องค์ประกอบสารพฤกษเคมีในระยะพัฒนาการของใบกาแฟโรบัสต้าและ
การใช้ประโยชน์เพื่อการผลิตชาใบกาแฟ

Phytochemical Compositions of Robusta Coffee Leaves during
Developmental Stages and Its Benefit of Tea

พิสมัย อนุสรณ์วาณิช
Pisamai Anusornwanit

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
2562
ลิขสิทธิ์ของมหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์

องค์ประกอบสารพฤกษเคมีในระยะพัฒนาการของใบกาแฟโรบัสต้าและการใช้ประโยชน์เพื่อการผลิตชาใบกาแฟ

Phytochemical Compositions of Robusta Coffee Leaves during Developmental Stages and Its Benefit of Tea

พิสมัย อนุสรณ์วาณิช
Pisamai Anusornwanit

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
2562
ลิขสิทธิ์ของมหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์

ชื่อวิทยานิพนธ์ องค์ประกอบสารพฤกษเคมีในระยะพัฒนาการของใบกาแฟโรบัสต้าและการใช้ประโยชน์เพื่อการผลิตชาใบกาแฟ

ผู้เขียน นางสาวพิสมัย อนุสรณ์วาณิช

สาขาวิชา พืชศาสตร์

อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก

....

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ระวี เจียรวิภา)

อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ร่วม

....

(ดร.อดิเรก รักคง)

คณะกรรมการสอบ

....ประธานกรรมการ

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.อมรรัตน์ ชุมทอง)

....กรรมการ

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ระวี เจียรวิภา)

....กรรมการ

(ดร.อดิเรก รักคง)

....กรรมการ

(ดร.ทัศนี ขาวเนียม)

บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ อนุมัติให้นับวิทยานิพนธ์ฉบับนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษา ตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาพืชศาสตร์

....

(ศาสตราจารย์ ดร.ดำรงศักดิ์ ฟ้ารุ่งสาง)

คณบดีบัณฑิตวิทยาลัย

ขอรับรองว่า ผลงานวิจัยนี้มาจากการศึกษาวิจัยของนักศึกษาเอง และได้แสดงความขอบคุณบุคคลที่มีส่วนช่วยเหลือแล้ว

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

ลงชื่อ ....
(ดร.อดิเรก รักคง)
อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ร่วม

ลงชื่อ ....
(นางสาวพิสมัย อนุสรณ์วาณิช)
นักศึกษา

ข้าพเจ้าขอรับรองว่า ผลงานวิจัยนี้ไม่เคยเป็นส่วนหนึ่งในการอนุมัติปริญญาในระดับใดมาก่อน และไม่ได้ถูกใช้ในการยื่นขออนุมัติปริญญาในขณะนี้

ลงชื่อ ....

(นางสาวพิสมัย อนุสรณ์วาณิช)

นักศึกษา

ชื่อวิทยานิพนธ์	องค์ประกอบสารพฤกษเคมีในระยะพัฒนาการของใบกาแฟโรบัสต้าและการใช้ประโยชน์เพื่อการผลิตชาใบกาแฟ
ผู้เขียน	นางสาวพิสมัย อนุสรณ์วาณิช
สาขาวิชา	พืชศาสตร์
ปีการศึกษา	2561

บทคัดย่อ

ใบกาแฟมีองค์ประกอบของสารสำคัญหลายชนิด ขึ้นอยู่กับระยะพัฒนาการของใบและพันธุ์กาแฟ ซึ่งปัจจุบันมีการนำสารพฤกษเคมีในใบกาแฟมาใช้ประโยชน์มากขึ้น งานวิจัยนี้จึงมีวัตถุประสงค์เพื่อประเมินการเปลี่ยนแปลงของลักษณะสัณฐานและสรีรวิทยาของใบ โดยแบ่งระยะพัฒนาการเป็น 5 ระยะ ได้แก่ ระยะที่ 1 (S1) ใบมีอายุ 1-4 วัน ระยะที่ 2 (S2) ใบมีอายุ 5-8 วัน ระยะที่ 3 (S3) ใบมีอายุ 9-14 วัน ระยะที่ 4 (S4) ใบมีอายุ 15-20 วัน และระยะที่ 5 (S5) ใบมีอายุ 21-27 วัน และวิเคราะห์หาสารต้านอนุมูลอิสระ สารประกอบฟีนอลิก ฟลาโวนอยด์ และแทนนินในใบในแต่ละระยะพัฒนาการดังกล่าว ตลอดจนศึกษาระยะเวลาการเก็บรักษาชาต่อคุณภาพทางด้านประสาทสัมผัสของผลิตภัณฑ์ชาใบกาแฟโรบัสต้า ผลการศึกษา พบว่า ใบระยะที่ 5 เกิดการเปลี่ยนแปลงของพื้นที่ใบ มวลใบ ความเขียวใบ ปริมาณคลอโรฟิลล์และแคโรทีนอยด์มากที่สุด ขณะที่ ใบระยะที่ 3 และระยะที่ 1 เกิดการเปลี่ยนแปลงของพื้นที่ใบจำเพาะและน้ำหนักใบจำเพาะมากที่สุด โดยใบระยะที่ 1 มีความสัมพันธ์กับค่า a* b* และ L* มากที่สุด นอกจากนี้ ใบช่วงระยะที่ 4-5 มีการสะสมของคาเฟอีน แคทีชิน และกรดแกลลิกในปริมาณต่ำ ขณะที่ ใบช่วงระยะที่ 1-2 มีปริมาณสารต้านอนุมูลอิสระ สารประกอบฟีนอลิก ฟลาโวนอยด์ และแทนนินเพิ่มขึ้นและมากกว่าช่วงระยะอื่น ดังนั้น ช่วงระยะที่ 1-2 มีปริมาณสารต้านอนุมูลอิสระสูงซึ่งเหมาะสมต่อการนำไปแปรรูปเพื่อใช้ประโยชน์เป็นชาใบกาแฟโรบัสต้า อย่างไรก็ตาม เมื่อนำใบกาแฟโรบัสต้ามาแปรรูปเป็นผลิตภัณฑ์ชา ระยะเวลาการเก็บรักษาผลิตภัณฑ์ชามีผลต่อคุณภาพทางด้านประสาทสัมผัส โดยผลิตภัณฑ์ชาใบกาแฟโรบัสต้าที่มีระยะเวลาการเก็บรักษา 1 เดือน เป็นชาที่ผู้บริโภคให้ความพึงพอใจและสนใจในผลิตภัณฑ์ชามากที่สุด และผู้บริโภคมีความพึงพอใจในเรื่องสีของน้ำชาใบกาแฟโรบัสต้ามากกว่ากลิ่นหอมและรสชาติ การศึกษานี้แสดงให้เห็นว่า ช่วงระยะพัฒนาการที่ 1-2 ของใบกาแฟโรบัสต้าสามารถใช้ประโยชน์เพื่อการผลิตชาที่มีคุณค่าด้านสุขภาพได้ เนื่องจากมีปริมาณสารพฤกษเคมีสูง ขณะเดียวกัน ผลิตภัณฑ์ชาใบกาแฟโรบัสต้ายังเป็นที่พึงพอใจของผู้บริโภคทั้งในด้านกลิ่นและรสชาติ

Thesis Title	Phytochemical Compositions of Robusta Coffee Leaves during Developmental Stages and Its Benefit of Tea
Author	Miss Pisamai Anusornwanit
Major Program	Plant Science
Academic Year	2018

ABSTRACT

Coffee leaf contains a wide range of leaf compounds, varying by growth stage and variety. Recently, the importance of coffee leaf metabolites as beneficial phytochemicals has been widely recognized. To investigate the changes of morphological and physiological properties, Robusta coffee leaves were harvested and classified into the following five growth stages: S1 (1-4 days of leaf age), S2 (5-8 days of leaf age), S3 (9-14 days of leaf age), S4 (15-20 days of leaf age) and S5 (21-27 days of leaf age). The analysis of antioxidant activity, phenolic compound, flavonoid and tannin contents of leaves at different stages were investigated. Shelf life of tea product on sensory evaluation was also studied to observe the decision-making processes of the consumer preferences. The results found that the highest values of leaf area, leaf mass, leaf greenness, chlorophyll contents and carotenoid content were found in the last stage (S5). The differences in changes of SLA and SLW had higher values at the S3 and S1 growth stages. Based on the values of a*, b* and L*, high correlation analysis was performed at the S1 developmental stage. As compared to assay, the S4 to S5 showed the lowest values of caffeine, catechin and gallic acid than the other stages. However, the dramatic increase of antioxidant activity, and content of phenolic compound, flavonoid and tannin was observed in the S1 to S2 growth stages. Thus, the S1 to S2 should be the optimal harvesting time to obtain maximum antioxidants composition for the tea product of Robusta coffee leaves. According to the results of questionnaire survey, the consumers were more concerned to the shelf life of tea product at the 1 month which was more likely preferred by consumers to its color than the flavor and taste factors. This study concludes that the S1 to S2 growth stage of Robusta coffee leaves could be

considered as health benefits of drinking tea which contained high concentrations of phytochemicals. Quality of tea product was also more likely preferred by the consumer as good flavor and taste of tea.

กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จลุล่วงได้ด้วยดี ผู้เขียนขอขอบคุณผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ระวี เจียรวิภา อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก และดร.อดิเรก รักคง อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ร่วม เป็นอย่างสูงที่ได้กรุณาเสียสละเวลา ให้ความช่วยเหลือ ให้ความรู้ ด้วยการให้คำปรึกษา คำแนะนำ และแนวทางการแก้ไขปัญหาการทำวิจัย ตลอดจนการเขียนและตรวจแก้ไขวิทยานิพนธ์จนสำเร็จสมบูรณ์ อีกทั้งยังเป็นผู้สนับสนุนในการทำวิทยานิพนธ์ รวมไปถึงการให้กำลังใจและข้อคิดในด้านต่าง ๆ ทั้งงานวิจัย การเรียน และการใช้ชีวิตประจำวัน รวมทั้ง ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.อมรรัตน์ ชุมทอง ประธานกรรมการสอบวิทยานิพนธ์ และดร.ทัศนี ขาวเนียม กรรมการสอบวิทยานิพนธ์ ที่ให้ความกรุณาให้คำแนะนำและตรวจสอบปรับแก้เล่มวิทยานิพนธ์เป็นอย่างดี เพื่อให้วิทยานิพนธ์ฉบับนี้สมบูรณ์ยิ่งขึ้น

ขอขอบคุณทุนอุดหนุนงานวิจัยเพื่อวิทยานิพนธ์ บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ และทุนหน่วยวิจัยกาแฟโรบัสต้า คณะทรัพยากรธรรมชาติ และสำนักวิจัยและพัฒนา มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ รวมถึงห้องปฏิบัติการนิเวศสรีรวิทยาพืช และแปลงภาควิชาพืชศาสตร์ คณะทรัพยากรธรรมชาติ ที่ให้ความอนุเคราะห์ในการทำวิจัย

ขอขอบคุณคณาจารย์ภาควิชาพืชศาสตร์ทุกท่านที่ให้ความรู้และคำปรึกษา ขอขอบคุณเจ้าหน้าที่ประจำภาควิชาพืชศาสตร์ทุกท่านที่ให้ความช่วยเหลือในเรื่องต่าง ๆ ขอบคุณนักศึกษาปริญญาโท สาขานิเวศสรีรวิทยาพืช ภาควิชาพืชศาสตร์ (คุณณัฐวิทย์ ญาณพิสิฐกุล คุณพรเทพ ธีระวัฒนพงศ์ คุณปิยะนุช มุสิกพงศ์ คุณทิพยเนตร จงจิตร และคุณชุติกาญจน์ แสนเสนาะ) ที่มีส่วนช่วยในการเก็บข้อมูล บันทึกข้อมูล และวิเคราะห์ข้อมูลจนทำให้งานวิจัยนี้สำเร็จลุล่วงด้วยดี และขอขอบคุณบุคลากรแปลงภาควิชาพืชศาสตร์ คณะทรัพยากรธรรมชาติ และนางสาวศุจิรัตน์ สรประสิทธิ์ นักวิทยาศาสตร์ คณะเทคโนโลยีการเกษตร มหาวิทยาลัยราชภัฏสงขลา ที่ให้ความอนุเคราะห์สถานที่ในการทำวิจัย รวมไปถึงร้านกาแฟบริเวณภายในและภายนอกมหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ วิทยาเขตหาดใหญ่ ที่ให้ความอนุเคราะห์สถานที่ในการตอบแบบสอบถามความพึงพอใจของผู้บริโภคที่มีต่อผลิตภัณฑ์ชาใบกาแฟโรบัสต้า

สุดท้ายนี้ขอขอบคุณ คุณพ่อพรหมภัสสร อนุสรณ์วาณิช และคุณแม่อิชช์กันต์ อนุสรณ์วาณิช เป็นอย่างสูงที่ให้การสนับสนุนในการศึกษาและเป็นกำลังใจที่ดีที่สุดเสมอมา ตลอดจนพี่น้องในครอบครัวที่ค่อยช่วยเหลือในด้านต่าง ๆ จนสำเร็จการศึกษาปริญญาโท

พิสมัย อนุสรณ์วาณิช

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อ	(5)
Abstract	(6)
กิตติกรรมประกาศ	(8)
สารบัญ	(9)
รายการตาราง	(10)
รายการภาพประกอบ	(11)
รายการตารางภาคผนวก	(12)
รายการภาพภาคผนวก	(13)
บทที่	
1. บทนำ	1
บทนำต้นเรื่อง	1
การตรวจเอกสาร	2
วัตถุประสงค์	14
2. วัสดุ อุปกรณ์ และวิธีการ	15
วัสดุและอุปกรณ์	15
วิธีการ	19
3. ผล	34
4. วิจารณ์	65
5. สรุป	75
เอกสารอ้างอิง	76
ภาคผนวก	86
ประวัติผู้เขียน	97

รายการตาราง

ตารางที่		หน้า
1	การเปลี่ยนแปลงของพื้นที่ใบ ความเขียวใบ และสีของใบ (a* b* และ L*) แต่ละระยะพัฒนาการของใบกาแฟโรบัสต้าโคลนชุมพร 2 และโคลนควนโดน	36
2	การพัฒนาการของพื้นที่ใบตามระยะพัฒนาการของใบกาแฟโรบัสต้าโคลนชุมพร 2 และโคลนควนโดน	38
3	พื้นที่ใบ (LA) น้ำหนักแห้งของใบ (DW) พื้นที่ใบจำเพาะ (SLA) และน้ำหนักใบจำเพาะ (SLW) ในระยะพัฒนาการของใบกาแฟโรบัสต้า	41
4	ปริมาณคลอโรฟิลล์ เอ คลอโรฟิลล์ บี คลอโรฟิลล์ทั้งหมด และแคโรทีนอยด์ในระยะพัฒนาการของใบกาแฟโรบัสต้า	42
5	ปริมาณสารพฤกษเคมีเบื้องต้นในระยะพัฒนาการของใบกาแฟโรบัสต้าที่ 4-5	47
6	น้ำหนักสารสกัดหยาบของใบและเปอร์เซ็นต์ของสารสกัดหยาบต่อระยะพัฒนาการของใบกาแฟโรบัสต้า	49
7	ปริมาณสารต้านอนุมูลอิสระและสารประกอบฟีนอลิกภายในใบกาแฟโรบัสต้าโคลนชุมพร 2 และโคลนควนโดนตามช่วงระยะพัฒนาการของใบ	52
8	ปริมาณฟลาโวนอยด์และแทนนินภายในใบกาแฟโรบัสต้าโคลนชุมพร 2 และโคลนควนโดนตามช่วงระยะพัฒนาการของใบ	53
9	การทดสอบคุณภาพสีของน้ำชาใบกาแฟโรบัสต้า (a* b* และ L*) จากการเก็บรักษาชา 1 6 และ 12 เดือน และระยะเวลาในการชงชา 5 10 และ 15 นาที	56
10	ข้อมูลทั่วไปและพฤติกรรมในการบริโภคชาของผู้บริโภคทั่วไปและระยะเวลาการเก็บรักษาผลิตภัณฑ์ชาใบกาแฟโรบัสต้า	58
11	คุณภาพทางด้านประสาทสัมผัสต่อระยะเวลาการเก็บรักษาผลิตภัณฑ์ชาใบกาแฟโรบัสต้า	63

รายการภาพประกอบ

ภาพที่		หน้า
1	ระยะพัฒนาการของใบกาแฟโรบัสต้า 5 ระยะ	20
2	การเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์ในอากาศบริเวณแปลงทดลอง ระหว่างเดือนกรกฎาคม พ.ศ. 2560 ถึงเดือนมิถุนายน พ.ศ. 2561	34
3	ความสัมพันธ์ระหว่างพื้นที่ใบวัดด้วยเครื่องวัดพื้นที่ใบกับวัดด้วยเวอร์เนียร์คาร์ลิปเปอร์ของใบกาแฟโรบัสต้า	36
4	ความสัมพันธ์ระหว่างน้ำหนักสดกับน้ำหนักแห้งต่อระยะพัฒนาการ (S) ของใบกาแฟโรบัสต้า	39
5	การเปลี่ยนแปลงค่าเฉลี่ยของน้ำหนักสด น้ำหนักแห้ง และพื้นที่ใบต่อระยะพัฒนาการของใบกาแฟโรบัสต้า	40
6	ความสัมพันธ์ระหว่างความเป็นสีเขียว (a*) (a) ความเป็นสีเหลือง (b*) (b) และความสว่าง (L*) (c) ของใบ และความเขียวใบ (SPAD reading) ในใบกาแฟโรบัสต้า	44
7	การเปลี่ยนแปลงของสีใบ (a) และความเขียวใบ (b) ตามระยะพัฒนาการของใบกาแฟโรบัสต้า	46
8	เปอร์เซ็นต์การให้คะแนนสีของชา (a) กลิ่นหอมของชา (b) และรสชาติของชา (c) ของผู้บริโภคต่อระยะเวลาการเก็บรักษาชาใบกาแฟโรบัสต้า	60
8 (ต่อ)	เปอร์เซ็นต์การให้คะแนนความรู้สึกหลังกลืนชา (d) และความชอบโดยรวม (e) ของผู้บริโภคต่อระยะเวลาการเก็บรักษาชาใบกาแฟโรบัสต้า	61
9	ระยะเวลาการเก็บรักษาชา 1 เดือน (a) 6 เดือน (b) และ 12 เดือน (c) ต่อความน่าสนใจผลิตภัณฑ์ชาใบกาแฟโรบัสต้าของผู้บริโภค	64

รายการตารางภาคผนวก

ตารางภาคผนวกที่		หน้า
1	ช่วงปริมาณคลอโรฟิลล์ เอ คลอโรฟิลล์ บี คลอโรฟิลล์ทั้งหมด และแคโรทีนอยด์ในระยะพัฒนาการของใบกาแฟโรบัสต้า	87
2	การเตรียมสารละลายมาตรฐานของเฟอร์รัสซัลเฟตที่ความเข้มข้นต่าง ๆ	89
3	การเตรียมสารละลายมาตรฐานของกรดแกลลิกที่ความเข้มข้นต่าง ๆ	90
4	การเตรียมสารละลายมาตรฐานของแคทีชินที่ความเข้มข้นต่าง ๆ	91
5	การเตรียมสารละลายมาตรฐานของกรดแทนนิกที่ความเข้มข้นต่าง ๆ	92

รายการภาพภาคผนวก

ภาพภาคผนวกที่		หน้า
1	กราฟมาตรฐานของเฟอร์รัสไอออน (Fe^{2+}) ที่มีความเข้มข้น 0-80 มิลลิกรัมต่อลิตร ของการวิเคราะห์หาสารต้านอนุมูลอิสระ	87
2	กราฟมาตรฐานของกรดแกลลิก (a) แคทีชิน (b) และกรดแทนนิก (c) ที่มีความเข้มข้น 0-40 มิลลิกรัมต่อลิตร ของการวิเคราะห์หาสารประกอบฟีนอลิก ฟลาโวนอยด์ และแทนนิน ตามลำดับ	88
3	คุณภาพสีของชาใบกาแฟแต่ละระยะเวลาชงชาต่อระยะการเก็บรักษาชาใบกาแฟโรบัสต้า	94
4	QR code แบบตั้งโต๊ะ	95

บทที่ 1

บทนำ

บทนำต้นเรื่อง

กาแฟโรบัสต้าจัดอยู่ในวงศ์ Rubiaceae เป็นพืชเศรษฐกิจที่สำคัญทางภาคใต้ของประเทศไทย โดยช่วงก่อนปี พ.ศ. 2553 ภาคใต้มีพื้นที่ปลูกกาแฟโรบัสต้า 269,596 ไร่ คิดเป็น 66 เปอร์เซ็นต์ของพื้นที่ทางภาคใต้ (กรมวิชาการเกษตร, 2560) แต่ในช่วงปี พ.ศ. 2553-2559 พื้นที่ปลูกกาแฟทางภาคใต้กลับลดลงเหลือ 186,576 ไร่ (กรมวิชาการเกษตร, 2561) อันเนื่องมาจากราคากาแฟโรบัสต้าต่ำลงส่งผลให้เกษตรกรสนใจปลูกพืชชนิดอื่นมากขึ้น เช่น ยางพารา ปาล์มน้ำมัน ผักออร์แกนิค และไม้ผลเศรษฐกิจชนิดอื่นแทนการปลูกกาแฟ (สำนักงานพัฒนาการวิจัยการเกษตร (องค์การมหาชน), 2561) การวิจัยนี้จึงหาส่วนของต้นกาแฟที่สามารถนำมาแปรรูปเป็นผลิตภัณฑ์ทางเลือกให้แก่เกษตรกรชาวสวนกาแฟ เพื่อเป็นแนวทางในการช่วยเพิ่มรายได้แก่เกษตรกรชาวสวนกาแฟในช่วงที่ไม่ให้ผลผลิต และเพิ่มมูลค่าให้กับต้นกาแฟ โดยนำใบกาแฟมาใช้ให้เกิดประโยชน์สูงสุด เนื่องจากสามารถเก็บเกี่ยวใบกาแฟโรบัสต้าได้ตลอดทั้งปี อย่างไรก็ตาม การเก็บเกี่ยวใบกาแฟเพื่อการแปรรูปนั้นจำเป็นต้องกำหนดช่วงระยะพัฒนาการของใบที่เหมาะสมต่อการแปรรูปเป็นผลิตภัณฑ์ โดยแต่ละช่วงพัฒนาการของใบจะแสดงลักษณะสัณฐานและสรีรวิทยาของใบแตกต่างกัน นอกจากนี้ การนำใบกาแฟมาแปรรูปเป็นผลิตภัณฑ์จำเป็นต้องศึกษาหาสารพฤกษเคมีที่สำคัญและปริมาณของสารสำคัญในแต่ละระยะพัฒนาการของใบกาแฟโรบัสต้า เนื่องจากใบแต่ละระยะอาจมีปริมาณสารพฤกษเคมีแตกต่างกัน โดยในใบกาแฟมีสารต้านอนุมูลอิสระ (Antioxidant) สูงอยู่หลายชนิด เช่น สารประกอบฟีนอลิก (Phenolic compound) ฟลาโวนอยด์ (Flavonoid) แทนนิน (Tannin) คาเฟอีน (Caffeine) แคทีชิน (Catechin) และกรดแกลลิก (Gallic acid) เป็นต้น (Bertrand *et al.*, 2003) ซึ่งสารต้านอนุมูลอิสระเหล่านี้มีผลต่อคุณค่าทางโภชนาการ สรรพคุณทางยา ประสิทธิภาพในการต้านอนุมูลอิสระ ต้านเชื้อแบคทีเรีย ยับยั้งปฏิกิริยาออกซิเดชันในอาหาร และการป้องกันโรคต่าง ๆ ที่เกิดจากปฏิกิริยาออกซิเดชันในร่างกาย (เอนก และ บุณยกฤต, 2560)

ปัจจุบันชาสมุนไพรเป็นเครื่องดื่มที่ได้รับความนิยมกันอย่างแพร่หลายในประเทศไทย ซึ่งชาเป็นเครื่องดื่มที่ให้คุณประโยชน์แก่สุขภาพของผู้บริโภค ทำให้ผู้บริโภคเกิดความสนใจและมีแนวโน้มในการบริโภคผลิตภัณฑ์ชาเพิ่มขึ้น งานวิจัยนี้จึงนำใบกาแฟโรบัสต้ามาแปรรูปเป็นผลิตภัณฑ์ชาด้วยกรรมวิธีชาเขียว โดยชาใบกาแฟโรบัสต้าจัดเป็นชาสมุนไพรประเภทหนึ่งที่นำมาผ่านกระบวนการ

นึ่ง คั่ว และอบชาใบกาแฟโรบัสต้า รวมถึงคุณภาพของผลิตภัณฑ์ชาที่อาจมีผลต่อการยอมรับของผู้บริโภค

ดังนั้น จึงศึกษาตั้งแต่ระยะพัฒนาการ ลักษณะทางสัณฐานและสรีรวิทยาของใบที่อาจส่งผลต่อปริมาณสารพฤกษเคมีที่สำคัญของใบกาแฟโรบัสต้า เพื่อเป็นแนวทางในการนำไปใช้แปรรูปเป็นผลิตภัณฑ์ชาใบกาแฟโรบัสต้า รวมถึงความพึงพอใจของผู้บริโภคต่อคุณภาพของชาหลังดื่ม

การตรวจเอกสาร

1. ประวัติกาแฟ

กาแฟมีถิ่นกำเนิดมาจากเมืองคัฟฟา (Kaffa) ประเทศเอธิโอเปีย สมัยก่อนนิยมนำเมล็ดกาแฟมาเคี้ยวสดหรือคั่ว ต่อมากาแฟเป็นเครื่องดื่มที่ได้รับความนิยมเป็นอย่างมากสำหรับชนชั้นสูงและมีการแพร่กระจายไปยังประเทศต่าง ๆ เนื่องจากรสชาติเข้ม กลิ่นหอม ช่วยกระตุ้นระบบประสาท ชูกำลัง ลดความเสี่ยงของโรคอัลไซเมอร์และโรคหัวใจ เป็นต้น จากการบันทึกเกี่ยวกับกาแฟพบว่า ประเทศไทยมีการปลูกกาแฟมาตั้งแต่สมัยอยุธยาแต่มีการปลูกค่อนข้างน้อย ต่อมาสมัยรัตนโกสินทร์ในรัชกาลที่ 3 (ปี พ.ศ. 2367) ได้มีการปลูกกาแฟกันอย่างแพร่หลายอันเนื่องมาจากประเทศไทยเริ่มมีการติดต่อค้าขายกับชาวต่างประเทศ ต่อมาในรัชกาลที่ 4 สมเด็จพระมหาประยูรวงศ์ได้มอบกาแฟให้กับท่านเซอร์ยอร์น เบาว์ริ่ง จนพ่อค้าชาวอังกฤษจากแหลมมลายูมีการนำกาแฟเข้ามาแลกเปลี่ยนสินค้ากับพ่อค้าชาวไทยทำให้มีการนำพันธุ์กาแฟมาปลูกในพื้นที่ภาคใต้ ซึ่งมีการสันนิฐานว่า ในปี พ.ศ. 2447 ได้มีการนำเมล็ดกาแฟพันธุ์โรบัสต้ามาปลูกในอำเภอสะบ้าย้อย จังหวัดสงขลา โดยนำเมล็ดกาแฟมาจากประเทศอินโดนีเซีย เนื่องจากตอนนั้นประเทศอินโดนีเซียกำลังนิยมปลูกกาแฟโรบัสต้า (สำนักงานพัฒนาการวิจัยการเกษตร (องค์การมหาชน), 2561) ต่อมามีการนำกาแฟโรบัสต้ามาปลูกครั้งแรกบริเวณอำเภอควนกาหลง จังหวัดสตูล อำเภอสะบ้าย้อย จังหวัดสงขลา และอำเภอเบตง จังหวัดยะลา ซึ่งปัจจุบันยังคงพบต้นกาแฟโรบัสต้าอายุไม่น้อยกว่า 50-90 ปี และสันนิฐานต่อว่า ได้แพร่กระจายไปยังส่วนอื่น ๆ ของภาคใต้ได้แก่ จังหวัดสุราษฎ์ธานี ตรัง กระบี่ นครศรีธรรมราช และพังงา ตามลำดับ โดยต้นกาแฟโรบัสต้ามีอายุน้อยกว่า 50 ปี (Saensano and Chiarawipa, 2019) โดยปัจจุบันประเทศไทยปลูกกาแฟโรบัสต้าและอราบิก้าเพิ่มมากขึ้น แต่ภาคใต้ของประเทศไทยนิยมปลูกกาแฟพันธุ์โรบัสต้ามากกว่าอราบิก้า เนื่องจากกาแฟโรบัสต้าเหมาะกับสภาพแวดล้อมทางภาคใต้และสามารถเจริญเติบโตให้ผลผลิตได้ดี ตลอดจนมีความทนทานต่อโรคราสนิมเป็นอย่างดี (กรมวิชาการเกษตร, 2560)

2. ลักษณะทางพฤกษศาสตร์ของต้นกาแฟโรบัสต้า

กาแฟโรบัสต้าจัดเป็นไม้ผลยืนต้น มีลักษณะเป็นไม้พุ่มขนาดกลาง ลำต้นมีข้ออย่างชัดเจน โดยบริเวณโคนก้านใบมีตา 2 ชนิด คือ 1) ตาบนจะแตกกิ่งนอนที่ 1 ออกจากลำต้น ลักษณะเป็นกิ่งนอนขนานกับพื้นดินหรือโน้มลงดิน กิ่งนอนที่ 1 สามารถแตกกิ่งนอนอื่น ๆ ได้อีก ในลักษณะเป็นคู่สลับเยื้องกันบนลำต้นหรือกิ่งตั้ง แต่ละข้อของกิ่งนอนมีกลุ่มตาดอกที่สามารถให้ผลผลิตได้ โดยข้อที่ให้ผลผลิตแล้วจะไม่ให้ผลผลิตซ้ำในข้อนั้น และกิ่งนอนที่สมบูรณ์จะให้ผลผลิตประมาณ 6-10 ข้อ และ 2) ตาล่างจะแตกออกเป็นกิ่งตั้งที่ไม่ให้ผลผลิตแต่สามารถแตกเป็นกิ่งนอนได้ ลักษณะใบเป็นใบเดี่ยว รูปร่างใบรี ปลายใบเรียวแหลม ขอบใบเป็นคลื่น เส้นกลางใบเห็นชัดเจน เส้นแขนงเรียงขนานกันตลอดความยาวของใบ ก้านใบสั้น ผิวใบด้านบนเป็นมันเงา ใบกาแฟมีอายุเฉลี่ย 250 วัน เกิดบริเวณข้อเรียงตัวเป็นคู่ตรงข้ามกัน (สถาบันวิจัยพืชสวน, 2553ก) ดอกกาแฟเป็นดอกสมบูรณ์เพศ ดอกมีสีขาว กลิ่นคล้ายมะลิป่า ดอกกาแฟประกอบด้วย กลีบดอก 5 กลีบ กลีบเลี้ยง 5 กลีบ มีเกสร 5 อัน รังไข่มี 2 ห้อง แต่ละห้องมีไข่ 1 ใบ ก้านสั้นอยู่รวมกันเป็นกลุ่ม แต่ละข้อจะมีช่อดอกประมาณ 15-20 ช่อ ดอกกาแฟบานต่อเนื่อง 8-12 วัน โดยดอกแต่ละดอกจะบานประมาณ 2 วัน หลังจากนั้นดอกจะเหี่ยวและส่วนอื่น ๆ ของดอกจะร่วงเหลือแต่รังไข่ที่จะกลายเป็นผลกาแฟ ผลมีลักษณะกลมรียาวประมาณ 1.5 เซนติเมตร ผลดิบมีสีเขียว ผลสุกมีแดงเข้มคล้ายผลเชอร์รี่ โดยผลจะใช้เวลาสุกแก่ประมาณ 6-8 เดือน ผลกาแฟแต่ละผลมี 2 เมล็ด ลักษณะประกบกัน มีร่องตรงกลางตลอดแนวยาวของเมล็ด 1 ร่อง และเมล็ดมีรูปร่างค่อนข้างกลมรี ระบบรากมีรากแก้วยาวไม่เกิน 45 เซนติเมตร รากแขนง 4-8 ราก แผ่กระจายขนานไปกับพื้นดินในระดับใต้ผิวดิน และรากแขนงประกอบด้วยรากฝอยประมาณ 60-80 เปอร์เซ็นต์ แผ่กระจายในระดับผิวดินลึกประมาณ 20 เซนติเมตร (กรมส่งเสริมการเกษตร, 2557)

3. สภาพแวดล้อมที่เหมาะสมในการปลูกกาแฟโรบัสต้า

กาแฟโรบัสต้าสามารถเจริญเติบโตได้ดีในดินเหนียวที่มีการถ่ายเทอากาศและระบายน้ำได้ดี โดยเฉพาะดินเหนียวที่มีธาตุโพแทสเซียมสูง ความเป็นกรดเป็นด่างของดินอยู่ระหว่าง 4.5-6.5 พื้นที่ราบไม่มีน้ำขังหรือมีความลาดเอียงไม่เกิน 35 เปอร์เซ็นต์ พื้นที่ปลูกมีความสูงไม่เกิน 700 เมตรจากระดับน้ำทะเล อุณหภูมิอากาศอยู่ระหว่าง 25-32 องศาเซลเซียส และไม่เหมาะกับพื้นที่ที่มีน้ำค้างแข็ง ปริมาณน้ำฝนเฉลี่ย 1,500-2,300 มิลลิเมตรต่อปีและมีความสม่ำเสมอเป็นเวลา 7 เดือน ความชื้นในอากาศประมาณ 90 เปอร์เซ็นต์ ซึ่งสภาพแวดล้อมดังกล่าวเหมาะสมกับพื้นที่ภาคใต้ของประเทศไทย โดยเฉพาะจังหวัดชุมพร ระนอง และสุราษฎร์ธานีที่มีสภาพภูมิอากาศร้อนชื้น (กรมวิชาการเกษตร, 2561; สำนักงานพัฒนาการวิจัยการเกษตร (องค์การมหาชน), 2561) สภาพภูมิอากาศร้อนชื้นส่งผลให้

เกิดโรคและแมลงเข้าทำลายต้นกาแฟได้ง่าย โดยเฉพาะโรคราสนิม เพลี้ยหอย และหนอนเจาะลำต้น (สถาบันวิจัยพืชสวน, 2553ข)

4. ลักษณะสัณฐานและสรีรวิทยาของใบ

ใบเป็นส่วนประกอบสำคัญของพืชที่ทำหน้าที่หลักต่อกระบวนการสังเคราะห์แสง การหายใจ การคายน้ำ และการแลกเปลี่ยนก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ภายในใบ แต่เมื่อนำปัจจัยด้านอายุใบ ตำแหน่งของใบ สภาพร่มเงา และแหล่งใช้อาหารที่เข้ามาเกี่ยวข้องต่อกระบวนการดังกล่าวจะขึ้นอยู่กับชนิดพืช สภาพแวดล้อม และประสิทธิภาพการทำงานของพืชด้วย จากการศึกษาของ Hollies (1967) รายงานผลของสภาพร่มเงาต่อโครงสร้างและปริมาณคลอโรฟิลล์ของใบกาแฟอราบิก้า พบว่า ใบกาแฟอราบิก้าอายุ 3 เดือน มีพื้นที่ใบ น้ำหนักแห้งของใบ และพื้นที่ใบจำเพาะสูงที่สุด แต่มีปริมาณคลอโรฟิลล์ต่อพื้นที่ใบและคลอโรฟิลล์ต่อน้ำหนักใบต่ำที่สุดเมื่อเทียบกับอายุใบอื่น ๆ เช่นเดียวกับ Loh และคณะ (2002) รายงานว่า ปริมาณคลอโรฟิลล์ต่อพื้นที่ใบและคลอโรฟิลล์ต่อน้ำหนักใบน้อยมีผลให้คลอโรฟิลล์ที่ทำหน้าที่รับและแปลงพลังงานแสงให้เป็นพลังงานเพื่อใช้ในใบมีน้อย และมีผลต่อการผลิตและสะสมอาหารภายในใบ นอกจากนี้ การศึกษาของ Campa และคณะ (2017) รายงานผลของระยะพัฒนาการของใบกาแฟอราบิก้าต่อลักษณะทางสรีรวิทยาของใบหลังความเข้มแสงเพิ่มขึ้น พบว่า ใบกาแฟอราบิก้ามีปริมาณไนโตรเจนคิดเป็น 1.9 เท่า และปริมาณความเขียวใบคิดเป็น 1.37 เท่า มีความแตกต่างทางสถิติอย่างมีนัยสำคัญในแต่ละระยะพัฒนาการของใบ โดยใบเพสลาด (Mature leaves) ให้ค่าความเขียวใบสูงที่สุดเมื่อเทียบกับใบระยะอื่น ส่วนใบกำลังเจริญเติบโต (Growing leaves) และใบเพสลาดมีประสิทธิภาพการดูดซับก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์สุทธิ ประสิทธิภาพการสังเคราะห์แสงสูงสุด และอัตราการเปิดปากใบลดลงในช่วง 7 วันแรก หลังความเข้มแสงเพิ่มขึ้น แสดงให้เห็นว่า เมื่อใบกาแฟอราบิก้ามีพัฒนาการเพิ่มขึ้น ใบกาแฟจะสามารถปรับตัวให้เข้ากับสภาพแวดล้อมได้หลัง 7 วัน

Constable และ Rawson (1980) รายงานผลของตำแหน่งใบและอายุใบต่อเจริญเติบโต การสังเคราะห์แสง และการแลกเปลี่ยนก๊าซของฝ้าย พบว่า ใบฝ้ายอายุ 20 วัน หลังใบคลี่มีประสิทธิภาพการสังเคราะห์แสงและการคายน้ำสูงที่สุด เช่นเดียวกับ Field และ Mooney (1983) รายงานผลของขนาดทรงพุ่ม California shrub และตำแหน่งใบต่อพื้นที่ใบ อัตราการเจริญเติบโตและการแลกเปลี่ยนก๊าซเพื่อการสังเคราะห์แสง พบว่า ตำแหน่งใบคู่ที่ 9 มีค่าพื้นที่ใบ อัตราการเจริญเติบโต และการแลกเปลี่ยนก๊าซเพื่อการสังเคราะห์แสงสูงที่สุด ทำให้สามารถคาดการณ์การเปลี่ยนแปลงของลักษณะสัณฐานและสรีรวิทยาได้ด้วยอายุใบหรือตำแหน่งใบ โดยระยะใบอ่อนสามารถสังเคราะห์แสงเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็วจนกระทั่งใบใกล้ระยะเพสลาด หลังจากนั้นการสังเคราะห์

แสงจะเริ่มคงที่เนื่องจากใบเกิดการพัฒนาการอย่างมีศักยภาพสูงสุด เช่นเดียวกับ Xie และ Luo (2003) รายงานผลของตำแหน่งและอายุใบต่อโครงสร้างทางกายวิภาค การสังเคราะห์แสง การชักนำปากใบ และการคายน้ำของสาลี่พันธุ์ Huanghua พบว่า ใบสาลี่ช่วง 10 วันแรก มีความยาวเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็วและสูงสุดเมื่ออายุ 20 วัน ส่งผลให้ใบมีพื้นที่ในการสังเคราะห์แสงและการชักนำปากใบสูงที่สุด ส่วนตำแหน่งใบคู่ที่ 3-6 เกิดอัตราการคายน้ำสูงที่สุดเมื่อเทียบกับใบคู่อื่น ๆ รวมถึงค่าพื้นที่ใบ ความหนาแน่นของปากใบ และเปอร์เซ็นต์ช่องว่างระหว่างเซลล์เพิ่มขึ้นตามตำแหน่งคู่ใบที่เพิ่มขึ้น และจากการศึกษาของ ณัฐวิทย์ (2561) รายงานลักษณะสัณฐานและสรีรวิทยาของใบกาแฟโรบัสต้าในแต่ละตำแหน่งคู่ใบ พบว่า ตำแหน่งใบคู่ที่ 1 มีความหนาแน่นของปากใบมากที่สุด แต่ใบคู่ที่ 3 มีความยาวใบ ความกว้างใบ ความยาวของปากใบ และความกว้างของปากใบมากที่สุดเมื่อเทียบกับใบคู่อื่น ขณะที่ ใบคู่ที่ 5 มีพื้นที่ใบและปริมาณคลอโรฟิลล์ เอ คลอโรฟิลล์ บี คลอโรฟิลล์ทั้งหมด แคโรทีนอยด์มากที่สุดเมื่อเทียบกับใบคู่อื่น รวมถึงใบคู่ที่ 5 ยังเกิดอัตราการสังเคราะห์แสง อัตราการคายน้ำ และประสิทธิภาพการใช้น้ำมากที่สุดอีกด้วย

5. อนุมูลอิสระ (Free radicals)

อนุมูลอิสระเป็นอะตอม โมเลกุลหรือไอออนที่มีอิเล็กตรอนโดดเดี่ยวโคจรอยู่รอบนอก ทำให้ไม่เสถียรและมีความว่องไวต่อการเข้าทำปฏิกิริยาเคมีกับสารอื่น โดยการแย่งจับ รับหรือดึงอิเล็กตรอนจากโมเลกุลข้างเคียง เพื่อให้โมเลกุลของตัวเองเสถียรขึ้นมีผลให้เกิดเป็นปฏิกิริยาลูกโซ่อย่างต่อเนื่อง เนื่องจากสารที่ให้อิเล็กตรอนมีอิเล็กตรอนไม่ครบคู่จนกลายเป็นสารที่มีความรุนแรงได้ (Cornelli, 2009) ถ้าร่างกายของสิ่งมีชีวิตมีอนุมูลอิสระมากจนร่างกายไม่สามารถควบคุมหรือป้องกันปริมาณอนุมูลอิสระให้อยู่ในระดับที่ไม่เป็นอันตรายต่อร่างกายได้จะเกิดภาวะความเครียดของออกซิเจน (Oxidative stress) ขึ้น ส่งผลให้เกิดความเสียหายต่อส่วนประกอบสำคัญของเซลล์รอบ ๆ บริเวณนั้น เช่น การทำลายโครงสร้าง DNA การเปลี่ยนแปลงสภาพของโปรตีนและไขมันของเยื่อหุ้มเซลล์ เป็นต้น ทำให้เป็นสาเหตุการเกิดโรคมะเร็ง (Cancer) โรคหัวใจและหลอดเลือด โรคไต โรคอัลไซเมอร์ (Alzheimer) โรคพาร์กินสัน (Parkinson disease) เป็นต้น (Banerjee *et al.*, 2005) รวมถึงต้อกระจกและไขข้ออักเสบ (Ames *et al.*, 1993) นอกจากอนุมูลอิสระที่เป็นสาเหตุของการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันในร่างกายยังมีสารชีวโมเลกุลที่เรียกว่า Reactive Species (RS) ซึ่งเป็นโมเลกุลที่มีความว่องไวต่อการเกิดปฏิกิริยากับสารชีวโมเลกุลต่าง ๆ ที่อยู่บริเวณนั้นทันทีที่ถูกสร้างขึ้น แต่จะมีอายุเพียง 10^{-3} ถึง 10^{-10} วินาที โดย RS ส่วนใหญ่อยู่ในรูปต่าง ๆ ตามโมเลกุลที่สามารถทำให้เกิดปฏิกิริยาออกซิเดชัน (Lockwood, 2007) ดังนี้

