ผลของฤดูกาลการเก็บเกี่ยวและอายุการเก็บรักษาต่อการเปลี่ยนแปลงลักษณะทางสรีรวิทยาและองค์ประกอบทางพฤกษเคมีในเมล็ดและใบโกโก้

Effects of Seasonal Harvesting and Shelf Life Pod on Physiological and Phytochemical Changes in Beans and Leaves of Cocoa

นัฐริษา ลิ่มจำเริญ

Nuttarisa Limjumrern

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
2565

ลิขสิทธิ์ของมหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์

ผลของฤดูกาลการเก็บเกี่ยวและอายุการเก็บรักษาต่อการเปลี่ยนแปลงลักษณะทางสรีรวิทยาและองค์ประกอบทางพฤกษเคมีในเมล็ดและใบโกโก้

Effects of Seasonal Harvesting and Shelf Life Pod on Physiological and Phytochemical Changes in Beans and Leaves of Cocoa

นัฐริษา ลิ่มจำเริญ
Nuttarisa Limjumrern

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
2565
ลิขสิทธิ์ของมหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์

ชื่อวิทยานิพนธ์ ผลของฤดูกาลการเก็บเกี่ยวและอายุการเก็บรักษาต่อการเปลี่ยนแปลงลักษณะทางสรีรวิทยาและองค์ประกอบทางพฤกษเคมีในเมล็ดและใบโกโก้

ผู้เขียน นางสาวนัฐริษา ลิ่มจำเริญ

สาขาวิชา พืชศาสตร์

อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก

.....

(รองศาสตราจารย์ ดร.ระวี เจียรวิภา)

คณะกรรมการสอบ

.....ประธานกรรมการ

(ศาสตราจารย์ ดร.สายัณห์ สดุดี)

.....กรรมการ

(รองศาสตราจารย์ ดร.ระวี เจียรวิภา)

.....กรรมการ

(ดร.ทัศนี ขาวเนียม)

บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ อนุมัติให้นับวิทยานิพนธ์ฉบับนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษา ตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาพืชศาสตร์

.....

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. เถกิง วงศ์ศิริโชติ)

รักษาการแทนคณบดีบัณฑิตวิทยาลัย

ขอรับรองว่า ผลงานวิจัยนี้มาจากการศึกษาวิจัยของนักศึกษาเอง และได้แสดงความขอบคุณบุคคลที่มีส่วนช่วยเหลือแล้ว

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

ลงชื่อ .....
(นางสาวนัฐริษา ลิ่มจำเริญ)
นักศึกษา

ข้าพเจ้าขอรับรองว่า ผลงานวิจัยนี้ไม่เคยเป็นส่วนหนึ่งในการอนุมัติปริญญาในระดับใดมาก่อน และไม่ได้ถูกใช้ในการยื่นขออนุมัติปริญญาในขณะนี้

ลงชื่อ .....
(นางสาวนัฐริษา ลิ่มจำเริญ)
นักศึกษา

ชื่อวิทยานิพนธ์ ผลของฤดูกาลการเก็บเกี่ยวและอายุการเก็บรักษาต่อการเปลี่ยนแปลงลักษณะทางสรีรวิทยาและองค์ประกอบทางพฤกษเคมีในเมล็ดและใบโกโก้
ผู้เขียน นางสาวนัฐริษา ลิ่มจำเริญ
สาขาวิชา พืชศาสตร์
ปีการศึกษา 2565

บทคัดย่อ

ฤดูกาลเก็บเกี่ยวอาจจะมีผลต่อการพัฒนาการ ลักษณะทางสัณฐานวิทยา และสรีรวิทยาของใบ รวมถึงคุณภาพผลผลิตหลังการเก็บเกี่ยวโกโก้ เพื่อความชัดเจนในประเด็นนี้ จึงศึกษาเปรียบเทียบในฤดูฝนและฤดูแล้ง ทำการศึกษาอิทธิพลของฤดูกาลเก็บเกี่ยวต่อลักษณะทางกายภาพและองค์ประกอบทางพฤกษเคมีในเมล็ดและใบโกโก้ รวมถึงอุณหภูมิและระยะเวลาในการเก็บรักษาต่อคุณภาพของผลผลิตโกโก้ โดยแบ่งเป็นการทดลองที่ 1 บันทึกข้อมูลลักษณะทางสัณฐานวิทยา และสรีรวิทยาของใบ และลักษณะเมล็ดและคุณภาพด้านกลิ่นรสผลโกโก้ทั้ง 2 ฤดูกาล ส่วนการทดลองที่ 2 ศึกษาผลของระดับอุณหภูมิและระยะเวลาการเก็บรักษาต่อคุณภาพฝักโกโก้ ผลการทดลอง พบว่า ใบโกโก้ที่เก็บเกี่ยวช่วงฤดูฝน มีพื้นที่ใบ น้ำหนักสด น้ำหนักแห้ง รวมถึงพบปริมาณสารพฤกษเคมี ได้แก่ สารต้านอนุมูลอิสระ สารประกอบฟีนอลิก ฟลาโวนอยด์ และแทนนิน มากกว่าการเก็บเกี่ยวในช่วงฤดูแล้ง ขณะเดียวกัน การเก็บเกี่ยวใบโกโก้ในช่วงระยะพัฒนาการที่ 4 (S4) หรือใบมีอายุ 28-34 วัน มีพื้นที่ใบ น้ำหนักสด น้ำหนักแห้งของใบ และน้ำหนักใบจำเพาะมากที่สุด ในขณะที่ใบระยะที่ 1 (S1) อายุ 9-14 วัน ซึ่งเป็นใบที่มีค่าความเป็นสีแดงของใบมากที่สุด พบปริมาณสารพฤกษเคมีมากกว่าใบระยะพัฒนาการอื่น ๆ ส่วนการเก็บเกี่ยวฝักโกโก้ 2 ฤดูกาลเก็บเกี่ยว พบว่า น้ำหนักสดฝัก น้ำหนักสดเมล็ด/ฝัก น้ำหนักสดเฉลี่ยต่อเมล็ด และน้ำหนักแห้งเฉลี่ยต่อเมล็ดมากที่สุด คือ ฝักโกโก้ที่เก็บเกี่ยวในช่วงฤดูฝน มีค่าสูงกว่าอย่างมีนัยสำคัญกับการเก็บเกี่ยวในช่วงฤดูแล้ง ในขณะที่ การเก็บเกี่ยวผลโกโก้ทั้งสองฤดูกาลมีเปอร์เซ็นต์ไขมันในเมล็ดไม่แตกต่างทางสถิติ ทั้งนี้การเก็บเกี่ยวฝักโกโก้ในช่วงฤดูแล้งพบเมล็ดโกโก้แบบ Fully brown ซึ่งเป็นเมล็ดคุณภาพดีมากที่สุด ในขณะที่ การวิเคราะห์กลิ่นรสของเมล็ดโกโก้แห้ง และเมล็ดโกโก้ภายหลังการคั่ว พบว่า เมล็ดโกโก้ที่เก็บเกี่ยวในช่วงฤดูแล้งมีกลิ่นรสที่หลากหลายและซับซ้อนมากกว่าการเก็บเกี่ยวในช่วงฤดูฝน ส่วนในการทดลองที่ 2 พบว่า การเก็บรักษาฝักโกโก้ที่อุณหภูมิ 15 °C มีการสูญเสียน้ำหนักและดัชนีการเกิดสีน้ำตาล น้อยกว่าการเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 29 °C ขณะที่การเก็บรักษาฝักโกโก้ที่ 15 °C มีค่าความสว่าง (L*) ค่ามุมสี (Hue°) และค่าความแน่นเนื้อของผลโกโก้สูงกว่าการเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 29 °C จากการเก็บรักษาที่ 6-10 วัน 2-8 วัน และ 4-8 วัน ตามลำดับ อย่างไรก็ตาม การเก็บรักษาที่อุณหภูมิต่างกันไม่มีอิทธิพลต่อปริมาณของแข็งทั้งหมดที่ละลายน้ำได้ ปริมาณกรดที่ไทเทรตได้ และค่า TSS/TA ของเยื่อหุ้มเมล็ดโกโก้ ดังนั้น การศึกษานี้แสดงให้เห็นว่า การเก็บเกี่ยวในช่วงฤดูฝนส่งผลที่ดีต่อคุณภาพของใบเละฝักโกโก้ เนื่องจากใบมีปริมาณสารพฤกษเคมีสูง เมล็ดเละฝักโกโก้มีคุณภาพทางกายภาพเละกลิ่นรสที่ดี

Thesis Title Effects of Seasonal Harvesting and Shelf Life Pod on Physiological and Phytochemical Changes in Beans and Leaves of Cocoa
Author Miss Nuttarisa Limjumrern
Major Program Plant Science
Academic Year 2022

ABSTRACT

Harvesting season may affect the development, morphology, leaf physiology and quality of cocoa after harvesting. To clarity on this aspect a comparative study in rainy season and dry season was established and physical characteristics and phytochemical constituents in cocoa beans and leaves, and the effect of storage time and temperature on the quality of cocoa production. Was investigational data on morphology and physiology of leaf and seed characteristics, and flavor qualities of cocoa were recorded in both seasons. The results showed that the cocoa leaves harvested during the rainy season had a larger leaf area, a higher weight in fresh and dry, as well as the amount of phytochemicals, such as antioxidants, free phenolic compounds, flavonoids and tannins, than those harvested in the dry season. The study found the highest values of leaf area, fresh and dry weights, and the most specific leaf weight at the last stage (S4) or leaf age of 28-34 days. The leaf age of 9-14 days or the stage 1 (S1) exhibited the highest values of redness and phytochemicals than those of the other stages. In comparing the two harvesting seasons, the fresh pod weight, fresh weight of beans per pod, average fresh weight of cocoa beans, dry weight of cocoa beans and fat content in the cocoa bean during the rainy season were significantly higher than those of the beans harvested during the dry season. In the dry season, harvested cocoa beans were observed in fully brown form, which contained the best quality seeds, with the maximum values of full brown among the treatments. Regarding the raw bean aroma under the external evaluation and organoleptic evaluation, the cocoa beans harvested during the dry season had a richer and more complex flavor than those harvested during the rainy season. In the storage temperature experiment, the weight loss and browning index of cocoa beans stored at 15 °C were significantly less than those stored at 29 °C. Significantly higher numbers of the lightness, hue and firmness of the cocoa's skin were found at the low-

temperature storage during the storage life from 6 to 10 days, 2 to 8 days, and 4 to 8 days, respectively. However, the different storage temperatures did not influence TSS, TA and TSS/TA of the cacao pulp. Thus, this study shows that cocoa harvesting during the rainy season has a positive effect on the quality of cocoa leaves and pods due to the high content of phytochemicals in the leaves, cocoa beans and pods, and their good physical quality and flavor.

กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จลุล่วงได้ด้วยดี ผู้เขียนขอขอบคุณรองศาสตราจารย์ ดร.ระวี เจียรวิภา อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก เป็นอย่างสูงที่ได้เสียสละเวลา ให้ความรู้ ให้ความความช่วยเหลือ ด้วยการให้คำปรึกษา คำแนะนำ และแนวทางการแก้ไขปัญหาการทำการวิจัย ตลอดจนการเขียนและตรวจแก้ไขวิทยานิพนธ์จนสำเร็จลุล่วงไปด้วยดี อีกทั้งยังเป็นผู้สนับสนุนในการทำวิทยานิพนธ์ รวมไปถึงการให้กำลังใจและข้อคิดในด้านต่าง ๆ ทั้งงานวิจัย การเรียน และการใช้ชีวิตประจำวัน รวมทั้ง ศาสตราจารย์ ดร.สายัณห์ สดุดี ประธานในการสอบวิทยานิพนธ์ ดร.ทัศนี ขาวเนียม กรรมการสอบวิทยานิพนธ์ รวมถึง ดร.อดิเรก รักคง ที่ให้คำแนะนำและตรวจสอบปรับแก้เล่มวิทยานิพนธ์ เพื่อให้วิทยานิพนธ์ฉบับนี้สมบูรณ์ยิ่งขึ้น

ขอขอบคุณทุนอุดหนุนงานวิจัยเพื่อวิทยานิพนธ์ บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ ทุนพระราชทานมูลนิธิชัยพัฒนา (โครงการสนับสนุนทุนการศึกษาของมูลนิธิชัยพัฒนา (ภาคใต้) โครงการผลิตและพัฒนาบุคลากรทางการแพทย์ สาธารณสุข การเกษตร และด้านอื่นๆ) และสำนักวิจัยและพัฒนา มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์รวมถึงห้องปฏิบัติการนิเวศสรีรวิทยาพืช และแปลงภาควิชาพืชศาสตร์ คณะทรัพยากรธรรมชาติ ที่ให้ความอนุเคราะห์ในการทำวิจัย

ขอขอบคุณคณาจารย์ภาควิชาพืชศาสตร์ทุกท่านที่ให้ความรู้และคำปรึกษา ขอขอบคุณเจ้าหน้าที่ประจำภาควิชาพืชศาสตร์ (คุณสุภาณี ชนะวีรวรรณ คุณธัชวีร์ ขวัญแก้ว และคุณวันดี อินทร์เจริญ) รวมถึงทุกท่านที่ให้ความช่วยเหลือในเรื่องต่าง ๆ ขอขอบคุณนักศึกษาปริญญาโทและปริญญาเอก สาขานิเวศสรีรวิทยาพืช ภาควิชาพืชศาสตร์ (คุณ Zarni Zaw คุณพรเทพ ธีระวัฒนพงศ์ คุณพิสมัย อนุสรณ์วานิช คุณอนุธิดา ชูแก้ว คุณชุติกาญจน์ แสนเสนาะ คุณเอมฤดี มณีรัตน์ คุณขนิษฐา ปานโบ คุณเวธนี พรหมจันทร์ คุณบุญฑริกา กุลศิลป์) รวมถึงขอขอบคุณนักศึกษาปริญญาโทและปริญญาเอก ภาควิชาพืชศาสตร์ โดยเฉพาะคุณศศิพิมพ์ ภิรมจิตร์ คุณจุฑามาศ แก้วนาบอน คุณศศิวิมล หลีวงศ์ รวมถึงท่านอื่นๆที่ไม่ได้กล่าวถึง ที่มีส่วนช่วยในการเก็บข้อมูล และวิเคราะห์ข้อมูล รวมถึงแบ่งปันข้อมูลความรู้และให้กำลังใจ จนทำให้งานวิจัยนี้สำเร็จลุล่วงด้วยดี

สุดท้ายนี้ขอขอบคุณ คุณย่าอุษา ลิ่มจำเริญ และคุณพ่อเรวัติ ลิ่มจำเริญ เป็นอย่างสูงที่ให้การสนับสนุนในการศึกษาและเป็นกำลังใจที่ดีที่สุดเสมอมา ตลอดจน พี่น้องในครอบครัวที่ค่อยช่วยเหลือในด้านต่าง ๆ จนสำเร็จการศึกษาปริญญาโท

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อ	(5)
Abstract	(6)
กิตติกรรมประกาศ	(8)
สารบัญ	(9)
รายการตาราง	(10)
รายการภาพประกอบ	(11)
รายการภาพภาคผนวก	(13)
บทที่	
1. บทนำ	1
บทนำต้นเรื่อง	1
การตรวจเอกสาร	2
วัตถุประสงค์	11
2. วิธีการวิจัย	12
วัสดุและอุปกรณ์	12
วิธีการ	15
3. ผล	32
4. วิจารณ์	77
5. สรุป	94
เอกสารอ้างอิง	96
ภาคผนวก	107
ประวัติผู้เขียน	108

รายการตาราง

ตารางที่		หน้า
1	น้ำหนักสดของฝักโกโก้ น้ำหนักสดของเมล็ดต่อฝักโกโก้ น้ำหนักสดของเมล็ดโกโก้ น้ำหนักแห้งของเมล็ดโกโก้ ความกว้างของฝักโกโก้ ความยาวของฝักโกโก้ ในแต่ละฤดูกาลเก็บเกี่ยวฝักโกโก้	37
2	การเปลี่ยนแปลงของค่าสีของใบ (L*, a*, b* และ Hue) ในแต่ละฤดูกาลเก็บเกี่ยวใบโกโก้	38
3	ปริมาณไขมัน (%) ของเมล็ดโกโก้ในแต่ละฤดูกาลเก็บเกี่ยวเมล็ดโกโก้	39
4	จำนวนเมล็ดต่อน้ำหนัก 100 กรัมของเมล็ดโกโก้ ความชื้นของเมล็ดโกโก้ และขนาดของเมล็ดโกโก้	41
5	การจำแนกค่าสีเมล็ดโกโก้แต่ละระดับการหมักภายหลังการ Cut test	46
6	การจำแนกระดับการหมักสมบูรณ์ของเมล็ดโกโก้ด้วยวิธี Cut test ในเมล็ดโกโก้จากจังหวัดสงขลา และจังหวัดนครศรีธรรมราชตามช่วงฤดูกาลเก็บเกี่ยวที่แตกต่างกัน	49
7	การประเมินรสชาติทางประสาทสัมผัสก่อนการคั่วและบด และภายหลังการคั่วและบดในเมล็ดโกโก้จากจังหวัดสงขลา และจังหวัดนครศรีธรรมราชตามช่วงฤดูกาลเก็บเกี่ยวที่แตกต่างกัน	51
8	น้ำหนักสดและน้ำหนักแห้งของของใบโกโก้ที่เก็บเกี่ยวในช่วงฤดูแล้งและฤดูฝนตามช่วงระยะพัฒนาการของใบ	56
9	พื้นที่ใบ (LA) น้ำหนักแห้งของใบ (DW) พื้นที่ใบจำเพาะ (SLA) และน้ำหนักใบจำเพาะ (SLW) ในระยะพัฒนาการของใบโกโก้	58
10	การเปลี่ยนแปลงของความเขียวใบ และสีของใบ (a*, b* และ L*) แต่ละระยะพัฒนาการของใบโกโก้	60
11	ปริมาณคลอโรฟิลล์ เอ คลอโรฟิลล์ บี คลอโรฟิลล์ทั้งหมด และแคโรทีนอยด์ในระยะพัฒนาการของใบโกโก้	61
12	ปริมาณสารต้านอนุมูลอิสระภายในใบโกโก้ตามช่วงระยะพัฒนาการของใบ	62
13	ปริมาณสารแทนนินภายในใบโกโก้ตามช่วงระยะพัฒนาการของใบ	64
14	ปริมาณสารประกอบฟีนอลิกภายในใบโกโก้ตามช่วงระยะพัฒนาการของใบ	65
15	ปริมาณสารประกอบฟลาโวนอยด์ภายในใบโกโก้ตามช่วงระยะพัฒนาการของใบ	66
16	ปริมาณสารแคทีชินภายในใบโกโก้ตามช่วงระยะพัฒนาการของใบ	68

รายการภาพประกอบ

ภาพที่		หน้า
1	ระยะพัฒนาการของใบโกโก้ตามช่วงสีของใบและอายุของใบ แบ่งเป็น 4 ระยะ โดยระยะที่ 1 (S1) ใบสีแดง อายุ 9-14 วัน ระยะที่ 2 (S2) ใบสีน้ำตาลอ่อน อายุ 15-20 วัน ระยะที่ 3 (S3) ใบสีเขียวอ่อน อายุ 21-27 วัน และระยะที่ 4 (S4) ใบมีอายุ 28-34 วัน ใบสีเขียวเข้ม	21
2	a*, b* และ h° chromaticity in diagram ของ CIELAB	29
3	ความสัมพันธ์ระหว่างน้ำหนักสดและน้ำหนักแห้งของเมล็ดโกโก้ (n=119)	32
4	ความสัมพันธ์ระหว่างน้ำหนักสดของเมล็ดโกโก้และน้ำหนักสดของจำนวนเมล็ดต่อฝักของโกโก้ (n=187)	33
5	ความสัมพันธ์ระหว่างน้ำหนักสดฝักโกโก้และขนาดฝักโกโก้ (กว้าง×ยาว) (n=205)	34
6	ความสัมพันธ์ระหว่างน้ำหนักสดฝักโกโก้และความยาวของฝักโกโก้ (n=205)	35
7	ความสัมพันธ์ระหว่างน้ำหนักสดฝักโกโก้และความกว้างของฝักโกโก้ (n=205)	36
8	ความสัมพันธ์ระหว่างระดับการหมักสมบูรณ์ของเมล็ดโกโก้ (OD 460/530) และความสว่าง (L*) (a) ค่าความเป็นสีแดง (a*) (b) ค่าความเป็นสีเหลือง (b*) (c) และค่ามุมสี (h°) (d) ของเมล็ดโกโก้ (n=26)	43
9	การจำแนกลักษณะผิดปกติของเมล็ดโกโก้ด้วยวิธีการ Cut test ในเมล็ดโกโก้จากจังหวัดสงขลา และจังหวัดนครศรีธรรมราชตามช่วงฤดูกาลเก็บเกี่ยวที่แตกต่างกัน	50
10	การประเมินรสชาติทางประสาทสัมผัส ความฝาด ความขม และความเปรี้ยวของเมล็ดโกโก้จากจังหวัดสงขลา และจังหวัดนครศรีธรรมราชตามช่วงฤดูกาลเก็บเกี่ยวที่แตกต่างกัน	53
11	การประเมินรสชาติทางประสาทสัมผัสโดยรวมของเมล็ดโกโก้จากจังหวัดสงขลา และจังหวัดนครศรีธรรมราชตามช่วงฤดูกาลเก็บเกี่ยวที่แตกต่างกัน	53
12	การเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิ และความชื้นสัมพัทธ์ในอากาศบริเวณแปลงทดลอง จังหวัดสงขลา ระหว่างเดือน มีนาคม พ.ศ.2563 ถึงมีนาคม พ.ศ.2564	54
13	ความสัมพันธ์ระหว่างน้ำหนักสดกับน้ำหนักแห้งของใบโกโก้ (n=177) ซึ่งแบ่งเป็น 4 ระยะ โดยระยะที่ 1 (S1) ใบสีแดงจนถึงสีน้ำตาลอ่อน ใบมีอายุ 9-14 วัน ระยะที่ 2 (S2) ใบสีเขียวแกมเหลือง ใบมีอายุ 15-20 วัน ระยะที่ 3 (S3) ใบสีเขียวอ่อน ใบมีอายุ อายุ 21-27 วัน และระยะที่ 4 (S4) ใบมีอายุ 28-34 วัน ใบสีเขียวเข้ม	55
14	ความสัมพันธ์ระหว่างพื้นที่ใบวัดด้วยเครื่องวัดพื้นที่ใบกับวัดด้วยไม้บรรทัดของใบโกโก้ (n=133)	59
15	เปอร์เซ็นต์การสูญเสียน้ำหนักของผลโกโก้ในระหว่างการเก็บรักษาที่อุณหภูมิต่ำ (15 °C) และอุณหภูมิห้อง (29 °C)	70
16	เปอร์เซ็นต์การเกิดสีน้ำตาลของผลโกโก้ในระหว่างการเก็บรักษาที่อุณหภูมิต่ำ (15 °C) และอุณหภูมิห้อง (29 °C)	71
17	การพัฒนาสีผลของผลโกโก้ในระหว่างการเก็บรักษาที่อุณหภูมิต่ำ (15 °C) และอุณหภูมิห้อง (29 °C)	72

รายการภาพประกอบ

ภาพที่		หน้า
18	ค่าความสว่าง (L*) ของเปลือกผลโกโก้ในระหว่างการเก็บรักษาที่อุณหภูมิต่ำ (15 °C) และอุณหภูมิห้อง (29 °C)	73
19	ค่ามุมสี (Hue°) ของเปลือกผลโกโก้ในระหว่างการเก็บรักษาที่อุณหภูมิต่ำ (15 °C) และอุณหภูมิห้อง (29 °C)	74
20	ความแน่นเนื้อของผลโกโก้ในระหว่างการเก็บรักษาที่อุณหภูมิต่ำ (15 °C) และอุณหภูมิห้อง (29 °C)	75
21	ปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำได้ ปริมาณกรดที่ไทเทรตได้ และสัดส่วนของปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำได้ต่อปริมาณกรดที่ไทเทรตได้ (TSS/TA) ของเยื่อหุ้มเมล็ดโกโก้ในระหว่างการเก็บรักษาที่อุณหภูมิทั้ง 2 ระดับ	76

รายการภาพภาคผนวก

ภาพภาคผนวกที่		หน้า
1	ความสัมพันธ์ระหว่างค่าความเขียวของใบ ต่อปริมาณคลอโรฟิลล์เอ คลอโรฟิลล์บี คลอโรฟิลล์ทั้งหมด และแคโรทีนอยด์ของใบโกโก้ (n=106) ตามระยะพัฒนาการของใบโกโก้ ซึ่งแบ่งเป็น 4 ระยะ โดยระยะที่ 1 (S1) ใบสีแดงจนถึงสีน้ำตาลอ่อน ใบมีอายุ 9-14 วัน ระยะที่ 2 (S2) ใบสีเขียวแกมเหลือง ใบมีอายุ 15-20 วัน ระยะที่ 3 (S3) ใบสีเขียวอ่อน ใบมีอายุอายุ 21-27 วัน และระยะที่ 4 (S4) ใบมีอายุ 28-34 วัน ใบสีเขียวเข้ม	107

บทที่ 1

บทนำ

บทนำต้นเรื่อง

โกโก้ (Cocoa) มีชื่อทางวิทยาศาสตร์ว่า *Theobroma cacao* L. ได้รับความนิยมจากผู้บริโภคมากขึ้นในปัจจุบันเพราะมีสารอาหารที่สำคัญที่เป็นประโยชน์คือสารต้านอนุมูลอิสระ พบมากในส่วนของเมล็ด โดยชนิดของสารต้านอนุมูลอิสระที่พบประกอบด้วย สารต้านอนุมูลอิสระ สารประกอบฟีนอลิก สารประกอบฟีนอล สารแทนนิน กรดแกลลิก สารแอนโทไซยานิน ในปัจจุบันเกษตรกรนิยมปลูกโกโก้ร่วมกับพืชชนิดอื่นเพื่อเพิ่มรายได้ พืชที่ปลูกร่วม ได้แก่ ยางพารา ปาล์มน้ำมัน มะพร้าว ทุเรียน มังคุด ลองกอง เป็นต้น (ผานิต และปิยนุช, 2562) ใบเป็นองค์ประกอบหนึ่งของพืชที่นิยมนำมาใช้ประโยชน์ทางด้านสุขภาพ จะเห็นได้จากผลิตภัณฑ์ที่วางขายอยู่ในท้องตลาด ได้แก่ ชาใบหม่อน ใบชาเขียว เป็นต้น นอกจากนี้มีการนำใบมาใช้ประโยชน์ทางยาอย่างหลากหลาย โดยทั่วไปมีประโยชน์ต่อสุขภาพ มีสรรพคุณ ได้แก่ ลดไขมันในเลือด ลดความดันโลหิต ต้านการอักเสบ ลดน้ำตาลในเลือด ต้านอนุมูลอิสระ (ณชกนก และอนงค์, 2563) เนื่องจากในใบโกโก้มีสารพฤกษเคมีสำคัญหลายชนิด ได้แก่ สารประกอบฟีนอลิก (Phenolic compound) แทนนิน (Tannin) ฟลาโวนอยด์ (Flavonoid) แคทีชิน (Catechin) กรดแกลลิก (Gallic acid) และสารแอนโทไซยานิน (Anthocyanin) เป็นต้น (Osman *et al.,* 2004) อีกทั้งในใบโกโก้ยังอุดมไปด้วยไฟเบอร์ โดยที่ไฟเบอร์ช่วยป้องกันป้องกันการทำลายจากปฏิกิริยาออกซิเดชั่น ร่วมกันกับสารประกอบฟีนอลิก (Epicatechin) (Araujo *et al.,* 2017a) โดยสารพฤกษเคมีเหล่านี้มีผลต่อสรรพคุณทางยา และประโยชน์ทางโภชนาการ ลดไขมันและน้ำตาลในเลือด ลดความเสี่ยงจากโรคหัวใจ ต้านอนุมูลอิสระและป้องกันโรคที่เกิดจากปฏิกิริยาออกซิเดชั่นในร่างกาย (Araujo *et al.,* 2017b) ในส่วนของการพัฒนาทางด้านกลิ่นและรสชาติของช็อกโกแลตที่ดีขึ้นอยู่กับหลายๆ ปัจจัยตั้งแต่ต้นน้ำถึงปลายน้ำ (กระบวนการผลิตไปจนถึงการแปรรูป)

ปัจจุบันการใช้ประโยชน์จากส่วนต่างๆ ของพืชเป็นทางเลือกทางด้านสุขภาพอย่างหนึ่งที่นิยมกันอย่างแพร่หลาย เนื่องจากมีฤทธิ์ต้านออกซิเดชัน และมีส่วนช่วยลดความเสี่ยงจากอนุมูลอิสระได้ โดยนำมาศึกษาผลของช่วงระยะพัฒนาการ และฤดูกาลเก็บเกี่ยวต่อปริมาณสารพฤกษเคมีในใบโกโก้ ตามสภาพอากาศที่เปลี่ยนแปลงไปตามแต่ละฤดูกาล นอกจากการเปลี่ยนแปลงของสารพฤกษเคมีในใบ อิทธิพลของฤดูกาลยังอาจมีผลต่อสรีรวิทยาและคุณภาพของเมล็ดโกโก้ การวิจัยนี้จึงศึกษาช่วงระยะพัฒนาการของใบ และฤดูกาลเก็บเกี่ยวที่แตกต่างกันมีผลต่อปริมาณสารพฤกษเคมีในใบโกโก้ รวมถึงศึกษาอิทธิพลของฤดูกาลเก็บเกี่ยวผลโกโก้ต่อลักษณะทางกายภาพ และคุณภาพด้านกลิ่นรสของเมล็ดโกโก้

การตรวจเอกสาร

1. ความสำคัญทางเศรษฐกิจของโกโก้

ต้นโกโก้เป็นไม้ยืนต้นขนาดเล็ก อยู่ในสกุล *Theobroma* พบมากในป่าแอมะซอน และพื้นที่เขตร้อนของอเมริกาใต้และอเมริกากลาง ในสกุลเดียวกันมีมากกว่า 20 สปีชีส์ มีเพียงสกุล *Theobroma cacao ที่*ปลูกกันอย่างแพร่หลาย (Wood, 1985a) ในประเทศไทยโกโก้เป็นพืชที่มีความต้องการของตลาดสูงเพื่อนำไปใช้ประโยชน์ในภาคอุตสาหกรรมการแปรรูปโกโก้ ไม่ว่าจะเป็นอุตสาหกรรมการผลิตช็อกโกแลต อุตสาหกรรมลูกอมและลูกกวาด อุตสาหกรรมเครื่องดื่มช็อกโกแลต อุตสาหกรรมเบเกอรี่ อุตสาหกรรมยา อุตสาหกรรมยาสูบ และอุตสาหกรรมเครื่องสำอางที่นิยมใช้ เนยโกโก้ หรือ Cocoa butter ซึ่งมีคุณสมบัติในการละลายที่เหมาะสมกับการนำไปทำเครื่องสำอาง จากประโยชน์ที่ได้กล่าวข้างต้นส่งผลให้โกโก้เป็นที่น่าจับตามองทั้งนโยบายการส่งเสริมการปลูกของภาครัฐ นอกจากนั้นโกโก้เป็นพืชอีกทางเลือกหนึ่งที่น่าสนใจปลูกเพื่อเพิ่มรายได้ในสวนยางพารา และปาล์มน้ำมัน เนื่องจากการปลูกโกโก้สามารถปลูกร่วมกับป่าไม้ หรือร่วมไม้เศรษฐกิจอื่นๆ ได้แก่ มะพร้าว ยางพารา ปาล์มน้ำมัน เป็นต้น (ผานิต, 2548)

2. ลักษณะทางพฤษศาสตร์ของต้นโกโก้

2.1 ลักษณะต้น

โกโก้เป็นไม้ผลยืนต้นที่เจริญเติบโตได้ดีในสภาพภูมิอากาศร้อนชื้น โดยเฉพาะประเทศที่ตั้งอยู่ในเขตเส้นศูนย์สูตรและประเทศที่มีอุณหภูมิอยู่ระหว่าง 15-30 องศาเซลเซียส อุณหภูมิที่เหมาะสมต่อการเจริญเติบโตของโกโก้สูงสุดอยู่ในช่วง 30-35 องศาเซลเซียส และอุณหภูมิต่ำสุดอยู่ในช่วง 18-21 องศาเซลเซียส อุณหภูมิที่โกโก้เจริญเติบโตได้ดีทำให้โกโก้ให้ผลผลิตฝักสดสูงถึง 2,000 กิโลกรัมต่อแฮกแตร์ ต้นโกโก้ต้องการน้ำฝนสม่ำเสมอตลอดปี เนื่องจากต้นโกโก้มีความไวต่อการขาดน้ำในดิน จึงควรปลูกในพื้นที่มีฝนตกชุก และกระจายตัวได้ดีตลอดปี ระดับปริมาณน้ำฝนรายปีเฉลี่ยควรอยู่ระหว่าง 1,500 ถึง 2,000 มิลลิเมตร และในช่วงฤดูแล้งควรมีปริมาณน้ำฝนไม่น้อยกว่า 100 มิลลิเมตร ต่อเดือน สภาพแล้งติดต่อกันเกินสามเดือนจึงควรมีการให้น้ำ (กรมส่งเสริมการเกษตร, 2561) ทางด้านความชื้นของอากาศเป็นสิ่งจำเป็นสำหรับการพัฒนาเติบโตของต้นโกโก้ ประเทศที่ผลิตโกโก้ได้ดี มักมีความชื้นสัมพัทธ์อยู่ในช่วง 70-100 เปอร์เซ็นต์ (International Cocoa Organization, 2012) ต้นโกโก้เป็นพืชที่ใช้แสงในการเจริญเติบโตได้อย่างมีประสิทธิภาพ โดยอาศัยร่มเงาจากร่มไม้ชนิดอื่น ในระยะต้นกล้าต้องการแสงเพียง 30 เปอร์เซ็นต์ เมื่ออายุต้นมากขึ้นต้องการแสงมากขึ้นเป็น 70 เปอร์เซ็นต์ (ผานิต, 2548)

ผานิต (2548) รายงานว่า โกโก้พันธุ์ลูกผสมชุมพร 1 มีความสูงของต้นประมาณ 7-9 เมตร ใบมีความกว้างเฉลี่ย 12.4±1.9 เซนติเมตร ยาวเฉลี่ย 34.1±5.0 เซนติเมตร ปลายใบแหลม ดอกมีสีเขียวอ่อน ขนาดเท่าหัวเข็มหมุด ก้านดอกมีสีเขียวยาวประมาณ 1.5 เซนติเมตร ลักษณะผลป้อมไม่มีคอ ก้นไม่แหลม ผิวผลเรียบ ร่องค่อนข้างตื้น เมล็ดมีเนื้อเป็นสีม่วงมีขนาดตรงตามมาตรฐานสากล คือ ไม่เกิน 110 เมล็ดต่อน้ำหนักแห้ง 100 กรัม และมีเปอร์เซ็นต์ไขมันสูงประมาณ 57.27 เปอร์เซ็นต์ ลักษณะการผสมเกสรเป็นพวกผสมข้าม เริ่มติดผลและเก็บเกี่ยวได้ในปีที่ 2 หลังจากปลูก

2.2 ลักษณะผล

ผานิต (2548) รายงานว่า โกโก้เป็นไม้ผลเขตร้อนชื้น มีต้นกำเนิดในลุ่มน้ำแอมะซอน รูปทรงและสีของผลโกโก้มีหลากหลายแตกต่างกันตามชนิด สายพันธุ์ หรือโคลน ทั้งสีเหลือง สีม่วง สีเขียว หรือสีฟ้า ผลโกโก้เจริญเติบโตจนกระทั่งสุกแก่ทางสรีรวิทยาใช้เวลา 5 เดือนมีความยาวประมาณ 10 เซนติเมตร ผลโกโก้ 1 ผลมีเมล็ด 20-40 เมล็ด ห่อหุ้มด้วยเยื่อหุ้มเมล็ดสีขาวขุ่น มีรสเปรี้ยวอมหวาน เนื้อเมล็ดมีสีม่วงเข้มหรือสีแดง มีกลิ่นหอมเฉพาะตัว เมื่อนำมาหมัก ตาก และคั่วแล้ว จะได้เมล็ดโกโก้สีน้ำตาลแก่ใช้สำหรับทำช็อกโกแลต

เมื่อผลเจริญเติบโตและพัฒนาจนถึงที่สุดแล้ว จะเกิดการเสื่อมสภาพทางสรีรวิทยา ในทางการเกษตรการเก็บเกี่ยวผลิตผลมาใช้ประโยชน์ ความแก่ของผลแต่ละชนิดขึ้นกับการใช้ประโยชน์ (สังคม, 2542) ระยะการสุกแก่ของผล และเมล็ดโกโก้ เป็นระยะที่พร้อมเก็บเกี่ยวโดยการเปลี่ยนสีของฝักจากสีเขียวเป็นสีเหลือง แดง หรือสีอื่นๆ ตามชนิด และพันธุ์ ผลโกโก้สุกแก่ทางสรีรวิทยาใช้ระยะเวลา 150 วันหลังจากดอกบาน และจะทำการเก็บเกี่ยวภายใน 170 วันหลังจากดอกบาน (ชีพลักษณ์การเจริญเติบโต: BBCH 85) (Niemenak *et al*., 2010) ขณะที่ Packiyasothy และคณะ (1981) รายงานว่า การเก็บเกี่ยวโกโก้ที่ยังไม่สุกเต็มที่มาหมักเมล็ดมีปริมาณไขมันต่ำ มีน้ำตาลอิสระในเยื่อหุ้มเมล็ดต่ำ ส่งผลให้เมื่อหมักมีปริมาณเอทานอลต่ำ

2.3 ลักษณะใบ

ลักษณะสัณฐานของใบแตกต่างกันไปตามชนิด สายพันธุ์ รวมถึงสภาพแวดล้อมในพื้นที่ปลูก ใบที่คลี่ออกมาใหม่อาจมีสีเขียวอ่อนหรือเฉดสีแดง มีลักษณะอ่อนนุ่มและมีขนอ่อนละเอียดปกคลุมทั่วแผ่นใบ โดยแผ่นใบจะค่อยๆ แข็งขึ้น ใบสีแดง เปลี่ยนเป็นสีเขียวในระยะใบพัฒนาเต็มที่ ซึ่งระยะเวลาในการพัฒนาของใบขึ้นอยู่กับปัจจัยสภาพแวดล้อมเป็นสำคัญ ปริมาณสารพฤกษเคมีในใบเป็นตัวบ่งชี้ที่ดีถึงความสมบูรณ์ของต้นโกโก้ มีการศึกษาพบว่า อุณหภูมิและความชื้นในดินเป็นปัจจัยควบคุมหลักที่ส่งผลต่อสรีรวิทยาด้านต่างๆ ของโกโก้ ในประเทศบราซิลพบว่า การแตกใบใหม่และพัฒนาการของใบมีปฏิสัมพันธ์กับช่วงระยะเวลาความเครียด เนื่องจากการขาดความชื้นของดิน

(Wood, 1985a) นอกจากนี้ ผานิต (2548) รายงานว่า ปริมาณความเข้มแสงมีผลต่อขนาดของใบและความหนาของใบโกโก้ รวมทั้งปริมาณคลอโรฟิลล์ในใบโกโก้ โดยใบโกโก้ที่อยู่ใต้ร่มเงาหนาทึบ มีขนาดใหญ่และมีสีเขียวเข้มกว่าใบโกโก้ที่ได้รับแสงเต็มที่ Niemenak และคณะ (2010) ศึกษาระยะพัฒนาทางชีพจักร (Phenology) ของต้นโกโก้ที่ระยะ BBCH stage 110 ใบที่คลี่ออกมาใหม่ในระยะเริ่มแรกจะมีสีเขียวอ่อนหรือแดงขึ้นอยู่กับพันธุ์ปลูก เมื่อระยะที่ใบขยาย 20-50 เปอร์เซ็นต์ ของขนาดใบเจริญเต็มที่ (BBCH 112-115) จะใช้เวลาในการพัฒนาขนาดใบเจริญเต็มที่ ประมาณ 4 สัปดาห์หลังจากแตกตาใบ

3. ชนิดและพันธุ์โกโก้

Wood (1985a) ได้อธิบายว่า โกโก้เป็นไม้ผลยืนต้นขนาดกลาง มีถิ่นกำเนิดมาจากบริเวณป่าลุ่มแม่น้ำแอมะซอนและบริเวณตอนใต้และอเมริกากลาง สายพันธุ์โกโก้ที่ถูกค้นพบมีมากกว่า 20 สายพันธุ์ แต่มีเพียงชนิดเดียวในสกุลโกโก้นั่นก็คือ *Theobroma cacao* L. ที่นิยมนำมาใช้ผลิตและแปรรูปเป็นช็อกโกแลต *T. cacao* L. นิยมปลูกเป็นจำนวนมากในเชิงการค้าของประเทศต่างๆ มีหลายชนิดย่อย แต่เนื่องจากทั้งหมดมีจำนวนโครโมโซมเท่ากัน คือ 2n = 20 จึงสามารถผสมพันธุ์กันได้ ปัจจุบันได้แบ่งโกโก้เหล่านี้ออกเป็น 3 กลุ่มใหญ่ๆ ได้แก่ พันธุ์คริโอลโล่ พันธุ์ฟอรัสเทอร์โร่ พันธุ์ทรีนิตาริโอ ปัจจุบันพันธุ์โกโก้ที่ใช้ปลูกในเชิงการค้านั้นส่วนใหญ่จะเป็นลูกผสม เช่น Upper Amazon x Upper Amazon, Upper Amazon x Trinitario, Amelonado x Upper Amazon หรือ Amelonado x Trinitario เนื่องจากโกโก้ลูกผสมนั้นได้รับการปรับปรุงคุณภาพในด้านต่างๆ ให้ดีขึ้นกว่าพันธุ์พ่อพันธุ์แม่ที่มีอยู่เดิม ไม่ว่าจะเป็นเรื่องการเจริญเติบโต การให้ผลผลิต คุณภาพและขนาด ความทนทานต่อโรคและแมลง

สำหรับพันธุ์โกโก้ในประเทศไทย ผานิต (2548) รายงานว่า มีการค้นคว้าวิจัยพัฒนาพันธุ์โกโก้ที่ศูนย์วิจัยพืชสวนชุมพร เพื่อเปรียบเทียบพันธุ์โกโก้ลูกผสมจากประเทศมาเลเซีย จำนวน 14 สายพันธุ์เพื่อคัดเลือกหาพันธุ์ดีโดยเปรียบเทียบกับพันธุ์ที่เกษตรกรปลูกอยู่เดิม ผลการทดลองตั้งแต่ปี พ.ศ. 2524-2536 พบว่าโกโก้ลูกผสม Parinari 7x Nanay 32 (Pa7 x Na32) เป็นลูกผสมที่ดีทั้งในด้านการให้ผลผลิตและคุณภาพของเมล็ดเหมาะที่จะใช้เป็นพันธุ์ปลูกสำหรับเกษตรกรจึงได้มีการขึ้นทะเบียนรับรองพันธุ์พืชตามพระราชบัญญัติพันธุ์พืช พ.ศ. 2518 และได้ตั้งชื่อพันธุ์ดังกล่าวว่า “โกโก้ลูกผสมชุมพร 1” ซึ่งเป็นพันธุ์โกโก้ลูกผสมที่ดีทั้งในด้านการให้ผลผลิต และคุณภาพของเมล็ด ซึ่งเหมาะสมกับพื้นที่ปลูกโกโก้ทางภาคใต้ของประเทศไทย

4. การเก็บรักษาหลังการเก็บเกี่ยว

International Cocoa Organization (2012) รายงานว่า ฝักที่บรรจุเมล็ดโกโก้เติบโตจากลำต้นและกิ่งก้านของต้นโกโก้ การเก็บเกี่ยวอาจเก็บโดยการเด็ดฝักโกโก้ให้หลุดจากขั้วผลหรือการตัดขั้วผลด้วยมีดหรือกรรไกร โดยทั่วไปจะทำการแยกเมล็ดออกจากฝักภายในแปลงเพาะปลูกโดยที่เมล็ดจะถูกส่งไปเพื่อเข้าสู่ขั้นตอนการหมัก ส่วนเปลือก (Husks) สามารถนำมาใช้เป็นปุ๋ยเพื่อคืนธาตุอาหารสู่ดิน เทคนิคที่ใช้ปรับปรุงคุณภาพการหมักในบางประเทศ หลังการเก็บเกี่ยวผลิตผลจากต้นโกโก้แล้ว จะบ่มโกโก้ภายในผล 2-3 วัน ก่อนทำการผ่าฝักโกโก้แยกส่วนของเมล็ดโกโก้ออกจากผลเพื่อเตรียมนำไปหมัก ในประเทศมาเลเซียใช้เทคนิคการเก็บรักษาฝักโกโก้ 2-3 วัน ก่อนนำไปหมักเพื่อลดระดับความเป็นกรดในเมล็ดโกโก้ เพื่อช่วยลดความเปรี้ยวซึ่งเป็นลักษณะไม่พึงประสงค์ของผลิตภัณฑ์ที่ได้จากโกโก้ (Hinneh *et al.,* 2018) ในประเทศ Ghana นิยมเก็บรักษาฝักโกโก้ภายหลังการเก็บเกี่ยว 3 ถึง 7 วัน ทำให้การเก็บฝักโกโก้ไว้ก่อนหมักช่วยให้อุณหภูมิของกองหมักเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็วได้ (Wood, 1985b) นอกจากนี้ การเก็บรักษาฝักโกโก้ก่อนหมักทำให้มีการสร้างกรดแลคติคเข้าไปในเมล็ดเพิ่มขึ้น หากมีการบ่มเป็นเวลา 7 วัน (อรัญ และคณะ, 2541) อย่างไรก็ตาม Wood (1985b) รายงานว่า การเก็บรักษาฝักโกโก้นานเกินไปอาจทำให้เกิดแบคทีเรียที่ทำหน้าที่สลายโปรตีนในสภาพไร้อากาศ (Putrefactive bacteria) สูงขึ้น รวมถึงทำให้เกิดความเสื่อมสภาพของเมล็ดโกโก้ และการงอกของเมล็ดโกโก้ภายในฝักเพิ่มขึ้น

5. การประเมินคุณภาพของเมล็ดโกโก้

5.1 ผลของกระบวนการหมักต่อกลิ่นรสของเมล็ดโกโก้

กระบวนการหมักมีความสำคัญต่อการพัฒนาด้านกลิ่นรสของเมล็ดโกโก้ โดยระยะเวลาการหมักโกโก้แตกต่างกันตามสายพันธุ์ของโกโก้ สำหรับโกโก้สายพันธุ์ Forastero ใช้เวลา 5-6 วัน ในการหมัก ในขณะที่เมล็ดโกโก้สายพันธุ์ Criollo ใช้เวลาในการหมัก 1-3 วัน ในวันแรกของการหมักทำการระบายของเหลวจากเยื่อหุ้มเมล็ดออก อุณหภูมิภายในกองหมักค่อยๆ สูงขึ้นอย่างต่อเนื่อง (Afoakwa *et al*., 2008) จุลินทรีย์ภายในกองหมักมีการสร้างกรดอะซีติกและเอทานอลที่มีผลยับยั้งการงอกรวมถึงการเริ่มต้นของเอนไซม์ และสารตั้งต้นด้านกลิ่นรส (อรพิน และคณะ, 2540) กระบวนการนี้เกิดขึ้นระหว่าง 24-48 ชั่วโมงแรกของการหมัก เมื่อถึงวันที่ 3 ของการหมักเมล็ดโกโก้มีความร้อนภายในกองหมักประมาณ 45-50 องศาเซลเซียส การกลับกองเมล็ดโกโก้ควรทำในช่วง 3 วันแรกของการหมัก หลังจากนั้นหมักไว้จนกระทั่งเสร็จสิ้นกระบวนการหมัก (ผานิต, 2548) อรพิน และคณะ (2540) รายงานว่า ในระหว่างการหมักกรดอินทรีย์จะแพร่เข้าสู่เมล็ด ค่า pH ของเมล็ดโกโก้ที่ผ่านกระบวนการหมักควรอยู่ในช่วง 4.75-5.19 ซึ่งนำไปสู่การก่อตัวของกลิ่นรสของเมล็ดโกโก้ได้ดี

5.2 การประเมินการหมักสมบูรณ์ของเมล็ดด้วยวิธี Cut test

การประเมินคุณภาพของเมล็ดโกโก้โดยประเมินดัชนีการหมัก (Fermentation index) ด้วยวิธีการ Cut test ซึ่งเป็นวิธีการจำแนกประเภทคุณภาพเมล็ดโกโก้จากสีเมล็ด (Tee *et al*., 2018) ซึ่งบ่งบอกถึงระดับความฝาด ความขม รวมถึงความผิดปกติของกลิ่นรส ได้แก่ กลิ่นควัน รสชาติเปรี้ยวจากความเป็นกรดที่มากเกินไป (Bariah, 2017) ในระหว่างการหมักจะเกิดการพัฒนาของสีภายในเมล็ด ระดับของการหมักสามารถจำแนกจากการทดสอบ Cut test ด้วยวิธีการผ่าเมล็ดตามแนวยาว โดยเมล็ดที่ผ่านกระบวนการหมักสมบูรณ์พื้นผิวหน้าตัดจะมีสีน้ำตาลทั่วทั้งเมล็ด (Fully brown) เป็นเมล็ดที่มีคุณภาพดีตามมาตรฐานสากล เนื่องจากผ่านการเกิดปฏิกิริยาที่มีเอนไซม์โพลีฟีนอลออกซิเดสเป็นตัวเร่งอย่างสมบูรณ์ ส่งผลให้เกิดการสลายตัวของรงควัตถุสีม่วงของแอนโทไซยานินในระหว่างการหมัก เช่น cyanidin-3-b-D-galactosid และ cyanidin-3-a-Larabinosid ซึ่งมีส่วนช่วยในการพัฒนาได้เป็นเมล็ดที่มีสีน้ำตาล (Afoakwa *et al.,* 2008; Bariah, 2017) ในขณะที่เมล็ดโกโก้ที่ไม่ผ่านการหมักจะมีสีเทา (Slaty) และมีรสชาติฝาดมากที่สุด รองลงมาคือ เมล็ดผ่านกระบวนการหมักไม่สมบูรณ์จะมีสีม่วง (Fully purple หรือ Partly brown) และมีรสชาติขม การประเมินคุณภาพของเมล็ดโกโก้ที่นิยมอีกวิธีการ คือ การประเมินระดับของการหมักสมบูรณ์ของเมล็ด (Fermentation index; FI) ซึ่งได้จากการอ่านค่าดูดกลืนแสงของสารสกัดเมล็ดโกโก้และคำนวณสัดส่วนระหว่างค่าดูดกลืนแสงที่ 460 และ 530 นาโนเมตร (Tee *et al*., 2018)

Browning index (BI) หรือดัชนีการหมัก (FI) โดยทั่วไปเมล็ดโกโก้ที่ไม่ผ่านการหมักค่า BI ต่ำกว่า 1 ในขณะที่เมล็ดที่ผ่านการหมักอย่างสมบูรณ์ค่า BI อยู่ระหว่าง 1.00 ถึง 1.59 รวมถึงเมล็ดโกโก้ที่มีค่า BI มากกว่า 1.60 โดย BI ที่มากกว่า 1.60 อาจทำให้เมล็ดโกโก้เกิดการหมักมากเกินไป (Sulaiman and Yang, 2015) จากการศึกษาของ Bariah (2017) พบว่าค่า BI ที่อยู่ในช่วงที่เหมาะสมจากการหมัก เกิดจากการเก็บรักษาฝัก 4-6 วันก่อนการหมัก ใช้เวลาในการหมัก 48 ชั่วโมง ในขณะที่การไม่เก็บรักษาฝัก และการเก็บรักษาฝัก 2 วันก่อนการหมัก ต้องใช้เวลาในการหมัก 72 ชั่วโมง Romero-Cortes และคณะ (2013) รายงานว่าเมล็ดโกโก้สามารถเกิดกระบวนการหมักสมบูรณ์ได้โดยไม่คำนึงถึงระยะเวลาในการหมัก โดยจากสังเกตจากค่าดัชนีการหมัก พบดัชนีการหมักมากกว่า 1.00 ภายหลังการหมักเป็นเวลา 72 ชั่วโมง และภายหลังการหมักเป็นเวลา 5 วัน ส่งผลให้ดัชนีการหมักมากกว่า

5.3 การประเมินด้านกลิ่นรส

ตัวบ่งชี้ที่ใช้ในการวัดคุณภาพของเมล็ดโกโก้ เช่น ลักษณะทางกายภาพ ได้แก่ ขนาด น้ำหนักเมล็ด สี และความเป็นกรดของเมล็ด รวมถึงตัวบ่งชี้ทางด้านกลิ่นรส (Kongor *et al*., 2016) โดยคุณภาพทางด้านกลิ่นรสเป็นปัจจัยที่สำคัญในการยอมรับของผู้บริโภค การประเมินคุณภาพของเมล็ดโกโก้ ทำได้ 3 วิธีการ ได้แก่ การประเมินคุณภาพเคมี การประเมินคุณภาพทางกายภาพ และการประเมินคุณภาพทางประสาทสัมผัส โดยเฉพาะการประเมินคุณภาพกลิ่นรสที่มีความสำคัญเนื่องจากเป็นปัจจัยในการเลือกซื้อของผู้บริโภคโดยใช้ผู้ชิมเป็นผู้ทดสอบ ลักษณะกลิ่นรสแบ่งเป็นกลุ่มใหญ่ ได้แก่ รสเปรี้ยว รสฝาด และรสขม กลิ่นรสเหล่านี้เกิดจากส่วนประกอบของสารประกอบทางเคมีที่เกิดขึ้นตั้งแต่กระบวนการหมักเมล็ดโกโก้ไปจนถึงขั้นตอนการลดความชื้นในเมล็ดโกโก้ (อรพิน และคณะ, 2540)

5.4 ปริมาณกรดอินทรีย์

เยื่อหุ้มเมล็ดโกโก้มีความเป็นกรดสูง (pH 3.0-3.5) ซึ่งเกิดจากกรดอินทรีย์หลายชนิด แต่ที่พบมากที่สุด คือ กรดซิตริก (Kongor *et al*., 2016) กรดอินทรีย์ที่มีผลต่อกลิ่นรสมี 4 ชนิด ได้แก่ กรดอะซีติก กรดแลคติก กรดซิตริก และกรดออกซาลิก โดย อรพิน และคณะ (2540) พบว่า กรดอะซิติก และกรดแลคติก มีความสัมพันธ์กับกลิ่นรสของเมล็ดโกโก้แบบทิศทางที่ตรงกันข้าม ในขณะที่มีความสัมพันธ์ในทิศทางเดียวกันกับกรดออกซาลิกและกรดซิตริก

