สภาวะการเก็บรักษาใบทองกวาวกับคุณสมบัติต่างๆ ทางกายภาพ

STORAGE CONDITIONING IN PHYSICAL PROPERTIES OF BASTARD TEAK LEAF

นายวุฒิพงษ์ หอมสมบัติ รหัส 58366238

นายอาทิตย์ เสายา รหัส 58366375

ปริญญานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต

สาขาวิชาวิศวกรรมเคมี ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหการ

คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยนเรศวร

ปีการศึกษา 2561

ใบรับรองปริญญานิพนธ์

ชื่อหัวข้อโครงงาน สภาวะการเก็บรักษาใบทองกวาวกับคุณสมบัติต่างๆ ทางกายภาพ

ผู้จัดทำโครงงาน นายวุฒิพงษ์ หอมสมบัติ รหัส 58366238

นายอาทิตย์ เสายา รหัส 58366375

ที่ปรึกษาโครงงาน รองศาสตราจารย์ ดร.สมร หิรัญประดิษฐกุล

สาขาวิชา วิศวกรรมเคมี

ภาควิชา วิศวกรรมอุตสาหการ

ปีการศึกษา 2561

คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยนเรศวร อนุมัติให้ปริญญานิพนธ์ฉบับนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมเคมี

.....ที่ปรึกษาโครงงาน

(รองศาสตราจารย์ ดร.สมร หิรัญประดิษฐกุล)

.....กรรมการ

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ปณัฐพงศ์ บุญนวล)

.....กรรมการ

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.อิศราวุธ ประเสริฐสังข์)

ชื่อหัวข้อโครงงาน สภาวะการเก็บรักษาใบทองกวาวกับคุณสมบัติต่างๆ ทางกายภาพ

ผู้จัดทำโครงงาน นายวุฒิพงษ์ หอมสมบัติ รหัส 58366238

นายอาทิตย์ เสายา รหัส 58366375

ที่ปรึกษาโครงงาน รองศาสตราจารย์ ดร.สมร หิรัญประดิษฐกุล

สาขาวิชา วิศวกรรมเคมี

ภาควิชา วิศวกรรมอุตสาหการ

ปีการศึกษา 2561

บทคัดย่อ

ปริญญานิพนธ์ฉบับนี้มีจุดมุ่งหมายเพื่อทำการศึกษาตัวแปรที่ส่งผลต่อระยะเวลาในการเก็บรักษาใบทองกวาวหลังการเก็บเกี่ยว ได้แก่ สภาวะในการเก็บรักษา แสง และอุณหภูมิที่ใช้ในการเก็บรักษา โดยเก็บรักษาภายในถุงซิปโพลีเอทีลีนจำนวน 1 2 3 และ 4 ชั้น และนำมาเก็บรักษาภายใต้ 2 เงื่อนไขที่แตกต่างกัน (กล่องทึบแสงและกล่องโปร่งแสง) และใช้ 2 ช่วงอุณหภูมิที่แตกต่างกันคือ ระหว่าง 0-4 องศาเซลเซียส และ 4-8 องศาเซลเซียส ศึกษาสมบัติทางกายภาพของใบทองกวาวและถ้วยใบทองกวาว (สี การทนความร้อน การบวมน้ำ และการซึมผ่านไอน้ำ) ทำการตรวจสอบคุณลักษณะทางกายภาพของใบทองกวาว และถ้วยใบทองกวาวด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอน (Scanning electron microscope, SEM) ตรวจสอบการทนความร้อนของถ้วยใบทองกวาวด้วยเครื่องไมโครเวฟ (Microwave) จากการศึกษาพบว่า การเก็บรักษาใบทองกวาวที่ช่วงอุณหภูมิ 0-4 องศาเซลเซียส ภายในกล่องทึบแสงช่วยให้ใบทองกวาวเน่าเสียช้าลง และการใช้ถุงซิปจำนวน 2-3 ชั้นในการเก็บรักษาใบทองกวาวเพียงพอต่อการชะลอการเปลี่ยนสภาพของใบทองกวาวได้ ถ้วยใบทองกวาวบรรจุน้ำที่ 150 มิลลิลิตรและถ้วยใบทองกวาวแห้งสามารถนำเข้าไมโครเวฟ 1200 วัตต์ ได้นาน 5-8 นาที โดยไม่มีการรั่วซึม พบว่าค่าการซึมผ่านไอน้ำของใบทองกวาวมีค่าสูงกว่าถ้วยใบทองกวาว และถ้วยใบทองกวาวมีค่าการบวมน้ำต่อวันเฉลี่ยอยู่ที่ 6 เปอร์เซ็นต์ต่อวัน แต่ไม่เกิดการรั่วซึมแม้จะวางทิ้งไว้ 5 วัน