1. Reactive Oxygen Species (ROS)
   - รูป Free radical ได้แก่ Oxygen radical ($O_2^{\bullet}$) Superoxide radical ($O_2^{\bullet-}$) Hydroxyl radical ($OH^{\bullet}$) Hydroperoxyl radical ($HO_2^{\bullet}$) Peroxyl radical ($RO_2^{\bullet}$) Alkoxyl radical ($RO^{\bullet}$) และ Carbonate radical ($CO_3^{\bullet-}$)
   - รูป Non-radical ได้แก่ Hydrogen peroxide (H_2O_2) Ozone (O_3) และ Organic peroxide (ROOH)
2. Reactive Chlorine Species (RCS)
   - รูป Free radical ได้แก่ Chlorine radical ($Cl^{\bullet}$)
   - รูป Non-radical ได้แก่ Hypochloric acid (HOCl) Nitryl chloride (NO_2Cl) และ Chlorine gas (Cl_2)
3. Reactive Nitrogen Species (RNS)
   - รูป Free radical ได้แก่ Nitric oxide radical ($NO^{\bullet}$) และ Nitrogen dioxide radical ($NO_2^{\bullet}$)
   - รูป Non-radical ได้แก่ Nitric oxide (HNO_2) Peroxynitrite ($ONOO^-$) Peroxynitrous acid (ONOOH) และ Nitryl chloride (NOOCl)

6. สารต้านอนุมูลอิสระ

สารต้านอนุมูลอิสระเป็นสารประกอบที่สามารถป้องกันหรือชะลอกระบวนการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันโดยอนุมูลอิสระชนิดต่าง ๆ (Halliwell *et al.*, 1995) โดยปกติ ROS เกิดขึ้นมาจากกระบวนการต่าง ๆ ในการดำรงชีวิตทำให้ร่างกายต้องสร้างสารต้านอนุมูลอิสระเพื่อกำจัดและลดความรุนแรงของ ROS ที่เกิดขึ้น โดยการสร้างสารต้านอนุมูลอิสระในร่างกายมีเพียงพอต่อการเกิดอนุมูลอิสระในร่างกาย หากเกิดสภาวะผิดปกติภายในร่างกาย เช่น ความเครียด การนอนดึกติดต่อกันเป็นเวลานาน การรับประทานยาที่มีผลต่อการลดเอนไซม์ของสารต้านอนุมูลอิสระหรือโรคต่าง ๆ ทำให้การเกิดอนุมูลอิสระมากกว่าสารต้านอนุมูลอิสระ และอนุมูลอิสระเกิดเป็นภาวะความเครียดของออกซิเจน ดังนั้น สารต้านอนุมูลอิสระภายในร่างกายมีความสำคัญต่อการป้องกันการ เกิดโรคและความเสื่อมของร่างกาย (Mason, 2011) ซึ่งสารต้านอนุมูลอิสระมีกลไกการต้านอนุมูลอิสระหลายวิธี (Vertuani *et al.*, 2004) ดังนี้

1. Free radical scavenging สารต้านอนุมูลอิสระให้ไฮโดรเจนหรืออิเล็กตรอนแก่อนุมูลอิสระ ส่งผลให้อนุมูลอิสระเสถียรมากขึ้น เมื่อสารต้านอนุมูลอิสระให้ไฮโดรเจนหรืออิเล็กตรอน

ไปเกิดเป็นอนุมูลอิสระตัวใหม่ที่มีความรุนแรงน้อยกว่าอนุมูลอิสระเดิมหรือสารต้านอนุมูลอิสระตัวอื่นให้ไฮโดรเจนหรืออิเล็กตรอน เพื่อเกิดผลิตภัณฑ์ที่เสถียร

2. Singlet oxygen quenching ($^1O_2^{\bullet}$) ออกฤทธิ์ยับยั้งการทำงานของ Singlet oxygen โดยเปลี่ยน Singlet oxygen ให้อยู่ในรูป Triplet oxygen ($^3O_2$) และปล่อยพลังงานออกไปในรูปของความร้อน

3. Metal chelating โดยโลหะหนัก เช่น Fe^{2+}/Fe^{3+} และ Cu^{2+} มีผลไปเร่งปฏิกิริยาออกซิเดชันภายในร่างกาย ซึ่งโลหะหนักไปเร่งการเกิดอนุมูลอิสระหลายตัว เช่น Peroxyl radical, Hydroxyl radical และ Alkyl radical ดังนั้น สารที่ไปจับกับโลหะหนักจะช่วยชะลอการเกิดอนุมูลอิสระในร่างกายได้

4. การยับยั้งการทำงานของเอนไซม์เร่งปฏิกิริยาอนุมูลอิสระ (Enzyme inhibitor)

6.1 สารประกอบฟีนอลิก

สารประกอบฟีนอลิกเป็นสารต้านออกซิเดชันที่พบตามธรรมชาติในพืชมากกว่า 8,000 ชนิด เช่น องุ่น ส้ม พริกไทย พริก ขิง กระเทียม หัวหอม พืชตระกูลถั่ว ข้าว งา โกโก้ และใบชา เป็นต้น สารประกอบฟีนอลิกเป็นสารทุติยภูมิที่พืชสร้างขึ้นในช่องว่างภายในเซลล์ (Cell vacuole) ตามส่วนต่าง ๆ ของพืช เพื่อใช้ประโยชน์ในการเจริญเติบโต การพัฒนาการ และการขยายพันธุ์ของพืชแต่ละชนิดโดยมีสูตรโครงสร้างทางเคมีเป็นสารประกอบวงแหวนเบนซีนต่ออยู่กับหมู่ไฮดรอกซิล (-OH group) อย่างน้อย 1 หมู่ รวมถึงอนุพันธ์ของสารประกอบฟีนอล สามารถละลายได้ในน้ำ สารประกอบฟีนอลิกที่พบในพืชส่วนใหญ่อยู่รวมกับโมเลกุลน้ำตาลในรูปของสารประกอบไกลโคไซด์ ชนิดของน้ำตาลที่พบมากที่สุดในโมเลกุลสารประกอบฟีนอล ได้แก่ น้ำตาลกลูโคส และอาจอยู่รวมกับสารประกอบอื่น เช่น โปรตีน แอลคาลอยด์ (Alkaloid) และเทอร์พีนอยด์ (Terpenoid) เป็นต้น (เนตรนภา และเฉลิม, 2557) สารประกอบฟีนอลิกสามารถจำแนกได้หลายกลุ่ม เช่น

6.1.1 กลุ่มกรดไฮดรอกซีเบนโซอิก (Hydroxybenzoic acid) ได้แก่ กรดแกลลิก กรดเอลลาจิก วานิลลิน และกรดไซรินจิก เป็นต้น

6.1.2 กลุ่มกรดไฮดรอกซีซินนามิก (Hydroxycinnamic acid) ได้แก่ กรดคาเฟอิก กรดคลอโรจีนิก กรดเฟอรูลิก และกรดคูมาริก เป็นต้น

6.1.3 กลุ่มฟลาโวนอยด์ เป็นกลุ่มใหญ่ที่พบมากในสารประกอบฟีนอลิก

6.1.4 กลุ่มสติลบีน (Stilbenes)

6.1.5 กลุ่มลิกนิน (Lignin) และพอลิเมอร์ของลิกนิน

สารประกอบฟีนอลิกมีฤทธิ์ต้านแบคทีเรีย ต้านไวรัส ต้านการอักเสบ ต้านการแพ้ และมีคุณสมบัติในการสลายลิ่มเลือด ต้านการก่อมะเร็ง และลดความดันโลหิตในการสลายลิ่มเลือด เป็นต้น (ปริยานุช, 2551; ลือชัย, 2555)

6.2 ฟลาโวนอยด์

ฟลาโวนอยด์เป็นสารประกอบย่อยในกลุ่มของสารประกอบฟีนอลิก โดยฟลาโวนอยด์เป็นสารประกอบที่มีมวลโมเลกุลต่ำ ประกอบด้วย อะตอมของคาร์บอน 15 อะตอม มีโครงสร้างเป็น C_6-C_3-C_6 มักจะอยู่รวมกับโมเลกุลน้ำตาล ฟลาโวนอยด์สามารถแบ่งเป็นกลุ่มย่อยตามโครงสร้างเคมี ได้แก่ ฟลาโวนอล (Flavonols) ฟลาโวน (Flavones) ฟลาวาโนน (Flavanones) ฟลาวานอล (Flavanols หรือ Catechin) ไอโซฟลาโวน (Isoflavones) และแอนโธไซยานิดิน (Anthocyanidins) เป็นต้น (Balasundram *et al.*, 2006) ซึ่งสามารถพบได้ตามธรรมชาติจำพวกผัก ผลไม้ เมล็ดธัญพืช ใบไม้ และเปลือกไม้ แหล่งของอาหารที่พบฟลาโวนอยด์มาก เช่น หัวหอม พริกไทย ผักกาดหอม กระชายดำ พืชตระกูลถั่ว เมล็ดองุ่น แอปเปิล ส้ม ใบชา และไวน์ เป็นต้น จากการศึกษางานวิจัย อรชร และกาญจนา (2558) รายงานว่า ฟลาโวนอยด์มีฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระ ต้านโรคมะเร็ง ต้านการอักเสบ ต้านโรคเบาหวาน ลดระดับของคอเลสเตอรอลและไตรกลีเซอไรด์ในเลือด ช่วยให้การไหลเวียนเลือดดีขึ้น เพิ่มความชุ่มชื้นแก่ผิว และเสริมการทำงานของวิตามินซี

6.3 แทนนิน

แทนนินเป็นสารประกอบเชิงซ้อนที่จัดอยู่กลุ่มสารประกอบฟีนอลิก โดยแทนนินมีโมเลกุลใหญ่ น้ำหนักโมเลกุลประมาณ 500-3,000 สามารถละลายน้ำได้และแยกให้บริสุทธิ์ได้ยาก เนื่องจากไม่ตกผลึก รวมถึงเป็นสารที่ทำให้เกิดรสฝาด มีสีเหลืองถึงสีน้ำตาล นอกจากนี้ ยังเกิดปฏิกิริยาการเกิดสีน้ำตาล มักพบในเปลือกไม้ เปลือกผล และส่วนอื่นของพืช เช่น โกโก้ ใบชา กล้วย พลับ ท้อ ละมุด แอปเปิล และองุ่น เป็นต้น ส่วนใหญ่แทนนินเป็นสารผสมจำพวกโพลิฟีนอล โดยทั่วไปมักพบอยู่ในรูปโครงสร้างที่ซับซ้อนจับแอลคาลอยด์ พอลิแซคคาร์ไรด์ และโปรตีน เมื่อพิจารณาโดยอาศัยโครงสร้างพื้นฐานสามารถแบ่งแทนนินออกเป็น 2 กลุ่มใหญ่ ดังนี้

6.3.1 Condensed tannins เป็นกลุ่มของสารประกอบแทนนินที่เป็นพอลิเมอร์ของแคทีชินหรือเอพิแคทีชินเป็นสารตัวกลางในกระบวนการชีวสังเคราะห์ของแทนนิน นอกจากนี้ Condensed tannins เป็นสารที่ไม่ถูกย่อยง่าย ๆ นอกจากจะมีกรดหรือเอนไซม์มาย่อยสลายกลายเป็นสารสีแดงที่ไม่ละลายน้ำ เรียกสารนี้ว่า Phlobaphenes โดย Condensed tannins พบมากในผลไม้ ธัญพืช และพืชตระกูลถั่ว

6.3.2 Hydrolysable tannins เป็นกลุ่มของสารประกอบแทนนินที่เป็นพอลิเมอร์ของกรดแกลลิกหรือกรดเอลลาจิก (Ellagic acid) เรียกว่า แกลโลแทนนิน (Gallotannins) และเอลลาจิแทนนิน (Ellagitannins) นอกจากนี้ Hydrolysable tannins เป็นสารที่มีสีเหลืองและสีน้ำตาล ละลายได้ในน้ำร้อน มีรสฝาด และพบในจำพวกเบอร์รี่และพืชตระกูลถั่ว

แทนนินสามารถทำปฏิกิริยากับสารจำพวกโปรตีน ซึ่งสามารถดูดซับสีย้อมและใช้ประโยชน์ในอุตสาหกรรมฟอกหนัง โดยแทนนินที่พบในใบพืชเกี่ยวข้องกับกระบวนการเมตาบอลิซึมของเนื้อเยื่อที่กำลังเจริญเติบโตและพบในพืชหลายชนิด ซึ่งมีคุณสมบัติต้านเชื้อจุลินทรีย์ เชื้อราแบคทีเรีย และยับยั้งอาการโรคมะเร็ง ตลอดจนใช้เป็นยาฝาดสมาน เช่น ยาแก้ท้องเสีย ยาสมานแผลและยารักษาแผลไฟไหม้ เป็นต้น (King and Young, 1999)

7. สารพฤกษเคมีในใบ

ใบพืชเป็นส่วนที่เกิดกระบวนการสังเคราะห์แสง การคายน้ำ และการหายใจ เพื่อการผลิตและสะสมอาหารภายในพืช รวมถึงเกิดกระบวนการเมตาบอลิซึมต่าง ๆ ที่มีผลต่อการสร้างสารปฐมภูมิ (Primary metabolite) เช่น โปรตีน คาร์โบไฮเดรต ลิพิด และกรดนิวคลีอิก เป็นต้น และการสร้างสารทุติยภูมิ (Secondary metabolite) หรือสารพฤกษเคมี (Hassanpour *et al*., 2011) สารพฤกษเคมีจัดเป็นสารประกอบที่มีศักยภาพในการต้านการเกิดออกซิเดชันและความสามารถในการจับและออกฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระได้เป็นอย่างดี ซึ่งเกิดจากการนำสารปฐมภูมิเข้าสู่กระบวนการชีวสังเคราะห์เพื่อสร้างสารชนิดต่าง ๆ ที่จำเป็นต่อการดำรงชีวิต (Muthukrishnan and Subramaniyan, 2012) ได้แก่ สารประกอบฟีนอลิก ฟลาโวนอยด์ แทนนิน แอลคาลอยด์ เทอร์พีนอยด์ และซาโปนิน (Saponin) เป็นต้น (กรองจันทร์ และสมจิตต์, 2557) โดยพืชบางชนิดจะสังเคราะห์และสะสมสารพฤกษเคมีแตกต่างกัน ขึ้นอยู่กับพันธุ์ สภาพแวดล้อม การจัดการ และโครงสร้างพืช เช่น อาร์ติโช้ค (Artichoke) (Senousy *et al*., 2014) น้ำเต้า (Patel *et al*., 2018) พืชไม้ผลเขตร้อนบางชนิด (ปานทิพย์ และวัลภา, 2557) กาแฟพันธุ์ pseudozanguebariae (Talamond *et al*., 2008) กาแฟอราบิก้า (Ivamoto *et al*., 2017) และกาแฟโรบัสต้า (ณัฐวิทย์, 2561) เป็นต้น

สำหรับในใบกาแฟมีการสังเคราะห์และสะสมสารพฤกษเคมีจำนวนมาก เช่นเดียวกับในส่วนของเปลือกและเมล็ดกาแฟ ซึ่งสารต้านอนุมูลอิสระที่พบมากในใบกาแฟสามารถแบ่งกลุ่มออกได้หลายกลุ่ม ได้แก่ สารประกอบฟีนอลิก แอลคาลอยด์ ฟลาโวนอยด์ แซนโทนอยด์ แทนนิน แคทีชิน และเทอร์พีนอยด์ เป็นต้น สารต้านอนุมูลอิสระเหล่านี้ประกอบด้วยอนุพันธ์ของสารแต่ละกลุ่มแตกต่างกัน ตัวอย่างในสารประกอบฟีนอลิก ประกอบด้วย กรดแกลลิก กรดคาเฟอิก กรดคลอโรจีนิก

กรดเฟอรูลิก ฯลฯ แอลคาลอยด์ ประกอบด้วย คาเฟอีน ไตรโกเนลไลน์ ธีโอโบรมีน ฯลฯ ฟลาโวนอยด์ ประกอบด้วย แอนโทไซยานิน เควอซีทิน ไอโซเควอซีทิน รูทิน ฯลฯ แซนโทนอยด์ ประกอบด้วย แมงจิเฟอริน (Mangiferin) และไอโซแมงจิเฟอริน และแคทีชิน ประกอบด้วย แคทีชินและอิพิแคทีชิน (Chen *et al.*, 2018) ซึ่งสารพฤกษเคมีเหล่านี้มีหน้าที่หลักในการป้องกันและยับยั้งปฏิกิริยาออกซิเดชันและสารต้านการกลายพันธุ์ โดยการกำจัดอนุมูลอิสระและเร่งให้เกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันกับสารต้านอนุมูลอิสระ เพื่อลดความเสี่ยงของการเกิดโรคหลอดเลือดตีบในหัวใจ โรคเบาหวาน โรคมะเร็ง โรคเกี่ยวกับตา ช่วยป้องกันอนุมูลอิสระบริเวณผิวหนังและในวิตามินชนิดต่าง ๆ ตลอดจนช่วยเพิ่มภูมิคุ้มกันแก่ร่างกายอีกด้วย (นิภาพร และคณะ, 2557; ภานุวัฒน์ และคณะ, 2560; Mondolot *et al.*, 2006; Salgado *et al.*, 2008)

8. ปริมาณสารพฤกษเคมีต่อระยะพัฒนาการของใบกาแฟ

จากการศึกษางานวิจัยเกี่ยวกับปัจจัยด้านอายุใบหรือระยะพัฒนาการของใบต่อปริมาณสารพฤกษเคมีภายในใบกาแฟยังมีน้อย เนื่องจากผลผลิตหลักเพื่อการค้าของต้นกาแฟคือเมล็ดกาแฟ ขณะที่ บางงานวิจัยรายงานเกี่ยวกับสารพฤกษเคมีในระยะพัฒนาการของใบกาแฟ เช่น สารต้านอนุมูลอิสระกลุ่มแอลคาลอยด์มีสารประกอบย่อย เรียกว่า คาเฟอีน โดยใบอ่อนของกาแฟอราบิก้ามีปริมาณสารแอลคาลอยด์สูงกว่าใบแก่ (Frischknecht *et al.*, 1986) จากการศึกษาของ Ratanamarno และ Surbkar (2017) รายงานผลของปริมาณสารต้านอนุมูลอิสระ สารประกอบฟีนอลิก แมงจิเฟอริน และแคทีชินต่อระยะพัฒนาการของใบกาแฟอราบิก้า พบว่า ใบอ่อนของกาแฟอราบิก้ามีปริมาณสารต้านอนุมูลอิสระ สารประกอบฟีนอลิก แมงจิเฟอริน และแคทีชินสูงกว่าใบแก่ และการศึกษาของ Campa และคณะ (2012) รายงานผลของปริมาณแมงจิเฟอรินต่อระยะพัฒนาการของใบกาแฟแต่ละพันธุ์ พบว่า ใบอ่อนของกาแฟพันธุ์ pseudozanguebariae พันธุ์ eugenioides และอราบิก้ามีปริมาณแมงจิเฟอรินสูงกว่าใบเพสลาด แต่ใบกาแฟโรบัสต้าไม่แสดงการสะสมของปริมาณแมงจิเฟอรินในชั้น Palisade parenchyma และ Spongy parenchyma ทุกระยะพัฒนาการของใบกาแฟโรบัสต้า

นอกจากนี้ ปัจจัยด้านสภาพแวดล้อมและอายุใบยังมีผลต่อปริมาณสารพฤกษเคมีในใบ โดยใบแก่เป็นใบที่มีอายุการพัฒนาการของใบมากที่สุดและเกิดการสังเคราะห์สารประกอบทางเคมีในกระบวนการชีวสังเคราะห์มาก แต่ในระหว่างช่วงพัฒนาการของพืช พืชจะได้รับสภาพแวดล้อมต่าง ๆ ที่เหมาะสมและไม่เหมาะสมส่งผลให้พืชสังเคราะห์สารต้านอนุมูลอิสระ เพื่อต้านความเครียดที่ไม่เหมาะสมและเก็บสะสมความเครียดนั้น หากอนุมูลอิสระมากเกินความสามารถในการป้องกันหรือกำจัดอนุมูลอิสระ ใบพืชจะแสดงอาการผิดปกติออกมามีผลให้ใบแก่มีปริมาณสารต้านอนุมูลอิสระต่ำ

กว่าใบระยะอื่น (Blokhina *et al.*, 2003) จากการศึกษา Campa และคณะ (2017) รายงานว่า ใบอ่อนของกาแฟอราบิก้ามีการสังเคราะห์กรดไฮดรอกซีซินนามิกและแมงจิเฟอรินสูงที่สุดเมื่อเทียบกับระยะอื่นที่ความเข้มแสง 500 ไมโครโมลต่อตารางเมตรต่อวินาที เป็นเวลา 7 วัน ซึ่งใบอราบิก้าสามารถปรับตัวตามสภาพแวดล้อมที่มีความเข้มแสงสูงและใบอ่อนเกิดการสังเคราะห์กรดไฮดรอกซีซินนามิกและแมงจิเฟอรินเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็วหลังได้รับความเข้มแสงมากกว่า 4 วัน จากการศึกษา Salgado และคณะ (2008) รายงานผลของกระบวนการการสังเคราะห์สารฟีนอลทั้งหมดในใบอราบิก้าช่วงที่ต้นกาแฟอยู่ในระยะ Vegetative และระยะ Reproductive ต่อสภาพอากาศ พบว่า ใบอ่อนของกาแฟอราบิก้ามีปริมาณสารฟีนอลทั้งหมดสูงกว่าใบแก่ทั้งใบที่อยู่ในระยะ Vegetative และระยะ Reproductive ภายใต้สภาวะอุณหภูมิในอากาศปกติและสภาวะที่มีรังสีความร้อนเพิ่มขึ้น

9. ผลิตภัณฑ์ชา

ชาเป็นผลิตภัณฑ์ที่แปรรูปจากใบ ยอดอ่อน และก้านของต้นชานำมาผ่านกรรมวิธีแปรรูปต่าง ๆ ซึ่งคำว่า ชา ยังหมายถึงเครื่องดื่มที่มีกลิ่นหอมทำจากพืชตากแห้งชนิดต่าง ๆ และนำมาชงหรือต้มด้วยน้ำร้อน ขณะเดียวกัน ชายังเป็นเครื่องดื่มที่มีการบริโภคมากที่สุดเป็นอันดับ 2 รองมาจากน้ำเปล่า เช่นเดียวกับ กาแฟและโกโก้ที่ได้รับความนิยมบริโภคกันทั่วโลก โดยประเทศจีนเป็นประเทศแรกที่ริเริ่มนำชามาทำเป็นเครื่องดื่มนานกว่า 2,000 ปี ต่อมาการดื่มน้ำชาได้แพร่กระจายไปทั่วโลกทั้งในทวีปอเมริกา ยุโรป เอเชีย และบางประเทศของทวีปแอฟริกา (Eden, 1976)

9.1 ประเภทของชา

เครื่องดื่มชาที่พบมากในปัจจุบันมีหลายประเภท ซึ่งแต่ละประเภทมีกรรมวิธีแตกต่างกัน สามารถแบ่งออกเป็น 4 ประเภทหลัก (คริสตี้, 2560) ได้แก่

ชาขาว (White tea) ใบชาที่ถูกทิ้งให้สลดโดยตากแห้งในแสงอาทิตย์และไม่ผ่านกระบวนการบ่ม การผลิตชาขาวมีขั้นตอนที่สั้นที่สุด ทำให้ชามีความบริสุทธิ์กว่าชาอื่นและมีสารต้านอนุมูลอิสระสูงกว่าชาเขียวถึง 3 เท่า ตลอดจนป้องกันการเกิดอนุมูลอิสระในร่างกายสูงกว่าชาเขียวถึง 10 เท่า

ชาเขียว (Green tea) ใบชาที่ไม่ได้ถูกทิ้งให้สลด อบด้วยไอน้ำเดือดหรือคั่ว และอบให้แห้งซึ่งไม่ผ่านกระบวนการบ่ม โดยนำใบชามาทำให้แห้งด้วยการให้ความร้อนยับยั้งการสลายตัวของใบชาหรือปฏิกิริยาของเอนไซม์ในการย่อยสลายตัวเอง ซึ่งชาเขียวจะมีรสอ่อน สีน้ำชาเป็นสีเขียวหรือเหลืองอมเขียว และกากชามีสีเขียวค่อนข้างสด

ชาอู่หลง (Oolong tea) จัดเป็นชากึ่งหมักได้จากใบชาที่ทิ้งให้สลด คั่วให้สุก นวดเป็นเส้นหรือเม็ด อบให้แห้ง และผ่านกระบวนการบ่มเล็กน้อย โดยนำใบชามาผึ่งแดดทำให้อุณหภูมิในใบชาสูงขึ้นจนเกิดกลิ่นหอม จากนั้นนำไปผึ่งในร่มพร้อมเขย่าเพื่อกระตุ้นใบชาให้ตื่นตัว และเร่งกระบวนการหมักแบบออกซิเดชันทำให้สีน้ำมีสีเข้มขึ้น ซึ่งชาอู่หลงจะมีรสชาติเข้มข้น รสฝาด และรสขมเล็กน้อย กลิ่นหอม น้ำชามีสีเหลืองอมเขียว น้ำตาลอมเขียว น้ำตาลอมเหลืองหรือน้ำตาลส้ม กากชามีสีเขียวอมเหลือง

ชาดำ (Black tea) จัดเป็นชาหมักได้จากใบชาที่ทิ้งให้สลด นวดเป็นเส้นหรือเม็ดและผ่านกระบวนการบ่มเต็มที่ โดยนำใบชามาทำให้แห้ง จากนั้นนำใบชากึ่งแห้งไปคลึงหรือบดด้วยลูกกลิ้งเพื่อให้ใบชาช้ำ ซึ่งเซลล์ในใบชาจะแตกช้ำโดยใบไม่ขาด และเอนไซม์ในเซลล์จะย่อยสลายสารเกิดเป็นกระบวนการหมักโดยแบคทีเรีย ทำให้เกิดกลิ่นและรสจนใบชาเริ่มเปลี่ยนสีเป็นสีทองแดง และทิ้งไว้ระยะหนึ่งก่อนใช้ความร้อนเป่าไปที่ใบชาเอนไซม์จะหมดฤทธิ์ ใบชาเริ่มเปลี่ยนเป็นสีดำเมื่อนำไปตากหรืออบให้แห้ง จากนั้นบดหรือหั่นมีลักษณะเป็นผง

นอกจากนี้ ยังมีชาสมุนไพร (Herbal tea) เป็นเครื่องดื่มที่มีรูปแบบและวิธีการบริโภคเหมือนกับชาข้างต้น เพียงแต่ใช้สมุนไพร ใบไม้ ดอกไม้ หรือผลของพืชต่าง ๆ โดยไม่มีส่วนผสมของต้นชา นำมาทำให้แห้งและลดขนาดให้เล็กลงโดยการตัด สับ หรือบดเท่านั้น (กิตยาภรณ์, 2558)

9.2 กรรมวิธีของชาใบกาแฟโรบัสต้า

กรรมวิธีของชาใบกาแฟโรบัสต้าเป็นกรรมวิธีแบบเดียวกับชาเขียวที่มีการอบด้วยไอน้ำเดือดส่งผลให้เอนไซม์ภายในใบเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันกับออกซิเจนในอากาศ ทำให้ใบกาแฟมีสีเขียวอ่อน คลอโรฟิลล์ภายในใบแตกตัวกลายเป็นสารแทนนินที่มีรสฝาด จากนั้นนำมาคั่วเพื่อให้เซลล์ในใบหยุดทำงานและป้องกันการเกิดกระบวนการหมักภายในใบกาแฟ และทำการอบชาใบกาแฟเพื่อให้หยุดปฏิกิริยาเคมีต่าง ๆ ในชาใบกาแฟโรบัสต้า (Chung *et al.*, 1998) จากการศึกษา Gray (2013) รายงานว่า ชาจากใบกาแฟมีส่วนช่วยบำรุงร่างกายได้ดีกว่าเครื่องดื่มอื่น ๆ และลดความเสี่ยงของโรคหัวใจและโรคเบาหวาน เนื่องจากภายในใบกาแฟมีสารต้านอนุมูลอิสระมากกว่าชาเขียวและชาดำทั่วไป รวมทั้งแคลเซียมและวิตามินต่าง ๆ สอดคล้องกับ เครือข่ายการแปรรูปอาหารอินทรีย์ (2561) รายงานว่า ใบกาแฟมีปริมาณสารต้านอนุมูลอิสระและสารประกอบฟีนอลิกสูงกว่าเมล็ดกาแฟและใบชา โดยใบกาแฟมีปริมาณคาเฟอีนอยู่ประมาณ 1-1.25 เปอร์เซ็นต์ ซึ่งชาใบกาแฟมีรสชาติหวาน ฝาดเล็กน้อย และรสชาติไม่เข้มข้นเหมือนชาอู่หลงและชาดำ นอกจากนี้ ยังมีปริมาณคาเฟอีนต่ำกว่าชาทั่วไปและกาแฟ ทั้งนี้ ชาใบกาแฟนิยมดื่มกันในประเทศเอธิโอเปีย ซูดานใต้ และอินโดนีเซีย

9.3 สารพฤกษเคมีในผลิตภัณฑ์ชา

สารพฤกษเคมีในชามีสารโพลิฟีนอล (Polyphenols) ที่มีคุณสมบัติต้านการอักเสบ ต้านออกซิเดชัน ต้านอนุมูลอิสระ ยับยั้งการเจริญเติบโตของจุลินทรีย์และเซลล์มะเร็ง ลดความเสี่ยงต่อการเกิดโรคหัวใจ โรคเบาหวาน และลดคอเลสเตอรอลในเลือด เป็นต้น สารพฤกษเคมีอาจเกิดปฏิกิริยาการสลายตัว (Degradation) ออกซิเดชัน (Oxidation) อีพิเมอร์ไรเซชัน (Epimerization) และพอลิเมอร์ไรเซชัน (Polymerization) ซึ่งส่งผลต่อคุณภาพของชาและประโยชน์ของสารพฤกษเคมีในชาเปลี่ยนแปลงไป ในการศึกษาของ พิมพ์เพ็ญ และนิธิยา (2553) รายงานว่า สารกลุ่มโพลิฟีนอลในชาเป็นสารจับโลหะ (Chelating agent) ทำปฏิกิริยากับเหล็ก เกิดเป็นสารประกอบที่ไม่ละลายน้ำส่งผลให้เกิดการยับยั้งการดูดซึมธาตุเหล็กในลำไส้ จึงควรดื่มชาระหว่างมื้อแทนการดื่มชารวมกับอาหารและยาเม็ดที่มีธาตุเหล็กเป็นองค์ประกอบ นอกจากนี้ กรรมวิธีการแปรรูปผลิตภัณฑ์ชายังส่งผลต่อสารพฤกษเคมีในชา เช่น สารกลุ่มโพลิฟีนอล กรดแกลลิก ฟลาโวนอยด์ แคทีชิน คาเฟอีน และแทนนิน เป็นต้น จากการศึกษาของ Chen และคณะ (2003) รายงานว่า แต่ละกรรมวิธีทำให้ชามีองค์ประกอบทางเคมีที่แตกต่างกัน ส่งผลให้ชามีสี กลิ่นหอม และรสชาติที่แตกต่างกัน ส่วนการผลิตชาเขียวผ่านกระบวนการนึ่งและคั่ว เพื่อป้องกันการเกิดกระบวนการหมัก มีผลให้ผลิตภัณฑ์ชาเขียวมีปริมาณแคทีชินมากกว่าชากรรมวิธีอื่นและมีปริมาณใกล้เคียงกับยอดใบชาสด (ธีรพงษ์, 2556) ตลอดจนระหว่างการแปรรูปเกิดสารแทนนิน เมทิลแซนทีน (Methylxanthines) และส่วนที่ให้กลิ่นหอม (Aromatic principles) ซึ่งเป็นส่วนประกอบหลักของสารต่าง ๆ ในผลิตภัณฑ์ชา (กิตยาภรณ์, 2558)

9.4 การเก็บรักษาผลิตภัณฑ์ชาและคุณภาพของชา

การเก็บรักษาผลิตภัณฑ์ชาเพื่อให้สี กลิ่นหอม และรสชาติของชาคงที่ ควรเก็บในภาชนะดินเผา ภาชนะโลหะมีฝาสองชั้นหรือถุงฟอยล์ทึบ ซึ่งภาชนะต้องแห้ง ปราศจากกลิ่น และอากาศเข้าไม่ได้ เนื่องจากความชื้น อุณหภูมิ และกลิ่นเป็นปัจจัยที่ส่งผลต่อคุณภาพของชาเช่นเดียวกับ ระยะการเก็บรักษาผลิตภัณฑ์ชา โดยชาแต่ละชนิดใช้อุณหภูมิการเก็บรักษาแตกต่างกัน เช่น ชาเขียวควรเก็บในที่แห้งและอุณหภูมิต่ำหรือเก็บในกระป๋องที่ปิดมิดชิดในตู้เย็น หากเป็นชาชงดื่มควรเก็บไม่เกิน 18 เดือน ส่วนชาอู่หลงและชาดำเก็บในที่อุณหภูมิปกติและไม่โดนแสง (คริสตี้, 2560)

ขณะที่ ช่วงระหว่างการรักษาเก็บผลิตภัณฑ์ชาอาจเกิดการเปลี่ยนแปลงทางกายภาพ เคมี ชีวภาพ และคุณภาพทางด้านประสาทสัมผัส โดยการเปลี่ยนแปลงทางกายภาพมักเกิดการเปลี่ยนสีของใบชาและน้ำชา เช่น สีใบชาจากสีเขียวเข้มเปลี่ยนเป็นสีน้ำตาล สีน้ำชาจางมากขึ้น หรือน้ำชาสีเขียวเปลี่ยนเป็นสีน้ำตาลเหลือง เป็นต้น การเปลี่ยนแปลงทางชีวภาพ ได้แก่ การเจริญเติบโตของเชื้อจุลินทรีย์โดยเฉพาะเชื้อราเมื่อเก็บรักษาชาในที่มีความชื้นสัมพันธ์สูง การเกิดเชื้อราสูง อัตราการเกิดเชื้อรามากขึ้นตาม เป็นต้น การเปลี่ยนแปลงคุณภาพทางด้านประสาทสัมผัส ได้แก่ กลิ่นหอมและ

รสชาติของผลิตภัณฑ์ชาระหว่างการเก็บรักษาเกิดการเปลี่ยนแปลงไป โดยมีกลิ่นหอมลดลง รสชาติฝาดและรสขมมากขึ้น เป็นต้น (อุบลรัตน์ และคณะ, 2550)

การประเมินคุณภาพด้านประสาทสัมผัส (Sensory evaluation) จึงเป็นวิธีหนึ่งทางวิทยาศาสตร์ที่เกิดจากการดำเนินการวิเคราะห์และการแปลผล การตอบสนองจากผลิตภัณฑ์โดยการรับรู้ทางประสาทสัมผัส ได้แก่ การมองเห็น การได้กลิ่น การรับรส และการสัมผัส และทำการตัดสินโดยอาศัยข้อมูลการวิเคราะห์และการแปลผลเป็นสำคัญ การใช้ประสาทสัมผัสถือเป็นปัจจัยสำคัญสำหรับใช้วัดคุณลักษณะและการยอมรับผลิตภัณฑ์ด้วยการตรวจวิเคราะห์ลักษณะและระดับคุณภาพของผลิตภัณฑ์ให้สอดคล้องกับระดับความชอบของผู้บริโภค (ไพโรจน์, 2545) วิธีการที่นิยมใช้ในการประเมินการยอมรับทางด้านประสาทสัมผัสของผู้บริโภค คือ Hedonic scale 9 point โดยให้ 9 คะแนน คือ ชอบมากอย่างยิ่ง 5 คะแนน คือ ชอบปานกลาง และคะแนน 1 คือ ไม่ชอบมากอย่างยิ่ง (Meilgaard *et al*., 1999)

วัตถุประสงค์

1. เพื่อศึกษาการเปลี่ยนแปลงลักษณะสัณฐานและสรีรวิทยาของใบในระยะพัฒนาการตั้งแต่ระยะใบหอกถึงใบเพสลาดของกาแฟโรบัสต้า
2. เพื่อศึกษาปริมาณสารพฤกษเคมีที่สำคัญในระยะพัฒนาการตั้งแต่ระยะใบหอกถึงใบเพสลาดของกาแฟโรบัสต้าและระยะที่เหมาะสมต่อการนำไปแปรรูปเป็นชาใบกาแฟโรบัสต้า
3. เพื่อศึกษาระยะเวลาการเก็บรักษาชาใบกาแฟต่อคุณภาพเบื้องต้นด้านประสาทสัมผัสของชาใบกาแฟโรบัสต้า

บทที่ 2

วัสดุ อุปกรณ์ และวิธีการ

วัสดุและอุปกรณ์

1. วัสดุ

1.1 วัสดุพืช

- ต้นกาแฟโรบัสต้าโคลนชุมพร 2 (โคลนแนะนำ)
- ต้นกาแฟโรบัสต้าโคลนควนโดน (โคลนพื้นเมือง)

1.2 สารเคมีที่ใช้ในการทดลอง

1.2.1 สารเคมีที่ใช้สกัดตัวอย่าง

- เอทานอล 95 เปอร์เซ็นต์ (Ethanol; EtOH), J.T. Baker
- เมทานอล (Methanol; MeOH), J.T. Baker

1.2.2 สารเคมีที่ใช้ในการวิเคราะห์ปริมาณสาร

- 2,2-Diphenyl-1-picrylhydrazyl (DPPH), Sigma-Aldrich
- โทรลอกซ์ (6-Hydroxy-2,5,7,8-tetramethylchromane-2-carboxylic acid; Trolox), Sigma-Aldrich
- เฟอร์รัสซัลเฟต (Ferrous sulphate; $FeSO_4$), Ajax Finechem
- กรดไฮโดรคลอริก (Hydrochloric acid; HCl), J.T. Baker
- โซเดียมอะซีเตต (Sodium acetate hydrated; CH_3COONa), Ajax Fineche
- เฟอร์ริคคลอไรด์ (IRON (III) chloride hexahydrate; $FeCl_3$), KemAus
- 2,4,6-Tris(2-pyridyl)-s-triazine, Sigma-Aldrich (TPTZ)
- กรดอะซิติก (Acetic acid), J.T. Baker
- โฟลินซิโอแคลตู รีเอเจนต์ (Folin-ciocalteu’s phenol reagent), Loba Chemie
- โซเดียมคาร์บอเนต (Sodium carbonate anhydrous; Na_2CO_3), Ajax Finechem
- กรดแกลลิก (Gallic acid monohydrate), Acros Organics
- โซเดียมไนไตรท์ (Sodium nitrite; $NaNO_2$), Ajax Finechem

- อะลูมิเนียมคลอไรด์ (Aluminium chloride hydrated; $AlCl_3$), Ajax Finechem
- โซเดียมไฮดรอกไซด์ (Sodium hydroxide pellets; NaOH), Ajax Finechem
- แคทีชิน (Catechin hydrate), Sigma-Aldrich
- กรดแทนนิก (Tannic acid), Loba Chemie
- น้ำกลั่น (Distilled water)

2. เครื่องมือทางสรีรวิทยาพืช

2.1 เครื่องบันทึกข้อมูลอุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์ (Temperature and relative humidity datalogger), Shenzhen Exportise Technology Co., Ltd., China

2.2 เครื่องวัดความเขียวใบ (Chlorophyll meter) รุ่น SPAD-502 Plus, Minolta, Japan

2.3 เครื่องวัดพื้นที่ใบ (Leaf area meter) รุ่น LI-3000C, LI-COR, USA

3. เครื่องมือทางสรีรวิทยาหลังการเก็บเกี่ยวพืช

- เครื่องวัดสี (Chroma meter) รุ่น CR-400, KONICA Minolta, Japan

4. อุปกรณ์

4.1 อุปกรณ์ที่ใช้ในแปลงทดลอง

- บันไดอะลูมิเนียมแบบพับ

4.2 เครื่องมือและอุปกรณ์ในห้องปฏิบัติการ

- กระบอกตวง (Cylinder) ขนาด 250 มิลลิลิตร
- ขวดก้นกลม (Round bottom flask) ขนาด 1,000 มิลลิลิตร
- ขวดปรับปริมาตร (Volumetric flask) ขนาด 25 100 250 และ 500 มิลลิลิตร
- ขวดดูแรน (Laboratory bottle) ขนาด 500 และ 1,000 มิลลิลิตร
- ขวดรูปชมพู่ (Erlenmeyer flask) ขนาด 125 มิลลิลิตร
- ขวดยาหม่องกลม (Balm bottle) ขนาด 30 กรัม
- ควอร์ต คิวเวท (Quartz cuvette)
- บีกเกอร์ (Beaker) ขนาด 50 100 250 500 และ 1,000 มิลลิลิตร
- หลอดทดลอง (Test tube) ขนาด 10 และ 15 มิลลิลิตร
- หลอดทดลองพร้อมฝาเกลียว (Culture tube) ขนาด 5 มิลลิลิตร

- หลอดเซนตริฟิวพลาสติก (Centrifuge tubes) ขนาด 15 มิลลิลิตร
- หลอดหยดสาร (Dropper)
- ไมโครปิเปตทิป (Micropipette tip) ขนาด 1 และ 5 มิลลิลิตร
- ไมโครปิเปต (Micropipette) ขนาด 1,000 และ 5,000 ไมโครลิตร, Eppendorf, Germany
- แท่งแก้วคน (Stirring rod)
- ช้อนตักสารเคมีพลาสติก (Plastic spatula)
- ช้อนตักสารสแตนเลส (Stainless spatula)
- ถุงมือยาง (Rubber glove)
- กระดาษกรอง (Filter paper) เบอร์ 4 ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 110 มิลลิเมตร
- กระดาษชั่งสาร (Weighing papers) ขนาด 10x10 cm
- ขวดน้ำกลั่น (Wash bottle)
- คอตตอนบัด (Cotton bud)
- แผ่นฟอยล์อลูมิเนียม (Aluminium foil)
- พาราฟิล์ม M (Parafilm M)
- เครื่องยูวี-วิสิเบิลสเปกโทรโฟโตมิเตอร์ (UV-VIS spectrophotometer) รุ่น Ultraspec 3000 UV/Visible, Pharmaica Biotech Inc., USA
- เครื่องวัดความเป็นกรดด่าง (pH meter) รุ่น Starter 2100, Ohaus, USA
- เครื่องปั่นเหวี่ยงสารละลาย (Centrifuge) รุ่น VARISPIN 4A, Cryste, Korea
- เครื่องกลั่นระเหยแบบหมุนภายใต้สุญญากาศ (Rotary evaporator) รุ่น R-100, Buchi, Switzerland
- เครื่องโครมาโทกราฟีสมรรถนะสูง (High-performance liquid chromatography; HPLC) รุ่น Hewlett Packard 1100, Agilent Technology Inc., Germany
- เครื่องปั่นตัวอย่าง (Blender) รุ่น Blender 600 W, Philips, England
- เครื่องบดตัวอย่างใบพืช (Grinder machine) รุ่น HC-300Y2, Huangcheng, China
- ตู้อบ (Hot air oven) รุ่น UF 750, Memmert, Germany
- อ่างควบคุมอุณหภูมิ (Water bath) รุ่น Alpha A12, Lauda, Germany
- เครื่องเขย่า (Vortex mixer) รุ่น V-1 plus Personal Bio, Biosan Ltd., USA
- เครื่องชั่งดิจิตอล 2 ตำแหน่ง รุ่น ES-1200HA, Zepper, China