6. ปัจจัยภายนอกที่มีผลต่อการเก็บรักษาผลิตผล

6.1 อุณหภูมิ เป็นปัจจัยพื้นฐานที่สำคัญที่สุดเพราะอุณหภูมิที่สูงขึ้นย่อมกระตุ้นให้สสารมีพลังงานสูงขึ้น ปฏิกิริยาเคมีต่างๆสามารถเกิดขึ้นในอัตราที่สูงขึ้น รวมถึงการหายใจซึ่งประกอบด้วยสารชีวเคมีหลายอย่างเกิดขึ้นต่อเนื่องพร้อมกัน

ดนัย และนิธิยา (2537) รายงานว่า เมื่ออุณหภูมิสูงขึ้น 10 องศาเซลเซียส ปฏิกิริยาเคมีจะเกิดขึ้นเร็วประมาณ 2 เท่า ยกตัวอย่างการเก็บรักษาส้มที่อุณหภูมิ 20 องศาเซลเซียส อุณหภูมิประมาณ 40 องศาเซลเซียส อัตราการหายใจจะลดลง เพราะโปรตีนหรือเอนไซม์ต่างๆ ที่จำเป็นในกระบวนหายใจเริ่มแปลงสภาพ (Denature) และทำให้ปฏิกิริยาต่างๆ เกิดขึ้นไม่ได้ ที่อุณหภูมิต่ำ โดยปกติการหายใจจะลดลงต่ำลง ชะลอการใช้อาหารสะสมในผลิตผล จำเริญ และคณะ (2543) รายงานว่า ทั้งนี่ผลผลิตแต่ละชนิดต้องเก็บไว้ที่อุณหภูมิแตกต่างกัน ผลไม้ที่มีถิ่นกำเนิดในเขตหนาวต้องเก็บไว้ที่อุณหภูมิต่ำเหนือจุดเยือกแข็ง ในขณะที่ผลไม้ที่มีถิ่นกำเนิดในเขตร้อนควรเก็บไว้ที่อุณหภูมิ 10-13 องศาเซลเซียส หากเก็บผลไม้เขตร้อนในอุณหภูมิต่ำมากๆ จะเกิดอันตรายเนื่องจากอุณหภูมิต่ำได้

6.2 ความชื้นสัมพัทธ์ ความชื้นมีความสำคัญในการเก็บรักษาผลผลิต โดยมีผลต่อการสูญเสียน้ำหนักของผลผลิต โดยทั่วไปการเก็บรักษาผลผลิตที่ความชื้นสัมพัทธ์สูงจะส่งผลให้ผลิตผลมีอัตราการคายน้ำลดลง ส่งผลให้ผลผลิตยังคงสดอยู่เสมอ ไม่เหี่ยว แต่ต้องระวังเชื้อราที่อาจทำให้เกิดการเน่าเสียได้ (จำเริญ และคณะ, 2543)

6.3 ออกซิเจน การหายใจของสิ่งมีชีวิตจำเป็นต้องใช้ออกซิเจน หากเก็บผลผลิตในสภาพ O_2 ไม่เพียงพอจะเกิดกระบวนการหมัก (Fermentation) ซึ่งจะทำให้เกิดกลิ่นไม่พึงประสงค์ นอกจากนี้สามารถสังเกตกระบวนการหมักได้จากอัตราการผลิตคาร์บอนไดออกไซด์ที่เพิ่มสูงมากขึ้น เมื่อปริมาณออกซิเจนในบรรยากาศลดลง (ดนัย, 2556)

7. การเปลี่ยนแปลงภายหลังการเก็บเกี่ยวผลผลิต

การเสื่อมสภาพของผลิตผลเป็นกระบวนการที่เกิดขึ้นต่อจากกระบวนการสุกแก่ทางสรีรวิทยา ภายหลังการเก็บเกี่ยวการหายใจ และกิจกรรมทางชีวเคมียังคงดำเนินอยู่อย่างต่อเนื่อง จึงมีการเปลี่ยนแปลงคุณภาพตลอดเวลา จนกระทั่งเกิดการตายของเนื้อเยื่อ การเปลี่ยนแปลงคุณภาพหลังการเก็บเกี่ยว ได้แก่ การสูญเสียน้ำ การหายใจ การเปลี่ยนแปลงสี และการผลิตเอทีลีน (สายชล, 2551; ดนัย, 2556) โดยมีรายละเอียดดังนี้

7.1 การสูญเสียน้ำหนักผล การสูญเสียน้ำหนักผลเกิดจากการคายน้ำซึ่งจะเกิดขึ้นตลอดเวลาภายหลังการเก็บเกี่ยวผลิตผลมีการคายน้ำเพื่อระบายความร้อนที่เกิดจากการหายใจส่งผลให้เกิดการสูญเสียน้ำหนักผลภายหลังการเก็บเกี่ยว (ดนัย, 2556) การสูญเสียน้ำส่งผลให้น้ำหนักของผลลดลง และทำให้พื้นผิวของผลเหี่ยวย่นลง เป็นผลให้คุณภาพของผลลดลง และมูลค่าต่อหน่วยผลที่ลดลง (สังคม, 2542)

7.2 การหายใจ การหายใจ เป็นกระบวนการทำลายสารอินทรีย์ที่พืชสะสมไว้เปลี่ยนให้เป็นสารประกอบที่มีโครงสร้างไม่ซับซ้อน พร้อมกับมีการปลดปล่อยพลังงานออกมา กระบวนการนี้มีการใช้ออกซิเจน (Oxidation) และมีการสร้างคาร์บอนไดออกไซด์ การหายใจ ทำให้เกิดการสูญเสียของอาหารที่สะสมในเนื้อเยื่อ ทำให้ผลสูญเสียคุณค่าทางอาหาร ทำให้เกิดการสูญเสีย น้ำหนัก แห้ง และอาจทำให้ผลมีรสชาติเปลี่ยนไป (สังคม, 2542)

7.3 การเปลี่ยนแปลงของสีผล จากสีเขียวของคลอโรฟิลล์ มีการเกิดขึ้นของสีประจำตัวของผลนั้นๆ เมื่อสีเขียวลดความเด่นลง การเปลี่ยนแปลงของสีในระหว่างการสุกของผลเป็นดัชนีบ่งบอกถึงการสุก ดังนั้น การเปลี่ยนแปลงสีผลในระหว่างการสุกจึงมีความสำคัญ โดยทั่วไป เมื่อผลแก่จัดหรือเริ่มสุก สีพื้นเดิม จะเริ่มซีดจางลงจางลงจากสีเขียวเข้ม เป็นสีเขียวอ่อน และเกิดสีทับ สีต่างๆ เช่น สีเหลือง แดง และม่วง เป็นต้น ปรากฏการณ์นี้เกิดจากการสลายตัวของคลอโรฟิลล์ ส่งผลให้แคโร

ทีนอยด์ หรือรงควัตถุอื่น แสดงเด่นชัดขึ้นมา ทำให้ผลไม้มีสีเหลือง ซึ่งเป็นอาการของการชราภาพ ผลิตผลบางชนิดอาจมีสีแดงของแอนโทไซยานิน หรือสีแดงของไลโคปีน (สายชล, 2551; สังคม, 2542)

ช่วงเวลา อัตรา และกระบวนการเปลี่ยนแปลงสี มีความแปรปรวนแตกต่างกันไปตามชนิดและพันธุ์ของผลิตผล ผลไม้จำพวก Climacteric เมื่อเก็บเกี่ยวมาจากต้นแล้วมีการพัฒนาสีต่อไปตามปกติ ในขณะที่ผลไม้ Non-climacteric การพัฒนาสีผลตามปกติเมื่ออยู่บนต้นแม่เท่านั้น หากเก็บเกี่ยวมาก่อนที่จะสุก ผลิตผลจะสูญเสียสีเขียวของคลอโรฟิลล์ แต่ไม่อาจพัฒนาการเกิดสีอย่างสมบูรณ์ได้ (สายชล, 2551)

8. กลไกการเกิดกลิ่นรสในเมล็ดโกโก้

กลไกการเกิดกลิ่นรสในเมล็ดโกโก้เกิดจากปฏิกิริยาทางเคมีของสารประกอบในกลุ่มสารหอมระเหย โดยสารประกอบอโรมาติกจะมากหรือน้อยขึ้นอยู่กับหลายปัจจัย ได้แก่ ฤดูกาลการเก็บเกี่ยว สภาพแวดล้อมในการเจริญเติบโต สภาพดิน รวมถึงสภาพภูมิอากาศในการเจริญเติบโต Kongor และคณะ (2016) นอกจากปัจจัยภายในเมล็ดโกโก้แล้วการจัดการหลังการเก็บเกี่ยวที่ดี การบ่มฝักโกโก้ การหมักเมล็ดโกโก้ การลดความชื้น การคั่วเมล็ด รวมถึงขั้นตอนการแปรรูปเป็นช็อกโกแลต ล้วนมีผลต่อการพัฒนากลิ่น รสชาติ และคุณภาพของช็อกโกแลตเช่นกัน (Munoz *et al.,* 2020) Kongor และคณะ (2016) รายงานว่า การหมักและการอบแห้งของเมล็ดโกโก้ส่งผลให้เกิดการสลายตัวของโปรตีนที่สะสมในเมล็ดโดยเอนไซม์โปรตีเอสซึ่งมีหน้าที่เร่งปฏิกิริยาการไฮโดรไลซ์โปรตีนซึ่งเป็นพอลิเพปไทด์ของกรดอะมิโนได้เป็นโอลิโกเพปไทด์สายสั้น ในขณะที่โพลีแซ็กคาไรด์ถูกย่อยสลายเป็นกลูโคสและฟรุกโตส กรดอะมิโน โอลิโกเพปไทด์ กลูโคส และฟรุกโตส จะทำปฏิกิริยากันระหว่างการคั่วเพื่อสร้างสารระเหยที่จะนำไปสู่กลิ่นรสโกโก้ต่อไป ในขณะที่โพลิฟีนอลซึ่งเป็นสารประกอบในกลุ่มฟีนอลจะถูกออกซิไดซ์โดยโพลิฟีนอลออกซิเดสในระหว่างการหมักและการอบแห้งซึ่งจะช่วยลดความฝาดและความขมของเมล็ดโกโก้

9. สารพฤกษเคมี

9.1 สารต้านอนุมูลอิสระ

ระบบการต้านอนุมูลอิสระของเอนไซม์เป็นวิธีในการควบคุมการผลิต ROS โดยมี lipid peroxidation, SOD, CAT และเปอร์ออกซิเดส (POD) เป็นเอนไซม์ต้านอนุมูลอิสระที่สำคัญในการกำจัด ROS ซึ่งเกี่ยวข้องกับการเสื่อมสภาพหรือการชราภาพ (ดนัย, 2556) กลไกในการป้องกันและกำจัด ROS ได้โดยการสร้างสารต้านอนุมูลอิสระ (Antioxidant) ซึ่งแบ่งออกเป็น 2 กลุ่ม ได้แก่ สารต้านอนุมูลอิสระที่อยู่ในรูปของเอนไซม์ (Enzymatic antioxidants) เช่น Superoxide dismutase (SOD), Catalase (CAT), Ascorbate peroxidase (APX), Glutathione peroxidase

(GPX), Peroxidase (POD), Monodehydroascorbate reductase (MDHAR), Dehydroascorbate reductase (DHAR) และ Glutathione reductase (GR) และสารต้านอนุมูลอิสระที่ไม่อยู่ในรูปของเอนไซม์ (Non-enzymatic antioxidants) ได้แก่ Ascobic acid (ASC), Glutathione (GSH), Tocopherols, Flavonoids, Carotenoids และ Proline (Caverzan *et al*., 2019) สารต้านอนุมูลอิสระเหล่านี้มีคุณสมบัติทำลายสารอนุมูลอิสระที่เกิดในสภาวะเครียด เช่น Superoxide จะถูกกำจัดโดย SOD ได้เป็น Hydrogen peroxide และออกซิเจน ภายหลัง Hydrogen peroxide จะถูกกำจัดโดยเอนไซม์ CAT, APX, POX รวมถึงถูกกำจัดโดยสารต้านอนุมูลอิสระที่ไม่อยู่ในรูปของเอนไซม์อื่นๆ เช่น GSH, Ascorbic acid และ Flavonoid เป็นต้น (Das and Roychoudhury, 2014) สารต้านอนุมูลอิสระมีบทบาทที่หลากหลายในพืช รวมถึงเพื่อปกป้อง DNA จากความเสียหายจากปฏิกิริยาออกซิเดชันในเซลล์ และปกป้องเนื้อเยื่อที่มีบทบาทในการสังเคราะห์แสงจากความเครียดที่เกิดจากปฏิกิริยาออกซิเดชันด้วยการกำจัด ROS ภายใต้ความเครียดจากสภาวะแวดล้อม (Karageorgou and manetas, 2006; Meng *et al*., 2012) ในใบพืชสารต้านอนุมูลอิสระมีบทบาทป้องกันพืชจากสภาวะเครียดซึ่งชนิดและปริมาณสารต้านอนุมูลอิสระในใบพืชแตกต่างกันไปตามทั้งปัจจัยภายใน ได้แก่ การควบคุมของยีน ความแตกต่างทางพันธุกรรม และปัจจัยภายนอก ได้แก่ สิ่งเร้าทางสิ่งแวดล้อมที่มีชีวิตและไม่มีชีวิต (Cao *et al*., 2019) นอกจากนี้อายุหรือพัฒนาการของใบพืชก็มีผลต่อปริมาณสารต้านอนุมูลอิสระในใบ (Chang *et al.,* 2018)

9.2 สารประกอบฟีนอลิก

สารประกอบฟีนอลิกมีสรรพคุณทางยาและมีความสามารถในการป้องกันโรค มีฤทธิ์ต้านแบคทีเรีย สารต้านการก่อมะเร็ง สารต้านอนุมูลอิสระ สารต้านการกลายพันธุ์ สารประกอบฟีนอลิกเป็นสารทุติยภูมิที่สำคัญที่พืชไว้เพื่อใช้ในการเจริญเติบโต การพัฒนาการ รวมถึงการขยายพันธุ์ของพืช การสังเคราะห์และการสะสมของสารประกอบฟีนอลิกขึ้นอยู่กับทั้งปัจจัยภายในและภายนอก ได้แก่ แสง อุณหภูมิ สภาวะเครียด เป็นต้น (Cao *et al.,* 2019) สารประกอบฟีนอลิกแบ่งออกเป็น 2 ชนิดหลักๆ ได้แก่ benzoic acid และ cinamic acid (ช่อแก้ว, 2562) สารประกอบฟีนอลิกมีฤทธิ์ต้านไวรัส ต้านแบคทีเรีย ต้านการอักเสบ ต้านการแพ้ ต้านการก่อมะเร็ง มีคุณสมบัติในการสลายลิ่มเลือด และลดความดันโลหิตในการสลายลิ่มเลือด เป็นต้น (Shan *et al*., 2005)

9.3 ฟลาโวนอยด์

ฟลาโวนอยด์เป็นสารประเภท Secondary metabolite ขนาดใหญ่ที่พบได้ในพืช ความหลากหลายของฟลาโวนอยด์พบมากกว่า 4,000 ชนิด สารฟลาโวนอยด์มีองค์ประกอบเป็นคาร์บอน 15 อะตอม มีโครงสร้างแบบ C6-C3-C6 ซึ่งมักถูกเรียก วงแหวน A C B ตามลำดับ ความหลากหลายของสารฟลาโวนอยด์มักเกิดจากความแตกต่างของวงแหวน C มากที่สุดเนื่องจากเป็นวง

แหวนที่เกิดปฏิกิริยาทางเคมีมากที่สุด ฟลาโวนอยด์สามารถแบ่งเป็นกลุ่มย่อยตามโครงสร้างเคมี ได้แก่ Flavonols, Flavones, Isoflavones, Neoflavonoids, Flavanones, Flavanols หรือ Catechin และ Anthocyanidins เป็นต้น (ช่อแก้ว, 2562) ฟลาโวนอยด์ส่วนใหญ่พบในพืช ทำหน้าที่เป็นสารสร้างสีที่สำคัญในพืช มีบทบาทในการกรองรังสีอัลตร้าไวโอเลต รวมถึงช่วยตรึงไนโตรเจน พืชที่พบฟลาโวนอยด์ ได้แก่ พืชตระกูลผัก ผลไม้ ธัญพืช สมุนไพร เครื่องเทศ รวมถึงเครื่องดื่มจำพวกชา กาแฟ โกโก้ ไวน์ และเบียร์ เป็นต้น ประโยชน์ทางด้านสุขภาพของฟลาโวนอยด์ ได้แก่ ลดการอุดตันของเส้นเลือด ป้องกันโรคกล้ามเนื้อหัวใจขาดเลือด ยับยั้งการเกิดเซลล์มะเร็ง ลดระดับโคเลสเตอรอลในเลือด รวมถึงประโยชน์ทางด้านอุตสาหกรรมสีย้อม เป็นต้น (สุนันทา และลักษมี, 2563)

9.4 แทนนิน

แทนนินเป็นสารประกอบเชิงซ้อนที่จัดอยู่กลุ่มสารประกอบฟีนอลิกที่มีน้ำหนักโมเลกุลประมาณ 500-3,000 กรัมต่อ 1 โมลของสาร สามารถจำแนกโครงสร้างได้ 4 กลุ่ม ได้แก่ กลุ่มที่ 1 แกลโลแทนนิน ได้แก่ สารเพนตะแกลลูอิลกลูโคส และกรดแทนนิก กลุ่มที่ 2 แอลลาจิแทนนิน ได้แก่ สารพูนิคาลิน และกรดแอลลาจิก กลุ่มที่ 3 คอนเดนส์แทนนิน ได้แก่ สารโปรแอนโทไซยานิดิน และสารอิพิแกลโลคาทีชิน กลุ่มที่ 4 คอมเพล็กซ์แทนนิน ได้แก่ อะคูลทีสซิมิน เอ แทนนินมีคุณสมบัติละลายน้ำได้ มีรสฝาด พบได้หลายส่วนจากพืช ได้แก่ ใบ เปลือก แก่นไม้ เมล็ด และพบได้จากพืชหลายชนิด ได้แก่ ชา กระถิน มะม่วง อบเชย ทับทิม องุ่น ถั่ว เบอร์รี่ เป็นต้น มีประโยชน์ทางด้านอุตสาหกรรมการฟอกหนังสัตว์ รวมถึงประโยชน์ทางด้านการแพทย์ ได้แก่ การนำมารักษาผู้ป่วยอาการท้องเสีย เป็นต้น (พิมพ์สุมน, 2562)

วัตถุประสงค์

1. เพื่อศึกษาอิทธิพลของฤดูกาลและแหล่งปลูกในการเก็บเกี่ยวผลโกโก้ต่อลักษณะทางกายภาพ ปริมาณไขมันทั้งหมด และองค์ประกอบไขมันในเมล็ดโกโก้
2. เพื่อศึกษาการเปลี่ยนแปลงลักษณะสัณฐานและสรีรวิทยาของใบในระยะพัฒนาการตั้งแต่ระยะใบอ่อนถึงใบแก่ของโกโก้ลูกผสมชุมพร 1
3. เพื่อศึกษาปริมาณสารพฤกษเคมีที่สำคัญในระยะพัฒนาการตั้งแต่ระยะใบอ่อนถึงใบแก่ของโกโก้ลูกผสมชุมพร 1
4. เพื่อศึกษาอิทธิพลของฤดูการเก็บเกี่ยวผลโกโก้ต่อลักษณะทางคุณภาพ กลิ่น และรสชาติของเมล็ดโกโก้

บทที่ 2

วิธีการวิจัย

วัสดุและอุปกรณ์

1. วัสดุพืช

- ต้นโกโก้ลูกผสมชุมพร 1 (Pa7 × Na32)
- ผลโกโก้ลูกผสมชุมพร 1 (Pa7 × Na32)

2. สารเคมีที่ใช้ในการทดลอง

1.2.1 สารเคมีที่ใช้สกัดตัวอย่าง

- เมทานอล (Methanol; MeOH), J.T. Baker
- กรดไฮโดรคลอริก (Hydrochloric acid; HCl), J.T. Baker
- น้ำกลั่น (Distilled water)
- เอทานอล 95 เปอร์เซ็นต์ (Ethanol; EtOH), J.T. Baker

1.2.2 สารเคมีที่ใช้ในการวิเคราะห์ปริมาณสารสำคัญ

- 2,2-Diphenyl-1-picrylhydrazyl (DPPH), Sigma-Aldrich
- เฟอร์รัสซัลเฟต (Ferrous sulphate; FeSO4), Ajax Finechem
- กรดไฮโดรคลอริก (Hydrochloric acid; HCl), J.T. Baker
- โซเดียมอะซีเตต (Sodium acetate hydrated; CH3COONa), Ajax Fineche
- เฟอร์ริคคลอไรด์ (IRON (III) chloride hexahydrate; FeCl3), 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; NaNO2), Ajax Finechem
- อะลูมิเนียมคลอไรด์ (Aluminium chloride hydrated; AlCl3), Ajax Finechem

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

3. เครื่องมือและอุปกรณ์ในห้องปฏิบัติการ

3.1 เครื่องมือ

- เครื่องบันทึกข้อมูลอุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์ (Temperature and relative humidity datalogger), Shenzhen Exportise Technology Co., Ltd., China
- เครื่องวัดความเขียวใบ (Chlorophyll meter) รุ่น SPAD-502 Plus, Minolta, Japan
- เครื่องวัดพื้นที่ใบ (Leaf area meter) รุ่น LI-3000C, LI-COR, USA
- เครื่องวัดสี (Chroma meter) รุ่น CR-400, KONICA Minolta, Japan
- เครื่อง Hand refractometer (Milwavkee รุ่น MR 32ATC (0-40), Japan)
- เครื่องยูวี วิสิเบิลสเปกโทรโฟโตมิเตอร์ (UV-VIS spectrophotometer) รุ่น UV-1900 UV-Vis Spectrophotometer, Shimadzu, Japan
- เครื่องวัดความเป็นกรดด่าง (pH meter) รุ่น Starter 2100, Ohaus, USA
- เครื่องปั่นเหวี่ยงสารละลาย (Centrifuge) รุ่น VARISPIN 4A, Cryste, Korea
- เครื่องกลั่นระเหยแบบหมุนภายใต้สุญญากาศ (Rotary evaporator) รุ่น R-100, Buchi, Switzerland
- เครื่องปั่นตัวอย่าง (Blender) รุ่น Blender 600 W, Philips, England
- เครื่องบดตัวอย่างใบพืช (Grinder machine) รุ่น HC-300Y2, Huangcheng, China
- 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
- เครื่องปั่นตัวอย่าง (Blender) รุ่น Blender 600 W, Philips, England
- กล้องถ่ายภาพ DSLR (Digital camera) รุ่น D5600, Nikon, Thailand

3.2 อุปกรณ์

- แผ่นเทียบสี (Color chart)
- ชุดทดสอบกลิ่นกาแฟ 100 กลิ่น (Coffee Flower Map T100, Korea)
- ชุดทดสอบกลิ่นกาแฟ 36 กลิ่น Café (Le Nez du Café Aroma kit, French)
- แผ่นวงล้อกลิ่นรส (Flavor wheel cocoa)
- อ่างควบคุมอุณหภูมิ (Water bath) รุ่น Alpha A12, Lauda, Germany

- ตู้อบ (Hot air oven) รุ่น UF 750, Memmert, Germany
- กระบอกตวง (Cylinder) ขนาด 250 มิลลิลิตร
- ขวดรูปชมพู่ (Erlenmeyer flask) ขนาด 125 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
- ขวดแก้ว (bottle) ขนาด 30 กรัม
- หลอดทดลองพร้อมฝาเกลียว (Culture tube) ขนาด 5 มิลลิลิตร
- หลอดเซนตริฟิวพลาสติก (Centrifuge tubes) ขนาด 15 มิลลิลิตร
- หลอดหยดสาร (Dropper)
- ควอร์ต คิวเวท (Quartz cuvette)
- บีกเกอร์ (Beaker) ขนาด 50 100 250 และ 500 มิลลิลิตร
- หลอดทดลอง (Test tube) ขนาด 10 และ 15 มิลลิลิตร
- ไมโครปิเปตทิป (Micropipette tip) ขนาด 1 และ 5 มิลลิลิตร
- ไมโครปิเปต (Micropipette) ขนาด 1,000 และ 5,000 ไมโครลิตร, Eppendorf, Germany
- ช้อนตักสารเคมีพลาสติก (Plastic spatula)
- ช้อนตักสารสแตนเลส (Stainless spatula)
- แท่งแก้วคน (Stirring rod)
- ถุงมือยาง (Rubber glove)
- กระดาษกรอง (Filter paper) เบอร์ 4 ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 110 มิลลิเมตร
- ขวดน้ำกลั่น (Wash bottle)
- แผ่นฟอยล์อลูมิเนียม (Aluminium foil)
- กล่องหมักเมล็ดโกโก้ ขนาดกว้าง×ยาว×สูง เท่ากับ 20×40×20 เซนติเมตร

วิธีการดำเนินการ

ทำการทดลองระหว่างเดือนมกราคม ถึงเดือนธันวาคม พ.ศ. 2563 แบ่งช่วงการเก็บข้อมูลออกเป็น 2 ช่วง (Data collection period; D) ตามฤดูกาลของภาคใต้ฝั่งตะวันออก ดังนี้

ช่วงที่ 1: เดือนมกราคม - พฤษภาคม พ.ศ.2563 (ฤดูแล้ง; D1)
ช่วงที่ 2: เดือนมิถุนายน - ธันวาคม พ.ศ.2563 (ฤดูฝน; D2)

สภาพแวดล้อมในแปลงปลูกอาศัยน้ำฝนจากธรรมชาติในแต่ละช่วงของฤดูกาล

การทดลองที่ 1: ผลของฤดูกาลต่อคุณสมบัติทางกายภาพและปริมาณไขมันของโกโก้

เก็บเกี่ยวฝักโกโก้ที่มีอายุประมาณ 150 วันหลังจากดอกบาน (ชีพลักษณ์การเจริญเติบโต: BBCH 85) (Niemenak *et al*., 2010) สีฝักมีสีเขียวอมเหลืองซึ่งเป็นระยะที่เหมาะสมในการเก็บเกี่ยวฝัก ในการศึกษาครั้งนี้เก็บเกี่ยวผลโกโก้ 2 ฤดูกาลเก็บเกี่ยว ได้แก่ ฤดูแล้ง (D: Dry season) และฤดูฝน (R: Rainy season) จากแหล่งปลูก 2 แหล่ง ได้แก่ แปลงทดลองพืชศาสตร์ คณะทรัพยากรธรรมชาติ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ (Psu: Songkhla) และแปลงเกษตรกร อ.ท่าศาลา จ.นครศรีธรรมราช (Nk: Nakhonsithamarat) การดูแลรักษาต้นโดยกำจัดวัชพืชบริเวณรอบโคนต้น ใส่ปุ๋ย 12-12-17 อัตรา 1,000 กรัมต่อต้น หว่านรอบบริเวณทรงพุ่มโดยแบ่งใส่ปีละ 2 ครั้ง และไม่มีการให้น้ำด้วยระบบน้ำ การขนส่งโดยบรรจุผลโกโก้ในตะกร้าพลาสติก แล้วขนส่งมายังห้องปฏิบัติการสรีรวิทยาหลังการเก็บเกี่ยว คณะทรัพยากรธรรมชาติ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ วิทยาเขตหาดใหญ่

การบันทึกข้อมูล

1.1 ประเมินคุณสมบัติทางกายภาพของฝักและเมล็ดโกโก้

ศึกษาคุณสมบัติทางกายภาพของฝักและเมล็ดโกโก้ โดยสุ่มตัวอย่าง 50 ฝักต่อฤดูกาลเก็บเกี่ยว ชั่งน้ำหนักผลโกโก้ด้วยเครื่องชั่งดิจิตอลทศนิยม 2 ตำแหน่ง และวัดขนาดของผล ได้แก่ ความกว้าง และความยาวของฝักโกโก้ ด้วยเวอร์เนียร์คาร์ลิปเปอร์ จากนั้นชั่งน้ำหนักเมล็ดโกโก้ด้วยเครื่องชั่งดิจิตอลทศนิยม 2 ตำแหน่งหาค่าความชื้นเมล็ด โดยอบเมล็ดโกโก้ด้วยเครื่องอบตัวอย่างพืชที่อุณหภูมิ 105 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 24 ชั่วโมง บันทึกน้ำหนักก่อนและหลังอบ และคำนวณเปอร์เซ็นต์ความชื้นมาตรฐาน จากนั้นวัดความกว้าง ความยาว และความหนาด้วยเวอร์เนียคาลิปเปอร์ นำค่าที่ได้มาสร้างสมการความสัมพันธ์ระหว่างน้ำหนักเมล็ดโกโก้สดและเมล็ดโกโก้แห้ง น้ำหนักสดทั้งฝักกับน้ำหนักสดของเมล็ดโกโก้ ขนาดกว้าง x ยาวฝัก กับน้ำหนักสดฝัก ความยาวฝักกับน้ำหนักสดฝัก ความกว้างฝักกับน้ำหนักสดฝักของโกโก้ จากนั้นเปรียบเทียบลักษณะทางกายภาพของเมล็ดและฝักโกโก้แต่ละฤดูกาลเก็บเกี่ยว เพื่อศึกษาคุณภาพของโกโก้ในแต่ละฤดูกาลเก็บเกี่ยว

1.2 การวิเคราะห์ค่าสีของฝักโกโก้

วัดสีฝักโกโก้ (ค่า a* b* และ L*) ด้วยเครื่องวัดสี Chroma meter ทำการวัดค่าสี L* a* b* และค่า Hue angle สุ่มวัดสีจำนวน 50 ผล ผลละ 3 จุด นำค่ามาหาค่าเฉลี่ย เปรียบเทียบกับการวัดโดยใช้แผ่นเทียบสี (Color chart) เพื่อศึกษาการเปลี่ยนแปลงของสีผลภายหลังการเก็บเกี่ยว

ค่า L* แสดงถึงความสว่างของสี ซึ่งมีค่าตั้งแต่ 0 ถึง 100 ถ้าค่า L* มากแสดงว่ามีสีสว่างมากและค่า L* เท่ากับ 0 แสดงว่ามีสีทึบหรือไม่มีความสว่าง

ค่า a* แสดงถึงสีเขียวและสีแดง ซึ่งมีค่าตั้งแต่ 60 จนถึง -60 โดยที่ถ้าค่า a* มีค่าติดลบ (-) แสดงว่าวัตถุนั้นมีสีเขียว ถ้าค่า a* ยิ่งติดลบมากแสดงว่ายิ่งมีสีเขียวมาก ส่วนค่า a* ที่มีค่าเป็นบวก (+) แสดงว่าวัตถุนั้นมีสีแดง ถ้าค่า a* ยิ่งมากแสดงว่ามีสีแดงมากกว่า

ค่า b* แสดงถึงสีน้ำเงินและสีเหลือง ซึ่งมีค่าตั้งแต่ 60 จนถึง -60 โดยที่ถ้าค่า b* มีค่าติดลบ (-) แสดงว่าวัตถุนั้นมีสีน้ำเงิน ถ้าค่า b* ยิ่งติดลบมากแสดงว่ายิ่งมีสีน้ำเงินมาก ส่วนค่า b* ที่มีค่าเป็นบวก (+) แสดงว่าวัตถุนั้นมีสีเหลือง ถ้าค่า b* ยิ่งมากแสดงว่ามีสีเหลืองมาก

ค่า h° แสดงถึงการเปลี่ยนแปลงของโทนสีในระดับต่างๆ ที่เปลี่ยนแปลงไปตามค่ามุมสี

เมื่อ ค่า c 0/360 เท่ากับสีแดง
ค่า h° 90 เท่ากับสีเหลือง
ค่า h° 180 เท่ากับสีเขียว
ค่า h° 270 เท่ากับสีน้ำเงิน

1.3 วัดปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำ

ทำการคั้นน้ำจากเนื้อโกโก้ซ้ำละ 3 ผล ๆ ละ 5 เมล็ด กรองด้วยผ่านผ้าขาวบาง จากนั้นหยดตัวอย่างลงบนเครื่องวัดปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำได้ โดยใช้เครื่อง Hand refractometer บันทึกผลเป็น องศาบริกซ์ (°Brix)

1.4 ปริมาณไขมันในเมล็ดโกโก้

1.4.1 การเตรียมตัวอย่าง

อบเมล็ดโกโก้ด้วยเครื่องอบตัวอย่างพืชที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 28 ชั่วโมง หลังจากการอบนำเมล็ดโกโก้แห้งชั่งน้ำหนักด้วยเครื่องชั่งดิจิตอลทศนิยม 2 ตำแหน่ง จากนั้นนำเมล็ดโกโก้บรรจุลงในถุงเย็นและเก็บรักษาตัวอย่างไว้ในที่มืด อุณหภูมิ 15 องศาเซลเซียส ตัวอย่างเมล็ดแห้งจะถูกวิเคราะห์ภายใน 3 เดือนหลังจากการอบแห้ง (Holm *et al*., 1993) จากนั้นนำมาวิเคราะห์หาปริมาณไขมันและองค์ประกอบไขมันในเมล็ด

ตัวอย่างเมล็ดโกโก้ถูกแยกเป็นสองส่วน ส่วนหนึ่งนำบดเมล็ดโกโก้ดิบตามวิธีการของ Othman และคณะ (2007) สกัดสารจากเมล็ดโกโก้ที่บดละเอียดด้วย 70 เปอร์เซ็นต์เอทานอล อัตราส่วนเมล็ดโกโก้ต่อเอทานอล เท่ากับ 1: 25 W/V เก็บไว้ที่อุณหภูมิ 50 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 2 ชั่วโมง จากนั้นนำสารละลนะายกรองโดยใช้กระดาษกรอง (Whatman No. 1) ผ่านกรวย Buchner จากนั้นนำสารละลายไปวิเคราะห์สารต่างๆ

1.4.2 การวิเคราะห์ปริมาณไขมันดิบ

ใช้วิธี Soxhlet extraction method ด้วยสารสกัดจากเฮกเซน ตามคำแนะนำของ A.O.A.C. (the Association of Official Analytical Chemists) โดยใช้ตัวอย่าง 4 กรัม นำไปย่อยกรดและนำตัวอย่างที่ต้องการสกัดใส่ใน Soxhlet และใส่ตัวทำละลายปิโตรเลียมอีเธอร์ และใช้อุณหภูมิ 40-60 องศาเซลเซียส ตามมาตรฐาน ISO (Tee *et al*., 2018)

1.5 การวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติ

วิเคราะห์สถิติแบบสุ่มสมบูรณ์ (Completely randomized design; CRD) ประกอบด้วย 2 กรรมวิธี ได้แก่ การเก็บเกี่ยวในฤดูแล้ง และฤดูฝน จำนวน 3 ซ้ำ โดยทำการวิเคราะห์ความแปรปรวน (Analysis of Variance; ANOVA) ด้วยโปรแกรม R-Studio เปรียบเทียบความแตกต่างของค่าเฉลี่ยโดยวิธี Duncan’s Multiple Range Test (DMRT) ที่ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซ็นต์

การทดลองที่ 2: อิทธิพลของฤดูกาลและแหล่งปลูกในการเก็บเกี่ยวผลผลิตต่อลักษณะทางกายภาพและคุณภาพกลิ่นรสของเมล็ดโกโก้

1. ผลของฤดูกาลและแหล่งปลูกในการเก็บเกี่ยวต่อความสมบูรณ์และคุณภาพกลิ่นรสของเมล็ดโกโก้

ทดลองโดยใช้ผลิตผลโกโก้ลูกผสมชุมพร 1 เช่นเดียวกับการทดลองที่ 1 ประกอบด้วยการเก็บเกี่ยว 2 ฤดูกาล ได้แก่ ฤดูร้อน และฤดูฝน เพื่อประเมินคุณภาพตามมาตรฐานเมล็ดโกโก้แห้ง ยกตัวอย่างเช่น ขนาดเมล็ด สีของเมล็ด ความเสียหายของเมล็ดจากแมลงหรือเชื้อรา การงอกของเมล็ด เป็นต้น รวมถึงประเมินคุณภาพทางด้านกลิ่นและรสชาติของเมล็ดโกโก้พันธุ์ลูกผสมชุมพร 1 จากการแปรรูปเป็นช็อกโกแลตตามช่วงฤดูกาลเก็บเกี่ยว 2 ฤดูกาล บันทึกข้อมูล ดังนี้

1.1 ประเมินคุณสมบัติทางกายภาพของเมล็ดโกโก้

1. ศึกษาเมล็ดโกโก้ลูกผสมชุมพร 1 โดยสุ่มตัวอย่างเมล็ดโกโก้จำนวน 3 ซ้ำๆ ละ 100 กรัม ชั่งโดยเครื่องชั่งทศนิยม 2 ตำแหน่ง นับจำนวนเมล็ดโกโก้ บันทึกข้อมูลเป็นจำนวนเมล็ดต่อน้ำหนัก 100 กรัม

2. หาค่าความชื้นของเมล็ดตามวิธี Oven method โดยอบเมล็ดโกโก้ที่อุณหภูมิ 105 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 24 ชั่วโมง บันทึกน้ำหนักก่อนและหลังอบ (ไพบูลย์ และคณะ, 2543)

3. จำแนกขนาดเมล็ดเป็น 3 ขนาด คือ เมล็ดโกโก้ขนาดใหญ่ (L) มีจำนวนเมล็ดน้อยกว่า 100 เมล็ดต่อน้ำหนัก 100 กรัม เมล็ดโกโก้ขนาดกลาง (M) มีจำนวนเมล็ด 100 ถึง 120 เมล็ดต่อน้ำหนัก 100 กรัม เมล็ดโกโก้ขนาดเล็ก (S) มีจำนวนเมล็ดมากกว่า 120 เมล็ดต่อน้ำหนัก 100 กรัม จำนวน 3 ซ้ำๆ ละ 100 กรัม (End and Dand, 2015)

4. จำแนกความผิดปกติประเมินเมล็ดโกโก้ที่ไม่สมบูรณ์หรือเมล็ดที่เกิดความเสียหายภายนอก ดังนี้ Black (เมล็ดที่มีสีดำ เกิดจากการหมักนานเกินไป) Severely moldy (เมล็ดเป็นรา) Germinated (เมล็ดงอก) Insect damaged (เมล็ดเสียหายจากเข้าทำลายของแมลง) Clumped (เมล็ดที่เกาะติดกัน เกิดขึ้นในระหว่างกระบวนการแปรรูป) Cut (เมล็ดแตกหัก หรือมีรอยถูกตัดเกิดขึ้นในระหว่างการกระเทาะฝักโกโก้) ทดสอบโดยการผ่าเมล็ดโกโก้ตามยาว (Cut test) เพื่อประเมินลักษณะและสีภายในเมล็ด ทดสอบโดยการสังเกตสีและลักษณะเมล็ดโกโก้ด้วยสายตาในเวลากลางวันภายใต้แสงสีธรรมชาติ โดยแบ่งเมล็ดออกเป็น เมล็ดโกโก้ที่มีการหมักสมบูรณ์มีสีน้ำตาลทั่วทั้งเมล็ด (Fully brown) เมล็ดโกโก้ที่มีสีน้ำตาลอ่อนหรือมีสีน้ำตาลเพียงบางส่วน (Partially brown) เมล็ดโกโก้ที่ผ่านการหมักแต่ไม่สมบูรณ์มีสีม่วง (Violet) เมล็ดโกโก้ที่ผ่านการหมักแต่ไม่สมบูรณ์มีสีม่วงและมีลักษณะผิวเรียบไม่มีร่อง (Violet unfissured) รวมถึงลักษณะเมล็ดที่มีความเสียหายในรูปแบบต่างๆ ได้แก่ เมล็ดโกโก้ที่หมักไม่สมบูรณ์จะมีลักษณะผิวเรียบไม่มีรอยแตกของเมล็ด (Slaty) เมล็ดโกโก้ที่เป็นเชื้อรา (Moldy) เมล็ดงอก (Germinatied) เมล็ดที่ถูกทำลายโดยแมลง (Insect

damaged) เมล็ดโกโก้ที่มีการหมักนานเกินไป (Overfermented) (Fine cacao and chocolate institute, 2016)

ทดสอบเพื่อหาเปอร์เซ็นต์ความเสียหายของเมล็ดโกโก้ทั้งหมด และระดับของการหมัก (Bariah *et al.,* 2017) โดยการสุ่มตัวอย่างเมล็ดโกโก้แห้งที่ผ่านกระบวนการหมักและลดความชื้นจำนวน 100 เมล็ด ตัดตามยาวเพื่อประเมินสีและพื้นผิว แบ่งออกเป็น สีน้ำตาล (Fully brown) สีม่วงบางส่วน (Partly purple) สีม่วงทั่วทั้งเมล็ด (Fully purple) และเมล็ดที่มีลักษณะผิวเรียบไม่มีร่องหรือไม่ผ่านกระบวนการหมัก (Slaty) รวมถึงเมล็ดสีบลอนด์ (Blond beans) ที่เกิดจากการกลายของสายพันธุ์ (Sukha, 2017) จำนวนเมล็ดที่มีสีดังกล่าวทั้งหมดนำมาคิดเป็นเปอร์เซ็นต์

ภายหลังการทดสอบ Cut test วัดสีของเมล็ดโกโก้แห้ง (ค่า a* b* และ L*) ด้วยเครื่องวัดสี Colorimeter (Hunter Lab, Color QUEST II DPERE, Hunter Associates Laboratory, Inc, USA.) ทำการวัดค่าสี L* a* b* และค่า Hue angle บันทึกและแปลผลค่าสีเช่นเดียวกับการทดลองที่ 1.2 ข้อ 2.4 จากนั้นเปรียบเทียบกับการวัดโดยใช้แผ่นเทียบสี (Color chart) เพื่อศึกษาการหมักสมบูรณ์ของเมล็ดภายหลังการเก็บเกี่ยวในฤดูกาลต่างๆ เพื่อหาช่วงสีของเมล็ดโกโก้แห้งเปรียบเทียบกับการสังเกตด้วยสายตา (Afoakwa *et al*., 2014)

สุ่มตัวอย่างเมล็ดโกโก้แห้ง นำเปลือกเมล็ดออก จากนั้นชั่งน้ำหนัก 0.1 กรัมในหลอดทดลอง เติมเมทานอล 10 มล. ที่มีส่วนผสมระหว่างสารละลายเมทานอลกับกรดไฮโดรคลอริกอัตราส่วน 97: 3 (ปริมาตร/ปริมาตร) กวนสารให้เป็นเนื้อเดียวกันด้วยเครื่อง Vertex เป็นเวลา 2 นาที เก็บตัวอย่างไว้ที่มืดที่อุณหภูมิ 6 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 20 ชั่วโมง นำตัวอย่างกรองด้วยกระดาษกรอง เบอร์ 40 จากนั้นวัดค่าการดูดกลืนแสงด้วยเครื่อง Spectrophotometer ที่ความยาวคลื่น 460 และ 525 นาโนเมตร นำค่าที่ได้คำนวณหาดัชนีการเกิดสีน้ำตาลของเมล็ดโดยใช้สูตร OD460 / OD525 โดยค่าดัชนีการหมักที่สูงกว่า 1 แสดงถึงตัวอย่างเมล็ดโกโก้ที่ผ่านกระบวนการหมักอย่างสมบูรณ์ ในขณะที่ค่าดัชนีเก็บเกี่ยวไม่ถึง 1 แสดงถึงเมล็ดโกโก้ที่หมักไม่สมบูรณ์ นำค่าที่ได้มาสร้างสมการความสัมพันธ์ระหว่างระดับการหมักสมบูรณ์ของเมล็ดโกโก้ (OD 460/530) และความสว่าง (L*) ค่าความเป็นสีแดง (a*) ค่าความเป็นสีเหลือง (b*) และค่ามุมสี (Hue°) ของเมล็ดโกโก้ (ดัดแปลงจาก Caporaso *et al*., 2018 และ Afoakwa, 2014)

1.2 การประเมินด้านกลิ่นรส

เป็นการทดสอบโดยวิธีทางประสาทสัมผัส ทำโดยสุ่มตัวอย่างเมล็ดโกโก้แห้ง 30 กรัม คั่วด้วยเครื่องคั่วเมล็ดโกโก้ เป็นเวลา 1 นาที แยกเมล็ดออกจากเปลือกโกโก้ที่ผ่านการคั่วแล้ว นำเมล็ดที่ได้มาปั่นในเครื่องปั่นโถเล็กระดับความเร็วปานกลางเป็นเวลา 10 วินาที เทตัวอย่างลงในภาชนะและประเมินกลิ่นด้วยการดมโดยทันที หลังจากนั้นตวงตัวอย่าง 1 ช้อนชาเพื่อประเมินทางด้านรสชาติโดยการกลั้วในปากเป็นเวลา 30 วินาที ตรวจจับรสชาติและกลิ่นแล้วบันทึกผลลงในแบบฟอร์ม (Fine Cacao and Chocolate Institute, 2016) (FCCI) เพื่อประเมินกลิ่นรสของเมล็ดโกโก้ในแต่ละฤดูกาลเก็บเกี่ยว พิจารณาคุณลักษณะทางประสาทสัมผัสของเมล็ดโกโก้ ยกตัวอย่างเช่น โกโก้ เปรี้ยว ขม ฝาด ผลไม้ ดอกไม้ ถั่ว เมล็ดดิบ มอลต์

คาราเมล และกลิ่นรสอื่น ในส่วนของข้อบกพร่อง ยกตัวอย่างเช่น ควัน แฮมมี่ รา และกลิ่นไม่พึงประสงค์อื่นๆ (Sukha, 2017) ระบุลักษณะที่พบและให้คะแนน

การประเมินคุณภาพเมล็ดโกโก้ทางประสาทสัมผัส นำมาทดสอบโดยการชิม ตามวิธีของ FCCI โดยใช้ผู้ชิมที่ผ่านการฝึกชิมรสชาติเมล็ดโกโก้โดยเฉพาะ โดยใช้คะแนนความเปรี้ยว ความฝาด และความขม อยู่ในช่วง 1-5 ระดับ (1 =ไม่ขมเลย , 2 = ขมเล็กน้อย, 3 = ขมปานกลาง, 4 = ขมมาก, 5 = ขมมากที่สุด)

1.3 การวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติ

วางแผนการทดลองแบบแฟกทอเรียลตามแผนแบบสุ่มอย่างสมบูรณ์ (Factorial in completely randomized design; CRD) ประกอบด้วย 2 ปัจจัยและ 2 ระดับ ได้แก่ ปัจจัยฤดูกาลการเก็บเกี่ยวประกอบด้วยการเก็บเกี่ยวในฤดูแล้ง และฤดูฝน และปัจจัยแหล่งปลูก ประกอบด้วยแปลงพืชศาสตร์ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ อำเภอหาดใหญ่ จังหวัดสงขลา และแปลงเกษตรกร อำเภอท่าศาลา จังหวัดนครศรีธรรมราช จำนวน 3 ซ้ำ โดยทำการวิเคราะห์ความแปรปรวน (Analysis of Variance; ANOVA) ด้วยโปรแกรม R-Studio เปรียบเทียบความแตกต่างของค่าเฉลี่ยโดยวิธี Duncan’s Multiple Rang Test (DMRT) ที่ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซ็นต์

การทดลองที่ 3 ฤดูกาลเก็บเกี่ยวและระยะพัฒนาการของใบที่มีผลต่อลักษณะสัณฐานวิทยา สรีรวิทยาและปริมาณสารสำคัญในใบโกโก้

ทดลองโดยใช้ใบโกโก้จากต้นโกโก้เช่นเดียวกับการทดลองที่ 1 วางแผนการทดลองแบบแฟกทอเรียลตามแผนแบบสุ่มอย่างสมบูรณ์ (Factorial in completely randomized design; CRD) ประกอบด้วย 2 ปัจจัยและ 2 ระดับ ได้แก่ ปัจจัยฤดูกาลการเก็บเกี่ยวประกอบด้วยการเก็บเกี่ยวในฤดูแล้ง และฤดูฝน และปัจจัยระยะพัฒนาการ แบ่งเป็น 4 ระยะ ได้แก่

ระยะที่ 1 ใบมีอายุ 4-14 วัน (Stage 1, S1)
ระยะที่ 2 ใบมีอายุ 15-21 วัน (Stage 2, S2)
ระยะที่ 3 ใบมีอายุ 22-28 วัน (Stage 3, S3)
ระยะที่ 4 ใบมีอายุ 29-34 วัน (Stage 4, S4)

ภาพที่ 1 ระยะพัฒนาการของใบโกโก้ตามช่วงสีของใบและอายุของใบ แบ่งเป็น 4 ระยะ โดยระยะที่ 1 (S1) ใบสีแดง อายุ 9-14 วัน ระยะที่ 2 (S2) ใบสีน้ำตาลอ่อน อายุ 15-20 วัน ระยะที่ 3 (S3) ใบสีเขียวอ่อน อายุ 21-27 วัน และระยะที่ 4 (S4) ใบมีอายุ 28-34 วัน ใบสีเขียวเข้ม

การบันทึกข้อมูล

1. ข้อมูลสภาพแวดล้อมในแปลงทดลองภาควิชาพืชศาสตร์

บันทึกอุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์ด้วยเครื่องบันทึกข้อมูลอุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์ ติดตั้งบันทึกข้อมูลภายในแปลงทดลองทุก 1 ชั่วโมง เป็นเวลา 12 เดือน ระหว่างเดือนเมษายน พ.ศ. 2563 ถึงเดือนมีนาคม พ.ศ. 2564

2. ลักษณะทางสัณฐานวิทยาและสรีรวิทยาของใบโกโก้แต่ละระยะพัฒนาการของใบ

2.1 การพัฒนาและการเจริญเติบโตของใบโกโก้

สุ่มวัดพื้นที่ใบโกโก้ทุกระยะพัฒนาการของใบโดยใช้เครื่องวัดพื้นที่ใบ หน่วยเป็นตารางเซนติเมตร ควบคู่กับการวัดความกว้างและความยาวใบด้วยเวอร์เนียร์คาร์ลิปเปอร์ หน่วยเป็นตารางเซนติเมตร จำนวน 177 ใบ ระหว่างเดือนธันวาคม พ.ศ. 2563 ถึงเดือนมกราคม พ.ศ. 2564 นำค่าที่ได้มาสร้างสมการความสัมพันธ์ระหว่างพื้นที่ใบที่วัดโดยเครื่องวัดพื้นที่ใบกับเวอร์เนียร์คาร์ลิปเปอร์ของใบโกโก้

2.2 พื้นที่ใบโกโก้ แต่ละระยะพัฒนาการของใบโกโก้

บันทึกข้อมูลพื้นที่ใบโกโก้ตั้งแต่ระยะใบอ่อนถึงใบแก่ ด้วยเครื่องวัดพื้นที่ใบและเวอร์เนียร์คาร์ลิปเปอร์ สุ่มวัดตัวอย่างใบโกโก้ 4 ระยะพัฒนาการตามอายุใบ จำนวน 10 ซ้ำ ซ้ำละ 5 ใบ ระหว่างเดือนธันวาคม พ.ศ. 2563 ถึงเดือนมกราคม พ.ศ. 2564 เปรียบเทียบพื้นที่ใบแต่ละระยะพัฒนาการของใบโกโก้ เพื่อศึกษาการพัฒนาการของใบโกโก้

2.3 น้ำหนักใบแต่ละระยะพัฒนาการของใบโกโก้

บันทึกข้อมูลน้ำหนักสดและน้ำหนักแห้งของใบ หน่วยเป็นกรัม1โดยเก็บตัวอย่างใบโกโก้จำนวน 20 ใบต่อระยะพัฒนาการ ชั่งน้ำหนักสดด้วยเครื่องชั่งดิจิทัล 2 ตำแหน่ง จากนั้นนำไปอบที่อุณหภูมิ 65 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 72 ชั่วโมง เพื่อบันทึกค่าน้ำหนักแห้ง นำค่าที่ได้สร้างมาสร้างสมการความสัมพันธ์ระหว่างน้ำหนักสดกับน้ำหนักแห้งแต่ละระยะพัฒนาการของใบโกโก้ รวมถึงการเปลี่ยนแปลงของน้ำหนักสด น้ำหนักแห้ง และพื้นที่ใบแต่ละระยะพัฒนาการของใบโกโก้

2.4 พื้นที่ใบจำเพาะและน้ำหนักใบจำเพาะแต่ละระยะพัฒนาการของใบโกโก้

สุ่มเก็บใบโกโก้จำนวน 10 ใบ ต่อระยะพัฒนาการ วัดพื้นที่ใบในแต่ละระยะด้วยเครื่องวัดพื้นที่ใบ จากนั้นนำไปชั่งน้ำหนักสดด้วยเครื่องชั่งดิจิทัล 2 ตำแหน่ง และนำไปอบที่อุณหภูมิ 65 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 72 ชั่วโมง เพื่อบันทึกค่าน้ำหนักแห้ง นำค่าที่ได้มาคำนวณหาค่าพื้นที่ใบจำเพาะ (Specific Leaf Area; SLA) หน่วยเป็นตารางเซนติเมตรต่อกรัม 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 คลอโรฟิลล์และแคโรทีนอยด์ในใบโกโก้แต่ละระยะพัฒนาการของใบโกโก้

สุ่มวัดปริมาณคลอโรฟิลล์ในใบด้วยเครื่องวัดความเขียวใบ จำนวน 30 ใบ ใบละ 5 จุด นำค่ามาหาค่าเฉลี่ย หน่วยเป็น SPAD unit โดยวัดระหว่างเส้นใบ จากนั้นนำค่าที่ได้ไปคำนวณเป็นค่าปริมาณคลอโรฟิลล์ด้วยสมการปริมาณคลอโรฟิลล์เอ (Chlorophyll a; Chl_a) คลอโรฟิลล์บี (Chlorophyll b; Chl_b) คลอโรฟิลล์ทั้งหมด (Total chlorophyll; Chl_{total}) และปริมาณแคโรทีนอยด์ (Carotenoid; Car) โดยให้ x คือ ความเขียวใบ และ y คือ ปริมาณคลอโรฟิลล์และแคโรทีนอยด์ในใบโกโก้ นำค่าที่ได้แบ่งช่วงตามปริมาณคลอโรฟิลล์ในใบโกโก้แต่ละระยะพัฒนาของใบ (ภาพภาคผนวกที่ 1) (พิสมัย, 2562)

2.6 สีใบและความเขียวใบแต่ละระยะพัฒนาการของใบโกโก้

สุ่มวัดสีใบโกโก้ของระยะพัฒนาการต่าง ๆ ด้วยเครื่องวัดสี จำนวน 30 ใบ ใบละ 3 จุด นำค่ามาหาค่าเฉลี่ย และวัดความเขียวใบด้วยเครื่องวัดความเขียวใบ จำนวน 30 ใบ ใบละ 3 จุด นำค่ามาหาค่าเฉลี่ย เพื่อนำมาแบ่งช่วงระยะพัฒนาการตั้งแต่ใบสีน้ำตาลไปจนถึงใบสีเขียวเข้ม 4 ระยะ และหาสมการความสัมพันธ์ระหว่างสีใบ (a* b* และ L*) กับความเขียวใบ (SPAD reading) รวมถึงศึกษาการเปลี่ยนแปลงของสีใบและความเขียวใบตามระยะพัฒนาการของใบโกโก้ 4 ระยะ