คำสำคัญ : ใบทองกวาว ถ้วยใบทองกวาว สภาวะการเก็บรักษา การซึมผ่านไอน้ำ การบวมน้ำ

Project Title	STORAGE CONDITIONING IN PHYSICAL PROPERTIES OF BASTARD TEAK LEAF
Author	Mr. Wutthipong Homsombat ID No. 58366238
	Mr. Artid Souya ID No. 58366375
Project Advisor	Assoc. Prof. Dr. Samorn Hirunpraditkoon
Major	Chemical engineering
Department	Industrial engineering
Academic Year	2018

Abstract

This project is aimed to investigate factors affecting the postharvest shelf-life of bastard teak leaf including storage atmosphere condition, lightness and storage temperature. Storage atmospheres condition involved packing the leaves in various layers of sealed polyethylene bag (1, 2, 3 and 4 bag layers) before placing in the dark opaque plastic box and clear transparent plastic box, respectively. Storage temperatures were conducted within the two different temperature ranges of 0-4 ºC and 4-8 ºC. Physical properties of bastard teak leaves and dishes were measured in terms of color change, heat resistance, swelling characteristics and water vapor transmission rate. Physical characteristics of bastard teak leaves and dishes were also examined by using Scanning Electron Microscope (SEM). Based on the microwave useable test of dishes the experimental results showed that the optimum storage temperature was at a range of 0-4 ºC within 2-3 bag layers in the dark plastic box. Storaging in the dark box could better retard the spoiled leaves than that in the clear box. Based on the microwave test the bastard teak dishes with 150 ml of water and the unfilled dishes were able to use in a microwave with the power of 1200 W for the 5-8 min with no leakage. The water vapor transmission rate of leaves was higher than that of the value of dishes. The swelling measurement showed that the average swelling was 6% per day with no leakage after 5 days.

Keywords: Bastard teak leaves, Bastard teak leaf dishes, Storage conditioning, Water vapor transmission, Swelling degree

กิตติกรรมประกาศ

ปริญญานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดีนั้นด้วยความอนุเคราะห์และความช่วยเหลือของหลายๆ ฝ่าย คณะผู้จัดทำโครงงานขอขอบพระคุณ รองศาสตราจารย์ ดร.สมร หิรัญประดิษฐกุล อาจารย์ที่ปรึกษาโครงงาน และครูช่างประจำภาควิชาอุตสาหการ ที่ให้ความช่วยเหลือตลอดระยะเวลาการศึกษาโครงงานนี้ รวมไปถึงนักวิทยาศาสตร์ประจำห้องปฏิบัติการทางวิศวกรรมเคมี ที่ได้ให้คำแนะนำในการทำการทดลอง และวิธีการใช้งานอุปกรณ์การทำโครงงานต่างๆ นอกจากนี้ คณะผู้จัดทำขอขอบพระคุณผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ปณัฐพงศ์ บุญนวล และผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.อิศราวุธ ประเสริฐสังข์ อาจารย์ประจำสาขาวิชาวิศวกรรมเคมี ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหการ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยนเรศวร ที่ได้สละเวลาอันมีค่ายิ่ง เพื่อมาเป็นคณะกรรมการในการสอบโครงงานนี้

สุดท้ายนี้ขอขอบพระคุณบิดาและมารดาผู้จัดทำเป็นอย่างยิ่งที่ให้กำลังใจอย่างดีเสมอมา รวมถึงผู้ที่มีส่วนช่วยเหลือสนับสนุนด้านต่างๆ ทุกท่านที่ไม่ได้กล่าวนามมา ณ ที่นี้ ด้วยคุณค่าและประโยชน์อันพึงจะมีจากการศึกษาปริญญานิพนธ์ในครั้งนี้ ผู้วิจัยขอมอบคุณความดีทั้งหมดให้แก่ผู้มีพระคุณทุกท่าน ผู้วิจัยหวังว่าปริญญานิพนธ์ฉบับนี้จะเป็นประโยชน์ต่อผู้สนใจด้านการพัฒนาสมบัติทางกายภาพของภาชนะบรรจุจากใบทองกวาว ถ้วยใบทองกวาว หรือในงานอื่นๆ ที่สอดคล้องกันไม่มากก็น้อย

ผู้จัดทำโครงงาน
นายวุฒิพงษ์ หอมสมบัติ
นายอาทิตย์ เสายา

เมษายน พ.ศ. 2562

สารบัญ

หน้า

ใบรับรองปริญญานิพนธ์.....ก
บทคัดย่อ.....ข
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ (Abstract).....ค
กิตติกรรมประกาศ.....ง
สารบัญ.....จ
สารบัญภาพ.....ช
สารบัญตาราง.....ญ

บทที่ 1 บทนำ.....1
1.1 ที่มาและความสำคัญของโครงงาน.....1
1.2 วัตถุประสงค์ของโครงงาน.....3
1.3 ขอบเขตของการดำเนินโครงงาน.....3
1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ.....3
1.5 ตัวแปรที่เกี่ยวข้อง.....4