- เครื่องชั่งดิจิตอล 4 ตำแหน่ง รุ่น PA214 (Pioneer), Ohaus, USA

4.3 อุปกรณ์วัดการพัฒนาการของใบ

- เวอร์เนียร์คาร์ลิปเปอร์ดิจิตอล (Digital caliper)
- ไม้บรรทัด

4.4 เครื่องมือและอุปกรณ์ทำชาใบกาแฟ

- กระทะไฟฟ้า (Electric cooker) 2 ชั้น ฝากระจก รุ่น HTP-360S, Hanabishi, Thailand
- มีด (Knife)
- เขียง (Cutting board)
- ถ้วย (Cup)
- ผ้าขาวบาง (Filter cloth)
- ตะหลิวไม้ (Wood spatula)
- ตะแกรงกรอง (Test sieve)
- ถุงซิป (Zipper bag)
- ซองชา (Tea bag)
- ถุงเมทัลไลท์ฟอยล์แบบซิป (Metalizing foil zip bag)

4.5 เครื่องมือและอุปกรณ์อื่นๆ

- ถุงกระดาษสำหรับอบตัวอย่าง
- กล้องถ่ายภาพ DSLR (Digital camera) รุ่น D5600, Nikon, Thailand

วิธีการ

การทดลองที่ 1 ระยะพัฒนาการของใบที่มีผลต่อลักษณะสัณฐานวิทยา สรีรวิทยาของใบและปริมาณสารพฤกษเคมีที่สำคัญในใบกาแฟโรบัสต้า

ทดลองในต้นกาแฟโรบัสต้าระหว่างสายพันธุ์แนะนำ (โคลนชุมพร 2) และสายพันธุ์พื้นเมือง จ. สตูล (โคลนควนโดน) อายุ 3 ปี โคลนละ 10 ต้น ปลูกในท่อซีเมนต์ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 0.9 เมตร ความสูงท่อ 0.5 เมตร ความสูงของดินในท่อ 0.4 เมตร ปริมาตรดินในท่อ 0.2546 ลูกบาศก์เมตร ปลูกต้นกาแฟ 1 ต้นต่อท่อ ระยะห่างระหว่างต้น 1.35 เมตร และระหว่างแถว 1.90 เมตร โดยวัดจากโคนต้น ปลูกในสภาพกลางแจ้งบริเวณแปลงทดลองภาควิชาพืชศาสตร์ คณะทรัพยากรธรรมชาติ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ วิทยาเขตหาดใหญ่ จังหวัดสงขลา และทำการเก็บใบสดของกาแฟโรบัสต้า 500 กรัมต่อโคลน ระหว่างเดือนกันยายนถึงเดือนธันวาคม พ.ศ. 2560 จากขนาดต้นใกล้เคียงกัน (ความสูง 2.32 ± 0.12 เมตร และความกว้างทรงพุ่ม 1.90 ± 0.13 เมตร) มารวบรวม เพื่อทำการเก็บข้อมูลต่อไป ตลอดจนวางแผนการทดลองแบบสุ่มอย่างสมบูรณ์ (Completely Randomized Design; CRD) โดยแบ่งระยะพัฒนาการของใบกาแฟตามช่วงอายุใบ แบ่งเป็น 5 ระยะ (ภาพที่ 1) ได้แก่ ระยะที่ 1 (S1) ใบกาแฟโรบัสต้าอายุ 1-4 วัน ระยะที่ 2 (S2) ใบกาแฟโรบัสต้าอายุ 5-8 วัน ระยะที่ 3 (S3) ใบกาแฟโรบัสต้าอายุ 9-14 วัน ระยะที่ 4 (S4) ใบกาแฟโรบัสต้าอายุ 15-20 วัน และระยะที่ 5 (S5) ใบกาแฟโรบัสต้าอายุ 21-27 วัน และวิเคราะห์ค่าสหสัมพันธ์ของความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปร 2 ตัว (Bivariate correlation)

ภาพที่ 1 ระยะพัฒนาการของใบกาแฟโรบัสต้า 5 ระยะ โดยระยะที่ 1 (S1) ใบมีอายุ 1-4 วัน ระยะที่ 2 (S2) ใบมีอายุ 5-8 วัน ระยะที่ 3 (S3) ใบมีอายุ 9-14 วัน ระยะที่ 4 (S4) ใบมีอายุ 15-20 วัน และระยะที่ 5 (S5) ใบมีอายุ 21-27 วัน

การเปลี่ยนแปลงของพื้นที่ใบแต่ละระยะพัฒนาการของใบกาแฟโรบัสต้าโคลนชุมพร 2 และควนโดน วางแผนการทดลองแบบสปลิตพลอตตามแผนแบบสุ่มอย่างสมบูรณ์ (Split plot in CRD) โดยให้โคลนกาแฟเป็นเมนพลอตมี 2 โคลน ได้แก่ โคลนชุมพร 2 และโคลนควนโดน โคลนละ 10 ต้น และระยะพัฒนาการของใบกาแฟเป็นซับพลอต มี 5 ระยะ ได้แก่ ระยะที่ 1 ใบมีอายุ 1-4 วัน ระยะที่ 2 ใบมีอายุ 5-8 วัน ระยะที่ 3 ใบมีอายุ 9-14 วัน ระยะที่ 4 ใบมีอายุ 15-20 วัน และระยะที่ 5 ใบมีอายุ 21-27 วัน ระยะละ 10 ใบ เพื่อประเมินปฏิสัมพันธ์ระหว่างระยะพัฒนาการของใบกับพื้นที่ใบกาแฟโรบัสต้าโคลนชุมพร 2 และควนโดน

การสะสมของปริมาณสารพฤกษเคมีที่สำคัญในแต่ละระยะพัฒนาการของใบกาแฟโรบัสต้าโคลนชุมพร 2 และควนโดน วางแผนการทดลองแบบ Split plot in CRD โดยให้โคลนกาแฟเป็นเมนพลอต มี 2 โคลน ได้แก่ โคลนชุมพร 2 และโคลนควนโดน โคลนละ 10 ต้น และช่วงระยะพัฒนาการของใบกาแฟเป็นซับพลอต มี 3 ช่วงระยะ ได้แก่ ช่วงระยะที่ 1-2 ใบมีอายุ 1-8 วัน ระยะที่ 3 ใบมีอายุ 9-14 วัน และช่วงระยะที่ 4-5 ใบมีอายุ 15-27 วัน ช่วงระยะละ 1,000 กรัมน้ำหนักสด ยกเว้นระยะที่ 1-2 หนัก 300 กรัมน้ำหนักสด เนื่องจากน้ำหนักสดและน้ำหนักแห้งของใบมีน้ำหนักน้อย เพื่อประเมินปริมาณสารพฤกษเคมีภายในใบกาแฟโรบัสต้าโคลนชุมพร 2 และควนโดนตามช่วง

ระยะพัฒนาการของใบ จำนวนละ 3 ซ้ำ โดยวิเคราะห์ค่าเฉลี่ยด้วยวิธี Duncan’s Multiple Range Test (DMRT)

การดูแลรักษาต้นกาแฟโรบัสต้าโดยการให้น้ำแบบระบบสปริงเกลอร์ตลอดฤดูกาล วันละ 1 ชั่วโมง โดยให้ปริมาตรน้ำ 120 ลิตรต่อชั่วโมง ใส่ปุ๋ยเคมีสูตร 16-16-16 ในอัตรา 100 กรัมต่อต้นต่อเดือน สลับกับการให้ปุ๋ยคอก (มูลวัว) อัตรา 2 กิโลกรัมต่อต้น ใส่ทุก 6 เดือน บริเวณโคนต้นกาแฟ กำจัดวัชพืชและกำจัดศัตรูพืช โดยใช้สารพอสซ์ (ชื่อการค้า) ชื่อสามัญว่า คาร์โบซัลแฟน (Carbosulfan) เป็นสารกลุ่ม Carbamate ประกอบด้วย Methylcarbamate 20 เปอร์เซ็นต์น้ำหนักต่อปริมาตร ประเภทน้ำมัน มี Dibutylaminothio เป็นสารสำคัญ ใช้อัตรา 50 มิลลิลิตรต่อน้ำ 20 ลิตร ผสมกับโวล์ค (ชื่อการค้า) ชื่อสามัญว่า ไว้ต์ออยล์ (White oil) มีน้ำมันปิโตรเลียม (Petroleum oil) 98 เปอร์เซ็นต์ และสารเคลือบผิว 2 เปอร์เซ็นต์เป็นสารสำคัญ ใช้อัตรา 50 มิลลิลิตรต่อน้ำ 20 ลิตร ผสมให้เข้ากันแล้วฉีดพ่นทั่วต้นกาแฟที่มีการระบาดของเพลี้ยหอยและเพลี้ยแป้ง ซึ่งหลังจากฉีดพ่นสารเว้นระยะการเก็บใบกาแฟสำหรับการวิเคราะห์ปริมาณสารพฤกษเคมีในใบกาแฟเป็นเวลา 2 เดือน เพื่อลดการตกค้างของสารเคมี

การบันทึกข้อมูล

1. ข้อมูลสภาพแวดล้อมในแปลงทดลองภาควิชาพืชศาสตร์

บันทึกอุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์ด้วยเครื่องบันทึกข้อมูลอุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์ ติดตั้งบันทึกข้อมูลภายในแปลงทดลองทุก 1 ชั่วโมง เป็นเวลา 12 เดือน ระหว่างเดือนกรกฎาคม พ.ศ. 2560 ถึงเดือนมิถุนายน พ.ศ. 2561

2. ลักษณะทางสัณฐานวิทยาและสรีรวิทยาของใบกาแฟโรบัสต้าแต่ละระยะพัฒนาการของใบ

2.1 การพัฒนาการและการเจริญเติบโตของใบกาแฟโรบัสต้า

สุ่มวัดพื้นที่ใบกาแฟโรบัสต้าทุกระยะพัฒนาการของใบด้วยเครื่องวัดพื้นที่ใบ หน่วยเป็น ตารางเซนติเมตร ควบคู่กับพื้นที่ใบจากการคำนวณความกว้างและความยาวของใบด้วยเวอร์เนียร์คาร์ลิปเปอร์ หน่วยเป็น ตารางเซนติเมตร จำนวน 181 ใบ ช่วงเดือนสิงหาคม พ.ศ. 2560 นำค่าที่ได้มาสร้างสมการความสัมพันธ์ระหว่างพื้นที่ใบที่วัดด้วยเครื่องวัดพื้นที่ใบกับเวอร์เนียร์คาร์ลิปเปอร์ของใบกาแฟโรบัสต้า

2.2 พื้นที่ใบโคลนชุมพร 2 และควนโดนแต่ละระยะพัฒนาการของใบกาแฟโรบัสต้า

บันทึกข้อมูลพื้นที่ใบกาแฟตั้งแต่ระยะใบหอกถึงใบเพสลาดทุก 3 วัน ด้วยเครื่องวัดพื้นที่ใบและเวอร์เนียร์คาร์ลิปเปอร์ (พื้นที่น้อยกว่า 16 ตารางเซนติเมตร) และวัดสีของใบกาแฟโรบัสต้า โดยสุ่มวัดตัวอย่างใบกาแฟ จำนวน 10 ซ้ำ ซ้ำละ 10 ใบ ระหว่างเดือนกันยายนถึงเดือนพฤศจิกายน พ.ศ. 2560 นำค่าที่ได้มาแบ่งระยะพัฒนาการของใบกาแฟโรบัสต้าออกเป็น 5 ระยะ ตามอายุใบ (วัน) นอกจากนี้ เปรียบเทียบพื้นที่ใบแต่ละระยะพัฒนาการของใบกาแฟโรบัสต้าโคลนชุมพร 2 และควนโดน เพื่อศึกษาการพัฒนาการของใบกาแฟโรบัสต้า

2.3 น้ำหนักใบแต่ละระยะพัฒนาการของใบกาแฟโรบัสต้า

บันทึกข้อมูลน้ำหนักสดและน้ำหนักแห้งของใบ หน่วยเป็น กรัม โดยเก็บตัวอย่างใบกาแฟโรบัสต้าจำนวน 20 ใบต่อระยะ ชั่งน้ำหนักสดด้วยเครื่องชั่งดิจิตอล 2 ตำแหน่ง นำไปอบที่อุณหภูมิ 65 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 72 ชั่วโมง เพื่อบันทึกค่าน้ำหนักแห้ง นำค่าที่ได้มาสร้างสมการความสัมพันธ์ระหว่างน้ำหนักสดกับน้ำหนักแห้งแต่ละระยะพัฒนาการของใบ และการเปลี่ยนแปลงของน้ำหนักสด น้ำหนักแห้ง และพื้นที่ใบแต่ละระยะพัฒนาการของใบกาแฟโรบัสต้า

2.4 พื้นที่ใบจำเพาะและน้ำหนักใบจำเพาะแต่ละระยะพัฒนาการของใบกาแฟโรบัสต้า

สุ่มเก็บใบกาแฟโรบัสต้าจำนวน 5 ใบต่อระยะ วัดพื้นที่ใบแต่ละระยะด้วยเครื่องวัดพื้นที่ใบและนำใบไปอบที่อุณหภูมิ 65 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 72 ชั่วโมง เพื่อบันทึกค่าน้ำหนักแห้ง นำค่าที่ได้มาคำนวณหาค่าพื้นที่ใบจำเพาะ (Specific Leaf Area; SLA) หน่วยเป็น ตารางเซนติเมตรต่อกรัม และค่าน้ำหนักใบจำเพาะ (Specific Leaf Weight; SLW) หน่วยเป็น กรัมต่อตารางเซนติเมตร ดังนี้

$$\text{พื้นที่ใบจำเพาะ} = \frac{\text{พื้นที่ใบ (ตารางเซนติเมตร)}}{\text{น้ำหนักแห้งของใบ (กรัม)}}$$

$$\text{น้ำหนักใบจำเพาะ} = \frac{\text{น้ำหนักแห้งของใบ (กรัม)}}{\text{พื้นที่ใบ (ตารางเซนติเมตร)}}$$

2.5 คลอโรฟิลล์และแคโรทีนอยด์ในใบกาแฟโรบัสต้าแต่ละระยะพัฒนาการของใบ

สุ่มวัดปริมาณคลอโรฟิลล์ในใบด้วยเครื่องวัดความเขียวใบ จำนวน 200 ใบ ใบละ 5 จุด นำค่ามาหาค่าเฉลี่ย หน่วยเป็น SPAD unit โดยวัดระหว่างเส้นใบ จากนั้นนำค่าที่ได้ไปคำนวณเป็นค่าปริมาณคลอโรฟิลล์ด้วยสมการปริมาณคลอโรฟิลล์ เอ (Chlorophyll a; Chl_a) $y_{Chl,a} = 0.0056x^2 + 0.3014x + 0.6767$ ($r^2 = 0.95$) คลอโรฟิลล์ บี (Chlorophyll b; Chl_b) $y_{Chl,b} = 0.0014x^2 + 0.2687x - 1.1945$ ($r^2 = 0.94$) คลอโรฟิลล์ทั้งหมด (Total chlorophyll; Chl_{total}) $y_{Chl,total} = 0.0080x^2 + 0.5104x + 0.281$ ($r^2 = 0.95$) และปริมาณแคโรทีนอยด์ (Carotenoid; Car) $y_{car} = 0.0007x^2 - 0.0094x + 0.5439$ ($r^2 = 0.74$) (พงศกร, 2560) โดยให้ x คือ ความเขียวใบ และ y คือ ปริมาณคลอโรฟิลล์และแคโรทีนอยด์ในใบกาแฟโรบัสต้า ซึ่งสามารถแบ่งช่วงปริมาณคลอโรฟิลล์และแคโรทีนอยด์ในใบกาแฟโรบัสต้าแต่ละระยะพัฒนาการของใบได้ (ตารางภาคผนวกที่ 1)

2.6 สีใบและความเขียวใบแต่ละระยะพัฒนาการของใบกาแฟโรบัสต้า

สุ่มวัดสีใบกาแฟของระยะพัฒนาการต่าง ๆ ด้วยเครื่องวัดสี จำนวน 120 ใบ ใบละ 3 จุด นำค่ามาหาค่าเฉลี่ย และวัดความเขียวใบด้วยเครื่องวัดความเขียวใบ จำนวน 120 ใบ ใบละ 5 จุด นำค่ามาหาค่าเฉลี่ย เพื่อนำมาแบ่งช่วงระยะพัฒนาการตั้งแต่ใบหอกถึงใบเพสลาดออกเป็น 5 ระยะ และหาสมการความสัมพันธ์ระหว่างสีใบ (a* b* และ L*) กับความเขียวใบ (SPAD reading) รวมถึงศึกษาการเปลี่ยนแปลงของสีใบและความเขียวใบตามระยะพัฒนาการของใบกาแฟโรบัสต้า 5 ระยะ

การอ่านค่า a* b* L* และความเขียวใบตามระยะพัฒนาการของใบกาแฟโรบัสต้าสามารถอ่านได้ตามวิธีการที่รายงานโดย อรุณทิพย์ และคณะ (2555) ดังนี้

a* หมายถึง สีเขียวและสีแดง หากค่า a* ติดลบ แสดงว่า ใบนั้นมีสีเขียว

b* หมายถึง สีน้ำเงินและสีเหลือง หากค่า b* เป็นบวก แสดงว่า ใบนั้นมีสีเหลือง

L* หมายถึง ความสว่างของสี หากค่า L* เป็นศูนย์ แสดงว่า ใบนั้นไม่มีความสว่าง

ความเขียวใบ หมายถึง ความเข้มข้นของคลอโรฟิลล์ภายในใบ หากค่าความเขียวใบมาก แสดงว่า ใบนั้นมีแนวโน้มของปริมาณคลอโรฟิลล์มากขึ้นจนถึงระดับที่เหมาะสม

3. ปริมาณสารพฤกษเคมีที่สำคัญในใบกาแฟโรบัสต้าแต่ละช่วงระยะพัฒนาการของใบ

ทำการวิเคราะห์หาปริมาณสารพฤกษเคมีที่สำคัญในใบกาแฟโรบัสต้า เพื่อคาดคะเนปริมาณสารพฤกษเคมีในใบกาแฟก่อนผ่านกระบวนการแปรรูปเป็นผลิตภัณฑ์ชา โดยแบ่งการวิเคราะห์ออกเป็น 2 ครั้ง ซึ่งการวิเคราะห์ครั้งแรกเป็นการส่งวิเคราะห์ตามศูนย์ต่าง ๆ ในการวิเคราะห์หาปริมาณสารพฤกษเคมีเบื้องต้นเฉพาะใบระยะที่ 4-5 ที่มีอายุใบ 15-27 วัน เนื่องจากส่วนใหญ่มีการรายงานว่า ใบที่มีการพัฒนาการมากขึ้น (อายุใบมากขึ้น) มีผลให้เกิดการสะสมของสารพฤกษเคมีในใบน้อยลง (ภานุวัฒน์ และคณะ, 2560; Vagiri *et al*., 2015; Wang and Lin, 2000) นอกจากนี้ ยังหาปริมาณสารกลุ่มย่อยที่ไม่สามารถวิเคราะห์ได้เอง เช่น คาเฟอีน แคทีชิน และกรดแกลลิก เป็นต้น โดยคาเฟอีนเป็นสารสำคัญเกี่ยวข้องกับต้นกาแฟ ส่วนแคทีชินเป็นสารสำคัญที่พบมากในเครื่องดื่มชา และกรดแกลลิกเป็นสารย่อยหลักที่พบในสารประกอบฟีนอลิก และการวิเคราะห์ครั้งที่ 2 ได้ดำเนินการวิเคราะห์ด้วยตัวเอง โดยวิเคราะห์หาปริมาณสารพฤกษเคมีที่สำคัญแต่ละช่วงระยะพัฒนาการของใบกาแฟโรบัสต้าโคลนชุมพร 2 และควนโดน เพื่อเปรียบเทียบปัจจัยด้านโคลนกาแฟโรบัสต้า ช่วงระยะพัฒนาการของใบ และศึกษาปฏิสัมพันธ์ระหว่างโคลนกาแฟโรบัสต้ากับช่วงระยะพัฒนาการของใบ ซึ่งมีขั้นตอนการวิเคราะห์หลายขั้น ดังนี้

3.1 การเตรียมตัวอย่าง

3.1.1 เก็บใบกาแฟโรบัสต้าเฉพาะระยะพัฒนาการใบที่ 4 และ 5 นำไปอบที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 48 ชั่วโมง และบดใบให้ละเอียดด้วยเครื่องบดตัวอย่างใบพืช จากนั้นนำผงใบกาแฟบรรจุลงในถุงซิปใสและเก็บรักษาตัวอย่างไว้ในที่มืด อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส เพื่อเป็นตัวแทนในการวิเคราะห์หาปริมาณสารพฤกษเคมีเบื้องต้น ได้แก่ สารต้านอนุมูลอิสระ สารประกอบฟีนอลิก คาเฟอีน แคทีชิน และกรดแกลลิกในใบกาแฟ โดยใช้ใบกาแฟ 1 กิโลกรัมน้ำหนักแห้ง และส่งวิเคราะห์สารสำคัญดังกล่าวที่ศูนย์บริการปฏิบัติการทางเภสัชศาสตร์ คณะเภสัชศาสตร์ และสถาบันชา มหาวิทยาลัยแม่ฟ้าหลวง

3.1.2 นำใบกาแฟโรบัสต้าทุกระยะพัฒนาการมาแบ่งเป็น 3 ช่วงระยะ คือ ช่วงระยะที่ 1-2 ใบมีอายุ 1-8 วัน (ใบอ่อน) ระยะที่ 3 ใบมีอายุ 9-14 วัน (ใบกำลังพัฒนาเต็มที่) และช่วงระยะที่ 4-5 ใบมีอายุ 15-27 วัน (ใบเพสลาด) อบที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 48 ชั่วโมง และบดใบให้ละเอียดด้วยเครื่องบดตัวอย่างใบพืช จากนั้นนำผงใบกาแฟบรรจุลงในถุงซิปใสและเก็บรักษาตัวอย่างไว้ในที่มืด อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส เพื่อนำมาวิเคราะห์หาปริมาณสารพฤกษเคมีต่อไป

3.2 การสกัดสาร

สกัดสารจากตัวอย่างใบบดละเอียดด้วยวิธีการหมักในเอทานอล 95 เปอร์เซ็นต์ อัตราส่วนระหว่างผงใบกาแฟต่อเอทานอล 1 : 10 โดยน้ำหนักต่อปริมาตร ปิดฝาให้สนิท คนสารให้ทั่ววันละ 3 ครั้ง หมักทิ้งไว้ 24 ชั่วโมง ที่อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส (อุณหภูมิห้อง) นำตัวอย่างไปกรองด้วยกระดาษกรองเบอร์ 4 ได้สารละลายจากใบกาแฟ เมื่อหมักตัวอย่างเสร็จให้นำสารละลายที่ได้ทั้งหมดไปปั่นเหวี่ยงที่ความเร็ว 4,000 รอบต่อนาที เป็นเวลา 15 นาที ด้วยเครื่องปั่นเหวี่ยงสารละลายเพื่อแยกตะกอนออกจากสารสกัด ปิเปตสารละลายไประเหยเอทานอลออกด้วยเครื่องกลั่นระเหยแบบหมุนภายใต้สุญญากาศจนเอทานอลระเหยออกใกล้หมด จากนั้นชั่งน้ำหนักขวดแก้ว (ยาหม่องกลม) ด้วยเครื่องชั่งดิจิตอล 4 ตำแหน่ง และเทสารสกัดที่ได้ลงในขวดแก้ว นำขวดไปแช่ในอ่างควบคุมอุณหภูมิที่อุณหภูมิ 50 องศาเซลเซียส จนเอทานอลระเหยออกหมดหรือสารสกัดมีความหนืด ชั่งน้ำหนักทั้งหมด (ขวดกับสารสกัดที่ได้) เพื่อคำนวณน้ำหนักสารสกัดหยาบที่ได้และเปอร์เซ็นต์ของสารสกัดหยาบที่ได้ (% Yield) ดังนี้

$$\text{น้ำหนักสารสกัดหยาบ (กรัม)} = \text{น้ำหนักทั้งหมด (กรัม)} - \text{น้ำหนักขวดแก้ว (กรัม)}$$

$$\text{เปอร์เซ็นต์ของสารสกัดหยาบที่ได้} = \frac{\text{น้ำหนักสารสกัดหยาบที่ได้ (กรัม)}}{\text{น้ำหนักผงใบกาแฟตอนสกัดสาร (กรัม)}} \times 100$$

จากนั้นชั่งสารสกัด 25 มิลลิกรัม ลงในหลอดเซนตริฟิวพลาสติก และเติมเอทานอล 95 เปอร์เซ็นต์ 5 มิลลิลิตร เขย่าให้เข้ากัน (ความเข้มมันของตัวอย่าง 5 มิลลิกกรัมต่อมิลลิลิตร) ปิเปตสารละลายตัวอย่างที่ได้ 0.1 มิลลิลิตร และเติมเอทานอล 95 เปอร์เซ็นต์ 5 มิลลิลิตร เขย่าให้เข้ากันเพื่อเจือจางตัวอย่างให้มีความเข้มข้น 100 ไมโครกรัมต่อมิลลิลิตร และนำสารสกัดใบกาแฟไปวิเคราะห์หาปริมาณสารพฤกษเคมีต่อไป (ปานทิพย์ และวัลภา, 2557; Nantitanon *et al*., 2010)

3.3 การวิเคราะห์ปริมาณสารพฤกษเคมีที่สำคัญเบื้องต้นในระยะพัฒนาการของใบที่ 4-5

3.3.1 การวิเคราะห์ปริมาณสารต้านอนุมูลอิสระ

การเตรียมการวิเคราะห์สารต้านอนุมูลอิสระด้วยวิธี DPPH radical scavenging assay และสร้างสมการมาตรฐานความสัมพันธ์ระหว่างค่าการดูดกลืนแสงกับความเข้มข้นของโทรลอกซ์ โดยเจือจางโทรลอกซ์ด้วยเมทานอลให้มีความเข้มข้น 0 200 400 600 800 และ 1,000 ไมโครโมลาร์ จากนั้นปิเปตโทรลอกซ์แต่ละความเข้มข้น 50 ไมโครลิตร ผสมกับ DPPH 60 ไมโครโมลาร์ ให้เข้ากัน วางทิ้งไว้ในที่มืด เป็นเวลา 60 นาที จากนั้นนำไปวัดค่าการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 517 นาโนเมตร ด้วยเครื่องยูวี-วิสิเบิลสเปกโทรโฟโตมิเตอร์ และบันทึกค่าที่ได้

การวิเคราะห์ปริมาณสารต้านอนุมูลอิสระของสารสกัดใบกาแฟ โดยปิเปตสารสกัดใบกาแฟ 50 ไมโครลิตร ผสมกับ DPPH 60 ไมโครโมลาร์ ให้เข้ากัน วางทิ้งไว้ในที่มืด เป็นเวลา 60 นาที จากนั้นนำไปวัดค่าการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 517 นาโนเมตร ด้วยเครื่องยูวี-วิสิเบิลสเปกโทรโฟโตมิเตอร์ จำนวน 3 ซ้ำ นำค่าการดูดกลืนแสงของสารสกัดใบกาแฟเทียบกับกราฟมาตรฐานโทรลอกซ์ หน่วยเป็น ไมโครโมลโทรลอกซ์ต่อน้ำหนักแห้ง 100 กรัม (Brand-Williams *et al*., 1995)

3.3.2 การวิเคราะห์ปริมาณสารประกอบฟีนอลิก

การเตรียมการวิเคราะห์สารประกอบฟีนอลิกทั้งหมดด้วยวิธี Folin-ciocalteu colorimetric assay และสร้างสมการมาตรฐานความสัมพันธ์ระหว่างค่าการดูดกลืนแสงกับความเข้มข้นของกรดแกลลิก โดยเจือจางกรดแกลลิกด้วยเอทานอลให้มีความเข้มข้น 0 10 20 30 40 50 60 70 80 90 และ 100 ไมโครกรัมต่อมิลลิลิตร จากนั้นปิเปตกรดแกลลิกแต่ละความเข้มข้น 1 มิลลิลิตร ผสมกับโฟลินซิโอแคลตู รีเอเจนต์ 5 มิลลิลิตร และโซเดียมคาร์บอเนต 4 มิลลิลิตร ให้เข้ากัน วางทิ้งไว้ที่อุณหภูมิห้อง เป็นเวลา 60 นาที จากนั้นนำไปวัดค่าการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 765 นาโนเมตร ด้วยเครื่องยูวี-วิสิเบิลสเปกโทรโฟโตมิเตอร์ และบันทึกค่าที่ได้

การวิเคราะห์ปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมดของสารสกัดใบกาแฟ โดยปิเปตสารสกัดใบกาแฟ 1 มิลลิลิตร ผสมกับโฟลินซิโอแคลตู รีเอเจนต์ 5 มิลลิลิตร และโซเดียมคาร์บอเนต 4 มิลลิลิตร ให้เข้ากัน วางทิ้งไว้ที่อุณหภูมิห้อง เป็นเวลา 60 นาที จากนั้นนำไปวัดค่าการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 765 นาโนเมตร ด้วยเครื่องยูวี-วิสิเบิลสเปกโทรโฟโตมิเตอร์ จำนวน 3 ซ้ำ นำค่าการดูดกลืนแสงของสารสกัดใบกาแฟเทียบกับกราฟมาตรฐานกรดแกลลิก หน่วยเป็น กรัมกรดแกลลิกต่อน้ำหนักแห้ง 100 กรัม (Singleton *et al*., 1999)

3.3.3 การวิเคราะห์ปริมาณคาเฟอีนและแคทีชิน

การวิเคราะห์ปริมาณคาเฟอีนและแคทีชินตามวิธีของ Ratanamarno และ Surbkar (2017) และใช้เครื่องโครมาโทกราฟีสมรรถนะสูงในช่วงความยาวคลื่น 190-400 นาโนเมตร หน่วยเป็นกรัมต่อน้ำหนักแห้ง 100 กรัม

3.3.4 การวิเคราะห์ปริมาณกรดแกลลิก

การเตรียมการวิเคราะห์กรดแกลลิกด้วยวิธี Folin-ciocalteu colorimetric assay และสร้างสมการมาตรฐานความสัมพันธ์ระหว่างค่าการดูดกลืนแสงกับความเข้มข้นของกรดแกลลิก โดยเตรียม Blank โดยใช้น้ำ 100 ไมโครลิตร ผสมกับโฟลินซิโอแคลตู รีเอเจนต์ 500 ไมโครลิตร และ

โซเดียมคาร์บอเนต 400 ไมโครลิตร ให้เข้ากัน วางทิ้งไว้ 30 นาที จากนั้นนำไปวัดค่าดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 756 นาโนเมตร ด้วยเครื่องยูวี-วิสิเบิลสเปกโทรโฟโตมิเตอร์ และบันทึกค่าที่ได้

การวิเคราะห์ปริมาณกรดแกลลิกของสารสกัดใบกาแฟ โดยปิเปตสารสกัดใบกาแฟ (ความเข้มข้น 100 ไมโครกรัมต่อมิลลิลิตร) 100 ไมโครลิตร เติมโฟลินซิโอแคลตู รีเอเจนต์ 500 ไมโครลิตร และโซเดียมคาร์บอเนต 400 ไมโครลิตร ผสมให้เข้ากันและวางทิ้งไว้ 30 นาที นำไปวัดค่าดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 756 นาโนเมตร ด้วยเครื่องยูวี-วิสิเบิลสเปกโทรโฟโตมิเตอร์ จำนวน 3 ซ้ำ นำค่าการดูดกลืนแสงของสารสกัดใบกาแฟเทียบกับกราฟมาตรฐานกรดแกลลิก หน่วยเป็น มิลลิกรัมต่อกรัมของสารสกัดแห้ง

3.4 การวิเคราะห์ปริมาณสารพฤกษเคมีสำคัญแต่ละช่วงระยะพัฒนาการของใบ

3.4.1 การวิเคราะห์ปริมาณสารต้านอนุมูลอิสระ

การเตรียมการวิเคราะห์สารต้านอนุมูลอิสระด้วยวิธี Ferric reducing antioxidant power assay (FRAP) และสร้างสมการมาตรฐานความสัมพันธ์ระหว่างค่าการดูดกลืนแสงกับความเข้มข้นของเฟอร์รัสซัลเฟต (ภาพภาคผนวกที่ 1) โดยเจือจางเฟอร์รัสซัลเฟตจากความเข้มข้น 100 มิลลิกรัมต่อลิตร ให้มีความเข้มข้น 0 20 40 60 และ 80 มิลลิกรัมต่อลิตร ด้วยน้ำกลั่น (ตารางภาคผนวกที่ 2) ปิเปตสารละลายเฟอร์รัสซัลเฟตแต่ละความเข้มข้น 0.4 มิลลิลิตร จำนวน 3 ซ้ำ เติม FRAP reagent 4.5 มิลลิลิตร ผสมให้เข้ากัน วางทิ้งไว้ในที่มืด เป็นเวลา 10 นาที จากนั้นนำไปวัดค่าการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 593 นาโนเมตร ด้วยเครื่องยูวี-วิสิเบิลสเปกโทรโฟโตมิเตอร์ และบันทึกค่าที่ได้

การวิเคราะห์ปริมาณสารต้านอนุมูลอิสระของสารสกัดใบกาแฟ โดยปิเปตสารสกัดใบกาแฟแต่ละช่วงระยะพัฒนาการ 0.4 มิลลิลิตร จำนวน 3 ซ้ำ เติม FRAP reagent 4.5 มิลลิลิตร ผสมให้เข้ากัน วางทิ้งไว้ในที่มืด เป็นเวลา 10 นาที จากนั้นนำไปวัดค่าการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 593 นาโนเมตร ด้วยเครื่องยูวี-วิสิเบิลสเปกโทรโฟโตมิเตอร์ และบันทึกค่าที่ได้ หน่วยเป็น มิลลิกรัมสมมูลของเฟอร์รัสไอออนต่อกรัมของสารสกัดแห้ง (ดัดแปลงจาก สุกัญญา, 2559)

3.4.2 การวิเคราะห์ปริมาณสารประกอบฟีนอลิก

การเตรียมการวิเคราะห์สารประกอบฟีนอลิกทั้งหมดด้วยวิธี Folin-ciocalteu colorimatric assay และสร้างสมการมาตรฐานความสัมพันธ์ระหว่างค่าการดูดกลืนแสงกับความเข้มข้นของกรดแกลลิก (ภาพภาคผนวกที่ 2a) โดยเจือจางกรดแกลลิกจากความเข้มข้น 100 มิลลิกรัมต่อลิตร ให้มีความเข้มข้น 0 10 20 30 และ 40 มิลลิกรัมต่อลิตร ด้วยน้ำกลั่น (ตารางภาคผนวกที่ 3) ปิเปตสารละลายกรดแกลลิกแต่ละความเข้มข้น 0.4 มิลลิลิตร จำนวน 3 ซ้ำ เติมโฟลินซิโอแคลตู รีเอเจนต์ 2

มิลลิลิตร ทิ้งไว้ 5 นาที และเติมโซเดียมคาร์บอเนตเข้มข้น 7.5 เปอร์เซ็นต์ ปริมาตร 1.5 มิลลิลิตร ผสมให้เข้ากัน เก็บในที่มืด 2 ชั่วโมง จากนั้นนำไปวัดค่าการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 751 นาโนเมตร ด้วยเครื่องยูวี-วิสิเบิลสเปกโทรโฟโตมิเตอร์ และบันทึกค่าที่ได้

การวิเคราะห์ปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมดของสารสกัดใบกาแฟ โดยปิเปตสารสกัดใบกาแฟแต่ละช่วงระยะพัฒนาการ 0.4 มิลลิลิตร จำนวน 3 ซ้ำ เติมโฟลินซิโอแคลตู รีเอเจนต์ 2 มิลลิลิตร ทิ้งไว้ 5 นาที และเติมโซเดียมคาร์บอเนตเข้มข้น 7.5 เปอร์เซ็นต์ ปริมาตร 1.5 มิลลิลิตร ผสมให้เข้ากัน เก็บในที่มืด 2 ชั่วโมง จากนั้นนำไปวัดค่าการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 751 นาโนเมตร ด้วยเครื่องยูวี-วิสิเบิลสเปกโทรโฟโตมิเตอร์ และบันทึกค่าที่ได้ หน่วยเป็น มิลลิกรัมสมมูลของกรดแกลลิกต่อกรัมของสารสกัดแห้ง (ดัดแปลงจาก สุกัญญา, 2559)

3.4.3 การวิเคราะห์ปริมาณฟลาโวนอยด์

การเตรียมการวิเคราะห์ฟลาโวนอยด์ด้วยวิธี Aluminium chloride colorimetric assay และสร้างสมการมาตรฐานความสัมพันธ์ระหว่างค่าการดูดกลืนแสงกับความเข้มข้นของแคทีชิน (ภาพภาคผนวกที่ 2b) โดยเจือจางแคทีชินจากความเข้มข้น 100 มิลลิกรัมต่อลิตร ให้มีความเข้มข้น 0 10 20 30 และ 40 มิลลิกรัมต่อลิตร ด้วยน้ำกลั่น (ตารางภาคผนวกที่ 4) ปิเปตสารละลายแคทีชินแต่ละความเข้มข้น 0.4 มิลลิลิตร จำนวน 3 ซ้ำ เติมโซเดียมไนไตรท์เข้มข้น 5 เปอร์เซ็นต์ ปริมาตร 0.3 มิลลิลิตร ผสมให้เข้ากัน จากนั้นเติมอะลูมิเนียมคลอไรด์เข้มข้น 10 เปอร์เซ็นต์ ปริมาตร 0.3 มิลลิลิตร ผสมให้เข้ากัน และเติมโซเดียมไฮดรอกไซด์เข้มข้น 1 โมลาร์ ปริมาตร 2 มิลลิลิตร ผสมให้เข้ากัน วางทิ้งไว้ 5 นาที จากนั้นนำไปวัดค่าการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 510 นาโนเมตร ด้วยเครื่องยูวี-วิสิเบิลสเปกโทรโฟโตมิเตอร์ และบันทึกค่าที่ได้

การวิเคราะห์ปริมาณฟลาโวนอยด์ของสารสกัดใบกาแฟ โดยปิเปตสารสกัดใบกาแฟแต่ละช่วงระยะพัฒนาการ 0.4 มิลลิลิตร จำนวน 3 ซ้ำ เติมโซเดียมไนไตรท์เข้มข้น 5 เปอร์เซ็นต์ ปริมาตร 0.3 มิลลิลิตร ผสมให้เข้ากัน จากนั้นเติมอะลูมิเนียมคลอไรด์เข้มข้น 10 เปอร์เซ็นต์ ปริมาตร 0.3 มิลลิลิตร ผสมให้เข้ากัน และเติมโซเดียมไฮดรอกไซด์เข้มข้น 1 โมลาร์ ปริมาตร 2 มิลลิลิตร ผสมให้เข้ากัน วางทิ้งไว้ 5 นาที จากนั้นนำไปวัดค่าการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 510 นาโนเมตร ด้วยเครื่องยูวี-วิสิเบิลสเปกโทรโฟโตมิเตอร์ และบันทึกค่าที่ได้ หน่วยเป็น มิลลิกรัมสมมูลของแคทีชินต่อกรัมของสารสกัดแห้ง (ดัดแปลงจาก Sultana *et al*., 2009)

3.4.4 การวิเคราะห์ปริมาณแทนนิน

การเตรียมการวิเคราะห์แทนนินด้วยวิธี Folin-ciocalteu colorimatric assay และสร้างสมการมาตรฐานความสัมพันธ์ระหว่างค่าการดูดกลืนแสงกับความเข้มข้นของกรดแทนนิก (ภาพภาคผนวกที่ 2c) โดยเจือจางกรดแทนนิกจากความเข้มข้น 100 มิลลิกรัมต่อลิตร ให้มีความเข้มข้น 0 10 20 30 และ 40 มิลลิกรัมต่อลิตร ด้วยน้ำกลั่น (ตารางภาคผนวกที่ 5) ปิเปตสารละลายกรดแทนนิกแต่ละความเข้มข้น 0.4 มิลลิลิตร จำนวน 3 ซ้ำ เติมโฟลินซิโอแคลตู รีเอเจนต์ 1.6 มิลลิลิตร และเติมโซเดียมคาร์บอเนตเข้มข้น 7.0 เปอร์เซ็นต์ ปริมาตร 2 มิลลิลิตร ผสมให้เข้ากัน เก็บในที่มืด 90 นาที จากนั้นนำไปวัดค่าการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 760 นาโนเมตร ด้วยเครื่องยูวี-วิสิเบิลสเปกโทรโฟโตมิเตอร์ และบันทึกค่าที่ได้

การวิเคราะห์ปริมาณแทนนินของสารสกัดใบกาแฟ โดยปิเปตสารสกัดใบกาแฟแต่ละช่วงระยะพัฒนาการ 0.4 มิลลิลิตร จำนวน 3 ซ้ำ เติมโฟลินซิโอแคลตู รีเอเจนต์ 1.6 มิลลิลิตร และเติมโซเดียมคาร์บอเนตเข้มข้น 7.0 เปอร์เซ็นต์ ปริมาตร 2 มิลลิลิตร ผสมให้เข้ากัน เก็บในที่มืด 90 นาที จากนั้นนำไปวัดค่าการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 760 นาโนเมตร ด้วยเครื่องยูวี-วิสิเบิลสเปกโทรโฟโตมิเตอร์ และบันทึกค่าที่ได้ หน่วยเป็น มิลลิกรัมสมมูลของกรดแทนนิกต่อกรัมของสารสกัดแห้ง (กรองจันทร์ และสมจิตต์, 2557)

การทดลองที่ 2 ผลของระยะเวลาการเก็บรักษาผลิตภัณฑ์ชาใบกาแฟโรบัสต้าต่อคุณภาพของผลิตภัณฑ์ชาใบกาแฟ

สำรวจความพึงพอใจของผู้บริโภคที่มีต่อผลิตภัณฑ์ชาใบกาแฟตามระยะเวลาการเก็บรักษาชา 1 6 และ 12 เดือน โดยเก็บใบกาแฟระยะที่มีปริมาณสารพฤกษเคมีมากที่สุด (ระยะที่ 1-2 หรือระยะใบหอกถึงใบอ่อน) บริเวณแปลงทดลองภาควิชาพืชศาสตร์ และสถานีวิจัยและฝึกภาคสนามเทพา คณะทรัพยากรธรรมชาติ