3. ปริมาณสารพฤกษเคมีที่สำคัญในใบโกโก้แต่ละช่วงระยะพัฒนาการของใบ

3.1 การเตรียมตัวอย่าง

เก็บใบโกโก้ 4 ระยะพัฒนาการ ได้แก่ ระยะที่ 1 (อายุ 4-14 วัน) ระยะที่ 2 (อายุ 15-21 วัน) ระยะที่ 3 (อายุ 22-28 วัน) ระยะที่ 4 (อายุ 29-34 วัน) อบที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 48 ชั่วโมง นำไปบดให้ละเอียดด้วยเครื่องบดตัวอย่างพืช จากนั้นเก็บรักษาตัวอย่างที่บดละเอียดแล้วในถุงซิปใส เก็บไว้ในที่มืด ที่อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส เพื่อนำไปวิเคราะห์ปริมาณสารพฤกษเคมี (ดัดแปลงจาก Osman *et al.,* 2004)

3.2 การสกัดสาร

สกัดสารจากใบโกโก้ที่บดละเอียดด้วย 95 เปอร์เซ็นต์เอทานอล อัตราส่วนผงใบโกโก้ต่อเอทานอล 1 : 10 โดยน้ำหนักต่อปริมาตร ใส่ในขวดดูแรนปิดฝาให้สนิทและหมักทิ้งไว้ 24 ชั่วโมงที่อุณหภูมิห้อง โดยคนสารทุกๆ 8 ชั่วโมง จากนั้นกรองสารสกัดตัวอย่างด้วยกระดาษกรองเบอร์ 4 นำสารสกัดที่ได้หมุนเหวี่ยงที่ความเร็ว 4,000 รอบต่อนาที ด้วยเครื่องหมุนเหวี่ยงสารละลายเป็นเวลา 15 นาที ปิเปตสารละลาย จากนั้นนำไประเหยเอทานอลด้วยเครื่องกลั่นระเหย แบบหมุนภายใต้สุญญากาศ เทสารสกัดลงในขวดแก้วขนาด 20 มิลลิลิตร จากนั้นแช่ขวดแก้วในอ่างควบคุมอุณหภูมิ อุณหภูมิ 50 องศาเซลเซียส จนกระทั่งเอทานอลระเหยออกจนหมด ชั่งสารสกัด 25 มิลลิกรัม ลงในหลอดเซนตริฟิวจ์ขนาด 15 มิลลิลิตร และเติม 95 เปอร์เซ็นต์เอทานอล 5 มิลลิลิตร คนให้เข้ากันเพื่อเจือจางสารสกัดให้มีความเข้มข้น 100 ไมโครกรัมต่อมิลลิลิตร เพื่อนำสารสกัดที่ได้ไปวิเคราะห์หาสารพฤกษเคมี (ปานทิพย์ และวัลภา, 2557; Nantitanon *et al*., 2010)

3.3 การวิเคราะห์ปริมาณสารพฤกษเคมีที่สำคัญในใบโกโก้

3.3.1 การวิเคราะห์ปริมาณสารต้านอนุมูลอิสระ ตามวิธี Ferric Reducing Antioxidant Power Assay (FRAP)

วิเคราะห์ปริมาณสารต้านอนุมูลอิสระด้วยวิธีการสร้างสมการมาตรฐานระหว่างค่าการดูดกลืนแสงกับความเข้มข้นของเฟอร์รัสซัลเฟต โดยเจือจางเฟอร์รัสซัลเฟต ($FeSO_4$) จากความเข้มข้น 100 มิลลิกรัมต่อลิตร ให้มีความเข้มข้น 0, 20, 40, 60 และ 80 มิลลิกรัมต่อลิตร ด้วยน้ำกลั่น ปิเปตสารละลาย $FeSO_4$ 0.4 มิลลิลิตร แต่ละความเข้มข้น จำนวน 3 ซ้ำ เติม FRAP reagent 4.5 มิลลิลิตร ผสมให้เข้ากัน วางทิ้งไว้ในที่มืด เป็นเวลา 10 นาที วัดค่าการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 593 นาโนเมตร ด้วยเครื่องยูวี-วิสิเบิลสเปกโทรโฟโตมิเตอร์ และบันทึกค่าที่ได้ ปิเปตสารสกัดใบโกโก้

0.4 มิลลิลิตร จำนวน 3 ซ้ำ เติม FRAP reagent 4.5 มล. เขย่าด้วยเครื่องเขย่า (Vertex) วางไว้ในที่มืดเป็นเวลา 10 นาที ที่อุณหภูมิห้อง วัดการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 593 นาโนเมตร ด้วยเครื่องยูวี-วิสิเบิลสเปกโทรโฟโตมิเตอร์ และบันทึกค่าที่ได้ (ดัดแปลงจาก สุกัญญา, 2559)

3.3.2 การวิเคราะห์ปริมาณสารประกอบฟีนอลิก

วิเคราะห์สารประกอบฟีนอลิกทั้งหมดด้วยวิธี Folin-ciocalteu colorimatric assay สร้างสมการมาตรฐานความสัมพันธ์ระหว่างค่าการดูดกลืนแสงกับความเข้มข้นของกรดแกลลิก โดยเจือจางกรดแกลลิกด้วยน้ำกลั่นจากความเข้มข้น 100 มิลลิกรัมต่อลิตร ให้มีความเข้มข้น 0, 10, 20, 30 และ 40 มิลลิกรัมต่อลิตร จากนั้นปิเปตสารละลายกรดแกลลิกแต่ละความเข้มข้น 0.4 มิลลิลิตร จำนวน 3 ซ้ำ เติมโฟลินซิโอแคลตู รีเอเจนต์ 2 มิลลิลิตร วางทิ้งไว้ 5 นาที เติมโซเดียมคาร์บอเนตเข้มข้น 7.5 เปอร์เซ็นต์ ปริมาตร 1.5 มิลลิลิตร ผสมให้เข้ากัน เก็บในที่มืด 2 ชั่วโมง นำไปวัดค่าการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 751 นาโนเมตร ด้วยเครื่องยูวี-วิสิเบิลสเปกโทรโฟโตมิเตอร์ และบันทึกค่าที่ได้

วิเคราะห์ปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมดของสารสกัดใบโกโก้ ปิเปตสารสกัดใบโกโก้ช่วงระยะพัฒนาการละ 0.4 มิลลิลิตร จำนวน 3 ซ้ำ เติมโฟลินซิโอแคลตู รีเอเจนต์ 2 มิลลิลิตร วางทิ้งไว้ 5 นาที เติมโซเดียมคาร์บอเนตเข้มข้น 7.5 เปอร์เซ็นต์ ปริมาตร 1.5 มิลลิลิตร ผสมให้เข้ากัน เก็บในที่มืด 2 ชั่วโมง นำไปวัดค่าการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 751 นาโนเมตร ด้วยเครื่องยูวี-วิสิเบิลสเปกโทรโฟโตมิเตอร์ แล้วนำไปคำนวณหาปริมาณสารประกอบฟีนอลิกในสารสกัดโดยเปรียบเทียบกับกราฟมาตรฐานในหน่วยมิลลิกรัมสมมูลของกรดแกลลิกต่อกรัมของสารสกัดแห้ง (mg gallic acid equivalent/ g extract) (ดัดแปลงจาก สุกัญญา, 2559)

3.3.3 การวิเคราะห์ปริมาณกรดแกลลิก

วิเคราะห์กรดแกลลิกด้วยวิธี Folin-ciocalteu colorimetric assay และสร้างสมการมาตรฐานหาความสัมพันธ์ระหว่างค่าการดูดกลืนแสงกับความเข้มข้นของกรดแกลลิก โดยเตรียม Blank ใช้น้ำ 100 ไมโครลิตร ผสมกับโฟลินซิโอแคลตู รีเอเจนต์ 500 ไมโครลิตร และโซเดียมคาร์บอเนต 400 ไมโครลิตร เขย่าให้เข้ากัน วางทิ้งไว้ 30 นาที นำไปวัดค่าดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 756 นาโนเมตร ด้วยเครื่องยูวี-วิสิเบิลสเปกโทรโฟโตมิเตอร์ บันทึกค่าที่ได้

วิเคราะห์ปริมาณกรดแกลลิกของสารสกัดใบโกโก้ โดยดูดสารสกัดใบโกโก้ (ความเข้มข้น 100 ไมโครกรัมต่อมิลลิลิตร) 100 ไมโครลิตร เติมโฟลินซิโอแคลตู รีเอเจนต์ 500 ไมโครลิตร และโซเดียมคาร์บอเนต 400 ไมโครลิตร ผสมให้เข้ากันและวางทิ้งไว้ 30 นาที นำไปวัดค่าดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 756 นาโนเมตร ด้วยเครื่องยูวี-วิสิเบิลสเปกโทรโฟโตมิเตอร์ จำนวน 3 ซ้ำ บันทึกค่าที่

ได้ นำค่าการดูดกลืนแสงของสารสกัดใบโกโก้เทียบกับกราฟมาตรฐานกรดแกลลิก หน่วยเป็นมิลลิกรัมต่อกรัมของสารสกัดแห้ง (พิสมัย, 2562)

3.3.4 การวิเคราะห์ปริมาณฟลาโวนอยด์

วิเคราะห์ฟลาโวนอยด์ด้วยวิธี Aluminium chloride colorimetric assay และสร้างสมการมาตรฐานความสัมพันธ์ระหว่างค่าการดูดกลืนแสงกับความเข้มข้นของแคทีชิน โดยเจือจางแคทีชินจากความเข้มข้น 100 มิลลิกรัมต่อลิตร ให้มีความเข้มข้น 0, 10, 20, 30 และ 40 มิลลิกรัมต่อลิตร ด้วยน้ำกลั่น ดูดสารละลายแคทีชินแต่ละความเข้มข้น 0.4 มิลลิลิตร จำนวน 3 ซ้ำ เติมโซเดียมไนไตรท์เข้มข้น 5 เปอร์เซ็นต์ ปริมาตร 0.3 มิลลิลิตร เขย่าให้เข้ากัน เติมอะลูมิเนียมคลอไรด์เข้มข้น 10 เปอร์เซ็นต์ ปริมาตร 0.3 มิลลิลิตร เขย่าให้เข้ากัน และเติมโซเดียมไฮดรอกไซด์เข้มข้น 1 โมลาร์ ปริมาตร 2 มิลลิลิตร เขย่าให้เข้ากัน วางทิ้งไว้ 5 นาที นำไปวัดค่าการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 510 นาโนเมตร ด้วยเครื่องยูวี-วิสิเบิลสเปกโทรโฟโตมิเตอร์ บันทึกค่าที่ได้

วิเคราะห์ปริมาณฟลาโวนอยด์ในสารสกัดใบโกโก้ ตวงสารสกัดใบโกโก้แต่ละช่วงระยะพัฒนาการ 0.4 มิลลิลิตร จำนวน 3 ซ้ำ เติมโซเดียมไนไตรท์เข้มข้น 5 เปอร์เซ็นต์ ปริมาตร 0.3 มิลลิลิตร เขย่าให้เข้ากัน เติมอะลูมิเนียมคลอไรด์เข้มข้น 10 เปอร์เซ็นต์ ปริมาตร 0.3 มิลลิลิตร เขย่าให้เข้ากัน และเติมโซเดียมไฮดรอกไซด์เข้มข้น 1 โมลาร์ ปริมาตร 2 มิลลิลิตร เขย่าให้เข้ากัน วางทิ้งไว้ 5 นาที นำไปวัดค่าการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 510 นาโนเมตร ด้วยเครื่องยูวี-วิสิเบิลสเปกโทรโฟโตมิเตอร์ แล้วนำไปคำนวณหาปริมาณฟลาโวนอยด์ในสารสกัดโดยเปรียบเทียบกับกราฟมาตรฐานในหน่วยมิลลิกรัมสมมูลของแคทีชินต่อกรัมของสารสกัดใบโกโก้แห้ง (mg catechin equivalent/ g extract) (ดัดแปลงจาก Sultana *et al.,* 2009)

3.3.5 การวิเคราะห์ปริมาณแทนนิน

วิเคราะห์แทนนินด้วยวิธี Folin-ciocalteu colorimatric assay และสร้างสมการมาตรฐานความสัมพันธ์ระหว่างค่าการดูดกลืนแสงกับความเข้มข้นของกรดแทนนิก โดยเจือจางกรดแทนนิกจากความเข้มข้น 100 มิลลิกรัมต่อลิตร ให้มีความเข้มข้น 0, 10, 20, 30 และ 40 มิลลิกรัมต่อลิตร ด้วยน้ำกลั่น ดูดสารละลายกรดแทนนิกแต่ละความเข้มข้น 0.4 มิลลิลิตร จำนวน 3 ซ้ำ เติมโฟลินซิโอแคลตู รีเอเจนต์ 1.6 มิลลิลิตร และเติมโซเดียมคาร์บอเนตเข้มข้น 7.0 เปอร์เซ็นต์ ปริมาตร 2 มิลลิลิตร ผสมให้เข้ากัน เก็บในที่มืด 90 นาที นำไปวัดค่าการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 760 นาโนเมตร ด้วยเครื่องยูวี-วิสิเบิลสเปกโทรโฟโตมิเตอร์ และบันทึกค่าที่ได้

วิเคราะห์ปริมาณแทนนินของสารสกัดใบโกโก้ โดยดูดสารสกัดใบโกโก้แต่ละช่วงระยะพัฒนาการ 0.4 มิลลิลิตร จำนวน 3 ซ้ำ เติมโฟลินซิโอแคลตู รีเอเจนต์ 1.6 มิลลิลิตร และเติม

โซเดียมคาร์บอเนตเข้มข้น 7.0 เปอร์เซ็นต์ ปริมาตร 2 มิลลิลิตร ผสมให้เข้ากัน เก็บในที่มืด 90 นาที นำไปวัดค่าการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 760 นาโนเมตร ด้วยเครื่องยูวี-วิสิเบิลสเปกโทรโฟโตมิเตอร์ แล้วนำไปคำนวณหาปริมาณฟลาโวนอยด์ในสารสกัดโดยเปรียบเทียบกับกราฟมาตรฐานในหน่วยมิลลิกรัมสมมูลของกรดแทนนิกต่อกรัมของสารสกัดแห้ง (mg tannic acid equivalent/ g extract) (กรองจันทร์ และสมจิตต์, 2557)

การวิเคราะห์ข้อมูล

วิเคราะห์ข้อมูลโดยใช้ ANOVA เละเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยโดยวิธี Duncan’s Multiple Range Test (DMRT) ด้วยโปรแกรมวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติ R-Stat โดยใช้โปรแกรม R เวอร์ชั่น 2.14.0

การทดลองที่ 4 ผลของอุณหภูมิและอายุการเก็บรักษาต่อการเปลี่ยนแปลงลักษณะทางสรีรวิทยาและคุณภาพของผลโกโก้

ใช้ผลิตผลจากต้นโกโก้ลูกผสมชุมพร 1 อายุ 3 ปี ระยะปลูก 3×3 เมตร ปลูกแบบเชิงเดี่ยวบริเวณแปลงทดลองพืชศาสตร์ คณะทรัพยากรธรรมชาติ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ วิทยาเขตหาดใหญ่ จังหวัดสงขลา เก็บเกี่ยวฝักโกโก้ที่มีอายุประมาณ 5-6 เดือน หลังจากดอกบาน และสีฝักมีสีเขียวอมเหลือง ภายหลังการเก็บเกี่ยวทำความสะอาดผล คัดเลือกผลที่มีคุณภาพใกล้เคียงกันโดยเป็นผลที่ไม่มีตำหนิภายนอกจากการเข้าทำลายของโรคและแมลง

1. วิธีการศึกษา

2.1 ผลของอุณหภูมิการเก็บรักษาต่อลักษณะทางกายภาพของผลโกโก้

ภายหลังการเก็บเกี่ยวผลโกโก้ นำผลโกโก้ที่คัดเลือกทำความสะอาดด้วยไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ และล้างด้วยน้ำสะอาด บรรจุผลโกโก้ลงในตะกร้าพลาสติกขนาด (กว้าง x ยาว x สูง) : 25.5 x 33.5 x 8.5 เซนติเมตร จากนั้นนำไปเก็บรักษา 2 ทรีตเมนต์ ได้แก่ เก็บที่อุณหภูมิต่ำ (15±2 ℃) ความชื้นสัมพัทธ์ 74±8.8% และเก็บที่อุณหภูมิห้อง (29±2 ℃) ความชื้นสัมพัทธ์ 62.7±6.8% ทำการทดลอง ณ ห้องปฏิบัติการสรีรวิทยาหลังการเก็บเกี่ยว ภาควิชาพืชศาสตร์ คณะทรัพยากรธรรมชาติ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ สังเกตและบันทึกผลระยะเวลา 14 วัน สังเกตและบันทึกการเปลี่ยนแปลงลักษณะทางกายภาพดังนี้

2.1.1 การสูญเสียน้ำหนัก

ชั่งน้ำหนักผลทุกผลด้วยเครื่องชั่งดิจิตอล 2 ตำแหน่ง รุ่น ES-1200HA, Zepper, China ก่อนการเก็บรักษา และหลังเก็บรักษาเป็นระยะเวลาต่างๆ คำนวณปริมาณการสูญเสียน้ำหนักสะสม (%) ด้วยสูตรดังนี้

$$\text{ปริมาณการสูญเสียน้ำหนักสะสม (\%)} = \frac{(\text{น้ำหนักผลก่อนเก็บรักษา} - \text{น้ำหนักผลในวันที่วัดผล})}{\text{น้ำหนักผลก่อนเก็บรักษา}}$$

2.1.2 ประเมินการเปลี่ยนแปลงของค่าสีเปลือก

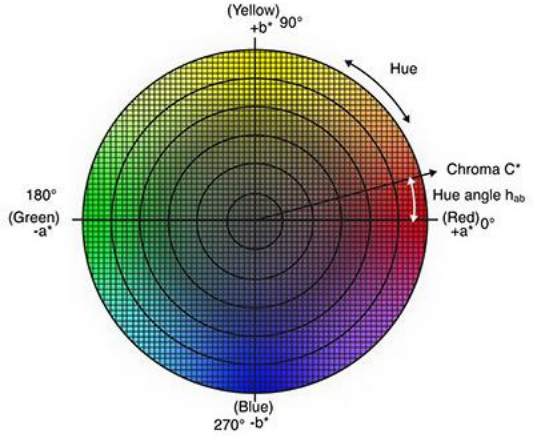
สุ่มผลโกโก้ซ้ำละ 4 ผล เพื่อประเมินคะแนนการเกิดสีน้ำตาลจากลักษณะภายนอกบนผิวเปลือกโกโก้ จากนั้นค่าสีด้วยเครื่องวัดสี Konica Minolta รุ่น CR 400, Japan โดยวัดบริเวณส่วนกลางผลตรงกันข้ามกัน 2 จุด บันทึกค่าสี L* และ Hue angle (h°)

ค่า L* แสดงถึงความสว่างของสี ซึ่งมีค่าตั้งแต่ 0 ถึง 100 ถ้าค่า L* มากแสดงว่ามีสีสว่างมากและค่า L* เท่ากับ 0 แสดงว่ามีสีทึบหรือไม่มีความสว่าง

ค่า h° แสดงถึงการเปลี่ยนแปลงของโทนสีในระดับต่างๆ ที่เปลี่ยนแปลงไปตามค่ามุมสี

เมื่อ ค่า c 0/360 เท่ากับสีแดง
ค่า h° 90 เท่ากับสีเหลือง
ค่า h° 180 เท่ากับสีเขียว
ค่า h° 270 เท่ากับสีน้ำเงิน

ดังในรูปแผนผังของ CIELAB (ภาพที่ 1)



ภาพที่ 2 a*, b* และ h° **chromaticity in diagram** ของ CIELAB
ที่มา: Centasia (2019)

2.1.3 ความแน่นเนื้อ

สุ่มผลโกโก้จากแต่ละทรีตเมนต์ๆ ละ 2 ผล วัดความแน่นเนื้อของฝักโกโก้ด้วยเครื่อง Firmness tester ยี่ห้อ Penetrometor mode รุ่น FT-327, Italy โดยวัดบริเวณส่วนกลางผลตรงกันข้ามกัน 2 จุด จากนั้นนำมาหาค่าเฉลี่ย แล้วนำค่าที่ได้มาคูณด้วย 9.807 เพื่อใช้เปรียบเทียบระหว่างทรีตเมนต์โดยฝักโกโก้ที่มีการเสื่อมสภาพหรือมีความแน่นเนื้อน้อยจะต้านทานต่อแรงกระทำได้น้อยกว่าฝักโกโก้ที่ยังไม่เสื่อมคุณภาพ

2.2 ผลของอุณหภูมิการเก็บรักษาต่อคุณภาพของผลโกโก้

2.2.1 ปริมาณกรดทั้งหมดของเยื่อหุ้มเมล็ดโกโก้

ระดับความเป็นกรดในเยื่อหุ้มเมล็ด และเมล็ดโกโก้สดสามารถวัดค่า pH และหาปริมาณกรด (TA) โดยดัดแปลงวิธีมาจาก Bariah และคณะ (2017) ใช้ปริมาณ 10 กรัมของเยื่อหุ้มเมล็ด ปรับปริมาตรด้วยน้ำกลั่น 90 มิลลิลิตร ผสมให้เข้ากันเป็นเวลาสองนาทีกรองด้วยกระดาษกรองเบอร์ 1 นำสารละลายไตเตรทด้วย 0.1 N NaOH มี Phenolphthalein เป็นอินดิเคเตอร์ จนถึงค่า pH ที่ 8.1 จากนั้นนำค่าที่บันทึกได้คำนวณหาปริมาณกรดในรูปกรดซิตริก ดังสมการ

$$\text{เปอร์เซ็นต์กรดซิตริก} = \frac{\text{ความเข้มข้นของ } \mathbf{NaOH\ (0.1\ N)} \times \text{ปริมาณ } \mathbf{NaOH} \text{ ที่ใช้ (มิลลิลิตร)} \times 0.06404 \times 100}{\text{ปริมาณตัวอย่างที่ใช้ไทเทรต} \times 10}$$

2.2.2 ปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำได้

ทำการคั้นน้ำจากเนื้อโกโก้ซ้ำละ 3 ผล ๆ ละ 5 เมล็ด กรองด้วยผ่านผ้าขาวบาง จากนั้นหยดตัวอย่างลงบนเครื่องวัดปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำได้ โดยใช้เครื่อง Hand refractometer บันทึกผลเป็น องศาบริกซ์ (°Brix)

การวางแผนการทดลอง

ทำการทดลองแบบสุ่มสมบูรณ์ (Completely Randomized Design; CRD) ประกอบด้วย 2 กรรมวิธี ได้แก่ ชุดควบคุมเก็บรักษาที่อุณหภูมิห้อง (29±2 ℃) และที่อุณหภูมิต่ำ (15±2 ℃) โดยทำการวิเคราะห์ความแปรปรวน (Analysis of Variance; ANOVA) ด้วยโปรแกรม R-Studio เปรียบเทียบความแตกต่างของค่าเฉลี่ยโดยวิธี Duncan's multiple rang test (DMRT) ที่ระดับความเชื่อมั่น 95% ด้วยโปรแกรม R-Studio

สถานที่ทำการทดลอง และบันทึกข้อมูล

1. แปลงทดลองภาควิชาพืชศาสตร์ คณะทรัพยากรธรรมชาติมหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ วิทยาเขตหาดใหญ่ จังหวัดสงขลา
2. ห้องปฏิบัติการนิเวศสรีรวิทยาพืช (2-0260-0084-1) สาขาวิชานวัตกรรมการเกษตรและการจัดการ คณะทรัพยากรธรรมชาติ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ จังหวัดสงขลา
3. ห้องปฏิบัติการสรีรวิทยาหลังการเก็บเกี่ยว (2-0260-0111-1) สาขาวิชานวัตกรรมการเกษตรและการจัดการ คณะทรัพยากรธรรมชาติ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ จังหวัดสงขลา

ระยะเวลาทำการวิจัย

ระยะเวลาการทำการวิจัย ระหว่างเดือนกรกฎาคม พ.ศ.2562 ถึงเดือนธันวาคม พ.ศ. 2564

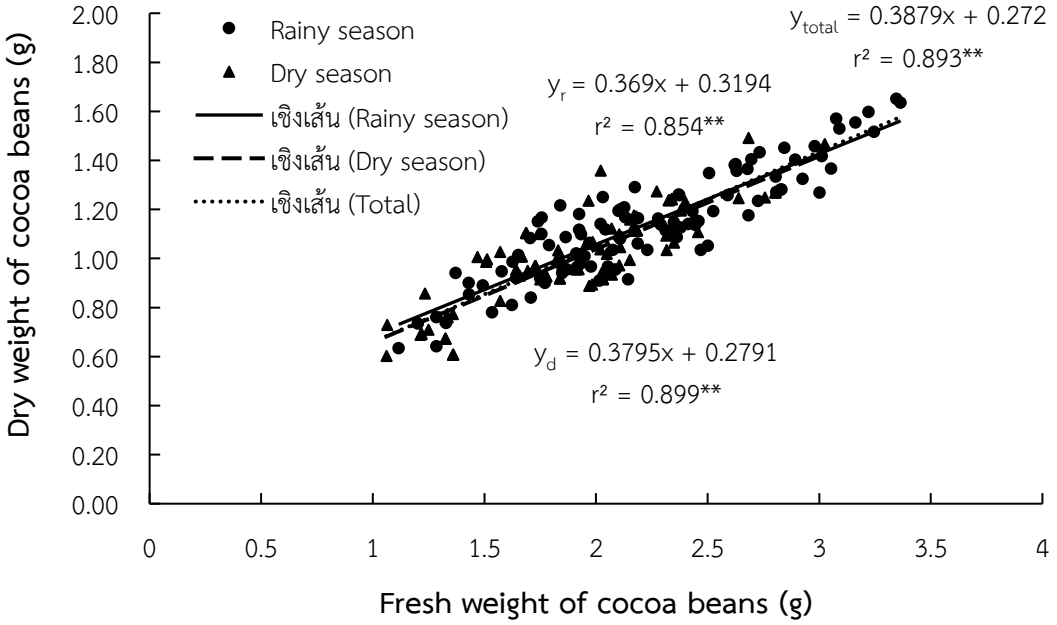
บทที่ 3

ผล

การทดลองที่ 1 ผลของฤดูกาลและแหล่งปลูกในการเก็บเกี่ยวต่อคุณสมบัติทางกายภาพและปริมาณไขมันของโกโก้

1.1 ความสัมพันธ์ระหว่างน้ำหนักเมล็ดโกโก้สดและเมล็ดโกโก้แห้งแต่ละฤดูกาลเก็บเกี่ยว

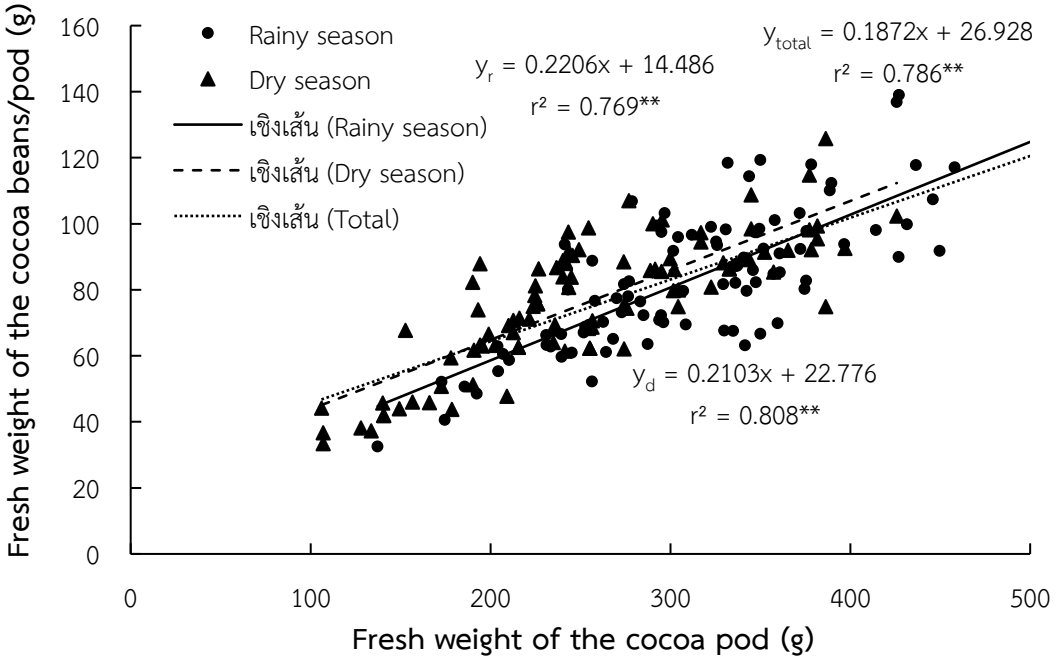
การเปลี่ยนแปลงของน้ำหนักสด และน้ำหนักแห้งในแต่ละฤดูกาลเก็บเกี่ยว พบว่าน้ำหนักสดเฉลี่ยทั้งสองฤดูกาลเก็บเกี่ยว มีความสัมพันธ์เชิงบวกในสมการเส้นตรง $y = 0.3879x + 0.272$ ($r^2 = 0.893^{**}$) ที่มีการกระจายตัวแคบ ซึ่งค่าน้ำหนักสดมีความความสัมพันธ์ทางสถิติอย่างมีนัยสำคัญยิ่งกับค่าน้ำหนักแห้งของเมล็ดโกโก้เฉลี่ยทั้งสองฤดูกาลเก็บเกี่ยว (ภาพที่ 3) ค่าน้ำหนักสดและน้ำหนักแห้งของเมล็ดโกโก้ที่เก็บเกี่ยวในช่วงฤดูฝน มีความสัมพันธ์เชิงบวกในสมการเส้นตรง $y_r = 0.369x + 0.3194$ ($r^2 = 0.854^{**}$) ที่มีการกระจายตัวแคบ ซึ่งค่าน้ำหนักสดมีความสัมพันธ์ทางสถิติอย่างมีนัยสำคัญยิ่งกับค่าน้ำหนักแห้งของเมล็ดโกโก้ที่เก็บเกี่ยวในช่วงฤดูฝน ค่าน้ำหนักสดและน้ำหนักแห้งของเมล็ดโกโก้ที่เก็บเกี่ยวในช่วงฤดูแล้ง มีความสัมพันธ์เชิงบวกในสมการเส้นตรง $y_d = 0.3795x + 0.2791$ ($r^2 = 0.899^{**}$) ที่มีการกระจายตัวแคบ ซึ่งค่าน้ำหนักสดมีความสัมพันธ์ทางสถิติอย่างมีนัยสำคัญยิ่งกับค่าน้ำหนักแห้งของเมล็ดโกโก้ที่เก็บเกี่ยวในช่วงฤดูแล้ง



ภาพที่ 3 ความสัมพันธ์ระหว่างน้ำหนักสดและน้ำหนักแห้งของเมล็ดโกโก้ (n=119) ในฤดูฝนและฤดูแล้ง
** มีความสัมพันธ์ทางสถิติอย่างมีนัยสำคัญยิ่งที่ระดับ $P \leq 0.01$

1.2 ความสัมพันธ์ระหว่างน้ำหนักสดทั้งฝักกับน้ำหนักสดของเมล็ดโกโก้

ความสัมพันธ์ระหว่างน้ำหนักสดทั้งฝักกับน้ำหนักสดของเมล็ดโกโก้ พบว่า น้ำหนักสดของเมล็ดโกโก้และน้ำหนักสดทั้งฝักเฉลี่ยทั้งสองฤดูกาลเก็บเกี่ยวมีความสัมพันธ์เชิงบวกในสมการเส้นตรง $y = 0.1872x + 26.928$ ($r^2 = 0.786^{**}$) ที่มีการกระจายตัวกว้าง ซึ่งค่าน้ำหนักสดของเมล็ดโกโก้มีความสัมพันธ์ทางสถิติอย่างมีนัยสำคัญยิ่งกับค่าน้ำหนักสดทั้งฝักเฉลี่ยทั้งสองฤดูกาลเก็บเกี่ยว (ภาพที่ 4) ค่าน้ำหนักสดของเมล็ดโกโก้และน้ำหนักสดทั้งฝักที่เก็บเกี่ยวในช่วงฤดูฝนมีความสัมพันธ์เชิงบวกในสมการเส้นตรง $y_r = 0.2206x + 14.486$ ($r^2 = 0.769^{**}$) ที่มีการกระจายตัวกว้าง ซึ่งค่าน้ำหนักสดของเมล็ดโกโก้มีความสัมพันธ์ทางสถิติอย่างมีนัยสำคัญสำคัญยิ่งกับค่าน้ำหนักสดทั้งฝักที่เก็บเกี่ยวในช่วงฤดูฝน ในขณะที่ค่าน้ำหนักสดของเมล็ดโกโก้และน้ำหนักสดทั้งฝักที่เก็บเกี่ยวในช่วงฤดูแล้งมีความสัมพันธ์เชิงบวกในสมการเส้นตรง $y_d = 0.2103x + 22.776$ ($r^2 = 0.808^{**}$) ที่มีการกระจายตัวกว้าง ซึ่งค่าน้ำหนักสดของเมล็ดโกโก้มีความสัมพันธ์ทางสถิติอย่างมีนัยสำคัญสำคัญยิ่งกับค่าน้ำหนักสดทั้งฝักที่เก็บเกี่ยวในช่วงฤดูแล้ง



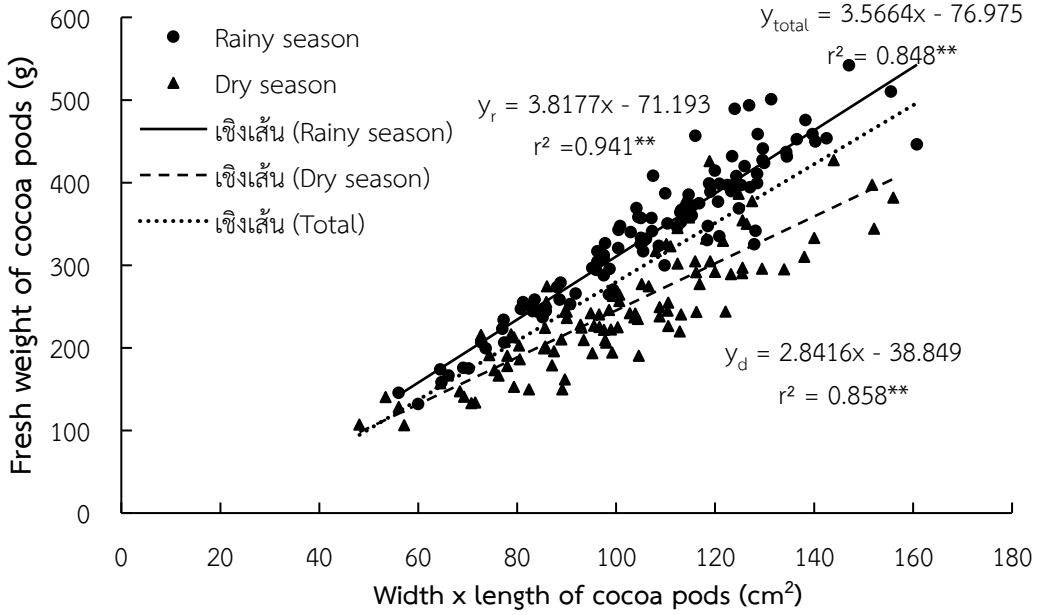
ภาพที่ 4 ความสัมพันธ์ระหว่างน้ำหนักสดของเมล็ดโกโก้และน้ำหนักสดของจำนวนเมล็ดต่อฝักของโกโก้ (n=187) ในฤดูฝนและฤดูแล้ง

** มีความสัมพันธ์ทางสถิติอย่างมีนัยสำคัญยิ่งที่ระดับ $P \leq 0.01$

1.3 ความสัมพันธ์ระหว่างขนาดฝักกับน้ำหนักสดฝัก

1.3.1 ความสัมพันธ์ระหว่างขนาดกว้าง x ยาวฝัก กับน้ำหนักสดฝัก

ความสัมพันธ์ระหว่างน้ำหนักสดฝักกับขนาดกว้าง x ยาวฝัก พบว่า น้ำหนักสดฝักกับขนาดกว้าง x ยาวฝักเฉลี่ยทั้งสองฤดูกาลเก็บเกี่ยว มีความสัมพันธ์เชิงบวกในสมการเส้นตรง $y = 3.5664x - 76.975$ ($r^2 = 0.848^{**}$) ที่มีการกระจายตัวกว้าง ซึ่งค่า น้ำหนักสดฝักมีความสัมพันธ์ทางสถิติอย่างมีนัยสำคัญยิ่งกับค่าขนาดกว้าง x ยาวฝักเฉลี่ยทั้งสองฤดูกาลเก็บเกี่ยว (ภาพที่ 5) ค่าน้ำหนักสดฝักที่เก็บเกี่ยวในช่วงฤดูฝนมีความสัมพันธ์เชิงบวกในสมการเส้นตรง $y_r = 3.8177x - 71.193$ ($r^2 = 0.941^{**}$) ที่มีการกระจายตัวกว้าง ซึ่งค่าน้ำหนักสดฝักมีความสัมพันธ์ทางสถิติอย่างมีนัยสำคัญยิ่งกับค่าขนาดกว้าง x ยาวฝักเก็บเกี่ยวในช่วงฤดูฝน ในขณะที่ ค่าน้ำหนักสดฝักที่เก็บเกี่ยวในช่วงฤดูแล้งมีความสัมพันธ์เชิงบวกในสมการเส้นตรง $y_d = 2.8416x - 38.849$ ($r^2 = 0.858^{**}$) ที่มีการกระจายตัวกว้าง ซึ่งค่าน้ำหนักสดฝักมีความสัมพันธ์ทางสถิติอย่างมีนัยสำคัญยิ่งกับค่าขนาดกว้าง x ยาวฝักที่เก็บเกี่ยวในช่วงฤดูแล้ง

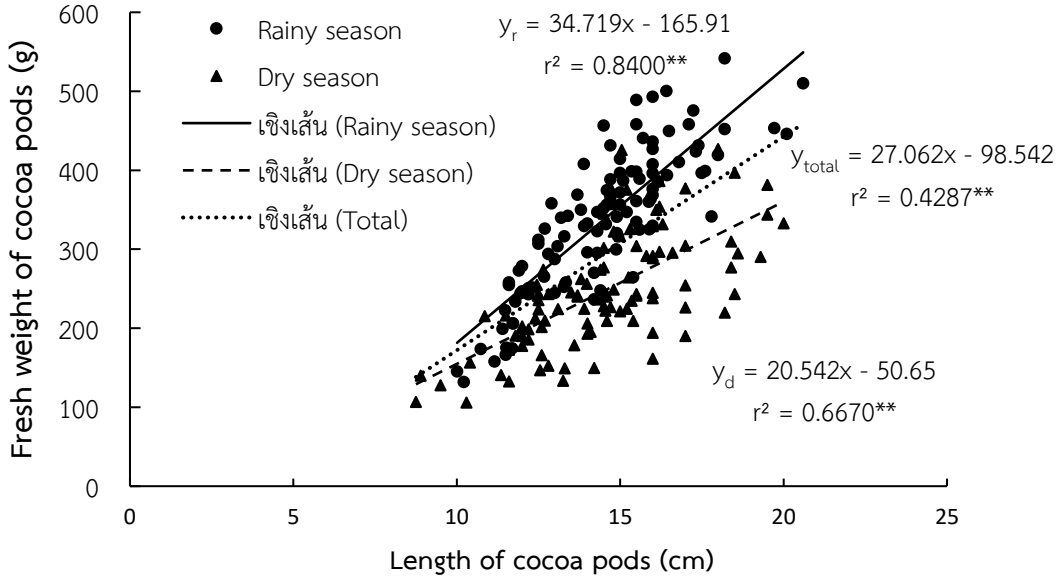


ภาพที่ 5 ความสัมพันธ์ระหว่างน้ำหนักสดฝักโกโก้และขนาดฝักโกโก้ (กว้าง×ยาว) (n=205) ในฤดูฝนและฤดูแล้ง

** มีความสัมพันธ์ทางสถิติอย่างมีนัยสำคัญยิ่งที่ระดับ $P \leq 0.01$

1.3.2 ความสัมพันธ์ระหว่างความยาวฝักกับน้ำหนักสดฝัก

ความสัมพันธ์ระหว่างน้ำหนักสดฝักกับความยาวฝัก พบว่า น้ำหนักสดฝักกับความยาวฝักเฉลี่ยทั้งสองฤดูกาลเก็บเกี่ยว มีความสัมพันธ์เชิงบวกในสมการเส้นตรง y = 27.062x - 98.542 (r^2 = 0.4287**) ที่มีการกระจายตัวกว้าง ซึ่งค่า น้ำหนักสดฝักมีความสัมพันธ์ทางสถิติอย่างมีนัยสำคัญยิ่งกับค่าความยาวฝักเฉลี่ยทั้งสองฤดูกาลเก็บเกี่ยว (ภาพที่ 6) ค่าน้ำหนักสดฝักที่เก็บเกี่ยวในช่วงฤดูฝนมีความสัมพันธ์เชิงบวกในสมการเส้นตรง y_r = 34.719x - 165.91 (r^2 = 0.8400**) ที่มีการกระจายตัวกว้าง ซึ่งค่าน้ำหนักสดฝักมีความสัมพันธ์ทางสถิติอย่างมีนัยสำคัญยิ่งกับความยาวฝักเก็บเกี่ยวในช่วงฤดูฝน ในขณะที่ ค่าน้ำหนักสดฝักที่เก็บเกี่ยวในช่วงฤดูแล้งมีความสัมพันธ์เชิงบวกในสมการเส้นตรง y_d = 20.542x - 50.65 (r^2 = 0.6670**) ที่มีการกระจายตัวกว้าง ซึ่งค่าน้ำหนักสดฝักมีความสัมพันธ์ทางสถิติอย่างมีนัยสำคัญยิ่งกับค่าความยาวฝักที่เก็บเกี่ยวในช่วงฤดูแล้ง

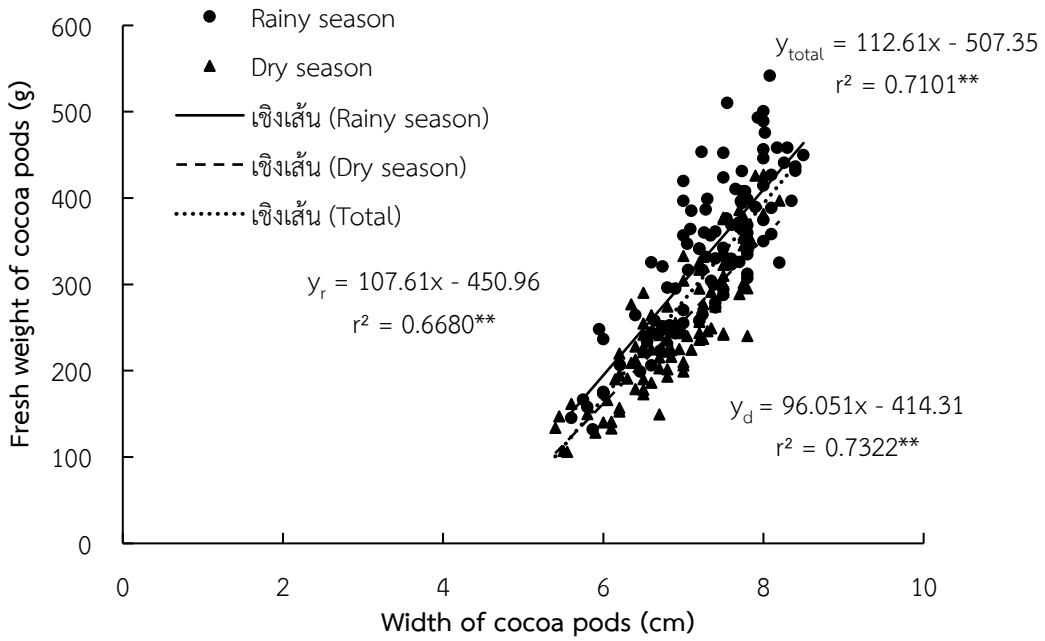


ภาพที่ 6 ความสัมพันธ์ระหว่างน้ำหนักสดฝักโกโก้และความยาวของฝักโกโก้ (n=205) ในฤดูฝนและฤดูแล้ง

** มีความสัมพันธ์ทางสถิติอย่างมีนัยสำคัญยิ่งที่ระดับ P≤0.01

1.3.3 ความสัมพันธ์ระหว่างความกว้างฝักกับน้ำหนักสดฝัก

ความสัมพันธ์ระหว่างน้ำหนักสดฝักกับความยาวฝัก พบว่า น้ำหนักสดฝักกับความยาวฝักเฉลี่ยทั้งสองฤดูกาลเก็บเกี่ยว มีความสัมพันธ์เชิงบวกในสมการเส้นตรง y = 112.61x - 507.35 (r^2 = 0.7101**) ที่มีการกระจายตัวกว้าง ซึ่งค่า น้ำหนักสดฝักมีความสัมพันธ์ทางสถิติอย่างมีนัยสำคัญยิ่งกับค่าความยาวฝักเฉลี่ยทั้งสองฤดูกาลเก็บเกี่ยว (ภาพที่ 7) ค่าน้ำหนักสดฝักที่เก็บเกี่ยวในช่วงฤดูฝนมีความสัมพันธ์เชิงบวกในสมการเส้นตรง y_r = 107.61x - 450.96 (r^2 = 0.6680**) ที่มีการกระจายตัวกว้าง ซึ่งค่าน้ำหนักสดฝักมีความสัมพันธ์ทางสถิติอย่างมีนัยสำคัญยิ่งกับความยาวฝักเก็บเกี่ยวในช่วงฤดูฝน ในขณะที่ ค่าน้ำหนักสดฝักที่เก็บเกี่ยวในช่วงฤดูแล้งมีความสัมพันธ์เชิงบวกในสมการเส้นตรง y_d = 96.051x - 414.31 (r^2 = 0.7322**) ที่มีการกระจายตัวกว้าง ซึ่งค่าน้ำหนักสดฝักมีความสัมพันธ์ทางสถิติอย่างมีนัยสำคัญยิ่งกับค่าความยาวฝักที่เก็บเกี่ยวในช่วงฤดูแล้ง



ภาพที่ 7 ความสัมพันธ์ระหว่างน้ำหนักสดฝักโกโก้และความกว้างของฝักโกโก้ (n=205) ในฤดูฝนและฤดูแล้ง

** มีความสัมพันธ์ทางสถิติอย่างมีนัยสำคัญยิ่งที่ระดับ P≤0.01

1.2 ผลของฤดูกาลต่อลักษณะทางกายภาพของโกโก้

1.2.1 ลักษณะทางกายภาพของเมล็ดและฝักโกโก้

จากการเก็บข้อมูล พบว่า ฝักโกโก้ที่มีน้ำหนักสดฝัก น้ำหนักสดเมล็ด/ฝัก น้ำหนักสดเฉลี่ยต่อเมล็ด และน้ำหนักแห้งเฉลี่ยต่อเมล็ดมากที่สุด คือ ฝักโกโก้ที่เก็บเกี่ยวในช่วงฤดูฝน (Rainy season) มีค่า 313.11±72.62 กรัม 83.56±20.84 2.22±0.53 และ 1.14±0.224 กรัม ตามลำดับ (ตารางที่ 1) ซึ่งมีความแตกต่างทางสถิติอย่างมีนัยสำคัญยิ่งกับฝักโกโก้ที่เก็บเกี่ยวในช่วงฤดูแล้ง (Dry season) ซึ่งมีค่า 252.31±74.13 กรัม 76.28±19.18 และ 1.66±0.57 และ 1.00±0.18 กรัม ตามลำดับ เช่นเดียวกับความกว้าง และความยาวของฝักที่มากที่สุด คือ ฝักโกโก้ที่เก็บเกี่ยวในช่วงฤดูฝน (Rainy season) มีค่า 7.13±0.92 และ 14.42±2.34 เซนติเมตร ตามลำดับ ไม่มีความแตกต่างทางสถิติอย่างมีนัยสำคัญยิ่งกับฝักโกโก้ที่เก็บเกี่ยวในช่วงฤดูแล้ง (Dry season) ซึ่งมีค่า 6.76±0.73 และ 14.12±3.43 เซนติเมตร ตามลำดับ

ตารางที่ 1 น้ำหนักสดของฝักโกโก้ น้ำหนักสดของเมล็ดต่อฝักโกโก้ น้ำหนักสดของเมล็ดโกโก้ น้ำหนักแห้งของเมล็ดโกโก้ ความกว้างของฝักโกโก้ ความยาวของฝักโกโก้ ในแต่ละฤดูกาลเก็บเกี่ยวฝักโกโก้

Seasons	Fresh weight of Pods (g)	Fresh weight of beans/pod (g)	Fresh weight of beans (g)	Dry weight of beans (g)	Pod width (cm)	Pod length (cm)
Dry season	106.04-425.87	33.32-125.70	0.77-3.02	0.60-1.49	5.50-8.20	8.75-18.52
Average	252.31±74.13b	76.28±19.18b	1.66±0.57b	1.00±0.18b	6.76±0.73	14.12±3.43
Rainy season	137.3-512.44	32.49-138-97	1.12-3.36	0.63-1.65	5.00-9.50	7.50-21.20
Average	313.11±72.62a	83.56±20.84a	2.22±0.53a	1.14±0.22a	7.13±0.92	14.42±2.34
T-test	**	**	**	**	ns	ns
C.V. (%)	26.04	25.06	28.21	18.86	12.79	17.02

หมายเหตุ: ค่าเฉลี่ยและส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน (SD) ที่กำกับด้วยตัวอักษรต่างกันในแต่ละสดมภ์มีความแตกต่างทางสถิติอย่างมีนัยสำคัญยิ่ง จากการเปรียบเทียบโดยวิธี DMRT ที่ระดับ P≤0.01

** มีความแตกต่างทางสถิติอย่างมีนัยสำคัญยิ่งที่ระดับ P≤0.01

ns = ไม่มีความแตกต่างทางสถิติ

1.2.2 การทดสอบคุณภาพสี

จากการวิเคราะห์คุณภาพสีของฝักโกโก้พบว่า ฝักโกโก้มีค่า a* ไม่แตกต่างกันทางสถิติ โดยฝักโกโก้ที่เก็บเกี่ยวในช่วงฤดูฝนมีค่าสูงที่สุด ซึ่งมีค่า a* เท่ากับ 9.69±4.43 ซึ่งมีความแตกต่างทางสถิติกับฝักโกโก้ที่เก็บเกี่ยวในช่วงฤดูแล้ง ซึ่งมีค่า a* ต่ำที่สุด เท่ากับ 7.01±4.23 (ตารางที่ 2) ในส่วนของค่า b* มีค่าไม่แตกต่างกันทางสถิติ โดยฝักโกโก้ที่เก็บเกี่ยวในช่วงฤดูฝนมีค่าสูงที่สุด ซึ่งมีค่า b* เท่ากับ 53.41±4.28 ซึ่งมีความแตกต่างทางสถิติกับฝักโกโก้ที่เก็บเกี่ยวในช่วงฤดูแล้ง ซึ่งมีค่า b* ต่ำที่สุด เท่ากับ 48.27±6.59 (ตารางที่ 2) ในขณะที่จากการวิเคราะห์คุณภาพความสว่างของฝักโกโก้ในแต่ละฤดูกาลเก็บเกี่ยว พบว่า การเก็บเกี่ยวในช่วงฤดูแล้งค่าความสว่างของฝักโกโก้มีแนวโน้มเพิ่มขึ้นมากกว่าการเก็บเกี่ยวในช่วงฤดูฝน

ตารางที่ 2 การเปลี่ยนแปลงของค่าสีของฝักโกโก้ (L*, a*, b* และ Hue) ในแต่ละฤดูกาลเก็บเกี่ยวโกโก้

Season	Cocoa pod husk color			
	L*	a*	b*	Hue°
Dry season	57.26–76.95	3.83-12.76	31.10–61	75.75-103.82
Average	65.53±5.22	7.49±2.98	48.07±7.12	86.59±8.36
Rainy season	51.96-71.41	4.24-13.27	37.87-61.24	45.39-99.21
Average	64.79±5.67	8.20±3.04	50.59±7.16	83.71±11.23
T-test	ns	ns	ns	ns
C.V. (%)	8.17	38.95	14.77	9.22

หมายเหตุ: ค่า L* = ความสว่างของสี ค่า a* = ความเป็นสีแดง ค่า b* = ความเป็นสีเหลือง และค่ามุมสี (Hue°)
เปรียบเทียบค่าเฉลี่ยโดยวิธี DMRT ที่ระดับ P≤0.05
ns = ไม่มีความแตกต่างทางสถิติ

1.2.3 ผลของฤดูกาลการเก็บเกี่ยวต่อปริมาณไขมันในเมล็ดโกโก้

เปอร์เซ็นต์ไขมันในเมล็ดโกโก้ลูกผสมชุมพร 1 ในแต่ละฤดูกาลเก็บเกี่ยว มีแนวโน้มลดลงเล็กน้อยเมื่อเก็บเกี่ยวในช่วงฤดูฝน โดยในแต่ละช่วงเก็บเกี่ยวทั้งสองฤดูกาลมีเปอร์เซ็นต์ไขมันในเมล็ดไม่แตกต่างทางสถิติ (ตารางที่ 3) โดยเมล็ดโกโก้ที่เก็บเกี่ยวในฤดูแล้งมีปริมาณไขมันเฉลี่ยในเมล็ดเท่ากับ 43.22 เปอร์เซ็นต์ ซึ่งมีปริมาณมากกว่าเมล็ดโกโก้ที่เก็บเกี่ยวในฤดูฝน

ตารางที่ 3 ปริมาณไขมัน (%) ของเมล็ดโกโก้ในแต่ละฤดูกาลเก็บเกี่ยวเมล็ดโกโก้

Seasons	Fat content (%)
Dry season	43.22 ± 5.34
Rainy season	41.06 ± 3.29
Mean	42.88
T-test	ns
C.V. (%)	11.90

หมายเหตุ: ค่าเฉลี่ยและส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน (SD) ที่กำกับด้วยตัวอักษรต่างกันในแต่ละสดมภ์มีความแตกต่างทางสถิติอย่างมีนัยสำคัญยิ่ง จากการเปรียบเทียบโดยวิธี DMRT ที่ระดับ P≤0.01
ns = ไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ

การทดลองที่ 2 อิทธิพลของฤดูกาลในการเก็บเกี่ยวต่อลักษณะทางกายภาพและคุณภาพกลิ่นรสของเมล็ดโกโก้