บทที่ 2 ทฤษฎีเบื้องต้นและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง.....6
2.1 โครงสร้างใบไม้ (Structure of leaf).....6
2.2 การเรียงตัวของใบไม้ (Venation).....8
2.3 ใบเดี่ยวและใบประกอบ.....10
2.4 ทองกวาว (Bastard teak).....11
2.5 การปฏิบัติหลังการเก็บเกี่ยว (Postharvest Handling).....13
2.6 ปัจจัยที่มีผลต่ออายุหลังการเก็บเกี่ยว.....15
2.7 การหายใจของพืช (Respiration).....16
2.8 โรคพืช.....16

สารบัญ (ต่อ)

2.9 ธาตุอาหารที่จำเป็นสำหรับพืช (Essential element).....20
2.10 การวิเคราะห์โครงสร้างด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอน.....21
2.11 อัตราการซึมผ่านของไอน้ำ (Water Vapor Transmission Rate).....22
2.12 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง.....23

บทที่ 3 วิธีดำเนินการโครงงาน.....27
3.1 อุปกรณ์ เครื่องมือและสารเคมีที่ใช้ในงานวิจัย.....27
3.2 ขั้นตอนการดำเนินงานวิจัย.....28

บทที่ 4 ผลการทดลองและวิเคราะห์ผลการทดลอง.....33
4.1 ผลการศึกษาตัวแปรที่มีผลต่อระยะเวลาในการเก็บรักษาใบทองกวาว.....33
4.2 ผลการศึกษาค่าการซึมผ่านไอน้ำของใบทองกวาว ถ้วยใบทองกวาว และถุงซิปจำนวน 1 2 3 และ 4 ชั้น.....41
4.3 ผลการศึกษาสมบัติทางกายภาพของใบทองกวาว และถ้วยใบทองกวาว.....43

บทที่ 5 สรุปผลการทดลอง.....49
5.1 การศึกษาตัวแปรที่มีผลต่อระยะเวลาในการเก็บรักษาใบทองกวาว.....49
5.2 การศึกษาค่าการซึมผ่านไอน้ำของใบทองกวาว ถ้วยใบทองกวาว และถุงซิป.....49
5.3 การศึกษาสมบัติทางกายภาพของใบทองกวาว และถ้วยใบทองกวาว.....49

เอกสารอ้างอิง.....51
ภาคผนวก ก (ผลการทดลองเพิ่มเติม).....55
ภาคผนวก ข (อุปกรณ์และเครื่องมือ).....66
ประวัติผู้จัดทำ.....70

สารบัญภาพ

หน้า

รูปที่ 2.1 ส่วนประกอบของใบทองกวาว 6
รูปที่ 2.2 ก้านใบทองกวาว (Petiole) 7
รูปที่ 2.3 หูใบทองกวาว (Stipule) 8
รูปที่ 2.4 เส้นใบขนานเรียงตามความยาวของใบ (Longitudinal parallel venation) 8
รูปที่ 2.5 เส้นใบขนานเรียงตามขวางของใบ (Transverse parallel venation) 9
รูปที่ 2.6 ลักษณะใบเลี้ยงคู่ (ก) แบบตาข่ายขนนก และ (ข) แบบตาข่ายรูปมือ 9
รูปที่ 2.7 ลักษณะใบเดี่ยว 10
รูปที่ 2.8 ลักษณะใบประกอบแบบขนนก 10
รูปที่ 2.9 ลักษณะใบประกอบรูปมือ 11
รูปที่ 2.10 ลักษณะใบทองกวาวและดอกทองกวาว 11
รูปที่ 2.11 โรคจุดสนิมของดอกกล้วยไม้ 18
รูปที่ 2.12 โรคราแป้งขาวของใบทองกวาว 18
รูปที่ 2.13 โรคราสนิมเหล็กของใบทองกวาว 19
รูปที่ 2.14 โรคใบจุดของใบทองกวาว 19
รูปที่ 2.15 อาการใบเหลืองจากการขาดธาตุไนโตรเจนของใบทองกวาว 21
รูปที่ 2.16 กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอน รุ่น Leo1455VP 22
รูปที่ 3.1 ขั้นตอนการดำเนินการวิจัย 29
รูปที่ 3.2 ขั้นตอนการศึกษาการเก็บรักษาใบทองกวาว 30
รูปที่ 3.3 ขั้นตอนการศึกษาความสามารถในการซึมผ่านของไอน้ำ 31
รูปที่ 3.4 แผนภาพขั้นตอนการศึกษาสมบัติทางกายภาพของใบทองกวาวเพื่อทดสอบโครงสร้างของใบทองกวาว 32
รูปที่ 4.1 อัตราการหายใจและการผลิตเอทีลีนของผลอะโวกาโด 35
รูปที่ 4.2 การเก็บรักษาใบทองกวาวในกล่องดำและกล่องใสเวลา 3 วัน 35
รูปที่ 4.3 การเก็บรักษาใบทองกวาวในกล่องดำและกล่องใสเวลา 10 วัน 36

สารบัญภาพ(ต่อ)