เก็บรวบรวมใบกาแฟระยะที่ 1-2 มาล้างให้สะอาด และวางลงบนผ้าขาวบางที่อยู่ในหม้อนึ่ง อุณหภูมิ 150 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 1.30 นาที เมื่อนึ่งเสร็จนำใบกาแฟมาจุ่มลงในน้ำเย็น 10 องศาเซลเซียสทันทีและผึ่งให้ใบแห้งหมาด ๆ หั่นใบกาแฟที่ผ่านกระบวนการนึ่งให้มีขนาด 1.0 ตารางเซนติเมตร จากนั้นนำไปคั่วในกระทะที่อุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 30-40 นาที เมื่อใบกาแฟผ่านกระบวนการคั่วให้อบชาใบกาแฟที่อุณหภูมิ 80 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 1 ชั่วโมง จากนั้นนำชาใบกาแฟไปปั่นเป็นผงชาแบบหยาบ บรรจุใส่ซองชาขนาด 50×50 ตารางมิลลิเมตร ซองละ 2 กรัม และปิดผนึกซองชา เก็บรักษาซองชาที่ได้ในถุงเมทัลไลท์ฟอยล์แบบซิป ขนาดบรรจุ 25 ซองต่อถุงแพ็คชา ปิดซิปถุงให้สนิทและซีลปลายปากถุง เพื่อป้องกันไม่ให้เกิดการแลกเปลี่ยนของอากาศภายนอกและภายในถุงมากเกินไป เก็บรักษาแพ็คชาที่อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส ตามระยะเวลาที่กำหนด

ดำเนินการเก็บใบกาแฟและแปรรูปผลิตภัณฑ์ชา ระหว่างเดือนกันยายน พ.ศ. 2560 ถึงเดือนธันวาคม พ.ศ. 2561 วางแผนการทดลองแบบ CRD โดยให้ระยะเวลาการเก็บรักษาชาใบกาแฟเป็นทรีตเมนต์ จำนวน 3 ทรีตเมนต์ ได้แก่ ทรีตเมนต์ที่ 1 ระยะเวลาการเก็บรักษาชา 1 เดือน ทรีตเมนต์ที่ 2 ระยะเวลาการเก็บรักษาชา 6 เดือน และทรีตเมนต์ที่ 3 ระยะเวลาการเก็บรักษาชา 12 เดือน ทรีตเมนต์ละ 100 คน รวมถึงวิเคราะห์ค่าเฉลี่ยด้วยวิธี DMRT

การทดสอบคุณภาพสีของน้ำชาใบกาแฟโรบัสต้า วางแผนการทดลองแบบแฟกทอเรียลตามแผนแบบสุ่มอย่างสมบูรณ์ (Factorial in CRD) โดยมีปัจจัยของระยะเวลาการเก็บรักษาและระยะเวลาในการชงผลิตภัณฑ์ชาใบกาแฟโรบัสต้าเกี่ยวข้องกับคุณภาพสีของน้ำชาใบกาแฟโรบัสต้า (a* b* และ L*) ซึ่งใช้ระยะเวลาการเก็บรักษาชาที่ 1 6 และ 12 เดือน และระยะเวลาในการชงชา 5 10 และ 15 นาที จำนวนละ 5 ซ้ำ และวิเคราะห์ค่าเฉลี่ยด้วยวิธี DMRT

การบันทึกข้อมูล

การประเมินความพึงพอใจของผู้บริโภคต่อระยะเวลาการเก็บรักษาผลิตภัณฑ์ชาใบกาแฟโรบัสต้า

1. การทดสอบคุณภาพด้านสีของน้ำชา

สุ่มซองชาแต่ละทรีตเมนต์ใส่กาน้ำร้อน อุณหภูมิ 95-98 องศาเซลเซียส ปริมาตร 15 มิลลิลิตรต่อกาน้ำ ชงชา 30 วินาที และเทน้ำชาทิ้ง จากนั้นเติมน้ำร้อนใหม่ลงในกาน้ำปริมาตร 200-250 มิลลิลิตรต่อกาน้ำ ชงชา 15 นาที และวัดสีชาทุก ๆ 5 นาที ด้วยเครื่องวัดสี จำนวน 5 ซ้ำ และบันทึกค่า a* b* และ L* ของแต่ละทรีตเมนต์ (ภาพภาคผนวกที่ 3) โดยค่า a* เป็นบวก มีความเป็นสีแดง ค่า a* เป็นลบ มีความเป็นสีเขียว ค่า b* เป็นบวก มีความเป็นสีเหลือง ค่า b* เป็นลบ มีความเป็นสีน้ำเงิน และค่า L* มาก มีความสว่างของสีมาก ค่า L* น้อย มีความสว่างของสีน้อย (Hunt and Pointer, 2011)

2. การประเมินความพึงพอใจของผู้บริโภคต่อระยะการเก็บรักษาผลิตภัณฑ์ชาใบกาแฟ

2.1 ประชากรและกลุ่มตัวอย่างที่ใช้ในการวิจัย

สุ่มวางผลิตภัณฑ์ชาใบกาแฟแต่ละทรีตเมนต์แบบกระจายเป็นเวลา 3 สัปดาห์ ตามร้านกาแฟจำนวน 8 ร้าน ภายในมหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ วิทยาเขตหาดใหญ่ ได้แก่ ร้าน The Espresso Coffee (คณะแพทยศาสตร์) ร้าน Binla Brew (สมาคมศิษย์เก่าคณะแพทยศาสตร์) ร้าน Coffee More และร้าน White Blue นอกจากนี้ ยังมีร้านกาแฟบริเวณมหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ ได้แก่ ร้าน SAMO Coffee Bar ร้าน The Cafetiere Place ร้าน Balcony Homemade Bakery และร้าน PEA Cafe โดยแจกแบบสอบถามและ QR code แบบตั้งโต๊ะ (ภาพภาคผนวกที่ 4) ร่วมกับการชิมชาใบกาแฟ

2.2 เครื่องมือที่ใช้ในการเก็บรวบรวมข้อมูล

เครื่องมือที่ใช้ในการเก็บรวบรวมข้อมูล คือ แบบสอบถาม (ภาคผนวก) สามารถแบ่งออกเป็น 3 ส่วน ดังนี้ ส่วนที่ 1 เป็นข้อมูลทั่วไปของผู้ตอบแบบสอบถาม ได้แก่ เพศ อายุ ส่วนที่ 2 เป็นข้อมูลเกี่ยวกับพฤติกรรมในการบริโภคชา ส่วนที่ 3 เป็นข้อมูลการทดสอบชาทางด้านประสาทสัมผัสด้วยวิธี Hedonic scale 9 point และส่วนที่ 4 เป็นข้อมูลความน่าสนใจของผลิตภัณฑ์ชาใบกาแฟโรบัสต้า จากผู้บริโภค 100 คนต่อทรีตเมนต์ โดยให้ประเมินด้านประสาทสัมผัสแบบหาอัตรา

ความชอบเป็น 9 คะแนน ซึ่งมี 1 คะแนน คือ ไม่ชอบมากอย่างยิ่ง 2 คะแนน คือ ไม่ชอบมาก 3 คะแนน คือ ไม่ชอบปานกลาง 4 คะแนน คือ ไม่ชอบเล็กน้อย 5 คะแนน คือ ชอบปานกลาง 6 คะแนน คือ ชอบเล็กน้อย 7 คะแนน คือ ชอบปานกลาง 8 คะแนน คือ ชอบมาก และ 9 คะแนน คือ ชอบมากอย่างยิ่ง (Meilgaard *et al*., 1999) ประเมินในด้านสี กลิ่น รส ความรู้สึกหลังกลืน และความชอบโดยรวม รวมถึงความน่าสนใจของผลิตภัณฑ์ชาใบกาแฟโรบัสต้า

2.3 การเตรียมตัวอย่างผลิตภัณฑ์ชาใบกาแฟโรบัสต้าก่อนชิม

ชงผลิตภัณฑ์ชาใบกาแฟโรบัสต้าแต่ละทรีตเมนต์ในน้ำร้อนที่มีอุณหภูมิ 95-98 องศาเซลเซียส ปริมาตรน้ำร้อน 15 มิลลิลิตร ชงชา 30 วินาที และเทน้ำชาทิ้ง จากนั้นเติมน้ำร้อนใหม่ลงในกาน้ำปริมาตร 200-250 มิลลิลิตรต่อกาน้ำ ชงชา 15 นาที เทใส่ในแก้ว จากนั้นนำมาเสิร์ฟให้ผู้บริโภคขณะร้อน (อุณหภูมิ 65-70 องศาเซลเซียส) (Resurreccion, 1998) โดยให้ผู้บริโภคทดสอบชิมและตัดสินใจในการตอบแบบสอบถาม

สถานที่ทำการทดลอง และบันทึกข้อมูล

1. แปลงทดลองภาควิชาพืชศาสตร์ คณะทรัพยากรธรรมชาติ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ วิทยาเขตหาดใหญ่ จังหวัดสงขลา
2. ห้องปฏิบัติการนิเวศสรีรวิทยาพืช (2-0260-0084-1) ภาควิชาพืชศาสตร์ คณะทรัพยากรธรรมชาติ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ วิทยาเขตหาดใหญ่ จังหวัดสงขลา
3. สถานีวิจัยและฝึกภาคสนามเทพา คณะทรัพยากรธรรมชาติ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ วิทยาเขตหาดใหญ่ จังหวัดสงขลา
4. ศูนย์บริการปฏิบัติการทางเภสัชศาสตร์ คณะเภสัชศาสตร์ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ วิทยาเขตหาดใหญ่ จังหวัดสงขลา
5. สถาบันชาและกาแฟ มหาวิทยาลัยแม่ฟ้าหลวง จังหวัดเชียงราย

ระยะเวลาทำการวิจัย

ระยะเวลาทำการวิจัย ระหว่างเดือนกรกฎาคม พ.ศ. 2560 ถึงเดือนกุมภาพันธ์ พ.ศ. 2562

การวิเคราะห์ข้อมูล

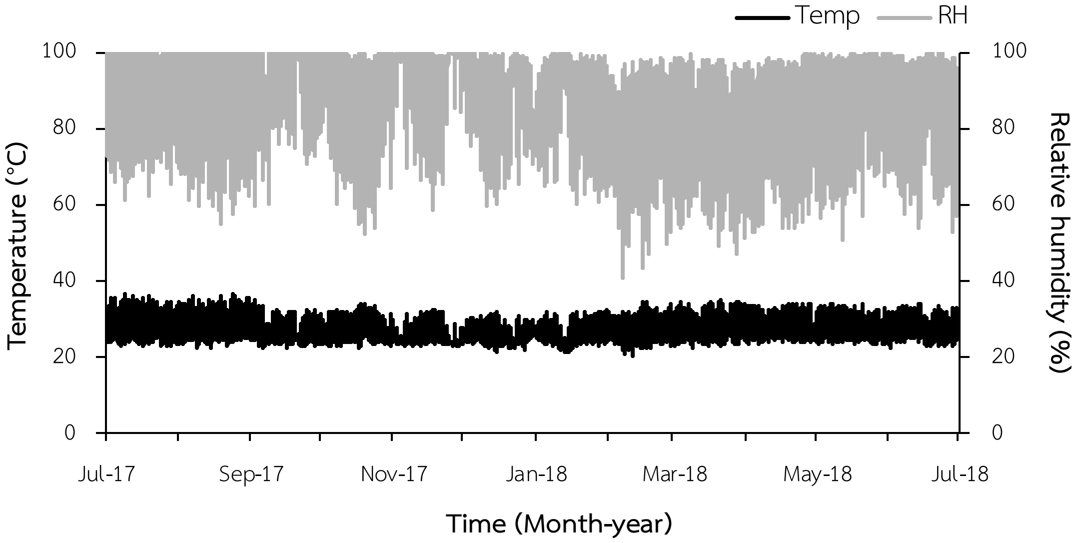
วิเคราะห์ความแปรปรวนและเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยของข้อมูลด้วยวิธี DMRT โดยใช้โปรแกรม R เวอร์ชั่น 2.14.0 และข้อมูลผลิตภัณฑ์ชาใบกาแฟที่รวบรวมได้จากแบบสอบถามมาวิเคราะห์ข้อมูล โดยใช้สถิติเชิงพรรณนา ได้แก่ เปอร์เซ็นต์ ค่าเฉลี่ย และส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน

บทที่ 3

ผล

1. สภาพอากาศในแปลงทดลอง

อุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์ในอากาศ ระหว่างเดือนกรกฎาคม พ.ศ. 2560 ถึงเดือนมิถุนายน พ.ศ. 2561 พบว่า อุณหภูมิอยู่ในช่วง 20.50-36.60 องศาเซลเซียส และความชื้นสัมพัทธ์ในอากาศอยู่ในช่วง 40.80-100.00 เปอร์เซ็นต์ โดยช่วงฤดูฝน (เดือนกรกฎาคม-ธันวาคม) มีอุณหภูมิเฉลี่ยและความชื้นสัมพัทธ์ในอากาศเฉลี่ย เท่ากับ 26.84 ± 3.05 องศาเซลเซียส และ 89.43 ± 11.13 เปอร์เซ็นต์ ส่วนช่วงฤดูร้อน (เดือนมกราคม-มิถุนายน) มีอุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์ในอากาศ เท่ากับ 27.24 ± 2.96 องศาเซลเซียส และ 84.21 ± 13.02 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ (ภาพที่ 2)



ภาพที่ 2 การเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์ในอากาศบริเวณแปลงทดลอง ระหว่างเดือนกรกฎาคม พ.ศ. 2560 ถึงเดือนมิถุนายน พ.ศ. 2561

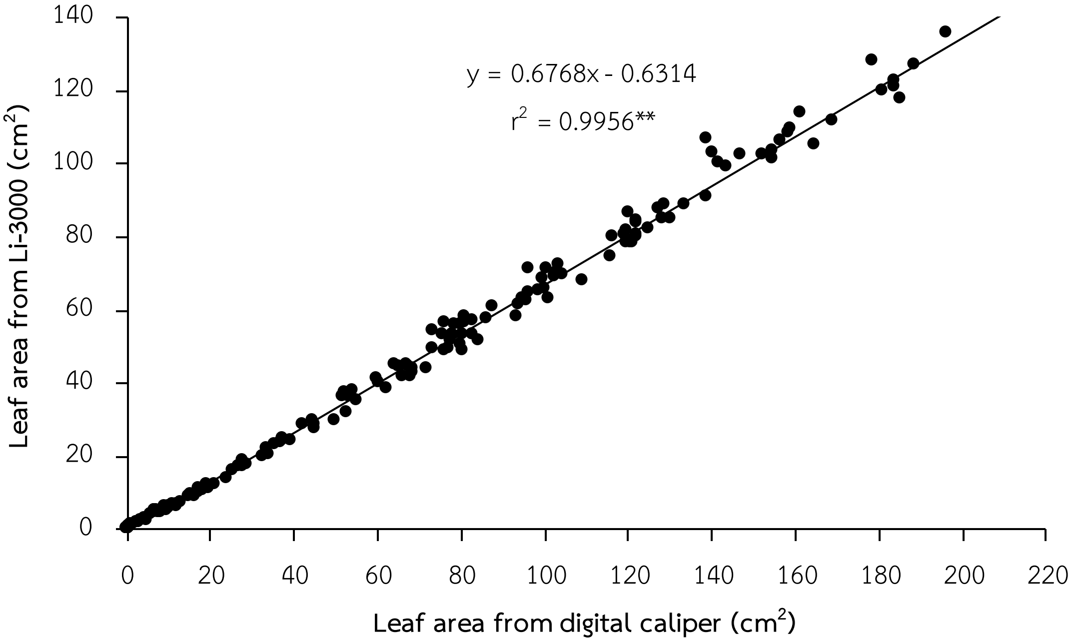
2. ลักษณะทางสัณฐานวิทยาและสรีรวิทยาของใบกาแฟโรบัสต้าแต่ละระยะพัฒนาการของใบ

2.1 การพัฒนาการและการเจริญเติบโตของใบกาแฟโรบัสต้า

ความสัมพันธ์ระหว่างค่าพื้นที่ใบที่วัดด้วยเครื่องวัดพื้นที่ใบกับเวอร์เนียร์คาร์ลิปเปอร์ พบว่า มีความสัมพันธ์เชิงบวกในสมการเส้นตรง $y = 0.6768x - 0.6314$ ($r^2 = 0.9956$) ที่มีการกระจายตัวแคบ ซึ่งการวัดพื้นที่ใบด้วยเครื่องวัดพื้นที่ใบกับเวอร์เนียร์คาร์ลิปเปอร์มีความแตกต่างกันทางสถิติอย่างมีนัยสำคัญยิ่ง โดยที่ x คือ พื้นที่ใบที่วัดด้วยเวอร์เนียร์คาร์ลิปเปอร์ (กว้าง x ยาว) และ y คือ พื้นที่ใบที่วัดด้วยเครื่องวัดพื้นที่ใบ (ภาพที่ 3)

ความสัมพันธ์ระหว่างระยะพัฒนาการของใบกับอายุใบ พบว่า ระยะที่ 1 ใบมีอายุอยู่ในช่วง 1-4 วัน ระยะที่ 2 ใบมีอายุอยู่ในช่วง 5-8 วัน ระยะที่ 3 ใบมีอายุอยู่ในช่วง 9-14 วัน ระยะที่ 4 ใบมีอายุอยู่ในช่วง 15-20 วัน และระยะที่ 5 ใบมีอายุอยู่ในช่วง 21-27 วัน ช่วงอายุใบที่แบ่งได้สามารถวัดขนาดพื้นที่ใบแต่ละโคลนของใบกาแฟโรบัสต้าแตกต่างกัน โดยใบระยะที่ 1 ของโคลนชุมพร 2 มีพื้นที่ใบอยู่ในช่วง 0.06-5.50 ตารางเซนติเมตร และควนโดนมีพื้นที่ใบอยู่ในช่วง 0.06-5.99 ตารางเซนติเมตร ระยะที่ 2 ของโคลนชุมพร 2 มีพื้นที่ใบอยู่ในช่วง 5.51-14.99 ตารางเซนติเมตร และควนโดนมีพื้นที่ใบอยู่ในช่วง 6.00-17.59 ตารางเซนติเมตร ระยะที่ 3 ของโคลนชุมพร 2 มีพื้นที่ใบอยู่ในช่วง 15.00-25.59 ตารางเซนติเมตร และควนโดนมีพื้นที่ใบอยู่ในช่วง 17.60-29.00 ตารางเซนติเมตร ระยะที่ 4 ของโคลนชุมพร 2 มีพื้นที่ใบอยู่ในช่วง 25.60-40.00 ตารางเซนติเมตร และควนโดนมีพื้นที่ใบอยู่ในช่วง 29.01-45.00 ตารางเซนติเมตร และระยะที่ 5 ของโคลนชุมพร 2 มีพื้นที่ใบอยู่ในช่วง 40.01-65.00 ตารางเซนติเมตร และควนโดนมีพื้นที่ใบอยู่ในช่วง 45.01-70.00 ตารางเซนติเมตร (ตารางที่ 1)

ความสัมพันธ์ระหว่างระยะพัฒนาการของใบกับความเขียวใบและสีใบ พบว่า ระยะที่ 1 มีความเขียวใบอยู่ในช่วง 10.00-18.00 SPAD unit ความเป็นสีแดงของใบ (a*) อยู่ในช่วง (-5.99)-0 ความเป็นสีเหลืองของใบ (b*) อยู่ในช่วง 34.40-45.00 และความสว่างของใบ (L*) อยู่ในช่วง 49.50-60.00 ระยะที่ 2 มีความเขียวใบอยู่ในช่วง 18.01-23.99 SPAD unit ค่า a* อยู่ในช่วง (-10.00)-(-6.00) ค่า b* อยู่ในช่วง 30.30-34.39 และค่า L* อยู่ในช่วง 46.00-49.49 ระยะที่ 3 มีความเขียวใบอยู่ในช่วง 24.00-27.99 SPAD unit ค่า a* อยู่ในช่วง (-12.59)-(-10.01) ค่า b* อยู่ในช่วง 27.40-30.29 และค่า L* อยู่ในช่วง 42.00-45.99 ระยะที่ 4 มีความเขียวใบอยู่ในช่วง 28.00-37.99 SPAD unit ค่า a* อยู่ในช่วง (-18.00)-(-12.60) ค่า b* อยู่ในช่วง 20.51-27.39 และค่า L* อยู่ในช่วง 37.50-41.99 และระยะที่ 5 มีความเขียวใบ 38.00-45.00 SPAD unit ค่า a* อยู่ในช่วง (-25.00)-(-18.01) ค่า b* อยู่ในช่วง 15.00-20.50 และค่า L* อยู่ในช่วง 32.00-37.49 (ตารางที่ 1)



ภาพที่ 3 ความสัมพันธ์ระหว่างพื้นที่ใบวัดด้วยเครื่องวัดพื้นที่ใบกับวัดด้วยเวอร์เนียร์คาร์ลิปเปอร์ของใบกาแฟโรบัสต้า

** มีความแตกต่างทางสถิติอย่างมีนัยสำคัญยิ่งที่ระดับ $P \leq 0.01$

ตารางที่ 1 การเปลี่ยนแปลงของพื้นที่ใบ ความเขียวใบ และสีของใบ (a* b* และ L*) แต่ละระยะพัฒนาการของใบกาแฟโรบัสต้าโคลนชุมพร 2 และโคลนควนโดน

Developmental stages	Days	Leaf area (cm^2)		SPAD reading	Leaf color		
		Chumphon 2	Khuan Don	(SPAD unit)	a*	b*	L*
1	1-4	0.06-5.50	0.06-5.99	10.00-18.00	(-5.99)-0.00	34.40-45.00	49.50-60.00
2	5-8	5.51-14.99	6.00-17.59	18.01-23.99	(-10.00)-(-6.00)	30.30-34.39	46.00-49.49
3	9-14	15.00-25.59	17.60-29.00	24.00-27.99	(-12.59)-(-10.01)	27.40-30.29	42.00-45.99
4	15-20	25.60-40.00	29.01-45.00	28.00-37.99	(-18.00)-(-12.60)	20.51-27.39	37.50-41.99
5	21-27	40.01-65.00	45.01-70.00	38.00-45.00	(-25.00)-(-18.01)	15.00-20.50	32.00-37.49

ระยะที่ 1 (S1) ใบมีอายุ 1-4 วัน ระยะที่ 2 (S2) ใบมีอายุ 5-8 วัน ระยะที่ 3 (S3) ใบมีอายุ 9-14 วัน ระยะที่ 4 (S4) ใบมีอายุ 15-20 วัน และระยะที่ 5 (S5) ใบมีอายุ 21-27 วัน

ค่า a* เป็นบวก มีความเป็นสีแดง ค่า a* เป็นลบ มีความเป็นสีเขียว ค่า b* เป็นบวก มีความเป็นสีเหลือง ค่า b* เป็นลบ มีความเป็นสีน้ำเงิน และค่า L* มาก มีความสว่างของสีมาก ค่า L* น้อย มีความสว่างของสีน้อย

2.2 พื้นที่ใบโคลนชุมพร 2 และโคลนควนโดนแต่ละระยะพัฒนาการของใบกาแฟโรบัสต้า

การพัฒนาการของพื้นที่ใบแต่ละระยะพัฒนาการของใบกาแฟโรบัสต้าโคลนชุมพร 2 และโคลนควนโดน พบว่า ใบกาแฟโรบัสต้าโคลนชุมพร 2 และควนโดนมีพื้นที่ใบแตกต่างกันทางสถิติอย่างมีนัยสำคัญยิ่ง โดยควนโดนมีพื้นที่ใบเฉลี่ย 25.81 ตารางเซนติเมตร ซึ่งมีพื้นที่ใบมากที่สุดและมีความแตกต่างกันทางสถิติอย่างมีนัยสำคัญยิ่งกับโคลนชุมพร 2 ที่มีพื้นที่ใบเฉลี่ย 22.75 ตารางเซนติเมตร ส่วนระยะพัฒนาการของใบกาแฟโรบัสต้าระยะที่ 1-5 มีพื้นที่ใบแตกต่างกันทางสถิติอย่างมีนัยสำคัญยิ่ง โดยใบระยะที่ 5 มีพื้นที่ใบเฉลี่ย 51.97 ตารางเซนติเมตร ซึ่งมีพื้นที่ใบมากที่สุดและมีความแตกต่างกันทางสถิติอย่างมีนัยสำคัญยิ่งกับระยะที่ 1 2 3 และ 4 มีพื้นที่ใบเฉลี่ย 2.26 10.26 21.85 และ 35.06 ตารางเซนติเมตร ตามลำดับ ขณะที่ ปฏิสัมพันธ์ระหว่างโคลนของใบกาแฟโรบัสต้ากับระยะพัฒนาการของใบมีพื้นที่ใบแตกต่างกันทางสถิติอย่างมีนัยสำคัญยิ่ง โดยระยะที่ 5 ของโคลนควนโดนมีพื้นที่ใบเฉลี่ยมากที่สุด 54.91 ตารางเซนติเมตร และมีความแตกต่างกันทางสถิติอย่างมีนัยสำคัญยิ่งกับระยะพัฒนาการอื่นและโคลนชุมพร 2 และระยะที่ 1 ของโคลนชุมพร 2 มีพื้นที่ใบเฉลี่ย 2.11 ตารางเซนติเมตร ซึ่งมีพื้นที่ใบน้อยที่สุดและไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติกับใบระยะที่ 1 ของโคลนควนโดนที่มีพื้นที่ใบเฉลี่ย 2.40 ตารางเซนติเมตร (ตารางที่ 2)

ตารางที่ 2 การพัฒนาการของพื้นที่ใบตามระยะพัฒนาการของใบกาแฟโรบัสต้าโคลนชุมพร 2 และโคลนควนโดน

Clones	Leaf area (cm^2)					Mean[1]
	S1	S2	S3	S4	S5	
Chumphon 2	2.11h	9.69g	20.12f	32.79d	49.04b	22.75B
Khuan Don	2.40h	10.82g	23.58e	37.32c	54.91a	25.81A
Mean[2]	2.26E	10.26D	21.85C	35.06B	51.97A	
A			**			
B			**			
A x B			**			
C.V. (%)			4.28			

[1] ค่าเฉลี่ยของใบกาแฟโรบัสต้าโคลนชุมพร 2 และโคลนควนโดน (A)

[2] ค่าเฉลี่ยของระยะพัฒนาการของใบกาแฟโรบัสต้า (B)

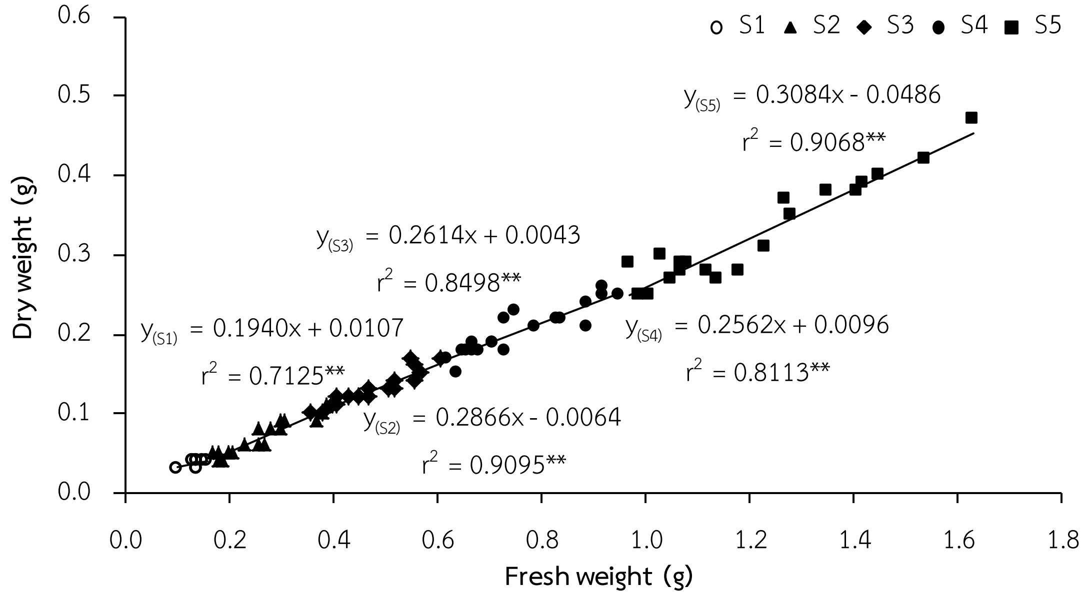
ระยะที่ 1 (S1) ใบมีอายุ 1-4 วัน ระยะที่ 2 (S2) ใบมีอายุ 5-8 วัน ระยะที่ 3 (S3) ใบมีอายุ 9-14 วัน ระยะที่ 4 (S4) ใบมีอายุ 15-20 วัน และระยะที่ 5 (S5) ใบมีอายุ 21-27 วัน

ค่าเฉลี่ยที่กำกับด้วยตัวอักษรพิมพ์ใหญ่และพิมพ์เล็กต่างกันในแต่ละแถวและสดมภ์มีความแตกต่างทางสถิติอย่างมีนัยสำคัญ จากการเปรียบเทียบโดยวิธี DMRT ที่ระดับ $P \leq 0.01$

** มีความแตกต่างทางสถิติอย่างมีนัยสำคัญยิ่งที่ระดับ $P \leq 0.01$

2.3 น้ำหนักใบกาแฟโรบัสต้าแต่ละระยะพัฒนาการของใบ

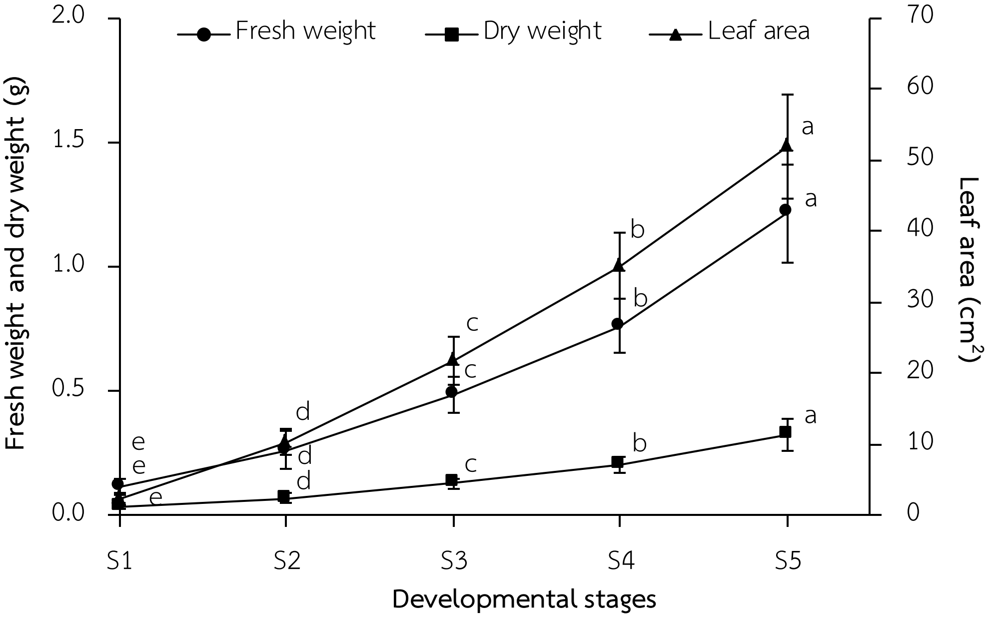
การเปลี่ยนแปลงของน้ำหนักสดและน้ำหนักแห้งแต่ละระยะพัฒนาการใบกาแฟโรบัสต้า พบว่า น้ำหนักสดของใบระยะที่ 1 มีความสัมพันธ์เชิงบวกในสมการเส้นตรง $y_{(S1)} = 0.1940x + 0.0107$ ($r^2 = 0.7125$) ที่มีการกระจายตัวของน้ำหนักแห้งใบแคบมาก ซึ่งน้ำหนักสดกับน้ำหนักแห้งมีความแตกต่างกันทางสถิติอย่างมีนัยสำคัญยิ่ง ขณะที่ น้ำหนักสดของใบระยะที่ 2 มีความสัมพันธ์เชิงบวกในสมการเส้นตรง $y_{(S2)} = 0.2866x - 0.0064$ ($r^2 = 0.9095$) ที่มีการกระจายตัวของน้ำหนักแห้งใบแคบ ซึ่งน้ำหนักสดกับน้ำหนักแห้งมีความแตกต่างกันทางสถิติอย่างมีนัยสำคัญยิ่ง ส่วนน้ำหนักสดของใบระยะที่ 3 มีความสัมพันธ์เชิงบวกในสมการเส้นตรง $y_{(S3)} = 0.2614x + 0.0043$ ($r^2 = 0.8498$) ที่มีการกระจายตัวของน้ำหนักแห้งใบแคบ ซึ่งน้ำหนักสดกับน้ำหนักแห้งมีความแตกต่างกันทางสถิติอย่างมีนัยสำคัญยิ่ง ขณะที่ น้ำหนักสดของใบระยะที่ 4 มีความสัมพันธ์เชิงบวกในสมการเส้นตรง $y_{(S4)} = 0.2562x + 0.0096$ ($r^2 = 0.8113$) ที่มีการกระจายตัวของน้ำหนักแห้งใบค่อนข้างกว้าง ซึ่งน้ำหนักสดกับน้ำหนักแห้งมีความแตกต่างกันทางสถิติอย่างมีนัยสำคัญยิ่ง และน้ำหนักสดของใบระยะที่ 5 มีความสัมพันธ์เชิงบวกในสมการเส้นตรง $y_{(S5)} = 0.3084x - 0.0486$ ($r^2 = 0.9068$) ที่มีการกระจายตัวของน้ำหนักแห้งใบกว้าง ซึ่งน้ำหนักสดกับน้ำหนักแห้งมีความแตกต่างกันทางสถิติอย่างมีนัยสำคัญยิ่ง โดยที่ x คือ น้ำหนักสดของใบ และ y คือ น้ำหนักแห้งของใบ (ภาพที่ 4)



ภาพที่ 4 ความสัมพันธ์ระหว่างน้ำหนักสดกับน้ำหนักแห้งต่อระยะพัฒนาการ (S) ของใบกาแฟโรบัสต้า โดยระยะที่ 1 (S1) ใบมีอายุ 1-4 วัน ระยะที่ 2 (S2) ใบมีอายุ 5-8 วัน ระยะที่ 3 (S3) ใบมีอายุ 9-14 วัน ระยะที่ 4 (S4) ใบมีอายุ 15-20 วัน และระยะที่ 5 (S5) ใบมีอายุ 21-27 วัน ** มีความแตกต่างทางสถิติอย่างมีนัยสำคัญยิ่งที่ระดับ $P \leq 0.01$

2.4 การเปลี่ยนแปลงของมวลใบและพื้นที่ใบแต่ละระยะพัฒนาการของใบกาแฟโรบัสต้า

การเปลี่ยนแปลงของน้ำหนักสด น้ำหนักแห้ง และพื้นที่ใบต่อระยะพัฒนาการของใบกาแฟโรบัสต้า พบว่า ขนาดของพื้นที่ใบเฉลี่ยมีผลให้ค่าเฉลี่ยของน้ำหนักสดและน้ำหนักแห้งแต่ละระยะมีค่าเพิ่มขึ้นตามการพัฒนาการของพื้นที่ใบ โดยใบระยะที่ 5 มีพื้นที่ใบเฉลี่ย 51.97 ตารางเซนติเมตร น้ำหนักสดและน้ำหนักแห้งของใบเฉลี่ย 1.16 และ 0.30 กรัม ตามลำดับ ซึ่งมีค่ามากที่สุดและมีความแตกต่างทางสถิติอย่างมีนัยสำคัญยิ่งกับระยะพัฒนาการอื่น ขณะที่ ใบระยะที่ 1 มีพื้นที่ใบเฉลี่ย 2.26 ตารางเซนติเมตร น้ำหนักสดและน้ำหนักแห้งของใบเฉลี่ย 0.12 และ 0.03 กรัม ตามลำดับ ซึ่งมีค่าน้อยที่สุดและมีความแตกต่างทางสถิติอย่างมีนัยสำคัญยิ่งกับระยะพัฒนาการอื่น (ภาพที่ 5)



ภาพที่ 5 การเปลี่ยนแปลงค่าเฉลี่ยของน้ำหนักสด น้ำหนักแห้ง และพื้นที่ใบต่อระยะพัฒนาการของใบกาแฟโรบัสต้า โดยระยะที่ 1 (S1) ใบมีอายุ 1-4 วัน ระยะที่ 2 (S2) ใบมีอายุ 5-8 วัน ระยะที่ 3 (S3) ใบมีอายุ 9-14 วัน ระยะที่ 4 (S4) ใบมีอายุ 15-20 วัน และระยะที่ 5 (S5) ใบมีอายุ 21-27 วัน

** มีความแตกต่างทางสถิติอย่างมีนัยสำคัญยิ่งที่ระดับ $P \leq 0.01$

2.5 พื้นที่ใบจำเพาะและน้ำหนักใบจำเพาะแต่ละระยะพัฒนาการของใบกาแฟโรบัสต้า

การเปลี่ยนแปลงของพื้นที่ใบจำเพาะและน้ำหนักใบจำเพาะตามระยะพัฒนาการของใบ พบว่า พื้นที่ใบและน้ำหนักแห้งของใบมีความแตกต่างกันทางสถิติอย่างมีนัยสำคัญยิ่งกับระยะพัฒนาการของใบ ขณะที่ พื้นที่ใบจำเพาะและน้ำหนักใบจำเพาะมีความแตกต่างกันทางสถิติอย่างมีนัยสำคัญกับระยะพัฒนาการของใบ โดยใบระยะที่ 5 มีพื้นที่ใบและน้ำหนักแห้งของใบมากที่สุด มีค่า 58.36 ตารางเซนติเมตร และ 0.46 กรัม ตามลำดับ ส่วนใบระยะที่ 3 มีพื้นที่ใบจำเพาะมากที่สุด มีค่า 161.91 ตารางเซนติเมตรต่อกรัม และไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติกับใบระยะที่ 4 มีค่า 140.52 ตารางเซนติเมตรต่อกรัม และใบระยะที่ 1 มีน้ำหนักใบจำเพาะมากที่สุด มีค่า 0.0090 กรัมต่อตารางเซนติเมตร และไม่มีความแตกต่างกันกับใบระยะที่ 2 4 และ 5 มีค่า 0.0077 0.0073 และ 0.0079 กรัมต่อตารางเซนติเมตร ตามลำดับ (ตารางที่ 3)

ตารางที่ 3 พื้นที่ใบ (LA) น้ำหนักแห้งของใบ (DW) พื้นที่ใบจำเพาะ (SLA) และน้ำหนักใบจำเพาะ (SLW) ในระยะพัฒนาการของใบกาแฟโรบัสต้า

Developmental stages	LA (cm^2)	DW (g)	SLA (cm^2 g^{-1})	SLW (g cm^{-2})
1	3.57 ± 0.80e	0.03 ± 0.01d	115.98 ± 24.08b	0.0090 ± 0.0021a
2	12.56 ± 1.67d	0.10 ± 0.01c	131.83 ± 18.23b	0.0077 ± 0.0011ab
3	19.32 ± 1.69c	0.12 ± 0.01c	161.91 ± 16.55a	0.0062 ± 0.0006b
4	36.16 ± 2.33b	0.26 ± 0.03b	140.52 ± 27.07ab	0.0073 ± 0.0012ab
5	58.36 ± 2.26a	0.46 ± 0.03a	127.90 ± 11.36b	0.0079 ± 0.0006ab
F-test	**	**	*	*
C.V. (%)	7.06	10.69	14.92	16.15

ค่าเฉลี่ย ± ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน (SD) โดยระยะที่ 1 (S1) ใบมีอายุ 1-4 วัน ระยะที่ 2 (S2) ใบมีอายุ 5-8 วัน ระยะที่ 3 (S3) ใบมีอายุ 9-14 วัน ระยะที่ 4 (S4) ใบมีอายุ 15-20 วัน และระยะที่ 5 (S5) ใบมีอายุ 21-27 วัน

ค่าเฉลี่ยที่กำกับด้วยตัวอักษรต่างกันในแต่ละสดมภ์มีความแตกต่างทางสถิติอย่างมีนัยสำคัญยิ่ง จากการเปรียบเทียบโดยวิธี DMRT ที่ระดับ $P \leq 0.01$

* มีความแตกต่างทางสถิติอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับ $P \leq 0.05$

** มีความแตกต่างทางสถิติอย่างมีนัยสำคัญยิ่งที่ระดับ $P \leq 0.01$

2.6 คลอโรฟิลล์และแคโรทีนอยด์ในใบกาแฟโรบัสต้าแต่ละระยะพัฒนาการของใบ

ระยะพัฒนาการของใบมีผลต่อปริมาณคลอโรฟิลล์ เอ คลอโรฟิลล์ บี คลอโรฟิลล์ทั้งหมด และแคโรทีนอยด์ พบว่า ระยะพัฒนาการของใบสูงขึ้นมีผลต่อปริมาณคลอโรฟิลล์ เอ คลอโรฟิลล์ บี คลอโรฟิลล์ทั้งหมด และแคโรทีนอยด์มากขึ้นแตกต่างกันทางสถิติอย่างมีนัยสำคัญยิ่ง โดยใบระยะที่ 5 มีปริมาณคลอโรฟิลล์ เอ คลอโรฟิลล์ บี คลอโรฟิลล์ทั้งหมด และแคโรทีนอยด์เฉลี่ยมากที่สุด มีค่า 22.51 12.20 34.75 และ 1.34 มิลลิกรัมต่อตารางเซนติเมตร ตามลำดับ ขณะที่ ใบระยะที่ 1 มีปริมาณคลอโรฟิลล์ เอ คลอโรฟิลล์ บี คลอโรฟิลล์ทั้งหมด และแคโรทีนอยด์เฉลี่ยต่ำที่สุด มีค่า 6.31 3.05 9.50 และ 0.56 มิลลิกรัมต่อตารางเซนติเมตร ตามลำดับ (ตารางที่ 4)

ตารางที่ 4 ปริมาณคลอโรฟิลล์ เอ คลอโรฟิลล์ บี คลอโรฟิลล์ทั้งหมด และแคโรทีนอยด์ในระยะพัฒนาการของใบกาแฟโรบัสต้า

Developmental stages	Chl_a (mg cm^{-2})	Chl_b (mg cm^{-2})	Chl_{total} (mg cm^{-2})	Carotenoid (mg cm^{-2})
1	6.31 ± 0.73e	3.05 ± 0.48e	9.50 ± 1.16e	0.56 ± 0.02e
2	9.90 ± 0.90d	5.32 ± 0.55d	15.19 ± 1.42d	0.67 ± 0.03d
3	12.17 ± 0.66c	6.66 ± 0.38c	18.75 ± 1.03c	0.77 ± 0.03c
4	16.41 ± 1.71b	9.02 ± 0.92b	25.36 ± 2.65b	0.98 ± 0.09b
5	22.51 ± 1.87a	12.20 ± 0.94a	34.75 ± 2.87a	1.34 ± 0.12a
F-test	**	**	**	**
C.V. (%)	9.57	9.70	9.64	7.96

