob, D., Vagner, Q., Jenny, R.C. and Ricardob, P. 2014. Effect of greenhouse conditions on the leaf apoplastic proteome of *Coffea arabica* plants. Journal of Proteomics 57: 1-12.

Liu, X.P., Fan, Y.Y., Long, J.X., Wei, R.F., Kjelgren, R.G., Gong, C.M. and Zhao, J. 2013. Effects of soil water and nitrogen availability on photosynthesis and water use efficiency of (*Robinia pseudoacacia*) seedlings. Journal of Environmental Sciences 25: 585–595.

Loh, F.C., Grabosky, J.C. and Bassuk, N.L. 2002. Using the SPAD 502 meter to assess chlorophyll and nitrogen content of Benjamin Fig and Cottonwood Leaves. Horticulture Technology 12: 682-686.

Lynon, F. 1969. Biochemical problems of rubber synthesis. Journal of The Rubber Research Institute of Malaysia 21: 389-406.

Marcos, J. and Rogerio, P. 2015. Higher yield and economic benefits are achieved in the macadamia crop by irrigation and Intercropping with coffee. Science Horticulture 185: 59-67.

Maeght, J.L., Gonkhamdee, S., Clement, C., Na Ayutthaya, S.I., Stokes, A. and Pierret, A. 2015. Seasonal patterns of fine root production and turnover in a mature rubber tree (*Hevea brasiliensis* Müll. Arg.) stand-differentiation with soil depth and implications for soil carbon stocks. Frontiers in Plant Science 6: 1022-1033.

Maestri, M. and Barros, R.S. 1977. Coffee in eco-physiology of tropical crops. (eds. Alvim, P.T. and T.T. Kozlowski), pp. 249-273. New York: Academic Press.

Moran, O. 1982. Formulae for determination of chlorophyllous pigments extracted with *N,N*-Dimethylformamide. Plant Physiology 69: 1376-1381.

Netsere, A. and Kufa, T. 2015. Intercropping of arabica coffee with turmeric (*Curcuma longa*) and ginger (*Zingiber officinale* Rose) at Tepi. Journal of Biology, Agriculture and Healthcare 5: 65-69.

Osborne, D.R. and Voogt, P. 1978. Calculation of caloric value. *In* Analysis of Nutrients in Foods (ed. Osborne), PP. 130-154. New York: Academic Press.

Partelli, F.L., Araújo, A.V., Vieira, H.D., Machado, D.J.R., Tavares de Menezes L.F. and Ramalho, J.C. 2014. Microclimate and development of 'Conilon' coffee intercropped with rubber trees. Brazilian Agriculture 49: 872-881.

Pompelli, M.F., Martins, S.C.V., Antunes, W.C., Chaves, A.R.M. and DaMatta, F.M. 2010. Photosynthesis and photoprotection in coffee leaves is affected by nitrogen and light availabilities in winter conditions. Plant Physiology 167: 1052–1060.

Rafael, P.B., Isabeli, P.B., Klaus, R., Luís, C.T., Telmo, J.C.A. and Ademir, O.F. 2012. Nitrogen fertilizer (15N) leaching in a central pivot fertigated coffee crop. Agriculture and Biological Sciences 59: 466-475.

Silpi, U., Lacointe, A., Kasempsap, P., Thanysawanyangkura, S., Chantuma, P., Gohet, E., Musigamart, N., Clement, A., Ameglio, T. and Thaler, P. 2007. Carbohydrate reserves as a competing sink: evidence from tapping rubber trees. Tree Physiology 27: 881–889.

Silva, E.A., DaMatta, F.M., Ducatti, C., Regazzi, A.J. and Barros, R.S. 2004. Seasonal changes in vegetative growth and photosynthesis of Arabica coffee trees. Field Crops Research 89: 349–357.

Soto-Pinto, L., Perfecto, I. and Caballero-Nieto, J. 2002. Shade over coffee: its effects on berry borer, leaf rust and spontaneous herbs in Chiapas. Mexico. Agroforestry Systems 55: 37-45.

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. Rubber Research 10: 107-115.