รูปที่ 4.4 การเก็บรักษาใบทองกวาวในกล่องดำและกล่องใสเวลา 20 วัน....36
รูปที่ 4.5 การเก็บรักษาใบทองกวาวในกล่องดำและกล่องใสเวลา 30 วัน....37
รูปที่ 4.6 การเก็บรักษาในถุงซิป 2 ชั้น และ 3 ชั้นเวลา 3 วัน....38
รูปที่ 4.7 การเก็บรักษาในถุงซิป 2 ชั้น และ 3 ชั้นเวลา 10 วัน....39
รูปที่ 4.8 การเก็บรักษาในถุงซิป 2 ชั้น และ 3 ชั้นเวลา 20 วัน....39
รูปที่ 4.9 การเก็บรักษาในถุงซิป 2 ชั้น และ 3 ชั้นเวลา 30 วัน....40
รูปที่ 4.10 การเก็บรักษาในถุงซิป 4 ชั้นเวลา 30 วัน....40
รูปที่ 4.11 ผลการทดลองการซึมผ่านไอน้ำของใบทองกวาวสดและใบทองกวาวขึ้นรูป....42
รูปที่ 4.12 ผลการทดลองการซึมผ่านไอน้ำของถุงซิป จำนวน 1 2 3 และ 4 ชั้น....42
รูปที่ 4.13 ภาพขยายหลังใบทองกวาว (มันวาว) ก. ก่อนทำการขึ้นรูป ข. หลังทำการขึ้นรูป....43
รูปที่ 4.14 ภาพขยายท้องใบทองกวาว ก. ก่อนทำการขึ้นรูป ข. หลังทำการขึ้นรูป....44
รูปที่ 4.15 ภาพขยายตัดขวางของใบทองกวาว ก. ก่อนทำการขึ้นรูป ข. หลังทำการขึ้นรูป....44
รูปที่ 4.17 ผลการทดลองการบวมน้ำของถ้วยใบทองกวาวโดยใช้น้ำส้มสายชู....46
รูปที่ 4.18 ผลการทดลองการบวมน้ำของถ้วยใบทองกวาวโดยใช้ผงฟูละลายน้ำ....47
รูปที่ 4.20 การทดสอบการทนความร้อนของถ้วยใบทองกวาวแบบไม่ใส่น้ำ....48
รูปที่ ก.1 การเก็บรักษาใบทองกวาวในถุงซิป 2 ชั้น และเก็บในกล่องทึบแสง (กล่องดำ) เป็นเวลา 30 วัน ช่วงอุณหภูมิ 0-4 องศาเซลเซียส....59
รูปที่ ก.2 การเก็บรักษาใบทองกวาวในถุงซิป 3 ชั้น และเก็บในกล่องทึบแสง (กล่องดำ) เป็นเวลา 30 วัน ช่วงอุณหภูมิ 0-4 องศาเซลเซียส....59
รูปที่ ก.3 การเก็บรักษาใบทองกวาวในถุงซิป 2 ชั้น และเก็บในกล่องโปร่งแสง (กล่องใส) เป็นเวลา 7 วัน ช่วงอุณหภูมิ 4-8 องศาเซลเซียส....60
รูปที่ ก.4 การเก็บรักษาใบทองกวาวในถุงซิป 2 ชั้น และเก็บในกล่องทึบแสง (กล่องดำ) เป็นเวลา 7 วัน ช่วงอุณหภูมิ 4-8 องศาเซลเซียส....60

สารบัญภาพ(ต่อ)

รูปที่ ก.5 การเก็บรักษาใบทองกวาวในถุงซิป 2 ชั้น และเก็บในกล่องโปร่งแสง (กล่องใส) เป็นเวลา 10 20 และ 30 วัน ช่วงอุณหภูมิ 0-4 องศาเซลเซียส 61
รูปที่ ก.6 การเก็บรักษาใบทองกวาวในถุงซิป 2 ชั้น และเก็บในกล่องทึบแสง (กล่องดำ) เป็นเวลา 10 20 และ 30 วัน ช่วงอุณหภูมิ 0-4 องศาเซลเซียส 61
รูปที่ ก.7 การเก็บรักษาใบทองกวาวในถุงซิป 3 ชั้น และเก็บในกล่องทึบแสง (กล่องดำ) เป็นเวลา 10 20 และ 30 วัน ช่วงอุณหภูมิ 0-4 องศาเซลเซียส.....62
รูปที่ ก.8 ถ้วยใบทองกวาวหลังเข้าไมโครเวฟกำลังไฟ 1200 วัตต์ เป็นเวลา 3 นาที 62
รูปที่ ก.9 ถ้วยใบทองกวาวหลังเข้าไมโครเวฟกำลังไฟ 1200 วัตต์ เป็นเวลา 5 นาที 63
รูปที่ ก.10 ถ้วยใบทองกวาวหลังเข้าไมโครเวฟกำลังไฟ 1200 วัตต์ เป็นเวลา 10 นาที.....63
รูปที่ ก.11 ถ้วยใบทองกวาวก่อนเข้าไมโครเวฟ.....64
รูปที่ ก.12 ถ้วยใบทองกวาวใส่น้ำหลังเข้าไมโครเวฟกำลังไฟ 1200 วัตต์ เป็นเวลา 5 นาที.....64
รูปที่ ก.13 ถ้วยใบทองกวาวใส่น้ำหลังเข้าไมโครเวฟกำลังไฟ 1200 วัตต์ เป็นเวลา 10 นาที.....65
รูปที่ ข. 1 กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอน รุ่น LEO-1455VP 67
รูปที่ ข. 2 เตาไมโครเวฟ รุ่น R-390I 67
รูปที่ ข. 3 ตู้เย็น 68
รูปที่ ข. 4 เครื่องวัดความชื้น รุ่น PMB-53 68
รูปที่ ข. 5 เวอร์เนียร์ดิจิตอล.....69
รูปที่ ข. 6 ไมโครมิเตอร์ดิจิตอล 69