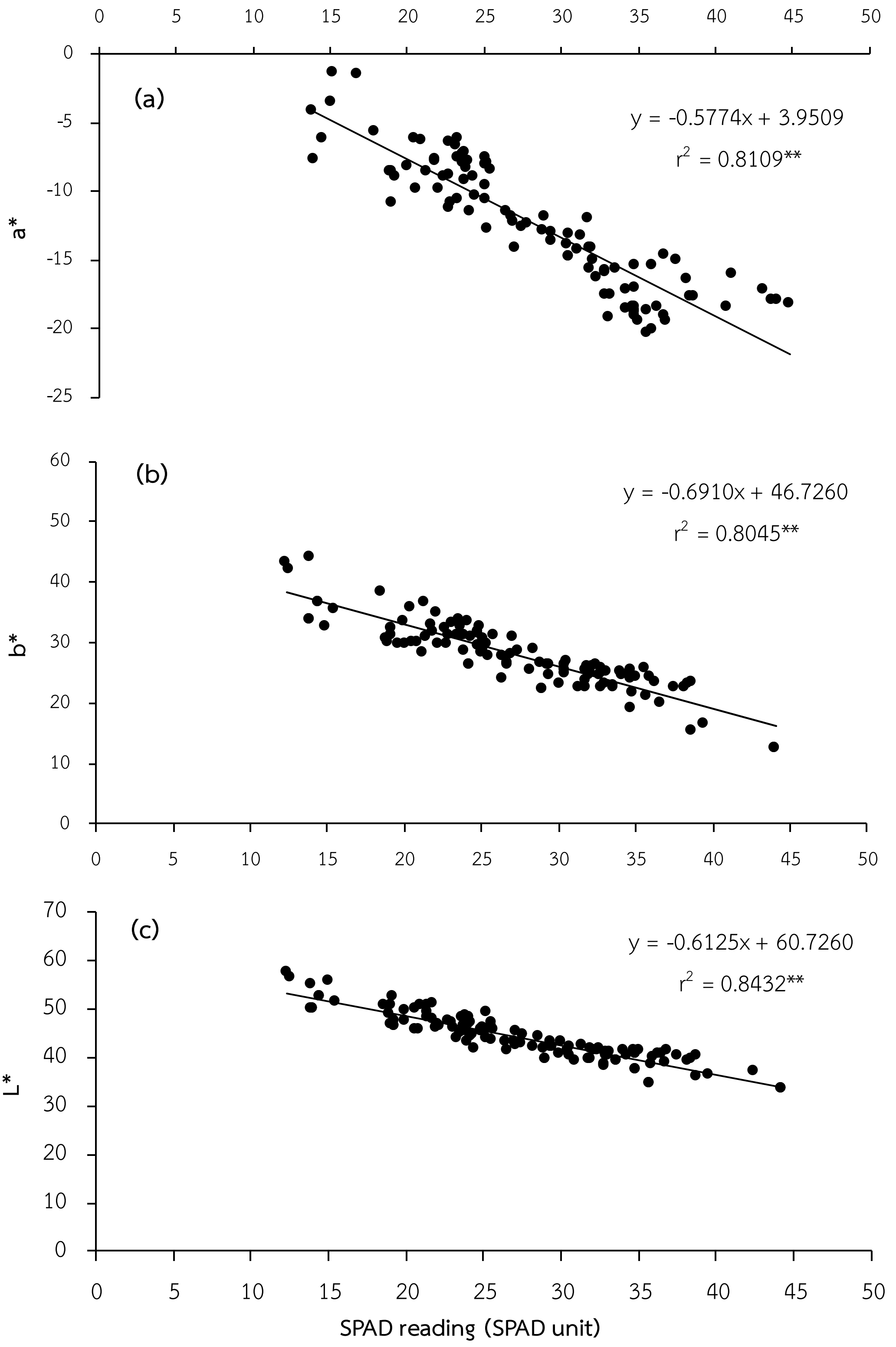
ค่าเฉลี่ย ± ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน (SD) โดยระยะที่ 1 (S1) ใบมีอายุ 1-4 วัน ระยะที่ 2 (S2) ใบมีอายุ 5-8 วัน ระยะที่ 3 (S3) ใบมีอายุ 9-14 วัน ระยะที่ 4 (S4) ใบมีอายุ 15-20 วัน และระยะที่ 5 (S5) ใบมีอายุ 21-27 วัน

ค่าเฉลี่ยที่กำกับด้วยตัวอักษรต่างกันในแต่ละสดมภ์มีความแตกต่างทางสถิติอย่างมีนัยสำคัญ จากการเปรียบเทียบโดยวิธี DMRT ที่ระดับ $P \leq 0.01$

** มีความแตกต่างทางสถิติอย่างมีนัยสำคัญยิ่งที่ระดับ $P \leq 0.01$

2.7 ความสัมพันธ์ระหว่างสีใบกับความเขียวใบกาแฟโรบัสต้า

ความสัมพันธ์ระหว่างสีใบ (a* b* และ L*) ต่อความเขียวใบ พบว่า ความเป็นสีเขียว (a*) มีความสัมพันธ์เชิงลบในสมการเส้นตรง y = -0.5774x + 3.9509 (r^2 = 0.8109) ที่มีการกระจายตัวกว้าง ซึ่งค่า a* มีความแตกต่างกันทางสถิติอย่างมีนัยสำคัญยิ่งกับความเขียวใบที่วัดด้วยเครื่องวัดความเขียวใบ (ภาพที่ 6a) ค่าความเป็นสีเหลือง (b*) มีความสัมพันธ์เชิงลบในสมการเส้นตรง y = -0.6910x + 46.7260 (r^2 = 0.8045) ที่มีการกระจายตัวแคบ ซึ่งค่า b* มีความแตกต่างกันทางสถิติอย่างมีนัยสำคัญยิ่งกับความเขียวใบ (ภาพที่ 6b) และค่าความสว่างของใบ (L*) มีความสัมพันธ์เชิงลบในสมการเส้นตรง y = -0.6125x + 60.7260 (r^2 = 0.8432) ที่มีการกระจายตัวแคบ ซึ่งค่า L* มีความแตกต่างกันทางสถิติอย่างมีนัยสำคัญยิ่งกับความเขียวใบ (ภาพที่ 6c) โดยที่ x คือ ความเขียวใบ และ y คือ สีของใบ (ภาพที่ 6)

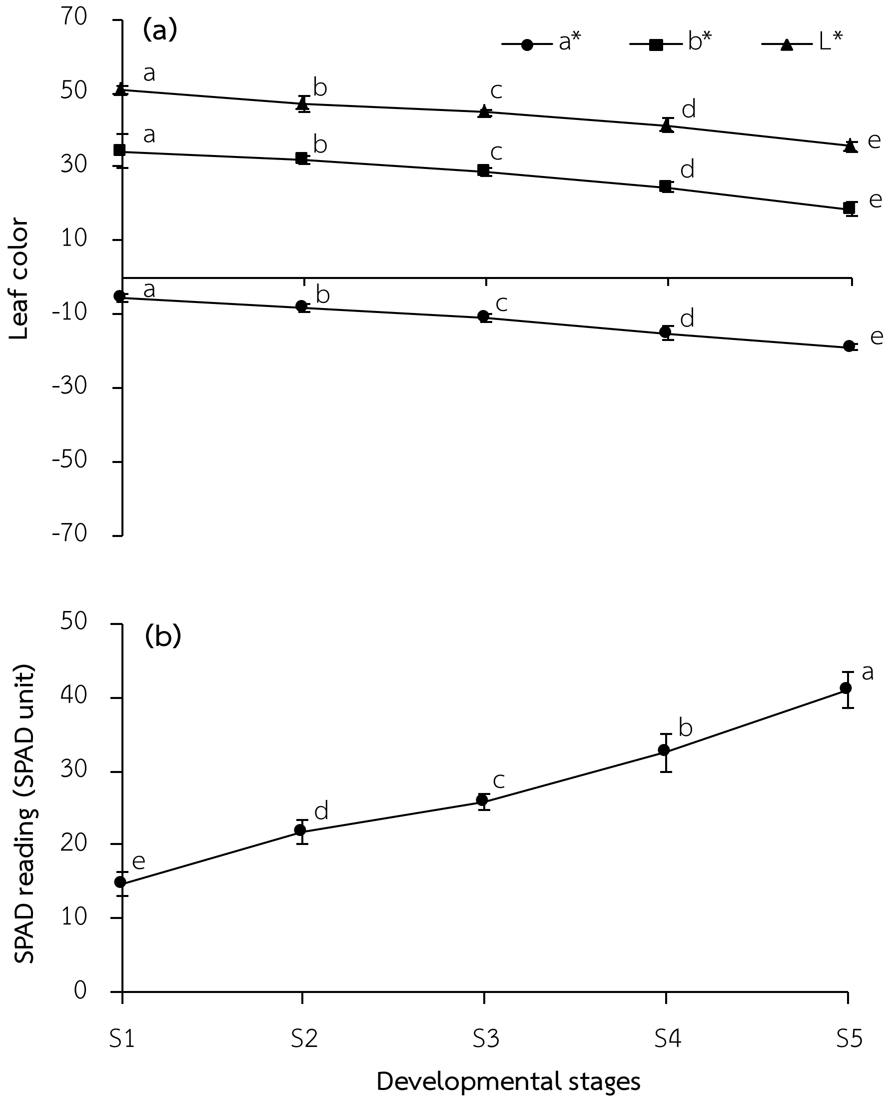


ภาพที่ 6 ความสัมพันธ์ระหว่างความเป็นสีเขียว (a*) (a) ความเป็นสีเหลือง (b*) (b) และความสว่าง (L*) (c) ของใบ และความเขียวใบ (SPAD reading) ในใบกาแฟโรบัสต้า

** มีความแตกต่างทางสถิติอย่างมีนัยสำคัญยิ่งที่ระดับ $P \leq 0.01$

การเปลี่ยนแปลงของสีใบตามระยะพัฒนาการของใบกาแฟโรบัสต้า พบว่า สีใบมีแนวโน้มลดลงตามระยะพัฒนาการของใบ โดยใบระยะที่ 1 มีค่า a* เฉลี่ย -5.55 ค่า b* เฉลี่ย 34.29 และค่า L* เฉลี่ย 51.03 ซึ่งมีค่าสีมากที่สุดและมีความแตกต่างกันทางสถิติอย่างมีนัยสำคัญยิ่งกับระยะพัฒนาการอื่น ขณะที่ ใบระยะที่ 5 มีค่า a* เฉลี่ย -18.92 ค่า b* เฉลี่ย 18.53 และค่า L* เฉลี่ย 35.44 ซึ่งมีค่าสีน้อยที่สุดและมีความแตกต่างกันทางสถิติอย่างมีนัยสำคัญยิ่งกับระยะพัฒนาการอื่น (ภาพที่ 7a)

การเปลี่ยนแปลงของความเขียวใบตามระยะพัฒนาการของใบ พบว่า ความเขียวใบแนวโน้มเพิ่มขึ้นตามระยะพัฒนาการของใบ โดยใบระยะที่ 5 มีความเขียวใบเฉลี่ย 41.04 SPAD Unit ซึ่งมีค่าสีมากที่สุดและมีความแตกต่างกันทางสถิติอย่างมีนัยสำคัญยิ่งกับระยะพัฒนาการอื่น ขณะที่ใบระยะที่ 1 มีความเขียวใบเฉลี่ย 14.66 SPAD Unit ซึ่งมีค่าสีน้อยที่สุดและมีความแตกต่างกันทางสถิติอย่างมีนัยสำคัญยิ่งกับระยะพัฒนาการอื่น (ภาพที่ 7b)



ภาพที่ 7 การเปลี่ยนแปลงของสีใบ (a) และความเขียวใบ (b) ตามระยะพัฒนาการของใบกาแฟโรบัสต้า เมื่อระยะที่ 1 (S1) ใบมีอายุ 1-4 วัน ระยะที่ 2 (S2) ใบมีอายุ 5-8 วัน ระยะที่ 3 (S3) ใบมีอายุ 9-14 วัน ระยะที่ 4 (S4) ใบมีอายุ 15-20 วัน และระยะที่ 5 (S5) ใบมีอายุ 21-27 วัน โดยที่ ค่า a* เป็นบวก มีความเป็นสีแดง ค่า a* เป็นลบ มีความเป็นสีเขียว ค่า b* เป็นบวก มีความเป็นสีเหลือง ค่า b* เป็นลบ มีความเป็นสีน้ำเงิน และค่า L* มาก มีความสว่างของสีมาก ค่า L* น้อย มีความสว่างของสีน้อย

** มีความแตกต่างทางสถิติอย่างมีนัยสำคัญยิ่งที่ระดับ $P \leq 0.01$

3. องค์ประกอบสารพฤกษเคมีที่สำคัญ

3.1 ปริมาณสารพฤกษเคมีเบื้องต้นของใบกาแฟโรบัสต้า

การวิเคราะห์หาปริมาณองค์ประกอบสารพฤกษเคมีเบื้องต้นในระยะพัฒนาการของใบกาแฟโรบัสต้าระยะที่ 4-5 พบว่า ใบกาแฟโรบัสต้าระยะที่ 4-5 มีปริมาณสารต้านอนุมูลอิสระสูงถึง 171,396 ไมโครโมลโทรลอกซ์ต่อน้ำหนักแห้ง 100 กรัม โดยสารต้านอนุมูลอิสระในใบกาแฟโรบัสต้ามีสารกลุ่มย่อยหลายกลุ่ม เช่น สารประกอบฟีนอลิกทั้งหมด คาเฟอีน แคทีชิน และกรดแกลลิก เป็นต้น ปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมด 4.24 กรัมกรดแกลลิกต่อน้ำหนักแห้ง 100 กรัม คาเฟอีน 1.23 กรัมต่อน้ำหนักแห้ง 100 กรัม แคทีชิน 0.18 กรัมต่อน้ำหนักแห้ง 100 กรัม และปริมาณกรดแกลลิก 39.85 มิลลิกรัมต่อกรัมของสารสกัดแห้ง แสดงให้เห็นว่า ใบกาแฟโรบัสต้าระยะที่ 4-5 มีปริมาณสารต้านอนุมูลอิสระ สารประกอบฟีนอลิก คาเฟอีน แคทีชิน และกรดแกลลิกสะสมอยู่ภายในใบ (ตารางที่ 5)

ตารางที่ 5 ปริมาณสารพฤกษเคมีเบื้องต้นในระยะพัฒนาการของใบกาแฟโรบัสต้าที่ 4-5

Phytochemical contents	Mean
Antioxidant activity (µmol trolox/100 g DW)	171,396.00 ± 0.00
Total phenolic compound (g gallic acid/100 g DW)	4.24 ± 0.01
Caffeine (g/100 g DW)	1.23 ± 0.00
Catechin (g/100 g DW)	0.18 ± 0.00
Gallic acid (mg/g extract)	39.85 ± 0.56

ค่าเฉลี่ย ± ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน (SD) โดยระยะที่ 4 (S4) ใบมีอายุ 15-20 วัน และระยะที่ 5 (S5) ใบมีอายุ 21-27 วัน

3.2 เปอร์เซ็นต์ของสารสกัดหยาบ (Crude extract) และปริมาณสารพฤกษเคมีของใบกาแฟโรบัสต้าโคลนชุมพร 2 และโคลนควนโดนแต่ละช่วงระยะพัฒนาการของใบ

3.2.1 เปอร์เซ็นต์ของสารสกัดหยาบใบกาแฟโรบัสต้าโคลนชุมพร 2 และโคลนควนโดนแต่ละช่วงระยะพัฒนาการของใบ

น้ำหนักสารสกัดหยาบที่ได้สามารถนำมาคำนวณหาเปอร์เซ็นต์ของสารสกัดหยาบจากกระบวนการสกัดสารใบกาแฟโรบัสต้าของโคลนชุมพร 2 และควนโดนแต่ละช่วงระยะพัฒนาการของใบ พบว่า น้ำหนักแห้ง (ผงใบกาแฟ) ของใบโคลนชุมพร 2 ช่วงระยะที่ 1-2 หนัก 50.00 กรัม

นำมาผ่านกระบวนการสกัดสารด้วยเอทานอล 95 เปอร์เซ็นต์ จะได้น้ำหนักสารสกัดหยาบเฉลี่ย 1.16 กรัม และเปอร์เซ็นต์ของสารสกัดหยาบที่ได้ 2.32 เปอร์เซ็นต์ ส่วนน้ำหนักแห้งของใบโคลนชุมพร 2 ระยะที่ 3 หนัก 50.00 กรัม นำมาผ่านกระบวนการสกัดสารด้วยเอทานอล 95 เปอร์เซ็นต์ จะได้น้ำหนักสารสกัดหยาบเฉลี่ย 1.48 กรัม และเปอร์เซ็นต์ของสารสกัดหยาบที่ได้ 2.92 เปอร์เซ็นต์ และน้ำหนักแห้งของใบโคลนชุมพร 2 ช่วงระยะที่ 4-5 หนัก 50.00 กรัม นำมาผ่านกระบวนการสกัดสารด้วยเอทานอล 95 เปอร์เซ็นต์ จะได้น้ำหนักสารสกัดหยาบเฉลี่ย 2.03 กรัม และเปอร์เซ็นต์ของสารสกัดหยาบที่ได้ 4.06 เปอร์เซ็นต์ เช่นเดียวกับ น้ำหนักแห้งของใบโคลนควนโดนช่วงระยะที่ 1-2 หนัก 50.00 กรัม นำมาผ่านกระบวนการสกัดสารด้วยเอทานอล 95 เปอร์เซ็นต์ จะได้น้ำหนักสารสกัดหยาบเฉลี่ย 1.10 กรัม และเปอร์เซ็นต์ของสารสกัดหยาบที่ได้ 2.20 เปอร์เซ็นต์ ส่วนน้ำหนักแห้งของใบโคลนควนโดนระยะที่ 3 หนัก 50.00 กรัม นำมาผ่านกระบวนการสกัดสารด้วยเอทานอล 95 เปอร์เซ็นต์ จะได้น้ำหนักสารสกัดหยาบเฉลี่ย 1.45 กรัม และเปอร์เซ็นต์ของสารสกัดหยาบที่ได้ 2.90 เปอร์เซ็นต์ และน้ำหนักแห้งของใบโคลนควนโดนช่วงระยะที่ 4-5 หนัก 50.00 กรัม นำมาผ่านกระบวนการสกัดสารด้วยเอทานอล 95 เปอร์เซ็นต์ จะได้น้ำหนักสารสกัดหยาบเฉลี่ย 1.97 กรัม และเปอร์เซ็นต์ของสารสกัดหยาบที่ได้ 3.94 เปอร์เซ็นต์ (ตารางที่ 6)

น้ำหนักสารสกัดหยาบที่ได้จากการสกัดสารใบกาแฟโรบัสต้าของโคลนชุมพร 2 และควนโดนแต่ละช่วงระยะพัฒนาการของใบ พบว่า ช่วงระยะพัฒนาการของใบกาแฟโรบัสต้าโคลนชุมพร 2 มีน้ำหนักสารสกัดหยาบแตกต่างกันทางสถิติอย่างมีนัยสำคัญยิ่ง โดยช่วงระยะที่ 4-5 มีน้ำหนักสารสกัดหยาบเฉลี่ย 2.03 กรัม ซึ่งมีน้ำหนักสารสกัดหยาบมากที่สุด แต่ไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติกับระยะที่ 3 ที่มีน้ำหนักสารสกัดหยาบเฉลี่ย 1.48 กรัม ขณะที่ ช่วงระยะที่ 4-5 มีความแตกต่างกันทางสถิติอย่างมีนัยสำคัญยิ่งกับช่วงระยะที่ 1-2 ที่มีน้ำหนักสารสกัดหยาบเฉลี่ย 1.16 กรัม ส่วนช่วงระยะพัฒนาการของใบกาแฟโรบัสต้าโคลนควนโดนมีน้ำหนักสารสกัดหยาบแตกต่างกันทางสถิติอย่างมีนัยสำคัญ โดยช่วงระยะที่ 4-5 มีน้ำหนักสารสกัดหยาบเฉลี่ย 1.97 กรัม ซึ่งมีน้ำหนักสารสกัดหยาบมากที่สุด แต่ไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติกับระยะที่ 3 ที่มีน้ำหนักสารสกัดหยาบเฉลี่ย 1.45 กรัม ขณะที่ ช่วงระยะที่ 4-5 มีความแตกต่างกันทางสถิติอย่างมีนัยสำคัญยิ่งกับช่วงระยะที่ 1-2 ที่มีน้ำหนักสารสกัดหยาบเฉลี่ย 1.10 กรัม (ตารางที่ 6)

ตารางที่ 6 น้ำหนักสารสกัดหยาบของใบและเปอร์เซ็นต์ของสารสกัดหยาบต่อระยะพัฒนาการของใบกาแฟโรบัสต้า

Clones	Developmental stages	Extract weight (g)	% Yield
Chumphon 2	1-2	1.16 ± 0.23b	2.32
	3	1.48 ± 0.15ab	2.92
	4-5	2.03 ± 0.21a	4.06
F-test		**	
C.V. (%)		12.87	
Khuan Don	1-2	1.10 ± 0.22b	2.20
	3	1.45 ± 0.27ab	2.90
	4-5	1.97 ± 0.30a	3.94
F-test		*	
C.V. (%)		17.47	

ค่าเฉลี่ย ± ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน (SD) โดยระยะที่ 1-2 ใบมีอายุ 1-8 วัน ระยะที่ 3 ใบมีอายุ 9-14 วัน และระยะที่ 4-5 ใบมีอายุ 15-27 วัน

ค่าเฉลี่ยที่กำกับด้วยตัวอักษรต่างกันในแต่ละสดมภ์มีความแตกต่างทางสถิติอย่างมีนัยสำคัญ จากการเปรียบเทียบโดยวิธี DMRT ที่ระดับ $P \leq 0.01$

* มีความแตกต่างทางสถิติอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับ $P \leq 0.05$

** มีความแตกต่างทางสถิติอย่างมีนัยสำคัญยิ่งที่ระดับ $P \leq 0.01$

3.2.2 ปริมาณสารพฤกษเคมีของใบกาแฟโรบัสต้าโคลนชุมพร 2 และควนโดนแต่ละช่วงระยะพัฒนาการของใบ

ปริมาณสารต้านอนุมูลอิสระภายในใบกาแฟโรบัสต้าโคลนชุมพร 2 และควนโดนช่วงระยะพัฒนาการของใบ 3 ช่วง ได้แก่ ระยะที่ 1-2 ระยะที่ 3 และระยะที่ 4-5 พบว่า ปริมาณสารต้านอนุมูลอิสระเฉลี่ยในใบกาแฟโรบัสต้าโคลนชุมพร 2 และควนโดนไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ แต่ช่วงระยะพัฒนาการของใบกาแฟโรบัสต้าทุกช่วงมีปริมาณสารต้านอนุมูลอิสระแตกต่างกันทางสถิติอย่างมีนัยสำคัญยิ่ง โดยใบช่วงระยะที่ 1-2 มีปริมาณสารต้านอนุมูลอิสระ 39.94 มิลลิกรัมสมมูลของเฟอร์รัสไอออนต่อกรัมของสารสกัดแห้ง ซึ่งมีปริมาณมากที่สุดและมีความแตกต่างกันทางสถิติอย่างมีนัยสำคัญยิ่งกับใบช่วงระยะอื่น เช่นเดียวกับ ปฏิสัมพันธ์ระหว่างโคลนของใบกาแฟโรบัสต้ากับช่วงระยะพัฒนาการของใบมีปริมาณสารต้านอนุมูลอิสระเฉลี่ยแตกต่างกันทางสถิติอย่างมีนัยสำคัญยิ่ง โดยใบกาแฟโรบัสต้าช่วงระยะที่ 1-2 ของโคลนควนโดนมีปริมาณสารต้านอนุมูลอิสระ 41.16 มิลลิกรัมสมมูลของเฟอร์รัสไอออนต่อกรัมของสารสกัดแห้ง ซึ่งมีปริมาณมากที่สุดและมีความแตกต่างกัน

ทางสถิติอย่างมีนัยสำคัญยิ่งเมื่อเทียบกับชุดการทดลองอื่น และใบกาแฟโรบัสต้าช่วงระยะที่ 4-5 ของโคลนชุมพร 2 มีปริมาณสารต้านอนุมูลอิสระ 22.14 มิลลิกรัมสมมูลของเฟอร์รัสไอออนต่อกรัมของสารสกัดแห้ง ซึ่งมีปริมาณน้อยที่สุดเมื่อเทียบชุดการทดลองอื่น (ตารางที่ 7)

ปริมาณสารประกอบฟีนอลิกในใบกาแฟโรบัสต้าโคลนชุมพร 2 และควนโดนแต่ละช่วงระยะพัฒนาการของใบ พบว่า ปริมาณสารประกอบฟีนอลิกเฉลี่ยในใบกาแฟโรบัสต้าโคลนชุมพร 2 และควนโดนไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ แต่ช่วงระยะพัฒนาการของใบกาแฟโรบัสต้าทุกช่วงมีปริมาณสารประกอบฟีนอลิกแตกต่างกันทางสถิติอย่างมีนัยสำคัญยิ่ง โดยใบช่วงระยะที่ 1-2 มีปริมาณสารประกอบฟีนอลิก 28.23 มิลลิกรัมสมมูลของกรดแกลลิกต่อกรัมของสารสกัดแห้ง ซึ่งมีปริมาณมากที่สุดและมีความแตกต่างกันทางสถิติอย่างมีนัยสำคัญยิ่งกับใบช่วงระยะอื่น ขณะที่ ปฏิสัมพันธ์ระหว่างโคลนของใบกาแฟโรบัสต้ากับช่วงระยะพัฒนาการของใบมีปริมาณสารประกอบฟีนอลิกเฉลี่ยไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติทุกชุดการทดลอง (ตารางที่ 7)

ปริมาณฟลาโวนอยด์ภายในใบกาแฟโรบัสต้าโคลนชุมพร 2 และควนโดนแต่ละช่วงระยะพัฒนาการของใบ พบว่า ปริมาณฟลาโวนอยด์ในใบกาแฟโรบัสต้าโคลนชุมพร 2 และควนโดนไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ แต่ช่วงระยะพัฒนาการของใบกาแฟโรบัสต้าทุกช่วงมีปริมาณฟลาโวนอยด์แตกต่างกันทางสถิติอย่างมีนัยสำคัญยิ่ง โดยใบช่วงระยะที่ 1-2 มีปริมาณฟลาโวนอยด์ 18.77 มิลลิกรัมสมมูลของแคทีชินต่อกรัมของสารสกัดแห้ง ซึ่งมีปริมาณมากที่สุดและไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติกับใบระยะที่ 3 ที่มีปริมาณฟลาโวนอยด์ 17.22 มิลลิกรัมสมมูลของแคทีชินต่อกรัมของสารสกัดแห้ง แต่มีความแตกต่างกันทางสถิติอย่างมีนัยสำคัญยิ่งกับใบช่วงระยะที่ 4-5 ที่มีปริมาณฟลาโวนอยด์ 15.65 มิลลิกรัมสมมูลของแคทีชินต่อกรัมของสารสกัดแห้ง ซึ่งมีปริมาณน้อยที่สุด เช่นเดียวกับปฏิสัมพันธ์ระหว่างโคลนของใบกาแฟโรบัสต้ากับช่วงระยะพัฒนาการของใบมีปริมาณฟลาโวนอยด์แตกต่างกันทางสถิติอย่างมีนัยสำคัญยิ่ง โดยใบกาแฟโรบัสต้าช่วงระยะที่ 1-2 ของโคลนชุมพร 2 มีปริมาณฟลาโวนอยด์ 20.09 มิลลิกรัมสมมูลของแคทีชินต่อกรัมของสารสกัดแห้ง ซึ่งมีปริมาณมากที่สุดและมีความแตกต่างกันทางสถิติอย่างมีนัยสำคัญยิ่งเมื่อเทียบกับชุดการทดลองอื่น และใบกาแฟโรบัสต้าช่วงระยะที่ 4-5 ของโคลนชุมพร 2 มีปริมาณฟลาโวนอยด์ 14.46 มิลลิกรัมสมมูลของแคทีชินต่อกรัมของสารสกัดแห้ง ซึ่งมีปริมาณน้อยที่สุดเมื่อเทียบชุดการทดลองอื่น (ตารางที่ 8)

ปริมาณแทนนินภายในใบกาแฟโรบัสต้าโคลนชุมพร 2 และควนโดนแต่ละช่วงระยะพัฒนาการของใบ พบว่า ปริมาณแทนนินเฉลี่ยในใบกาแฟโรบัสต้าโคลนชุมพร 2 และควนโดนไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ แต่ช่วงระยะพัฒนาการของใบกาแฟโรบัสต้าทุกช่วงมีปริมาณแทนนินแตกต่างกันทางสถิติอย่างมีนัยสำคัญยิ่ง โดยช่วงระยะที่ 1-2 มีปริมาณแทนนิน 25.46 มิลลิกรัมสมมูลของกรดแทนนิกต่อกรัมของสารสกัดแห้ง ซึ่งมีปริมาณมากที่สุดและไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติกับใบระยะที่ 3 ที่มีปริมาณแทนนิน 22.44 มิลลิกรัมสมมูลของกรดแทนนิกต่อกรัมของสารสกัดแห้ง แต่มีความ

แตกต่างกันทางสถิติอย่างมีนัยสำคัญยิ่งกับใบช่วงระยะที่ 4-5 ที่มีปริมาณแทนนิน 17.00 มิลลิกรัมสมมูลของกรดแทนนิกต่อกรัมของสารสกัดแห้ง ซึ่งมีปริมาณน้อยที่สุด เช่นเดียวกับ ปฏิสัมพันธ์ระหว่างโคลนของใบกาแฟโรบัสต้ากับช่วงระยะพัฒนาการของใบมีปริมาณแทนนินแตกต่างกันทางสถิติอย่างมีนัยสำคัญยิ่ง โดยใบกาแฟโรบัสต้าช่วงระยะที่ 1-2 ของโคลนชุมพร 2 มีปริมาณแทนนิน 27.43 มิลลิกรัมสมมูลของกรดแทนนิกต่อกรัมของสารสกัดแห้ง ซึ่งมีปริมาณมากที่สุดและมีความแตกต่างกันทางสถิติอย่างมีนัยสำคัญยิ่งเมื่อเทียบกับชุดการทดลองอื่น และใบกาแฟโรบัสต้าช่วงระยะที่ 4-5 ของโคลนชุมพร 2 มีปริมาณแทนนิน 15.36 มิลลิกรัมสมมูลของกรดแทนนิกต่อกรัมของสารสกัดแห้ง ซึ่งมีปริมาณน้อยที่สุดเมื่อเทียบชุดการทดลองอื่น (ตารางที่ 8)

ตารางที่ 7 ปริมาณสารต้านอนุมูลอิสระและสารประกอบฟีนอลิกภายในใบกาแฟโรบัสต้าโคลนชุมพร 2 และโคลนควนโดนตามช่วงระยะพัฒนาการของใบ

Clones	Antioxidant activity content (mg Fe (II) equivalent/ g extract)			Mean[1]	Phenolic compound content (mg gallic acid equivalent/ g extract)			Mean[1]
	S1-S2	**S3**	**S4-S5**		**S1-S2**	**S3**	**S4-S5**	
Chumphon 2	38.73b	35.04c	22.14e	31.97 ns	29.01 ns	25.68	18.76	24.48 ns
Khuan Don	41.16a	33.18c	29.14d	34.49	27.45	22.43	16.50	22.12
Mean[2]	39.94A	34.11B	25.64C		28.23A	24.05B	17.63C	
A		ns				ns		
B		**				**		
A x B		**				ns		
C.V. (%)		10.87				2.96		

[1] ค่าเฉลี่ยของใบกาแฟโรบัสต้าโคลนชุมพร 2 และโคลนควนโดน (A)

[2] ค่าเฉลี่ยของระยะพัฒนาการของใบกาแฟโรบัสต้า (B)

ระยะที่ 1-2 (S1-S2) ใบมีอายุ 1-8 วัน ระยะที่ 3 (S3) ใบมีอายุ 9-14 วัน และระยะที่ 4-5 (S4-S5) ใบมีอายุ 15-27 วัน

ค่าเฉลี่ยที่กำกับด้วยตัวอักษรพิมพ์ใหญ่และพิมพ์เล็กต่างกันในแต่ละแถวและสดมภ์มีความแตกต่างทางสถิติอย่างมีนัยสำคัญ จากการเปรียบเทียบโดยวิธี DMRT ที่ระดับ $P \leq 0.01$

ns ไม่มีความแตกต่างทางสถิติ

** มีความแตกต่างทางสถิติอย่างมีนัยสำคัญยิ่งที่ระดับ $P \leq 0.01$

ตารางที่ 8 ปริมาณฟลาโวนอยด์และแทนนินภายในใบกาแฟโรบัสต้าโคลนชุมพร 2 และโคลนควนโดนตามช่วงระยะพัฒนาการของใบ

Clones	Flavoniod content (mg catechin equivalent/ g extract)			Mean[1]	Tannin content (mg tannic acid equivalent/ g extract)			Mean[1]
	S1-S2	S3	S4-S5		S1-S2	S3	S4-S5	
Chumphon 2	20.09a	17.26b	14.46c	17.27^ns	27.43a	25.01ab	15.36d	22.60^ns
Khuan Don	17.46b	17.18b	16.84bc	17.16	23.48b	19.88c	18.63c	20.66
Mean[2]	18.77A	17.22AB	15.65B		25.46A	22.44A	17.00B	
A		ns				ns		
B		**				**		
A x B		**				**		
C.V. (%)		11.85				17.16		

[1] ค่าเฉลี่ยของใบกาแฟโรบัสต้าโคลนชุมพร 2 และโคลนควนโดน (A)

[2] ค่าเฉลี่ยของระยะพัฒนาการของใบกาแฟโรบัสต้า (B)

ระยะที่ 1-2 (S1-S2) ใบมีอายุ 1-8 วัน ระยะที่ 3 (S3) ใบมีอายุ 9-14 วัน และระยะที่ 4-5 (S4-S5) ใบมีอายุ 15-27 วัน

ค่าเฉลี่ยที่กำกับด้วยตัวอักษรพิมพ์ใหญ่และพิมพ์เล็กต่างกันในแต่ละแถวและสดมภ์มีความแตกต่างทางสถิติอย่างมีนัยสำคัญ จากการเปรียบเทียบโดยวิธี DMRT ที่ระดับ $P \leq 0.01$

ns ไม่มีความแตกต่างทางสถิติ

** มีความแตกต่างทางสถิติอย่างมีนัยสำคัญยิ่งที่ระดับ $P \leq 0.01$

4. ผลิตภัณฑ์ชาใบกาแฟโรบัสต้า

4.1 การทดสอบคุณภาพสีของน้ำชาใบกาแฟโรบัสต้า

การทดสอบคุณภาพสี (ค่า a*) ผลิตภัณฑ์ชาใบกาแฟโรบัสต้าของระยะเวลาการเก็บรักษาชา 1 6 และ 12 เดือน ในระยะเวลาการชงชา 5 10 และ 15 นาที พบว่า ระยะเวลาการเก็บรักษาชาทุกทรีตเมนต์มีค่า a* เฉลี่ยแตกต่างกันทางสถิติอย่างมีนัยสำคัญยิ่ง โดยระยะเวลาการเก็บรักษาชา 1 เดือน มีค่า a* เฉลี่ย เท่ากับ -0.30 ซึ่งมีค่ามากที่สุดและมีความแตกต่างกันทางสถิติอย่างมีนัยสำคัญยิ่งกับระยะเวลาการเก็บรักษาชา 6 และ 12 เดือน ที่มีค่าเท่ากับ -2.11 และ -2.96 ตามลำดับ เช่นเดียวกับ ระยะเวลาการชงชาทุกทรีตเมนต์มีค่า a* เฉลี่ยแตกต่างกันทางสถิติอย่างมีนัยสำคัญยิ่ง โดยระยะเวลาการการชงชา 5 นาที มีค่า a* เฉลี่ย เท่ากับ -1.66 ซึ่งมีค่ามากที่สุดและมีความแตกต่างกันทางสถิติอย่างมีนัยสำคัญยิ่งกับระยะเวลาการชงชา 10 และ 15 นาที ที่มีค่าเท่ากับ -1.77 และ -1.94 ตามลำดับ ขณะที่ ปฏิสัมพันธ์ระหว่างระยะเวลาการเก็บรักษาชาและระยะเวลาการชงชามีค่า a* เฉลี่ยแตกต่างกันทางสถิติอย่างมีนัยสำคัญยิ่ง โดยการเก็บรักษาชา 1 เดือน ที่มีการชงชา 5 นาที มีค่า a* เฉลี่ยเท่ากับ 0.02 ซึ่งมีค่ามากที่สุดและไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติกับการเก็บรักษาชา 1 เดือน ที่มีการชงชา 15 นาที ซึ่งมีค่า a* เฉลี่ยเท่ากับ -0.10 นอกจากนี้ ระยะเวลาการเก็บรักษาชา 12 เดือน ที่มีการชงชา 10 และ 12 นาที มีค่า a* เฉลี่ยเท่ากับ -3.07 ซึ่งมีค่าน้อยที่สุดเมื่อเทียบชุดการทดลองอื่น (ตารางที่ 9)

การทดสอบคุณภาพสี (ค่า b*) ผลิตภัณฑ์ชาใบกาแฟโรบัสต้าของระยะเวลาการเก็บรักษาชา 1 6 และ 12 เดือน ในระยะเวลาการชงชา 5 10 และ 15 นาที พบว่า ระยะเวลาการเก็บรักษาชาทุกทรีตเมนต์มีค่า b* เฉลี่ยแตกต่างกันทางสถิติอย่างมีนัยสำคัญยิ่ง โดยระยะเวลาการเก็บรักษาชา 1 เดือน มีค่า b* เฉลี่ย เท่ากับ 10.24 ซึ่งมีค่ามากที่สุดและมีความแตกต่างกันทางสถิติอย่างมีนัยสำคัญยิ่งกับระยะเวลาการเก็บรักษาชา 6 และ 12 เดือน ที่มีค่าเท่ากับ 8.35 และ 6.00 ตามลำดับ เช่นเดียวกับ ระยะเวลาการชงชาทุกทรีตเมนต์มีค่า b* เฉลี่ยแตกต่างกันทางสถิติอย่างมีนัยสำคัญยิ่ง โดยระยะเวลาการการชงชา 15 นาที มีค่า b* เฉลี่ย เท่ากับ 9.25 ซึ่งมีค่ามากที่สุดและมีความแตกต่างกันทางสถิติอย่างมีนัยสำคัญยิ่งกับระยะเวลาการชงชา 5 และ 10 นาที ที่มีค่าเท่ากับ 7.19 และ 8.14 ตามลำดับ ขณะที่ ปฏิสัมพันธ์ระหว่างระยะเวลาการเก็บรักษาชาและระยะเวลาการชงชามีค่า b* เฉลี่ยแตกต่างกันทางสถิติอย่างมีนัยสำคัญยิ่ง โดยการเก็บรักษาชา 1 เดือน ที่มีการชงชา 15 นาที มีค่า b* เฉลี่ยเท่ากับ 11.84 ซึ่งมีค่ามากที่สุดและมีความแตกต่างกันทางสถิติอย่างมีนัยสำคัญยิ่งกับการเก็บรักษาชา 12 เดือน ที่มีการชงชา 5 นาที มีค่า b* เฉลี่ยเท่ากับ 4.32 ซึ่งมีค่าน้อยที่สุดเมื่อเทียบชุดการทดลองอื่น (ตารางที่ 9)

การทดสอบคุณภาพความสว่าง (ค่า L*) ของผลิตภัณฑ์ชาใบกาแฟโรบัสต้าในระยะเวลาการเก็บรักษาชา 1 6 และ 12 เดือน ที่ใช้ระยะเวลาการชงชา 5 10 และ 15 นาที พบว่าระยะเวลาการเก็บรักษาชาทุกทรีตเมนต์มีค่า L* เฉลี่ยแตกต่างกันทางสถิติอย่างมีนัยสำคัญยิ่ง โดยระยะเวลาการเก็บรักษาชา 12 เดือน มีค่า L* เฉลี่ย เท่ากับ 26.31 ซึ่งมีค่ามากที่สุดและมีความแตกต่างกันทางสถิติอย่างมีนัยสำคัญยิ่งกับระยะเวลาการเก็บรักษาชา 1 และ 6 เดือน ที่มีค่าเท่ากับ 23.63 และ 24.38 ตามลำดับ เช่นเดียวกับ ระยะเวลาการชงชาทุกทรีตเมนต์มีค่า L* เฉลี่ยแตกต่างกันทางสถิติอย่างมีนัยสำคัญยิ่ง โดยระยะเวลาการการชงชา 5 นาที มีค่า L* เฉลี่ย เท่ากับ 26.30 ซึ่งมีค่ามากที่สุดและมีความแตกต่างกันทางสถิติอย่างมีนัยสำคัญยิ่งกับระยะเวลาการชงชา 10 และ 15 นาที ที่มีค่าเท่ากับ 24.27 และ 23.76 ตามลำดับ ขณะที่ ปฏิสัมพันธ์ระหว่างระยะเวลาการเก็บรักษาชาและระยะเวลาการชงชามีค่า L* เฉลี่ยแตกต่างกันทางสถิติอย่างมีนัยสำคัญยิ่ง โดยการเก็บรักษาชา 12 เดือน ที่มีการชงชา 5 นาที มีค่า L* เฉลี่ยเท่ากับ 27.55 ซึ่งมีค่ามากที่สุดและมีความแตกต่างกันทางสถิติอย่างมีนัยสำคัญยิ่งกับการเก็บรักษาชา 6 เดือน ที่มีการชงชา 15 นาที มีค่า L* เฉลี่ยเท่ากับ 21.91 ซึ่งมีค่าน้อยที่สุดเมื่อเทียบชุดการทดลองอื่น (ตารางที่ 9)

ตารางที่ 9 การทดสอบคุณภาพสีของน้ำชาใบกาแฟโรบัสต้า (a* b* และ L*) จากการเก็บรักษาชา 1 6 และ 12 เดือน และระยะเวลาในการชงชา 5 10 และ 15 นาที

Shelf life	Time (minutes)[a*]			Mean[(1)]	Time (minutes)[b*]			Mean[(1)]	Time (minutes)[L*]			Mean[(1)]
(months)	5	10	15		5	10	15		5	10	15	
1 (control)	0.02a	(-0.82)b	(-0.10)a	(-0.30)A	10.30b	8.58d	11.84a	10.24A	25.27b	22.05d	23.58c	23.63C
6	(-2.26)d	(-1.93)c	(-2.13)d	(-2.11)B	6.95ef	9.20c	8.90cd	8.35B	26.08b	25.14b	21.91d	24.38B
12	(-2.72)e	(-3.07)f	(-3.07)f	(-2.96)C	4.32g	6.65f	7.03e	6.00C	27.55a	25.61b	25.78b	26.31A
Mean[(2)]	(-1.66)A	(-1.77)B	(-1.94)C		7.19C	8.14B	9.25A		26.30A	24.27B	23.76B	
A		**				**				**		
B		**				**				**		
A x B		**				**				**		
C.V. (%)		4.51				2.42				2.28		