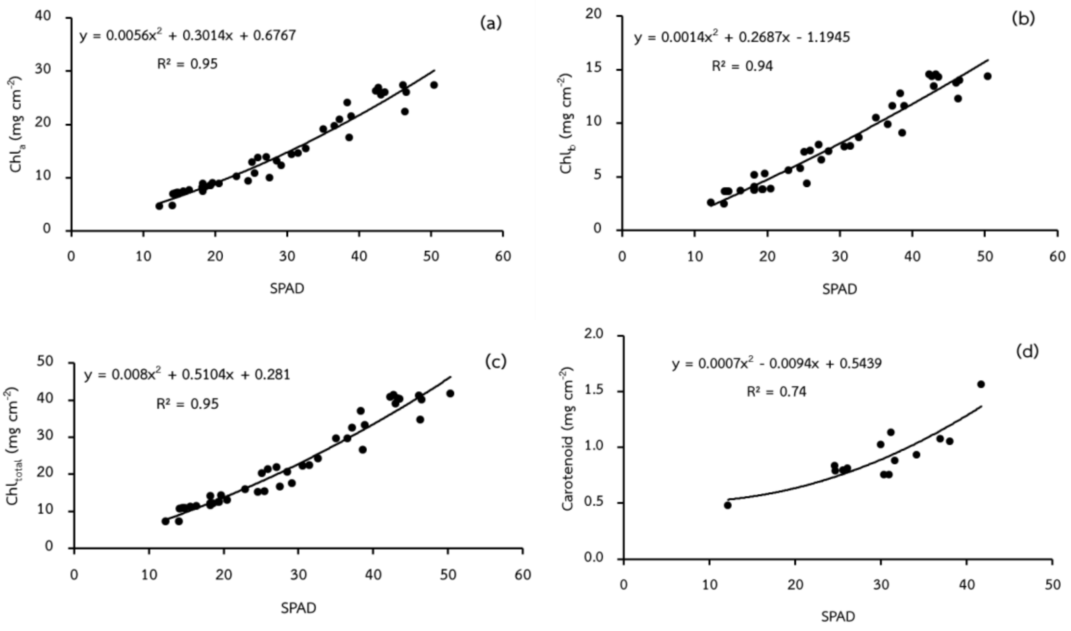
Tianxiang, L., Ronald, N.P., Hanqin, T., Charles, V.J., Huazhong, Z., and Shirong, L. 2002. A model for seasonality and distribution of leaf area index of forests and its application to China. Journal of Vegetation Science 13: 817-830.

Turner, D.P., Cohen, R.E., Kennedy, K.S. and Briggs, J.M. 1999. Relationships between leaf area index and Landsat TM spectral vegetation indices across three temperate zone sites. Remote Sensing 70: 52-68.

Wellburn, A.R. 1994. The spectral determination of chlorophylls *a* and *b*, as well as total carotenoids, using various solvents with spectrophotometers of different resolution. Plant Physiology 144: 307-313.

Xavier, A.C. and Vettorazzi, C.A. 2003. Leaf area index of group covers in a subtropical watershed. Science Agriculture 60: 425-431.

ภาคผนวก



ภาพภาคผนวกที่ 1 ความสัมพันธ์ของคลอโรฟิลล์ เอ (a) คลอโรฟิลล์ บี (b) คลอโรฟิลล์ทั้งหมด (c) และแคโรทีนอยด์ (d) (mg cm^{-2}) ต่อเครื่องวัดคลอโรฟิลล์มิเตอร์ (SPAD-502 Plus)

ประวัติผู้เขียน

ชื่อ สกุล นายพงศกร สุธีกาญจโนทัย

รหัสประจำตัวนักศึกษา 5810620059

วุฒิการศึกษา

วุฒิ	ชื่อสถาบัน	ปีที่สำเร็จการศึกษา
วิทยาศาสตรบัณฑิต (เกษตรศาสตร์)	มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์	2558

ทุนการศึกษา

1. ทุนสนับสนุนผู้ช่วยวิจัยจากเงินรายได้มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ (ทุนวิจัยทั่วไป) ประจำปีงบประมาณ พ.ศ. 2558 รหัสโครงการ NAT580919S
2. ทุนอุดหนุนวิจัยในการทำวิทยานิพนธ์ บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์

การตีพิมพ์เผยแพร่ผลงาน

พงศกร สุธีกาญจโนทัย และระวี เจียรวิภา. 2560. การเปลี่ยนแปลงลักษณะสัณฐานและสรีรวิทยาของใบกาแฟโรบัสต้าในสภาพกลางแจ้งและพรางแสง. งานประชุมวิชาการเกษตรศาสตร์ ครั้งที่ 55 ณ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ วิทยาเขตบางเขน 31 มกราคม – 3 กุมภาพันธ์ 2560 หน้าที่ 97-103.

พงศกร สุธีกาญจโนทัย, ระวี เจียรวิภา, ชนินทร์ ศิริขันตยกุล และบัญชา สมบูรณ์สุข. 2560. ผลของการใส่ปุ๋ยเคมีร่วมกับปุ๋ยคอกต่อการเจริญเติบโตของต้นกาแฟโรบัสต้าในสวนยางพารา. วารสารพืชศาสตร์สงขลานครินทร์ 4(4) (อยู่ระหว่างการตีพิมพ์).