สารบัญตาราง

หน้า

ตารางที่ 1.1 ขั้นตอนและแผนการดำเนินโครงงาน.....5
ตารางที่ 4.1 ผลการทดลองการซึมผ่านไอน้ำของใบทองกวาว และถ้วยใบทองกวาว.....41
ตารางที่ 4.2 ผลการทดลองการซึมผ่านไอน้ำของจำนวนชั้นถุงซิป.....42
ตารางที่ ก. 1 น้ำหนักที่เปลี่ยนแปลงไปในแต่ละวันของชิ้นตัวอย่างในการทดสอบการซึมผ่านของไอน้ำของใบทองกวาว.....56
ตารางที่ ก. 2 น้ำหนักที่เปลี่ยนแปลงไปในแต่ละวันของชิ้นตัวอย่างในการทดสอบการซึมผ่านของไอน้ำของถุงซิป 1 ชั้น และ 2 ชั้น.....56
ตารางที่ ก. 3 น้ำหนักที่เปลี่ยนแปลงไปในแต่ละวันของชิ้นตัวอย่างในการทดสอบการซึมผ่านของไอน้ำของถุงซิป 3 ชั้น และ 4 ชั้น.....57
ตารางที่ ก. 4 น้ำหนักที่เปลี่ยนแปลงไปในแต่ละวันของชิ้นตัวอย่างในการทดสอบการบวมน้ำ.....58

บทที่ 1
บทนำ

1.1 ที่มาและความสำคัญของโครงงาน

ปัจจุบันประเทศไทยต้องประสบกับปัญหาขยะเพิ่มสูงขึ้นทุกปี ซึ่งจากข้อมูลในปี 2559 พบว่าประเทศไทยมีปริมาณการเกิดขยะรวมกันทั้งประเทศ 27.06 ล้านตันต่อปี หรือคิดเป็นประมาณ 74,130 ตันต่อวัน ซึ่งเป็นปริมาณขยะจำนวนมาก และเมื่อคำนวณการใช้ขยะต่อคน พบว่า ในหนึ่งวันจะมีการใช้ขยะ 1.14 กิโลกรัมต่อคนเลยทีเดียว ซึ่งที่กล่าวมานั้นยังไม่รวมขยะตกค้างสะสมจากการกำจัดไม่หมด ที่เพิ่มขึ้นทุกปีไม่ต่ำกว่าปีละ 10 ล้านตัน (สุณี, 2560) โดยขยะแบ่งเป็นประเภทหลักๆ ได้ 4 ประเภท (กรมควบคุมมลพิษ, 2559) ประเภทที่ 1 คือ ขยะอินทรีย์หรือขยะที่ย่อยสลายได้เอง คิดเป็นสัดส่วน 64 เปอร์เซ็นต์จากขยะทั้งหมด ซึ่งส่วนใหญ่มาจากอาหารเหลือทิ้ง ประเภทที่ 2 คือ ขยะรีไซเคิล เป็นขยะที่สามารถนำกลับมาหลอมใช้ใหม่ได้หากมีการแยกขยะอย่างถูกต้อง และทำความสะอาดก่อนทิ้ง โดยคิดเป็นสัดส่วน 30 เปอร์เซ็นต์ของขยะทั้งหมด ประเภทที่ 3 คือ ขยะทั่วไปซึ่งย่อยสลายเองตามธรรมชาติได้ยาก และนำกลับไปรีไซเคิลแล้วไม่คุ้มทุน ต้องนำไปกำจัด ได้แก่ ซองขนม กล่องโฟม ถุงพลาสติก ฯลฯ คิดเป็นสัดส่วน 3 เปอร์เซ็นต์ของขยะทั้งหมด และประเภทที่ 4 คือ ขยะอันตราย เป็นขยะที่ต้องนำไปกำจัดหรือบำบัดด้วยวิธีเฉพาะเท่านั้น เช่น หลอดไฟ ถ่านไฟฉาย ยาฆ่าแมลง กระป๋องสี และขยะจากภาคการเกษตรอุตสาหกรรม คิดเป็นสัดส่วน 3 เปอร์เซ็นต์ของขยะทั้งหมด