(1) ค่าเฉลี่ยของระยะเวลาการเก็บรักษาผลิตภัณฑ์ชาใบกาแฟโรบัสต้า (A)

(2) ค่าเฉลี่ยของระยะเวลาการชงผลิตภัณฑ์ชาใบกาแฟโรบัสต้า (B)

a* ค่าเฉลี่ยของค่า a* เมื่อค่า a* เป็นบวก มีความเป็นสีแดง ค่า a* เป็นลบ มีความเป็นสีเขียว

b* ค่าเฉลี่ยของค่า b* เมื่อค่า b* เป็นบวก มีความเป็นสีเหลือง ค่า b* เป็นลบ มีความเป็นสีน้ำเงิน

L* ค่าเฉลี่ยของค่า L* เมื่อค่า L* มาก มีความสว่างของสีมาก ค่า L* น้อย มีความสว่างของสีน้อย

ค่าเฉลี่ยที่กำกับด้วยตัวอักษรพิมพ์ใหญ่และพิมพ์เล็กต่างกันในแต่ละแถวและสดมภ์มีความแตกต่างทางสถิติอย่างมีนัยสำคัญ จากการเปรียบเทียบโดยวิธี DMRT ที่ระดับ $P \leq 0.01$

** มีความแตกต่างทางสถิติอย่างมีนัยสำคัญยิ่งที่ระดับ $P \leq 0.01$

4.2 การประเมินความพึงพอใจของผู้บริโภคต่อระยะการเก็บรักษาชาใบกาแฟโรบัสต้า

ส่วนที่ 1 ข้อมูลทั่วไปของผู้ตอบแบบสอบถาม ในระยะเวลาการเก็บรักษาชา 1 เดือน ผู้ตอบแบบสอบถามส่วนใหญ่เป็นเพศชาย คิดเป็น 58 เปอร์เซ็นต์ รองลงมาเป็นเพศหญิง 42 เปอร์เซ็นต์ มีอายุระหว่าง 21-30 ปี คิดเป็น 41 เปอร์เซ็นต์ รองลงมามีอายุระหว่าง 31-40 ปี คิดเป็น 36 เปอร์เซ็นต์ ส่วนระยะเวลาการเก็บรักษาชา 6 เดือน ผู้ตอบแบบสอบถามเป็นเพศหญิง คิดเป็น 51 เปอร์เซ็นต์ รองลงมาเป็นเพศชาย 49 เปอร์เซ็นต์ มีอายุระหว่าง 21-30 ปี คิดเป็น 41 เปอร์เซ็นต์ รองลงมามีอายุระหว่าง 31-40 ปี คิดเป็น 29 เปอร์เซ็นต์ และระยะเวลาการเก็บรักษาชา 12 เดือน ผู้ตอบแบบสอบถามส่วนใหญ่เป็นเพศชาย คิดเป็น 53 เปอร์เซ็นต์ รองลงมาเป็นเพศหญิง 47 เปอร์เซ็นต์ มีอายุระหว่าง 21-30 ปี คิดเป็น 36 เปอร์เซ็นต์ รองลงมามีอายุระหว่าง 31-40 ปี คิดเป็น 31 เปอร์เซ็นต์ (ตารางที่ 10)

ส่วนที่ 2 ข้อมูลพฤติกรรมการบริโภคชา การศึกษาพฤติกรรมการบริโภคชาของผู้ตอบแบบสอบถามจะเน้นเรื่องความถี่ในการดื่มชาทั่วไป เนื่องจากเป็นหัวข้อที่มีผลต่อการบริโภคผลิตภัณฑ์ชาและการจำหน่ายผลิตภัณฑ์ชา พบว่า ในระยะเวลาการเก็บรักษาชา 1 เดือน มีผู้บริโภคที่ดื่มชา 1-3 ครั้งต่อสัปดาห์ คิดเป็น 58 เปอร์เซ็นต์ รองลงมาผู้บริโภคที่ดื่มชา 4-7 ครั้งต่อสัปดาห์ คิดเป็น 28 เปอร์เซ็นต์ ส่วนระยะเวลาการเก็บรักษาชา 6 เดือน มีผู้บริโภคที่ดื่มชา 1-3 ครั้งต่อสัปดาห์ คิดเป็น 65 เปอร์เซ็นต์ รองลงมาผู้บริโภคที่ดื่มชา 4-7 ครั้งต่อสัปดาห์ คิดเป็น 32 เปอร์เซ็นต์ และระยะเวลาการเก็บรักษาชา 12 เดือน มีผู้บริโภคที่ดื่มชา 1-3 ครั้งต่อสัปดาห์ คิดเป็น 61 เปอร์เซ็นต์ รองลงมาผู้บริโภคที่ดื่มชา 4-7 ครั้งต่อสัปดาห์ คิดเป็น 27 เปอร์เซ็นต์ (ตารางที่ 10)

ตารางที่ 10 ข้อมูลทั่วไปและพฤติกรรมในการบริโภคชาของผู้บริโภคทั่วไปและระยะเวลาการเก็บรักษาผลิตภัณฑ์ชาใบกาแฟโรบัสต้า

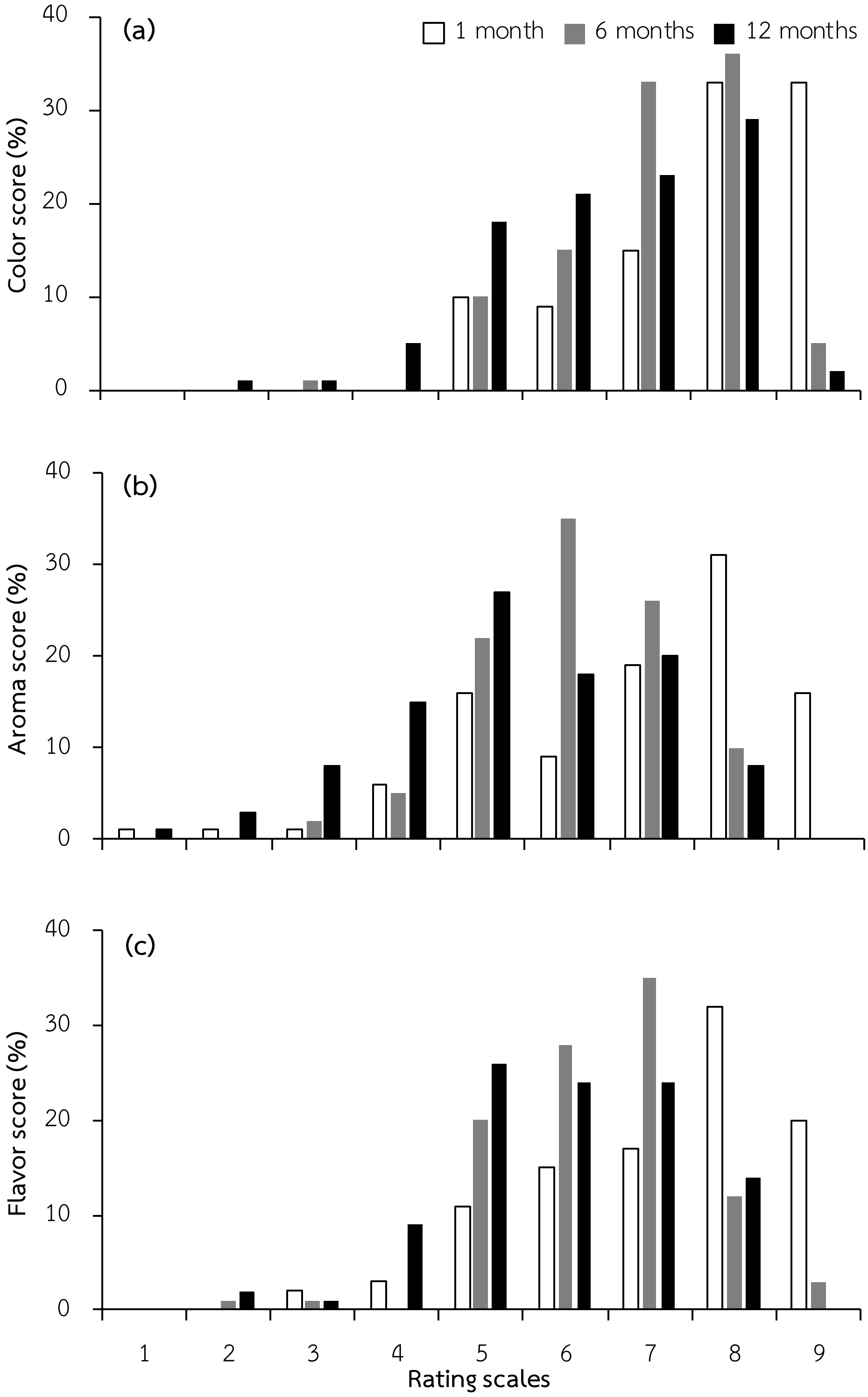
Attributes		**Shelf life (months)**		
		1 (control)	**6**	**12**
Sex (%)	Male	58	49	53
	Female	42	51	47
Age (%)	< 21 years old	3	10	4
	21-30 years old	41	41	36
	31-40 years old	36	29	31
	41-50 years old	13	14	15
	51-60 years old	4	5	9
	> 60 years old	3	1	5
Frequency of tea consumption (%)	1-3 times/week	58	65	61
	4-7 times/week	28	32	27
	> 7 times/week	14	3	12

ส่วนที่ 3 ข้อมูลการทดสอบชาทางด้านประสาทสัมผัส ความพึงพอใจของผู้บริโภคที่มีต่อผลิตภัณฑ์ชาใบกาแฟโรบัสต้าในด้านประสาทสัมผัส (เชิงคุณภาพ) จำนวน 100 คนต่อระยะเวลาการเก็บรักษาชาใบกาแฟโรบัสต้า ทั้งภายในและภายนอกบริเวณมหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ วิทยาเขตหาดใหญ่ พบว่า ผู้บริโภคมีความพึงพอใจในผลิตภัณฑ์ชาใบกาแฟโรบัสต้าที่ใช้ระยะเวลาการเก็บรักษา 1 6 และ 12 เดือน ตามลำดับ โดยระยะเวลาการเก็บรักษาชา 1 เดือน ผู้บริโภคให้ 9 คะแนนในเรื่องสีของชา คิดเป็น 33 เปอร์เซ็นต์ และค่ามากที่สุดเมื่อเทียบกับประสาทสัมผัสอื่น (ภาพที่ 8a) รองลงมาผู้บริโภคให้ 9 คะแนนในเรื่องความรู้สึกหลังกลืน ความชอบโดยรวม รสชาติ และกลิ่นหอมของชา คิดเป็น 28 25 20 และ 16 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ (ภาพที่ 8 b-e)

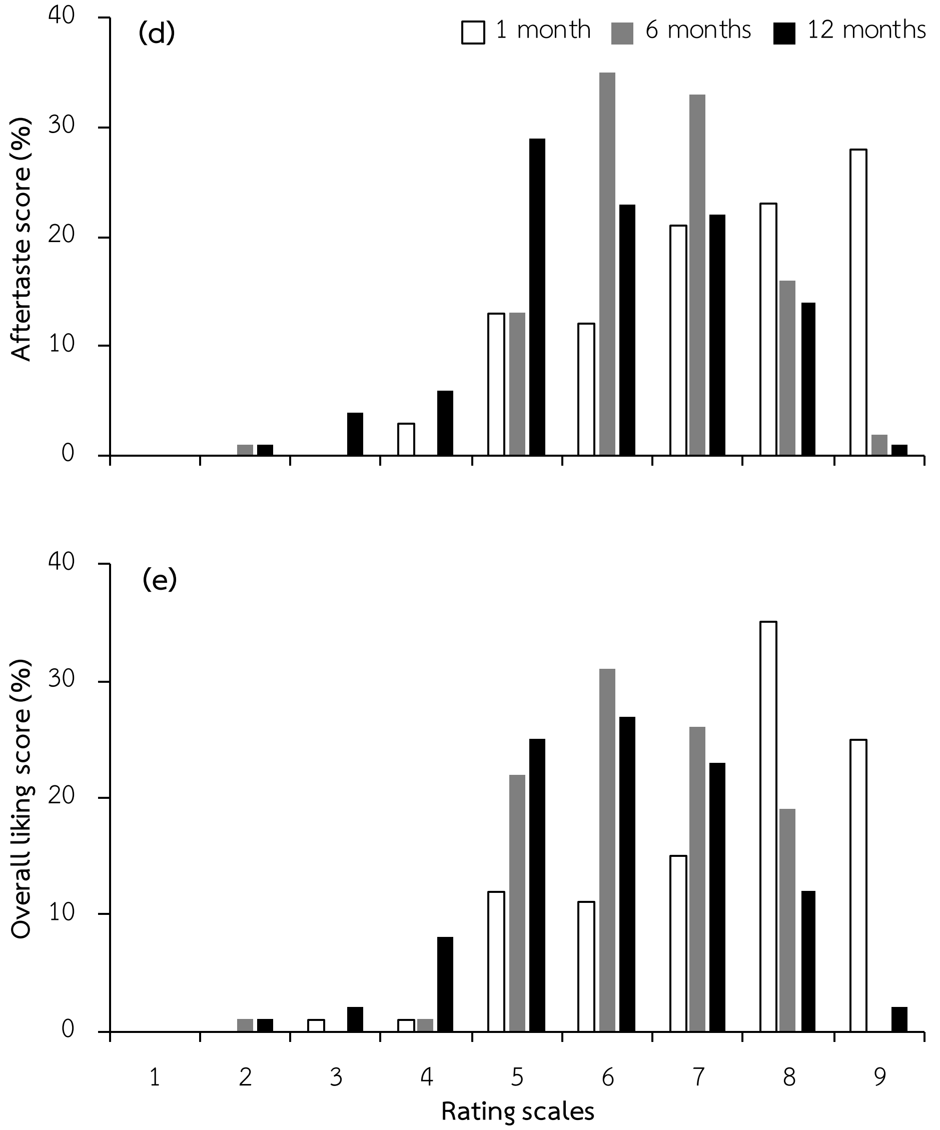
ระยะเวลาการเก็บรักษาชา 6 เดือน ผู้บริโภคให้ 9 คะแนนในเรื่องสีของชา คิดเป็น 5 เปอร์เซ็นต์ และค่ามากที่สุดเมื่อเทียบกับประสาทสัมผัสอื่น (ภาพที่ 8a) รองลงมาผู้บริโภคให้ 9 คะแนนในเรื่องรสชาติและความรู้สึกหลังกลืนชา คิดเป็น 3 และ 2 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ (ภาพที่ 8c และ 8d) ขณะที่ ผู้บริโภคให้ 8 คะแนนในเรื่องความชอบโดยรวมและกลิ่นหอมของชา คิดเป็น 19 และ 10 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ (ภาพที่ 8b และ 8e)

นอกจากนี้ ระยะเวลาการเก็บรักษาชา 12 เดือน ผู้บริโภคให้ 9 คะแนนในเรื่องสีและความชอบโดยรวมของชา คิดเป็น 2 และ 2 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ และทั้งสองมีค่ามากที่สุดเมื่อเทียบกับประสาทสัมผัสอื่น (ภาพที่ 8a และ 8e) รองลงมาผู้บริโภคให้ 9 คะแนนในเรื่องความรู้สึกหลังกลืนชา คิดเป็น 1 เปอร์เซ็นต์ (ภาพที่ 8d) ขณะที่ ผู้บริโภคให้ 8 คะแนนในเรื่องรสชาติและกลิ่นหอมของชา คิดเป็น 14 และ 8 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ (ภาพที่ 8b และ 8c)

ดังนั้น ผู้บริโภคมีความพึงพอใจต่อผลิตภัณฑ์ชาใบกาแฟโรบัสต้าในระยะเวลาการเก็บรักษาชา 1 เดือน มากที่สุด ขณะที่ ผู้บริโภคมีความพึงพอใจต่อผลิตภัณฑ์ชาใบกาแฟโรบัสต้าในระยะเวลาการเก็บรักษาชา 12 เดือน น้อยที่สุด และผู้บริโภคมีความพึงพอใจต่อผลิตภัณฑ์ชาใบกาแฟโรบัสต้าในเรื่องสีของชามากที่สุด ขณะที่ ผู้บริโภคมีความพึงพอใจต่อผลิตภัณฑ์ชาใบกาแฟโรบัสต้าในเรื่องกลิ่นหอมของชาน้อยที่สุด



ภาพที่ 8 เปอร์เซ็นต์การให้คะแนนสีของชา (a) กลิ่นหอมของชา (b) และรสชาติของชา (c) ของผู้บริโภคต่อระยะเวลาการเก็บรักษาชาใบกาแฟโรบัสต้า โดยที่ 1 คะแนน ไม่ชอบมากอย่างยิ่ง 5 คะแนน ชอบปานกลาง และ 9 คะแนน ชอบมากอย่างยิ่ง



ภาพที่ 8 (ต่อ) เปอร์เซ็นต์การให้คะแนนความรู้สึกหลังกลืนชา (d) และความชอบโดยรวม (e) ของผู้บริโภคต่อระยะเวลาการเก็บรักษาชาใบกาแฟโรบัสต้า โดยที่ 1 คะแนน ไม่ชอบมากอย่างยิ่ง 5 คะแนน ชอบปานกลาง และ 9 คะแนน ชอบมากอย่างยิ่ง

จากการตอบแบบสอบถามความพึงพอใจด้านประสาทสัมผัสของผู้บริโภคต่อระยะเวลาการเก็บรักษาผลิตภัณฑ์ชาใบกาแฟโรบัสต้า พบว่า ผู้บริโภคมีความพึงพอใจในเรื่องสีของผลิตภัณฑ์ชาใบกาแฟโรบัสต้าที่ระยะเวลาการเก็บรักษา 1 เดือน คะแนนเฉลี่ย 7.70 คะแนน ซึ่งมีค่ามากที่สุดและมีความแตกต่างกันทางสถิติอย่างมีนัยสำคัญยิ่งกับระยะเวลาการเก็บรักษา 6 และ 12 เดือน ที่มีคะแนนเฉลี่ย 7.07 และ 6.52 คะแนน ตามลำดับ (ตารางที่ 11)

ผู้บริโภคมีความพึงพอใจในเรื่องกลิ่นหอมของผลิตภัณฑ์ชาใบกาแฟโรบัสต้าที่ระยะเวลาการเก็บรักษา 1 เดือน คะแนนเฉลี่ย 6.89 คะแนน ซึ่งมีค่ามากที่สุดและมีความแตกต่างกันทางสถิติอย่างมีนัยสำคัญยิ่งกับระยะเวลาการเก็บรักษา 6 และ 12 เดือน ที่มีคะแนนเฉลี่ย 6.08 และ 5.38 คะแนน ตามลำดับ (ตารางที่ 11)

ผู้บริโภคมีความพึงพอใจในเรื่องรสชาติของผลิตภัณฑ์ชาใบกาแฟโรบัสต้าที่ระยะเวลาการเก็บรักษา 1 เดือน คะแนนเฉลี่ย 7.18 คะแนน ซึ่งมีค่ามากที่สุดและมีความแตกต่างกันทางสถิติอย่างมีนัยสำคัญยิ่งกับระยะเวลาการเก็บรักษา 6 และ 12 เดือน ที่มีคะแนนเฉลี่ย 6.41 และ 5.97 คะแนน ตามลำดับ ขณะที่ ระยะเวลาการเก็บรักษาผลิตภัณฑ์ชาใบกาแฟโรบัสต้า 6 และ 12 เดือน ไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ (ตารางที่ 11)

ผู้บริโภคมีความพึงพอใจในเรื่องความรู้สึกหลังกลืนของผลิตภัณฑ์ชาใบกาแฟโรบัสต้าที่ระยะเวลาการเก็บรักษา 1 เดือน คะแนนเฉลี่ย 7.32 คะแนน ซึ่งมีค่ามากที่สุดและมีความแตกต่างกันทางสถิติอย่างมีนัยสำคัญยิ่งกับระยะเวลาการเก็บรักษา 6 และ 12 เดือน ที่มีคะแนนเฉลี่ย 6.54 และ 5.96 คะแนน ตามลำดับ (ตารางที่ 11)

นอกจากนี้ ผู้บริโภคมีความพึงพอใจในเรื่องความชอบโดยรวมของผลิตภัณฑ์ชาใบกาแฟโรบัสต้าที่ระยะเวลาการเก็บรักษา 1 เดือน คะแนนเฉลี่ย 7.43 คะแนน ซึ่งมีค่ามากที่สุดและมีความแตกต่างกันทางสถิติอย่างมีนัยสำคัญยิ่งกับระยะเวลาการเก็บรักษา 6 และ 12 เดือน ที่มีคะแนนเฉลี่ย 6.36 และ 6.02 คะแนน ตามลำดับ ขณะที่ ระยะเวลาการเก็บรักษาผลิตภัณฑ์ชาใบกาแฟโรบัสต้า 6 และ 12 เดือน ไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ (ตารางที่ 11)

ตารางที่ 11 คุณภาพทางด้านประสาทสัมผัสต่อระยะเวลาการเก็บรักษาผลิตภัณฑ์ชาใบกาแฟโรบัสต้า

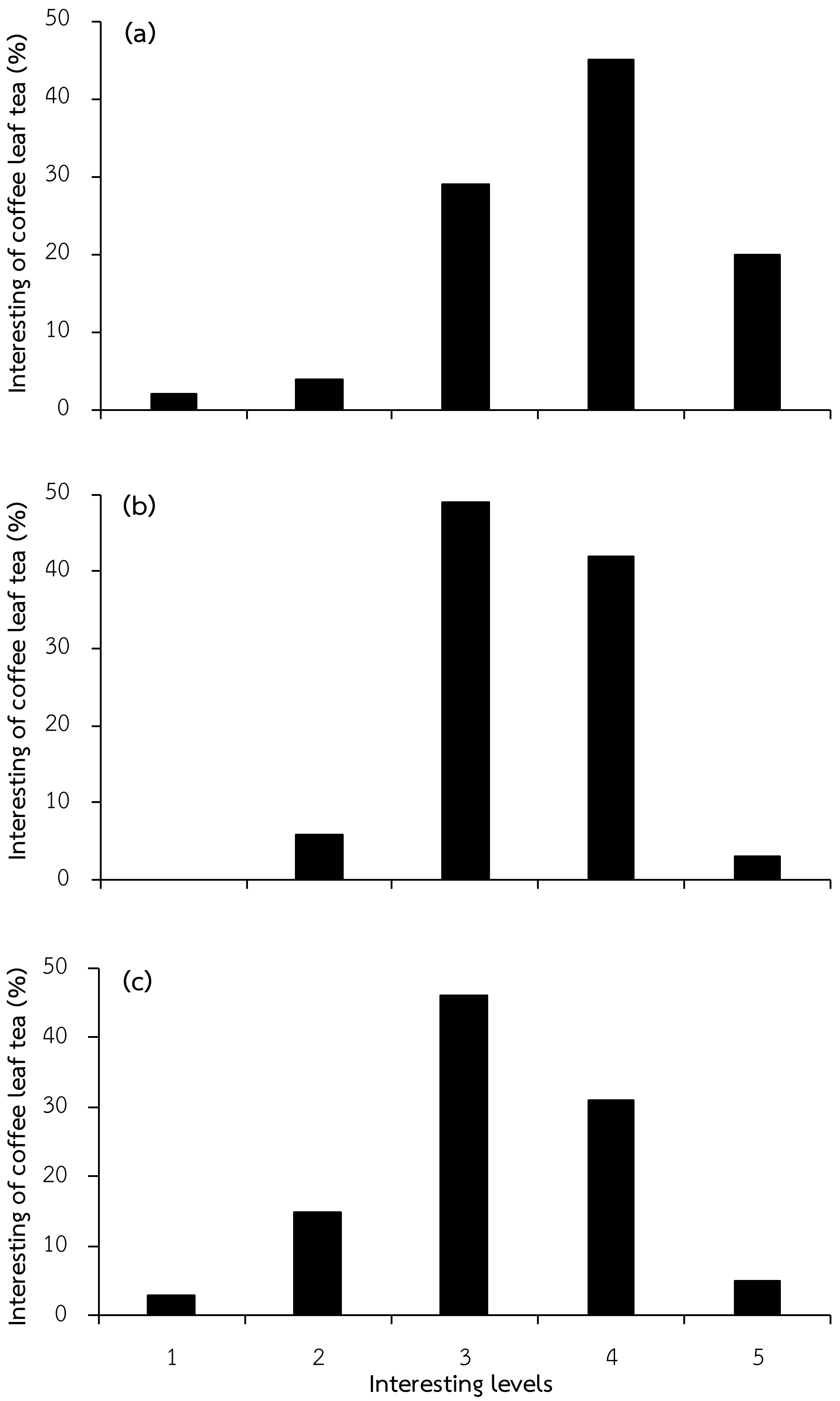
Shelf life (months)	Color (point)	Aroma (point)	Flavor (point)	Aftertaste (point)	Overall liking (point)
1	7.70 ± 1.29a	6.89 ± 1.73a	7.18 ± 1.51a	7.32 ± 1.48a	7.43 ± 1.42a
6	7.07 ± 1.13b	6.08 ± 1.13b	6.41 ± 1.18b	6.54 ± 1.08b	6.36 ± 1.15b
12	6.52 ± 1.40c	5.38 ± 1.58c	5.97 ± 1.36b	5.96 ± 1.39c	6.02 ± 1.35b
F-test	**	**	**	**	**
C.V. (%)	18.00	24.53	20.83	20.07	19.87

ค่าเฉลี่ย ± ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน (SD)

ค่าเฉลี่ยที่กำกับด้วยตัวอักษรต่างกันในแต่ละสดมภ์มีความแตกต่างทางสถิติอย่างมีนัยสำคัญ จากการเปรียบเทียบโดยวิธี DMRT ที่ระดับ P≤0.01

** มีความแตกต่างทางสถิติอย่างมีนัยสำคัญยิ่งที่ระดับ P≤0.01

ส่วนที่ 4 ข้อมูลความน่าสนใจของผลิตภัณฑ์ชาใบกาแฟโรบัสต้า ความน่าสนใจของผู้บริโภคที่มีต่อผลิตภัณฑ์ชาใบกาแฟโรบัสต้า จำนวน 100 คนต่อระยะเวลาการเก็บรักษาผลิตภัณฑ์ชาใบกาแฟโรบัสต้าทั้งภายในและภายนอกบริเวณมหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ วิทยาเขตหาดใหญ่ พบว่า ผู้บริโภคมีความสนใจในผลิตภัณฑ์ชาใบกาแฟโรบัสต้าที่ใช้ระยะเวลาการเก็บรักษา 1 6 และ 12 เดือน ตามลำดับ โดยระยะเวลาการเก็บรักษาชา 1 เดือน ผู้บริโภคมีความสนใจในผลิตภัณฑ์ชาใบกาแฟโรบัสต้ามากที่สุด คิดเป็น 45 เปอร์เซ็นต์ และสนใจมากกว่าระยะเวลาการเก็บรักษาอื่น รองลงมาผู้บริโภคมีความสนใจในผลิตภัณฑ์ชาใบกาแฟโรบัสต้าปานกลาง มาก น้อย และน้อยที่สุด คิดเป็น 29 20 4 และ 2 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ (ภาพที่ 9a) ส่วนระยะเวลาการเก็บรักษาชา 6 เดือน ผู้บริโภคมีความสนใจในผลิตภัณฑ์ชาใบกาแฟโรบัสต้าปานกลาง คิดเป็น 49 เปอร์เซ็นต์ และสนใจมากกว่าระยะเวลาการเก็บรักษาอื่น รองลงมาผู้บริโภคมีความสนใจในผลิตภัณฑ์ชาใบกาแฟโรบัสต้ามาก น้อย มากที่สุด และน้อยที่สุด คิดเป็น 42 6 3 และ 0 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ (ภาพที่ 9b) และระยะเวลาการเก็บรักษาชา 12 เดือน ผู้บริโภคมีความสนใจในผลิตภัณฑ์ชาใบกาแฟโรบัสต้าปานกลาง คิดเป็น 46 เปอร์เซ็นต์ และสนใจน้อยกว่าระยะเวลาการเก็บรักษา 6 เดือน รองลงมาผู้บริโภคมีความสนใจในผลิตภัณฑ์ชาใบกาแฟโรบัสต้ามาก น้อย มากที่สุด และน้อยที่สุด คิดเป็น 31 15 5 และ 3 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ ดังนั้น ผู้บริโภคจึงมีความสนใจในผลิตภัณฑ์ชาใบกาแฟโรบัสต้าที่ระยะเวลาการเก็บรักษาชา 1 เดือน มากที่สุด ขณะที่ ผู้บริโภคมีความสนใจในผลิตภัณฑ์ชาใบกาแฟโรบัสต้าที่ระยะเวลาการเก็บรักษาชา 12 เดือน น้อยที่สุด (ภาพที่ 9c)



ภาพที่ 9 ระยะเวลาการเก็บรักษาชา 1 เดือน (a) 6 เดือน (b) และ 12 เดือน (c) ต่อความน่าสนใจผลิตภัณฑ์ชาใบกาแฟโรบัสต้าของผู้บริโภค โดยที่ 1 ความน่าสนใจน้อยที่สุด 2 ความน่าสนใจน้อย 3 ความน่าสนใจปานกลาง 4 ความน่าสนใจมาก และ 5 ความน่าสนใจมากที่สุด

บทที่ 4

วิจารณ์

1. การประเมินพัฒนาการและความสมบูรณ์ของใบกาแฟโรบัสต้า

วิธีการประเมินพื้นที่ใบกาแฟโรบัสต้าจากความสัมพันธ์ระหว่างพื้นที่ใบที่วัดด้วยเครื่องวัดพื้นที่ใบกับเวอร์เนียร์คาร์ลิปเปอร์ให้ค่า r^2 สูง (> 0.90) และมีความแตกต่างกันทางสถิติอย่างมีนัยสำคัญยิ่ง แสดงว่า การวัดพื้นที่ใบด้วยเวอร์เนียร์คาร์ลิปเปอร์สามารถใช้แทนการวัดพื้นที่ใบด้วยเครื่องวัดพื้นที่ใบและสามารถประเมินพื้นที่ใบที่วัดด้วยเวอร์เนียร์คาร์ลิปเปอร์ (ภาพที่ 3) โดยการวัดพื้นที่ใบด้วยเครื่องวัดพื้นที่ใบเป็นวิธีที่ไม่ทำลายใบพืช สะดวก รวดเร็ว และสามารถพกพาได้ (LI-COR Biosciences, 2018) เหมาะกับการวัดพื้นที่ใบภายในแปลง ทำให้สามารถติดตามการเปลี่ยนแปลงของพื้นที่ใบและการเจริญเติบโตได้อย่างต่อเนื่อง (สุรีรัตน์, 2548) แต่ข้อจำกัดของเครื่องวัดพื้นที่ใบ คือ ไม่สามารถวัดพื้นที่ใบที่มีน้อยกว่า 16 ตารางเซนติเมตร ทำให้ต้องใช้เวอร์เนียร์คาร์ลิปเปอร์วัดพื้นที่ใบที่ไม่สามารถวัดด้วยเครื่องวัดพื้นที่ใบได้ นอกจากนี้ เครื่องวัดพื้นใบมีราคาสูง หากมีการนำวิธีการนี้ไปใช้ในสภาพแปลงของเกษตรกรเพื่อวัดและประเมินพื้นที่ใบ การใช้เวอร์เนียร์คาร์ลิปเปอร์ในการวัดพื้นที่ใบจึงมีความเหมาะสมกว่า เนื่องจากเป็นวิธีที่สะดวกต่อการวัดและเก็บข้อมูล โดยแสดงค่าที่วัดได้บนจอแสดงผลทันทีที่วัดข้อมูล รวมทั้งอุปกรณ์มีราคาถูกที่เกษตรกรหาซื้อได้ ดังนั้น การวัดพื้นที่ใบด้วยเครื่องวัดพื้นที่ใบกับเวอร์เนียร์คาร์ลิปเปอร์ของใบกาแฟโรบัสต้าสามารถสร้างสมการเส้นตรง เพื่อนำค่าพื้นที่ใบที่วัดด้วยเวอร์เนียร์คาร์ลิปเปอร์ (กว้าง x ยาว) มาแปลงข้อมูลเป็นพื้นที่ใบจริง

การเจริญเติบโตทางด้านพื้นที่ใบดังกล่าวสามารถนำมาแบ่งระยะพัฒนาการของใบ ความเขียวใบ ช่วงสีของใบ (a* b* และ L*) และพื้นที่ใบตามอายุใบ แบ่งออกเป็น 5 ระยะ (ตารางที่ 1) โดยการแบ่งระยะพัฒนาการของใบตามอายุใบต้องสังเกตสีใบและความมันวาวของใบระหว่างเก็บรวบรวมข้อมูลพื้นที่ใบ เนื่องจากสีของใบและความมันวาวแต่ละอายุใบไม่เท่ากัน จึงทำการแบ่งช่วงอายุใบที่มีการพัฒนาการของพื้นที่ใบและสีใบใกล้เคียงกันมารวมเป็นกลุ่มเดียวกัน จากการสังเกตใบระยะที่ 1 และ 2 ใช้ระยะเวลาในการพัฒนาพื้นที่ใบ 4 วันต่อระยะ ซึ่งเร็วกว่าใบระยะที่ 3 และ 4 ใช้เวลา 6 วันต่อระยะ และระยะที่ 5 ใช้เวลานานที่สุด 7 วัน นอกจากนี้ พื้นที่ใบมีขนาดมากขึ้นตามการพัฒนาการของใบกาแฟโรบัสต้าที่เพิ่มขึ้น เช่นเดียวกับ ความเขียวใบที่มีการสร้างคลอโรฟิลล์มากขึ้นตามการพัฒนาการของใบเพิ่มขึ้น ในทางกลับกัน ช่วงค่า a* b* และ L* มีค่าลดลงตามการพัฒนาการของใบที่เพิ่มขึ้น เนื่องจากใบระยะที่ 1 เป็นใบอ่อนที่มีขนาดพื้นที่ใบน้อยกว่า 16 ตารางเซนติเมตร ทำ

ให้ใบระยะนี้มีปริมาณคลอโรฟิลล์น้อยและอาจมีปริมาณแคโรทีนอยด์หรือแซนโทฟิลล์ภายในใบมาก ส่งผลให้ใบระยะนี้มีสีเขียวอ่อน สีเขียวอมเหลือง หรือสีเขียวอมแดง ขณะที่ ระยะที่ 5 เป็นใบเพสลาด มีปริมาณคลอโรฟิลล์มากกว่าแคโรทีนอยด์หรือแซนโทฟิลล์ ทำให้ใบระยะนี้มีสีเขียวค่อนข้างเข้ม

2. ลักษณะทางสัณฐานวิทยาและสรีรวิทยาของใบกาแฟโรบัสต้าแต่ละระยะพัฒนาการใบ

2.1 พื้นที่ใบและน้ำหนักใบกาแฟโรบัสต้าแต่ละระยะพัฒนาการของใบ

ระยะพัฒนาการของใบเป็นปัจจัยหนึ่งที่ใช้ในการจำแนกการพัฒนาการใบ ซึ่งมีผลเกิดการเปลี่ยนแปลงลักษณะทางสัณฐานวิทยาและสรีรวิทยาของใบบางประการ (Bhakta and Ganjewala, 2009) ใบมีหน้าที่สำคัญต่อการสังเคราะห์แสง การผลิตและสะสมอาหาร การหายใจ และการคายน้ำจึงมีผลต่อการพัฒนาการของใบกาแฟ (Leonor *et al.*, 2014) ในการศึกษาครั้งนี้การพัฒนาการของพื้นที่ใบในแต่ละระยะพัฒนาการของใบกาแฟโรบัสต้าโคลนชุมพร 2 และควนโดน (ตารางที่ 2) พบว่า ปัจจัยด้านระยะพัฒนาการของใบและโคลนของใบกาแฟโรบัสต้ามีความแตกต่างกันทางสถิติอย่างมีนัยสำคัญยิ่ง ตลอดจนปฏิสัมพันธ์ระหว่างระยะพัฒนาการของใบกับโคลนของใบกาแฟโรบัสต้ามีความแตกต่างกันทางสถิติอย่างมีนัยสำคัญยิ่งเช่นกัน โดยใบระยะที่ 5 และโคลนควนโดนมีพื้นที่ใบมากที่สุด เช่นเดียวกับ ปฏิสัมพันธ์ระหว่างใบระยะที่ 5 ของโคลนควนโดนมีพื้นที่ใบมากที่สุด ซึ่งมีผลต่อการเปลี่ยนแปลงของน้ำหนักสดและน้ำหนักแห้งในแต่ละระยะพัฒนาการใบกาแฟโรบัสต้าเช่นกัน (ภาพที่ 4 และ 5) โดยใบระยะที่ 5 เป็นใบเพสลาดมีพื้นที่ใบมากที่สุดและมีความสัมพันธ์ระหว่างน้ำหนักสดและน้ำหนักแห้งอย่างมีนัยสำคัญยิ่ง ซึ่งให้ค่า r^2 สูง (> 0.90) ทำให้โครงสร้างภายในใบมีประสิทธิภาพการทำงานของกระบวนการสังเคราะห์แสง การหายใจ การคายน้ำ และการแลกเปลี่ยนก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์มากที่สุดเมื่อเทียบกับใบระยะอื่น ส่งผลให้ใบระยะนี้มีการพัฒนาและการเจริญเติบโตมากที่สุด และมีผลให้เกิดการสร้างพลังงานและการสะสมอาหารภายในใบระยะที่ 5 มีปริมาณมากที่สุด สอดคล้องกับ Campa และคณะ (2017) รายงานผลของระยะพัฒนาการของใบกาแฟอราบิก้าต่อลักษณะทางสรีรวิทยาของใบหลังความเข้มแสงเพิ่มขึ้น (Photosynthetically Active Radiation 300-500 ไมโครโมลโฟรตอนต่อตารางเมตรต่อวินาที) ว่า ใบเพสลาดของกาแฟอราบิก้ามีความเขียวใบ ประสิทธิภาพการดูดซับก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์สุทธิ ประสิทธิภาพการสังเคราะห์แสงสูงสุด และอัตราการเปิดปากใบมากที่สุดเมื่อเทียบกับใบระยะอื่น ขณะที่ ใบระยะที่ 1 เป็นใบอ่อนมีพื้นที่ใบน้อยที่สุดและมีความสัมพันธ์ระหว่างน้ำหนักสดและน้ำหนักแห้งอย่างมีนัยสำคัญยิ่ง ซึ่งให้ค่า r^2 ค่อนข้างสูง (> 0.70) รวมถึงโครงสร้างภายในใบมีประสิทธิภาพการทำงานของกระบวนการต่าง ๆ ภายในใบน้อยที่สุด และมีผลให้เกิดการสร้างพลังงานและการสะสมอาหารภายในใบน้อยที่สุด แต่ใบระยะที่ 1 จะเกิดการสังเคราะห์สารทุติยภูมิที่สำคัญบางชนิดมากที่สุดเมื่อเทียบกับ

ใบระยะอื่น (Senousy *et al.*, 2014) ตลอดจนใบระยะที่ 1 เกิดการพัฒนาการทางด้านการเจริญเติบโต การสร้างพลังงาน และการสะสมอาหารภายในใบน้อยที่สุด ส่งผลให้น้ำหนักสดและน้ำหนักแห้งของใบระยะนี้น้อยที่สุดเมื่อเทียบกับใบระยะอื่น ดังนั้น จากการศึกษาพื้นที่ใบและน้ำหนักของใบสามารถบอกถึงการเจริญเติบโตและระยะพัฒนาการของใบกาแฟโรบัสต้าเบื้องต้น

2.2 พื้นที่ใบจำเพาะและน้ำหนักใบจำเพาะแต่ละระยะพัฒนาการของใบกาแฟโรบัสต้า

พื้นที่ใบจำเพาะและน้ำหนักใบจำเพาะของใบกาแฟโรบัสต้า (ตารางที่ 3) พบว่า ใบระยะที่ 3 เป็นใบกึ่งอ่อนกึ่งเพสลาดจึงมีการพัฒนาการด้านพื้นที่ใบและน้ำหนักแห้งของใบจากใบระยะที่ 2 น้อย ส่งผลให้ใบระยะที่ 3 มีพื้นที่ใบจำเพาะมากที่สุด แต่มีน้ำหนักใบจำเพาะน้อยที่สุด ขณะที่ ใบระยะที่ 1 เป็นใบอ่อนจึงมีการพัฒนาการด้านพื้นที่ใบและน้ำหนักแห้งของใบน้อยที่สุด รวมถึงน้ำภายในใบระยะนี้มีปริมาณมาก (ภาพที่ 5) แต่เมื่อผ่านกระบวนการอบใบให้แห้ง น้ำภายในใบเกิดการสูญเสียออกจนหมด ส่งผลให้ใบระยะที่ 1 มีน้ำหนักแห้งของใบน้อยมากและมีน้ำหนักใบจำเพาะมากที่สุด ซึ่งสอดคล้องกับรายงานของ ณัฐวิทย์ (2561) ศึกษาเกี่ยวกับสภาพร่มเงาต่อการเจริญเติบโตและการตอบสนองทางสรีรวิทยาของต้นกาแฟโรบัสต้า พบว่า ในสภาพกลางแจ้งตำแหน่งใบคู่ที่ 5 (ใบแก่) มีพื้นที่ใบ น้ำหนักแห้งใบ และพื้นที่ใบจำเพาะมากที่สุดแต่ไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติกับใบคู่ที่ 3 (ใบเพสลาด) รวมถึงใบคู่ที่ 5 มีน้ำหนักใบจำเพาะมากที่สุดและมีความแตกต่างกันทางสถิติอย่างมีนัยสำคัญกับตำแหน่งใบคู่อื่น

2.3 คลอโรฟิลล์และแคโรทีนอยด์ในใบกาแฟโรบัสต้าแต่ละระยะพัฒนาการของใบ

ความเขียวใบที่ได้จากเครื่องวัดความเขียวใบเป็นเครื่องมือที่ใช้ประเมินความเข้มข้นของคลอโรฟิลล์ภายในใบพืชที่ไม่ทำลายตัวอย่าง สะดวก รวดเร็ว แม่นยำ (Schaper and Chacko, 1991) และแสดงค่าความเขียวใบทันทีส่งผลให้นักวิจัยและเกษตรกรสามารถตรวจสอบการเจริญเติบโตของพืชได้อย่างง่าย ปรับปรุงคุณภาพและผลผลิตของผลิตภัณฑ์ทางการเกษตรให้ดีขึ้น (บริษัท เซ็นเทเซีย จำกัด, 2560) จากการศึกษาปริมาณคลอโรฟิลล์ เอ คลอโรฟิลล์ บี คลอโรฟิลล์ทั้งหมด และแคโรทีนอยด์แต่ละระยะพัฒนาการของใบกาแฟโรบัสต้า โดยการแทนค่าความเขียวใบที่วัดได้ในสมการเส้นตรงตามรายงานของ ระวี และชนินทร์ (2558) จะได้ปริมาณคลอโรฟิลล์และแคโรทีนอยด์ในแต่ละระยะพัฒนาการของใบกาแฟโรบัสต้า (ตารางที่ 4) พบว่า ระยะที่ 1 มีปริมาณคลอโรฟิลล์ เอ คลอโรฟิลล์ บี คลอโรฟิลล์ทั้งหมด และแคโรทีนอยด์ต่ำที่สุดและมีความแตกต่างกันทางสถิติอย่างมีนัยสำคัญยิ่งกับใบระยะอื่น สอดคล้องกับ Urban และคณะ (2004) รายงานว่า ใบอ่อนของมะม่วง (*Mangifera indica* L.) มีปริมาณคลอโรฟิลล์และแคโรทีนอยด์ต่ำ ส่งผลให้ใบมีความสามารถในการสังเคราะห์แสงน้อยที่สุด ซึ่งมีผลต่อโดยตรงต่อการเจริญเติบโตและการตอบสนอง