2.1 ผลของแหล่งปลูกและฤดูกาลการเก็บเกี่ยวต่อลักษณะทางกายภาพของเมล็ดโกโก้

จากการจัดขนาดของเมล็ดโกโก้จากพื้นที่การศึกษาในแต่ละฤดูกาลการเก็บเกี่ยว พบว่า เมล็ดโกโก้ที่มีขนาดใหญ่มากที่สุด (Size L) หรือเมล็ดโกโก้ที่มีจำนวนเมล็ดน้อยกว่า 100 เมล็ดต่อน้ำหนัก 100 กรัม คือ เมล็ดโกโก้จากพื้นที่ปลูกจังหวัดนครศรีธรรมราช (Nk) ที่เก็บเกี่ยวในช่วงฤดูฝน รองลงมา คือ เมล็ดโกโก้ที่เก็บเกี่ยวในช่วงฤดูแล้ง โดยมีค่าเฉลี่ยจำนวนเมล็ด เท่ากับ 87.00 และ 92.33 เมล็ด ต่อน้ำหนัก 100 กรัม ตามลำดับ ในขณะที่เมล็ดโกโก้จากพื้นที่ปลูกจังหวัดสงขลา (Psu) ที่เก็บเกี่ยวในช่วงฤดูแล้ง เมล็ดโกโก้มีขนาดกลาง (Size M) โดยมีจำนวนเมล็ดเฉลี่ย เท่ากับ 102.67 เมล็ด ต่อน้ำหนัก 100 กรัม (ตารางที่ 4)

จากการวิเคราะห์เปอร์เซ็นต์ความชื้นของเมล็ดโกโก้ พบว่า ฤดูกาลเก็บเกี่ยวที่แตกต่างกันมีเปอร์เซ็นต์ความชื้นแตกต่างทางสถิติอย่างมีนัยสำคัญยิ่ง โดยการเก็บเกี่ยวในช่วงฤดูแล้งมีเปอร์เซ็นต์ความชื้น เท่ากับ 3.54 เปอร์เซ็นต์ ซึ่งมีค่ามากที่สุดแต่ไม่มีความแตกต่างทางสถิติอย่างมีนัยสำคัญยิ่งกับการเก็บเกี่ยวในช่วงฤดูฝน ที่มีค่าเท่ากับ 3.50 เปอร์เซ็นต์ ซึ่งมีเปอร์เซ็นต์น้อยที่สุด (ตารางที่ 4) เช่นเดียวกับแหล่งปลูกที่ต่างกันมีเปอร์เซ็นต์ความชื้นในเมล็ดแตกต่างทางสถิติอย่างมีนัยสำคัญยิ่ง โดยเมล็ดโกโก้จากแหล่งปลูกจังหวัดนครศรีธรรมราช (Nk) มีเปอร์เซ็นต์ความชื้น เท่ากับ 3.59 เปอร์เซ็นต์ ซึ่งมีค่ามากที่สุดและมีความแตกต่างทางสถิติอย่างมีนัยสำคัญยิ่งกับเมล็ดโกโก้จากแหล่งปลูกจังหวัดสงขลา (Psu) ซึ่งมีค่าเท่ากับ 3.45 เปอร์เซ็นต์ ซึ่งมีเปอร์เซ็นต์น้อยที่สุด เช่นเดียวกับปฏิสัมพันธ์ระหว่างฤดูกาลเก็บเกี่ยวเมล็ดโกโก้ในแต่ละแหล่งปลูกมีอิทธิพลต่อเปอร์เซ็นต์ความชื้น มีเปอร์เซ็นต์ความชื้นแตกต่างทางสถิติอย่างมีนัยสำคัญยิ่ง โดยการเก็บเกี่ยวเมล็ดโกโก้ในช่วงฤดูแล้งจากแหล่งปลูกจังหวัดนครศรีธรรมราช (Nk) มีเปอร์เซ็นต์ความชื้น 3.66 เปอร์เซ็นต์ ซึ่งมีเปอร์เซ็นต์มากที่สุดและมีความแตกต่างทางสถิติอย่างมีนัยสำคัญยิ่งเมื่อเทียบกับชุดการทดลองอื่น และเมล็ดโกโก้ที่เก็บเกี่ยวในช่วงฤดูแล้งจากแหล่งปลูกจังหวัดสงขลา (Psu) มีเปอร์เซ็นต์ความชื้น 3.43 เปอร์เซ็นต์ ซึ่งมีเปอร์เซ็นต์น้อยที่สุดและมีความแตกต่างทางสถิติอย่างมีนัยสำคัญยิ่งเมื่อเทียบกับชุดการทดลองอื่น

การทดสอบด้านคุณภาพจากการนับจำนวนเมล็ดจากตัวอย่างเมล็ดโกโก้ 100 กรัม ในฤดูกาลเก็บเกี่ยวช่วงฤดูฝนและช่วงฤดูแล้ง จากพื้นที่ปลูกจังหวัดนครศรีธรรมราช (Nk) และจังหวัดสงขลา (Psu) พบว่า ฤดูกาลเก็บเกี่ยวจำนวนเมล็ดมีค่าเฉลี่ยแตกต่างกันทางสถิติอย่างมีนัยสำคัญ โดยฤดูกาลเก็บเกี่ยวช่วงฤดูแล้ง มีค่าจำนวนเมล็ดเฉลี่ย เท่ากับ 97.5 เมล็ด ซึ่งมีค่ามากที่สุดและมีความแตกต่างทางสถิติอย่างมีนัยสำคัญกับการเก็บเกี่ยวช่วงฤดูฝน ที่มีค่าเท่ากับ 94.67 เมล็ด (ตารางที่ 4) ซึ่งจำนวนเมล็ดที่มีจำนวนเมล็ดน้อยกว่า 100 เมล็ดต่อน้ำหนัก 100 กรัม คือ เมล็ดโกโก้ที่มีขนาดใหญ่ (ไซต์ L) เมล็ดโกโก้ที่มีจำนวน 100 ถึง 120 เมล็ดต่อน้ำหนัก 100 กรัม คือ เมล็ดโกโก้ที่มีขนาดกลาง (ไซต์ M) และเมล็ดโกโก้ที่มีจำนวนเมล็ดมากกว่า 120 เมล็ดต่อน้ำหนัก 100 กรัม เช่นเดียวกัน

พื้นที่ปลูกทุกทรีตเมนต์มีจำนวนเมล็ดเฉลี่ยแตกต่างกันทางสถิติอย่างมีนัยสำคัญยิ่ง โดยเมล็ดโกโก้จากพื้นที่ปลูกจังหวัดสงขลา (Psu) มีจำนวนเมล็ดเฉลี่ย เท่ากับ 102.50 เมล็ด ซึ่งมีค่ามากที่สุดและมีความแตกต่างทางสถิติอย่างมีนัยสำคัญยิ่งกับเมล็ดโกโก้จากพื้นที่ปลูกจากจังหวัดนครศรีธรรมราช (Nk) ซึ่งมีค่าเท่ากับ 89.67 เมล็ดต่อน้ำหนัก 100 กรัม ขณะที่ปฏิสัมพันธ์ระหว่างฤดูกาลเก็บเกี่ยวและพื้นที่ปลูกมีจำนวนเมล็ดเฉลี่ยต่อน้ำหนัก 100 กรัม แตกต่างกันทางสถิติอย่างมีนัยสำคัญยิ่ง โดยการเก็บเกี่ยวช่วงฤดูฝนจากพื้นที่ปลูกจังหวัดสงขลา (Psu) มีค่าจำนวนเมล็ดโกโก้ต่อน้ำหนัก 100 เมล็ดเฉลี่ยแตกต่างกันทางสถิติอย่างมีนัยสำคัญยิ่ง ส่วนการเก็บเกี่ยวในช่วงฤดูแล้ง จากพื้นที่ปลูกจังหวัดสงขลา (Psu) มีค่าจำนวนเมล็ดเฉลี่ยเท่ากับ 102.67 เมล็ดต่อน้ำหนัก 100 กรัม ซึ่งมีค่ามากที่สุดและมีความแตกต่างทางสถิติอย่างมีนัยสำคัญยิ่งกับการเก็บเกี่ยวในช่วงฤดูฝน จากพื้นที่ปลูกจังหวัดนครศรีธรรมราช (Nk) ที่มีค่าจำนวนเมล็ดเฉลี่ยเท่ากับ 102.67 เมล็ดต่อน้ำหนัก 100 กรัม ซึ่งมีค่าน้อยที่สุดเมื่อเทียบกับชุดการทดลอง

ตารางที่ 4 จำนวนเมล็ดต่อน้ำหนัก 100 กรัมของเมล็ดโกโก้ ความชื้นของเมล็ดโกโก้ และขนาดของเมล็ดโกโก้ (%)

Season	Bean count (100 g)		Mean [(1)]	Moisture content (%)		Mean [(1)]	Size	
	Psu	Nk		Psu	Nk		Psu	Nk
Rainy season	102.33±2.08a	87±2.83c	94.67B	3.47±0.79bc	3.52±0.75b	3.50[ns]	M	L
Dry season	102.67±1.53a	92.33±2.08b	97.50A	3.43±0.64c	3.66±0.83a	3.54	M	L
Mean [(2)]	102.50A	89.67B	96.08	3.45B	3.59A	3.52		
A	**			ns				
B	*			**				
A×B	*			**				
C.V. (%)	1.58			1.13				

[(1)] ค่าเฉลี่ยของการเก็บเกี่ยวในฤดูฝนและการเก็บเกี่ยวในฤดูแล้ง (A)

[(2)] ค่าเฉลี่ยของเมล็ดโกโก้จากแหล่งปลูกจังหวัดสงขลา (Psu) และจากจังหวัดนครศรีธรรมราช (Nk) (B)

ค่าเฉลี่ยที่กำกับด้วยตัวอักษรพิมพ์ใหญ่และพิมพ์เล็กต่างกันในแต่ละแถวและสดมภ์มีความแตกต่างทางสถิติอย่างมีนัยสำคัญ จากการเปรียบเทียบโดยวิธี DMRT ที่ระดับ P≤0.05

* มีความแตกต่างทางสถิติอย่างมีนัยสำคัญยิ่งที่ระดับ P≤0.05

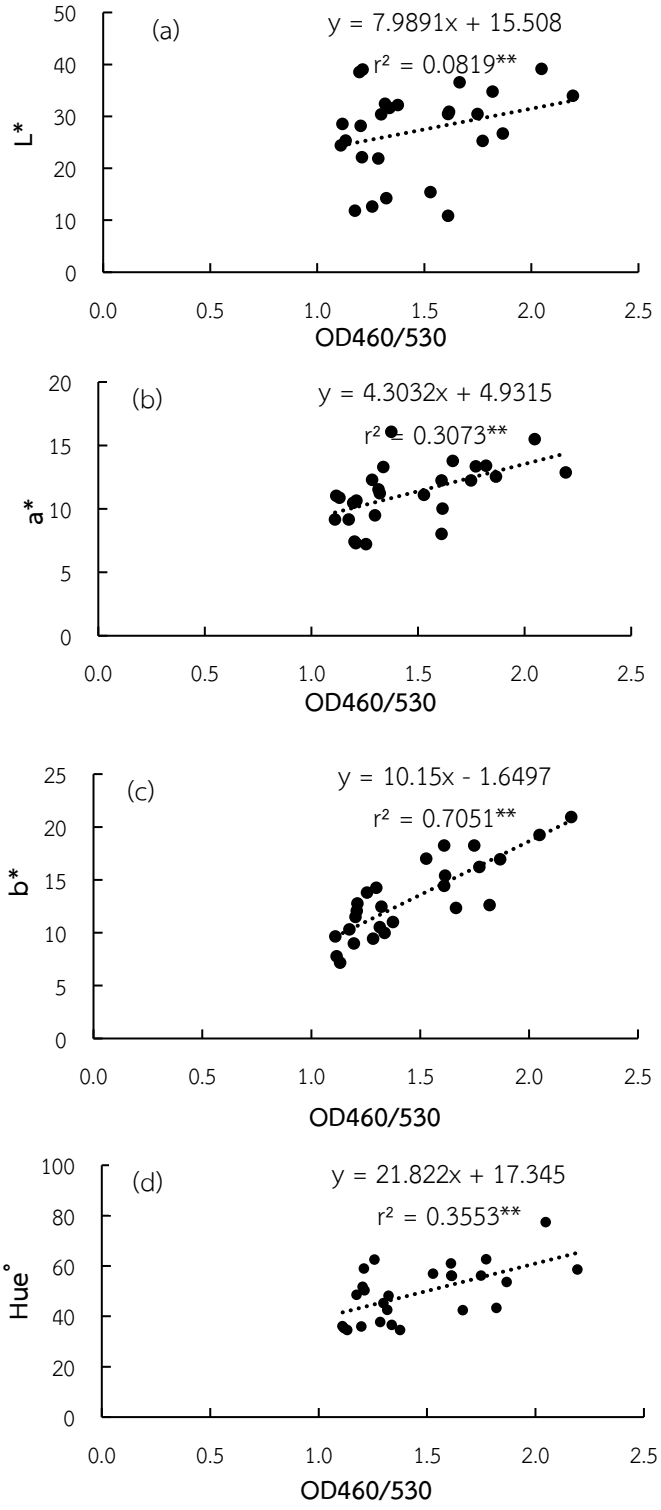
** มีความแตกต่างทางสถิติอย่างมีนัยสำคัญยิ่งที่ระดับ P≤0.01

ns = ไม่มีความแตกต่างทางสถิติ

2.2 ดัชนีการหมักสมบูรณ์ของเมล็ด (Fermentation Index)

2.2.1 ความสัมพันธ์ระหว่างดัชนีการหมักกับค่าสีของเมล็ดโกโก้

ความสัมพันธ์ระหว่างดัชนีการหมักกับค่าความสว่าง (L*) ค่าสี a* b* และค่ามุมสี (Hue°) ของเมล็ดโกโก้แห้งภายหลังการทำ Cut test พบว่า ความสัมพันธ์ระหว่างดัชนีการหมักและค่าสี L* ของเมล็ดโกโก้แห้งภายหลังการทำ Cut test พบว่า มีความสัมพันธ์เชิงบวกในสมการเส้นตรง $y = 7.9891x + 15.508$ ($r^2 = 0.0819^{**}$) ที่มีการกระจายตัวกว้าง ซึ่งเมล็ดโกโก้มีค่าดัชนีการหมักเพิ่มขึ้นเมื่อความสว่างเพิ่มขึ้น (ภาพที่ 8a) ค่า a* มีความสัมพันธ์เชิงบวกในสมการเส้นตรง $y = 4.3032x + 4.9315$ ($r^2 = 0.3073^{**}$) ที่มีการกระจายตัวกว้าง (ภาพที่ 8b) ส่วนค่า b* มีความสัมพันธ์เชิงบวกในสมการเส้นตรง $y = 10.15x - 1.6497$ ($r^2 = 0.7051^{**}$) ที่มีการกระจายตัวกว้าง (ภาพที่ 8c) และค่ามุมสี (Hue°) มีความสัมพันธ์เชิงบวกในสมการเส้นตรง $y = 21.822x + 17.345$ ($r^2 = 0.3553^{**}$) ที่มีการกระจายตัวกว้าง (ภาพที่ 8d)



ภาพที่ 8 ความสัมพันธ์ระหว่างระดับการหมักสมบูรณ์ของเมล็ดโกโก้ (OD 460/530) และความสว่าง (L*) (a) ค่าความเป็นสีแดง (a*) (b) ค่าความเป็นสีเหลือง (b*) (c) และค่ามุมสี (Hue°) (d) ของเมล็ดโกโก้ (n=26)

** มีความแตกต่างทางสถิติอย่างมีนัยสำคัญยิ่งที่ระดับ P≤0.01

2.2.2 การวิเคราะห์ค่าสีของเมล็ด

การทดสอบคุณภาพความสว่าง (L*)

จากการวิเคราะห์คุณภาพความสว่างของเมล็ดโกโก้ พบว่า เมล็ดโกโก้แบบ Fully brown และ Violet เมล็ดโกโก้มีค่า L* ไม่แตกต่างกันทางสถิติ โดยมีค่าอยู่ในช่วง 25.45-27.98 และ 24.05-45.25 ตามลำดับ ในขณะที่เมล็ดโกโก้แบบ Partially brown เมล็ดโกโก้มีค่า L* แตกต่างกันทางสถิติ โดยการเก็บเกี่ยวในช่วงฤดูฝน จากพื้นที่ปลูกจังหวัดนครศรีธรรมราช มีค่าสูงที่สุด ซึ่งมีค่า L* เท่ากับ 45.25 ซึ่งมีความแตกต่างทางสถิติอย่างมีนัยสำคัญยิ่งกับเมล็ดโกโก้ที่เก็บเกี่ยวในช่วงฤดูฝน จากพื้นที่ปลูกจังหวัดสงขลา ซึ่งมีค่า L* เท่ากับ 24.05 เช่นเดียวกับ เมล็ดโกโก้แบบ Blond เมล็ดโกโก้มีค่า L* แตกต่างกันทางสถิติ โดยมีค่าอยู่ในช่วง 6.03-10.16 และ 21.81-27.85 ตามลำดับ โดยการเก็บเกี่ยวในช่วงฤดูฝน จากพื้นที่ปลูกจังหวัดนครศรีธรรมราช มีค่าสูงที่สุด ซึ่งมีค่า L* เท่ากับ 46.15 ซึ่งมีความแตกต่างทางสถิติอย่างมีนัยสำคัญยิ่งกับเมล็ดโกโก้ที่เก็บเกี่ยวในช่วงฤดูแล้ง จากพื้นที่ปลูกจังหวัดสงขลา ซึ่งมีค่า L* เท่ากับ 29.76 (ตารางที่ 5)

การทดสอบคุณภาพสี (a*)

จากการวิเคราะห์คุณภาพสีของเมล็ดโกโก้ พบว่า เมล็ดโกโก้แบบ Fully brown Partially brown Violet และ Blond เมล็ดโกโก้มีค่า a* ไม่แตกต่างกันทางสถิติ โดยมีค่าอยู่ในช่วง 9.65-11.95 10.20-13.15 12.35-14.01 และ 11.90-16.24 ตามลำดับ (ตารางที่ 5)

การทดสอบคุณภาพสี (b*)

จากการวิเคราะห์คุณภาพสีของเมล็ดโกโก้ พบว่า เมล็ดโกโก้แบบ Fully brown เมล็ดโกโก้มีค่า b* แตกต่างกันทางสถิติ โดยการเก็บเกี่ยวในช่วงฤดูแล้ง จากพื้นที่ปลูกจังหวัดสงขลา มีค่าสูงที่สุด ซึ่งมีค่า b* เท่ากับ 19.21 ซึ่งมีความแตกต่างทางสถิติอย่างมีนัยสำคัญยิ่งกับเมล็ดโกโก้ที่เก็บเกี่ยวในช่วงฤดูฝน จากพื้นที่ปลูกจังหวัดสงขลาซึ่งมีค่า b* เท่ากับ 13.06 เช่นเดียวกับเมล็ดโกโก้แบบ Partially brown เมล็ดโกโก้มีค่า b* แตกต่างกันทางสถิติ โดยการเก็บเกี่ยวในช่วงฤดูฝน จากพื้นที่ปลูกจังหวัดนครศรีธรรมราช มีค่าสูงที่สุด ซึ่งมีค่า b* เท่ากับ 19.67 ซึ่งมีความแตกต่างทางสถิติอย่างมีนัยสำคัญยิ่งกับเมล็ดโกโก้ที่เก็บเกี่ยวในช่วงฤดูแล้ง จากพื้นที่ปลูกจังหวัดสงขลา ซึ่งมีค่า b* เท่ากับ 10.96 ในขณะที่ เมล็ดโกโก้แบบ Violet และ Blond เมล็ดโกโก้มีค่า b* ไม่แตกต่างกันทางสถิติ โดยมีค่าอยู่ในช่วง 6.03-10.16 และ 21.81-27.85 ตามลำดับ (ตารางที่ 5)

การทดสอบค่ามุมสี (Hue°)

จากการวิเคราะห์คุณภาพความสว่างของเมล็ดโกโก้ พบว่า เมล็ดโกโก้แบบ Fully brown และ Blond เมล็ดโกโก้มีค่า Hue° ไม่แตกต่างกันทางสถิติ โดยมีค่าอยู่ในช่วง 50.41-55.10 และ 55.74-61.38 ตามลำดับ ในขณะที่เมล็ดโกโก้แบบ Partially brown เมล็ดโกโก้มีค่า Hue°

แตกต่างกันทางสถิติ โดยการเก็บเกี่ยวในช่วงฤดูฝน จากพื้นที่ปลูกจังหวัดนครศรีธรรมราช มีค่าสูงที่สุด ซึ่งมีค่า Hue° เท่ากับ 56.32 ซึ่งมีความแตกต่างทางสถิติอย่างมีนัยสำคัญยิ่งกับเมล็ดโกโก้ที่เก็บเกี่ยวในช่วงฤดูฝน จากพื้นที่ปลูกจังหวัดสงขลา ซึ่งมีค่า Hue° เท่ากับ 46.86 เช่นเดียวกับ เมล็ดโกโก้

แบบ Violet เมล็ดโกโก้มีค่า Hue° แตกต่างกันทางสถิติ โดยการเก็บเกี่ยวในช่วงฤดูฝน จากพื้นที่ปลูกจังหวัดสงขลา มีค่าสูงที่สุด ซึ่งมีค่า Hue° เท่ากับ 38.68 ซึ่งมีความแตกต่างทางสถิติอย่างมีนัยสำคัญยิ่งกับเมล็ดโกโก้ที่เก็บเกี่ยวในช่วงฤดูแล้ง จากพื้นที่ปลูกจังหวัดสงขลา ซึ่งมีค่า Hue° เท่ากับ 18.45 (ตารางที่ 5)

ตารางที่ 5 การจำแนกค่าสีเมล็ดโกโก้แต่ละระดับการหมักภายหลังการ Cut test

Fermentation level	Seasons	Locations	L*	a*	b*	Hue°
Fully brown	Rainy season	Psu	25.45±7.95	9.65±4.10	13.06±3.54c	54.85±7.69
		Nk	27.98±2.06	11.80±1.91	14.20±1.03bc	50.41±6.18
	Dry season	Psu	25.49±1.33	11.95±0.02	19.21±2.78a	55.10±0.17
		Nk	27.79±4.94	11.80±1.96	15.70±4.68b	52.37±3.67
			ns	ns	**	ns
			19.17	23.94	22.16	11.13
Partially brown	Rainy season	Psu	24.05±1.83c	12.07±1.29	12.72±1.08b	46.86±2.61b
		Nk	45.25±3.24a	13.15±2.53	19.67±3.29a	56.32±2.12a
	Dry season	Psu	34.28±3.8b	10.20±0.88	10.96±1.59b	46.94±6.61b
		Nk	N/A	N/A	N/A	N/A
			**	ns	**	**
			7.99	14.91	14.65	6.08
Violet	Rainy season	Psu	28.02±5.29	12.48±2.34	10.16±2.07	38.68±2.91a
		Nk	31.58±2.96	14..01±1.94	10.13±7.76	26.11±5.38b
	Dry season	Psu	26.74±3.02	12.35±2.35	6.03±2.10	18.45±1.91c
		Nk	N/A	N/A	N/A	N/A
			ns	ns	ns	**
			13.42	16.73	58.07	14.34
Blond	Rainy season	Psu	N/A	N/A	N/A	N/A
		Nk	46.15±4.43a	16.24±1.47	27.85±6.02	59.22±7.71
	Dry season	Psu	29.76±0.44b	11.90±0.75	21.81±0.89	61.38±0.56
		Nk	36.31±8.05ab	15.53±1.91	22.80±2.75	55.74±0.08
			**	ns	ns	ns
			11.46	11.02	15.95	7.60

Psu: เมล็ดโกโก้จากจังหวัดสงขลา และ Nk: เมล็ดโกโก้จากจังหวัดนครศรีธรรมราช

ค่าเฉลี่ยที่กำกับด้วยตัวอักษรพิมพ์ใหญ่และพิมพ์เล็กต่างกันในแต่ละแถวและสดมภ์มีความแตกต่างทางสถิติอย่างมีนัยสำคัญ จากการเปรียบเทียบโดยวิธี DMRT ที่ระดับ P≤0.05

ns ไม่มีความแตกต่างทางสถิติ

** มีความแตกต่างทางสถิติอย่างมีนัยสำคัญยิ่งที่ระดับ P≤0.01

N/A = ไม่พบข้อมูล

2.2.3 ผลของแหล่งปลูกและฤดูกาลการเก็บเกี่ยวต่อระดับการหมักสมบูรณ์ของเมล็ด

จากการทดลองศึกษาจำแนกระดับการหมักสมบูรณ์ของเมล็ดด้วยวิธี Cut test โดยแบ่งคุณภาพของเมล็ดโกโก้ ได้แก่ สีน้ำตาลทั่วทั้งเมล็ด (Fully brown) เมล็ดโกโก้ที่มีคุณภาพดีหรือผ่านกระบวนการหมักแบบสมบูรณ์จะมีสีน้ำตาลทั่วทั้งเมล็ด โดยพื้นที่ปลูกที่มีเมล็ดโกโก้แบบ Fully brown มากที่สุด คือ เมล็ดโกโก้จากพื้นที่ปลูกจังหวัดนครศรีธรรมราช (Nk) ที่เก็บเกี่ยวในช่วงฤดูแล้งรองลงมา คือ เมล็ดโกโก้ที่เก็บเกี่ยวในช่วงฤดูฝน โดยมีค่าเฉลี่ยจำนวนเมล็ดโกโก้แบบ Fully brown เท่ากับ 87 และ 83.50 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ (ตารางที่ 6) ในขณะที่พื้นที่ปลูกที่มีเมล็ดสีน้ำตาลบางส่วน (Partially brown) เมล็ดสีม่วง (Violet) และเมล็ดโกโก้ที่ผ่านการหมักแต่ไม่สมบูรณ์มีสีม่วงและมีลักษณะผิวเรียบไม่มีร่อง (Violet unfissured) มากที่สุด คือ เมล็ดโกโก้จากพื้นที่ปลูกจังหวัดสงขลา (Psu) จากการเก็บเกี่ยวในช่วงฤดูแล้ง มีค่าเท่ากับ 29.00 28.50 และ 0.50 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ

การเก็บเกี่ยวเมล็ดโกโก้ในแต่ละฤดูกาลเก็บเกี่ยวมีเปอร์เซ็นต์เมล็ดโกโก้แบบ Fully brown แตกต่างกันทางสถิติอย่างมีนัยสำคัญยิ่ง โดยฤดูกาลเก็บเกี่ยวช่วงฤดูแล้ง มีเปอร์เซ็นต์เมล็ดโกโก้แบบ Fully brown เท่ากับ 64.50 เปอร์เซ็นต์ ซึ่งมีค่ามากที่สุดและมีความแตกต่างทางสถิติอย่างมีนัยสำคัญยิ่งกับฤดูกาลเก็บเกี่ยวช่วงฤดูฝน ที่มีค่าเท่ากับ 41 เปอร์เซ็นต์ เช่นเดียวกันพื้นที่ปลูก พบว่า เปอร์เซ็นต์เมล็ดโกโก้แบบ Fully brown เฉลี่ยแตกต่างกันทางสถิติอย่างมีนัยสำคัญยิ่ง โดยเมล็ดโกโก้จากพื้นที่ปลูกจังหวัดนครศรีธรรมราช มีเปอร์เซ็นต์เมล็ดโกโก้แบบ Fully brown เฉลี่ย เท่ากับ 85.25 เปอร์เซ็นต์ ซึ่งมีค่ามากที่สุดและมีความแตกต่างทางสถิติอย่างมีนัยสำคัญยิ่งกับเมล็ดโกโก้จากพื้นที่จังหวัดสงขลา ซึ่งมีค่าเท่ากับ 24.40 เปอร์เซ็นต์ ขณะที่ปฏิสัมพันธ์ระหว่างในฤดูกาลเก็บเกี่ยวและพื้นที่ปลูกมีเปอร์เซ็นต์เมล็ดโกโก้แบบ Fully brown เฉลี่ยแตกต่างกันทางสถิติอย่างมีนัยสำคัญยิ่ง โดยเมล็ดโกโก้จากพื้นที่ปลูกจังหวัดสงขลา (Psu) จากการเก็บเกี่ยวในช่วงฤดูฝน มีเปอร์เซ็นต์เมล็ดโกโก้แบบ Fully brown เฉลี่ยแตกต่างกันทางสถิติอย่างมีนัยสำคัญยิ่ง โดยเมล็ดโกโก้จากพื้นที่ปลูกจังหวัดนครศรีธรรมราช (Nk) ที่การเก็บเกี่ยวในช่วงฤดูแล้ง มีเปอร์เซ็นต์เมล็ดโกโก้แบบ Fully เฉลี่ยเท่ากับ 87 เปอร์เซ็นต์ ซึ่งมีค่ามากที่สุดและมีความแตกต่างทางสถิติอย่างมีนัยสำคัญยิ่งกับการเก็บเกี่ยวในช่วงฤดูฝน จากพื้นที่จังหวัดสงขลา (Psu) มีเปอร์เซ็นต์เมล็ดโกโก้แบบ Fully brown เฉลี่ยเท่ากับ 12.67 เปอร์เซ็นต์ ซึ่งมีค่าน้อยที่สุดเมื่อเทียบกับชุดการทดลองอื่น (ตารางที่ 6)

การเก็บเกี่ยวเมล็ดโกโก้ในแต่ละฤดูกาลเก็บเกี่ยวมีเปอร์เซ็นต์เมล็ดโกโก้แบบ Partially brown แตกต่างกันทางสถิติอย่างมีนัยสำคัญยิ่ง โดยการเก็บเกี่ยวช่วงฤดูฝน มีเปอร์เซ็นต์เมล็ดโกโก้แบบ Partially brown เท่ากับ 24 เปอร์เซ็นต์ (ตารางที่ 6) ซึ่งมีค่ามากที่สุดและมีความแตกต่างทางสถิติอย่างมีนัยสำคัญยิ่งกับการเก็บเกี่ยวช่วงฤดูแล้ง ที่มีค่าเท่ากับ 16 เปอร์เซ็นต์ เช่นเดียวกันพื้นที่ปลูก พบว่า มีเปอร์เซ็นต์เมล็ดโกโก้แบบ Partially brown เฉลี่ยแตกต่างกันทางสถิติอย่างมีนัยสำคัญยิ่ง โดยเมล็ดโกโก้จากพื้นที่ปลูกจังหวัดสงขลา (Psu) มีเปอร์เซ็นต์เมล็ดโกโก้แบบ Partially brown เฉลี่ย เท่ากับ 33.75 เปอร์เซ็นต์ ซึ่งมีค่ามากที่สุดและมีความแตกต่างทางสถิติอย่างมีนัยสำคัญยิ่งกับเมล็ดโกโก้จากพื้นที่จังหวัดนครศรีธรรมราช (Nk) ซึ่งมีค่าเท่ากับ 6.25 เปอร์เซ็นต์ ขณะที่ปฏิสัมพันธ์ระหว่างในฤดูกาลเก็บเกี่ยวและพื้นที่ปลูกมีเปอร์เซ็นต์เมล็ดโกโก้แบบ Partially brown เฉลี่ยไม่แตกต่างกันทางสถิติ โดยเมล็ดโกโก้จากพื้นที่ปลูกจังหวัดสงขลา (Psu) ที่เก็บเกี่ยวในช่วงฤดูแล้ง มีเปอร์เซ็นต์เมล็ดโกโก้แบบ Partially brown

เฉลี่ยเท่ากับ 29 เปอร์เซ็นต์ ซึ่งมีค่ามากที่สุดในขณะที่เมล็ดโกโก้จากพื้นที่จังหวัดนครศรีธรรมราช (Nk) จากการเก็บเกี่ยวในช่วงฤดูแล้ง มีเปอร์เซ็นต์เมล็ดโกโก้แบบ Partially brown เฉลี่ยเท่ากับ 3 เปอร์เซ็นต์ ซึ่งมีค่าน้อยที่สุดเมื่อเทียบกับชุดการทดลองอื่น (ตารางที่ 6)

การเก็บเกี่ยวเมล็ดโกโก้ในแต่ละฤดูกาลเก็บเกี่ยวมีเปอร์เซ็นต์เมล็ดโกโก้แบบ Violet แตกต่างกันทางสถิติอย่างมีนัยสำคัญยิ่ง โดยฤดูกาลเก็บเกี่ยวช่วงฤดูฝน มีเปอร์เซ็นต์เมล็ดโกโก้แบบ Violet เท่ากับ 27.25 เปอร์เซ็นต์ (ตารางที่ 6) ซึ่งมีค่ามากที่สุดและมีความแตกต่างทางสถิติอย่างมีนัยสำคัญยิ่งกับฤดูกาลเก็บเกี่ยวช่วงฤดูแล้ง ที่มีค่าเท่ากับ 14.5 เปอร์เซ็นต์ เช่นเดียวกันพื้นที่ปลูกพบว่า มีเปอร์เซ็นต์เมล็ดโกโก้แบบ Violet เฉลี่ยแตกต่างกันทางสถิติอย่างมีนัยสำคัญ โดยเมล็ดโกโก้จากพื้นที่ปลูกจังหวัดสงขลา (Psu) มีเปอร์เซ็นต์เมล็ดโกโก้แบบ Violet เฉลี่ย เท่ากับ 38.75 เปอร์เซ็นต์ ซึ่งมีค่ามากที่สุดและมีความแตกต่างทางสถิติอย่างมีนัยสำคัญกับเมล็ดโกโก้จากพื้นที่จังหวัดนครศรีธรรมราช (Nk) ซึ่งมีค่าเท่ากับ 3 เปอร์เซ็นต์ ขณะที่ปฏิสัมพันธ์ระหว่างในฤดูกาลเก็บเกี่ยวและพื้นที่ปลูกมีเปอร์เซ็นต์เมล็ดโกโก้แบบ Violet เฉลี่ยแตกต่างกันทางสถิติอย่างมีนัยสำคัญ โดยการเก็บเกี่ยวในช่วงฤดูฝนจากพื้นที่ปลูกจังหวัดสงขลา มีเปอร์เซ็นต์เมล็ดโกโก้แบบ Violet เฉลี่ยแตกต่างกันทางสถิติอย่างมีนัยสำคัญยิ่ง โดยการเก็บเกี่ยวในช่วงฤดูฝน จากพื้นที่ปลูกจังหวัดสงขลา (Psu) มีเปอร์เซ็นต์เมล็ดโกโก้แบบ Violet เฉลี่ยเท่ากับ 49 เปอร์เซ็นต์ ซึ่งมีค่ามากที่สุดและมีความแตกต่างทางสถิติอย่างมีนัยสำคัญยิ่งกับการเก็บเกี่ยวในช่วงฤดูแล้ง จากพื้นที่จังหวัดนครศรีธรรมราช (Nk) มีเปอร์เซ็นต์เมล็ดโกโก้แบบ Violet เฉลี่ยเท่ากับ 0.5 เปอร์เซ็นต์ ซึ่งมีค่าน้อยที่สุดเมื่อเทียบกับชุดการทดลองอื่น (ตารางที่ 6)

การเก็บเกี่ยวเมล็ดโกโก้ในแต่ละฤดูกาลเก็บเกี่ยวมีเปอร์เซ็นต์เมล็ดโกโก้แบบ Blond แตกต่างกันทางสถิติอย่างมีนัยสำคัญ โดยฤดูกาลเก็บเกี่ยวช่วงฤดูแล้ง มีเปอร์เซ็นต์เมล็ดโกโก้แบบ Blond เท่ากับ 4.25 เปอร์เซ็นต์ (ตารางที่ 6) ซึ่งมีค่ามากที่สุดและมีความแตกต่างทางสถิติอย่างมีนัยสำคัญกับฤดูกาลเก็บเกี่ยวช่วงฤดูฝน ที่มีค่าเท่ากับ 1.25 เปอร์เซ็นต์ เช่นเดียวกันพื้นที่ปลูกทุกทรีตเมนต์มีเปอร์เซ็นต์เมล็ดโกโก้แบบ Blond เฉลี่ยแตกต่างกันทางสถิติอย่างมีนัยสำคัญ โดยเมล็ดโกโก้จากพื้นที่ปลูกจังหวัดนครศรีธรรมราช (Nk) มีเปอร์เซ็นต์เมล็ดโกโก้แบบ Blond เฉลี่ย เท่ากับ 4.75 เปอร์เซ็นต์ ซึ่งมีค่ามากที่สุดและมีความแตกต่างทางสถิติอย่างมีนัยสำคัญกับเมล็ดโกโก้จากพื้นที่จังหวัดสงขลา (Psu) ซึ่งมีค่าเท่ากับ 0.75 เปอร์เซ็นต์ ขณะที่ปฏิสัมพันธ์ระหว่างในฤดูกาลเก็บเกี่ยวและพื้นที่ปลูกมีเปอร์เซ็นต์เมล็ดโกโก้แบบ Blond เฉลี่ยไม่แตกต่างกันทางสถิติ โดยเมล็ดโกโก้จากพื้นที่ปลูกจังหวัดนครศรีธรรมราช (Nk) ที่เก็บเกี่ยวในช่วงฤดูแล้ง มีเปอร์เซ็นต์เมล็ดโกโก้แบบ Blond เฉลี่ยเท่ากับ 7 เปอร์เซ็นต์ ซึ่งมีค่ามากที่สุดในขณะที่เมล็ดโกโก้จากพื้นที่จังหวัดสงขลา (Psu) การเก็บเกี่ยวในช่วงฤดูฝน ไม่พบเมล็ดโกโก้แบบ Blond (ตารางที่ 6)

ตารางที่ 6 การจำแนกระดับการหมักสมบูรณ์ของเมล็ดโกโก้ด้วยวิธี Cut test ในเมล็ดโกโก้จากจังหวัดสงขลา และจังหวัดนครศรีธรรมราชตามช่วงฤดูกาลเก็บเกี่ยวที่แตกต่างกัน

Seasons	Fully brown (%)		Mean (1)	Partially brown (%)		Mean (1)	Violet (%)		Mean (1)	Blond (%)		Mean (1)
	Psu	Nk		Psu	Nk		Psu	Nk		Psu	Nk	
Rainy season (R)	12.67±2.52c	83.5±2.12a	41B	3.95±3.53^{ns}	9.5±0.71	24A	49±1.41a	5.5±4.95c	27.25A	0b	2.5±0.71b	1.25B
Dry season (D)	42±1.41b	87±4.24a	64.5A	29±1.41	3±1.41	16B	28.5±2.12b	0.5±0.71c	14.5B	1.5±0.70b	7±2.83a	4.25A
Mean (2)	24.4B	85.25A	56.63	33.75A	6.25B	20	38.75A	3B	20.88	0.75B	4.75A	2.75
A	**			**			**			*		
B	**			**			*			*		
A×B	**			ns			*			*		
C.V. (%)	5.99			7.64			15.49			44.54		

(1) ค่าเฉลี่ยของการเก็บเกี่ยวในฤดูฝนและการเก็บเกี่ยวในฤดูแล้ง (A)

(2) ค่าเฉลี่ยของเมล็ดโกโก้จากแหล่งปลูกจังหวัดสงขลา (Psu) และจากจังหวัดนครศรีธรรมราช (Nk) (B)

ค่าเฉลี่ยที่กำกับด้วยตัวอักษรพิมพ์ใหญ่และพิมพ์เล็กต่างกันในแต่ละแถวและสดมภ์มีความแตกต่างทางสถิติอย่างมีนัยสำคัญ จากการเปรียบเทียบโดยวิธี DMRT ที่ระดับ P≤0.05

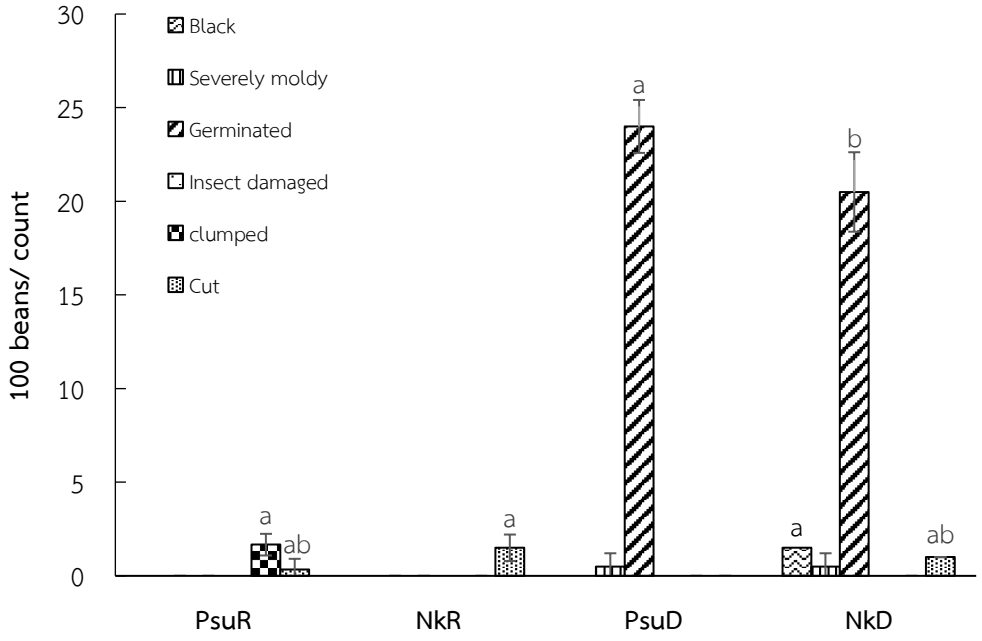
ns ไม่มีความแตกต่างทางสถิติ

* มีความแตกต่างทางสถิติอย่างมีนัยสำคัญยิ่งที่ระดับ P≤0.05

** มีความแตกต่างทางสถิติอย่างมีนัยสำคัญยิ่งที่ระดับ P≤0.01

2.2.4 อิทธิพลของแหล่งปลูกต่อคุณภาพกลิ่นรสและลักษณะผิดปกติของเมล็ดโกโก้

เมื่อพิจารณาความผิดปกติของเมล็ดโกโก้ พบมากที่สุด คือ เมล็ดงอก ซึ่งพบในการเก็บเกี่ยวช่วงฤดูแล้ง โดยพบมากที่สุดในเมล็ดโกโก้จากพื้นที่ปลูกจังหวัดสงขลา (Psu-D) เท่ากับ 24 เปอร์เซ็นต์ (ภาพที่ 9) รองลงมา คือ เมล็ดโกโก้จากพื้นที่ปลูกจังหวัดนครศรีธรรมราช (Nk-D) เช่นเดียวกัน จะเห็นว่าฤดูกาลเก็บเกี่ยวในช่วงฤดูแล้งให้ผลแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญกับการเก็บเกี่ยวในช่วงฤดูฝน นอกจากนั้นยังพบเมล็ดผิดปกติอื่นๆ ได้แก่ เมล็ดติดกันเป็นก้อน (Clumped) พบเฉพาะในเมล็ดโกโก้จากแหล่งปลูกจังหวัดสงขลาในการเก็บเกี่ยวช่วงฤดูฝน เท่ากับ 1.67 เปอร์เซ็นต์ เมล็ดสีดำ (Black) พบมากที่สุดในเมล็ดโกโก้จากแหล่งปลูกจังหวัดนครศรีธรรมราชในการเก็บเกี่ยวช่วงฤดูแล้ง เท่ากับ 1.50 เปอร์เซ็นต์ และเมล็ดที่มีรอยตัด (Cut) พบมากที่สุดในเมล็ดโกโก้จากแหล่งปลูกจังหวัดนครศรีธรรมราชในการเก็บเกี่ยวช่วงฤดูแล้ง เท่ากับ 1.50 เปอร์เซ็นต์



ภาพที่ 9 การจำแนกลักษณะผิดปกติของเมล็ดโกโก้ด้วยวิธีการ Cut test ในเมล็ดโกโก้จากจังหวัดสงขลาและจังหวัดนครศรีธรรมราชตามช่วงฤดูกาลเก็บเกี่ยวที่แตกต่างกัน

Psu-R: เมล็ดโกโก้จากจังหวัดสงขลาในการเก็บเกี่ยวช่วงฤดูฝน, Nk-R: เมล็ดโกโก้จากจังหวัดพังงาในการเก็บเกี่ยวช่วงฤดูฝน, Psu-D: เมล็ดโกโก้จากจังหวัดสงขลาในการเก็บเกี่ยวช่วงฤดูแล้ง และ Nk-D: เมล็ดโกโก้จากจังหวัดพังงาในการเก็บเกี่ยวช่วงฤดูแล้ง

ค่าเฉลี่ยที่กำกับด้วยตัวอักษรพิมพ์ใหญ่และพิมพ์เล็กต่างกันในแต่ละแถวและสดมภ์มีความแตกต่างทางสถิติอย่างมีนัยสำคัญ จากการเปรียบเทียบโดยวิธี DMRT ที่ระดับ P≤0.05

จากการทดสอบคุณภาพกลิ่นของเมล็ดโกโก้แห้ง พบว่า เมล็ดมีกลิ่นที่แตกต่างกัน โดยกลิ่นรสที่พบในเมล็ดโกโก้แห้งจากพื้นที่ปลูกจังหวัดนครศรีธรรมราชที่เก็บเกี่ยวช่วงฤดูฝน (Nk-R) ได้แก่ กลิ่นน้ำส้มสายชู (Vinegar) กลิ่นจำพวกผลไม้ (Fruity) และกลิ่นฉุน (Hammy) (ตารางที่ 7) ในขณะที่กลิ่นที่พบในการเก็บเกี่ยวช่วงฤดูแล้ง (Nk-D) ได้แก่ กลิ่นน้ำส้มสายชู กลิ่นผลไม้ กลิ่นถั่ว กลิ่นเครื่องเทศ และกลิ่นขนมหวานจำพวกช็อกโกแลต น้ำผึ้ง และขนมเข่ง ในส่วนกลิ่นที่พบในเมล็ดโกโก้แห้งจากพื้นที่ปลูกจังหวัดสงขลาที่เก็บเกี่ยวช่วงฤดูฝน (Psu-R) ได้แก่ กลิ่นน้ำส้มสายชู กลิ่นผลไม้ และกลิ่นเครื่องเทศ ในขณะที่กลิ่นที่พบในการเก็บเกี่ยวช่วงฤดูแล้ง (Psu-D) ได้แก่ กลิ่นน้ำส้มสายชู กลิ่นดอกไม้ กลิ่นผลไม้ (พลัม) กลิ่นขนมลา และกลิ่นน้ำผึ้ง ในขณะที่กลิ่นผิดปกติที่พบในเมล็ดโกโก้แห้ง คือ กลิ่นฉุน (Hammy) จากพื้นที่ปลูกจังหวัดนครศรีธรรมราช (Nk)

การวิเคราะห์กลิ่นรสของเมล็ดโกโก้ภายหลังการคั่ว พบว่า เมล็ดมีกลิ่นรสที่แตกต่างกัน โดยกลิ่นรสที่พบในเมล็ดโกโก้จากพื้นที่ปลูกจังหวัดสงขลาที่เก็บเกี่ยวช่วงฤดูฝน (Psu-R) ได้แก่ โกโก้ ผลไม้สด (กล้วย) ผลไม้แห้ง ถั่ว คาราเมล และขนมหวาน (ตารางที่ 7) ในขณะที่กลิ่นรสที่พบในการเก็บเกี่ยวช่วงฤดูแล้ง (Psu-D) ได้แก่ โกโก้ ผลไม้สด (มะขาม) ผัก ดอกไม้ และถั่ว ในส่วนกลิ่นรสของเมล็ดโกโก้ภายหลังการคั่วจากพื้นที่ปลูกจังหวัดนครศรีธรรมราชที่เก็บเกี่ยวช่วงฤดูฝน (Nk-R) ได้แก่ โกโก้ ผลไม้สด ผลไม้แห้ง ดอกไม้ ถั่ว และเนย ในขณะที่กลิ่นรสที่พบในการเก็บเกี่ยวช่วงฤดูแล้ง (Nk-D) ได้แก่ โกโก้ ผลไม้แห้ง ถั่ว เครื่องเทศ และขนมหวานจำพวกดาร์กหรือไวท์ช็อกโกแลต

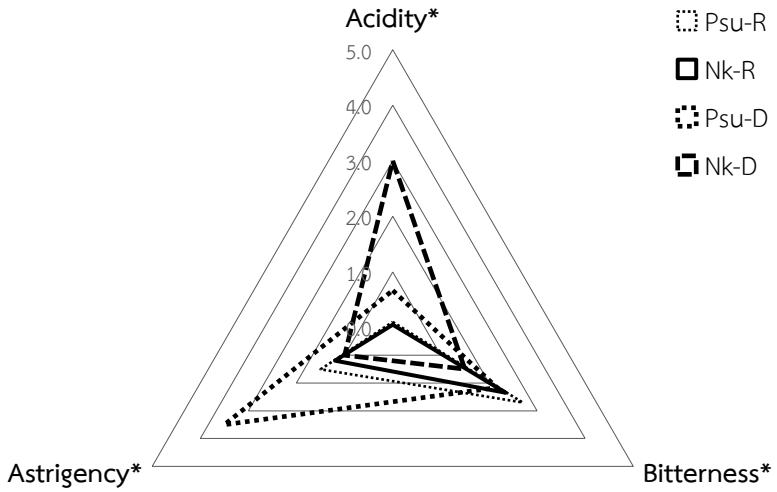
ตารางที่ 7 การประเมินรสชาติทางประสาทสัมผัสก่อนการคั่วและบด และภายหลังการคั่วและบดในเมล็ดโกโก้จากจังหวัดสงขลา และจังหวัดนครศรีธรรมราชตามช่วงฤดูกาลเก็บเกี่ยวที่แตกต่างกัน

Seasons	Locations	Raw bean aroma (Positive/ Neutral)	Aroma (Positive/ Neutral)
Rainy season (R)	Psu	Vinegar, Fruity and Spicy	Cocoa, Fresh fruit (banana), Dried fruit, Nutty, Caramel and Dessert
	Nk	Vinegar, Hammy and Fruity	Cocoa, Fresh fruit, Dried fruit, Floral, Nutty and Buttery
Dry season (D)	Psu	Vinegar, Floral, Fruity (Plum), Dessert (Khanom la) and Honey	Cocoa, Fresh fruit (Tamarind), Vegetal, Floral and Nutty
	Nk	Vinegar, Fruity, Nutty, Dessert (Chocolate, Honey, Khanom Kheng)	Cocoa, Dried fruit, Nutty, Spicy and Dessert (Dark and milk chocolate)

Psu-R: เมล็ดโกโก้จากจังหวัดสงขลาในการเก็บเกี่ยวช่วงฤดูฝน, Nk-R: เมล็ดโกโก้จากจังหวัดนครศรีธรรมราชในการเก็บเกี่ยวช่วงฤดูฝน, Psu-D: เมล็ดโกโก้จากจังหวัดสงขลาในการเก็บเกี่ยวช่วงฤดูแล้ง และ Nk-D: เมล็ดโกโก้จากจังหวัดนครศรีธรรมราชในการเก็บเกี่ยวช่วงฤดูแล้ง

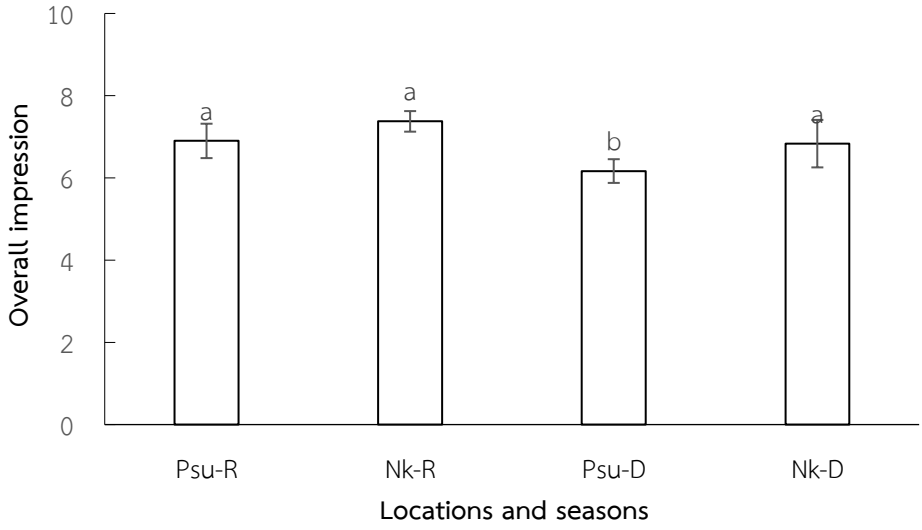
จากการทดสอบคุณภาพรสชาติของเมล็ดโกโก้ พบว่า เมล็ดโกโก้ที่เก็บเกี่ยวในแต่ละฤดูกาลและแต่ละแหล่งปลูกมีคุณภาพรสชาติที่แตกต่างกัน โดยเมล็ดโกโก้ที่เก็บเกี่ยวจากพื้นที่ปลูกจังหวัดสงขลา ในช่วงฤดูฝน (Psu-R) รสชาติที่พบโดดเด่นที่สุด ได้แก่ รสชาติขม (Bitterness) รองลงมา คือ รสชาติฝาด (Astrigency) และรสชาติเปรี้ยว (Acidity) มีค่า 2.70 1.50 และ 0.10 ตามลำดับ (ภาพที่ 8) ในขณะที่การเก็บเกี่ยวในช่วงฤดูแล้ง (Psu-D) รสชาติที่พบโดดเด่นที่สุด ได้แก่ รสชาติฝาด รองลงมา คือ รสชาติขม และรสชาติเปรี้ยว มีค่า 3.50 2.17 และ 0.67 ตามลำดับ ในส่วนเมล็ดโกโก้จากพื้นที่ปลูกจังหวัดนครศรีธรรมราช ในช่วงฤดูฝน (Nk-R) รสชาติที่พบโดดเด่นที่สุด ได้แก่ รสชาติขม รองลงมา คือ รสชาติฝาด และรสชาติเปรี้ยวเล็กน้อย มีค่า 2.35 1.20 และ 0.05 ตามลำดับ ในขณะที่การเก็บเกี่ยวในช่วงฤดูแล้ง (Nk-D) รสชาติที่พบโดดเด่นที่สุด ได้แก่ รสชาติเปรี้ยว รองลงมา คือ รสชาติขม และรสชาติฝาด มีค่า 3 1.5 และ 1 ตามลำดับ ในส่วนของรสชาติโดยรวมที่มีคะแนนสูงที่สุด คือ เมล็ดโกโก้จากพื้นที่ปลูกจังหวัดนครศรีธรรมราช ที่เก็บเกี่ยวในช่วงฤดูฝน มีคะแนนสูงที่สุด ในระดับ 7.76 (ภาพที่ 8) รองลงมา คือ เมล็ดโกโก้ที่เก็บเกี่ยวจากพื้นที่ปลูกจังหวัดสงขลา ในช่วงฤดูฝน เมล็ดโกโก้จากพื้นที่ปลูกจังหวัดนครศรีธรรมราช ในช่วงฤดูฝน เมล็ดโกโก้ที่เก็บเกี่ยวจากพื้นที่ปลูกจังหวัดสงขลา ในช่วงฤดูแล้ง มีค่า 7.11 6.83 และ 6.17 ตามลำดับ