ด้วยสภาพสังคมในปัจจุบันที่ส่งผลให้ผู้คนจำเป็นต้องเร่งรีบในทุกๆ ด้านทั้งการเดินทาง การทำงาน หรือในการใช้ชีวิตประจำวันที่ต้องแข่งกับเวลาอยู่เสมอ รวมทั้งผู้คนเน้นความสะดวกสบาย ประหยัดค่าใช้จ่าย และประหยัดเวลา โดยเฉพาะเรื่องการกินอยู่ ที่ชีวิตของคนทุกวันนี้ ไม่มีโอกาสมีทางเลือกมากนัก การหาของรับประทานที่มีความปลอดภัย ไร้สารพิษ ถือเป็นเรื่องที่ยากมาก เพราะเดี๋ยวนี้ในสังคมเน้นหลัก “เร็ว อิ่ม ถูก” จึงส่งผลให้อาหารจำพวกแกงถุง ข้าวกล่อง เป็นสิ่งที่ผู้คนขาดไม่ได้ แม้จะทราบว่าการกินอาหารเหล่านี้ จะนำมาซึ่งภัยเงียบ อันเนื่องมาจากการรับประทานอาหารที่บรรจุในภาชนะกล่องโฟม (วิไลวรรณ, 2558) หากรับประทานอาหารจากกล่องโฟม อย่างน้อยวันละ 1 มื้อ ติดต่อกันนาน 10 ปี จะมีโอกาสเป็นมะเร็งสูงกว่าคนปกติถึง 6 เท่า ที่สำคัญกล่องโฟมทนความร้อนได้เพียง 70 องศาเซลเซียส แต่

สิ่งที่เรารับประทานกันเป็นประจำ เช่น ข้าวผัด หรืออาหารตามสั่งต่างๆ ล้วนมีความร้อนเกินค่ามาตรฐานที่กำหนด ส่งผลให้สารเคมีอันตราย ได้แก่ สารสไตรีน (Stylene) สามารถปนเปื้อนออกมากับอาหารได้ ปัจจุบันมีขยะพลาสติกและโฟม เพิ่มขึ้นจำนวนมาก ซึ่งจากการสำรวจปริมาณขยะประเภทโฟม พบว่าในช่วงปี 2555 - 2559 มีปริมาณขยะประเภทโฟมเพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่องจาก 56 ล้านใบต่อวัน เป็น 61 ล้านใบต่อวัน เมื่อมาดูข้อมูลในปี 2559 มีปริมาณขยะประเภทโฟมเกิดขึ้นประมาณ 1.3 ล้านตันต่อปีเฉลี่ยวันละ 3,704 ตันต่อวัน รวมประมาณ 61 ล้านใบต่อวัน (กระทรวงวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี, 2561) ซึ่งหากจะกำจัดขยะที่เกิดขึ้นเหล่านี้ โดยใช้วิธีการฝังกลบ จะต้องใช้พื้นที่เป็นจำนวนมาก และด้วยวิธีการฝังกลบเองก็จะต้องใช้พื้นที่มากกว่าการกำจัดขยะปกติอยู่แล้วถึง 3 เท่า จึงทำให้วิธีนี้เป็นไปได้ค่อนข้างยากลำบาก และหากจะกำจัดโดยวิธีการนำไปเผา จะส่งผลให้เกิดภาวะก๊าซเรือนกระจกที่เป็นมลพิษต่อสิ่งแวดล้อม ส่งผลต่อการเกิดภาวะโลกร้อน (Global warming) ต่อเนื่องเป็นลูกโซ่และสำหรับวิธีการนำกลับมาใช้ใหม่โดยผ่านกระบวนการรีไซเคิลนั้นเหมือนจะเป็นวิธีที่ดีที่สุด แต่ก็ยังเกิดปัญหาที่บรรจุภัณฑ์ประเภทโฟม มีขั้นตอนการนำกลับมาใช้ใหม่ที่ยุ่งยากและต้องใช้ค่าใช้จ่ายสูง โดยจะต้องทำการคัดแยกประเภทขยะ ก่อนที่จะเข้าสู่กระบวนการรีไซเคิล จึงทำให้ในปัจจุบันมีการนำกลับเข้าสู่โรงงานเพื่อรีไซเคิลเพียงบางส่วนเท่านั้น ส่งผลให้เกิดขยะประเภทนี้คงอยู่ในสภาพแวดล้อมเป็นจำนวนมาก ผลิตภัณฑ์ด้านบรรจุภัณฑ์อาหารจากใบไม้สดจึงจัดได้ว่าเป็นผลิตภัณฑ์ที่สามารถแก้ปัญหาปริมาณขยะพลาสติกและโฟมได้เป็นอย่างดี