ต่อปัจจัยด้านสภาพแวดล้อมต่าง ๆ สอดคล้องกับ เสรี และคณะ (2557) รายงานว่า ค่าความเขียวของผักเชียงดามีความสัมพันธ์กับปริมาณไนโตรเจน คลอโรฟิลล์ เอ คลอโรฟิลล์ บี และคลอโรฟิลล์ทั้งหมดที่เพิ่มขึ้น

จากการทดสอบในพืชหลายชนิดของ พูนพิภพ และคณะ (2537) รายงานความสัมพันธ์ของปริมาณคลอโรฟิลล์ในใบพืช 33 species ประกอบด้วย 50 พันธุ์ ระหว่างวิธีแบบทำลายใบโดยการสกัดด้วยสารละลาย Dimethylsulfoxide กับวิธีไม่ทำลายใบโดยการประเมินปริมาณคลอโรฟิลล์ในใบจากเครื่องความเขียวใบ พบว่า ความสัมพันธ์สมการเส้นตรงระหว่างความเขียวใบกับปริมาณคลอโรฟิลล์ เอ คลอโรฟิลล์ บี และคลอโรฟิลล์ทั้งหมด และสอดคล้องกับ Netto และคณะ (2005) รายงานการเปรียบเทียบการวัดปริมาณรงควัตถุที่ใช้สังเคราะห์แสงระหว่างเครื่องวัดความเขียวใบกับการสกัดด้วยสารละลาย Dimethylsulfoxide ในใบกาแฟโรบัสต้า ว่าเครื่องวัดความเขียวใบเหมาะกับการคาดคะเนกระบวนการสังเคราะห์แสงและกระบวนการทางเคมีในใบกาแฟโรบัสต้า โดยค่าความเขียวใบที่น้อยกว่า 40 SPAD unit แสดงว่า ใบมีกระบวนการสังเคราะห์แสงน้อย ซึ่งใบกาแฟโรบัสต้าระยะที่ 5 มีค่าความเขียวใบที่มากกว่า 40 SPAD unit แสดงให้เห็นว่าใบระยะนี้มีกระบวนการสังเคราะห์แสงและกระบวนการทางเคมีมาก (ภาพที่ 7)

2.4 สีใบและความเขียวใบแต่ละระยะพัฒนาการของใบกาแฟโรบัสต้า

การศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างความเป็นสีเขียว (a*) ความเป็นสีเหลือง (b*) และความสว่าง (L*) กับความเขียวใบนั้นมีความสัมพันธ์กัน ให้ค่า r^2 สูง (> 0.80) ทั้งค่า a* b* และ L* และความสัมพันธ์ดังกล่าวมีความแตกต่างกันทางสถิติอย่างมีนัยสำคัญยิ่ง ซึ่งเป็นความสัมพันธ์เชิงลบในสมการเส้นตรงและยังสอดคล้องกับลักษณะปรากฏที่เห็นได้ด้วยตาเปล่า แสดงว่า การวัดค่า a* b* และ L* ด้วยเครื่องวัดความเขียวใบสามารถใช้แทนการวัดค่า a* b* และ L* ด้วยเครื่องวัดสีได้ นอกจากนี้ สมการความสัมพันธ์ยังสามารถประเมินสีใบด้วยเครื่องวัดความเขียวใบได้อีกด้วย (ภาพที่ 6) การศึกษาการเปลี่ยนแปลงของสีใบตามระยะพัฒนาการของใบกาแฟโรบัสต้า (ภาพที่ 7) พบว่า สีของใบมีความสัมพันธ์เชิงลบกับระยะพัฒนาการของใบกาแฟโรบัสต้าที่เพิ่มขึ้นและมีความแตกต่างกันทางสถิติอย่างมีนัยสำคัญยิ่ง ขณะที่ ความเขียวใบมีความสัมพันธ์เชิงบวกกับระยะพัฒนาการของใบที่เพิ่มขึ้นและมีความแตกต่างกันทางสถิติอย่างมีนัยสำคัญยิ่ง โดยใบระยะที่ 5 มีค่า a* b* และ L* น้อยที่สุดเมื่อเทียบกับใบระยะอื่น ขณะที่ ความเขียวใบมีค่ามากที่สุดส่งผลให้ใบกาแฟระยะนี้แสดงสีของใบเป็นสีเขียวค่อนข้างเข้ม แสดงให้เห็นว่า ความเขียวใบกาแฟโรบัสต้าที่เพิ่มขึ้นมีผลให้ค่า a* b* และ L* ลดลง (ปรางค์ทิพย์ และพรินิตร, 2551; Xie *et al*., 2015)

ดังนั้น เมื่อค่าความเขียวใบเพิ่มขึ้น ปริมาณคลอโรฟิลล์ เอ คลอโรฟิลล์ บี คลอโรฟิลล์ทั้งหมด และแคโรทีนอยด์เพิ่มขึ้นเช่นกัน แต่ค่า a* b* และ L* ของใบจะลดลง อย่างไรก็ตาม

ความสัมพันธ์ข้างต้นมีความจำเพาะต่อพืช และสามารถผันแปรไปตามสภาพแวดล้อม ปริมาณธาตุอาหารที่ได้รับ ช่วงเวลาในการเก็บใบ และอายุใบ (Altland *et al.,* 2003; Jifon *et al*., 2005)

3. ระยะพัฒนาการต่อปริมาณสารพฤกษเคมีในใบกาแฟโรบัสต้า

ระยะพัฒนาการใบแต่ละระยะมีการสะสมปริมาณสารพฤกษเคมีแตกต่างกัน ในการศึกษานี้วิเคราะห์ปริมาณสารพฤกษเคมีเบื้องต้นในใบกาแฟโรบัสต้าโคลนชุมพร 2 ระยะที่ 4-5 (ตารางที่ 5) เนื่องจากช่วงระยะดังกล่าวเป็นใบระยะเริ่มเพสลาดถึงใบเพสลาด (อายุใบ 15-27 วัน) ซึ่งประสิทธิภาพการทำงานของกระบวนการต่าง ๆ ภายในใบมีค่อนข้างมากและอาจมีผลให้เกิดความสามารถในการสังเคราะห์สารพฤกษเคมีได้หลายชนิดกว่าใบระยะอื่น รวมถึงเก็บน้ำหนักใบได้มาก จึงทำการส่งวิเคราะห์ตามสถาบันต่าง ๆ ในขณะเดียวกัน จาการเปรียบเทียบปริมาณสารต้านอนุมูลอิสระ สารประกอบฟีนอลิก (ตารางที่ 7) ฟลาโวนอยด์ และแทนนิน (ตารางที่ 8) ในแต่ละช่วงระยะพัฒนาการของใบและแต่ละโคลน พบว่า ระยะพัฒนาการของใบกาแฟโรบัสต้ามีผลต่อปริมาณสารต้านอนุมูลอิสระ สารประกอบฟีนอลิก ฟลาโวนอยด์ และแทนนิน โดยช่วงระยะพัฒนาการของใบที่ 1-2 มีปริมาณสารต้านอนุมูลอิสระ สารประกอบฟีนอลิก ฟลาโวนอยด์ และแทนนินมากที่สุดเมื่อเทียบกับช่วงระยะอื่น ขณะที่ โคลนของใบกาแฟโรบัสต้าไม่มีผลต่อปริมาณสารพฤกษเคมีภายในใบ แต่ปัจจัยระยะพัฒนาการของใบและโคลนของใบกาแฟโรบัสต้ามีปฏิสัมพันธ์กัน โดยช่วงระยะพัฒนาการของใบที่ 1-2 ของโคลนควนโดนมีปริมาณสารต้านอนุมูลอิสระมากที่สุดเมื่อเทียบกับช่วงระยะอื่นและโคลนชุมพร 2 และเมื่อวิเคราะห์ปริมาณสารกลุ่มย่อยในแต่ละช่วงระยะพัฒนาการของใบและแต่ละโคลน พบว่า ในใบกาแฟโรบัสต้าแต่ละช่วงระยะพัฒนาการและแต่ละโคลนไม่มีผลต่อปริมาณสารประกอบฟีนอลิก แต่ในใบช่วงระยะที่ 1-2 ของโคลนชุมพร 2 มีปริมาณฟลาโวนอยด์และแทนนินมากที่สุดเมื่อเทียบกับช่วงระยะอื่นและโคลนควนโดน จึงกล่าวได้ว่า ระยะพัฒนาการของใบและปฏิสัมพันธ์ระหว่างระยะพัฒนาการของใบกับโคลนกาแฟโรบัสต้ามีอิทธิผลต่อปริมาณสารพฤกษเคมีภายในใบ เช่นเดียวกับ ในใบหม่อนพันธุ์บุรีรัมย์ 60 พันธุ์สกลนคร และพันธุ์ขุนไผ่บริเวณปลายใบ ใบอ่อน และใบแก่มีปริมาณเมลาโทนินแตกต่างกัน โดยใบหม่อนพันธุ์บุรีรัมย์ 60 มีปริมาณเมลาโทนินมากที่สุดเมื่อเทียบกับพันธุ์อื่น และใบบริเวณปลายใบมีปริมาณเมลาโทนินมากที่สุดเมื่อเทียบกับใบระยะอื่นของทุกพันธุ์ (Pothinuch and Tongchitpakdee, 2011) เช่นเดียวกับ ในใบผกากรองตำแหน่งใบที่ 1-3 มีปริมาณโปรแอนโทไซยานิดิน ฟลาโวนอยด์ และสารต้านอนุมูลอิสระมากกว่าตำแหน่งใบที่ 4-5 (Bhakta and Ganjewala, 2009) รวมถึงใบบริเวณปลายยอดของแบล็คเคอร์แรนท์มีปริมาณสารประกอบย่อยของสารประกอบฟีนอลิกมากกว่าตำแหน่งใบอื่น ๆ (Vagiri *et al*., 2015)

Wang และ Lin (2000) รายงานผลของปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมดต่อระยะพัฒนาการของใบแบล็คเบอร์รี่ ราสเบอร์รี่ และสตรอว์เบอร์รี่ พบว่า ใบอ่อนของใบแบล็คเบอร์รี่มีปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมดมากที่สุดและมีความแตกต่างกันทางสถิติอย่างมีนัยสำคัญ เช่นเดียวกับ ภานุวัฒน์ และคณะ (2560) รายงานว่า ใบอ่อนของมะนาวโห่มีปริมาณสารประกอบฟีนอลิกมากกว่าใบเพสลาด โดยใบอ่อนมีความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระด้วยวิธี DPPH มากที่สุด ขณะที่ ใบเพสลาดของมะนาวโห่มีปริมาณฟลาโวนอยด์ วิตามินซี และความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระด้วยวิธี FRAP มากกว่าใบอ่อน ซึ่งใบเพสลาดมีความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระด้วยวิธี ABTS มากที่สุด และสอดคล้องกับ Mondolot และคณะ (2006) รายงานว่า ใบอ่อนของกาแฟโรบัสต้ามีปริมาณกรดคาเฟอิลควินิคสูงกว่าใบแก่ถึง 10 เท่า เนื่องจากกรดคาเฟอิลควินิคเป็นอนุพันธ์จากกระบวนการฟีนิลโพรพานอยด์ที่เกี่ยวข้องกับคลอโรพลาสต์ภายในใบอ่อน นอกจากนี้ ใบอ่อนของกาแฟโรบัสต้ายังมีปริมาณคาเฟอีน กรดคลอโรจีนิก (Delaroza *et al*., 2017) แคทีชิน (Ratanamarno and Surbkar, 2017) และเควอซีทิน (Quercetin) (Marques, 2011) มากกว่าใบเพสลาด ในทางกลับกัน นิภาพร และคณะ (2557) รายงานว่า ใบเพสลาดของทุเรียนพันธุ์กำปั่นตาเพ็งมีความสามารถในการให้อิเล็กตรอนของสารต้านอนุมูลอิสระมากกว่าใบอ่อน วิเคราะห์ด้วยวิธี FRAP ทั้งนี้ Dinis และคณะ (1994) พบว่า การวิเคราะห์หาสารต้านอนุมูลอิสระด้วยวิธี FRAP เป็นวิธีใช้เหล็กในรูปของเฟอร์รัสไอออน (Fe^{2+}) ซึ่งสารต้านอนุมูลอิสระนี้มีคุณสมบัติในการให้อิเล็กตรอนหรือดักจับโลหะบางชนิด จากนั้นจะเปลี่ยนเป็นอนุมูลอื่น ๆ

นอกจากนี้ เมื่อนำใบกาแฟโรบัสต้าระยะที่ 4-5 มาเปรียบเทียบปริมาณสารพฤกษเคมีกับพืชชนิดอื่น ๆ ด้วยวิธีการวิเคราะห์เดียวกัน พบว่า ใบกาแฟโรบัสต้าระยะที่ 4-5 มีการสะสมปริมาณสารต้านอนุมูลอิสระ 171,396 ไมโครโมลโทรลอกซ์ต่อน้ำหนักแห้ง 100 กรัม และสารประกอบฟีนอลิก 4.24 กรัมกรดแกลลิกต่อน้ำหนักแห้ง 100 กรัม ซึ่งสูงกว่าข้าวพันธุ์หอมแดงที่มีสารต้านอนุมูลอิสระ 51,709 ไมโครโมลโทรลอกซ์ต่อน้ำหนักแห้ง 100 กรัม และสารประกอบฟีนอลิก 0.41 กรัมกรดแกลลิกต่อน้ำหนักแห้ง 100 กรัม (นิพัฒน์ และประมวล, 2561) และเมื่อเปรียบเทียบกับผักบางชนิด เช่น ผักโขม กะหล่ำปลี บร็อคโคลี รูห์บาร์บ แครอท มะเขือเทศ ถั่วเขียว มันฝรั่ง เป็นต้น พบว่า กะหล่ำปลีมีสารต้านอนุมูลอิสระด้วยวิธี DPPH มีค่า 5,870 ไมโครโมลโทรลอกซ์ต่อน้ำหนักแห้ง 100 กรัม และสารประกอบฟีนอลิก 1.88 กรัมกรดแกลลิกต่อน้ำหนักแห้ง 100 กรัม ซึ่งมีค่าสูงที่สุดเมื่อเทียบกับผักชนิดอื่น (Zhou and Yu, 2006) แต่มีปริมาณสารดังกล่าวต่ำกว่าใบกาแฟโรบัสต้าระยะที่ 4-5 ส่วนการเปรียบเทียบกับผลไม้บางชนิด เช่น ฝรั่ง ลางสาด มะเฟือง ส้ม กล้วย แก้วมังกร มังคุด มะละกอ มะกอกน้ำ และชมพู่ทับทิมจันทร์ พบว่า ฝรั่งมีสารประกอบฟีนอลิก 0.14 กรัมกรดแกลลิกต่อน้ำหนักแห้ง 100 กรัม ซึ่งมีค่าสูงที่สุดเมื่อเทียบกับผลไม้ชนิดอื่น (Lim *et al*., 2007) แต่มีปริมาณสารต่ำกว่าใบกาแฟโรบัสต้าระยะที่ 4-5 ที่มีสารประกอบฟีนอลิก 4.24 กรัมกรดแกลลิกต่อ

น้ำหนักแห้ง 100 กรัม นอกจากนี้ รายงานการวิเคราะห์ปริมาณคาเฟอีนในเมล็ดกาแฟ 3 พันธุ์ พบว่า เมล็ดโรบัสต้ามีปริมาณคาเฟอีน 2.26 กรัมต่อน้ำหนักแห้ง 100 กรัม และมีปริมาณสูงกว่าเมล็ดอราบิก้า และลิเบอริก้า แต่เมื่อเทียบกับใบโรบัสต้าระยะที่ 4-5 ใบมีปริมาณคาเฟอีน 1.23 กรัมต่อน้ำหนักแห้ง 100 กรัม ซึ่งมีค่าต่ำกว่าเมล็ดกาแฟโรบัสต้าและอราบิก้า แต่มีปริมาณคาเฟอีนเท่ากับเมล็ดกาแฟลิเบอริก้า (Ling *et al*., 2001) ขณะที่ การเปรียบเทียบระหว่างใบกาแฟโรบัสต้าระยะที่ 1-2 กับผงเมล็ดกาแฟบด พบว่า ผงเมล็ดกาแฟบดมีสารต้านอนุมูลอิสระ (วิธี FRAP) 66.86 มิลลิกรัมสมมูลของเฟอร์รัสไอออนต่อน้ำหนักแห้ง 100 กรัม และสารประกอบฟีนอลิก 50.61 มิลลิกรัมสมมูลของกรดแกลลิกต่อน้ำหนักแห้ง 100 กรัม (สุกัญญา, 2559) ซึ่งมีค่าสูงกว่าใบกาแฟโรบัสต้าระยะที่ 1-2 ที่มีปริมาณสารต้านอนุมูลอิสระ 39.94 มิลลิกรัมสมมูลของเฟอร์รัสไอออนต่อน้ำหนักแห้ง 100 กรัม และสารประกอบฟีนอลิก 28.23 มิลลิกรัมสมมูลของกรดแกลลิกต่อน้ำหนักแห้ง 100 กรัม

จากผลการศึกษานี้ แสดงให้เห็นว่า ใบกาแฟโรบัสต้ามีองค์ประกอบของสารสำคัญในปริมาณที่สูงและเหมาะสมต่อการเลือกใช้ประโยชน์จากใบกาแฟโรบัสต้าระยะต่าง ๆ ได้อย่างเหมาะสมกับการนำไปใช้ประโยชน์เพื่อการแปรรูปเป็นผลิตภัณฑ์ชาใบกาแฟโรบัสต้าได้ เนื่องจากใบแต่ละระยะพัฒนาการมีความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระและชนิดของสารพฤกษเคมีแตกต่างกัน

4. การประเมินความพึงพอใจของผู้บริโภคต่อผลิตภัณฑ์ชาใบกาแฟ

การทดสอบคุณภาพสีของน้ำชาใบกาแฟโรบัสต้าจากการเก็บรักษาชาที่ 1 6 และ 12 เดือน และระยะเวลาในการชงชา 5 10 และ 15 นาที (ตารางที่ 9) แสดงให้เห็นว่า การเก็บรักษาชาเป็นเวลานานมีผลให้ค่า a* และ b* ลดลง แต่ค่า L* เพิ่มขึ้น ขณะที่ การชงชาเป็นเวลานานค่า a* และ L* ลดลง แต่ค่า b* กลับเพิ่มขึ้น ทำให้สีของชาจางมากขึ้นเมื่อเก็บรักษาชาเป็นเวลานานและชงชาในระยะเวลาสั้น ดังนั้น ผลิตภัณฑ์ชาใบกาแฟโรบัสต้าที่เก็บรักษาเป็นเวลา 1 เดือน และชงชาเป็นเวลา 15 นาที ชาจึงมีสีส้มอมแดงหรือสีส้มเข้ม ซึ่งเป็นสีชาที่ผู้บริโภคเห็นแล้วอยากดื่มมากที่สุด เนื่องจากการชงชาเป็นศาสตร์และศิลป์ที่มีผลต่อคุณภาพของชา โดยเฉพาะสีชาเป็นปัจจัยแรกที่ปรากฏให้ผู้บริโภคเห็นและตามมาด้วยกลิ่นหอมและรสชาติของชา (ธนพล และคณะ, 2550) ซึ่งระหว่างการรักษาเก็บผลิตภัณฑ์ชาเกิดการเปลี่ยนแปลงทางกายภาพที่มีผลต่อความเข้มของสีน้ำชาตลอดจนการวิจัยนี้ได้แปรรูปใบกาแฟโรบัสต้าเป็นผลิตภัณฑ์ชาด้วยกรรมวิธีแบบชาเขียว โดยชาเขียวเป็นชาที่ไม่ผ่านการหมักชาและมีอายุการเก็บรักษาโดยเฉลี่ยไม่เกิน 18 เดือน หากเก็บรักษาผลิตภัณฑ์ชาเกิน 18 เดือน อาจส่งผลให้ผลิตภัณฑ์ชาใบกาแฟโรบัสต้าให้มีสี กลิ่นหอม และรสชาติของชาลดลงได้ แต่ถ้าเก็บรักษาของชาในบรรจุภัณฑ์ที่ปิดสนิทสามารถเก็บรักษาได้นานถึง 36 เดือน เนื่องจากชามี

คุณสมบัติดูดซับความชื้นได้ดีจึงเกิดการเร่งกระบวนการทางเคมีในสารประกอบของชาให้เร็วขึ้น (ธีรพงษ์, 2557)

พฤติกรรมการบริโภคชาของผู้บริโภคเน้นเรื่องความถี่ในการดื่มชา (ตารางที่ 10) เนื่องจากเป็นปัจจัยที่มีผลต่อการบริโภคชาและการจำหน่ายผลิตภัณฑ์ชา จากการสำรวจนี้ผู้บริโภคมีการดื่มชา 1-3 ครั้งต่อสัปดาห์ ซึ่งเป็นความถี่ในการบริโภคชาที่น้อย นอกจากนี้ การทดสอบคุณภาพชาด้านประสาทสัมผัส ผู้บริโภคมีความพึงพอใจมากที่สุดในผลิตภัณฑ์ชาใบกาแฟโรบัสต้าที่มีการเก็บรักษาเป็นเวลา 1 เดือน (ภาพที่ 8a) และมีความแตกต่างกันทางสถิติอย่างมีนัยสำคัญยิ่งกับระยะเวลาการเก็บรักษาอื่น (ตารางที่ 11) แสดงให้เห็นว่า ระยะการเก็บรักษาของชามีผลอย่างมากต่อคุณภาพด้านสี กลิ่นหอม และรสชาติของชา ซึ่งสอดคล้องกับผลคะแนนของผู้บริโภคที่ให้ 9 คะแนนในเรื่องสีของชามากที่สุด รองลงมาเรื่องความรู้สึกหลังกลืน ความชอบโดยรวม รสชาติ และกลิ่นหอมของชาตามลำดับ (ภาพที่ 8 b-e) และผู้บริโภคมีความสนใจในผลิตภัณฑ์ชาใบกาแฟโรบัสต้าที่ใช้ระยะเวลาการเก็บรักษา 1 เดือน มากที่สุด จากการศึกษาของ Ekissi และคณะ (2014) รายงานว่า ความพึงพอใจของผู้บริโภคที่มีต่อคุณภาพทางด้านประสาทสัมผัสในด้านสี กลิ่น รสชาติ และความรู้สึกหลังกลืนชาที่อายุการเก็บรักษาผลิตภัณฑ์ชา Lippia 12 เดือน มีความพึงพอใจน้อยกว่าอายุการเก็บรักษาชา 3 เดือน โดยสี กลิ่นหอมและรสชาติของชาเกิดการเปลี่ยนแปลงไปในทางลบหลังจากเก็บรักษาชา เป็นเวลา 6 เดือน นอกจากนี้ Taylor and francis group (1995) รายงานว่า การเก็บรักษาผลิตภัณฑ์ชานานเกินไป อาจเกิดการสูญเสียสารประกอบบางชนิดที่มีผลต่อคุณภาพทางด้านประสาทสัมผัสในด้านสี กลิ่น รสชาติ และลักษณะที่ไม่พึงประสงค์ต่าง ๆ ขณะที่ ธนพล และคณะ (2550) รายงานว่า การชงชาสมุนไพรเจียวกู่หลานเป็นเวลา 1 นาที ที่ผู้บริโภคให้การยอมรับมากที่สุด โดยให้คะแนนความชอบโดยรวมมากกว่าคุณภาพชาปัจจัยอื่น มีคะแนนเฉลี่ย 5.72 และมีค่า a* b* และ L* เท่ากับ -6.06 22.85 และ 90.96 ตามลำดับ ตลอดจน สุรชัย และคณะ (2558) ได้ศึกษาการยอมรับและพฤติกรรมผู้บริโภคต่อผลิตภัณฑ์ชาสมุนไพรไทย ได้แก่ ชาใบหม่อน ชาขิง ชาดอกคำฝอย ชาเจียวกู่หลาน ชามะขามแขก และชาเขียวด้วยวิธี Hedonic scale 9 point พบว่า ผู้บริโภคให้คะแนนความชอบชามะขามแขกมากที่สุดในทุก ๆ ด้าน รองลงมาเป็นชาขิง แม้ว่าคุณภาพสีของชาทุกชนิดมีคะแนนความชอบไม่แตกต่างกันทางสถิติ

ปัจจุบันผู้บริโภคส่วนใหญ่ต้องการความสะดวกและรวดเร็วในการบริโภคชาจึงใช้บรรจุภัณฑ์แบบซองชา เพื่อง่ายต่อการชงชาและลดขั้นตอนการเตรียมชา ซึ่งการบรรจุภัณฑ์ชาเป็นส่วนที่ช่วยรักษาคุณภาพของชาหลังผ่านกระบวนการแปรรูปและการยืดอายุการเก็บรักษาผลิตภัณฑ์ชาให้นานยิ่งขึ้น แต่การบรรจุภัณฑ์ในซองชาส่งผลให้เกิดการแลกเปลี่ยนอากาศบริเวณรอบ ๆ ซองชาได้ง่าย และเกิดกระบวนการต่าง ๆ ที่มีผลต่อคุณภาพชาและปริมาณสารในชาได้อย่างรวดเร็ว (คริสตี้, 2560) ดังนั้น จึงบรรจุซองชาลงในถุงเมทัลไลท์ฟอยล์แบบซิปและซีลปลายปากถุง ซึ่งจากการรายงาน

ของ วริพัสย์ และคณะ (2557) ศึกษาการเก็บรักษาชาเจียวกู่หลานผงในบรรจุภัณฑ์ 2 ชนิด ได้แก่ เมทัลไลท์ฟอยล์ (Metalized cast polypropylene film; M-CPP) และถุงพลาสติกพอลิเอทิลีนความหนาแน่นต่ำเชิงเส้น (Linear low density polyethylene; LLDPE) เป็นเวลา 90 วัน พบว่าบรรจุภัณฑ์มีผลต่อการเปลี่ยนแปลงสมบัติทางกายภาพและทางเคมี โดยเกิดการเปลี่ยนแปลงค่าสีจากสีเขียวเป็นสีน้ำตาล และปริมาณสารต้านอนุมูอิสระ สารโพลิฟีนอล ฟลาโวนอยด์ และซาโปนินลดลงอย่างต่อเนื่องทุกบรรจุภัณฑ์ โดยการเก็บรักษาในถุงเมทัลไลท์ฟอยล์สามารถรักษาความคงตัวของสารในผลิตภัณฑ์ชารูปแบบผงได้สูง

5. ประโยชน์ ผลกระทบ และการพัฒนาผลิตภัณฑ์ชาใบกาแฟโรบัสต้าในอนาคต

การแปรรูปผลิตภัณฑ์ชาด้วยกรรมวิธีแบบชาเขียว เป็นกระบวนการแปรรูปที่เหมาะสมกับเกษตรกรชาวสวนกาแฟ เนื่องจากเป็นวิธีที่ไม่ยุ่งยาก ไม่ซับซ้อน เกษตรกรสามารถผลิตชาขึ้นเองได้จนสามารถยกระดับผลิตภัณฑ์ชาใบกาแฟสู่การค้าทางอุตสาหกรรมชา และยังเป็นแนวทางเลือกใหม่ให้กับเกษตรกรชาวสวนกาแฟในการประยุกต์ใช้ใบกาแฟ เพิ่มมูลค่าให้กับใบกาแฟตลอดจนเพิ่มรายได้ให้กับเกษตรกรชาวสวนกาแฟ นอกจากนี้ การแปรรูปใบกาแฟโรบัสต้าเป็นผลิตภัณฑ์ชาใบกาแฟโรบัสต้าเป็นอีกแนวความคิดหนึ่งที่ผู้บริโภคส่วนใหญ่เห็นชอบและให้ความสนใจเนื่องจากผู้บริโภคบางท่านไม่ชอบเครื่องดื่มชาที่แปรรูปมาจากใบชา (*Camellia sinensis*) รวมถึงต้องการผลิตภัณฑ์ชาที่มีประโยชน์ต่อสุขภาพของผู้บริโภคและส่งผลต่อความรู้สึกของผู้บริโภคให้มีจิตใจเบิกบาน รู้สึกผ่อนคลายมากขึ้นหลังดื่มชา อย่างไรก็ตาม ณ ตอนนี้ผลิตภัณฑ์ชาใบกาแฟโรบัสต้ายังมีข้อเสียในเรื่องของคุณภาพชาใบกาแฟในระหว่างการแปรรูปและการเก็บรักษาผลิตภัณฑ์ชา หากเกษตรกรไม่เอาใจใส่ทุกขั้นตอนตั้งแต่ การจัดการต้นกาแฟ สภาพแวดล้อมที่ต้นกาแฟได้รับ การเก็บใบกาแฟ จนถึงกระบวนการแปรรูปและการดูแลรักษาผลิตภัณฑ์ชาใบกาแฟที่อาจส่งผลให้คุณภาพของผลิตภัณฑ์ชาลดลง ซึ่งจากการแสดงความคิดเห็นของผู้บริโภคส่วนใหญ่ที่ชิมชาใบกาแฟโรบัสต้าอายุการเก็บรักษา 1 เดือน กล่าวว่า ชามีสีสดใส กลิ่นหอม รสชาติไม่หวานมากเหมาะกับผู้ป่วยโรคเบาหวานและความดันโลหิตสูง ไม่มีรสฝาด และรู้สึกชุ่มคอหลังดื่ม จึงทำให้ผู้บริโภคมีความสนใจในผลิตภัณฑ์ชาใบกาแฟโรบัสต้าระยะการเก็บรักษาชา 1 เดือน มากที่สุด แต่เมื่อเทียบกับชาใบกาแฟโรบัสต้าอายุการเก็บรักษา 12 เดือน ผู้บริโภคส่วนใหญ่ กล่าวว่า ชามีรสชาติไม่เข้ม ไม่หวาน มีรสฝาดเล็กน้อยหลังกลืนชา และกลิ่นหอมน้อย โดยกลิ่นหอมนั้นเป็นเอกลักษณ์ของชาใบกาแฟโรบัสต้าที่ไม่เหมือนชาอื่น ๆ ถึงแม้ว่า ชาใบกาแฟโรบัสต้าจะมีกลิ่นหอมเป็นเอกลักษณ์ แต่กลิ่นหอมนั้นยังไม่หอมเท่าที่ควร ทั้งนี้อาจเกิดจากกระบวนการคั่วที่คั่วไม่ทั่วถึง คั่วเร็วเกินไป หรืออุณหภูมิในการคั่วต่ำเกินไป จึงควรปรับกระบวนการแปรรูปเล็กน้อย เพื่อให้ได้ผลิตภัณฑ์ชาใบกาแฟโรบัสต้าที่มีคุณภาพดี

ที่สุดและเป็นที่ต้องการของผู้บริโภค นอกจากนี้ ยังมีแนวทางในการแก้ปัญหา ด้านกลิ่นหอมและรสชาติของชาใบกาแฟ โดยการผสมดอกไม้แห้ง ผลไม้แห้งหรือสมุนไพรบางชนิดที่มีสี กลิ่นหอม และรสชาติเข้ากับชาใบกาแฟโรบัสต้ามาพัฒนาเป็นผลิตภัณฑ์ชาผสมแบบใหม่ที่ยังคงกลิ่นหอมของชาใบกาแฟโรบัสต้าอยู่ เช่น ชาใบกาแฟโรบัสต้าผสมดอกกาแฟ ดอกเก๊กฮวย สตอเบอรี่แห้ง เปลือกส้มแห้ง หญ้าหวาน ดอกคำฝอย หรือพุทราแห้ง เป็นต้น ซึ่งเป็นอีกทางเลือกหนึ่งที่ตรงตามความต้องการของผู้บริโภคบางกลุ่ม

แนวทางการวิจัยในอนาคต ผู้วิจัยควรมีการวิเคราะห์หาชนิดและปริมาณสารสำคัญในใบชากาแฟเพิ่ม เพื่อประโยชน์ต่อผู้บริโภคมากที่สุด และการวิจัยเชิงลึกเกี่ยวกับสารออกฤทธิ์ในผลิตภัณฑ์ชาใบกาแฟโรบัสต้าที่มีผลต่อการป้องกันและการรักษาโรคต่าง ๆ ตลอดจนการพัฒนาผลิตภัณฑ์ชาใบกาแฟโรบัสต้าเป็นเครื่องดื่มชาสำเร็จรูปรสต่าง ๆ เพื่อต่อยอดการแปรรูปใบกาแฟโรบัสต้าต่อไป

บทที่ 5

สรุป

การพัฒนาการ ลักษณะทางสัณฐานวิทยา และสรีรวิทยาของใบมีความแตกต่างทางสถิติอย่างมีนัยสำคัญยิ่งกับระยะพัฒนาการของใบกาแฟโรบัสต้า ซึ่งใบระยะที่ 5 มีพื้นที่ใบ น้ำหนักสด น้ำหนักแห้งของใบ ปริมาณคลอโรฟิลล์ แคโรทีนอยด์ และความเขียวใบมากที่สุด โดยน้ำหนักสดกับน้ำหนักแห้งของใบมีความสัมพันธ์เชิงบวกกับระยะพัฒนาการของใบ สำหรับใบระยะที่ 3 มีพื้นที่ใบจำเพาะมากที่สุด และใบระยะที่ 1 มีน้ำหนักใบจำเพาะมากที่สุด นอกจากนี้ ใบระยะที่ 1 มีค่า a* b* และ L* มากที่สุด โดยสีของใบมีความสัมพันธ์เชิงลบกับความเขียวใบของใบกาแฟโรบัสต้า

ระยะพัฒนาการของใบเป็นปัจจัยสำคัญที่ส่งผลต่อปริมาณสารพฤกษเคมีในใบกาแฟโรบัสต้า โดยเฉพาะใบช่วงระยะที่ 1-2 ที่มีผลต่อปริมาณสารต้านอนุมูลอิสระ สารประกอบฟีนอลิก ฟลาโวนอยด์ และแทนนินมากที่สุด ส่วนโคลนของใบกาแฟโรบัสต้าไม่มีผลต่อปริมาณสารพฤกษเคมีที่เพิ่มขึ้นหรือลดลงในใบกาแฟโรบัสต้า นอกจากนี้ ใบช่วงระยะที่ 1-2 ของโคลนควนโดนมีปริมาณสารต้านอนุมูลอิสระมากที่สุด แต่ใบช่วงระยะที่ 1-2 ของโคลนชุมพร 2 มีปริมาณสารกลุ่มย่อยของสารต้านอนุมูลอิสระ ได้แก่ ฟลาโวนอยด์และแทนนินมากที่สุด ส่วนปริมาณสารประกอบฟีนอลิกไม่ได้รับอิทธิพลจากการปฏิสัมพันธ์ระหว่างช่วงระยะพัฒนาการและโคลนของใบกาแฟโรบัสต้า สำหรับใบช่วงระยะที่ 4-5 มีปริมาณสารกลุ่มย่อยของสารต้านอนุมูลอิสระ ได้แก่ คาเฟอีน แคทีชิน และกรดแกลลิกน้อย ดังนั้น ระยะพัฒนาการของใบกาแฟโรบัสต้าระยะที่ 1-2 มีปริมาณสารพฤกษเคมีที่เหมาะสมต่อการนำไปแปรรูปเป็นชาใบกาแฟโรบัสต้ามากที่สุด

ระยะเวลาการเก็บรักษาผลิตภัณฑ์ชามีผลต่อคุณภาพสีของชา โดยผลิตภัณฑ์ชาที่มีอายุการเก็บรักษา 1 เดือน เป็นชาที่มีคุณภาพของสีชาสูงสุด ซึ่งชาใบกาแฟโรบัสต้ามีน้ำชาสีส้มแดงหรือสีแดงเมื่อชงชาเป็นเวลา 15 นาที นอกจากนี้ การประเมินความพึงพอใจของผู้บริโภคต่อระยะเวลาการเก็บรักษาผลิตภัณฑ์ชาใบกาแฟโรบัสต้า พบว่า ระยะเวลาการเก็บรักษาชา 1 เดือน ผู้บริโภคให้คะแนนมากที่สุด และผู้บริโภคมีความพึงพอใจต่อชาใบกาแฟโรบัสต้าในเรื่องสีของชามากที่สุด ตลอดจนผู้บริโภคมีความสนใจในผลิตภัณฑ์ชาใบกาแฟโรบัสต้าที่ระยะเวลาการเก็บรักษาชา 1 เดือนมากที่สุด

เอกสารอ้างอิง

กรมวิชาการเกษตร. 2560. ยุทธศาสตร์กาแฟ ปี 2560-2564: หลักการและเหตุผล. เข้าถึงได้จาก: http://www.doa.go.th/hort/wp-content/uploads/2018/11/ยุทธศาสตร์กาแฟ2560-2564.pdf (เข้าถึงเมื่อ 28 ธันวาคม 2560).

กรมวิชาการเกษตร. 2561. คู่มือการจัดการการผลิตกาแฟโรบัสต้า. เข้าถึงได้จาก: http://www.doa.go.th/hort/images/BOOK/Coffeerobusta.pdf (เข้าถึงเมื่อ 22 ธันวาคม 2561).

กรมส่งเสริมการเกษตร. 2557. ลักษณะทางพฤกษศาสตร์ของกาแฟ. *ใน* การเพิ่มประสิทธิภาพการผลิตกาแฟ. หน้า 13-18. กรุงเทพฯ: โรงพิมพ์ชุมนุมสหกรณ์การเกษตรแห่งประเทศไทย จำกัด.

กรองจันทร์ รัตนประดิษฐ์ และสมจิตต์ ปาละกาศ. 2557. การตรวจสอบฤทธิ์ทางเภสัชวิทยาใบขลู่และผลของระยะเวลาการเก็บรักษาต่อความสามารถในการออกฤทธิ์. ชลบุรี: ภาควิชาเทคโนโลยีชีวภาพ คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยบูรพา วิทยาเขตบางแสน.

กิตยาภรณ์ ลำลึก. 2558. ปัจจัยที่มีผลต่อพฤติกรรมการซื้อเครื่องดื่มชาผสมสมุนไพรพร้อมดื่มของผู้บริโภคในจังหวัดปทุมธานี. ปทุมธานี: คณะบริหารธุรกิจ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี.

คริสตี้ สมิธ. 2560. สมุดแผนที่โลกของชา. กรุงเทพฯ: บริษัท บลู สกาย บุ๊คส์ จำกัด.

เครือข่ายการแปรรูปอาหารอินทรีย์. 2561. ผลิตภัณฑ์ชาจากใบกาแฟอินทรีย์. เข้าถึงได้จาก: http://www.organicfood.mju.ac.th/?p=297 (เข้าถึงเมื่อ 2 พฤษภาคม 2562).

ณัฐวิทย์ ญาณพิสิฐกุล. 2561. ผลของสภาวะน้ำขังและสภาพร่มเงาต่อการเจริญเติบโตและการตอบสนองทางสรีรวิทยาของต้นกาแฟโรบัสต้า. วิทยานิพนธ์วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์.

ธนพล กิจพจน์, ณัฐฌา เหล่ากุลดิลก, บรรณนิสา ทิพย์วิชัย และนิรมล อุตมอ่าง. 2550. ผลของการชงชาต่อคุณภาพของสีและการยอมรบของผู้บริโภคของชาเขียวและชาสมุนไพรเจียวกู่หลาน. การประชุมทางวิชาการของมหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ ครั้งที่ 45 สาขาส่งเสริมการเกษตรและคหกรรมศาสตร์ สาขาอุตสาหกรรมเกษตร ณ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ วิทยาเขตบางเขน 30 มกราคม-2 กุมภาพันธ์ 2550 หน้า 756-764.

ธีรพงษ์ เทพกรณ์. 2556. คาเทชินในชาเขียวและความคงตัวระหว่างเก็บรักษา. วารสารวิทยาศาสตร์มหาวิทยาลัยขอนแก่น 41: 46-55.

ธีรพงษ์ เทพกรณ์. 2557. ชา. กรุงเทพฯ: สำนักพิมพ์แห่งจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.

นิพัฒน์ ลิ้มสงวน และประมวล ทรายทอง. 2561. สมบัติเชิงหน้าที่ของข้าวไทย: การต้านอนุมูลอิสระและการส่งเสริมการเจริญเติบโตของจุลินทรีย์สุขภาพ. วารสารวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี 26: 1336-1347.

นิภาพร ยลสวัสดิ์, มณทินี ธีรารักษ์ และจำรูญ เล้าสินวัฒนา. 2557. การประเมินความสามารถในการกำจัดอนุมูลอิสระ และการจับโลหะและปริมาณฟีนอลิคจากใบทุเรียน 10 พันธุ์. แก่นเกษตร 42: 88-93.

เนตรนภา เมยกลาง และเฉลิม เรืองวิริยะชัย. 2557. การหาปริมาณสารประกอบฟีนอลิกและฤทธิ์การต้านอนุมูลอิสระในเครื่องดื่มน้ำผลไม้. วารสารวิจัยมหาวิทยาลัยขอนแก่น (บัณฑิตศึกษา) 14: 69-79.

บริษัท เซ็นเทเซีย จำกัด. 2560. การวัดปริมาณคลอโรฟิลล์ในใบพืช. เข้าถึงได้จาก: http://www.centasiathai.com/th (เข้าถึงเมื่อ 11 มีนาคม 2562).

ปรางค์ทิพย์ ไชยสรณะ และพธินิตร พันธุ์สุวรรณ. 2551. ปริมาณสารประกอบฟีนอลทั้งหมด และสมบัติการต้านปฏิกิริยาออกซิเดชันของเปลือก เนื้อ และเมล็ดในของมะม่วงฟ้าลั่น. กรุงเทพฯ: ภาควิชาอุตสาหกรรมเกษตร คณะอุตสาหกรรมเกษตร สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง.

ปริยานุช อินทร์รอด. 2551. ฤทธิ์ต้านออกซิเดชัน และปริมาณสารประกอบฟีนอลรวมของส่วนสกัดจากต้นเร่วหอมและว่านสาวหลง. โครงงานวิจัยวิทยาศาสตรบัณฑิต มหาวิทยาลัยบูรพา.

ปานทิพย์ บุญส่ง และวัลภา เนตรดวงตา. 2557. ความสามารถในการกำจัดอนุมูลอิสระและองค์ประกอบทางพฤกษเคมีของใบพืชไม้ผลเขตร้อนบางชนิด. วารสารวิชาการพระจอมเกล้าพระนครเหนือ 24: 624-633.

พงศกร สุธีกาญจโนทัย. 2560. การปรับตัวลักษณะสรีรวิทยาและการเจริญเติบโตของต้นกาแฟโรบัสต้าภายใต้สวนยางพารา. วิทยานิพนธ์วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์.