จากการทดสอบคุณภาพรสชาติของเมล็ดโกโก้ พบว่า เมล็ดโกโก้จากพื้นที่ปลูกจังหวัดนครศรีธรรมราช รสชาติที่พบในทั้ง 2 ฤดูกาลการเก็บเกี่ยว คือ รสชาติเปรี้ยว โดยมีคะแนนอยู่ในระดับ 3 (ภาพที่ 10) ในขณะที่การเก็บเกี่ยวในช่วงฤดูฝนจากทั้ง 2 แหล่งปลูก ได้แก่ พื้นที่ปลูกจังหวัดนครศรีธรรมราช (Nk-R) และพื้นที่ปลูกจังหวัดสงขลา (Psu-R) เมล็ดโกโก้คั่วมีรสชาติขมในระดับ 2 และ 3.5 ตามลำดับ ในขณะที่รสชาติฝาดพบในเมล็ดโกโก้จากพื้นที่ปลูกจังหวัดสงขลามากที่สุด ในระดับ 2.17 ในส่วนของรสชาติโดยรวม เมล็ดโกโก้จากพื้นที่ปลูกจังหวัดนครศรีธรรมราช กลิ่นรสที่พบในเมล็ดแห้งในการเก็บเกี่ยวช่วงฤดูฝน มีคะแนนสูงที่สุด ในระดับ 7.76 (ภาพที่ 11)



ภาพที่ 10 การประเมินรสชาติทางประสาทสัมผัส ความฝาด ความขม และความเปรี้ยวของเมล็ดโกโก้จากจังหวัดสงขลา และจังหวัดนครศรีธรรมราชตามช่วงฤดูกาลเก็บเกี่ยวที่แตกต่างกัน

Psu-R: เมล็ดโกโก้จากจังหวัดสงขลาในการเก็บเกี่ยวช่วงฤดูฝน, Nk-R: เมล็ดโกโก้จากจังหวัดนครศรีธรรมราชในการเก็บเกี่ยวช่วงฤดูฝน, Psu-D: เมล็ดโกโก้จากจังหวัดสงขลาในการเก็บเกี่ยวช่วงฤดูแล้ง และ Nk-D: เมล็ดโกโก้จากจังหวัดนครศรีธรรมราชในการเก็บเกี่ยวช่วงฤดูแล้ง



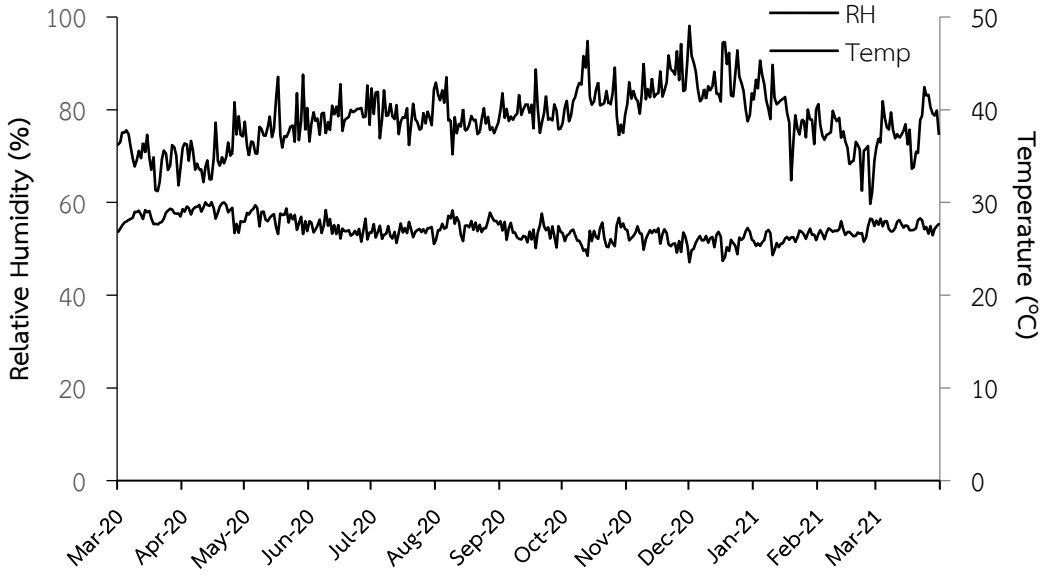
ภาพที่ 11 การประเมินรสชาติทางประสาทสัมผัสโดยรวมของเมล็ดโกโก้จากจังหวัดสงขลา และจังหวัดนครศรีธรรมราชตามช่วงฤดูกาลเก็บเกี่ยวที่แตกต่างกัน

Psu-R: เมล็ดโกโก้จากจังหวัดสงขลาในการเก็บเกี่ยวช่วงฤดูฝน, Nk-R: เมล็ดโกโก้จากจังหวัดนครศรีธรรมราชในการเก็บเกี่ยวช่วงฤดูฝน, Psu-D: เมล็ดโกโก้จากจังหวัดสงขลาในการเก็บเกี่ยวช่วงฤดูแล้ง และ Nk-D: เมล็ดโกโก้จากจังหวัดนครศรีธรรมราชในการเก็บเกี่ยวช่วงฤดูแล้ง ค่าเฉลี่ยที่กำกับด้วยตัวอักษรพิมพ์เล็กต่างกัน มีความแตกต่างทางสถิติอย่างมีนัยสำคัญ จากการเปรียบเทียบโดยวิธี DMRT ที่ระดับ $P \leq 0.05$

การทดลองที่ 3 ฤดูกาลเก็บเกี่ยวและระยะพัฒนาการของใบที่มีผลต่อลักษณะสัณฐานวิทยา สรีรวิทยา และปริมาณสารสำคัญในใบโกโก้

1. สภาพอากาศในแปลงทดลอง

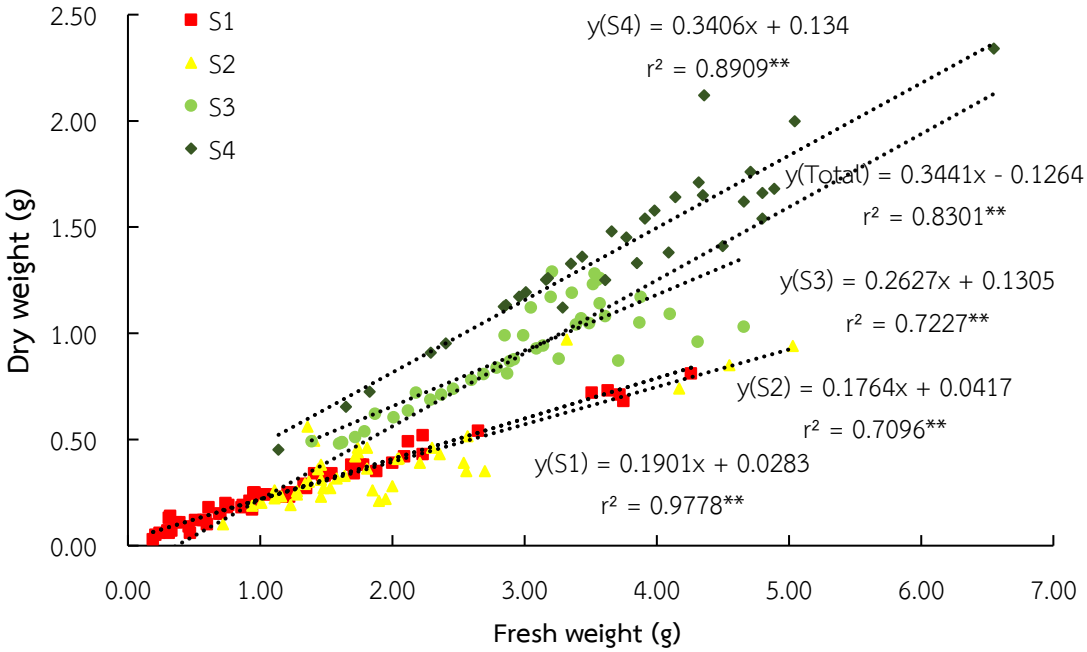
อุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์ในอากาศ ระหว่างเดือนมกราคม พ.ศ. 2563 ถึงเดือนธันวาคม พ.ศ. 2563 พบว่า อุณหภูมิอยู่ในช่วง 23.55-30.04 องศาเซลเซียส และความชื้นสัมพัทธ์ในอากาศอยู่ในช่วง 30.75-100.00 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ โดยในช่วงฤดูแล้ง (มกราคม-มิถุนายน) มีอุณหภูมิเฉลี่ยและความชื้นสัมพัทธ์ในอากาศเฉลี่ย เท่ากับ 27.85±1.06 องศาเซลเซียส และ 73.69±4.98 เปอร์เซ็นต์ ส่วนในช่วงฤดูฝน (กรกฎาคม-ธันวาคม) มีอุณหภูมิเฉลี่ยและความชื้นสัมพัทธ์ในอากาศเฉลี่ย เท่ากับ 26.57±1.00 องศาเซลเซียส และ 81.75±5.07 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ (ภาพที่ 12)



ภาพที่ 12 การเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิ และความชื้นสัมพัทธ์ในอากาศบริเวณแปลงทดลอง จังหวัดสงขลา ระหว่างเดือน มีนาคม พ.ศ.2563 ถึงมีนาคม พ.ศ.2564

2. ลักษณะทางสัณฐานวิทยาและสรีรวิทยาของใบโกโก้ลูกผสมชุมพร 1 แต่ละระยะพัฒนาการของใบ

2.1. ความสัมพันธ์ระหว่างน้ำหนักแห้งกับน้ำหนักสดใบโกโก้ลูกผสมชุมพร 1



ภาพที่ 13 ความสัมพันธ์ระหว่างน้ำหนักสดกับน้ำหนักแห้งของใบโกโก้ (n=177) ซึ่งแบ่งเป็น 4 ระยะ โดยระยะที่ 1 (S1) ใบสีแดงจนถึงสีน้ำตาลอ่อน ใบมีอายุ 9-14 วัน ระยะที่ 2 (S2) ใบสีเขียวแกมเหลือง ใบมีอายุ 15-20 วัน ระยะที่ 3 (S3) ใบสีเขียวอ่อน ใบมีอายุอายุ 21-27 วัน และระยะที่ 4 (S4) ใบมีอายุ 28-34 วัน ใบสีเขียวเข้ม **มีความแตกต่างทางสถิติอย่างมีนัยสำคัญยิ่งที่ระดับ $P \leq 0.01$

การเปลี่ยนแปลงของน้ำหนักสดและน้ำหนักแห้งแต่ละระยะพัฒนาการใบโกโก้ พบว่า น้ำหนักสดของใบระยะที่ 1 มีความสัมพันธ์เชิงบวกในสมการเส้นตรง $y_{(S1)} = 0.1901x + 0.0283$ ($r^2 = 0.9778^{**}$) มีการกระจายตัวของน้ำหนักใบแห้งแคบ ขณะที่ น้ำหนักสดของใบระยะที่ 2 มีความสัมพันธ์เชิงบวกในสมการเส้นตรง $y_{(S2)} = 0.1764x + 0.0417$ ($r^2 = 0.7096^{**}$) ที่มีการกระจายตัวของน้ำหนักใบแห้งแคบ ในส่วนน้ำหนักสดของใบระยะที่ 3 มีความสัมพันธ์เชิงบวกในสมการเส้นตรง $y_{(S3)} = 0.2627x + 0.1305$ ($r^2 = 0.7227^{**}$) ที่มีการกระจายตัวของน้ำหนักแห้งใบแคบ ในขณะที่ น้ำหนักสดของใบระยะที่ 4 มีความสัมพันธ์เชิงบวกในสมการเส้นตรง $y_{(S4)} = 0.3406x + 0.134$ ($r^2 = 0.8909^{**}$) ที่มีการกระจายตัวของน้ำหนักแห้งใบกว้าง โดยที่ x คือ น้ำหนักสดของใบ และ y คือ น้ำหนักแห้งของใบ (ภาพที่ 13) ความสัมพันธ์ระหว่างน้ำหนักสดกับน้ำหนักแห้งของใบโกโก้ พบว่า มีความสัมพันธ์เชิงบวกในสมการเส้นตรง $y_{(Total)} = 0.3436x - 0.1228$ ($r^2 = 0.8105^{**}$) ซึ่งน้ำหนักสดใบโกโก้กับน้ำหนักแห้งใบโกโก้มีความแตกต่างกันทางสถิติอย่างมีนัยสำคัญยิ่ง โดยที่ x คือ น้ำหนักสดใบโกโก้ และ y คือ น้ำหนักแห้งใบโกโก้ (ภาพที่ 10)

ตารางที่ 8 น้ำหนักสดและน้ำหนักแห้งของของใบโกโก้ที่เก็บเกี่ยวในช่วงฤดูแล้งและฤดูฝนตามช่วงระยะพัฒนาการของใบ

Seasons	Fresh weight (g)				Mean[(1)]	Dry weight (g)				Mean[(1)]
	S1	S2	S3	S4		S1	S2	S3	S4	
Dry season	1.54±0.91d	1.90±0.83c	2.61±0.96b	3.12±1.02a	2.09[ns]	0.39±0.11de	0.47±0.20d	0.63±0.15c	0.74±0.15bc	0.53B
Rainy season	1.52±1.00d	1.92±1.02c	2.70±0.75b	3.24±1.06a	2.36	0.32±0.19e	0.42±0.21de	0.84±0.29b	1.25±0.39a	0.63A
Mean[(2)]	1.53D	1.91C	2.71B	3.19A	2.19	0.3437D	0.4458C	0.8012B	1.018A	0.59
A			ns					**		
B			**					**		
A x B			**					**		
C.V. (%)			40.94					38.88		

[(1)] ค่าเฉลี่ยของฤดูกาลในการเก็บเกี่ยวใบโกโก้

[(2)] ค่าเฉลี่ยของระยะพัฒนาการของใบโกโก้ แบ่งเป็น 4 ระยะ โดยระยะที่ 1 (S1) ใบสีแดงจนถึงสีน้ำตาลอ่อน อายุ 9-14 วัน ระยะที่ 2 (S2) ใบสีเขียวแกมเหลือง อายุ 15-20 วัน ระยะที่ 3 (S3) ใบสีเขียวอ่อน อายุ 21-27 วัน และระยะที่ 4 (S4) ใบมีอายุ 28-34 วัน ใบสีเขียวเข้ม

ค่าเฉลี่ยที่กำกับด้วยตัวอักษรพิมพ์ใหญ่และพิมพ์เล็กต่างกันในแต่ละแถวและสดมภ์มีความแตกต่างทางสถิติอย่างมีนัยสำคัญ จากการเปรียบเทียบโดยวิธี DMRT ที่ระดับ P≤0.01

** มีความแตกต่างทางสถิติอย่างมีนัยสำคัญยิ่งที่ระดับ P≤0.01

ns ไม่แตกต่างกันทางสถิติ

การเปลี่ยนแปลงน้ำหนักสดและน้ำหนักแห้งตามระยะพัฒนาการของใบโกโก้ที่เก็บเกี่ยวในแต่ละฤดูกาล พบว่า ใบโกโก้ที่เก็บเกี่ยวในช่วงฤดูฝน และฤดูแล้งมีน้ำหนักใบแตกต่างกันทางสถิติ โดยน้ำหนักสดและน้ำหนักแห้งของใบมีความแตกต่างกันทางสถิติอย่างมีนัยสำคัญยิ่ง โดยใบโกโก้มีน้ำหนักสดและน้ำหนักแห้งของใบมากที่สุดเมื่อเก็บเกี่ยวในช่วงฤดูฝนมีค่าเฉลี่ย 2.36 กรัม และ 0.63 กรัม ตามลำดับ ซึ่งมีน้ำหนักสดมากที่สุดและไม่มีความแตกต่างทางสถิติกับใบโกโก้ที่เก็บเกี่ยวในช่วงฤดูแล้ง ในขณะที่น้ำหนักแห้งของใบโกโก้ที่เก็บเกี่ยวในช่วงฤดูฝนมีค่ามากที่สุดและมีความแตกต่างทางสถิติอย่างมีนัยสำคัญยิ่งกับใบโกโก้ที่เก็บเกี่ยวในช่วงฤดูแล้งซึ่งมีค่าเฉลี่ยน้ำหนักสดใบเท่ากับ 0.53 กรัม ส่วนระยะพัฒนาการของใบโกโก้ระยะที่ 1-4 มีความแตกต่างทางสถิติอย่างมีนัยสำคัญยิ่ง โดยใบระยะที่ 4 มีน้ำหนักสดและน้ำหนักแห้งของใบมากที่สุดมีน้ำหนักใบสดและน้ำหนักแห้งเฉลี่ย 3.19 กรัม และ 1.02 กรัม ตามลำดับ และมีความแตกต่างทางสถิติอย่างมีนัยสำคัญยิ่งกับระยะที่ 1 2 และ 3 มีน้ำหนักใบสดเฉลี่ย 1.53 1.91 และ 2.71 กรัม และมีน้ำหนักใบแห้งเฉลี่ย 0.34 0.44 และ 0.80 กรัม ตามลำดับ ขณะที่ ปฏิสัมพันธ์ระหว่างฤดูกาลเก็บเกี่ยวกับระยะพัฒนาการของใบมีน้ำหนักสดและน้ำหนักแห้งของใบแตกต่างกันทางสถิติอย่างมีนัยสำคัญยิ่ง โดยระยะที่ 4 ของการเก็บเกี่ยวในช่วงฤดูฝนมีน้ำหนักสดของใบมากที่สุด 3.24 กรัม และน้ำหนักแห้งของใบมากที่สุด 1.25 กรัม มีความแตกต่างกันทางสถิติอย่างมีนัยสำคัญยิ่งกับระยะพัฒนาการอื่นและการเก็บเกี่ยวในช่วงฤดูแล้ง และไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติกับใบระยะที่ 1 ของใบที่เก็บเกี่ยวในช่วงฤดูฝนซึ่งมีค่าน้อยที่สุดมีน้ำหนักสดของใบเฉลี่ย 1.52 กรัม และน้ำหนักแห้งของใบเฉลี่ย 0.32 กรัม (ตารางที่ 8)

2.2 พื้นที่ใบจำเพาะและน้ำหนักใบจำเพาะแต่ละระยะพัฒนาการของใบโกโก้

การเปลี่ยนแปลงของพื้นที่ใบจำเพาะ (SLA) และน้ำหนักใบจำเพาะ (SLW) ตามระยะพัฒนาการของใบ พบว่า พื้นที่ใบ (LA) และน้ำหนักแห้ง (DW) ของใบมีความแตกต่างกันทางสถิติอย่างมีนัยสำคัญยิ่งกับระยะพัฒนาการของใบ (ตารางที่ 9) ขณะที่ พื้นที่ใบจำเพาะและน้ำหนักใบจำเพาะมีความแตกต่างกันทางสถิติอย่างมีนัยสำคัญกับระยะพัฒนาการของใบ โดยใบระยะที่ 5 มีพื้นที่ใบและน้ำหนักแห้งของใบมากที่สุด มีค่า 253.85 ตารางเซนติเมตร และ 1.55 กรัม ตามลำดับ ส่วนใบระยะที่ 2 มีพื้นที่ใบจำเพาะมากที่สุด เท่ากับ 520.26 ตารางเซนติเมตรต่อกรัม แตกต่างทางสถิติอย่างมีนัยสำคัญยิ่งกับใบระยะอื่นๆ ในขณะที่ ใบระยะที่ 4 มีน้ำหนักใบจำเพาะมากที่สุด เท่ากับ 0.0061 กรัมต่อตารางเซนติเมตร แตกต่างทางสถิติอย่างมีนัยสำคัญยิ่งกับใบระยะอื่นๆ

ตารางที่ 9 พื้นที่ใบ (LA) น้ำหนักแห้งของใบ (DW) พื้นที่ใบจำเพาะ (SLA) และน้ำหนักใบจำเพาะ (SLW) ในระยะพัฒนาการของใบโกโก้

Developmental stage	LA (cm^2)	FW (g)	DW (g)	SLA (cm^2 g^{-1})	SLW (g cm^{-2})
1	24.88±13.43c	0.49±0.28d	0.11±0.06d	228.98±70.70b	0.0047±0.0014b
2	140.67±42.69b	1.89±0.60c	0.28±0.09c	520.26±106.62a	0.0020±0.0004c
3	232.01±31.46a	3.54±0.56b	1.09±0.20b	215.72±22.30b	0.0047±0.0005b
4	253.85±35.91a	4.26±0.80a	1.55±0.33a	166.15±20.11c	0.0061±0.0008a
F-test	**	**	**	**	**
C.V. (%)	19.41	22.64	26.22	23.03	19.25

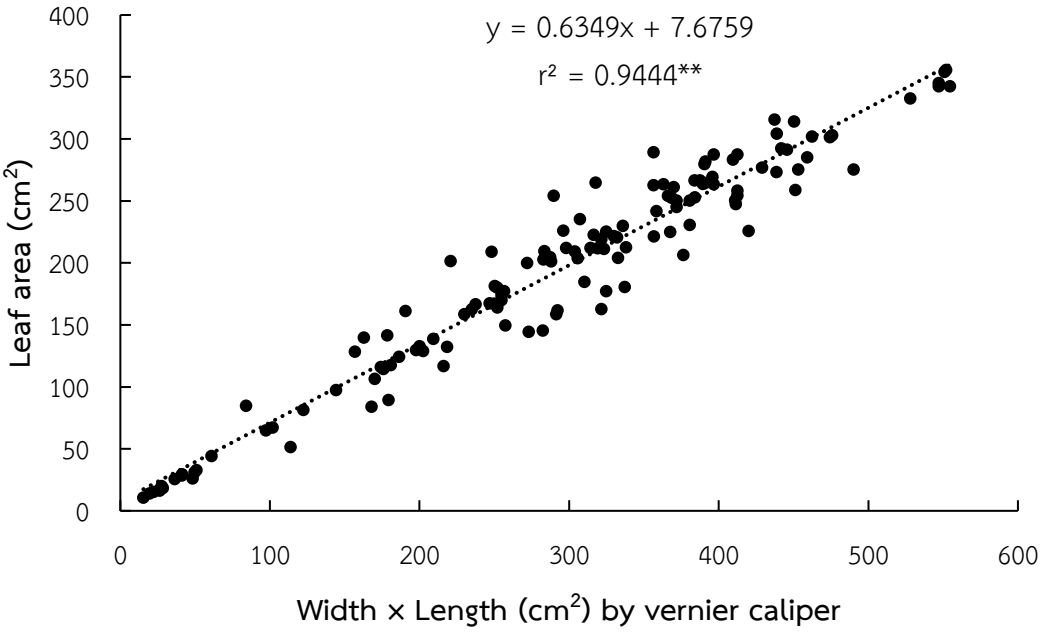
ค่าเฉลี่ย ± ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน (SD) โดยระยะที่ 1 (S1) ใบสีแดงจนถึงสีน้ำตาลอ่อน อายุ 9-14 วัน ระยะที่ 2 (S2) ใบสีเขียวแกมเหลือง อายุ 15-20 วัน ระยะที่ 3 (S3) ใบสีเขียวอ่อน อายุ 21-27 วัน และระยะที่ 4 (S4) ใบมีอายุ 28-34 วัน ใบสีเขียวเข้ม

ค่าเฉลี่ยที่กำกับด้วยตัวอักษรต่างกันในแต่ละสดมภ์มีความแตกต่างทางสถิติอย่างมีนัยสำคัญยิ่ง จากการเปรียบเทียบโดยวิธี DMRT ที่ระดับ $P \leq 0.01$

** มีความแตกต่างทางสถิติอย่างมีนัยสำคัญยิ่งที่ระดับ $P \leq 0.01$

2.3 ความสัมพันธ์ระหว่างพื้นที่ใบโกโก้ลูกผสมชุมพร

ความสัมพันธ์ระหว่างค่าพื้นที่ใบที่วัดด้วยเครื่องวัดพื้นที่ใบกับไม้บรรทัด พบว่า มีความสัมพันธ์เชิงบวกในสมการเส้นตรง การพัฒนาการของพื้นที่ใบโกโก้ $y = 0.6349x + 7.6759$ ($r^2 = 0.9444^{**}$) ที่มีการกระจายตัวแบบแคบ และการวัดพื้นที่ใบด้วยเครื่องวัดพื้นที่ใบกับไม้บรรทัดมีความสัมพันธ์ทางสถิติอย่างมีนัยสำคัญยิ่ง โดยที่ x คือ พื้นที่ใบที่วัดด้วยไม้บรรทัด (กว้าง x ยาว) และ y คือ พื้นที่ใบที่วัดด้วยเครื่องวัดพื้นที่ใบ (ภาพที่ 14)



ภาพที่ 14 ความสัมพันธ์ระหว่างพื้นที่ใบวัดด้วยเครื่องวัดพื้นที่ใบกับพื้นที่ใบ (กว้าง*ยาว) ของใบโกโก้ (n=133)

2.4 ความสัมพันธ์ระหว่างสีใบกับความเขียวใบโกโก้ในแต่ละระยะพัฒนาการ

การเปลี่ยนแปลงของค่าสีใบ (Leaf color) ตามระยะพัฒนาการของใบ พบว่า ความสว่างของใบ (L*) ความเป็นสีแดง-เขียวของใบ (a*) ความเป็นสีน้ำเงิน-เหลืองของใบ (b*) และค่ามุมสี (H) มีความแตกต่างทางสถิติอย่างมีนัยสำคัญยิ่งกับระยะพัฒนาการของใบ สำหรับใบแก่โตเต็มที่ (ใบระยะที่ 4) มีค่าความสว่างของใบ (L*) เฉลี่ย 37.15 ค่าความเป็นสีแดง-เขียวของใบ (a*) เฉลี่ย -16.65 ค่าความเป็นสีน้ำเงิน-เหลืองของใบ (b*) เฉลี่ย 21.00 และค่ามุมสี (H) เฉลี่ย 127.39 สำหรับใบอ่อนสีแดง (ใบระยะที่ 1) มีค่า L* a* b* และ H เท่ากับ 46.46, -7.42, 28.61 และ 69.54 ตามลำดับ ในขณะที่ใบอ่อนสีเหลือง (ใบระยะที่ 2) มีค่า L* a* b* และ H เท่ากับ 55.33, -10.47, 37.91 และ 100.93 ตามลำดับ รวมถึงใบเพสลาด (ใบระยะที่ 3) มีค่า L* a* b* และ H เท่ากับ 49.67, -20.49, 37.73 และ 118.47 ตามลำดับ

โดยใบระยะที่ 2 มีความสว่างของใบมากที่สุด เท่ากับ 55.33 ใบระยะที่ 1 มีค่าความเป็นสีแดงมากที่สุด เท่ากับ -7.42 ใบระยะที่ 2 มีค่าความเป็นสีเหลืองของใบ มากที่สุด เท่ากับ 37.91 และไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติกับใบระยะที่ 3 มีค่า 37.73 ในขณะที่ ใบระยะที่ 4 มีค่ามุมสีมากที่สุด เท่ากับ 127.39 (ตารางที่ 10)

การเปลี่ยนแปลงของความเขียวใบตามระยะพัฒนาการของใบ พบว่า ความเขียวใบแนวเพิ่มตามระยะพัฒนาการของใบ โดยใบระยะที่ 4 ความเขียวใบเฉลี่ย 38.08 SPAD unit ซึ่งมีค่าสีมากที่สุดและมีความแตกต่างกันทางสถิติอย่างมีนัยสำคัญยิ่งกับระยะพัฒนาการอื่น ขณะที่ ใบระยะที่ 1 มีความเขียวใบเฉลี่ย 7.57 ซึ่งมีค่าน้อยที่สุดและมีความแตกต่างกันทางสถิติอย่างมีนัยสำคัญยิ่งกับระยะพัฒนาการอื่น (ตารางที่ 10)

ตารางที่ 10 การเปลี่ยนแปลงของความเขียวใบ และสีของใบ (a* b* และ L*) แต่ละระยะพัฒนาการของใบโกโก้

Developmental stage	SPAD reading (SPAD unit)	Leaf color			
		L*	a*	b*	Hue°
1	7.57±2.72d	46.46±3.45b	-7.42±5.56a	28.61±4.22b	69.54±12.78d
2	13.15±2.38c	55.33±5.82a	-10.47±3.65a	37.91±3.32a	100.93±5.40c
3	26.60±3.80b	49.67±3.07b	-20.49±3.16c	37.73±4.43a	118.47±2.89b
4	38.08±4.40a	37.15±2.55c	-16.65±3.18b	21.00±4.72c	127.39±2.18a
F-test	**	**	**	**	**
C.V. (%)	16.85	8.35	-29.46	13.18	7.02

การเปลี่ยนแปลงของความสว่างของใบ (L*) ความเป็นสีแดงของใบ (a*) ความเป็นสีเหลืองของใบ (b*) และค่ามุมสี (H) ตามระยะพัฒนาการของใบโกโก้ ซึ่งแบ่งเป็น 4 ระยะ โดยระยะที่ 1 (S1) ใบสีแดงจนถึงสีน้ำตาลอ่อน ใบมีอายุ 9-14 วัน ระยะที่ 2 (S2) ใบสีเขียวแกมเหลือง ใบมีอายุ 15-20 วัน ระยะที่ 3 (S3) ใบสีเขียวอ่อน ใบมีอายุอายุ 21-27 วัน และระยะที่ 4 (S4) ใบมีอายุ 28-34 วัน ใบสีเขียวเข้ม ค่า a* เป็นบวก มีความเป็นสีแดง ค่า a* เป็นลบ มีความเป็นสีเขียว ค่า b* เป็นบวก มีความเป็นสีเหลือง ค่า b* เป็นลบ มีความเป็นสีน้ำเงิน ค่า L* มาก มีความสว่างของสีมาก ค่า L* น้อย มีความสว่างของสีน้อย และค่ามุมสี

ค่าเฉลี่ยที่กำกับด้วยตัวอักษรต่างกันในแต่ละสดมภ์มีความแตกต่างทางสถิติอย่างมีนัยสำคัญยิ่ง จากการเปรียบเทียบโดยวิธี DMRT ที่ระดับ P≤0.01

** มีความแตกต่างทางสถิติอย่างมีนัยสำคัญยิ่งที่ระดับ P≤0.01

2.5 คลอโรฟิลล์และแคโรทีนอยด์ในใบโกโก้แต่ละระยะพัฒนาการของใบ

ระยะพัฒนาการของใบมีผลต่อปริมาณคลอโรฟิลล์ เอ คลอโรฟิลล์ทั้งหมด และแคโรทีนอยด์ โดยพบว่า ระยะพัฒนาการใบสูงขึ้นปริมาณคลอโรฟิลล์ เอ คลอโรฟิลล์ บี คลอโรฟิลล์ทั้งหมด และแคโรทีนอยด์มากขึ้นแตกต่างกันทางสถิติอย่างมีนัยสำคัญยิ่ง โดยใบระยะที่ 5 มีปริมาณคลอโรฟิลล์ เอ คลอโรฟิลล์ บี คลอโรฟิลล์ทั้งหมด และแคโรทีนอยด์เฉลี่ยมากที่สุด มีค่า 8.72 3.74 12.24 และ 2.20 มิลลิกรัมต่อตารางเซนติเมตร ตามลำดับ ในขณะที่ระยะที่ 1 มีปริมาณคลอโรฟิลล์ เอ คลอโรฟิลล์ บี คลอโรฟิลล์ทั้งหมด และแคโรทีนอยด์เฉลี่ยต่ำที่สุด มีค่า 1.21 0.81 2.01 และ 0.35 มิลลิกรัมต่อตารางเซนติเมตร ตามลำดับ (ตารางที่ 11)

ตารางที่ 11 ปริมาณคลอโรฟิลล์ เอ คลอโรฟิลล์ บี คลอโรฟิลล์ทั้งหมด และแคโรทีนอยด์ในระยะพัฒนาการของใบโกโก้

Developmental stages	Chl_a (mg cm^{-2})	Chl_b (mg cm^{-2})	Chl_{total} (mg cm^{-2})	Carotenoid (mg cm^{-2})
1	1.21 ± 0.57d	0.81 ± 0.50c	2.01 ± 0.91d	0.35 ± 0.18d
2	2.51 ± 0.95c	1.21 ± 0.48c	3.71 ± 1.40c	0.57 ± 0.23c
3	6.69 ± 1.35b	3.10 ± 0.67b	9.79 ± 1.99b	1.36 ± 0.30b
4	8.72 ± 1.61a	3.74 ± 0.62a	12.24 ± 2.30a	2.02 ± 0.25a
F-test	**	**	**	**
C.V. (%)	26.57	28.96	26.62	25.84

หมายเหตุ: การเปลี่ยนแปลงของปริมาณคลอโรฟิลล์ เอ คลอโรฟิลล์ บี คลอโรฟิลล์ทั้งหมด และแคโรทีนอยด์ในระยะพัฒนาการของใบโกโก้ ค่าเฉลี่ย ± ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน (SD) แบ่งเป็น 4 ระยะ โดยระยะที่ 1 (S1) ใบสีแดงจนถึงสีน้ำตาลอ่อน ใบมีอายุ 9-14 วัน ระยะที่ 2 (S2) ใบสีเขียวแกมเหลือง ใบมีอายุ 15-20 วัน ระยะที่ 3 (S3) ใบสีเขียวอ่อน ใบมีอายุอายุ 21-27 วัน และระยะที่ 4 (S4) ใบมีอายุ 28-34 วัน ใบสีเขียวเข้ม ค่าเฉลี่ยที่กำกับด้วยตัวอักษรพิมพ์ใหญ่และพิมพ์เล็กต่างกันในแต่ละแถวและสดมภ์มีความแตกต่างทางสถิติอย่างมีนัยสำคัญ จากการเปรียบเทียบโดยวิธี DMRT ที่ระดับ $P \leq 0.01$

** มีความแตกต่างทางสถิติอย่างมีนัยสำคัญยิ่งที่ระดับ $P \leq 0.01$

3. องค์ประกอบสารพฤกษเคมีที่สำคัญในใบโกโก้ลูกผสมชุมพร 1

จากผลการศึกษาปริมาณสารต้านอนุมูลอิสระภายในใบโกโก้ที่เก็บเกี่ยวในฤดูกาลที่แตกต่างกันแต่ละช่วงพัฒนาการ พบว่า ปริมาณสารต้านอนุมูลอิสระเฉลี่ยในใบโกโก้ที่เก็บเกี่ยวในฤดูกาลเก็บเกี่ยวต่างกันมีความแตกต่างทางสถิติอย่างมีนัยสำคัญยิ่ง โดยใบโกโก้ที่เก็บเกี่ยวในช่วงฤดูฝนมีปริมาณสารต้านอนุมูลอิสระเฉลี่ย เท่ากับ 45.25 มิลลิกรัมสมมูลของเฟอร์รัสไอออนต่อกรัมของสารสกัดแห้ง ซึ่งมีปริมาณมากที่สุด เมื่อเปรียบเทียบกับใบที่เก็บเกี่ยวในช่วงฤดูแล้ง ที่มีปริมาณสารต้านอนุมูลอิสระเฉลี่ย เท่ากับ 19.86 มิลลิกรัมสมมูลของเฟอร์รัสไอออนต่อกรัมของสารสกัดแห้ง เช่นเดียวกับช่วงระยะพัฒนาการของใบโกโก้ในแต่ละช่วงมีความแตกต่างกันทางสถิติอย่างมีนัยสำคัญยิ่ง โดยใบช่วงระยะที่ 1 มีปริมาณสารต้านอนุมูลอิสระเฉลี่ยมากที่สุด เท่ากับ 41.08 มิลลิกรัมสมมูลของเฟอร์รัสไอออนต่อกรัมของสารสกัดแห้ง และแตกต่างทางสถิติอย่างมีนัยสำคัญยิ่งกับใบระยะอื่นๆ เช่นเดียวกับปฏิสัมพันธ์ระหว่างฤดูกาลเก็บเกี่ยวกับช่วงระยะพัฒนาการของใบโกโก้มีปริมาณสารต้านอนุมูลอิสระเฉลี่ยแตกต่างทางสถิติอย่างมีนัยสำคัญยิ่ง โดยใบโกโก้ช่วงระยะที่ 1 จากการเก็บเกี่ยวในช่วงฤดูฝน มีปริมาณสารต้านอนุมูลอิสระ 59.88 มิลลิกรัมสมมูลของเฟอร์รัสไอออนต่อกรัมของสารสกัดแห้ง ซึ่งมีปริมาณมากที่สุด และมีความแตกต่างกันทางสถิติอย่างมีนัยสำคัญยิ่งเมื่อเทียบกับชุดการทดลองอื่น ในขณะที่ใบโกโก้ช่วงระยะที่ 4 จากการเก็บเกี่ยวในช่วงฤดูแล้ง มีปริมาณสารต้านอนุมูลอิสระ 14.87 มิลลิกรัมสมมูลของเฟอร์รัสไอออนต่อกรัมของสารสกัดแห้ง ซึ่งมีปริมาณน้อยที่สุดเมื่อเทียบกับชุดการทดลองอื่น (ตารางที่ 12) โดยลดลง 3.03 เท่าเมื่อเปรียบเทียบกับใบอ่อน

ตารางที่ 12 ปริมาณสารต้านอนุมูลอิสระภายในใบโกโก้ตามช่วงระยะพัฒนาการของใบ

Seasons	Antioxidant activity content (mg Fe (II) equivalent/ g extract)				Mean (1)
	Stage 1 (S1)	Stage 2 (S2)	Stage 3 (S3)	Stage 4 (S4)	
Dry season	22.27±0.25e	21.51±0.52ef	20.80±0.21f	14.87±0.36g	19.86B
Rainy season	59.88±0.34a	49.61±0.23b	42.29±0.30c	29.24±0.60d	45.25A
Mean (2)	41.08A	35.56AB	31.55B	22.05C	
A			**		
B			**		
A×B			**		
C.V. (%)			1.37		

(1) ค่าเฉลี่ยของฤดูกาลในการเก็บเกี่ยวใบโกโก้

(2) ค่าเฉลี่ยของระยะพัฒนาการของใบโกโก้ แบ่งเป็น 4 ระยะ โดยระยะที่ 1 (S1) ใบสีแดงจนถึงสีน้ำตาลอ่อน อายุ 9-14 วัน ระยะที่ 2 (S2) ใบสีเขียวแกมเหลือง อายุ 15-20 วัน ระยะที่ 3 (S3) ใบสีเขียวอ่อน อายุ 21-27 วัน และระยะที่ 4 (S4) ใบมีอายุ 28-34 วัน ใบสีเขียวเข้ม

ค่าเฉลี่ยที่กำกับด้วยตัวอักษรพิมพ์ใหญ่และพิมพ์เล็กต่างกันในแต่ละแถวและสดมภ์มีความแตกต่างทางสถิติอย่างมีนัยสำคัญ จากการเปรียบเทียบโดยวิธี DMRT ที่ระดับ $P \leq 0.01$

** มีความแตกต่างทางสถิติอย่างมีนัยสำคัญยิ่งที่ระดับ $P \leq 0.01$

จากผลการศึกษาปริมาณแทนนินภายในใบโกโก้ที่เก็บเกี่ยวในฤดูกาลที่แตกต่างกันแต่ละช่วงพัฒนาการ พบว่า ปริมาณแทนนินเฉลี่ยในใบที่เก็บเกี่ยวในฤดูกาลเก็บเกี่ยวต่างกันมีความแตกต่างทางสถิติอย่างมีนัยสำคัญยิ่ง โดยใบโกโก้ที่เก็บเกี่ยวในช่วงฤดูฝนมีปริมาณแทนนินเฉลี่ย เท่ากับ 45.63 มิลลิกรัมสมมูลของกรดแทนนิกต่อกรัมของสารสกัดแห้ง ซึ่งมีปริมาณมากที่สุดเมื่อเปรียบเทียบกับใบที่เก็บเกี่ยวในช่วงฤดูแล้ง ที่มีปริมาณแทนนินเฉลี่ย เท่ากับ 32.61 มิลลิกรัมสมมูลของกรดแทนนิกต่อกรัมของสารสกัดแห้ง เช่นเดียวกับช่วงระยะพัฒนาการของใบโกโก้ในแต่ละช่วงมีความแตกต่างกันทางสถิติอย่างมีนัยสำคัญยิ่ง โดยใบช่วงระยะที่ 1 มีปริมาณแทนนินเฉลี่ยมากที่สุด เท่ากับ 54.81 มิลลิกรัมสมมูลของกรดแทนนิกต่อกรัมของสารสกัดแห้ง แตกต่างทางสถิติอย่างมีนัยสำคัญยิ่งกับใบระยะอื่นๆ เช่นเดียวกับปฏิสัมพันธ์ระหว่างฤดูกาลเก็บเกี่ยวกับช่วงระยะพัฒนาการของใบโกโก้มีปริมาณแทนนินเฉลี่ยแตกต่างทางสถิติอย่างมีนัยสำคัญยิ่ง โดยใบโกโก้ช่วงระยะที่ 1 จากการเก็บเกี่ยวในช่วงฤดูฝน มีปริมาณแทนนิน 66.44 มิลลิกรัมสมมูลของกรดแทนนิกต่อกรัมของสารสกัดแห้ง ซึ่งมีปริมาณมากที่สุด(ตารางที่ 13) โดยลดลง 3.03 เท่าเมื่อเปรียบเทียบกับใบอ่อนและมีความแตกต่างกันทางสถิติอย่างมีนัยสำคัญยิ่งเมื่อเทียบกับชุดการทดลองอื่น และใบโกโก้ช่วงระยะที่ 4 จากการเก็บเกี่ยวในช่วงฤดูฝน มีปริมาณแทนนิน 23.22 มิลลิกรัมสมมูลของกรดแทนนิกต่อกรัมของสารสกัดแห้ง ซึ่งมีปริมาณน้อยที่สุดเมื่อเทียบกับชุดการทดลองอื่น (ตารางที่ 13)

การเก็บเกี่ยวใบโกโก้ในฤดูฝนในระยะที่ 1 มีปริมาณแทนนิน 66.44 มิลลิกรัมสมมูลของกรดแทนนิกต่อกรัมของสารสกัดแห้ง แตกต่างกันทางสถิติอย่างมีนัยสำคัญยิ่งกับใบระยะ 4 ที่มีปริมาณแทนนินน้อยที่สุดเท่ากับ 23.22 มิลลิกรัมสมมูลของกรดแทนนิกต่อกรัมของสารสกัดแห้ง อย่างไรก็ตามในระยะพัฒนาการที่ 4 พบว่าการเก็บเกี่ยวในช่วงฤดูแล้งมีปริมาณแทนนินเท่ากับ 32.61 มิลลิกรัมสมมูลของกรดแทนนิกต่อกรัมของสารสกัดแห้งโดยลดลง 1.86 เท่าเมื่อเปรียบเทียบกับใบอ่อนที่เก็บเกี่ยวในช่วงฤดูฝน ในขณะที่ปฏิสัมพันธ์ระหว่างฤดูกาลเก็บเกี่ยวกับช่วงระยะพัฒนาการของใบโกโก้มีปริมาณสารแทนนินเฉลี่ยแตกต่างทางสถิติอย่างมีนัยสำคัญยิ่ง (ตารางที่ 13)

ตารางที่ 13 ปริมาณสารแทนนินภายในใบโกโก้ตามช่วงระยะพัฒนาการของใบ

Seasons	Tannin content (mg tannic acid equivalent/ g extract)				Mean [(1)]
	Stage 1 (S1)	Stage 2 (S2)	Stage 3 (S3)	Stage 4 (S4)	
Dry season	43.17±1.00c	37.31±0.17e	35.58±0.28e	32.61±0.43f	37.17B
Rainy season	66.44±1.45a	52.07±0.36b	40.78±2.07d	23.22±0.37g	45.63A
Mean [(2)]	54.81A	44.69B	38.18B	27.91C	
A	**				
B	**				
A×B	**				
C.V. (%)	1.96				

(1) ค่าเฉลี่ยของฤดูกาลในการเก็บเกี่ยวใบโกโก้

(2) ค่าเฉลี่ยของระยะพัฒนาการของใบโกโก้ แบ่งเป็น 4 ระยะ โดยระยะที่ 1 (S1) ใบสีแดงจนถึงสีน้ำตาลอ่อน อายุ 9-14 วัน ระยะที่ 2 (S2) ใบสีเขียวแกมเหลือง อายุ 15-20 วัน ระยะที่ 3 (S3) ใบสีเขียวอ่อน อายุ 21-27 วัน และระยะที่ 4 (S4) ใบมีอายุ 28-34 วัน ใบสีเขียวเข้ม

ค่าเฉลี่ยที่กำกับด้วยตัวอักษรพิมพ์ใหญ่และพิมพ์เล็กต่างกันในแต่ละแถวและสดมภ์มีความแตกต่างทางสถิติอย่างมีนัยสำคัญ จากการเปรียบเทียบโดยวิธี DMRT ที่ระดับ P≤0.01

** มีความแตกต่างทางสถิติอย่างมีนัยสำคัญยิ่งที่ระดับ P≤0.01

จากผลการศึกษาปริมาณสารประกอบฟีนอลิกภายในใบโกโก้ที่เก็บเกี่ยวในฤดูกาลที่แตกต่างกันแต่ละช่วงพัฒนาการ พบว่า ปริมาณสารประกอบฟีนอลิกเฉลี่ยในใบโกโก้ที่เก็บเกี่ยวในฤดูกาลเก็บเกี่ยวต่างกันมีความแตกต่างทางสถิติอย่างมีนัยสำคัญยิ่ง โดยใบโกโก้ที่เก็บเกี่ยวในช่วงฤดูฝนมีปริมาณสารประกอบฟีนอลิกเฉลี่ย เท่ากับ 44.59 มิลลิกรัมสมมูลของกรดแกลลิกต่อกรัมของสารสกัดแห้ง ซึ่งมีปริมาณมากที่สุดเมื่อเปรียบเทียบกับใบที่เก็บเกี่ยวในช่วงฤดูแล้ง ที่มีปริมาณสารประกอบฟีนอลิกเฉลี่ย เท่ากับ 35.84 มิลลิกรัมสมมูลของกรดแกลลิกต่อกรัมของสารสกัดแห้ง เช่นเดียวกับช่วงระยะพัฒนาการของใบโกโก้ในแต่ละช่วงมีความแตกต่างกันทางสถิติอย่างมีนัยสำคัญยิ่ง โดยใบช่วงระยะที่ 1 มีปริมาณสารประกอบฟีนอลิกเฉลี่ย เท่ากับ 50.90 มิลลิกรัมสมมูลของกรดแกลลิกต่อกรัมของสารสกัดแห้ง ซึ่งมีปริมาณมากที่สุดเมื่อเปรียบเทียบกับใบระยะอื่นๆ เช่นเดียวกับปฏิสัมพันธ์ระหว่างฤดูกาลเก็บเกี่ยวกับช่วงระยะพัฒนาการของใบโกโก้มีปริมาณสารประกอบฟีนอลิก เฉลี่ยแตกต่างทางสถิติอย่างมีนัยสำคัญยิ่ง โดยใบโกโก้ช่วงระยะที่ 1 จากการเก็บเกี่ยวในช่วงฤดูฝน มีปริมาณสารประกอบฟีนอลิกเฉลี่ย เท่ากับ 61.81 มิลลิกรัมสมมูลของกรดแกลลิกต่อกรัมของสารสกัดแห้ง ซึ่งมีปริมาณมากที่สุดและมีความแตกต่างกันทางสถิติอย่างมีนัยสำคัญยิ่งเมื่อเทียบกับชุดการทดลองอื่น และใบโกโก้ช่วงระยะที่ 4 จากการเก็บเกี่ยวในช่วงฤดูแล้ง มีปริมาณสารประกอบฟีนอลิกเฉลี่ย เท่ากับ 29.11 มิลลิกรัมสมมูลของกรดแกลลิกต่อกรัมของสารสกัดแห้ง ซึ่งมีปริมาณน้อยที่สุดเมื่อเทียบกับชุดการทดลองอื่น (ตารางที่ 14)

ปริมาณสารประกอบฟีนอลิกภายในใบโกโก้ลูกผสมชุมพร 1 พบว่า มีปริมาณสารประกอบฟีนอลิกเฉลี่ยในใบโกโก้ที่เก็บเกี่ยวในฤดูกาลเก็บเกี่ยวต่างกันมีความแตกต่างทางสถิติอย่างมีนัยสำคัญยิ่ง โดยใบโกโก้ที่เก็บเกี่ยวในช่วงฤดูฝนมีปริมาณสารประกอบฟีนอลิกเฉลี่ยในระยะพัฒนาการที่ 1 เท่ากับ 61.81 มิลลิกรัมสมมูลของกรดแกลลิกต่อกรัมของสารสกัดแห้ง ซึ่งมีปริมาณมากที่สุดเมื่อเปรียบเทียบกับใบช่วงระยะพัฒนาอื่น โดยเพิ่มขึ้น 1.86 เท่าเมื่อเปรียบเทียบกับใบอ่อนที่เก็บเกี่ยวในช่วงฤดูฝน ในขณะที่ ปฏิสัมพันธ์ระหว่างฤดูกาลเก็บเกี่ยวกับช่วงระยะพัฒนาการของใบโกโก้มีปริมาณสารประกอบฟีนอลิกเฉลี่ยแตกต่างทางสถิติอย่างมีนัยสำคัญยิ่งเช่นเดียวกัน (ตารางที่ 14)

ตารางที่ 14 ปริมาณสารประกอบฟีนอลิกภายในใบโกโก้ตามช่วงระยะพัฒนาการของใบ

Season	Phenolic compound content (mg gallic acid equivalent/ g extract)				Mean (1)
	Stage 1 (S1)	Stage 2 (S2)	Stage 3 (S3)	Stage 4 (S4)	
Rainy season	61.81±0.91a	48.31±0.25b	39.14±1.77cd	29.11±1.05f	44.59A
Dry season	40.00±1.18c	37.47±0.43de	36.64±0.08e	29.27±0.50f	35.84B
Mean (2)	50.90A	42.89B	37.89B	29.19C	
A	**				
B	**				
A×B	**				
C.V. (%)	2.02				

(1) ค่าเฉลี่ยของฤดูกาลในการเก็บเกี่ยวใบโกโก้

(2) ค่าเฉลี่ยของระยะพัฒนาการของใบโกโก้ แบ่งเป็น 4 ระยะ โดยระยะที่ 1 (S1) ใบสีแดงจนถึงสีน้ำตาลอ่อน อายุ 9-14 วัน ระยะที่ 2 (S2) ใบสีเขียวแกมเหลือง อายุ 15-20 วัน ระยะที่ 3 (S3) ใบสีเขียวอ่อน อายุ 21-27 วัน และระยะที่ 4 (S4) ใบมีอายุ 28-34 วัน ใบสีเขียวเข้ม

ค่าเฉลี่ยที่กำกับด้วยตัวอักษรพิมพ์ใหญ่และพิมพ์เล็กต่างกันในแต่ละแถวและสดมภ์มีความแตกต่างทางสถิติอย่างมีนัยสำคัญ จากการเปรียบเทียบโดยวิธี DMRT ที่ระดับ P≤0.01

** มีความแตกต่างทางสถิติอย่างมีนัยสำคัญยิ่งที่ระดับ P≤0.01

จากผลการศึกษาปริมาณฟลาโวนอยด์ภายในใบโกโก้ที่เก็บเกี่ยวในฤดูกาลที่แตกต่างกันแต่ละช่วงพัฒนาการ พบว่า ปริมาณฟลาโวนอยด์เฉลี่ยในใบโกโก้ที่เก็บเกี่ยวในฤดูกาลเก็บเกี่ยวต่างกันมีความแตกต่างทางสถิติอย่างมีนัยสำคัญยิ่ง โดยใบโกโก้ที่เก็บเกี่ยวในช่วงฤดูฝนมีปริมาณฟลาโวนอยด์เฉลี่ย เท่ากับ 71.35 มิลลิกรัมสมมูลของแคทีชินต่อกรัมของสารสกัดแห้ง ซึ่งมีปริมาณมากที่สุดเมื่อเปรียบเทียบกับใบที่เก็บเกี่ยวในช่วงฤดูแล้ง ที่มีปริมาณฟลาโวนอยด์เฉลี่ย เท่ากับ 44.97 มิลลิกรัมสมมูลของแคทีชินต่อกรัมของสารสกัดแห้ง เช่นเดียวกับช่วงระยะพัฒนาการของใบโกโก้ในแต่ละช่วงมีความแตกต่างกันทางสถิติอย่างมีนัยสำคัญยิ่ง โดยใบช่วงระยะที่ 1 มีปริมาณฟลาโวนอยด์เฉลี่ยมากที่สุด เท่ากับ 68.67 มิลลิกรัมสมมูลของแคทีชินต่อกรัมของสารสกัดแห้ง ซึ่งมีปริมาณมากที่สุดเมื่อ

เปรียบเทียบกับใบระยะอื่นๆ เช่นเดียวกับปฏิสัมพันธ์ระหว่างฤดูกาลเก็บเกี่ยวกับช่วงระยะพัฒนาการของใบโกโก้มีปริมาณฟลาโวนอยด์เฉลี่ยแตกต่างทางสถิติอย่างมีนัยสำคัญยิ่ง โดยใบโกโก้ช่วงระยะที่ 1 จากการเก็บเกี่ยวในช่วงฤดูฝน มีปริมาณฟลาโวนอยด์ 88.59 มิลลิกรัมสมมูลของแคทีชินต่อกรัมของสารสกัดแห้ง ซึ่งมีปริมาณมากที่สุดและมีความแตกต่างกันทางสถิติอย่างมีนัยสำคัญยิ่งเมื่อเทียบกับชุดการทดลองอื่น และใบโกโก้ช่วงระยะที่ 4 จากการเก็บเกี่ยวในช่วงฤดูแล้ง มีปริมาณฟลาโวนอยด์เฉลี่ย39.95 มิลลิกรัมสมมูลของแคทีชินต่อกรัมของสารสกัดแห้ง ซึ่งมีปริมาณน้อยที่สุดเมื่อเทียบกับชุดการทดลองอื่น (ตารางที่ 15)

ปริมาณฟลาโวนอยด์ในใบโกโก้ที่เก็บเกี่ยวในฤดูแล้งและฤดูฝนแต่ละช่วงระยะพัฒนาการของใบพบว่า ปริมาณฟลาโวนอยด์เฉลี่ยในใบโกโก้ลูกผสมชุมพร 1 จากการเก็บเกี่ยวในฤดูกาลเก็บเกี่ยวที่ต่างกันมีความแตกต่างทางสถิติอย่างมีนัยสำคัญยิ่ง โดยการเก็บเกี่ยวใบโกโก้ในฤดูฝนในระยะที่ 1 มีปริมาณฟลาโวนอยด์ 68.67 มิลลิกรัมสมมูลของแคทีชินต่อกรัมของสารสกัดแห้ง แตกต่างกันทางสถิติอย่างมีนัยสำคัญยิ่งกับใบระยะ 4 ที่มีปริมาณฟลาโวนอยด์น้อยที่สุดเท่ากับ 46.61 มิลลิกรัมสมมูลของแคทีชินต่อกรัมของสารสกัดแห้ง โดยลดลง 1.86 เท่าเมื่อเปรียบเทียบกับใบอ่อนที่เก็บเกี่ยวในช่วงฤดูฝน ในขณะที่ปฏิสัมพันธ์ระหว่างฤดูกาลเก็บเกี่ยวกับช่วงระยะพัฒนาการของใบโกโก้มีปริมาณสารฟลาโวนอยด์เฉลี่ยแตกต่างทางสถิติอย่างมีนัยสำคัญยิ่ง (ตารางที่ 15)