พิมพ์เพ็ญ พรเฉลิมพงศ์ และนิธิยา รัตนาปนนท์. 2553. พอลิฟีนอล. เข้าถึงได้จาก: http://www.foodnetworksolution.com/wiki/word/3145/polyphenol (เข้าถึงเมื่อ 5 พฤษภาคม 2562).

พูนพิภพ เกษมทรัพย์, พัชรียา บุญกอแก้ว, เจษฎา ภัทรเลอพงษ์, เพ็น สายขุนทด และรวี เสรฐภักดี. 2537. การประเมินปริมาณคลอโรฟิลล์จากความเขียวใบพืชบางชนิดในประเทศไทย. การประชุมทางวิชาการของมหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ ครั้งที่ 32 สาขาพืช ณ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ วิทยาเขตกำแพงแสน 3-5 กุมภาพันธ์ 2537 หน้า 144-129.

ไพโรจน์ วิริยจารี. 2545. การประเมินทางประสาทสัมผัส. เชียงใหม่: ภาควิชาเทคโนโลยีการพัฒนาผลิตภัณฑ์ คณะอุตสาหกรรมเกษตร มหาวิทยาลัยเชียงใหม่.

ภานุวัฒน์ สีพันธ์, สกุลกานต์ สิมลา, พัชรี สิริตระกูลศักดิ์ และชฎาพร เสนาคุณ. 2560. ระยะพัฒนาการต่อปริมาณสารพฤกษเคมีและความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระในใบมะนาวโห่. แก่นเกษตร 45: 336-341.

ระวี เจียรวิภา และชนินทร์ ศิริขันตยกุล. 2558. การปรับตัวลักษณะฟีโนไทป์ของต้นกาแฟโรบัสต้าภายใต้สวนไม้ผลผสมผสาน. วารสารวิทยาศาสตร์เกษตร 46: 433-436.

ลือชัย บุตคุป. 2555. สารประกอบฟีโนลิกและฤทธิ์ทางชีวภาพ. วารสารวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีมหาวิทยาลัยมหาสารคาม 31: 443-455.

วริพัสย์ อารีกุล, มาฤดี ผ่องพิพัฒน์พงศ์, ศดานันท์ นรินทร์สุขสันติ และสุวรรณ ทาเขียว. 2557. การพัฒนาชาเจียวกู่หลานผงสำเร็จรูปด้วยวิธีการทำแห้งแบบพ่นฝอย และความคงตัวระหว่างการเก็บรักษา. กรุงเทพฯ: คณะอุตสาหกรรมเกษตร สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง.

สถาบันวิจัยพืชสวน. 2553ก. ลักษณะทางพฤกษศาสตร์และพันธุ์กาแฟ. *ใน* การจัดการความรู้เทคโนโลยีการผลิตกาแฟครบวงจร. หน้า 8-10. กรุงเทพฯ: ห้างหุ้นส่วนจำกัดรักษ์พิมพ์.

สถาบันวิจัยพืชสวน. 2553ข. โรค แมลงศัตรูพืช และการป้องกันกำจัด. *ใน* การจัดการความรู้เทคโนโลยีการผลิตกาแฟครบวงจร. หน้า 27-34. กรุงเทพฯ: ห้างหุ้นส่วนจำกัดรักษ์พิมพ์.

สำนักงานพัฒนาการวิจัยการเกษตร (องค์การมหาชน). 2561. ประวัติกาแฟ. เข้าถึงได้จาก: http://www.arda.or.th/kasetinfo/south/coffee/history/index.php (เข้าถึงเมื่อ 3 มกราคม 2562).

สุกัญญา อภิภัทรกุล. 2559. การเปรียบเทียบปริมาณคาเฟอีน สารประกอบฟีนอลิก และฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระที่มีในผงกาแฟบดและกากกาแฟ. นเรศวรวิจัย ครั้งที่ 12: วิจัยและนวัตกรรมกับการพัฒนาประเทศ ณ อาคารเอกาทศรถ มหาวิทยาลัยนเรศวร จังหวัดพิษณุโลก 21-22 กรกฎาคม 2559 หน้า 173-183.

สุรชัย อุตมอ่าง, นิรมล อุตมอ่าง และรัฐนันท์ พงศ์วิริทธิ์ธร. 2558. การยอมรับและพฤติกรรมของผู้บริโภคต่อผลิตภัณฑ์ชาสมุนไพรไทย. วารสารศรีนครินทรวิโรฒวิจัยและพัฒนา (สาขามนุษยศาสตร์และสังคมศาสตร์) 7: 187-199.

สุรีรัตน์ เย็นบ้านควน. 2548. การเปรียบเทียบวิธีการประเมินพื้นที่ใบทั้งต้นของเข็มเชียงใหม่และลั่นทม. นครปฐม: ภาควิชาพืชสวน คณะเกษตรศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ วิทยาเขตกำแพงแสน.

เสรี เลาเทาะ, ชิติ ศรีตนทิพย์ และปริญญาวดี ศรีตนทิพย์. 2557. ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณคลอโรฟิลล์ สารประกอบฟีนอลิก และฤทธิ์การต้านอนุมูลอิสระกับค่าดัชนีความเขียวในผลผลิตของผักเชียงดาภายใต้อัตราปุ๋ยไนโตรเจนที่ต่างกัน. แก่นเกษตร 42: 795-801.

อรชร ไอสันเทียะ และกาญจนา วงศ์กระจ่าง. 2558. การศึกษาระบบตัวทำละลายของการสกัดสารประกอบฟีนอลิก สารประกอบฟลาโวนอยด์และฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระที่ดีที่สุดของดอกดาวเรือง. วารสารวิชาการวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏนครสวรรค์ 7: 29-40.

อรุณทิพย์ เหมะธุลิน, สกุลกานต์ สิมลา, สุรศักดิ์ บุญแต่ง และสุดาทิพย์ อินทร์ชื่น. 2555. ความสัมพันธ์ระหว่างค่าสี (L*, a* และ b*) กับปริมาณแอนโทไซยานินในเชื้อพันธุกรรมข้าวโพดข้าวเหนียวสีม่วง. แก่นเกษตร 40: 59-64.

อุบลรัตน์ สิริภัทราวรรณ, สุวัสสา พงษ์อำไพ, สุภาภรณ์ ตั๊กกลาส และ B.R. Harte. 2550. เทคโนโลยีบรรจุภัณฑ์เพื่อรักษาคุณภาพและยืดอายุการเก็บรักษาของชาเขียวใบหม่อน (เพื่อการส่งออก). สระบุรี: ภาควิชาเทคโนโลยีทางอาหาร คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.

เอนก หาลี และบุณยกฤต รัตนพันธุ์. 2560. การศึกษาประสิทธิภาพในการต้านอนุมูลอิสระจากพืชผักสมุนไพรพื้นบ้าน 15 ชนิด. วารสารวิจัยและพัฒนา มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี 40: 283-293.

Altland, J.E., C.H. Gilliam, G.J. Keever, J.H. Edwards, J.L. Sibley and D.C. Fare. 2003. Rapid determination of nitrogen status in pansy. Horticultural Science 38: 537-541.

Ames, B.N., M.K. Shigenaga and T.M. Hagen. 1993. Oxidants, antioxidants, and the degenerative diseases of aging. Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America 90: 7915-7922.

Balasundram, N., K. Sundram and S. Samman. 2006. Phenolic compounds in plants and agri-industrial by-products: antioxidant activity, occurrence, and potential uses. Food Chemistry 99: 191-203.

Banerjee, A., N. Dasgupta and B. De. 2005. *In vitro* study of antioxidant activity of *Syzygium cumini* fruit. Food Chemistry 90: 727-733.

Bertrand, C., M. Noirot, S. Doulbeau, A. de Kochko, S. Hamon and C. Campa. 2003. Chlorogenic acid content swap during fruit maturation in *Coffea pseudozanguebariae*: qualitative comparison with leaves. Plant Science 165: 1355-1361.

Bhakta, D. and D. Ganjewala. 2009. Effect of leaf positions on total phenolics, flavonoids and proanthocyanidins content and antioxidant activities in *Lantana camara* (L). Journal of Scientific Research 1: 363-369.

Blokhina, O., E. Virolainen and K.V. Fagerstedt. 2003. Antioxidants, oxidative damage and oxygen deprivation stress: a review. Annals of Botany 91: 179-194.

Brand-Williams, W., M.E. Cuvelier and C. Berset. 1995. Use of free radical method to evaluate antioxidant activity. LWT-Food Science and Technology 28: 25-30.

Campa, C., L. Mondolot, A. Rakotondravao, L.P.R. Bidel, A. Gargadennec, E. Couturon, P. La Fisca, J.J. Rakotomalala, C. Jay-Allemand and A.P. Davis. 2012. A survey of mangiferin and hydroxycinnamic acid ester accumulation in coffee (*Coffea*) leaves: biological implications and uses. Annals of Botany 110: 595-613.

Campa, C., L. Urban, L. Mondolot, D. Fabre, S. Roques, Y. Lizzi, J. Aarrouf, S. Doulbeau, J.C. Breitler, C. Letrez, L. Toniutti, B. Bertrand, P. La Fisca, L.P.R. Bidel and H. Etienne. 2017. Juvenile coffee leaves acclimated to low light are unable to cope with a moderate light increase. Frontiers in Plant Science 8: 1126-1142.

Chen, C.N., C.M. Liang, J.R. Lai, Y.J. Tsai, J.S. Tsay and J.K. Lin. 2003. Capillary electrophoretic determination of theanine, caffeine, and catechins in fresh tea leaves and oolong tea and their effects on rat neurosphere adhesion and migration. Journal of Agricultural and Food Chemistry 51: 7495-7503.

Chen, X.M., Z. Ma and D.D. Kitts. 2018. Effects of processing method and age of leaves on phytochemical profiles and bioactivity of coffee leaves. Food Chemistry 249: 143-153.

Chung, K.T., T.Y. Wong, C.I. Wei, Y.W. Huang and Y. Lin. 1998. Tannins and human health: a review. Critical Reviews in Food Science and Nutrition 38: 421-464.

Constable, G.A. and H.M. Rawson. 1980. Effect of leaf position, expansion and age on photosynthesis, transpiration and water use efficiency of cotton. Australian Journal of Plant Physiology 7: 89-100.

Cornelli, U. 2009. Antioxidant use in nutraceuticals. Clinics in Dermatology 27: 175-194.

Delaroza, F., M. Rakocevic, G.B. Malta, P.M. Sanchez, R.E. Bruns and I.S. Scarminio. 2017. Factorial design effects of plant density, pattern and light availability on the caffeine, chlorogenic acids, lipids, reducing sugars and ash contents of *Coffea arabica* L. beans and leaves. Analytical Methods 9: 3612-3618.

Dinis, T.C.P., V.M.C. Madeira and L.M. Almeida. 1994. Action of phenolic derivatives (acetaminophen, salicylate, and 5-aminosalicylate) as inhibitors of membrane lipid peroxidation and as peroxyl radical scavengers. Archives of Biochemistry and Biophysic 315: 161-169.

Eden, T. 1976. The development of tea culture. *In* Tea. Vol.III, pp. 1-7. London: Longman Group.

Ekissi, A.C., A.G. Konan, A. Yao-Kouame, B. Bonfoh and S. Kati-Coulibaly. 2014. Sensory evaluation of green tea from *Lippia multiflora* Moldenke leaves. European Scientific Journal 10: 536-545.

Field, C. and H.A. Mooney. 1983. Leaf age and seasonal effects on light, water, and nitrogen use efficiency in a California shrub. Oecologia 56: 348-355.

Frischknecht, P.M., J. Ulmer-Dufek and T.W. Baumann. 1986. Purine alkaloid formation in buds and developing leaflets of *Coffea arabica*: expression of an optimal defence strategy. Phytochemistry 25: 613-616.

Gray, R. 2013. Tea made from coffee leaves found to beneficial for health. Available from: https://www.telegraph.co.uk/news/science/science-news/9797675/Tea-made-from-coffee-leaves-found-to-beneficial-for-health.htmL (access 2 June 2019).

Halliwell, B., R. Aeschbach, J. Loliger and O.I. Aruoma. 1995. The characterization of antioxidants. Food and Chemical Toxicology 33: 601-617.

Hassanpour, S., N. Maheri-Sis, B. Eshratkhah and F.B. Mehmandar. 2011. Plants and secondary metabolites (tannins): a review. International Journal of Forest, Soil and Erosion 1: 47-53.

Hollies, M.A. 1967. Effects of shade on the structure and chlorophyll content of Arabica coffee leaves. Experimental Agriculture 3: 183-190.

Hunt, R.W.G and M.R. Pointer. 2011. Measuring Color. England: Wiley-IS&T Series in Imaging Science and Technology.

Ivamoto, S.T., L.M. Sakuray, L.P. Ferreira, C.S.G. Kitzberger, M.B.S. Scholz, D. Pot, T. Leroy, L.G.E. Vieira, D.S. Domingues and L.F.P. Pereira. 2017. Diterpenes biochemical profile and transcriptional analysis of cytochrome P450s genes in

leaves, roots, flowers, and during *Coffea arabica* L. fruit development. Plant Physiology and Biochemistry 111: 340-347.

Jifon, J.L., J.P. Syvertsen and E. Whaley. 2005. Growth environment and leaf anatomy affect nondestructive estimates of chlorophyll and nitrogen in *Citrus* sp. leaves. Journal of the American Society for Horticultural Science 130: 152-158.

King, A. and G. Young. 1999. Characteristics and occurrence of phenolic phytochemicals. Journal of the American Dietetic Association 99: 213-218.

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

LI-COR Biosciences. 2018. LI-3000C Portable Leaf Area Meter. Available from: https://www.licor.com/env/products/leaf_area/LI-3000C/ (access 15 December 2018).

Lim, Y.Y., T.T. Lim and J.J. Tee. 2007. Antioxidant properties of several tropical fruits: a comparative study. Food Chemistry 103: 1003-1008.

Ling, L.S., N.I.N. Daud and O. Hassan. 2001. Determination of coffee content in coffee mixtures. Malaysian Journal of Analytical Sciences 7: 327-332.

Lockwood, B. 2007. Nutraceuticals: a guide for healthcare professionals. London: Pharmaceutical Press.

Loh, F.C.W., J.C. Grabosky and N.L. Bassuk. 2002. Using the SPAD 502 meter to assess chlorophyll and nitrogen content of benjamin fig and cottonwood leaves. HortTechnology 12: 682-686.

Marques, L.M.C. 2011. Natural antioxidants extraction and their incorporation into model pharmaceutical systems. Master of Science degree. Universidade of Nova de Lisboa.

Mason, P. 2011. Dietary supplements. London: Pharmaceutical Press.

Meilgaard, M.C., B.T. Carr and G.V. Civille. 1999. Sensory evaluation techniques. Florida: CRC Press.

Mondolot, L., P. La Fisca, B. Buatois, E. Talansier, A. de Kochko and C. Campa. 2006. Evolution in caffeoylquinic acid content and histolocalization during *Coffea canephora* leaf development. Annals of Botany 98: 33-40.

Muthukrishnan, S.D. and A. Subramaniyan. 2012. Phytochemical constituents of *Gloriosa superba* seed, tuber and leaves. Research Journal of Pharmaceutical, Biological and Chemical Sciences 3: 111-117.

Nantitanon, W., S. Yotsawimonwat and S. Okonogi. 2010. Factors influencing antioxidant activities and total phenolic content of guava leaf extract. LWT-Food Science and Technology 43: 1095-1103.

Netto, A.T., E. Campostrini, J.G. de Oliveira and R.E. Bressan-Smith. 2005. Photosynthetic pigments, nitrogen, chlorophyll a fluorescence and SPAD-502 readings in coffee leaves. Scientia Horticulturae 104: 199-209.

Patel, S.B., U.A. Attar and S.G. Ghane. 2018. Antioxidant potential of wild *Lagenaria siceraria* (Molina) Standl. Thai Journal of Pharmaceutical Sciences 42: 90-96.

Pothinuch, P and S. Tongchitpakdee. 2011. Melatonin contents in mulberry (*Morus* spp.) leaves: effects of sample preparation, cultivar, leaf age and tea processing. Food Chemistry 128: 415-419.

Ratanamarno, S. and S. Surbkar. 2017. Caffeine and catechins in fresh coffee leaf (*Coffea arabica*) and coffee leaf tea. Maejo International Journal of Science and Technology 11: 211-218.

Resurreccion, A.V.A. 1998. Consumer sensory testing for product development. New York: Aspen Publishers, Inc.

Saensano, C. and R. Chiarawipa. 2019. Dynamic diversity of traditional Robusta coffee (*Coffea canephora*) and conservation status in Southern Thailand. 1st ASEAN coffee industry development conference, Chiang Mai international exhibition and convention centre, Chiang Mai, Thailand, 14-17 February 2019, 1-7 pp.

Salgado, P.R., J.L. Favarin, R.A. Leandro and O.F. de Lima Filho. 2008. Total phenol concentrations in coffee tree leaves during fruit development. Scientia Agricola 65: 354-359.

Schaper, H. and E.K. Chacko. 1991. Relation between extractable chlorophyll and portable chlorophyll meter readings in leaves of eight tropical and subtropical fruit-tree species. Journal of Plant Physiology 138: 674-677.

Senousy, A.S.E., M.A. Farag, D.A. Al-Mahdy and L.A. Wessjohann. 2014. Developmental changes in leaf phenolic compositions from three artichoke cvs (*Cynara scolymus*) as determined via UHPLC-MS and chemometrics. Phytochemistry 108: 67-76.

Singleton, V.L., R. Orthofer and R.M. Lamuela-raventos. 1999. Analysis of total phenols and other oxidation substrates and antioxidants by means of folin-ciocalteu reagent. Methods in Enzymology 299: 152-178.

Sultana, B., F. Anwar and M. Ashraf. 2009. Effect of extraction solvent/technique on the antioxidant activity of selected medicinal plant extracts. Molecules 14: 2167-2180.

Talamond, P., L. Mondolot, A. Gargadennec, A. de Kochko, S. Hamon, A. Fruchier and C. Campa. 2008. First report on mangiferin (C-glucosyl-xanthone) isolated from leaves of a wild coffee plant, *Coffea pseudozanguebariae* (Rubiaceae). Acta Botanica Gallica 155: 513-519.

Taylor and francis group. 1995. Storage of tea. Food Reviews International 11: 473-475.

Urban, L., M. Lechaudel and P. Lu. 2004. Effect of fruit load and girdling on leaf photosynthesis in *Mangifera indica* L. Journal of Experimental Botany 55: 2075-2085.

Vagiri, M., S. Conner, D. Stewart, S.C. Andersson, S. Verrall, E. Johansson and K. Rumpunen. 2015. Phenolic compounds in blackcurrant (*Ribes nigrum* L.) leaves relative to leaf position and harvest date. Food Chemistry 172: 135-142.

Vertuani, S., A. Angusti and S. Manfredini. 2004. The antioxidants and pro-antioxidants network: an overview. Current Pharmaceutical Design 10: 1677-1694.

Wang, S.Y. and H.S. Lin. 2000. Antioxidant activity in fruits and leaves of blackberry, raspberry, and strawberry varies with cultivar and developmental stage. Journal of Agricultural and Food Chemistry 48: 140-146.

Xie, C.Q., Y.N. Saho, J.F. Gao and Y. He. 2015. Study on the color determination of tomato leaves stressed by the high temperature based on hyperspectral imaging. Guang Pu Xue Yu Guang Pu Fen Xi 35: 3431-3435.

Xie, S. and X. Luo. 2003. Effect of leaf position and age on anatomical structure, photosynthesis, stomatal conductance and transpiration of Asian pear. Botanical Bulletin-Academia Sinica Taipei 44: 297-303.

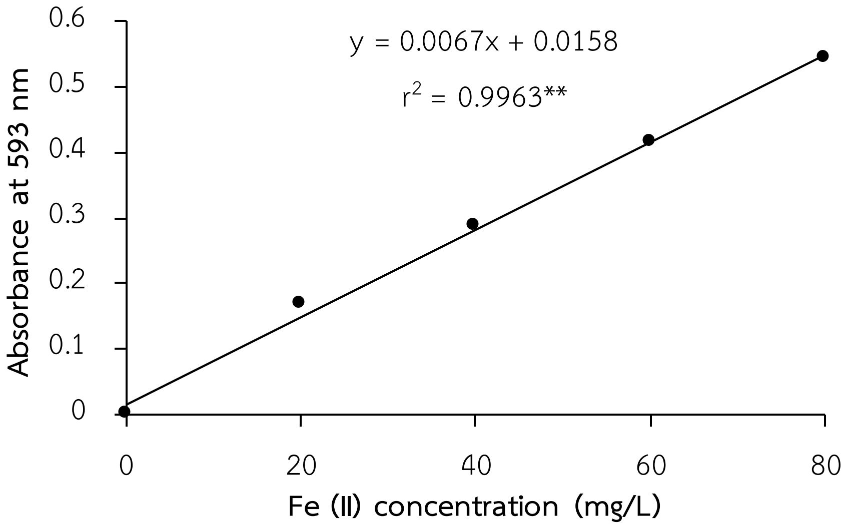
Zhou, K. and L. Yu. 2006. Total phenolic contents and antioxidant properties of commonly consumed vegetables grown in Colorado. LWT-Food Science and Technology 39: 1155-1162.

ภาคผนวก

ตารางภาคผนวกที่ 1 ช่วงปริมาณคลอโรฟิลล์ เอ คลอโรฟิลล์ บี คลอโรฟิลล์ทั้งหมด และแคโรทีนอยด์ในระยะพัฒนาการของใบกาแฟโรบัสต้า

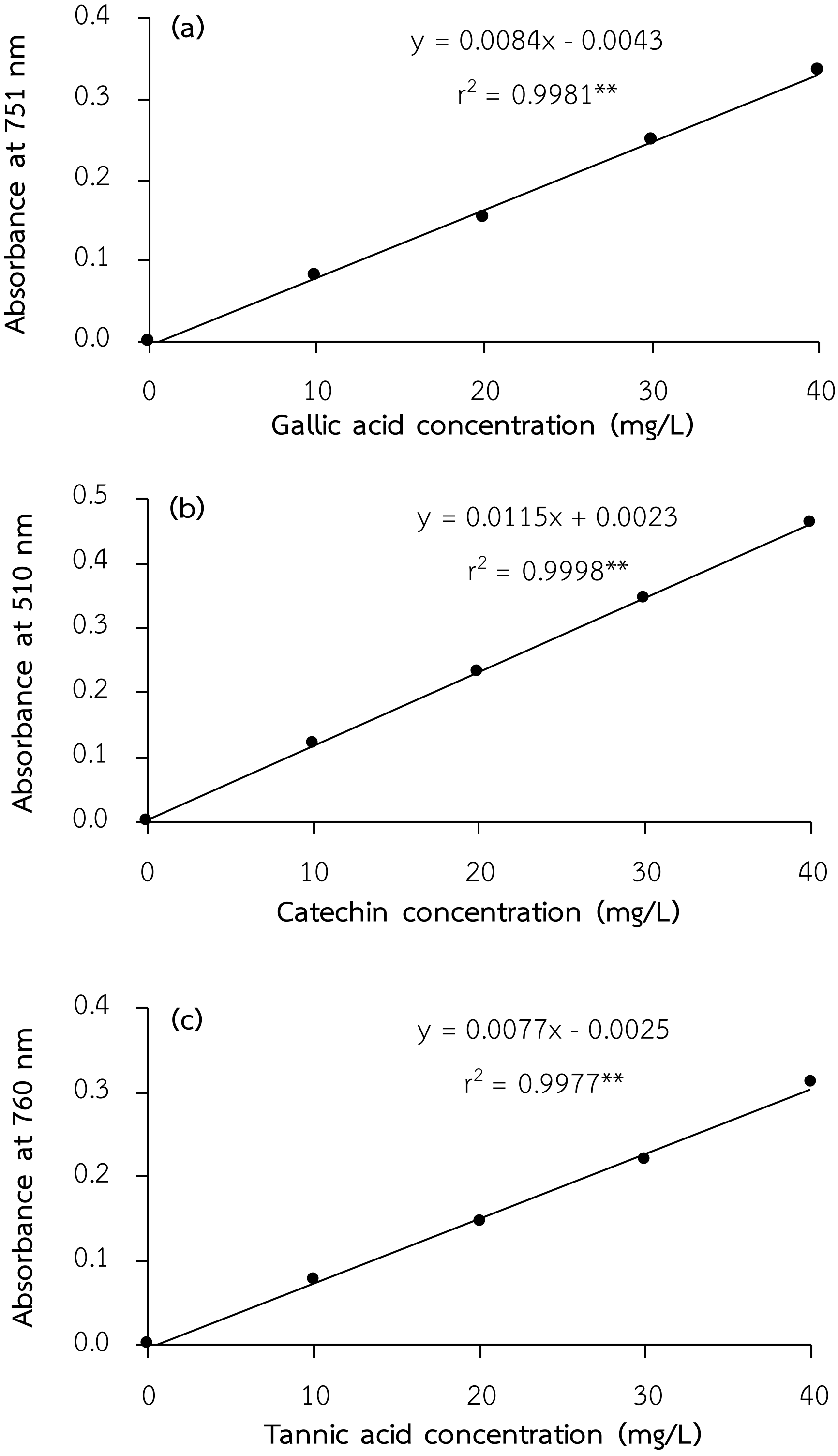
Developmental stages	Chlorophyll a (mg cm^{-2})	Chlorophyll b (mg cm^{-2})	Total chlorophyll (mg cm^{-2})	Carotenoid (mg cm^{-2})
1	4.25-7.91	1.63-4.09	6.19-12.06	0.52-0.60
2	7.92-11.13	4.10-6.05	12.07-17.13	0.61-0.72
3	11.14-13.50	6.06-7.42	17.14-20.83	0.73-0.83
4	13.51-20.21	7.43-11.03	20.84-31.22	0.84-1.19
5	20.22-25.58	11.04-13.73	31.23-39.45	1.20-1.54

ระยะที่ 1 ใบมีอายุ 1-4 วัน ระยะที่ 2 ใบมีอายุ 5-8 วัน ระยะที่ 3 ใบมีอายุ 9-14 วัน ระยะที่ 4 ใบมีอายุ 15-20 วัน และระยะที่ 5 ใบมีอายุ 21-27 วัน



ภาพภาคผนวกที่ 1 กราฟมาตรฐานของเฟอร์รัสไอออน (Fe^{2+}) ที่มีความเข้มข้น 0-80 มิลลิกรัมต่อลิตรของการวิเคราะห์หาสารต้านอนุมูลอิสระ

** มีความแตกต่างทางสถิติอย่างมีนัยสำคัญยิ่งที่ระดับ P≤0.01



ภาพภาคผนวกที่ 2 กราฟมาตรฐานของกรดแกลลิก (a) แคทีชิน (b) และกรดแทนนิก (c) ที่มีความเข้มข้น 0-40 มิลลิกรัมต่อลิตร ของการวิเคราะห์หาสารประกอบฟีนอลิก ฟลาโวนอยด์ และแทนนิน ตามลำดับ

** มีความแตกต่างทางสถิติอย่างมีนัยสำคัญยิ่งที่ระดับ $P \leq 0.01$

การเตรียมสารละลายของการวิเคราะห์ปริมาณสารพฤกษเคมี

1. สารต้านอนุมูลอิสระ

การเตรียมสารละลายเฟอร์รัสซัลเฟตเข้มข้น 100 มิลลิกรัมต่อลิตร

ชั่งเฟอร์รัสซัลเฟต 0.0050 กรัม ละลายด้วยน้ำกลั่น 50 มิลลิลิตร

การเตรียมความเข้มข้นของสารมาตรฐาน

เจือจางเฟอร์รัสซัลเฟตจากความเข้มข้น 100 มิลลิกรัมต่อลิตร ให้มีความเข้มข้น 0 20 40 60 และ 80 มิลลิกรัมต่อลิตร ด้วยน้ำกลั่น

ตารางภาคผนวกที่ 2 การเตรียมสารละลายมาตรฐานของเฟอร์รัสซัลเฟตที่ความเข้มข้นต่าง ๆ

Standard solution concentration (mg/L)	Standard solution content from the concentration of 100 mg/L (mL)	Distilled water (mL)
0	0	1.0
20	0.2	0.8
40	0.4	0.6
60	0.6	0.4
80	0.8	0.2

การเตรียมสารละลาย FRAP reagent

A. เตรียมกรดไฮโดรคลอริกเข้มข้น 40 มิลลิโมล

ปิเปตกรดไฮโดรคลอริกเข้มข้น 0.4420 มิลลิลิตร ละลายด้วยน้ำกลั่น 13 มิลลิลิตร

B. เตรียม TPTZ เข้มข้น 10 มิลลิโมล

ชั่ง TPTZ 0.0401 กรัม ละลายด้วย 40 มิลลิโมล กรดไฮโดรคลอริก (ข้อ A) 13 มิลลิลิตร

C. เตรียมเฟอร์ริคคลอไรด์เข้มข้น 20 มิลลิโมล

ชั่งเฟอร์ริคคลอไรด์ 0.0702 กรัม ละลายด้วยน้ำกลั่น 13 มิลลิลิตร

D. เตรียมอะซิเตทบัฟเฟอร์เข้มข้น 300 มิลลิโมล

ชั่งโซเดียมอะซีเตต 0.4030 กรัม ละลายด้วยกรดอะซิติก 2.08 มิลลิลิตร และน้ำกลั่น 130 มิลลิลิตร

จากนั้นนำสารละลาย (B)+(C)+(D) ผสมให้เข้ากัน จะได้ FRAP reagent 156 มิลลิลิตร

2. สารประกอบฟีนอลิก

การเตรียมสารละลายกรดแกลลิกเข้มข้น 100 มิลลิกรัมต่อลิตร

ชั่งกรดแกลลิก 0.0051 กรัม ละลายด้วยน้ำกลั่น 50 มิลลิลิตร

การเตรียมความเข้มข้นของสารมาตรฐาน

เจือจางกรดแกลลิกจากความเข้มข้น 100 มิลลิกรัมต่อลิตร ให้มีความเข้มข้น 0 10 20 30 และ 40 มิลลิกรัมต่อลิตร ด้วยน้ำกลั่น

ตารางภาคผนวกที่ 3 การเตรียมสารละลายมาตรฐานของกรดแกลลิกที่ความเข้มข้นต่าง ๆ

Standard solution concentration (mg/L)	Standard solution content from the concentration of 100 mg/L (mL)	Distilled water (mL)
0	0.0	1.0
10	0.1	0.9
20	0.2	0.8
30	0.3	0.7
40	0.4	0.6

การเตรียมสารละลายโฟลินซิโอแคลตู รีเอเจนต์ อัตราส่วน 1:5

ปิเปตโฟลินซิโอแคลตู รีเอเจนต์ 9 มิลลิลิตร ผสมด้วยน้ำกลั่น 45 มิลลิลิตร ให้เข้ากัน

การเตรียมสารละลายโซเดียมคาร์บอเนตเข้มข้น 7.5 เปอร์เซ็นต์

ชั่งโซเดียมคาร์บอเนต 3.7575 กรัม ละลายด้วยน้ำกลั่น 50 มิลลิลิตร

3. ฟลาโวนอยด์

การเตรียมสารละลายแคทีชินเข้มข้น 100 มิลลิกรัมต่อลิตร

ชั่งแคทีชิน 0.0051 กรัม ละลายด้วยน้ำกลั่น 50 มิลลิลิตร

การเตรียมความเข้มข้นของสารมาตรฐาน

เจือจางแคทีชินจากความเข้มข้น 100 มิลลิกรัมต่อลิตร ให้มีความเข้มข้น 0 10 20 30 และ 40 มิลลิกรัมต่อลิตร ด้วยน้ำกลั่น

ตารางภาคผนวกที่ 4 การเตรียมสารละลายมาตรฐานของแคทีชินที่ความเข้มข้นต่าง ๆ

Standard solution concentration (mg/L)	Standard solution content from the concentration of 100 mg/L (mL)	Distilled water (mL)
0	0.0	1.0
10	0.1	0.9
20	0.2	0.8
30	0.3	0.7
40	0.4	0.6

การเตรียมสารละลายโซเดียมไนไตรท์เข้มข้น 5 เปอร์เซ็นต์

ชั่งโซเดียมไนไตรท์ 0.5155 กรัม ละลายด้วยน้ำกลั่น 10 มิลลิลิตร

การเตรียมสารละลายอะลูมิเนียมคลอไรด์เข้มข้น 10 เปอร์เซ็นต์

ชั่งอะลูมิเนียมคลอไรด์ 1.0 กรัม ละลายด้วยน้ำกลั่น 10 มิลลิลิตร

การเตรียมสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์เข้มข้น 1 โมลต่อลิตร

ชั่งโซเดียมไฮดรอกไซด์ 4.1237 กรัม ละลายด้วยน้ำกลั่นต้ม 100 มิลลิลิตร

4. แทนนิน

การเตรียมสารละลายกรดแทนนิกเข้มข้น 100 มิลลิกรัมต่อลิตร

ชั่งกรดแทนนิก 0.0050 กรัม ละลายด้วยน้ำกลั่น 50 มิลลิลิตร

การเตรียมความเข้มข้นของสารมาตรฐาน

เจือจางกรดแทนนิกจากความเข้มข้น 100 มิลลิกรัมต่อลิตร ให้มีความเข้มข้น 0 10 20 30 และ 40 มิลลิกรัมต่อลิตร ด้วยน้ำกลั่น

ตารางภาคผนวกที่ 5 การเตรียมสารละลายมาตรฐานของกรดแทนนิกที่ความเข้มข้นต่าง ๆ

Standard solution concentration (mg/L)	Standard solution content from the concentration of 100 mg/L (mL)	Distilled water (mL)
0	0.0	1.0
10	0.1	0.9
20	0.2	0.8
30	0.3	0.7
40	0.4	0.6

การเตรียมสารละลายโฟลินซิโอแคลตู รีเอเจนต์ อัตราส่วน 1:5

ปิเปตโฟลินซิโอแคลตู รีเอเจนต์ 9 มิลลิลิตร ผสมด้วยน้ำกลั่น 45 มิลลิลิตร ให้เข้ากัน

การเตรียมสารละลายโซเดียมคาร์บอเนตเข้มข้น 7 เปอร์เซ็นต์

ชั่งโซเดียมคาร์บอเนต 3.5070 กรัม ละลายด้วยน้ำกลั่น 50 มิลลิลิตร

การคำนวณหาปริมาณสารพฤกษเคมี

ตัวอย่างการคำนวณ ชั่งตัวอย่างใบกาแฟโรบัสต้าโคลนชุมพร 2 ระยะที่ 1-2 หนัก 50 กรัม ใช้เอทานอลในการสกัด 500 มิลลิลิตร (1 : 10) ทำการสกัดตัวอย่างและเตรียมสารสกัดเป็นเวลา 2 วัน ที่อุณหภูมิห้อง จากนั้นนำสารสกัดตัวอย่าง 25.1 มิลลิกรัม มาวิเคราะห์หาปริมาณสาร ซึ่งวัดค่าการดูดกลืนแสงได้ 0.3410

จากสมการเส้นตรง	y	=	0.0067x + 0.0158
เมื่อ	X	=	ปริมาณสารต้านอนุมูลอิสระในหน่วยมิลลิกรัมต่อลิตร
	y	=	ค่าการดูดกลืนแสง
แทนค่า	0.3410	=	0.0067x + 0.0158

$$X = \frac{0.3410 - 0.0158}{0.0067}$$

X = 48.5373 มิลลิกรัมต่อลิตร

จากการคำนวณพบว่า ตัวอย่างใบกาแฟโรบัสต้าโคลนชุมพร 2 ระยะที่ 1-2 มีปริมาณสารต้านอนุมูลอิสระ 48.5373 มิลลิกรัมต่อลิตร

ใบโคลนชุมพร 2 ระยะที่ 1-2 1,000 มิลลิลิตร มีปริมาณสารต้านอนุมูลอิสระ 48.5373 มิลลิกรัม
ถ้าใบโคลนชุมพร 2 ระยะที่ 1-2 0.40 มิลลิลิตร มีปริมาณสารต้านอนุมูลอิสระเท่ากับ

$$\frac{48.5373 \times 0.40}{1,000} = 0.0194 \text{ มิลลิกรัม}$$

ทำการเจือจางสารสกัด 50 เท่า มีปริมาณสารต้านอนุมูลอิสระเท่ากับ 0.0194 x 50 = 0.9707 มิลลิกรัม ในสารสกัด 25.10 มิลลิกรัม

สารสกัดตัวอย่าง	25.10 มิลลิกรัม	มีปริมาณสารต้านอนุมูลอิสระ 0.9707 มิลลิกรัม
ถ้ามีสารสกัดตัวอย่าง	1,000 มิลลิกรัม	จะมีปริมาณสารต้านอนุมูลอิสระเท่ากับ

$$\frac{0.9707 \times 1,000}{25.10} = 38.6733 \text{ มิลลิกรัม}$$

ดังนั้น สารสกัดใบกาแฟโรบัสต้าโคลนชุมพร 2 ระยะที่ 1-2 หนัก 1 กรัม มีปริมาณสารต้านอนุมูลอิสระ 38.6733 มิลลิกรัม หรือ 38.6733 มิลลิกรัมต่อกรัมของสารสกัดแห้ง

การคำนวณน้ำหนักการเก็บใบกาแฟโรบัสต้าของระยะที่ 1 เพื่อแปรรูปเป็นผลิตภัณฑ์ชาใบกาแฟโรบัสต้า

ใบกาแฟโรบัสต้าระยะที่ 1 มีน้ำหนัก 11.81 กรัมต่อ 100 ใบ (น้ำหนักก่อนแปรรูป) เมื่อนำใบมาแปรูปเป็นชาใบกาแฟโรบัสต้า จะได้น้ำหนัก 2.79 กรัม (น้ำหนักหลังแปรรูป)

ถ้าต้องการชาใบกาแฟโรบัสต้าระยะที่ 1 หนัก 1,000 กรัม (1 กิโลกรัม) จะต้องเก็บใบกาแฟโรบัสต้าระยะที่ 1 หนัก 4,232.97 กรัม หรือเก็บใบระยะที่ 1 จำนวน 35,842 ใบ

จากนั้นบรรจุชาใบกาแฟโรบัสต้าหนัก 2.0 กรัม ลงในซองชา 1 ซอง แต่มีชาใบกาแฟโรบัสต้าระยะที่ 1 หนัก 1,000 กรัม ซึ่งสามารถบรรจุชาใบกาแฟโรบัสต้าระยะที่ 1 ได้ 500 ซอง

ดังนั้น ต้องเก็บใบกาแฟโรบัสต้าระยะที่ 1 หนัก 4,232.97 กรัม นำมาแปรรูปเป็นชาใบกาแฟโรบัสต้าที่มีน้ำหนัก 1,000 กรัม และสามารถนำมาบรรจุเป็นผลิตภัณฑ์ชาใบกาแฟโรบัสต้าได้จำนวน 500 ซอง

ผลิตภัณฑ์ชา 1 เดือน ชงชา 5 นาที

ผลิตภัณฑ์ชา 1 เดือน ชงชา 10 นาที

ผลิตภัณฑ์ชา 1 เดือน ชงชา 15 นาที

ผลิตภัณฑ์ชา 6 เดือน ชงชา 5 นาที

ผลิตภัณฑ์ชา 6 เดือน ชงชา 10 นาที

ผลิตภัณฑ์ชา 6 เดือน ชงชา 15 นาที

ผลิตภัณฑ์ชา 12 เดือน ชงชา 5 นาที

ผลิตภัณฑ์ชา 12 เดือน ชงชา 10 นาที

ผลิตภัณฑ์ชา 12 เดือน ชงชา 15 นาที

ภาพภาคผนวกที่ 3 คุณภาพสีของชาใบกาแฟแต่ละระยะเวลาชงชาต่อระยะการเก็บรักษาชาใบกาแฟโรบัสต้า

ภาพภาคผนวกที่ 4 QR code แบบตั้งโต๊ะ

แบบสอบถามความพึงพอใจในการดื่มผลิตภัณฑ์ชาใบกาแฟโรบัสต้า

ข้อมูลประกอบการทำวิทยานิพนธ์ เรื่อง องค์ประกอบสารพฤกษเคมีในระยะพัฒนาการของใบกาแฟโรบัสต้าและการใช้ประโยชน์เพื่อการผลิตชาใบกาแฟ

1. เพศ ☐ ชาย ☐ หญิง

2. อายุ ☐ ต่ำกว่า 21 ปี ☐ 21-30 ปี ☐ 31-40 ปี
☐ 41-50 ปี ☐ 51-60 ปี ☐ 60 ปีขึ้นไป

3. ท่านบริโภคชาบ่อยครั้งเพียงใด

☐ 1-3 ครั้งต่อสัปดาห์ ☐ 4-7 ครั้งต่อสัปดาห์ ☐ มากกว่า 7 ครั้งต่อสัปดาห์

4. ความพึงพอใจของการชิมชา โดยคะแนน: 9 หมายถึง ชอบมากอย่างยิ่ง 5 หมายถึง ชอบปานกลาง และ 1 หมายถึง ไม่ชอบมากอย่างยิ่ง

การทดสอบชา ด้านประสาทสัมผัส	**คะแนนความพึงพอใจ (กรุณาระบุเครื่องหมาย ✓)**								
	9	**8**	**7**	**6**	**5**	**4**	**3**	**2**	**1**
1. สีของชา									
2. กลิ่นหอมของชา									
3. รสชาติของชา									
4. ความรู้สึกหลังกลืนชา									
5. ความชอบโดยรวมของชา									

5. ท่านคิดว่าชาใบกาแฟมีความน่าสนใจเพียงใด

☐ มากที่สุด ☐ มาก ☐ ปานกลาง ☐ น้อย ☐ น้อยที่สุด

6. ข้อเสนอแนะ

....

....

....

ประวัติผู้เขียน

ชื่อ สกุล พิสมัย อนุสรณ์วาณิช

รหัสประจำตัวนักศึกษา 6010620028

วุฒิการศึกษา

วุฒิ	ชื่อสถาบัน	ปีที่สำเร็จการศึกษา
วิทยาศาสตรบัณฑิต (เกษตรศาสตร์)	มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์	2560

ทุนการศึกษา

1. ทุนอุดหนุนงานวิจัยเพื่อวิทยานิพนธ์ บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์
2. ทุนหน่วยวิจัยกาแฟโรบัสต้า คณะทรัพยากรธรรมชาติ และสำนักวิจัยและพัฒนา

การตีพิมพ์เผยแพร่ผลงานวิจัย

ประชุมวิชาการ

พิสมัย อนุสรณ์วาณิช, อดิเรก รักคง และระวี เจียรวิภา. 2561. ความสัมพันธ์ระหว่างระยะพัฒนาการและลักษณะสัณฐาน-สรีรวิทยาของใบกาแฟโรบัสตา. การประชุมวิชาการพืชสวนแห่งชาติ ครั้งที่ 17 ณ โรงแรมเชียงใหม่ แกรนด์วิว แอนด์ คอนเวนชั่น เซ็นเตอร์ จ. เชียงใหม่ 19-21 พฤศจิกายน 2561 (In press).