ตารางที่ 15 ปริมาณสารประกอบฟลาโวนอยด์ภายในใบโกโก้ตามช่วงระยะพัฒนาการของใบ

Season	Flavoniod content (mg catechin equivalent/ g extract)				Mean (1)
	Stage 1 (S1)	Stage 2 (S2)	Stage 3 (S3)	Stage 4 (S4)	
Rainy season	88.59±1.35a	79.69±3.96b	63.83±3.28c	53.28±0.44d	71.35A
Dry season	48.76±0.62de	46.24±1.41e	44.96±1.32ef	39.95±1.84f	44.97B
Mean (2)	68.67A	62.96B	54.38C	46.61D	
A		**			
B		**			
A×B		**			
C.V. (%)		3.20			

(1) ค่าเฉลี่ยของฤดูกาลในการเก็บเกี่ยวใบโกโก้

(2) ค่าเฉลี่ยของระยะพัฒนาการของใบโกโก้ แบ่งเป็น 4 ระยะ โดยระยะที่ 1 (S1) ใบสีแดงจนถึงสีน้ำตาลอ่อน อายุ 9-14 วัน ระยะที่ 2 (S2) ใบสีเขียวแกมเหลือง อายุ 15-20 วัน ระยะที่ 3 (S3) ใบสีเขียวอ่อน อายุ 21-27 วัน และระยะที่ 4 (S4) ใบมีอายุ 28-34 วัน ใบสีเขียวเข้ม

ค่าเฉลี่ยที่กำกับด้วยตัวอักษรพิมพ์ใหญ่และพิมพ์เล็กต่างกันในแต่ละแถวและสดมภ์มีความแตกต่างทางสถิติอย่างมีนัยสำคัญ จากการเปรียบเทียบโดยวิธี DMRT ที่ระดับ P≤0.01

** มีความแตกต่างทางสถิติอย่างมีนัยสำคัญยิ่งที่ระดับ P≤0.01

จากผลการศึกษาปริมาณแคทีชินภายในใบโกโก้ที่เก็บเกี่ยวในฤดูกาลที่แตกต่างกันแต่ละช่วงพัฒนาการ พบว่า ปริมาณแคทีชินเฉลี่ยในใบโกโก้ที่เก็บเกี่ยวในฤดูกาลเก็บเกี่ยวต่างกันมีความแตกต่างทางสถิติอย่างมีนัยสำคัญยิ่ง โดยใบโกโก้ที่เก็บเกี่ยวในช่วงฤดูฝนมีปริมาณแคทีชินเฉลี่ย เท่ากับ 41.51 มิลลิกรัมต่อกรัมของสารสกัดแห้ง ซึ่งมีปริมาณมากที่สุดเมื่อเปรียบเทียบกับใบที่เก็บเกี่ยวในช่วงฤดูแล้ง ที่มีปริมาณแคทีชินเฉลี่ย เท่ากับ 34.67 มิลลิกรัมต่อกรัมของสารสกัดแห้ง เช่นเดียวกับช่วงระยะพัฒนาการของใบโกโก้ในแต่ละช่วงมีความแตกต่างกันทางสถิติอย่างมีนัยสำคัญยิ่ง โดยใบช่วงระยะที่ 1 มีปริมาณแคทีชินเฉลี่ยมากที่สุด เท่ากับ 52.75 มิลลิกรัมต่อกรัมของสารสกัดแห้ง ซึ่งมีปริมาณมากที่สุดเมื่อเปรียบเทียบกับใบระยะอื่นๆ เช่นเดียวกับปฏิสัมพันธ์ระหว่างฤดูกาลเก็บเกี่ยวกับช่วงระยะพัฒนาการของใบโกโก้มีปริมาณแคทีชินเฉลี่ยแตกต่างทางสถิติอย่างมีนัยสำคัญยิ่ง โดยใบโกโก้ช่วงระยะที่ 1 จากการเก็บเกี่ยวในช่วงฤดูฝน มีปริมาณแคทีชิน 62.39 มิลลิกรัมต่อกรัมของสารสกัดแห้ง ซึ่งมีปริมาณมากที่สุดและมีความแตกต่างกันทางสถิติอย่างมีนัยสำคัญยิ่งเมื่อเทียบกับชุดการทดลองอื่น และใบโกโก้ช่วงระยะที่ 4 จากการเก็บเกี่ยวในช่วงฤดูแล้ง มีปริมาณแคทีชิน 21.20 มิลลิกรัมต่อกรัมของสารสกัดแห้ง ซึ่งมีปริมาณน้อยที่สุดเมื่อเทียบกับชุดการทดลองอื่น (ตารางที่ 16)

การวิเคราะห์หาปริมาณแคทีชินในใบโกโก้ที่เก็บเกี่ยวในฤดูแล้งและฤดูฝนแต่ละช่วงระยะพัฒนาการของใบพบว่า ปริมาณแคทีชินเฉลี่ยในใบโกโก้ลูกผสมชุมพร 1 จากการเก็บเกี่ยวในฤดูกาลเก็บเกี่ยวที่ต่างกันมีความแตกต่างทางสถิติอย่างมีนัยสำคัญยิ่ง โดยการเก็บเกี่ยวใบโกโก้ในฤดูฝนในระยะที่ 1 มีปริมาณแคทีชิน 62.39 มิลลิกรัมต่อกรัมของสารสกัดแห้ง แตกต่างกันทางสถิติอย่างมีนัยสำคัญยิ่งกับใบระยะ 4 ที่มีปริมาณแคทีชินน้อยที่สุดเท่ากับ 22.04 มิลลิกรัมต่อกรัมของสารสกัดแห้ง โดยเพิ่มขึ้น 1.94 เท่าเมื่อเปรียบเทียบกับใบอ่อนที่เก็บเกี่ยวในช่วงฤดูฝน ในขณะที่ปฏิสัมพันธ์ระหว่างฤดูกาลเก็บเกี่ยวกับช่วงระยะพัฒนาการของใบโกโก้มีปริมาณสารแคทีชินเฉลี่ยแตกต่างทางสถิติอย่างมีนัยสำคัญยิ่ง (ตารางที่ 16)

ตารางที่ 16 ปริมาณสารแคทีชินภายในใบโกโก้ตามช่วงระยะพัฒนาการของใบ

Season	Gallic acid content (mg gallic acid equivalent/ g extract)				Mean [1]
	Stage 1 (S1)	Stage 2 (S2)	Stage 3 (S3)	Stage 4 (S4)	
Rainy season	62.39±0.70a	45.85±0.83b	35.79±0.55e	22.04±1.91g	41.51A
Dry season	43.11±0.35c	41.21±0.25d	33.18±0.09f	21.20±0.35g	34.67B
Mean [2]	52.75A	43.53B	34.48C	21.62D	
A	**				
B	**				
A×B	**				
C.V. (%)	1.57				

[1] ค่าเฉลี่ยของฤดูกาลในการเก็บเกี่ยวใบโกโก้

[2] ค่าเฉลี่ยของระยะพัฒนาการของใบโกโก้ แบ่งเป็น 4 ระยะ โดยระยะที่ 1 (S1) ใบสีแดงจนถึงสีน้ำตาลอ่อน อายุ 9-14 วัน ระยะที่ 2 (S2) ใบสีเขียวแกมเหลือง อายุ 15-20 วัน ระยะที่ 3 (S3) ใบสีเขียวอ่อน อายุ 21-27 วัน และระยะที่ 4 (S4) ใบมีอายุ 28-34 วัน ใบสีเขียวเข้ม

ค่าเฉลี่ยที่กำกับด้วยตัวอักษรพิมพ์ใหญ่และพิมพ์เล็กต่างกันในแต่ละแถวและสดมภ์มีความแตกต่างทางสถิติอย่างมีนัยสำคัญ จากการเปรียบเทียบโดยวิธี DMRT ที่ระดับ P≤0.01

** มีความแตกต่างทางสถิติอย่างมีนัยสำคัญยิ่งที่ระดับ P≤0.01

จากผลการศึกษาปริมาณแอนโทไซยานินภายในใบโกโก้ที่เก็บเกี่ยวในฤดูกาลที่แตกต่างกันแต่ละช่วงพัฒนาการ พบว่า ปริมาณแคทีชินเฉลี่ยในใบโกโก้ที่เก็บเกี่ยวในฤดูกาลเก็บเกี่ยวต่างกันมีความแตกต่างทางสถิติอย่างมีนัยสำคัญยิ่ง โดยใบโกโก้ที่เก็บเกี่ยวในช่วงฤดูฝนมีปริมาณแอนโทไซยานินเฉลี่ยเท่ากับ 9.19 มิลลิกรัมต่อกรัมของสารสกัดสด ซึ่งมีปริมาณมากที่สุดเมื่อเปรียบเทียบกับใบที่เก็บเกี่ยวในช่วงฤดูแล้ง ที่มีปริมาณแอนโทไซยานินเฉลี่ย เท่ากับ 4.41 มิลลิกรัมต่อกรัมของสารสกัดสด เช่นเดียวกับช่วงระยะพัฒนาการของใบโกโก้ในแต่ละช่วงมีความแตกต่างกันทางสถิติอย่างมีนัยสำคัญยิ่ง โดยใบช่วงระยะที่ 1 มีปริมาณแอนโทไซยานินเฉลี่ยมากที่สุด เท่ากับ 19.82 มิลลิกรัมต่อกรัมของสารสกัดสด ซึ่งมีปริมาณมากที่สุดเมื่อเปรียบเทียบกับใบระยะอื่นๆ เช่นเดียวกับปฏิสัมพันธ์ระหว่างฤดูกาลเก็บเกี่ยวกับช่วงระยะพัฒนาการของใบโกโก้มีปริมาณแอนโทไซยานินเฉลี่ยแตกต่างทางสถิติอย่างมีนัยสำคัญยิ่ง โดยใบโกโก้ช่วงระยะที่ 1 จากการเก็บเกี่ยวในช่วงฤดูฝน มีปริมาณแอนโทไซยานิน 21.99 มิลลิกรัมต่อกรัมของสารสกัดสด ซึ่งมีปริมาณมากที่สุดและมีความแตกต่างกันทางสถิติอย่างมีนัยสำคัญยิ่งเมื่อเทียบกับชุดการทดลองอื่น (ตารางที่ 17)

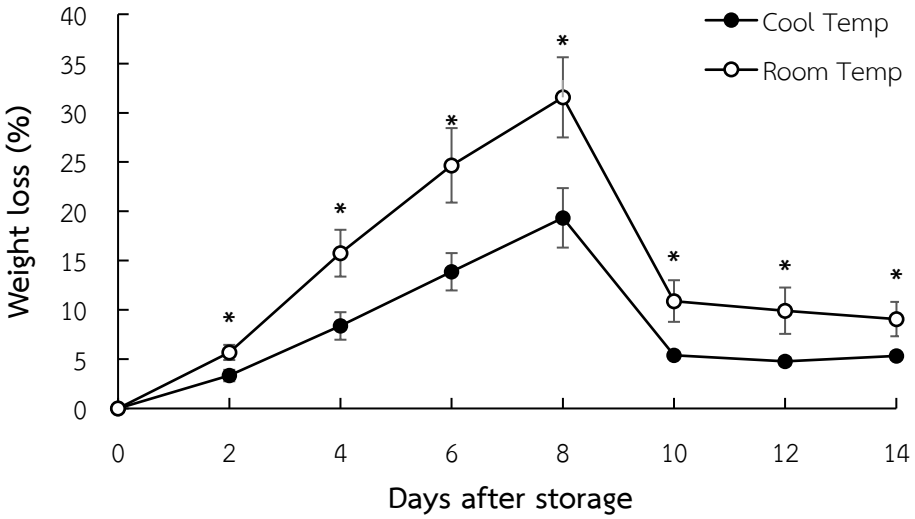
การวิเคราะห์หาปริมาณแอนโทไซยานินในใบโกโก้ที่เก็บเกี่ยวในฤดูแล้งและฤดูฝนแต่ละช่วงระยะพัฒนาการของใบพบว่า ปริมาณแอนโทไซยานินเฉลี่ยในใบโกโก้ลูกผสมชุมพร 1 จากการเก็บเกี่ยวในฤดูกาลเก็บเกี่ยวที่ต่างกันมีความแตกต่างทางสถิติอย่างมีนัยสำคัญยิ่ง โดยการเก็บเกี่ยวใบโกโก้ในฤดูฝนในระยะที่ 1 มีปริมาณแอนโทไซยานิน 21.99 มิลลิกรัมต่อกรัมของสารสกัดสด ในขณะที่ปฏิสัมพันธ์ระหว่างฤดูกาลเก็บเกี่ยวกับช่วงระยะพัฒนาการของใบโกโก้มีปริมาณสารแอนโทไซยานินเฉลี่ยแตกต่างทางสถิติอย่างมีนัยสำคัญยิ่ง (ตารางที่ 17)

การทดลองที่ 4 ผลของอุณหภูมิและอายุการเก็บรักษาต่อการเปลี่ยนแปลงลักษณะทางสรีรวิทยาและคุณภาพของผลโกโก้

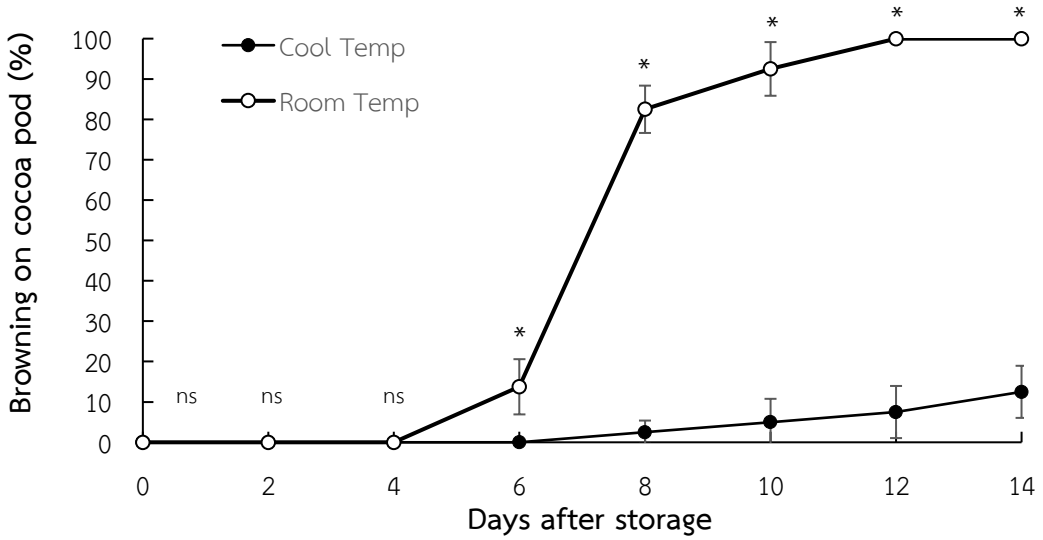
4.1 ผลของอุณหภูมิการเก็บรักษาต่อลักษณะทางกายภาพของผลโกโก้

4.1.1 การสูญเสียน้ำหนัก

ผลโกโก้ที่เก็บรักษาที่อุณหภูมิต่ำ (15°C) และอุณหภูมิห้อง (29°C) พบว่า ในระหว่างการเก็บรักษาการสูญเสียน้ำหนักสดของผลโกโก้เพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่อง โดยการเก็บรักษาผลโกโก้ที่อุณหภูมิห้องมีอัตราการสูญเสียน้ำหนักสดเพิ่มสูงขึ้นมากกว่าการเก็บรักษาผลโกโก้ที่อุณหภูมิต่ำประมาณ 2 เท่า การเก็บรักษาผลโกโก้ที่อุณหภูมิต่ำสามารถยืดอายุการเก็บรักษาผลโกโก้ได้นาน 14 วัน ขณะที่การเก็บรักษาที่อุณหภูมิห้องสามารถเก็บรักษาได้เป็นเวลา 8 วัน (ภาพที่ 15)



ภาพที่ 15 เปอร์เซ็นต์การสูญเสียน้ำหนักของผลโกโก้ในระหว่างการเก็บรักษาที่อุณหภูมิต่ำ (15 °C) และอุณหภูมิห้อง (29 °C)

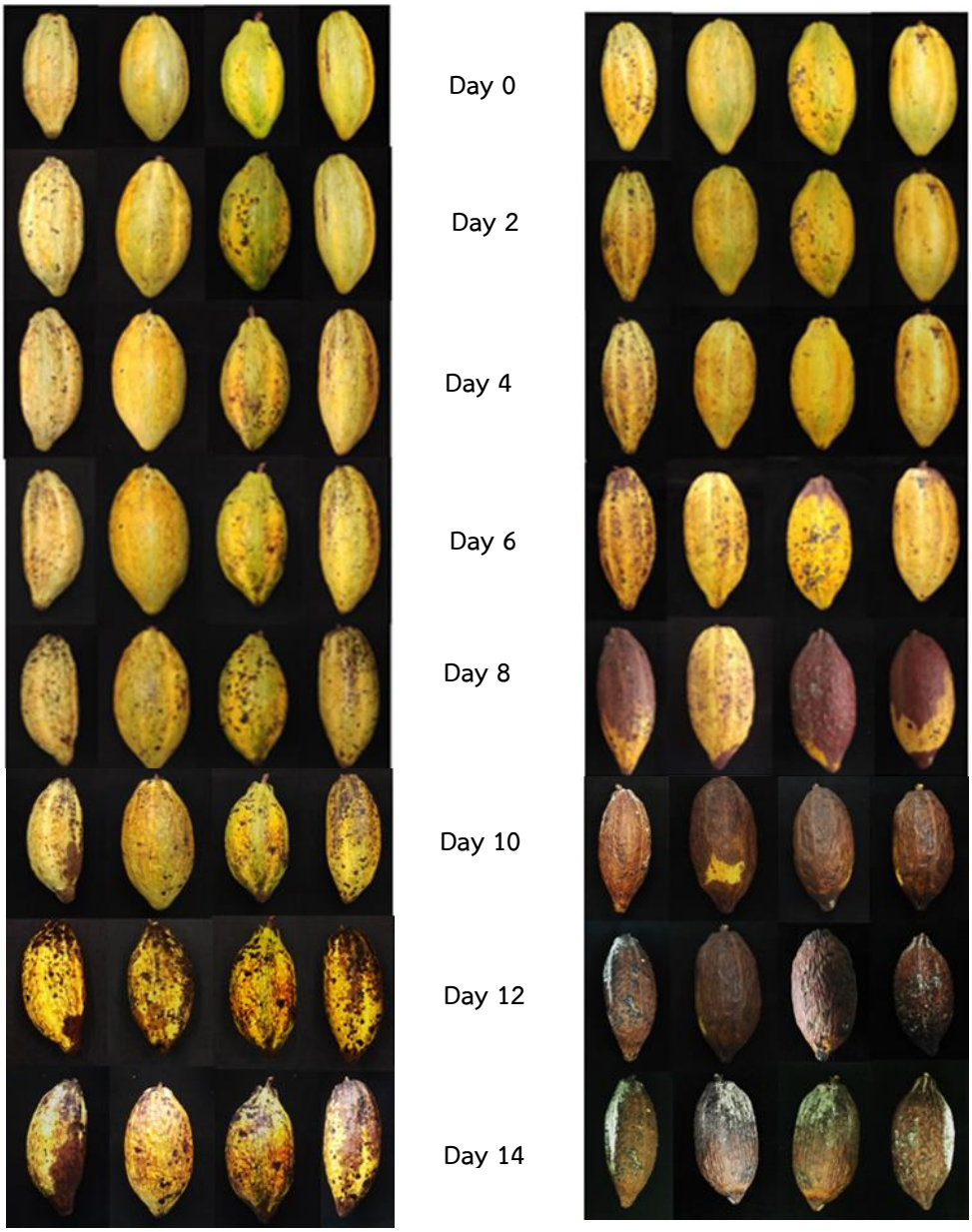


ภาพที่ 16 เปอร์เซ็นต์การเกิดสีน้ำตาลของผลโกโก้ในระหว่างการเก็บรักษาที่อุณหภูมิต่ำ (15 °C) และอุณหภูมิห้อง (29 °C)

4.2 ประเมินการเปลี่ยนแปลงของค่าสีเปลือก

ระดับการเกิดสีน้ำตาลบนผิวเปลือก

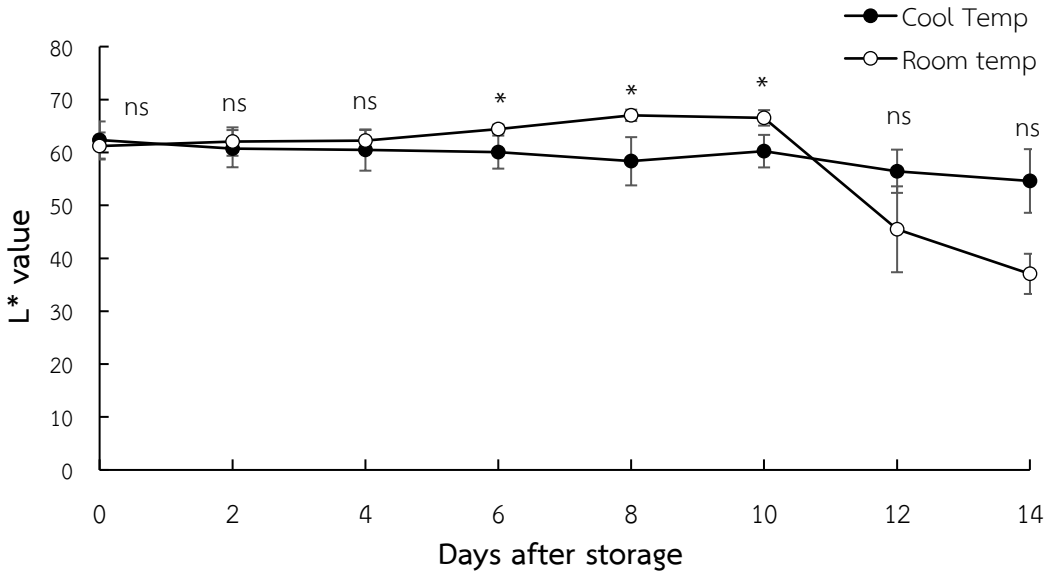
ภายหลังการเก็บรักษาที่อุณหภูมิต่างกัน พบว่า เกิดการเปลี่ยนแปลงสีของผลโกโก้เป็นสีน้ำตาลเพิ่มขึ้นเล็กน้อยกเมื่อเก็บรักษาที่อุณหภูมิต่ำ (15 °C) เป็นเวลา 8 วัน ขณะที่การเก็บรักษาที่อุณหภูมิห้อง (29 °C) การเกิดสีน้ำตาลมากกว่า 50 เปอร์เซ็นต์ (ภาพที่ 16 และ 17)



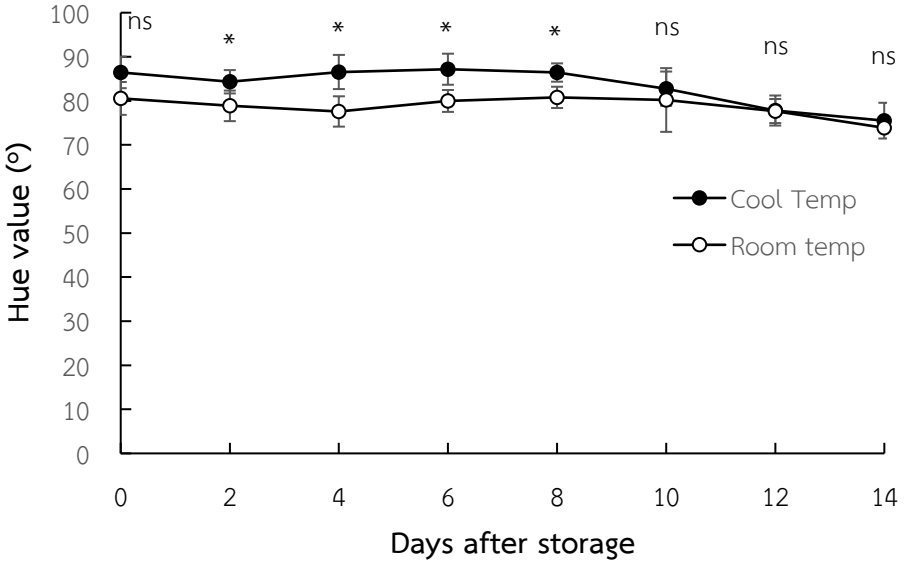
ภาพที่ 17 การเปลี่ยนแปลงของสีผลโกโก้ในระหว่างการเก็บรักษาที่อุณหภูมิต่ำ (15 °C) และอุณหภูมิห้อง (29 °C)

ค่าความสว่างของสีเปลือก (L*)

ภายหลังการเก็บรักษาที่อุณหภูมิต่างกัน พบว่า ค่าความสว่างของสีเปลือก (L*) และค่าสีเปลือก (Hue°) มีค่าลดลงเมื่อระยะพัฒนาการของสีเพิ่มขึ้น โดยค่าความสว่าง (L*) ของสีเปลือกโกโก้มีค่าสูงกว่าอย่างมีนัยสำคัญ เมื่อเก็บรักษาที่อุณหภูมิต่ำ (15 ℃) เป็นเวลา 4 6 และ 8 วัน ตามลำดับ (ภาพที่ 18) เช่นเดียวกับค่า Hue° ของเปลือกผลโกโก้มีค่าต่ำอย่างมีนัยสำคัญกเมื่อเก็บรักษาที่อุณหภูมิต่ำเป็นระยะเวลา 4 6 และ 8 วัน ตามลำดับ (ภาพที่ 19) ซึ่งค่า Hue° ที่วัดได้มีค่าอยู่ในช่วงสีเขียวอมเหลือง



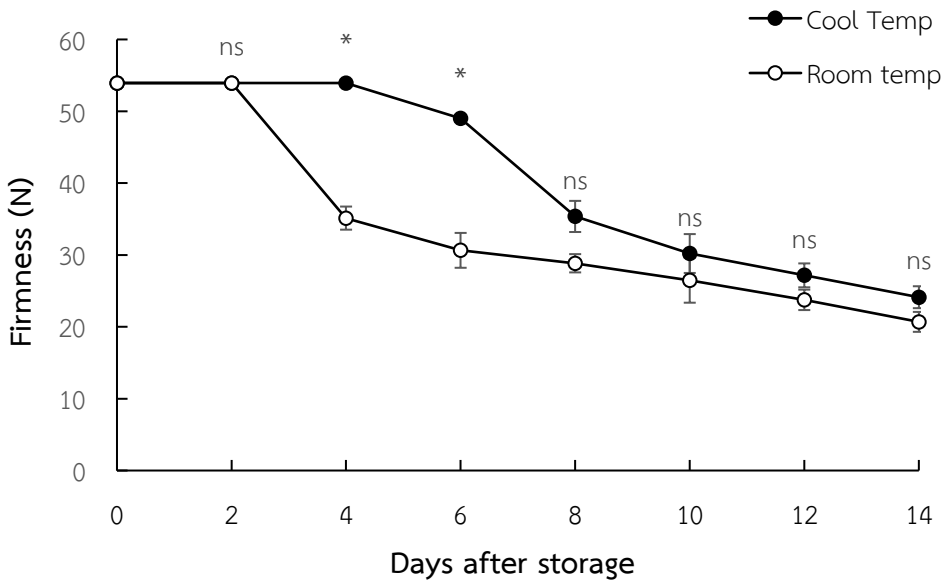
ภาพที่ 18 ค่าความสว่าง (L*) ของเปลือกผลโกโก้ในระหว่างการเก็บรักษาที่อุณหภูมิต่ำ (15 ℃) และอุณหภูมิห้อง (29 ℃)



ภาพที่ 19 ค่ามุมสี (Hue°) ของเปลือกผลโกโก้ในระหว่างการเก็บรักษาที่อุณหภูมิต่ำ (15 °C) และอุณหภูมิห้อง (29 °C)

4.3 ความแน่นเนื้อ

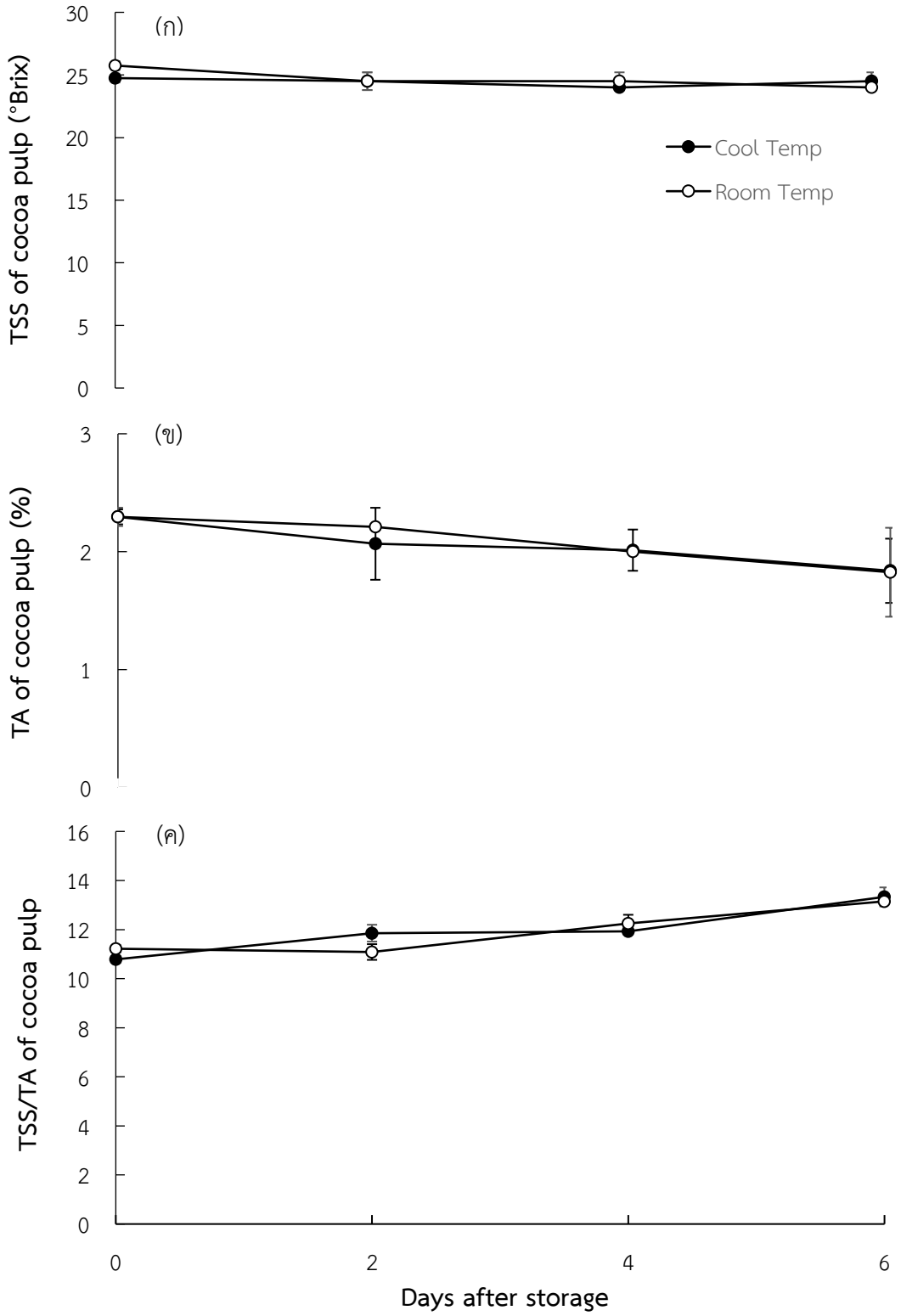
ค่าความแน่นเนื้อของผลโกโก้ที่เก็บรักษาทั้ง 2 อุณหภูมิมีค่าลดลงต่อเนื่องตลอดระยะเวลาการเก็บรักษา โดยการเก็บรักษาที่อุณหภูมิต่ำสามารถชะลอการเปลี่ยนแปลงความแน่นเนื้อของผลโกโก้ได้ดีกว่าการเก็บรักษาที่อุณหภูมิห้องโดยการเก็บรักษาที่อุณหภูมิต่ำมีค่าลดลงจาก 49.04 นิวตัน เป็น 35.51 นิวตัน ในขณะที่ การเก็บรักษาที่อุณหภูมิห้องมีค่าลดลงจาก 30.65 นิวตัน เป็น 28.85 นิวตัน ในระหว่างการเก็บรักษาวันที่ 6 ถึง 8 (ภาพที่ 20)



ภาพที่ 20 ความแน่นเนื้อของผลโกโก้ในระหว่างการเก็บรักษาที่อุณหภูมิต่ำ (15 ℃) และอุณหภูมิห้อง (29 ℃)

5. ผลของอุณหภูมิการเก็บรักษาต่อคุณภาพของผลโกโก้

ค่าปริมาณกรดที่ไทเทรตได้ของเยื่อหุ้มเมล็ดโกโก้ (TA) ค่าปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำได้ (TSS) และสัดส่วน TSS/TA การเก็บรักษาที่อุณหภูมิต่างกันให้ผลไม่แตกต่างกันทางสถิติ โดยมีค่าอยู่ในช่วง 1.83 – 2.29 % 24.00–26.00 °Bx และ 10.78 –13.33 ตามลำดับ (ภาพที่ 21)



ภาพที่ 21 ปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำได้ (ก) ปริมาณกรดที่ไทเทรตได้ (ข) และสัดส่วนของปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำได้ต่อ ปริมาณกรดที่ไทเทรตได้ (TSS/TA) (ค) ของเยื่อหุ้มเมล็ดโกโก้ในระหว่างการเก็บรักษาอุณหภูมิต่ำ (15 ℃) และอุณหภูมิห้อง (29 ℃)

บทที่ 4

วิจารณ์

1. ผลของฤดูกาลต่อคุณภาพผลและเมล็ดโกโก้

Abdulai และคณะ (2018) รายงานระดับผลผลิตโกโก้ในพื้นที่ปลูกประเทศกานา พบว่า ระดับผลผลิตโกโก้แปรผันไปตามสภาพอากาศในแต่ละฤดูกาล โดยพื้นที่แห้งแล้ง (ปริมาณน้ำฝนรายปี 700±1,200 มิลลิเมตร) พื้นที่ที่มีปริมาณน้ำฝนในระดับปานกลาง (1,250±1,750 มิลลิเมตร) และฝนตกตลอดปี (1,400±2,000 มิลลิเมตร) มีปริมาณผลผลิตฝักสดโกโก้เฉลี่ย 288, 712 และ 849 กิโลกรัมต่อเฮกตาร์ต่อปี ตามลำดับ การเปลี่ยนแปลงคุณสมบัติต่างๆ ในเมล็ดโกโก้เกิดขึ้นได้หลายปัจจัย ซึ่งอาจส่งผลทำให้คุณภาพของเมล็ดโกโก้ไม่เป็นที่ยอมรับของผู้บริโภค ซึ่งปัจจัยหลักที่ทำให้คุณภาพของเมล็ดโกโก้เปลี่ยนไปแบ่งเป็น 2 ระยะ ได้แก่ ระยะเวลาในช่วงก่อนการเก็บเกี่ยวหรือในช่วงของการเพาะปลูก (Pre-harvest period) และระยะเวลาในช่วงการเก็บเกี่ยวและหลังการเก็บเกี่ยวผลผลิต (Harvesting and post-harvest) ความแตกต่างของคุณภาพอาจเป็นผลมาจากองค์ประกอบทางพันธุกรรมของโกโก้ สภาพการเจริญเติบโต เช่น สภาพอากาศ ปริมาณและระยะเวลาการได้รับแสงแดด ปริมาณน้ำฝน สภาพดิน ช่วงเวลาการเก็บเกี่ยว ระยะพัฒนาการความสุก และการหมักเมล็ดโกโก้ล้วนส่งผลต่อการสร้างรสชาติขั้นสุดท้ายที่แตกต่างกันไป (Kongor *et al.,* 2016) โดยปัจจัยที่มีอิทธิพลต่อผลผลิตฝักต่อต้น ได้แก่ ความสัมพันธ์ระหว่างแหล่งสร้างและแหล่งสะสม (Source/Sink relationship) การแก่งแย่งแข่งขันของแสงแดด น้ำ และธาตุอาหาร ระหว่างพืช อายุและความอุดมสมบูรณ์ของพืช การจัดการโรคและศัตรูพืช ปัจจัยของพันธุกรรม สิ่งแวดล้อม Phytoteahnical รวมถึงปัจจัยรบกวนอื่นๆ ที่ส่งผลต่อการเจริญเติบโตของโกโก้ (Almeida and Valle, 2008 อ้างโดย Araujo *et al.,* 2017b)

1.1 ปัจจัยของสภาพภูมิอากาศต่อระยะพัฒนาของผล

การพัฒนาของฝักโกโก้โดยทั่วไปใช้ระยะเวลา 5 ถึง 6 เดือน (Niemenak *et al.,* 2010) ในช่วงแรกการพัฒนาของฝักจะเกิดขึ้นอย่างช้าๆ โดยการขยายขนาดฝักเกิดขึ้นอย่างรวดเร็วในช่วง 8 ถึง 18 สัปดาห์แรกหลังการผสมเกสร (Lahive *et al*., 2019) นอกจากนี้การขยายเซลล์ของผลิตผลได้รับอิทธิพลจากปัจจัยภายนอก ได้แก่ สภาพแวดล้อมในแหล่งปลูก โดยเฉพาะปัจจัยด้านชลประทานเนื่องจากแรงดันเต่งซึ่งจำเป็นสำหรับการขยายตัวของเซลล์ การสร้างอาหารที่ลดลงระหว่างการขาดน้ำอาจจำกัดการขนส่งน้ำตาลและการสะสมไขมันในเมล็ดที่กำลังพัฒนา ซึ่งอาจอธิบายเกี่ยวกับน้ำหนักของเมล็ดที่ลดลงจากสาเหตุการขาดน้ำ (Handley, 2016) รวมถึงการ

เปลี่ยนแปลงของสภาพอากาศภายในแปลงปลูกมีผลต่อการพัฒนาของฝัก โดยการเปลี่ยนแปลงของเนื้อในระหว่างการสุกของฝักที่พัฒนาเต็มที่ไม่แตกต่างกัน ภายหลังการเก็บเกี่ยวเปอร์เซ็นต์ของสัดส่วนน้ำในเยื่อหุ้มเมล็ดต่อเมล็ดลดลงอย่างมีนัยสำคัญ (40-50%) เนื่องจากระเหยของน้ำและกระบวนการสลายสารอาหารหรือปฏิกิริยาไฮโดรไลซิสของซูโครสเปลี่ยนเป็นกลูโคส ซึ่งมีผลต่อปริมาณเยื่อหุ้มเมล็ดต่อเมล็ดและการเพิ่มขึ้นของสัดส่วนพื้นที่ผิวต่อปริมาณเยื่อหุ้มเมล็ด นอกจากนั้นยังมีผลต่อการลดการสร้างกรดในระหว่างการหมัก เนื่องจากพื้นที่ผิวที่มากขึ้นส่งผลให้เยื่อหุ้มเมล็ดสัมผัสอากาศมากขึ้นส่งผลให้ปฏิกิริยาในกระบวนการหมักเกิดขึ้นอย่างรวดเร็ว (Bae *et al.,* 2008; Daymond and Hadley, 2008) การพัฒนาฝักได้รับผลกระทบจากสภาวะอุณหภูมิ โดยฝักโกโก้มีการสุกแก่ที่เร็วขึ้นเมื่ออุณหภูมิในแปลงปลูกสูงขึ้น (Daymon and Hadley, 2008) นอกจากนั้นอุณหภูมิที่สูงขึ้นในแปลงปลูกยังส่งผลต่อการสูญเสียฝักอ่อน (Cherelle) (Daymond and Hadley, 2008)

1.2 คุณภาพผลผลิต

จากการศึกษาคุณสมบัติทางกายภาพของโกโก้จาก 2 ฤดูกาลเก็บเกี่ยว พบว่า ฝักโกโก้ที่มีน้ำหนักสดฝัก น้ำหนักสดเมล็ด/ฝัก น้ำหนักสดเฉลี่ยต่อเมล็ด และน้ำหนักแห้งเฉลี่ยต่อเมล็ดมากที่สุด คือ ฝักโกโก้ที่เก็บเกี่ยวในช่วงฤดูฝน (Rainy season) แตกต่างทางสถิติกับการเก็บเกี่ยวในช่วงฤดูแล้ง เช่นเดียวกับค่าความกว้าง และความยาวของฝักมีค่ามากที่สุดเมื่อเก็บเกี่ยวในช่วงฤดูฝน แต่ไม่แตกต่างทางสถิติกับการเก็บเกี่ยวในช่วงฤดูแล้ง แสดงให้เห็นว่าสภาพภูมิอากาศส่งผลต่อผลผลิตโกโก้ที่ส่วนใหญ่อาศัยน้ำฝนตามฤดูกาล (Wood, 1985a) เช่นเดียวกัน แปลงโกโก้ที่ได้รับปริมาณน้ำฝนน้อยกว่า 1,200 มิลลิลิตรต่อปี ส่งผลให้เกิดการขาดน้ำในดินและส่งผลต่อการเจริญเติบโต รวมถึงส่งผลให้ผลผลิตโกโก้ลดลง (Lahive *et al*., 2019) นอกจากนี้ ยังส่งผลต่อระยะพัฒนาความสุกที่อาจส่งผลต่อลักษณะคุณภาพของเมล็ดโกโก้ เช่น องค์ประกอบทางเคมีภายในเมล็ด ปริมาณไขมันในเมล็ด (Daymond and Hadley, 2008) ดังนั้น ปริมาณน้ำฝนจึงมีความสัมพันธ์เชิงบวกกับน้ำหนักเมล็ดโกโก้ในช่วง 4 เดือนแรกหลังการผสมเกสรของการพัฒนาฝักจนกระทั่ง 5-6 เดือน (Niemenak *et al*., 2010) นอกจากนี้ การเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิในแปลงปลูกส่งผลต่อระยะเวลาการเจริญเติบโตของฝัก โดยฝักโกโก้จะสุกเร็วขึ้นเมื่ออุณหภูมิในแปลงสูงขึ้น (Daymond and Hadley, 2008) โดยสัมประสิทธ์สหสัมพันธ์ของน้ำหนักสดกับน้ำหนักแห้งของเมล็ดโกโก้ น้ำหนักสดทั้งฝักกับน้ำหนักสดของเมล็ดโกโก้ น้ำหนักสดฝักกับขนาดกว้าง x ยาวฝัก และน้ำหนักสดฝักกับขนาดความกว้างฝัก มีความสัมพันธ์ในเชิงบวก นอกจากปัจจัยดังกล่าวยังพบว่า ดินและระบบปลูกพืชที่แตกต่างกันมีผลต่อคุณลักษณะของฝักและเมล็ดโกโก้ เช่น ค่าน้ำหนักแห้งของเมล็ด และจำนวนเมล็ดโกโก้ต่อฝัก (Loureio *et al.,* 2016) สอดคล้องกับ อิทธิพลของปัจจัยชุดดินและระบบปลูกที่ต่างกัน ทำให้มีน้ำหนักผลผลิตต่างกันได้ (Araujo *et al.,* 2017b)

1.3 ปริมาณไขมันในเมล็ดโกโก้

เมล็ดโกโก้คุณภาพที่ดีมีความสำคัญต่อการทำให้ช็อกโกแลตมีคุณภาพดีขึ้น ต้นโกโก้ (*Theobroma cacao* L.) ให้วัตถุดิบที่จำเป็นสำหรับการผลิตช็อกโกแลตที่มีกรดไขมัน (FA) ที่มีลักษณะเป็นเอกลักษณ์ (Sukha *et al*., 2017) เมล็ดโกโก้ประกอบด้วยไขมันมากกว่า 45 ถึง 55 เปอร์เซ็นต์ กรดไขมันมีผลต่อเนื้อสัมผัสของช็อกโกแลตนำไปสู่ลักษณะเฉพาะตัวของช็อกโกแลต (Mustiga *et al*., 2019) อย่างไรก็ตาม พบว่า เปอร์เซ็นต์ไขมันในเมล็ดโกโก้ทั้งสองฤดูกาลเก็บเกี่ยวไม่แตกต่างกันทางสถิติ โดย Servent และคณะ (2018) รายงานว่า กระบวนการหมักไม่มีผลต่อคุณสมบัติทางเคมีและคุณภาพโดยรวมของ Cocoa butter แต่ความแปรปรวนของปริมาณไขมันในเมล็ดและองค์ประกอบของกรดไขมันในเมล็ดโกโก้อาจขึ้นอยู่กับความแตกต่างระหว่างพันธุกรรมหรือสายพันธุ์เป็นหลัก (Vazquez-Ovando *et al.,* 2015) Torres-Moreno และคณะ (2014) รายงานว่า คุณภาพของกรดไขมันในเมล็ดโกโก้เปลี่ยนแปลงไปตามแหล่งกำเนิดทางภูมิศาสตร์และเงื่อนไขการแปรรูปที่แตกต่างกัน สอดคล้องกับ Mustiga และคณะ (2019) รายงานว่า ปริมาณไขมันทั้งหมดในเมล็ดโกโก้มีความสัมพันธ์ต่ำกับอุณหภูมิที่เพิ่มขึ้นในช่วงระยะพัฒนาการความสุก แต่อาจส่งผลต่อองค์ประกอบของกรดไขมันบางชนิดได้ เช่น การเพิ่มขึ้นของกรดปาล์มิติก การลดลงของกรดสเตียริก กรดโอเลอิก และกรดลิโนเลอิก เช่นเดียวกับที่ Servent และคณะ (2018) รายงานว่า องค์ประกอบของกรดไขมัน ในขณะที่เมล็ดโกโก้จากปัจจัยของแหล่งปลูกโกโก้ที่แตกต่างกันมีผลต่อปริมาณกรด Palmitic, Stearic, Oleic และ linoleic ในเมล็ดโกโก้

1.4 ลักษณะทางกายภาพของเมล็ดโกโก้ ค่าสีและการหมักสมบูรณ์ของเมล็ด ความผิดปกติของเมล็ด ดัชนีการหมักเมล็ดโกโก้

การทดสอบคุณภาพขนาดของเมล็ดโกโก้ พบว่า ฤดูกาลเก็บเกี่ยวมีผลต่อน้ำหนักเมล็ดโกโก้ โดยเมล็ดโกโก้ที่เก็บเกี่ยวในช่วงฤดูฝนมีจำนวนเมล็ดต่อน้ำหนัก 100 กรัม น้อยกว่าเมล็ดโกโก้ที่เก็บเกี่ยวในช่วงฤดูแล้ง เมล็ดโกโก้จากการเก็บเกี่ยวช่วงฤดูฝนจึงจัดอยู่เมล็ดโกโก้ที่มีขนาดใหญ่ (L) ตามเกณฑ์มาตรฐาน (FCCI) นอกจากนี้ปัจจัยของแหล่งปลูกซึ่งมีผลต่อน้ำหนักเมล็ดโกโก้ โดยเมล็ดโกโก้จากแหล่งปลูกจังหวัดนครศรีธรรมราชมีจำนวนเมล็ดต่อน้ำหนัก 100 กรัม น้อยกว่าเมล็ดโกโก้จากแหล่งปลูกจังหวัดสงขลา โดยเมล็ดโกโก้จากแหล่งปลูกจังหวัดนครศรีธรรมราช ในช่วงฤดูฝน (Nk-R) มีจำนวนเมล็ดต่อน้ำหนัก 100 กรัม น้อยที่สุดเมื่อเปรียบเทียบกับชุดการทดลองอื่น อย่างไรก็ตามจำนวนผลและน้ำหนักเมล็ดอาจแปรผันได้จากปัจจัยความสมบูรณ์ของต้น ความสมบูรณ์ในการผสมเกสร (Doare *et al*., 2020) จึงทำให้เมล็ดโกโก้ที่มีขนาดใหญ่และสม่ำเสมอเป็นที่ต้องการของตลาดอุตสาหกรรมเนื่องจากส่งผลดีต่อการแปรรูปเป็นช็อกโกแลต (Lahive *et al*., 2019)

จากความสัมพันธ์ระหว่างดัชนีการหมักกับค่าความเป็นสีเหลือง (b*) ของเมล็ดที่วัดจากเครื่องวัดสี (Chroma meter) ดังสมการ $y = 10.15x - 1.6497$ ($r^2 = 0.7051^{**}$) มีความแตกต่างทางสถิติอย่างมีนัยสำคัญ แสดงว่า การวัดค่าสีด้วยเครื่องวัดสีสามารถใช้ประเมินการหมักและสังเกตด้วยสายตาได้ (ภาพที่ 8) โดยค่าความเป็นสีเหลือง (b*) จะเพิ่มขึ้นเมื่อค่าดัชนีการหมักเพิ่มขึ้น

เนื่องจากการออกซิไดซ์โพลีฟีนอลในระหว่างกระบวนการหมัก ในขณะที่ค่าความสว่างที่เพิ่มขึ้นเนื่องจากการสลายตัวของแอนโทไซยานินในระหว่างปฏิกิริยาการหมักโดยอาศัยเอนไซม์ (Enzyme hydrolysis) (Afoakwa *et al.,* 2014) เช่นเดียวกันกับงานทดลองของ Hartuti และคณะ (2019) รายงานว่า เมล็ดโกโก้ที่มีค่าดัชนีการหมัก (BI) หรือระดับการหมัก (FI) เพิ่มสูงขึ้นเมื่อเทียบกับเมล็ดโกโก้ที่ไม่หมัก โดยเมล็ดโกโก้แห้งภายหลังการหมัก มีช่วงสีน้ำเงินต่ำกว่าเมล็ดโกโก้ที่ไม่ผ่านการหมัก เช่นเดียวกัน เมล็ดโกโก้ที่ผ่านการหมักสมบูรณ์ โดยมีค่าสีแดง (a*) และสีเหลือง (b*) สูงกว่าเมล็ดโกโก้ที่ไม่ผ่านการหมัก (Afoakwa *et al.,* 2014) ดังนั้น การวัดค่าสีของเมล็ดโกโก้จึงเป็นวิธีที่สามารถประเมินได้อย่างสะดวก รวดเร็ว และแม่นยำ การเปลี่ยนแปลงสีของเมล็ดโกโก้ในระหว่างการหมักอาจแปรผันได้จากพันธุกรรมพืช รวมถึงสภาพแวดล้อมในแหล่งปลูก (Sulaiman and Yang, 2015) แม้ว่าค่าสีของเมล็ดโกโก้ในแต่ละฤดูกาลเก็บเกี่ยวและแต่ละแหล่งปลูกมีแนวโน้มใกล้เคียง และไม่แตกต่างกันทางสถิติ แต่มีค่าสีแตกต่างกันทางสถิติในแต่ละระดับการหมัก เช่น เมล็ดโกโก้แบบ Fully brown ฤดูกาลเก็บเกี่ยวและแหล่งปลูกที่ต่างกัน ค่าสี b* มีค่าแตกต่างกันทางสถิติ (ตารางที่ 5) เช่นเดียวกันค่าสีของเมล็ดโกโก้แตกต่างกันในช่วงฤดูกาลเก็บเกี่ยวและแหล่งปลูกที่ต่างกันในเมล็ดโกโก้แบบ Partially brown (L* b* และ Hue°) Violet (Hue°) และ Blond (L*) จึงเห็นได้ว่า เมล็ดโกโก้แบบ Partially brown มีค่าสีหลายพารามิเตอร์ที่แตกต่างกัน อาจเป็นไปได้ว่า เมล็ดโกโก้แบบ Partially brown ประกอบด้วยลักษณะสีน้ำตาลอ่อน สีน้ำตาลเพียงบางส่วน สีม่วงเพียงบางส่วน (Fine cacao and chocolate institute, 2016) จึงทำให้ค่าสีที่ได้มีความหลากหลาย เช่นเดียวกับเมล็ดโกโก้แบบ Violet และ Blond เป็นเมล็ดโกโก้ที่มีหลายเฉดสีส่งผลให้มีค่าสีหลายพารามิเตอร์แตกต่างกันได้

ในการจำแนกความผิดปกติโดยประเมินเมล็ดโกโก้ที่ไม่สมบูรณ์หรือเมล็ดที่เกิดความเสียหายภายนอก เมล็ดผิดปกติที่พบ ได้แก่ เมล็ดงอก โดยพบมากที่สุด คือ เมล็ดโกโก้จากพื้นที่ปลูกจังหวัดสงขลา ในช่วงฤดูแล้ง (Psu-D) รองลงมา คือ เมล็ดโกโก้จากพื้นที่ปลูกจังหวัดนครศรีธรรมราชในช่วงฤดูแล้ง (Nk-D) ฤดูกาลเก็บเกี่ยวในช่วงฤดูแล้งให้ผลแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญกับการเก็บเกี่ยวในช่วงฤดูฝน โดยเฉพาะการงอกของเมล็ดที่เกิดจากปริมาณของเยื่อหุ้มเมล็ด ซึ่งโดยทั่วไปมีเยื่อหุ้มเมล็ดโกโก้ประมาณ 40% ของน้ำหนักสดของเมล็ด โดยเยื่อหุ้มเมล็ดโกโก้มีคุณสมบัติในการป้องกันการสูญเสียความชื้นมีผลช่วยลดความเครียดจากความแห้งแล้งในระหว่างการงอก และช่วยส่งเสริมการเจริญเติบโตของต้นกล้า (Adu *et al*., 2017) ในส่วนของเมล็ดรา และเมล็ดที่มีรอยตัดที่พบ ส่วนใหญ่เกิดขึ้นในช่วงหลังการเก็บเกี่ยว ขั้นตอนที่ส่งผลต่อเมล็ดผิดปกติของเมล็ดโกโก้ ได้แก่ การเก็บเกี่ยว (จุลินทรีย์จากผิวฝัก แมลง มือ เครื่องมือที่ใช้ในการกระเทาะเปลือก เป็นต้น) การเก็บรักษาฝัก การหมักเมล็ด การลดความชื้น การเก็บรักษาเมล็ดโกโก้แห้ง (Tagro *et al*., 2010)

นอกจากนี้ ฤดูกาลเก็บเกี่ยวเมล็ดโกโก้ แหล่งปลูกโกโก้ และปฏิสัมพันธ์ระหว่างฤดูกาลเก็บเกี่ยวเมล็ดโกโก้ในแต่ละแหล่งปลูกมีอิทธิพลต่อเปอร์เซ็นต์ของเมล็ดโกโก้แบบ Fully brown และ Violet แต่ไม่มีอิทธิพลต่อเมล็ดโกโก้แบบ Partially brown และ Blond ความแปรปรวนของลักษณะทางกายภาพของเมล็ดโกโก้อาจเกิดขึ้นได้จากหลายปัจจัย เช่น ลักษณะทางพันธุกรรม การเปลี่ยนแปลงสภาพอากาศ รวมถึงการปฏิบัติหลังการเก็บเกี่ยว (Caporaso *et al*., 2018) ในส่วนของสายพันธุ์ที่แตกต่างมีผลต่อ pH ความเป็นกรด และการลดลงของแทนนินและ

โพลีฟีนอลภายหลังการหมัก การลดลงของแทนนินและโพลีฟีนอลอาจส่งผลต่อดัชนีการหมักเนื่องจากมีผลต่อกระบวนการเกิดสีน้ำตาลซึ่งบ่งบอกถึงเมล็ดที่มีคุณภาพที่ดี (Schwan and Wheals, 2004) โดยโพลีฟีนอลในเมล็ดโกโก้มีคุณสมบัติต้านอนุมูลอิสระ และเป็นสารที่มีผลโดยตรงกับการพัฒนารสชาติ รวมถึงการพัฒนาสีในเมล็ดโกโก้ (Oracz *et al*., 2015; Caporaso *et al*., 2018) ปริมาณโพลีฟีนอลของเมล็ดโกโก้แตกต่างกันไปตามแหล่งกำเนิดทางภูมิศาสตร์ และกระบวนการหลังการเก็บเกี่ยว (Niemenak *et al*., 2006; Caporaso *et al*., 2018) ช่วงเวลาการเก็บเกี่ยวและหลังการเก็บเกี่ยวผลผลิต จึงมีผลโดยตรงกับดัชนีการหมักสมบูรณ์ของเมล็ดโกโก้ โดยในระหว่างการหมักเมล็ดโกโก้จะเกิดการสลายตัวของโพลีฟีนอลและแอนโทไซยานินเนื่องจากการถูกออกซิไดซ์และโพลีเมอไรซ์ไปเป็นสารประกอบที่มีน้ำหนักโมเลกุลสูง (แทนนิน) ที่มีคุณสมบัติไม่ละลาย (Afoakwa *et al*., 2008) นอกจากนั้น ในระหว่างการหมักจะลดค่า pH ส่งผลให้เป็นปัจจัยในการยับยั้งการทำงานของต้นอ่อน ซึ่งนำไปสู่ปฏิกิริยาของเอนไซม์ที่ทำให้เกิดสารตั้งต้น และเกิดการเปลี่ยนแปลงสีภายในเมล็ดโกโก้ จากสีเทาเข้ม (Slaty) ของเมล็ดโกโก้ที่ไม่ผ่านการหมักเป็นสีน้ำตาลของเมล็ดโกโก้ที่หมักเต็มที่ (Castro-Alayo *et al*., 2019) ในขณะที่เมล็ดโกโก้แบบ Blond เกิดขึ้นจากเนื่องจากลักษณะทางพันธุกรรมที่เกิดจากการกลายพันธุ์ (Sukha, 2017) แต่ปริมาณที่พบอาจแตกต่างกันไปตามแต่ละฤดูกาลเก็บเกี่ยวและแหล่งปลูกเนื่องจากปัจจัยทางด้านความสมบูรณ์ของเมล็ด ความสมบูรณ์ของต้นโกโก้ รวมถึงปัจจัยด้านสภาพแวดล้อม (Doare *et al.,* 2020)

1.5 กลิ่นรสของเมล็ดโกโก้

การวิเคราะห์กลิ่นของเมล็ดโกโก้แห้ง พบว่า การเก็บเกี่ยวในช่วงฤดูฝนกลิ่นที่พบส่วนใหญ่เป็นกลิ่นจำพวกผลไม้ และกลิ่นหมักของน้ำส้มสายชู ในขณะที่การเก็บเกี่ยวในช่วงฤดูแล้งกลิ่นที่พบส่วนใหญ่ในเมล็ดโกโก้เป็นกลิ่นจำพวกขนมหวาน น้ำผึ้ง ผลไม้ น้ำส้มสายชู ในส่วนการทดลองการวิเคราะห์กลิ่นรสของเมล็ดโกโก้กลิ่นรสที่ซับซ้อนมากขึ้นภายหลังการคั่ว พบว่า การเก็บเกี่ยวทั้งสองฤดูกาลภายหลังการคั่ว กลิ่นรสไม่แตกต่างกัน แต่พบว่าการเก็บเกี่ยวในช่วงฤดูแล้งให้กลิ่นจำพวกเนยและคาราเมลมากกว่าการเก็บเกี่ยวในช่วงฤดูฝน ในขณะที่การเก็บเกี่ยวในช่วงฤดูฝนให้กลิ่นรสจำพวกดอกไม้ และผักมากกว่าการเก็บเกี่ยวในช่วงฤดูแล้ง กลิ่นรสของเมล็ดโกโก้นั้นเป็นลักษณะที่มีความผันแปรได้ตามแหล่งปลูก ฤดูกาลเก็บเกี่ยว ทั้งปัจจัยช่วงก่อนการเก็บเกี่ยว และช่วงหลังการเก็บเกี่ยวผลโกโก้ Niether และคณะ (2017) รายงานว่าเมล็ดโกโก้มีการสะสมของสารในกลุ่มโพลีเอมีน สารฟีนอล รวมถึงธาตุอาหารในเมล็ดต่างกันเมื่อมาจากแหล่งปลูกและระบบปลูกที่แตกต่างกัน เนื่องจากสารประกอบเหล่านี้นำไปสู่การสร้างกลิ่นและรสชาติของเมล็ดโกโก้ ในขณะที่ปัจจัยของพันธุกรรมของโกโก้แต่ละชนิดมีผลต่อการสะสมของโปรตีนและคาร์โบไฮเดรตซึ่งจะมีผลต่อปริมาณและชนิดของสารตั้งต้นที่เกิดขึ้นระหว่างกระบวนการหมัก (Kongor *et al*., 2016) ส่วนในช่วงหลังการเก็บเกี่ยวปัจจัยที่มีผลต่อการพัฒนากลิ่นรสของเมล็ดโกโก้ ได้แก่ ระยะเวลาในการหมักเมล็ดโกโก้ (Afoakwa *et al*., 2008) การบ่มฝักก่อนการหมัก (Hinneh *et al*., 2018) จุลินทรีย์ที่ใช้ในการหมัก (อรพิน และคณะ, 2540) กลิ่นรสที่แตกต่างกันเกิดจากปัจจัยสภาพแวดล้อมที่แตกต่างกันในแต่ละแหล่งปลูก ได้แก่ ภูมิอากาศ ช่วงเวลาและปริมาณการได้รับแสงแดดและน้ำฝน สภาพดิน และสภาพ

ภูมิอากาศส่งผลต่อองค์ประกอบทางเคมีของโกโก้ (Kongor *et al*., 2016) โดยเฉพาะองค์ประกอบจำพวกโปรตีน โพลีแซกคาไรด์ และโพลีฟีนอล ซึ่งองค์ประกอบเหล่านี้เป็นตัวกำหนดปริมาณและชนิดของสารตั้งต้นที่เกิดระหว่างกระบวนการหมักและการทำเมล็ดแห้ง ซึ่งนำไปสู่การสร้างกลิ่นและรสชาติ การหมักและการอบเมล็ดโกโก้ทำให้เกิดการสลายโปรตีนและโพลีแซ็กคาไรด์ที่สะสมอยู่ภายในเมล็ดโดยเอนไซม์ที่เกี่ยวข้อง (Kongor *et al*., 2016) อย่างไรก็ตาม ไม่พบงานวิจัยที่เกี่ยวกับผลกระทบของดินต่อคุณภาพทางด้านกลิ่นรสของเมล็ดโกโก้ (Kongor *et al.,* 2016) นอกจากนี้ปัจจัยการหมักอาจมีผลต่อกลิ่นรสที่ไม่พึงประสงค์ได้ ยกตัวอย่างการหมักที่มากเกินไป (Over fermentation) ทำให้เมล็ดโกโก้มีความเสี่ยงในการเกิดรา และอาจเกิดกลิ่นไม่พึงประสงค์ได้ เช่น กลิ่นบูดเน่า

ซึ่งลักษณะสำคัญที่ใช้ในการประเมินอีกลักษณะ คือ การประเมินคุณภาพทางประสาทสัมผัสซึ่งมีเกณฑ์แตกต่างตามแต่ละมาตรฐาน สำหรับสถาบัน Fine Cacao and Chocolate Institute (FCCI) ซึ่งกำหนดเกณฑ์ด้านรสชาติไว้ 4 คุณลักษณะ ได้แก่ รสชาติเปรี้ยว รสชาติฝาด รสชาติขม และรสชาติโดยรวม (Fine Cacao and Chocolate Institute, 2016) ซึ่งคุณลักษณะทางด้านรสชาติจะแปรผันไปตามปัจจัยสภาพแวดล้อมในแหล่งปลูก จากการศึกษา พบว่า เมล็ดโกโก้ที่มีคะแนนรสชาติโดยรวมมากที่สุด คือ เมล็ดโกโก้จากพื้นที่จังหวัดนครศรีธรรมราช ที่เก็บเกี่ยวในช่วงฤดูฝน (Nk-R) โดยจะเห็นได้ว่ามีรสชาติที่พบมีความสมดุลกัน โดยรสชาติที่โดดเด่นที่สุดเป็นรสชาติขม รองลงมาเป็น รสชาติฝาด และเปรี้ยวเล็กน้อย โดยการหมักเป็นการสร้างสารตั้งต้นของกลิ่นหอม ลดความเปรี้ยว และความฝาดซึ่งเกิดจากการออกซิเดชันและการเกิดพอลิเมอไรเซชั่นของสารประกอบฟีนอลิก (Kongor *et al*., 2016) โพลีฟีนอลในเมล็ดโกโก้มีคุณสมบัติต้านอนุมูลอิสระ ส่งผลให้มีความสามารถในการชะลอปฏิกิริยาออกซิเดชันของไขมัน และมีผลโดยตรงต่อกลิ่นรสของเมล็ดโกโก้ โดยเฉพาะรสขมในเมล็ดโกโก้ (Oracz *et a*l., 2015 อ้างโดย Caporaso *et al*., 2018) ปริมาณโพลีฟีนอลของเมล็ดโกโก้แตกต่างกันไปตามแหล่งกำเนิดทางภูมิศาสตร์ และกระบวนการหลังการเก็บเกี่ยว (Niemenak *et al*., 2006 อ้างโดย Caporaso *et al*., 2018) ความแปรปรวนของลักษณะทางกายภาพของเมล็ดโกโก้ รวมถึงกลิ่นรสนั้นกว้างเป็นพิเศษ ซึ่งอาจเกิดจากลักษณะทางพันธุกรรมหรือการเปลี่ยนแปลงตามธรรมชาติเนื่องจากสภาพแวดล้อมของแหล่งปลูก รวมถึงการปฏิบัติหลังการเก็บเกี่ยว (Caporaso *et al*., 2018) นอกจากปัจจัยภายในเมล็ดโกโก้แล้วการจัดการหลังการเก็บเกี่ยวที่ดี การบ่มฝักโกโก้ การหมักเมล็ดโกโก้ การลดความชื้น การคั่วเมล็ด รวมถึงขั้นตอนการแปรรูปเป็นช็อกโกแลต ล้วนมีผลต่อการพัฒนากลิ่น รสชาติ และคุณภาพของช็อกโกแลตเช่นกัน (Munoz *et al*., 2020)

2. ผลของฤดูกาลการเก็บเกี่ยวต่อสรีรวิทยาของใบโกโก้

ใบมีหน้าที่ในการสังเคราะห์แสง และเป็นพื้นฐานสำคัญสำหรับการเจริญเติบโตของพืช (Kalve *et al.,* 2014) ระยะพัฒนาการมีผลต่อขนาดใบและลักษณะทางสัณฐานวิทยาของใบที่เจริญเต็มที่ (Thomas, 2017) ใบพืชทุกชนิดต้องผ่านกระบวนการพัฒนาใบ ซึ่งเริ่มต้นจากการเกิดสัณฐาน การเจริญของเซลล์ และการสร้างเนื้อเยื่อ (Thomas, 2017) ในการศึกษาครั้งนี้ศึกษาการพัฒนาการของใบโกโก้ในแต่ละระยะพัฒนาการและแต่ละฤดูกาลเก็บเกี่ยว พบว่า ใบโกโก้ในระยะที่ 4 (อายุ 29-34 วัน) และใบโกโก้ที่เก็บเกี่ยวในช่วงฤดูฝนมีน้ำหนักใบสดมากที่สุดมีความแตกต่างทางสถิติอย่างมีนัยสำคัญ (ตารางที่ 10) ขณะที่ ปฏิสัมพันธ์ระหว่างฤดูกาลเก็บเกี่ยวกับระยะพัฒนาการของใบมีน้ำหนักสดของใบแตกต่างกันทางสถิติอย่างมีนัยสำคัญยิ่ง โดยระยะที่ 4 ของการเก็บเกี่ยวในช่วงฤดูฝนมีน้ำหนักสดของใบมากที่สุด สอดคล้องกับการทดลองผลของการเปลี่ยนแปลงของมวลใบแต่ละระยะพัฒนาการของใบกาแฟโรบัสต้า พบว่า ระยะพัฒนาการใบที่เพิ่มขึ้นส่งผลให้มีน้ำหนักสดเพิ่มขึ้น โดยใบแก่มีน้ำหนักสดและน้ำหนักแห้งของใบมากที่สุดและมีความแตกต่างทางสถิติอย่างมีนัยสำคัญยิ่งกับระยะพัฒนาการอื่น (พิสมัย, 2562) กระบวนการเจริญเติบโตของใบเกิดขึ้นเมื่อมีการแบ่งเซลล์โดยการเพิ่มปริมาตรของไซโตพลาสซึม ซึ่งกลไกต่างๆ ถูกควบคุมโดยโมเลกุลส่งสัญญาณระหว่างเซลล์ รวมถึงฮอร์โมนพืช น้ำตาล เปปไทด์ โปรตีน และไมโครอาร์เอ็นเอ (Kalve *et al.,* 2014) การเพิ่มขนาดของใบพืชมีความแตกต่างกันไปตามระยะพัฒนาการของพืช ในระยะแรกถึงระยะที่สามของระยะพัฒนาการของใบมีการขยายตัว การเพิ่มพื้นที่ผิว และปริมาตรอย่างรวดเร็ว และจะชะลอการเจริญเติบโตเมื่อใบมีระยะพัฒนาการเต็มที่ (Thomas, 2017) การขยายตัวของใบมีอัตราการเจริญเติบโตสูงสุดในระยะที่ใบมีเนื้อเยื่ออ่อน ซึ่งการขยายตัวของใบมีความสัมพันธ์เชิงบวกกับการลดลงของปริมาณวัตถุแห้งในใบ การเพิ่มขึ้นของปริมาณน้ำในใบ รวมถึงความแข็งแรงที่เพิ่มขึ้นของใบนำไปสู่ระยะพัฒนาการเต็มที่ของใบ (Dambreville *et al*., 2015)

การพัฒนาใบพืชเปลี่ยนแปลงตามชนิดพันธุ์พืช ระยะพัฒนาการ และสภาพแวดล้อม (Bar and Ori, 2014) ความหลากหลายของขนาดและรูปแบบใบพืชควบคุมโดยฮอร์โมนพืช สารควบคุมการถอดรหัสพันธุกรรม และคุณสมบัติทางกลของเนื้อเยื่อพืช (Bar and Ori, 2014) ปัจจัยสภาพแวดล้อมที่ส่งผลต่อการเจริญเติบโตและพัฒนาของใบ ได้แก่ อุณหภูมิ ความเข้มแสง ความชื้น (Dambreville *et al.,* 2015) การสูญเสียน้ำในใบมีความสัมพันธ์กับอุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์ในบรรยากาศระหว่างช่วงพัฒนาการของใบ Yusuk และคณะ (2018) พบว่า การเก็บเกี่ยวผักกวางตุ้งไต้หวัน (Pak Choi) ในช่วงฤดูร้อนส่งผลให้มีการสูญเสียน้ำหนักใบสูงที่สุด (5.32 %) ซึ่งอาจเป็นไปได้ในช่วงฤดูร้อนอุณหภูมิพื้นผิวของใบมีความแตกต่างกับอุณหภูมิอากาศที่สูงและความชื้นสัมพัทธ์ในบรรยากาศที่ต่ำส่งผลให้ไม่สามารถป้องกันการสูญเสียน้ำในใบได้ ในขณะที่การศึกษาสภาพแวดล้อมต่อการตอบสนองทางสัณฐานวิทยาของใบมะเขือเทศป่า พบว่า ขนาดใบและรอยหยักของใบเปลี่ยนแปลงไปตามอุณหภูมิและปริมาณ

น้ำฝนในแหล่งปลูก ในขณะที่ขนาดของใบสัมพันธ์กับเฉดสีของใบ (Chitwood *et al.,* 2012) รวมถึงสภาพแวดล้อมที่มีน้ำในดินอยู่อย่างจำกัดส่งผลให้ใบพืชมีขนาดลดลง (Royer *et al.,* 2005)

2.1 พื้นที่ใบจำเพาะและน้ำหนักใบจำเพาะแต่ละระยะพัฒนาการของใบโกโก้

ในการศึกษาพื้นที่ใบจำเพาะและน้ำหนักใบจำเพาะแต่ละระยะพัฒนาการของใบโกโก้ พบว่า ใบระยะที่ 3 ซึ่งเป็นระยะใบเพสลาดมีพื้นที่ใบจำเพาะมากที่สุด และมีน้ำหนักใบจำเพาะน้อยที่สุดแตกต่างทางสถิติอย่างมีนัยสำคัญ เมื่อเปรียบเทียบกับใบระยะที่ 1 2 และ 4 ขณะที่ ใบระยะที่ 1 ซึ่งเป็นระยะใบอ่อนมีพื้นที่ใบและน้ำหนักใบแห้งน้อยที่สุด (ตารางที่ 11) สอดคล้องกับรายงานของ พิสมัย (2562) พบว่า ใบกาแฟโรบัสต้าในระยะที่ 1 ซึ่งเป็นใบอ่อนมีพื้นที่ใบ และน้ำหนักใบน้อยที่สุด เนื่องจากมีน้ำภายในใบปริมาณสูง ขณะที่ ณัฐวิทย์ และคณะ (2562) พบว่า ในการปลูกสภาพกลางแจ้งใบโรบัสต้าตำแหน่งใบคู่ที่ 5 (ใบแก่) มีน้ำหนักใบจำเพาะมากที่สุดแตกต่างกันทางสถิติอย่างมีนัยสำคัญกับตำแหน่งใบคู่ที่ 1 2 3 และ 4 พื้นที่ใบจำเพาะ (SLA) เป็นอัตราส่วนของพื้นที่ใบทั้งหมดต่อมวลใบแห้งทั้งหมด ซึ่งสะท้อนถึงการเจริญเติบโตโดยรวม (Liu *et al*., 2017) การเจริญเติบโตของพืชเกี่ยวข้องโดยตรงกับพื้นที่ใบจำเพาะ (Weraduwage *et al.,* 2015) ระยะการเจริญเติบโตของพืชมีความสัมพันธ์เชิงบวกกับมวลใบ และพื้นที่ใบที่เพิ่มขึ้น (Weraduwage *et al.,* 2015) ในขณะที่พื้นที่ใบจำเพาะมีความสัมพันธ์เชิงลบกับความหนาของใบ (Weraduwage *et al.,* 2015) พื้นที่ใบจำเพาะที่ลดลงเกิดจากมีแนวโน้มการเพิ่มมวลใบมากกว่าพื้นที่ใบ โดยการจัดเก็บคาร์โบไฮเดรตส่วนเกินในใบที่เป็นผลให้ใบหนาขึ้น (Weraduwage *et al.,* 2015) การพัฒนาการของใบส่งผลให้น้ำหนักใบเพิ่มขึ้นซึ่งอาจเป็นผลมาจากการเพิ่มพื้นที่หรือเพิ่มความหนาของใบ (Weraduwage *et al.,* 2015) การศึกษาการเปลี่ยนแปลงของฤดูกาลเก็บเกี่ยวต่อพื้นที่ใบ พบว่า พื้นที่ใบจำเพาะมีการเปลี่ยนแปลงตามฤดูกาล โดยในช่วงฤดูร้อนส่งผลให้พื้นที่ใบจำเพาะลดลงอย่างมีนัยสำคัญ (Neves *et al*., 2007) อาจเป็นได้ว่าในช่วงฤดูร้อนการเจริญเติบโตถูกจำกัดโดยกลไกการป้องกันตัวเองของพืชจากการเพิ่มขึ้นของอุณหภูมิอากาศ การแผ่รังสี และสภาวะเครียดจากการขาดน้ำ (Neves *et al.,* 2007) นอกจากนี้ปัจจัยด้านสิ่งแวดล้อมที่ส่งผลต่อพื้นที่ใบจำเพาะ ได้แก่ CO_2 ในบรรยากาศที่เพิ่มขึ้น สภาวะร่มเงา ความเข้มแสง ปริมาณน้ำฝน ความอุดมสมบูรณ์ของดิน และธาตุอาหารในดิน (Weraduwage *et al.,* 2015; Liu *et al.,* 2017; ณัฐวิทย์ และคณะ, 2562) พื้นที่ใบจำเพาะ (SLA) ขึ้นกับปัจจัยพันธุกรรมและได้รับอิทธิพลจากสภาพแวดล้อมในการเจริญเติบโต (Marron *et al.*, 2003) ความเครียดจากสภาวะขาดน้ำทำให้พื้นที่ใบจำเพาะลดลง (Marron *et al.*, 2003) ภายใต้สภาวะแล้งใบจะมีการปรับตัวให้มีขนาดเล็กลงเพื่อลดการสูญเสียน้ำ รวมถึงมีมวลจำเพาะมากกว่าในสภาวะปกติ (Casper *et al.*, 2001) โดยทั่วไปพืชจะมีพื้นที่ใบจำเพาะเพิ่มขึ้นตามระยะพัฒนาการจนกระทั่งเข้าสู่ระยะเจริญเติบโตเต็มที่ พื้นที่ใบจำเพาะจะเริ่มลดลง (Marron *et al.*, 2003) ในช่วงฤดูแล้งพืชจะมีการสร้างใบที่มีขนาดเล็ก แต่มีจำนวนใบมากขึ้น รวมถึงอายุขัยของใบยาวนานมากขึ้น

และการสังเคราะห์แสงลดลงส่งผลให้ลดการสูญเสียทรัพยากรที่จำเป็นในการสร้างใบใหม่ (Casper *et al.*, 2001)

2.2 คลอโรฟิลล์ แคโรทีนอยด์ แอนโทไซยานินในใบโกโก้แต่ละระยะพัฒนาการของใบ

ความเข้มข้นของคลอโรฟิลล์ในใบพืชเป็นพารามิเตอร์ที่สำคัญซึ่งเป็นตัวบ่งชี้การพัฒนาของคลอโรพลาสต์ ความสามารถของพืชในการสังเคราะห์แสง ปริมาณไนโตรเจนในใบ รวมถึงความสมบูรณ์ของพืช (Ling *et al.,* 2011) SPAD – reading เป็นเครื่องมือที่ใช้ในการวัดความเข้มข้นของคลอโรฟิลล์ในใบโดยไม่ทำลายใบ ง่าย และรวดเร็ว (Ling *et al*., 2011; Xiong *et al*., 2015) ค่า SPAD เป็นสัดส่วนโดยตรงกับปริมาณคลอโรฟิลล์ในใบ (Ling *et al.,* 2011; Xiong *et al.,* 2015) จากการเปรียบเทียบการเปลี่ยนแปลงของรงควัตถุในใบโกโก้กับค่าดัชนีความเขียวจากเครื่อง SPAD - reading พบว่า การวัดด้วยเครื่อง SPAD - reading มีความสัมพันธ์เชิงบวกในสมการเส้นตรงของปริมาณคลอโรฟิลล์ เอ คลอโรฟิลล์ บี คลอโรฟิลล์ทั้งหมด และแคโรทีนอยด์มีความแตกต่างกันทางสถิติอย่างมีนัยสำคัญยิ่ง (ตารางที่ 13) สอดคล้องกับงานทดลองของ พิสมัย (2562) พบว่า ค่าความเขียวใบมีความสัมพันธ์ในสมการเส้นตรงกับค่าความเข้มข้นของคลอโรฟิลล์ เอ คลอโรฟิลล์ บี คลอโรฟิลล์ทั้งหมด และแคโรทีนอยด์

การศึกษาปริมาณคลอโรฟิลล์ เอ คลอโรฟิลล์ บีกคลอโรฟิลล์ทั้งหมด และแคโรทีนอยด์แต่ละระยะพัฒนาการของใบโกโก้ โดยการแทนค่าความเขียวใบที่วัดได้ในสมการเส้นตรง (ภาพภาคผนวกที่ 1) จากการศึกษา ปริมาณรงควัตถุแต่ละระยะพัฒนาการของใบโกโก้ (ตารางที่ 3) พบว่าระยะพัฒนาการใบสูงขึ้นส่งผลให้ปริมาณคลอโรฟิลล์ เอ คลอโรฟิลล์ บี คลอโรฟิลล์ทั้งหมด และแคโรทีนอยด์สูงขึ้น โดยใบระยะที่ 5 มีรงควัตถุเฉลี่ยมากที่สุด และมีความแตกต่างกันทางสถิติอย่างมีนัยสำคัญยิ่งกับใบระยะอื่น สอดคล้องกับการทดลองของ ณัฐวิทย์ และคณะ (2562) ศึกษาการเปลี่ยนแปลงทางสัณฐานและสรีรวิทยาแต่ละตำแหน่งคู่ใบของกาแฟโรบัสต้าพันธุ์ชุมพร 2 พบว่าสภาพร่มเงาและคู่ใบที่ 3 จากปลายยอด มีปริมาณคลอโรฟิลล์เอ คลอโรฟิลล์บี คอโรฟิลล์ทั้งหมด และปริมาณแคโรทีนอยด์ สูงที่สุด เมื่อเปรียบเทียบกับสภาพกลางแจ้งและคู่ใบระยะ 1 และ 3 ตามลำดับ คลอโรฟิลล์ เอ และคลอโรฟิลล์ บี ที่พบในพืชชั้นสูงเป็นเม็ดสีที่มีบทบาทสำคัญในการสังเคราะห์ด้วยแสง ทำหน้าที่ในการดูดซับและเปลี่ยนพลังงานแสงเป็นพลังงานเคมี (Zhang *et al.,* 2009) คลอโรฟิลล์ เอ คลอโรฟิลล์ บี และแคโรทีนอยด์เกิดขึ้นครั้งแรกในสัปดาห์แรกของระยะพัฒนาการของใบ ความเข้มข้นของสารทุติยภูมิเหล่านี้เปลี่ยนแปลงเมื่อใบมีระยะพัฒนาการเพิ่มขึ้น (Mun Hue *et al*., 2011) ส่งผลต่อการเปลี่ยนแปลงลักษณะสัณฐานและสรีรวิทยาของใบ นำไปสู่การสะสมคาร์โบไฮเดรต แป้ง และน้ำตาลจนกระทั่งเข้าสู่ระยะใบเพสลาดที่มีพัฒนาการเต็มที่จะมีการสร้างปริมาณรงควัตถุคงที่และเมื่อเข้าสู่ระยะใบแก่ซึ่งมีการสะสมของรงควัตถุสูงสุด โดยเฉพาะการเพิ่มขึ้นของแคโรทีนอยด์ (ณัฐวิทย์ และคณะ, 2562) โดยเมื่อคลอโรฟิลล์ลดลงหรือมีการเสื่อมสภาพแสดงถึง

กระบวนการชราภาพซึ่งจะส่งให้ใบมีสีเหลือง สีแดง หรือสีส้ม (Mun Hue *et al*., 2011) การเพิ่มขึ้นของแคโรทีนอยด์เป็นผลมาจากเมื่อพืชอยู่ในสภาวะที่ได้รับความเข้มแสงสูง แคโรทีนอยด์จะยับยั้งอันตรายจากสารอนุมูลอิสระจากออกซิเจน (ROS) (Xu and Rothstein, 2018; ศุภชาติ, 2562) รวมถึงคุณสมบัติในการกระจายความร้อนส่วนเกินโดยเฉพาะในชั้นแซนโทฟิลล์ (Gould *et al*., 2018)

อย่างไรก็ตาม มีปัจจัยหลายประการที่สามารถส่งผลต่อระดับปัจจัยที่มีผลต่อการสังเคราะห์คลอโรฟิลล์ เช่น พันธุ์พืช ระยะพัฒนาการของใบ อุณหภูมิสภาพแวดล้อม (Li *et al*., 2018) ปริมาณธาตุอาหารในดิน ความเครียดของพืช การปนเปื้อนของโลหะ และปัจจัยไม่มีชีวิตอื่นๆ (Ling *et al.,* 2011) ปริมาณน้ำฝนที่ส่งผลต่อกิจกรรมเคมีแสง (Photochemical activity) ของคลอโรพลาสต์ (Li *et al.,* 2018) ใบโกโก้ที่แตกยอดใหม่มีสีสันไปในโทนสีแดงเนื่องจากการสะสมของแอนโทไซยานินในระยะแรกของการพัฒนาก่อนที่จะเปลี่ยนแปลงเป็นสีเขียว (Li *et al.,* 2018)

2.3 สีใบและความเขียวใบแต่ละระยะพัฒนาการของใบโกโก้

การศึกษาการเปลี่ยนแปลงของสีใบตามระยะพัฒนาการของใบโกโก้ (ภาพที่ 1) พบว่า ค่าสีของใบโกโก้มีการเปลี่ยนแปลงไปตามระยะพัฒนาการที่เพิ่มขึ้นของใบและมีความแตกต่างทางสถิติอย่างมีนัยสำคัญยิ่ง การศึกษาการเปลี่ยนแปลงสีของใบโกโก้ พบว่า ค่าความสว่างใบ (L*) มีค่าสูงที่สุดในระยะที่ 2 และลดลงเมื่อใบเข้าสู่ระยะที่ 3 และ 4 (ตารางที่ 12) เช่นเดียวกับ ความเป็นสีเหลืองของใบ (b*) มีค่าสูงที่สุดในระยะที่ 2 ไม่แตกต่างทางสถิติกับระยะที่ 3 และลดลงเมื่อใบเข้าสู่ระยะที่ 4 และความเป็นสีแดงของใบ (a*) มีค่าลดลงเมื่อระยะพัฒนาการของใบเพิ่มขึ้น ในขณะที่ค่าความเขียวใบ (SPAD unit) มีความสัมพันธ์เชิงบวกกับระยะพัฒนาการที่เพิ่มขึ้นของใบและมีความแตกต่างทางสถิติอย่างมีนัยสำคัญยิ่ง โดยใบโกโก้ระยะที่ 4 (อายุ 28-34 วัน) มีค่าความเขียวมากที่สุดเมื่อเทียบกับใบระยะอื่น สอดคล้องกับการทดลองของ พิสมัย (2562) พบว่า ใบกาแฟโรบัสต้าในระยะที่ 5 (อายุ 21-27 วัน) มีค่า a* b* และ L* น้อยที่สุดเมื่อเทียบกับใบระยะที่ 1 2 3 และ 4 ขณะที่ใบกาแฟโรบัสต้าในระยะที่ 5 มีค่าความเขียวใบมากที่สุด ใบโกโก้ที่มีระยะพัฒนาการเพิ่มขึ้นค่าความเป็นสีเขียว (-a*) จะเพิ่มขึ้น ขณะที่ค่าความเป็นสีแดง (+a*) จะลดลง ในระยะแตกใบอ่อนใบโกโก้มีสีแดงแสดงถึงการสะสมของแอนโทไซยานิน (Karageorgou and Manetas, 2006) เมื่อเข้าสู่ระยะที่ 2 ค่าความเป็นสีเหลือง (b*) จะเพิ่มขึ้นเนื่องจากการสลายตัวของแอนโทไซยานินที่หน้าที่ปกป้องใบอ่อนแรกเกิดที่มีลักษณะบอบบางอาจได้รับอันตรายจากรังสีดวงอาทิตย์ (Meng *et al*., 2012) ดังตารางที่ 3 ในขณะที่ค่าความสว่าง (L*) ลดลงเมื่อระยะพัฒนาการที่เพิ่มขึ้นสอดคล้องกับสีใบโกโก้ที่มีลักษณะทึบแสงเมื่อใบพัฒนาเต็มที่ (Ramírez *et al.,* 2018) โดยใบโกโก้ระยะที่ 1 (อายุ 9-14 วันหลังการแตกใบ) มีสีแดงมีลักษณะโปร่งแสงและบาง มีอายุ 15-20 วัน ใบจะมีการขยายขนาดใหญ่ขึ้นและมีสีน้ำตาลอ่อน (ระยะที่ 2) เมื่อใบอายุ 21-27 วัน ใบจะมีสีเขียวอ่อน มีลักษณะทึบแสง

และเริ่มแข็งตัว จนกระทั่งใบจะมีสีเขียวเข้มเมื่อระยะใบอายุ 28-34 วัน ใบอ่อนของโกโก้ที่มีสีม่วงแดง (ม่วง/แดง) เป็นลักษณะของเม็ดสีพิเศษ ซึ่งปกปิดเม็ดสีเขียวของคลอโรฟิลล์จากการสังเกตด้วยสายตา (Gould *et al.,* 2018) ใบโกโก้จะมีพัฒนาการด้านขนาดใบสิ้นสุดลงเมื่อใบมีอายุประมาณ 25 วันหลังแตกใบ ขณะการสะสมคลอโรฟิลล์ยังคงเพิ่มขึ้น จนกระทั่งใบพัฒนาเต็มที่ในระยะใบอายุ 30 วัน (Ramírez *et al.,* 2018) ใบอ่อนของพืชหลายชนิดจะมีสีแดงชั่วคราวเนื่องจากการสะสมของแอนโทไซยานิน โดยสีแดงจะค่อยๆ จางลงเมื่อใบโตเต็มที่ (Karageorgou and Manetas, 2006) ประสิทธิภาพของระบบแสง PSII จากกระบวนการสังเคราะห์ด้วยแสงในใบสีแดงสูงกว่าใบสีเขียวเล็กน้อย บ่งบอกถึงความสามารถของแอนโทไซยานินมีบทบาทในการป้องกันอันตรายจากแสงแดดที่มากเกินไป (Karageorgou and Manetas, 2006) อย่างไรก็ตาม นอกจากพันธุกรรมที่แตกต่างกัน อิทธิพลที่มีผลต่อการพัฒนาลักษณะทางสัณฐานวิทยาและสรีรวิทยาของใบ ได้แก่ ความแตกต่างของสภาพภูมิอากาศ การเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิ ปริมาณน้ำฝน และองค์ประกอบของบรรยากาศ (Gray and Brady, 2016)

2.4 ปริมาณสารพฤกษเคมีในใบโกโก้

ในการศึกษาครั้งนี้ วิเคราะห์ใบโกโก้แต่ละระยะพัฒนาการในฤดูกาลเก็บเกี่ยวที่ต่างกัน เพื่อหาปริมาณสารต้านอนุมูลอิสระโดยวิธี FRAP ซึ่งเป็นการทดสอบที่ยอมรับโดยทั่วไปนำมาใช้ในการประเมินฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระของสารสกัดจากใบโกโก้ ในส่วนของการวิเคราะห์เพื่อหาปริมาณฟีนอลิก ปริมาณกรดแกลลิก และปริมาณแทนนินของสารสกัดใบโกโก้ใช้วิธี Folin-ciocalteu colorimatric assay นอกจากนี้หาปริมาณฟลาโวนอยด์ด้วยวิธี Aluminium chloride colorimetric assay ผลลัพธ์ของการวิเคราะห์แสดงไว้ในตาราง และเป็นค่าเฉลี่ยจากการวัดค่ากลางทั้ง 3 ค่า พบว่าระยะพัฒนาการใบแต่ละระยะพัฒนาการมีปริมาณสารพฤกษเคมีแตกต่างกัน โดยระยะที่ 1 ใบมีอายุ 9-14 วัน (Stage 1, S1) มีปริมาณสารต้านอนุมูลอิสระ (ตารางที่ 14) แทนนิน (ตารางที่ 15) สารประกอบฟีนอลิก (ตารางที่ 16) ฟลาโวนอยด์ (ตารางที่ 17) และสารแคทีชิน (ตารางที่ 17) สูงที่สุด เมื่อเทียบกับระยะพัฒนาการอื่นๆ เช่นเดียวกับฤดูกาลเก็บเกี่ยวที่แตกต่างกันมีการสะสมปริมาณสารพฤกษเคมีแตกต่างกัน เช่นเดียวกันกับฤดูกาลเก็บเกี่ยวที่มีผลต่อปริมาณสารพฤกษเคมีของใบโกโก้ พบว่า การเก็บเกี่ยวใบโกโก้ในช่วงฤดูฝนมีปริมาณสารต้านอนุมูลอิสระ สารประกอบฟีนอลิก ฟลาโวนอยด์ ปริมาณกรดแกลลิก และแทนนินมากที่สุดเมื่อเปรียบเทียบกับการเก็บเกี่ยวช่วงฤดูแล้ง และเมื่อวิเคราะห์ปริมาณสารพฤกษเคมีแต่ละชนิดแต่ละช่วงระยะพัฒนาการและแต่ละฤดูกาลเก็บเกี่ยว พบว่าปัจจัยระยะพัฒนาการของใบและฤดูกาลเก็บเกี่ยวของใบโกโก้มีปฏิสัมพันธ์กัน โดยใบโกโก้แต่ละระยะพัฒนาการ พบว่า ใบโกโก้ในช่วงระยะพัฒนาการที่ 1 (อายุ 4-14 วัน) เมื่อเก็บเกี่ยวในช่วงฤดูฝนมีปริมาณสารต้านอนุมูลอิสระ สารประกอบฟีนอลิก ฟลาโวนอยด์ ปริมาณกรดแกลลิก และแทนนินมากที่สุดเมื่อเปรียบเทียบกับระยะพัฒนาการและฤดูกาลเก็บเกี่ยวอื่น สารต้านอนุมูลอิสระและสารประกอบฟีนอลิกมี

ปริมาณแตกต่างกันไปตามแต่ชนิดพืช การศึกษาครั้งนี้เปรียบเทียบสารต้านอนุมูลอิสระและสารสำคัญอื่นๆ ในแต่ละระยะพัฒนาการของใบในแต่ละฤดูกาลเก็บเกี่ยว ซึ่งเป็นสารอนุมูลอิสระตามธรรมชาติที่มีศักยภาพที่มีประโยชน์เชิงพาณิชย์ (Shan *et al.,* 2005)

ปริมาณสารพฤกษเคมีที่พบแตกต่างกันไปตามระยะพัฒนาการมีแนวโน้มแตกต่างกันตามความแปรผันของฤดูกาลในช่วงก่อนการเก็บเกี่ยว (Cao *et al*., 2019) สารฟลาโวนอยด์เป็นสารที่มีฤทธิ์ในการต้านอนุมูลอิสระชนิดหนึ่งที่มีประโยชน์ทางด้านสุขภาพ (Amaral *et al.,* 2004) ในขณะที่สารฟีนอลิกเกี่ยวข้องกับสภาวะเครียดของพืช เช่น อุณหภูมิสูง และแสงแดดจัด ซึ่งจะไปส่งเสริมการสร้างสารฟีนอลิก (Cao *et al*,, 2019) ทั้งนี้ปริมาณสารฟีนอลิกอาจมีปริมาณสูงในช่วงฤดูฝนได้เช่นกัน เช่นเดียวกับการทดลองของ Aoussa และคณะ (2020) ที่พบว่า ปริมาณฟีนอลิกและฟลาโวนอยด์ที่เพิ่มขึ้นในช่วงฤดูหนาวและฤดูใบไม้ผลิ (ฤดูฝน) ซึ่งตรงกับช่วงเวลาประจำปีที่มีปริมาณน้ำฝนสูงสุดและมีอุณหภูมิต่ำลง (Aoussa *et al.,* 2020) สารฟีนอลิกที่สูงข้นของ ไลเคนป่า (*Umbilicaria Americana*) ในช่วงฤดูหนาว (Swanson *et al.,* 1996) Aoussa และคณะ (2020) อธิบายว่า ปริมาณน้ำฝนสูงสุดและมีอุณหภูมิต่ำลงทำให้อัตราการระเหยลดลง และมีน้ำในเนื้อเยื่อเพิ่มขึ้น นำไปสู่การกระตุ้นกิจกรรมเมทาบอลิซึมหลังจากการชะงักการทำงานเนื่องจากความแห้งแล้งและความเครียดในช่วงฤดูร้อน ปริมาณสารต้านอนุมูลอิสระที่เพิ่มขึ้นจากการเก็บเกี่ยวไลเคนในช่วงฤดูฝน (ฤดูหนาวและฤดูใบไม้ผลิ) สูงกว่าเก็บเกี่ยวในช่วงฤดูแล้ง (ฤดูร้อนและฤดูใบไม้ร่วง) (Aoussa *et al*., 2020) เพื่อรักษาประสิทธิภาพในการสังเคราะห์ด้วยแสงในระหว่างวัฏจักรการระเหยน้ำและการรักษาน้ำในเซลล์ในตลอดฤดูกาล (Gasulla *et al.,* 2012) สารต้านอนุมูลอิสระช่วยป้องกันเซลล์จากการเปลี่ยนแปลงอย่างกะทันหันของสภาพแวดล้อม โดยเฉพาะการเปลี่ยนแปลงของความเข้มแสงและความชื้น (Aoussa *et al.,* 2020)

สำหรับปัจจัยระยะพัฒนาการใบแต่ละระยะพัฒนาการที่มีผลต่อปริมาณสารพฤกษเคมี ระยะพัฒนาการของใบมีความแตกต่างกันไปตามชนิดพืช อายุใบเท่ากันของพืชต่างชนิดกันอาจอยู่ในระยะพัฒนาการที่แตกต่างกัน (Chang *et al.,* 2018) นิภาพร และคณะ (2557) รายงาน ฤทธิ์การต้านอนุมูลอิสระจากสารสกัดใบทุเรียนที่ใช้เอทานอลเป็นตัวทำละลาย 10 สายพันธุ์ เปรียบเทียบ 3 ระยะพัฒนาการ พบว่า ใบอ่อนทุเรียนพันธุ์กบเจ้าคุณมีฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระมากที่สุด (มีค่า IC60 เท่ากับ 381.07 ppm) ในขณะที่ยอดทุเรียนพันธุ์คชมีปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมดมากที่สุด (2186.70 มิลลิกรัมสมมูลย์ของกรดแกลลิกต่อใบแห้ง 100 กรัม) สอดคล้องกับการทดลองที่พบว่าการเก็บเกี่ยวใบโกโก้ในระยะที่ 1 ใบมีอายุ 9-14 วัน (Stage 1, S1) มีปริมาณสารพฤกษเคมีสูงที่สุด เมื่อเทียบกับระยะพัฒนาการอื่นๆ และสอดคล้องกับ Chang และคณะ (2018) รายงานว่า ปริมาณสารพฤกษเคมีแต่ละช่วงพัฒนาการของใบมะระไฟ (Wampee) พบว่า ใบอ่อนและใบเหลืองแก่มีฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระ เนื่องจากพบปริมาณฟีนอลิกและปริมาณฟลาโวนอยด์มากที่สุด พบปริมาณสารฟีนอลิกอิสระและปริมาณฟีนอลิกทั้งหมดมากที่สุดในในระยะใบอ่อน เช่นเดียวกันปริมาณสารแทนนินในใบอ่อนของมะรุมมีปริมาณสูงกว่าใบแก่อย่างมีนัยสำคัญ (Toit *et al*., 2020) ในขณะที่ ปริมาณฟลาโวนอยด์มีค่ามากที่สุดในระยะใบเหลืองแก่ (Chang *et al.,* 2018) จากผลการทดลอง พบว่า การเปลี่ยนแปลงของสารต้านอนุมูลอิสระสอดคล้องกับปริมาณสารประกอบฟีนอลิก ฟลาโวนอยด์

ปริมาณกรดแกลลิก และแทนนินในระหว่างการพัฒนาใบ เนื่องจากปริมาณฟีนอลิกและฟลาโวนอยด์เป็นแหล่งที่สำคัญของสารต้านอนุมูลอิสระ (Chang *et al.,* 2018) ดังนั้น ในการศึกษาครั้งระยะยอดอ่อน-ใบอ่อนสีแดงของโกโก้เป็นแหล่งของสารสกัดที่มีสารพฤกษเคมีมากที่สุด เหมาะสมกับการนำไปใช้ประโยชน์ในการต้านอนุมูลอิสระ ไม่ว่าจะเป็นอาหารเสริม ส่วนผสมของอาหาร อาหารสัตว์ ทั้งนี้มีความเป็นไปได้ว่าใบระยะเหลืองแก่ของโกโก้อาจมีปริมาณสารพฤกษเคมี ซึ่งสามารถใช้เป็นแนวทางในการศึกษาต่อไป

Cao และคณะ (2019) รายงานผลของฤดูกาลเก็บเกี่ยวต่อปริมาณสารพฤกษเคมีในใบ *Cyclocarya paliurus* (Batal.) จากผลการวิจัย พบว่า การเก็บเกี่ยวในช่วงต้นเดือนพฤศจิกายนเป็นช่วงที่เหมาะสมที่สุดในการเก็บเกี่ยวใบ *C. paliurus* ซึ่งเป็นช่วงที่มีศักยภาพในการสังเคราะห์สารสารพฤกษเคมีได้ดีที่สุด โดยสารประกอบฟลาโวนอยด์ที่มีความแปรผันต่อการเปลี่ยนแปลงฤดูกาลค่อนข้างมาก ได้แก่ Q-3-Glc มีการเปลี่ยนแปลงตามฤดูกาลอย่างชัดเจนในระหว่างเดือนพฤศจิกายน ในขณะที่สารในกลุ่มสารประกอบฟลาโวนอยด์บางชนิด เช่น K-3-Glc และ K-3-Rha มีปริมาณมากที่สุดในเดือนกรกฎาคม สิงหาคม และพฤศจิกายน (Cao *et al*., 2019) ในส่วนสารประกอบฟีนอลิกตัวอื่นๆ ได้แก่ 4-CQA 4,5-CQA โดย 4,5-CQA แตกต่างกันอย่างเห็นได้ชัดที่สุดประมาณ 64 เท่า โดยสูงที่สุดในช่วงเดือนพฤศจิกายนเช่นเดียวกัน (Cao *et al*., 2019) สำหรับการศึกษาผลของวันเก็บเกี่ยวต่อสารพฤกษเคมีของใบมะกอก พบฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระ (AA) ปริมาณฟีนอลิกทั้งหมด (TPC) และปริมาณฟลาโวนอยด์ทั้งหมด (TFC) มากที่สุดในการเก็บเกี่ยวช่วงฤดูร้อน (เดือนมิถุนายน) มีค่าเท่ากับ 1187.23 ไมโครโมลสมมูลของกรดแกลลิกต่อกรัมน้ำหนักแห้ง 50.10 มิลลิกรัมสมมูลของกรดแกลลิกต่อกรัมตัวอย่างแห้ง 32.60 มิลลิกรัมสมมูลของแคทีชินต่อกรัมของสารสกัดแห้ง เมื่อเปรียบเทียบกับการเก็บเกี่ยวในช่วงฤดูหนาว (เดือนมกราคม) มีค่าเท่ากับ 317.37 ไมโครโมลสมมูลของกรดแกลลิกต่อกรัมน้ำหนักแห้ง 18.63 มิลลิกรัมสมมูลของกรดแกลลิกต่อกรัมตัวอย่างแห้ง 19.30 มิลลิกรัมสมมูลของแคทีชินต่อกรัมของสารสกัดแห้ง (Al-Rimawi *et al*., 2014) ปริมาณนอกจากนี้มีรายงานว่าการวิเคราะห์สารพฤกษเคมีในใบวอลนัทสารประกอบฟีนอลิกและฟลาโวนอยด์สูงขึ้นในเดือนกรกฎาคมเนื่องจากระดับการแผ่รังสีดวงอาทิตย์ที่สูงขึ้น (Amaral *et al.,* 2004) สำหรับพืชฟีนอลิกมีบทบาทในการป้องกันพืชจากสภาวะเครียด (Meng *et al*., 2012; Karageorgou and manetas, 2006) ทั้งนี้การสะสมของปริมาณสารประกอบฟีนอลิกที่มีค่าลดลงในช่วงการเก็บเกี่ยวฤดูแล้ง อาจเป็นไปได้ว่าอุณหภูมิและสภาวะขาดน้ำไม่เพียงพอที่จะทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงระหว่างโมเลกุลของฟีนอลิกแม้จะมีรายงานก่อนหน้านี้ว่าการเก็บเกี่ยวในช่วงฤดูแล้งอาจส่งผลให้การสะสมของสารประกอบฟีนอลิกในใบเพิ่มขึ้น (Shi *et al*., 2017) สารทุติยภูมิอื่นๆ ของพืชก็เช่นเดียวกัน การสังเคราะห์ทางชีวภาพขึ้นกับปัจจัยทั้งภายในและภายนอก ปัจจัยที่มาจากภายในพืช ได้แก่ พันธุกรรม และปัจจัยที่มาจากภายนอกพืช ได้แก่ สภาพแวดล้อมซึ่งเป็นปัจจัยที่เกิดจากสิ่งเร้าทางสิ่งแวดล้อมทั้งแบบมีชีวิตหรือไม่มีชีวิตที่เกิดขึ้นระหว่างการช่วงการเจริญเติบโตของพืช ไม่ว่าจะเป็นองค์ประกอบของดิน โรค ปรสิต สภาพอากาศ แสง อากาศ และน้ำ (Amaral *et al.,* 2004; Cao *et al*., 2019)

นอกจากนี้ เมื่อนำใบโกโก้ระยะที่ 1 มาเปรียบเทียบปริมาณสารพฤกษเคมีกับพืชชนิดอื่นๆกด้วยวิธีการเดียวกัน พบว่า ใบโกโก้ระยะที่ 1 มีการสะสมปริมาณสารต้านอนุมูลอิสระเฉลี่ย เท่ากับ 41.08 มิลลิกรัมสมมูลของเฟอร์รัสไอออนต่อกรัมของสารสกัดแห้ง และสารประกอบฟีนอลิก 50.90 มิลลิกรัมสมมูลของกรดแกลลิกต่อกรัมของสารสกัดแห้ง ซึ่งสูงกว่าสารสกัดเอทานอลจากยอดทุเรียนพันธุ์เมล็ดคชสารที่มีสารประกอบฟีนอลิก 21.87 มิลลิกรัมสมมูลของกรดแกลลิกต่อกรัมของใบแห้ง (นิภาพร และคณะ, 2557) และเมื่อเปรียบเทียบกับใบหม่อนสดที่สกัดด้วยน้ำที่มีปริมาณฟีนอลิก 21.89 มิลลิกรัมสมมูลของกรดแกลลิกต่อกรัมตัวอย่างแห้ง (ณชกนก และอนงค์, 2563) และเมื่อนำใบโกโก้ระยะที่ 1 มีปริมาณสารแทนนินสูงสุดเท่ากับ 45.63 มิลลิกรัมสมมูลของกรดแทนนิกต่อกรัมของสารสกัดแห้ง เมื่อเปรียบเทียบปริมาณสารแทนนินกับสารสกัดจากใบของสมุนไพร ได้แก่ น้ำนมราชสีห์ (*Euphorbia hirta*) และตีนตุ๊กแก (*Tridax procumbens*) ซึ่งมีปริมาณสารแทนนิน เท่ากับ 42.50 มิลลิกรัมสมมูลของกรดแทนนิกต่อกรัมของสารสกัดแห้ง และ 11.61 มิลลิกรัมสมมูลของกรดแทนนิกต่อกรัมของสารสกัดแห้งตามลำดับ (Ghosh *et al.,* 2020) นอกจากนี้ใบโกโก้มีปริมาณสารแทนนิน มากกว่า หญ้างวงช้าง (*Heliotropium indicum*) ผักเสี้ยน (*Cleome rutidosperma*) และผักปลาบ (*Commelina benghalensis*) นอกจากนี้ การเปรียบเทียบระหว่างใบโกโก้ระยะที่ 1 กับใบมะกอก พบว่า ใบโกโก้มีปริมาณฟลาโวนอยด์ 88.59 มิลลิกรัมสมมูลของแคทีชินต่อกรัมของสารสกัดแห้ง ซึ่งมีค่าสูงกว่าใบมะกอก (สกัดด้วยน้ำ) ที่มีปริมาณฟลาโวนอยด์ 32.6 มิลลิกรัมสมมูลของแคทีชินต่อกรัมของสารสกัดแห้ง (Al-Rimawi *et al.,* 2014) ทั้งนี้มีรายงานว่า ความเข้มข้นของแทนนินในใบอ่อนสูงกว่าใบอายุปานกลางและใบแก่ เนื่องจากกลไกการปกป้องความเสียหายของใบเกิดใหม่ (Meng *et al*., 2012)

3. ผลของอุณหภูมิการเก็บรักษาต่อคุณภาพผลโกโก้

3.1 ลักษณะทางกายภาพของผลโกโก้

3.1.1 การสูญเสียน้ำหนัก

การเก็บรักษาผลโกโก้ที่อุณหภูมิต่ำสามารถเก็บรักษาผลโกโก้ได้นานกว่าการเก็บรักษาที่อุณหภูมิห้อง การเก็บรักษาที่อุณหภูมิต่างกันมีความชื้นสัมพัทธ์ต่างกัน การเก็บรักษาที่ความชื้นสัมพัทธ์ในบรรยากาศต่ำส่งผลให้ผลโกโก้มีการสูญเสียน้ำหนักมากขึ้น (ดนัย, 2556) การสูญเสียน้ำเป็นสาเหตุในการเสื่อมสภาพของผลิต อาการที่แสดงออก ได้อย่าง ผลเหี่ยว การแผลสีน้ำตาลบนเปลือกเพิ่มขึ้น และนำไปสู่การเสื่อมสภาพของผลิตผล สายชล (2551) รายงานว่า ภายหลังการเก็บเกี่ยวผลิตผลจะมีการคายน้ำตลอดเวลาเพื่อระบายความร้อนที่เกิดจากการหายใจ ในขณะเดียวกันความชื้นภายในผลิตผลมักจะมีอยู่มากกว่า 80 เปอร์เซ็นต์ และสูงกว่าความชื้นของบรรยากาศภายนอก ดังนั้นน้ำภายในจึงพยายามเคลื่อนออกสู่ภายนอกเป็นสาเหตุของการสูญเสียน้ำออกจากผลิตผล ซึ่งการเก็บรักษาที่มี

ความชื้นสัมพันธ์ในบรรยากาศต่ำส่งผลให้โอกาสสูญเสียน้ำหนักมากขึ้น การเก็บรักษาที่อุณหภูมิห้องมีผลทำให้เกิดความแตกต่างระหว่างความดันไอน้ำภายในผลิตผลกับบรรยากาศรอบๆ ผลิตผลมากกว่าการเก็บรักษาในห้องเย็นจึงทำให้เกิดการสูญเสียน้ำมากกว่า (Callahan *et al*., 2019) จำเริญ และคณะ (2543) รายงานว่าการที่ผลิตผลมีความชื้นภายในสูง ดังนั้นเพื่อลดอัตราการคายน้ำควรเก็บรักษาในสภาพอุณหภูมิต่ำและความชื้นสัมพัทธ์สูง เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพการเก็บรักษาให้นานขึ้น ในระหว่างการเก็บรักษาโกโก้ที่อุณหภูมิต่างกัน เปอร์เซ็นต์การสูญเสียน้ำหนักต่างกัน ทั้งนี้เพราะอัตราการหายใจของผลไม้แต่ละอุณหภูมิการเก็บรักษาต่างกันซึ่งการหายใจเป็นการคายน้ำของผลิตผลส่งผลให้มีการสูญเสียน้ำ จึงเป็นปัจจัยเกิดการสูญเสียน้ำหนักขึ้น ที่อุณหภูมิต่ำอัตราการหายใจก็จะต่ำลง

3.1.2 ความแน่นเนื้อ

การเก็บรักษาที่อุณหภูมิห้อง ผลโกโก้มีความแน่นเนื้อลดลงอย่างรวดเร็วมากกว่าการเก็บรักษาที่อุณหภูมิต่ำ ความแน่นเนื้อของผลไม้จะลดลงหลังการเก็บเกี่ยว เนื่องจากการเปลี่ยนแปลงโครงสร้างของโมเลกุลของสารในกลุ่มเพกทิน ซึ่งเป็นองค์ประกอบของผนังเซลล์ (สังคม, 2542) ทั้งนี้เนื่องจากอุณหภูมิต่ำจะช่วยชะลอการเกิดปฏิกิริยาในกระบวนการเมทาบอลิซึม เช่น ช่วยลดอัตราการหายใจของผลิตผล จึงเป็นอีกวิธีที่ช่วยลดการสูญเสียน้ำของผลิตผล ถึงแม้โกโก้จะเป็นผลิตผลประเภท Non climacteric แต่ค่าความแน่นเนื้อมีแนวโน้มลดลงเมื่อระยะพัฒนาการสุกแก่เพิ่มขึ้น (Rojas *et al*., 2020) ซึ่งเกิดจากผนังเซลล์ที่อยู่ในรูปของ Protopectin ซึ่งอยู่ในรูปไม่ละลายน้ำสลายตัวกลายเป็นแพกทินที่ละลายน้ำส่งผลให้เปลือกผลมีลักษณะอ่อนนุ่มลง (ดนัย, 2556) ความแน่นเนื้อที่ลดลงภายหลังการเก็บเกี่ยวเกิดขึ้นจากกระบวนการทางชีวเคมีที่เกี่ยวข้องกับการยับยั้งกิจกรรมของเอนไซม์ (pectin esterase และ polygalacturonase enzymes) ซึ่งนำไปสู่การเสื่อมสภาพของผนังเซลล์และโครงสร้างอื่นๆ ภายในเซลล์ (Fagundes *et al*., 2015) ความแน่นเนื้อที่ลดลงในระหว่างการเก็บรักษาอาจทำให้เซลล์สูญเสียความสามารถในการทำงานของเยื่อหุ้มเซลล์และเกิดการแตกตัวของผนังเซลล์ (Paniagua *et al*., 2013)

3.1.3 ประเมินการเปลี่ยนแปลงของค่าสีเปลือก

การเปลี่ยนแปลงของสีเปลือกโกโก้ พบว่า ผลโกโก้เกิดสีน้ำตาลบนเปลือกเพิ่มขึ้นตามระยะเวลาการเก็บรักษา (ภาพที่ 16 และ 17) เช่นเดียวกันกับค่าความสว่างและค่ามุมสีของเปลือกโกโก้ พบว่า ผลโกโก้เป็นสีเหลืองมากขึ้นตามระยะเวลาการเก็บรักษา1ซึ่งมีรายงานว่าค่าความสว่างของเปลือกโกโก้เพิ่มขึ้นเมื่อผลโกโก้สุกแก่มากขึ้นตามระยะเวลาการเก็บรักษา (Rojas *et al.,* 2020) อาการเสื่อมสภาพของผลโกโก้เกิดขึ้นบนเปลือกผลเริ่มต้นเกิดเป็นจุดสีน้ำตาลเข้มขนาดเล็ก และเมื่อเก็บรักษาเป็นเวลานานขึ้นจุดสีน้ำตาลเพิ่มจำนวนและขยายขนาดใหญ่ขึ้นกลายเป็นแผ่นสีน้ำตาลเข้มที่เปลือกผล ผลโกโก้จะเกิดแผลสีน้ำตาลบนเปลือกเพิ่มขึ้นตามระยะเวลาการเก็บรักษาที่

เพิ่มขึ้น ในส่วนโกโก้ที่เก็บรักษาที่อุณหภูมิห้อง มีระดับการเกิดสีน้ำตาลที่มากกว่าผลโกโก้ที่เก็บรักษาที่อุณหภูมิเย็น ทั้งนี้ เนื่องจากจุดสีน้ำตาลบนเปลือกผลเกิดจากการสร้างหรือสลายตัวของสารสี (Pigment) และปฏิกิริยาออกซิเดชั่นของสารประกอบฟีนอลิกหรือแสดงถึงการเสื่อมสภาพทางสรีรวิทยาซึ่งจะปรากฏเพิ่มขึ้นเมื่อเก็บรักษานานขึ้น (โชคชัย, 2550) เมื่อระยะเวลาการเก็บรักษาเท่ากัน สายชล (2551) รายงานว่า การสูญเสียน้ำเป็นสาเหตุในการเปลี่ยนแปลงการเกิดสีบริเวณเปลือกผลโกโก้ โดยภายหลังการเก็บเกี่ยวมีปัจจัยที่ทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงองค์ประกอบทางเคมีหรือสารอื่นๆ เช่น การสร้างหรือสลายตัวของสารสี (Pigment) การเปลี่ยนไปเป็นสีน้ำตาลเนื่องจากปฏิกิริยาออกซิเดชั่นของสารประกอบฟีนอลิกที่ถูกเร่งจากเอนไซม์พอลิฟีนอลออกซิเดส (PPO) ส่งผลให้สารประกอบฟีนอลิกเปลี่ยนเป็นควิโนน ซึ่งควิโนนจะรวมตัวกันเกิดเป็นสารประกอบสีน้ำตาล (โชคชัย, 2550)

3.2 ความเป็นกรดทั้งหมดของเยื่อหุ้มเมล็ดโกโก้

ปริมาณ TA มีแนวโน้มลดลงเมื่ออายุการเก็บรักษานานขึ้น ทั้งนี้เพราะผลิตผลหลังการเก็บเกี่ยวมีการหายใจตลอดเวลาจึงทำให้กรดอินทรีย์ถูกนำไปใช้ในกระบวนการหายใจ กรดที่เยื่อหุ้มเมล็ดโกโก้ส่วนใหญ่เป็นกรดอะซิติก กรดอะซิติกเกิดจากการสังเคราะห์ทางชีวเคมีจากการออกซิเดชั่นของเอทานอลในช่วงแรกของการหมัก (Schwan and Wheals, 2004) ดวงใจ และคณะ (2545) รายงานว่า น้ำสกัดที่ได้จากเยื่อหุ้มเมล็ดโกโก้มีปริมาณกรดทั้งหมดร้อยละ 1.11 และกรดซิตริกร้อยละ 0.30 ปริมาณกรดที่ไทเทรตได้มีปริมาณลดลงเล็กน้อย ความเข้มข้นของกรดอินทรีย์เกิดจากการเผาผลาญน้ำตาลที่มีอยู่ในเยื่อหุ้มเมล็ดโกโก้ ในระหว่างการหมักกรดบางชนิดสามารถแพร่เข้าไปในเมล็ดโกโก้ได้ ส่งผลให้ค่าความเป็นกรดลดลง (Thompson et al., 2001)

3.3 ปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำได้

จากรายงานของ Rojas และคณะ (2020) พบว่า เยื่อหุ้มเมล็ดโกโก้ที่ระดับความสุกที่ 5 (เปลือกผลมีสีเหลือง 60-80 เปอร์เซ็นต์) มีค่าของแข็งที่ละลายน้ำได้เท่ากับ 22 °Bx ซึ่งสอดคล้องกับการทดลองที่มีค่าของแข็งที่ละลายน้ำได้ภายหลังการเก็บรักษา เท่ากับ 24.00–26.00 °Bx ทั้งนี้ค่าของแข็งที่ละลายน้ำได้ของของเยื่อหุ้มเมล็ดโกโก้มีความแตกต่างไปตามสายพันธุ์ สภาพแวดล้อม สภาพอากาศในแหล่งปลูก (Rojas *et al.,* 2020) ในส่วนของค่า TSS ของเยื่อหุ้มเมล็ดโกโก้คงที่ตลอดระยะเวลาการเก็บรักษา อาจเป็นเพราะว่าโกโก้เป็นผลิตผลประเภท Non-climacteric (Motamayor *et al.,* 2002) ภายหลังการเก็บเกี่ยวจึงไม่พบการเปลี่ยนแปลงของปริมาณน้ำตาลเด่นชัด ทั้งนี้อาจเป็นไปได้ว่าการเก็บรักษาโกโก้ในฝักช่วยชะลอการเปลี่ยนแปลงกระบวนการเมทาบอลิซึม ส่งผลให้การเปลี่ยนแปลงทางเคมีเกิดขึ้นช้าลง เมล็ดที่ถูกห่อหุ้มด้วยฝักจึงมีส่วนช่วยป้องกันการสูญเสียน้ำของเยื่อหุ้มเมล็ด ซึ่งโดยปกติพืชที่สูญเสียน้ำมากส่งผลให้มีความเข้มข้นของปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำได้สูงขึ้นได้ภายในเซลล์พืช (สายชล, 2551)

จากผลการศึกษาแสดงให้เห็นว่า ในช่วงฤดูแล้งใบโกโก้ได้รับแสงอย่างต่อเนื่องตลอดฤดูกาลปลูก รวมถึงปริมาณในดินที่มีอยู่อย่างจำกัด อาจเป็นปัจจัยส่งผลให้เกิดการเปลี่ยนแปลงลักษณะโครงสร้างใบ ไม่ว่าจะเป็นใบที่มีขนาดลดลง ความหนาของแผ่นใบเพิ่มขึ้น เพื่อลดอัตราการคายน้ำ ในการศึกษานี้ในฤดูฝนมีขนาดใบและน้ำหนักใบเพิ่มขึ้น ทั้งนี้อาจเป็นผลจากการปรับตัวขยายขนาดแผ่นใบเพื่อตอบสนองหรือเพิ่มประสิทธิภาพในการสังเคราะห์แสงมากขึ้นในช่วงที่มีความเข้มแสงต่ำ อีกทั้งการเปลี่ยนแปลงของฤดูกาลเก็บเกี่ยวส่งผลต่อปริมาณสารพฤกษเคมีในใบ จากการทดลองพบว่า การเก็บเกี่ยวในระยะใบอ่อนในช่วงฤดูฝนส่งผลให้ใบมีการสะสมของสารพฤกษเคมีมากที่สุด ปริมาณน้ำฝนที่เพิ่มขึ้นและอุณหภูมิที่ต่ำลงในช่วงฤดูฝนส่งผลให้อัตราการระเหยลดลง และมีน้ำในเนื้อเยื่อเพิ่มขึ้น ซึ่งจะกระตุ้นกิจกรรมเมทาบอลิซึมหลังการชะงักการทำงานเนื่องจากความแล้งและความเครียดในช่วงฤดูแล้ง ส่งผลให้การเก็บเกี่ยวในช่วงฤดูฝนมีปริมาณสารพฤกษเคมีสูงขึ้น จึงสรุปได้ว่า การเก็บเกี่ยวใบโกโก้ในช่วงฤดูฝนเป็นช่วงที่เหมาะสมที่สุด เนื่องจากเป็นช่วงที่ใบโกโก้มีศักยภาพในการสังเคราะห์สารพฤกษเคมีได้ดีที่สุด รวมถึงมีมวลชีวภาพของใบสูงที่สุด

ฤดูกาลเก็บเกี่ยวยังมีผลต่อการพัฒนาการของผลโกโก้ โดยการเก็บเกี่ยวฝักโกโก้ในช่วงฤดูฝนส่งผลเชิงบวกต่อคุณภาพของผลผลิตโกโก้ ได้แก่ น้ำหนักฝัก ขนาดฝัก ขนาดเมล็ด น้ำหนักเมล็ด ซึ่งเป็นไปได้ว่าการขาดน้ำในช่วงฤดูแล้งเป็นปัจจัยหนึ่งที่มีผลจำกัดการลำเลียงน้ำตาลและไขมันในเมล็ดในช่วงระหว่างการพัฒนาของผล ทั้งนี้เป็นไปได้ว่าอุณหภูมิในอากาศสูงส่งผลให้ฝักโกโก้มีการสุกแก่เร็วขึ้น ผลและฝักโกโก้จึงอาจมีการสะสมอาหารในฝักและเมล็ดไม่เต็มที่เมื่อเทียบกับการพัฒนาการในช่วงฤดูฝน ในส่วนของการสะสมของไขมันในเมล็ดโกโก้ฤดูกาลเก็บเกี่ยวไม่มีผลต่อปริมาณไขมันในเมล็ดโกโก้ เนื่องจากความแปรปรวนของปริมาณไขมันในเมล็ดแปรผันตามพันธุกรรมเป็นหลัก แต่สภาพแวดล้อมอาจมีผลกับองค์ประกอบของกรดไขมันในเมล็ดได้ ทั้งนี้การเก็บเกี่ยวเมล็ดโกโก้ในช่วงฤดูแล้งพบเมล็ดโกโก้แบบ Fully brown ซึ่งเป็นเมล็ดคุณภาพดีมากที่สุด เป็นไปได้ว่าเมล็ดโกโก้ที่เก็บเกี่ยวในช่วงฤดูแล้งมีการสะสมของสารโพลีฟีนอล ซึ่งมีผลเชิงบวกต่อการหมักสมบูรณ์ของเมล็ดโกโก้ ในส่วนของคุณภาพทางประสาทสัมผัสแปรผันไปตามปัจจัยสภาพแวดล้อมในแหล่งปลูก โดยในช่วงฤดูแล้งเมล็ดโกโก้จะมีกลิ่นของเมล็ดแห้งและกลิ่นรสของเมล็ดภายหลังการคั่วที่หลากหลายและซับซ้อนมากกว่าการเก็บในช่วงฤดูฝน ทั้งนี้เป็นไปได้ว่าผลของฤดูกาลเก็บเกี่ยวมีผลต่อปริมาณองค์ประกอบจำพวกโปรตีน โพลีแซกคาไรด์ และโพลีฟีนอล ซึ่งองค์ประกอบเหล่านี้มีผลต่อกลิ่นรสของเมล็ดโกโก้ การเก็บรักษาผลโกโก้ที่อุณหภูมิต่ำส่งผลดีต่อลักษณะทางกายภาพของผลโกโก้มากกว่าการเก็บรักษาที่อุณหภูมิห้อง โดยการเก็บรักษาที่อุณหภูมิต่ำสามารถยืดอายุการเก็บรักษาโกโก้ได้นาน 14 วัน การเก็บรักษาผลโกโก้ที่อุณหภูมิต่ำส่งผลชะลอสูญเสียน้ำหนักของผลโกโก้ ชะลออาการเหี่ยว ชะลอการเกิดสีน้ำตาลที่เปลือกผล ทั้งนี้เกิดจากอุณหภูมิต่ำนำไปสู่การชะลอการเกิดปฏิกิริยาเมทาบอลิซึม รวมถึงการหายใจของผลิตผลลดลง รวมถึงชะลอการเสื่อมสภาพของผนังเซลล์ ซึ่งนำไปสู่การลดการเข้าทำลายของเชื้อจุลินทรีย์ที่ส่งผลให้เกิดการเน่าเสีย

บทที่ 5

สรุป

1. ผลของแหล่งปลูกและฤดูกาลการเก็บเกี่ยวต่อคุณสมบัติทางกายภาพและปริมาณไขมันของโกโก้

น้ำหนักสดของฝัก น้ำหนักสดของเมล็ดโกโก้/ฝัก น้ำหนักสดของเมล็ดโกโก้ น้ำหนักแห้งของเมล็ดโกโก้ มีความแตกต่างทางสถิติอย่างมีนัยสำคัญยิ่งเมื่อเก็บเกี่ยวในช่วงฤดูกาลที่แตกต่างกัน ซึ่งการเก็บเกี่ยวในช่วงฤดูฝนส่งผลให้เมล็ดโกโก้มีคุณลักษณะทางกายภาพที่ดีกว่าการเก็บเกี่ยวในช่วงฤดูแล้ง ในขณะที่การเก็บเกี่ยวผลโกโก้ทั้งสองฤดูกาลมีเปอร์เซ็นต์ไขมันในเมล็ดไม่แตกต่างทางสถิติ

2. ผลของแหล่งปลูกและฤดูกาลการเก็บเกี่ยวต่อความสมบูรณ์ของเมล็ดโกโก้

แหล่งปลูกโกโก้มีอิทธิพลต่อขนาดและความชื้นของเมล็ดโกโก้ ในขณะที่ฤดูกาลเก็บเกี่ยวมีอิทธิพลต่อขนาดของเมล็ดโกโก้ โดยเมล็ดโกโก้ที่เก็บเกี่ยวในช่วงฤดูฝนจากจังหวัดนครศรีธรรมราชมีขนาดใหญ่มากที่สุด ในขณะที่แหล่งปลูกโกโก้จากจังหวัดนครศรีธรรมราชส่งผลให้ความชื้นภายในเมล็ดโกโก้มีค่าสูงที่สุด ในส่วนของดัชนีการหมักสมบูรณ์ของเมล็ด (Fermentation index) พบว่า การวัดค่าสีด้วยเครื่องวัดสีสามารถใช้ประเมินดัชนีการหมักสมบูรณ์ของเมล็ดได้ ค่าสี b* เป็นดัชนีบ่งบอกถึงค่าดัชนีการหมักได้ดีที่สุด โดยค่าความเป็นสีเหลือง (b*) จะเพิ่มขึ้นเมื่อค่าดัชนีการหมักเพิ่มขึ้น ในส่วนของแหล่งปลูกและฤดูกาลเก็บเกี่ยวที่มีเปอร์เซ็นต์เมล็ดโกโก้แบบ Fully brown มากที่สุด คือ การเก็บเกี่ยวเมล็ดโกโก้ จากแหล่งปลูกจังหวัดนครศรีธรรมราชในช่วงฤดูแล้ง (Nk-D)

3. ผลของแหล่งปลูกและฤดูกาลการเก็บเกี่ยวต่อคุณภาพกลิ่นรสและลักษณะผิดปกติของเมล็ดโกโก้

จากการศึกษาจำแนกความผิดปกติที่พบในเมล็ดโกโก้ พบว่า ปัจจัยของฤดูกาลเก็บเกี่ยวมีผลต่อการเกิดความไม่สมบูรณ์ของเมล็ด โดยจากการศึกษาพบเมล็ดงอกจากการเก็บเกี่ยวโกโก้ในช่วงฤดูแล้งสูงที่สุด

คุณภาพทางประสาทสัมผัสแปรผันไปตามปัจจัยสภาพแวดล้อมในแหล่งปลูก โดยกลิ่นรสของเมล็ดโกโก้ได้รับอิทธิพลโดยตรงจากสภาพอากาศ โดยในช่วงฤดูแล้งเมล็ดโกโก้จะมีกลิ่นของเมล็ดแห้งและกลิ่นรสของเมล็ดภายหลังการคั่วที่หลากหลายและซับซ้อนมากกว่าการเก็บในช่วงฤดูฝน

4. ลักษณะทางสัณฐานวิทยาและสรีรวิทยาของใบโกโก้แต่ละระยะพัฒนาการของใบ

การพัฒนาการ ลักษณะทางสัณฐานวิทยา และสรีรวิทยาของใบมีความแตกต่างทางสถิติอย่างมีนัยสำคัญยิ่งกับระยะพัฒนาการของใบโกโก้ โดยใบระยะที่ 4 มีพื้นที่ใบ น้ำหนักสด น้ำหนัก

แห้งของใบมีความสัมพันธ์เชิงบวกกับระยะพัฒนาการของใบ สำหรับใบระยะที่ 2 มีพื้นที่ใบจำเพาะมากที่สุด และใบระยะที่ 4 มีน้ำหนักใบจำเพาะมากที่สุด นอกจากนี้ ใบระยะที่ 1 มีค่าความเป็นสีแดงของใบมากที่สุด ใบระยะที่ 2 มีค่าความเป็นสีเหลืองและมีค่า L* ของใบมากที่สุด ในขณะที่ใบระยะที่ 4 มีค่ามุมสีมากที่สุด โดยความเขียวใบแนวเพิ่มตามระยะพัฒนาการของใบ

5. ผลของฤดูกาลเก็บเกี่ยวและระยะพัฒนาต่อปริมาณสารพฤกษเคมีในใบโกโก้

ระยะพัฒนาการของใบเป็นปัจจัยสำคัญที่ส่งผลต่อปริมาณสารพฤกษเคมีในใบโกโก้ โดยเฉพาะใบในช่วงระยะพัฒนาการที่ 1 ที่เก็บเกี่ยวในช่วงฤดูฝนมีปริมาณสารต้านอนุมูลอิสระ สารประกอบฟีนอลิก ฟลาโวนอยด์ และแทนนินมากที่สุด ดังนั้น ระยะพัฒนาการของใบโกโก้ระยะที่ 1 มีปริมาณสารพฤกษเคมีเหมาะสมต่อการไปใช้ประโยชน์ในด้านต่างๆ

6. ผลของอุณหภูมิและอายุการเก็บรักษาต่อการเปลี่ยนแปลงลักษณะทางสรีรวิทยาและคุณภาพของผลโกโก้

การเก็บรักษาผลโกโก้ที่อุณหภูมิต่ำ (15 ℃) ส่งผลดีต่อลักษณะทางกายภาพของผลโกโก้มากกว่าการเก็บรักษาที่อุณหภูมิห้อง (29 ℃) ในขณะที่การเก็บรักษาที่อุณหภูมิทั้ง 12 ระดับ ไม่มีผลต่อปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำได้1(TSS) ปริมาณกรดที่ไทรตได้ (TA) และสัดส่วนปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำได้ต่อปริมาณกรดที่ไทรตได้ (TSS/TA) ของเยื่อหุ้มเมล็ดโกโก้ การเก็บรักษาที่อุณหภูมิต่ำช่วยยืดอายุการเก็บรักษาได้นาน 14 วัน โดยลักษณะที่แสดงถึงการเสื่อมสภาพของผลโกโก้ภายหลังการเก็บเกี่ยว ได้แก่ อาการเหี่ยว การเกิดสีน้ำตาลของเปลือกผล ซึ่งนำไปสู่การเข้าทำลายของเชื้อจุลินทรีย์ส่งผลให้เกิดการเน่าเสีย การเก็บรักษาที่อุณหภูมิต่ำ โดยช่วยชะลอการเกิดสีน้ำตาลของเปลือกผล อายุการเก็บรักษานานกว่า และลดการสูญเสียน้ำหนักได้ดีกว่าการเก็บรักษาผลโกโก้ที่อุณหภูมิห้อง

เอกสารอ้างอิง

กรมวิชาการเกษตร. 2565. คู่มือการผลิตพันธุ์โกโก้ลูกผสมชุมพร 1. ศูนย์วิจัยพืชสวนชุมพร สถาบันวิจัยพืชสวน. เข้าถึงได้จาก: https://www.doa.go.th (เข้าถึงข้อมูลเมื่อ 23 กรกฎาคม 2565)

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

จำเริญ ยืนยงสวัสดิ์, วิจิตต์ วรรณชิต, ประวิตร โสภโณดร และวิษณุ สมทรัพย์. 2543. หลักการกสิกรรม. ภาควิชาพืชศาสตร์ คณะทรัพยากรธรรมชาติ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ วิทยาเขตหาดใหญ่. เข้าถึงได้จาก: https://natres.psu.ac.th/Department/plantscience/510-111web/index.htm (เข้าถึงข้อมูลเมื่อ 30 มกราคม 2563)

ช่อแก้ว อนิลบล. 2562. การตอบสนองของสารประกอบฟีนอลในพืชภายใต้สภาวะแล้ง. วารสารเกษตรพระจอมเกล้า 37: 729-734.

โชคชัย ธีรกุลเกียรติ. 2550. สารสกัดจากรำข้าว เพื่อใช้ในการยับยั้งการเกิดสีน้ำตาล เนื่องจากเอนไซม์ในผักและผลไม้. กรุงเทพฯ: ภาควิชาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีการอาหาร คณะเกษตร มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

ณชกนก เมธาอัครเดชา และอนงค์ ศรีโสภา. 2563. ปริมาณฟีนอลิกและฤทธิ์การต้านอนุมูลอิสระในชาใบหม่อนและชาผงใบหม่อนชนิดละลายน้ำ. วารสารวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี 9: 230-242.

ณัฐวิทย์ ญาณพิสิฐกุล ระวี เจียรวิภา และสุรชาติ เพชรแก้ว. 2562. การเปลี่ยนแปลงทางสัณฐานและสรีรวิทยาภายใต้สภาวะร่มเงาและตำแหน่งคู่ใบของใบกาแฟโรบัสต้า. วารสารวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี 27(6): 1046-1057.

ดนัย บุณยเกียรติ และนิธิยา รัตนาปนนท์. 2537. การปฏิบัติหลังการเก็บเกี่ยวผักและผลไม้. เชียงใหม่: คณะเกษตรศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่.

ดนัย บุณยเกียรติ. 2556. สรีรวิทยาหลังการเก็บเกี่ยวผลิตผลพืชสวน. กรุงเทพฯ: สำนักพิมพ์โอเดียนสโตร์.

ดวงใจ โอชัยกุล, กุลวดี ทองภูเบศร์, ปริมประภา คณารักษ์, ปรีชา ฉัตรทอง. 2545. สภาวะที่เหมาะสมในการผลิตกรดซิตริกจากน้ำสกัดเยื่อหุ้มเมล็ดโกโก้โดยเชื้อ Aspergillus niger TISTER 3089. วารสารพระจอมเกล้าลาดกระบัง 10: 33-37.

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

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

ผานิต งานกรณาธิการ และปิยนุช นาคะ. 2562. รวบรวมและศึกษาพันธุ์ สายพันธุ์ต่างๆ. เข้าถึงได้จาก: https://www.doa.go.th (เข้าถึงข้อมูลเมื่อ 13 มกราคม 2565)

ผานิต งานกรณาธิการ. 2548. การพัฒนาโกโก้ในประเทศไทย. เข้าถึงได้จาก https://www.doa.go.th/hc/chumphon/wp-content/uploads/2020/02/Cacao-in-Thailand.pdf (เข้าถึงเมื่อ 04 ตุลาคม 2562).

พิมพ์สุมน เจียมบุญศรี. 2562. เภสัชจลนศาสตร์ของสารกลุ่มแทนนิน. วารสารวิทยาศาสตร์ลาดกระบัง 28: 1-14.

พิสมัย อนุสรณ์วาณิช. 2562. องค์ประกอบสารพฤกษเคมีในระยะพัฒนาการของใบกาแฟโรบัสต้าและการใช้ประโยชน์เพื่อการผลิตชาใบกาแฟ. วิทยานิพนธ์ วิทยาศาตรมหาบัณฑิต มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์.

ไพบูลย์ ธรรมรัตน์วาสิก, ไพศาล วุฒิจำนงค์, เสาวลักษณ์ จิตรบรรเจิดกุล, พรชัย ศรีไพบูลย์, สุรสิทธิ์ ประสารปราน และปิยรัตน์ หนูสุก. 2543. โครงการวิจัยและพัฒนาประสิทธิภาพตู้อบเมล็ดโกโก้และการใช้ประโยชน์ของผลพลอยได้. สงขลา: คณะอุตสาหกรรมเกษตร มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์.

ศุภชาติ ธรรมนิติเวทย์. 2562. การสกัดสารสีจากใบพืชสำหรับใช้ในการศึกษาทางสรีรวิทยาของพืช. วารสารเกษตรนเรศวร 16: 73-81.

สังคม เตชะวงค์เสถียร. 2542. วิทยาการหลังเก็บเกี่ยวของพืช. เข้าถึงได้จาก (เข้าถึงข้อมูลเมื่อ 5 กรกฎาคม 2563)

สายชล เกตุษา. 2551. โครงการส่งเสริมกลุ่มวิจัยและพัฒนาสรีรวิทยาหลังการเก็บเกี่ยวของผลิตผลพืชสวน. กรุงเทพฯ: คณะเกษตร มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

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

สุนันทา ข้องสาย และลักษมี วิทยา. 2563. สารประกอบฟีนอลิก สารประกอบฟลาโวนอยด์ และฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระของสารสกัดจากเสม็ดขาวและเสม็ดแดง. รายงานการวิจัย. สาขาศึกษาทั่วไป คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีการประมง มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลศรีวิชัย.

อรพิน ภูมิภมร, จันทนา จินดา, บุณให้ แหลมเพชร และปิยนุช นาคะ. 2540. การหมักโกโก้ III: การปรับปรุงการหมักโกโก้โดยเสริมการหมักด้วยกล้าเชื้อผสมในระดับห้องปฏิบัติการและเกษตรกร. วารสารเกษตรศาสตร์ 31: 620-630.

อรัญ หันพงศ์กิตติกูล, กนกอร อินทราพิเชฐ, พูนสุข ประเสริฐสรรพ และเสาวลักษณ์ จิตรบรรเจิดกุล. 2541. การเตรียมเชื้อเริ่มต้นเพื่อใช้ในอุตสาหกรรมการหมักโกโก้. กรุงเทพฯ : ฐานข้อมูลโครงสร้างพื้นฐานภาครัฐด้านวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี กระทรวงวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี.

Abdulai, L., Jassogne, L., Graefe, S., Asare, R., Asten, P., LaÈderach, P. and Vaast, P. 2018. Characterization of cocoa production, income diversification and shade tree management along a climate gradient in Ghana. Plos One 13: e0195777.

Adu, M. O., Cobbinah, T., Asare, P. A., Yawson, D. O. and Taah, K. J. 2017. Demucilaging freshly stored seeds of cocoa (*Theobroma cacao* L.) improves seedling emergence and growth. Journal of Botany 1938359.

Afoakwa, E. O., Paterson, A., Fowler, M. and Ryan, A. 2008. Flavor formation and character in cocoa and chocolate. Critical Reviews in Food Science and Nutrition 48: 840-857.

Afoakwa, E. O., Budu, A. S., Mensah-Brown, H. and Felix, J. 2014. Effect of roasting conditions on the browning Index and appearance properties of pulp pre-conditioned and fermented cocoa (*Theobroma Cacao*) beans. Journal of Nutritional Health and Food Science 1: 1- 5.

Almeida, A. A. F. and Valle, R. 2010. Cacao ecophysiology of growth and production. Ecophysiology of Tropical Tree Crops 2010: 37-70.

Al-Rimawi, F., Odeh, I. and Abbadi, J. 2014. Effect of geographical region and harvesting date on antioxidant activity, phenolic and flavonoid content of olive Leaves. Food and Nutrition Research 2: 925-930.

Amaral, J. S., Seabra, R. M., Andrade, P. B., Valentao, P., Pereira, J. A. and Ferreres, F. 2004. Phenolic profile in the quality control of walnut (*Juglans regia* L.) leaves. Food Chemistry 88: 373-379.

Aoussa, N., Rhallabi, N., Mhand, R., Manzali, R., Bouksaim, M., Douira, A. and Mellouki, F. 2020. Seasonal variation of antioxidant activity and phenolic content of *Pseudevernia furfuracea. Evernia prunastri* and *Ramalina farinacea* from Morocco. Journal of the Saudi Society of Agricultural Sciences 19: 1-6.

Araujo, Q. R., Baligar, V. C., Loureiro, G. A. H. A., Souza, J. O. and Comerford, N. B. 2017(a). Impact of soils and cropping systems on mineral composition of dry cacao beans. Journal of Soil Science and Plant Nutrition 17: 410-428

Araujo, R. P., Furtado, A. F., Barroso, J. P., Oliveira, R. A., Gomes, F. P., Ahnert, D. and Baligar, V. 2017(b). Molecular and morphophysiological responses cocoa leaves with different concentrations of anthocyanin to variations in light levels. Scientia Horticulturae 224: 188-197.

Bae, H., Kim, S. H., Kim, M. S. and Sicher, R. C. 2008. The drought response of *Theobroma cacao* (cacao) and the regulation of genes involved in polyamine biosynthesis by drought and other stresses. Plant Physiology and Biochemistry 46: 174-188.

Bar, M. and Ori, N. 2014. Leaf development and morphogenesis. Development 141: 4219–4230.

Bariah. S. K., Yang, T. and Fazilah, A. 2017. Colour and antioxidant properties of cocoa bean from pods storage and fermentation using shallow box. International Journal of Science and Technology 3: 295-307.

Callahan, C. W., Elansari, A. and Fenton, D. L. 2019. Psychrometrics. *In* Postharvest Technology of Perishable Horticultural. (ed. Yahia, E.) pp. 271-310. United States: Woodhead Publishing.

Cao, Y., Fang, S., Xaingxiang, F., Shang, X. and Yang, W. 2019. Seasonal variation in phenolic compounds and antioxidant activity in leaves of *Cyclocarya paliurus* (Batal.) Iljinskaja. Forests 10: 1-17.

Caporaso, N., Whitworth, M. B., Fowler, M. S. and Fisk, I. D. 2018. Hyperspectral imaging for non-destructive prediction of fermentation index, polyphenol content and antioxidant activity in single cocoa beans. Food Chemistry 258: 343-351.

Casper, B. B., Forseth, I. N., Kempenich, H., Seltzer, S. and Xavier, K. 2001. Drought prolongs leaf life span in the herbaceous desert perennial *Cryptantha flava*. Functional Ecology 15: 740 –747.

Castro-Alayo, E. M., Idrogo-Vasquez, G., Siche, R. and Cardenas-Toro, F. P. 2019. Formation of aromatic compounds precursors during fermentation of Criollo and Forastero cocoa. Heliyon 5: e01157.

Caverzan, A., Piasecki, C., Chavarria, G., Stewart, C. N. and Vargas, V. 2019. Defenses against ROS in crops and weeds: the effects of interference and herbicides. International Journal of Molecular Sciences 20: 1-20.

Cao, Y., Fang, S., Xaingxiang, F. and Shang, X. 2019. Seasonal Variation in Phenolic Compounds and Antioxidant Activity in Leaves of *Cyclocarya paliurus* (Batal.) Iljinskaja. Forests 10: 1-17.

Centasia. 2019. หน่วยสีพื้นฐานที่ควรรู้ ตอนที่ 2. [Online] Available: http://thecolormeasurement.com (accessed on 19 July 2019).

Chang, X., Lu, Y., Lin, Z. and Qiu, J. 2018. Impact of Leaf Development Stages on Polyphenolics Profile and Antioxidant Activity in *Clausena lansium* (Lour.) Skeels. BioMed Research International 4: 1-8.

Chitwood, D. H., Headland, L. R., Filiault, D. L., Kumar, R., Jiménez-Gómez, J. M., Schrager, A. V., Park, D. S., Peng, J., Sinha, N. R. and Maloof, J. N. 2012. Native environment modulates leaf size and response to simulated foliar shade across wild tomato species. PLoS ONE 7, e29570.

Dambreville, A., Lauri, P. E., Normard, F. and Guedon, Y. 2015. Analysing growth and development of plants jointly using developmental growth stages. Joint analysis of Plant Growth and Development 115: 1-13.

Das, k. and Roychoudhury, A. 2014. Reactive oxygen species (ROS) and response of antioxidants as ROS-scavengers during environmental stress in plants. Environmental Toxicology 2: 1-13.

Daymond, A. J. and Hadley, P. 2008. Differential effects of temperature on fruit development and bean quality of contrasting genotypes of cacao (*Theobroma cacao*). Annals of Applied Biology 153: 175-185.

Doare, F., Ribeyre, F. and Cilas, C. 2020. Genetic and environmental links between traits of cocoa beans and pods clarify the phenotyping processes to be implemented. Scientific Reports 10: 9888.

End, M. J. and Dand, R. 2015. Cocoa beans: chocolate and cocoa industry quality requirements. Available: https://www.cocoaquality.eu (accessed on 25 December 2019)

Fagundes, C., Moraes, K., Pérez-Gago, M. B., Palou, L., Maraschin, M. and Monteiro, A. R. 2015. Effect of active modified atmosphere and cold storage on the postharvest quality of cherry tomatoes. Postharvest Biology and Technology 109: 73-81.

Fine Cacao and Chocolate Institute. 2016. Cacao grader evaluation. Available: https://chocolateinstitute.org/wp-content/uploads/2017/05/FCCI_evaluation_english_1.0.pdf (accessed on 26 December 2019).

Gasulla, F., Herrero, J., Esteban-Carrasco, A., Ros-Barceló, A., Eva, B., Zapata, J.M., Guéra, A., 2012. Photosynthesis in Lichen: Light Reactions and Protective Mechanisms. In: Agricultural and Biological Sciences. Advances in Photosynthesis – Fundamental Aspects, Edited by Dr Mohammad Najafpour, pp. 149–174.

Ghosh, P., Das, C., Biswas, S., Nag, S. K., Dutta, A., Biswas, M., Sil, S., Hazra, L., Ghosh, C., Das, S., Saha, M., Mondal, N., Mandal, S., Ghosh, A., Karmakar, S. and Chatterjee, S. 2020. Phytochemical composition analysis and evaluation of in vitro medicinal properties and cytotoxicity of five wild weeds: A comparative study F1000Research 9: 1-23.

Gould, K. S., Jay-Allemand, C., Logan, B. A., Baissac, Y. and Bidel, L. P. R. 2018. When arefoliar anthocyanins useful to plants? Re-evaluation of the photoprotectionhypothesis using *Arabidopsis thaliana* mutants that differ in anthocyaninaccumulation. Environmental and Experimental Botany 154: 11–12.

Gray, S. B. and Brady, S. M. 2016. Plant developmental responses to climate change. Developmental Biology 419: 64-77.

Handley, L. R. 2016. The effects of climate change on the reproductive development of *Theobʳoma cacao* L. Dissertation, University of Reading.

Hartuti, S., Karyadi, J, N, W., Bintoro, N. and Pranoto, Y. 2019. Characteristics of dried cocoa Beans (*Theobroma cacao* L.) color using response surface methodology. Agro Science 7: 82-92.

Hinneh, M., Semanhyiaa, E., Wallea, D. V., Winnec, A., Tzompa-Sosaa, A. D., Scaloned, G. L. L., Meulenaerd, B. B., Messense, K., Durmec, J. V., Afoakwab, E. O., Coomanc, L. and Dewettinck, K. 2018. Assessing the influence of pod storage on sugar and free amino acid profiles and the implications on some maillard reaction related flavor volatiles in forastero cocoa beans. Food Research International 111: 607-620.

Holm. C. S., Aston. J. W. and Douglas. K. 1993. The Effects of the Organic Acids in Cocoa on the Flavour of Chocolate. Journal of the Science of Food and Agriculture 61: 65-71.

International Cocoa Organization. 2012. Growing cocoa. [Online] Available: https://www.icco.org/about-cocoa/growing-cocoa.html (accessed on 19 August 2019).

Kalve, S., Vos, D. D. and Beemster, G. T. S. 2014. Leaf development: a cellular perspective. Plant Science 5: 1-25.

Karageorgou, P. and Manetas, Y. 2006. The importance of being red when young: anthocyanins and the protection of young leaves of *Quercus coccifera* from insect herbivory and excess light. Tree Physiology 26: 613–621.

Kongor, J. E., Hinneh, M., Walle, D. V., Afoakwa, E. O., Boeckx, P. and Dewettinck, K. 2016. Factors influencing quality variation in cocoa (*Theobroma cacao*) bean flavour profile - A review. Food Research International 82: 44–52.

Lahive, A., Hadley, P. and Daymond, A. 2019. The physiological responses of cacao to the environment and the implications for climate change resilience. Agronomy for Sustainable Development 39: 1-22.

Li, Y., He, N., Hou, J., Xu, L., Liu, C., Zhang, J., Wang, Q., Zhang, X. and Wu, X. 2018. Factors Influencing Leaf Chlorophyll Content in Natural Forests at the Biome Scale. Frontiers in Ecology and Evolution 6: 1-10.

Ling, Q., Huang, W. and Jarvis, P. 2011. Use of a SPAD-502 meter to measure leaf chlorophyll concentration in *Arabidopsis thaliana*. Photosynthesis Research 107: 209–214.

Liu, M., Wang, Z., Li, S., Lu, X., Wang, X. and Han, X. 2017. Changes in specific leaf area of dominant plants in temperate grasslands along a 2500-km transect in northern China. Scientific Reports 7: 1-9.

Loureiro, G. A. H. A., Araujo, Q. R., Sodre, G. A., Valle, R. R., Souza, J. O., Ramos, E. M. L. S., Comerford, N. B. and Grierson, P. F. 2016. Cacao quality: high-lighting selected attributes. Food Reviews International 2016: 23-47.

Meng, L., Martin, K., Liu, J. and Chen, J. 2012. Young leaf protection in the shrub Leea glabra in south-west China: The role of extrafloral nectaries and ants. Arthropod-Plant Interactions 6: 1-120.

Marron, N., Villar, M., Dreyer, E., Deley, D. and Boudouresque, E. 2003. Diversity of leaf traits related to productivity in 31 Populus deltoides × Populus nigra clones. Tree Physiology 25: 425–435.

Motamayor, J. C., Risterucci, A. M., López, P. A., Ortiz, C. F. and Moreno, A. C. 2002. Lanaud Cacao domestication I: the origin of the cacao cultivated by the Mayas. Heredity 89: 380-386.

Mun Hue, S., Boyce, A. N. and Somasundram, C. 2011. Influence of growth stage and variety on the pigment levels in *Ipomoea batatas* (sweet potato) leaves. Agricultural Research 6: 2379-2385.

Munoz, M. S., Cortina, J. R., Vaillant, F. E. and Parra, S. E. 2020. An overview of the physical and biochemical transformation of cocoa seeds to beans and to chocolate: Flavor formation. Journal of Food Science and Nutrition 60: 1593-1613.

Mustiga, G. M., Morrissey, J., Stack, J. C., DuVal, A., Royaert, S., Jansen, J., Bizzotto, C., Villela-Dias, C., Mei, L., Cahoon, E. B., Seguine, E., Marelli, J. P. and Motamayor, J. C. 2019. Identification of climate and genetic factors that control fat content and fatty acid composition of *Theobroma cacao* L. beans. Frontiers in Plant Science 10: 1159.

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

Neither, W., Smit, I., Armengot, L., Schneider, M., Gerold, G. and Pawelzik, E. 2017. Environmental growing conditions in five production systems induce stress response and affect chemical composition of cocoa (*Theobroma cacao* L.) beans. Journal of Agricultural and Food Chemistry 65: 10165-10173.

Neves, J. P., Ferreira, L. F., Simoes, M. P. and Gazarini, L. G. 2007. Primary Production and Nutrient Content in Two Salt Marsh Species, *Atriplex portulacoides* L. and *Limoniastrum monopetalum* L., in Southern Portugal. Estuaries and Coasts 30: 459-468.

Niemenak, N., Cilas, C., Rohsius, C., Bleiholder, H., Meier, U. and Lieberei, R. 2010. Phenological growth stages of cacao plants (*Theobroma* sp.): codification and description according to the BBCH scale. Annals of Applied Biology 156: 13-24.

Niemenak, N., Rohsius, C., Elwers, S., Ndoumou, D. O. and Lieberei, R. 2006. Comparative study of different cocoa (*Theobroma cacao* L.) clones in terms of their phenolics and anthocyanins contents. Journal of Food Composition and Analysis 19: 612-619.

Oracz, J., Zyzelewicz, D., and Nebesny, E. 2015. The content of polyphenolic compounds in cocoa beans (*Theobroma cacao* L.), depending on variety, growing region, and processing operations. Food Science and Nutrition 55: 1176-1192.

Osman, H., Nasarudin, R. and Lee, S. F. 2004. Extracts of cocoa (*Theobroma cacao* L.) leaves and their antioxidation potential. Food Chemistry 86: 41-46.

Othman, A., Ismail, A., Ghani, N. A. and Adenan, I. 2007. Antioxidant capacity and phenolic content of cocoa beans. Food Chemistry 100: 1523–1530.

Packiyasothy, E. V., Jansz, E. R., Senanayake, U. M., Wijesundara, C. and Wickremasinghe, P. 1981. Effect of maturity on some chemical components of cocoa. Journal of the Science of Food and Agriculture 32: 873-876.

Paniagua, A., East, A., Hindmarsh, J. and Heyes, J. 2013. Moisture loss is the major cause of firmness change during postharvest storage of blueberry. Postharvest Biology and Technology 79:13-19.

International Cocoa Organization. 2012. Growing cocoa. [Online] Available: https://www.icco.org/about-cocoa/growing-cocoa.html (accessed on 19 August 2019).

Ramírez, A. M. H., Duque, H. J. S. and Urrea, A. L. 2018. Quality of cocoa (*Theobroma cacao* L.) DNA from foliar tissue at different stages of development. Molecular Genetics and Plant Biotechnology. Acta Agronómica 67: 311-318.

Rojas, K. E., Garcia, M. C., Ceron, I. X., Ortiz, R. E. and Tarazona, M. P. 2020. Identification of potential maturity indicators for harvesting cacao. Heliyon 6: 1-8.

Romero-Cortes, T., Salgado-Cervantes, M. A., García-Alamilla, P., García-Alvarado, M. A., Rodríguez-Jimenes, G. D. C., Hidalgo-Morales, M. and Robles-Olvera, V. 2013. Relationship between fermentation index and other biochemical changes evaluated during the fermentation of Mexican cocoa (Theobroma cacao) beans. Journal of the Science of Food and Agriculture 93: 2596–2604.

Royer, D. L., Wilf, P., Janesko, D. A., Kowalski, E. A. and Dilcher, D. L. (2005). Correlations of climate and plant ecology to leaf size and shape: potential proxies for the fossil record. Am. J. Bot. 92, 1141-1151.

Servant, A., Boulanger, R., Davrieux, F., Pinot, M. N., Tardan, E., Forestier-Chiron, N. and Hue, C. 2018. Assessment of cocoa (*Theobroma cacao* L.) butter content and composition throughout fermentations. Food Research International 107: 675-682.

Shan, B., Cai, Y. Z., Sun, M. and Corke, H. Antioxidant capacity of 26 spice extracts and characterization of their phenolic constituents. Journal of Agricultural and Food Chemistry 53: 7749-7759.

Shi, B., Zhang, W., Li, X. and Pan, X. 2017. Seasonal variations of phenolic profiles and antioxidant activity of walnut (*Juglans sigillata* Dode) green husks. International Journal of Food Properties 20: 2635-2646.

Schwan, R. F. and Wheals, A. E. 2004. The microbiology of cocoa fermentation and its role in chocolate quality. Food Science Nutrition 44: 205–221.

Sukha, D. A., Umaharan, P. and Butler, D. R. 2017. The impact of pollen donor on flavor in cocoa. Horticultural Science 142: 13-19.

Sulaiman, K. B. and Yang, T. A. 2015. Color characteristics of dried cocoa using shallow box fermentation technique. International Scholarly and Scientific 9: 1286-1290.

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.

Swanson, A., Fahselt, D. and Smith, D. 1996. Phenolic levels in *Umbilicaria americana* in relation to enzyme polymorphism, altitude and sampling date. Lichenologist 28: 331–339.

Tagro, G., Dadie, A. T., Koffi, K. P. B. and Dabonne, S. 2010. Performance of different fermentation methods and the effect of their duration on the quality of raw cocoa beans. International Journal of Food Science and Technology 45: 2508-2514.

Tee, Y. K., Balasundram, S. K., Ding, P., Hanif, A. H. M. and Bariah, K. 2018. Determination of optimum harvest maturity and non-destructive evaluation of pod development and maturity in cacao (*Theobroma cacao* L.) using a multiparametric fluorescence sensor. Journal of the Science of Food and Agriculture 99: 1700-1708.

Thomas, B. 2017. Leaf development. Encyclopedia of Applied Plant Sciences 1: 191-197.

Thompson, S. S., Miller, K. B. and Lopez, A. S. 2001. Cocoa and coffee. In: Food Microbiology: Fundamentals and Frontiers. 2nd edn (ed. Doyle, M. P., Beuchat, L. R. and Montville, T. J.) pp. 721–733. Washington: American Society Microbiology Press.

Toit, E. S., Sithole, J. and Vorster, J. 2020. Leaf harvesting severity affects total phenolic and tannin content of fresh and dry leaves of *Moringa oleifera* Lam. trees growing in Gauteng, South Africa. South African Journal of Botany 129: 336-340.

Torres-Moreno, M., Torrescasana, E., Salas-Salvado, J. and Bianch, C. 2014. Nutritional composition and fatty acids profile in cocoa beans and chocolates with different geographical origin and processing conditions. Food Chemistry 166: 125-132.

Vazquez-Ovando, A., Molina-Freaner, F., Nunez-Farfan, J. and Betancur, D. 2015. Classification of cacao beans (*Theobroma cacao* L.) of southern Mexico based on chemometric analysis with multivariate approach. European Food Research and Technology 240: 1117-1128.

Wood, G. A. R. 1985. Environment. *In* Cocoa. pp. 38-40. London: Longman.

Wood, G. A. R. 1985b. Harvest to store. *In* Cocoa. pp. 444-505. London: Longman.

Xiong, D., Chen, J., Yu, T, Gao, W., Ling, X., Li, Y., Peng, S. and Huang, J. 2015. SPAD-based leaf nitrogen estimation is impacted by environmental factors and crop leaf characteristics. PubMed 5: 13389.

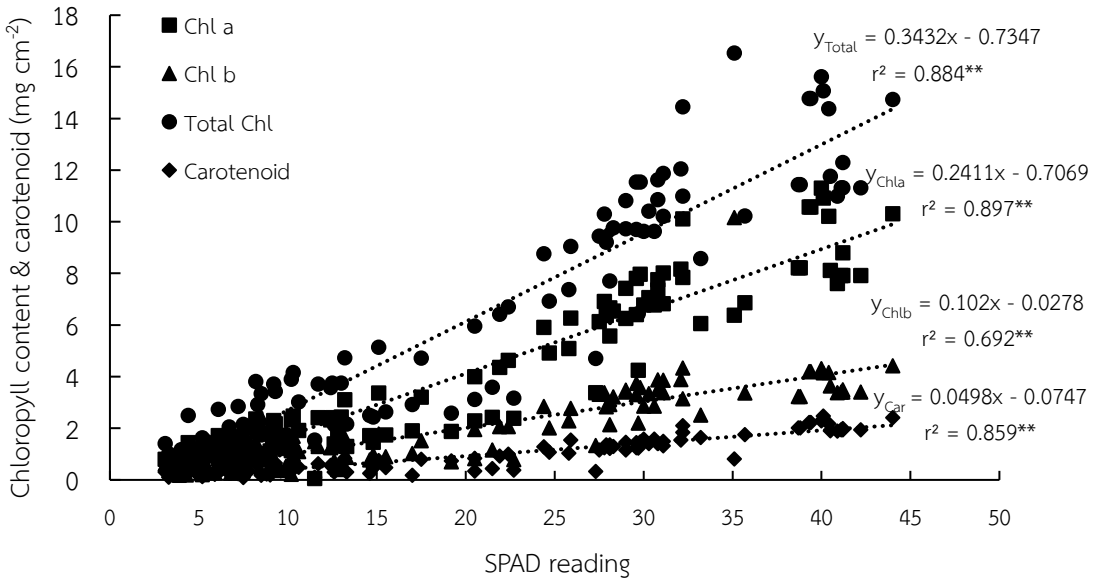
Xu, Z., Rothstein, S. J. 2018. ROS-Induced anthocyanin production provides feedback protection by scavenging ROS and maintaining photosynthetic capacity in Arabidopsis. Plant Signaling & Behavior 13: e1451708.

Weraduwang, S. M., Chen, J., Anozie, F. C., Morales, A., Weisa, S. and Sharkey, T. D. 2015. The relationship between leaf area growth and biomass accumulation in *Arabidopsis thaliana*. Frontiers in Plant Science 6: 1-21.

Yusuk, P., Thumdee, S., Poonlarp, P. B. and Boonyakiat, D. 2018. Effect of Season and Harvesting Time on Quality of Organic Pak Choi (*Brassica rapa* var. chinensis). Thai Journal of Agricultural Science 51: 18-31.

Zhang, K., Zhang, Y., Chen, G. and Tian, J. 2009. Genetic Analysis of Grain Yield and Leaf Chlorophyll Content in Common Wheat. Cereal Research Communications 37: 499-511.

ภาคผนวก



ภาพภาคผนวกที่ 1 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าความเขียวของใบ ต่อปริมาณคลอโรฟิลล์เอ คลอโรฟิลล์บี คลอโรฟิลล์ทั้งหมด และแคโรทีนอยด์ของใบโกโก้ (n=106) ตามระยะพัฒนาการของใบโกโก้ ซึ่งแบ่งเป็น 4 ระยะ โดยระยะที่ 1 (S1) ใบสีแดงจนถึงสีน้ำตาลอ่อน ใบมีอายุ 9-14 วัน ระยะที่ 2 (S2) ใบสีเขียวแกมเหลือง ใบมีอายุ 15-20 วัน ระยะที่ 3 (S3) ใบสีเขียวอ่อน ใบมีอายุอายุ 21-27 วัน และระยะที่ 4 (S4) ใบมีอายุ 28-34 วัน ใบสีเขียวเข้ม

**มีความแตกต่างทางสถิติอย่างมีนัยสำคัญยิ่งที่ระดับ P≤0.01

ค่าที่ได้จากการสุ่มวัดปริมาณคลอโรฟิลล์ด้วยวิธีการสกัดและการวัดด้วยเครื่องวัดความเขียวใบแต่ละระยะพัฒนาการของใบโกโก้ นำมาคำนวณเป็นค่าคลอโรฟิลล์ด้วยสมการ ดังนี้

Chl_a	$y_{Chl,a}$ = 0.2411x + 0.7069	(r^2 = 0.897**)
Chl_b	$y_{Chl,b}$ = 0.102x + 0.0278	(r^2 = 0.692**)
Chl_{total}	$y_{Chl,total}$ = 0.3432x + 0.7347	(r^2 = 0.884**)
Carotenoid	y_{Car} = 0.0498x + 0.0747	(r^2 = 0.859**)

ประวัติผู้เขียน

ชื่อ สกุล นางสาวนัฐริษา ลิ่มจำเริญ
รหัสประจำตัวนักศึกษา 6210620007
วุฒิการศึกษา

วุฒิ	ชื่อสถาบัน	ปีที่สำเร็จการศึกษา
วิทยาศาสตรบัณฑิต (เกษตรศาสตร์)	มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์	2562

ทุนการศึกษา

1. ทุนพระราชทานมูลนิธิชัยพัฒนา (โครงการสนับสนุนทุนการศึกษาของมูลนิธิชัยพัฒนา (ภาคใต้) โครงการผลิตและพัฒนาบุคลากรทางการแพทย์ สาธารณสุข การเกษตร และด้านอื่นๆ)
2. ทุนอุดหนุนงานวิจัยเพื่อวิทยานิพนธ์ บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์

ตำแหน่งและสถานที่ทำงาน

ตำแหน่งนักวิชาการส่งเสริมการเกษตรปฏิบัติการ สำนักงานเกษตรอำเภอสระใคร จังหวัดหนองคาย

การตีพิมพ์เผยแพร่ผลงานวิจัย

นัฐริษา ลิ่มจำเริญ, อดิเรก รักคง, สุภาณี ชนะวีรวรรณ และระวี เจียรวิภา. 2564. ผลของอุณหภูมิและอายุการเก็บรักษาต่อการเปลี่ยนแปลงลักษณะทางสรีรวิทยาและคุณภาพของผลโกโก้. วารสารวิทยาศาสตร์เกษตร 52(1)(พิเศษ): 253-256.