ในงานวิจัยนี้จึงมีความสนใจที่จะทำการศึกษาการเก็บรักษาวัตถุดิบและการพัฒนาสมบัติทางกายภาพของภาชนะบรรจุจากใบทองกวาว ซึ่งต่อไปนี้จะใช้คำว่าถ้วยใบทองกวาว เนื่องด้วยวัตถุดิบที่ใช้เป็นวัตถุดิบจากธรรมชาติ มีอายุการเก็บรักษาสั้น มีอาการเน่าเสีย แห้ง และเปลี่ยนสีง่าย ไม่สามารถนำไปผลิตเป็นภาชนะบรรจุอาหารได้ดี เพื่อเป็นการแก้ปัญหาดังกล่าว งานวิจัยนี้จึงมีวัตถุประสงค์หลักเพื่อศึกษาตัวแปรที่ส่งผลถึงระยะเวลาการเก็บรักษาวัตถุดิบ ซึ่งได้แก่ อุณหภูมิของตู้เย็นที่ใช้ในการเก็บรักษาใบทองกวาว ถ้วยใบทองกวาว และขั้นตอนในการเก็บรักษาใบทองกวาวให้ได้นานที่สุด และศึกษาสมบัติทางกายภาพของใบทองกวาว และถ้วยใบทองกวาว

1.2 วัตถุประสงค์ของโครงงาน

1.2.1 ศึกษาตัวแปรที่มีผลต่อระยะเวลาในการเก็บรักษาใบทองกวาว ได้แก่ อุณหภูมิที่ใช้ในการเก็บรักษา กล่องทึบแสง โปร่งแสง และจำนวนชั้นของถุงซิปที่ใช้ในการเก็บรักษา

1.2.2 ศึกษาสมบัติทางกายภาพของใบทองกวาว และถ้วยใบทองกวาว ได้แก่ สี ความเรียบ การทนต่อความร้อนและการบวมน้ำ

1.2.3 ศึกษาค่าการซึมผ่านไอน้ำของใบทองกวาว ถ้วยใบทองกวาว และถุงซิป

1.3 ขอบเขตของการดำเนินโครงงาน

1.3.1 เตรียมใบทองกวาวที่มีลักษณะไม่อ่อนจนเกินไปและไม่แก่จนเกินไป โดยไม่จำกัดว่าจะต้องเป็นใบที่สมบูรณ์แต่จะต้องเป็นใบที่ไม่เป็นโรค

1.3.2 ศึกษาช่วงอุณหภูมิของตู้เย็นที่ใช้ในการเก็บรักษาใบทองกวาวที่ 2 ช่วงอุณหภูมิตามสมรรถนะของตู้เย็นที่ใช้งาน คือช่วงอุณหภูมิ 0-4 และ 4-8 องศาเซลเซียส

1.3.3 ศึกษาวิธีการเก็บรักษาใบทองกวาวภายในตู้เย็นโดยแบ่งวิธีการเก็บรักษาออกเป็นวิธีต่างๆ

1.3.4 ศึกษาสมบัติทางกายภาพของใบทองกวาวและถ้วยใบทองกวาว

1.3.5 ศึกษาการบวมน้ำ และการทนความร้อนของถ้วยใบทองกวาว

1.3.6 ศึกษาการซึมผ่านไอน้ำของใบทองกวาว ถ้วยใบทองกวาว และถุงซิป

1.3.7 วิเคราะห์ผลการทดลองและสรุป

1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1.4.1 เพื่อนำสิ่งที่ได้เรียนรู้ไปใช้ประโยชน์ในการลดปัญหาสิ่งแวดล้อม

1.4.2 เข้าใจกระบวนการและหลักการทำงานในการขึ้นรูปถ้วยใบทองกวาว

1.4.3 เข้าใจปัญหาที่เกิดขึ้นจากการขึ้นรูปถ้วยใบทองกวาว

1.5 ตัวแปรที่เกี่ยวข้อง

1.5.1 ตัวแปรต้น

1.5.1.1 อุณหภูมิของตู้เย็นที่ใช้เก็บรักษา ช่วงอุณหภูมิ 0-4 และ 4-8 องศาเซลเซียส

1.5.1.2 วิธีการเก็บรักษา

- บรรจุในถุงซิปจำนวน 1 2 3 และ 4 ชั้น
- บรรจุในกล่องทึบแสง และโปร่งแสง

1.5.1.3 ระยะเวลาในการเก็บรักษา

- 3 วัน
- 10 วัน
- 20 วัน
- 30 วัน

1.5.1.4 วิธีทดสอบการซึมผ่าน

- ปิดด้วยใบทองกวาวจำนวน 1 ชั้น และ 2 ชั้น
- ปิดด้วยถุงซิปจำนวน 1 ชั้น 2 ชั้น 3 ชั้น และ 4 ชั้น

1.5.2 ตัวแปรตาม

1.5.2.1 สี และลักษณะของใบทองกวาวหลังจากการเก็บรักษา

1.5.2.2 ค่าสมบัติของใบทองกวาวและถ้วยใบทองกวาวที่ได้จากการทดสอบด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอน

1.5.2.3 สีของใบทองกวาว ลักษณะของถ้วยใบทองกวาวหลังจากการเข้าไมโครเวฟ

1.5.2.4 ค่าการซึมผ่านไอน้ำของใบทองกวาว และถุงซิป

1.5.3 ตัวแปรควบคุม

1.5.3.1 คัดเลือกใบทองกวาวที่มีลักษณะไม่อ่อนจนเกินไป และไม่แก่จนเกินไป

ตารางที่ 1.1 ขั้นตอนและแผนการดำเนินโครงงาน

ลำดับ	การดำเนินงานวิจัย	ส.ค.	ก.ย.	ต.ค.	พ.ย.	ธ.ค.	ม.ค.	ก.พ.	มี.ค.	เม.ย
1	ศึกษาทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง									
2	เตรียมวัตถุดิบในการทดลองโครงงาน									
3	ทดลองการเก็บรักษาใบทองกวาว									
4	ทดลองหาค่าสมบัติทางกายภาพของใบทองกวาวและถ้วยใบทองกวาว									
5	ทดลองการซึมผ่านไอน้ำของใบทองกวาว ถ้วยใบทองกวาว และถุงซิป									
6	ทดลองการบวมน้ำของถ้วยใบทองกวาว									
7	ติดตามและวิเคราะห์ผลการดำเนินโครงงาน									
8	สรุปผลการดำเนินโครงงาน									
9	จัดทำรูปเล่มโครงงานฉบับสมบูรณ์									

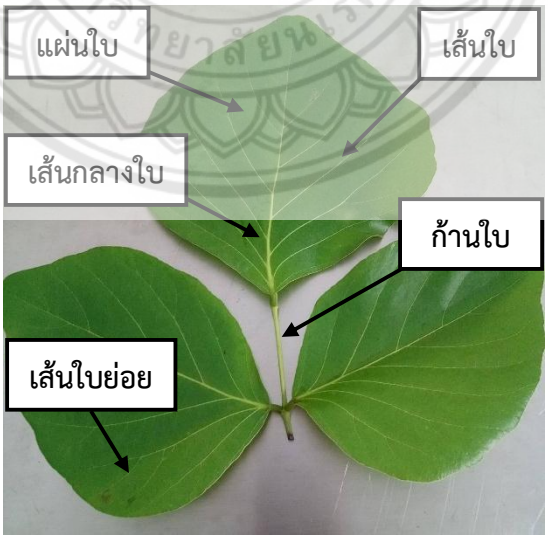
บทที่ 2

ทฤษฎีเบื้องต้นและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

จากปัญหาขยะพลาสติกและโฟมที่มีจำนวนเพิ่มมากขึ้นในทุกปี ทำให้มีการค้นคว้าวิจัยที่จะนำใบทองกวาวมาทำเป็นถ้วยใบทองกวาว เพื่อนำมาใช้ทดแทนภาชนะพลาสติกและโฟม และเพื่อพัฒนาสมบัติของถ้วยใบทองกวาวให้มีสมบัติที่ดียิ่งขึ้น ผู้จัดทำโครงงานได้ทำการศึกษาทดลองสมบัติทางกายภาพของใบทองกวาว โดยการวิเคราะห์โครงสร้าง การซึมผ่านไอน้ำ การบวมน้ำของถ้วยใบทองกวาว และการทนความร้อนของถ้วยใบทองกวาว โดยผู้จัดทำโครงงานได้ทำการตรวจสอบแนวคิด ทฤษฎี และงานวิจัยที่เกี่ยวข้องดังต่อไปนี้

2.1 โครงสร้างใบไม้ (Structure of leaf)

ใบไม้เป็นอวัยวะหนึ่งของพืช ซึ่งพืชจะใช้ใบในการสังเคราะห์แสง หายใจ และคายน้ำ เจริญเติบโตบริเวณข้อปล้องของลำต้น และกิ่งใบ ส่วนใหญ่มีสีเขียวของคลอโรฟิลล์ รูปร่างและขนาดของใบแตกต่างกันไปตามชนิดของพืช (นันทนา, 2558) ส่วนประกอบของใบไม้ประกอบด้วย 3 ส่วนหลักๆ คือ แผ่นใบ (Blade หรือ Lamina) ก้านใบ (Petiole) และหูใบ (Stipule) ดังรูปที่ 2.1 ถึง 2.3



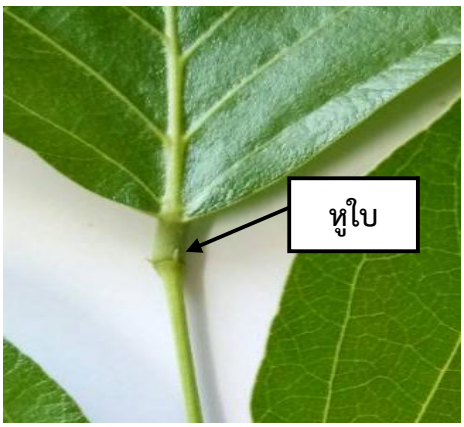
รูปที่ 2.1 ส่วนประกอบของใบทองกวาว

2.1.1 แผ่นใบ (Blade หรือ Lamina) มีลักษณะแผ่ออก ขนาดและรูปร่างแตกต่างกันไปขึ้นอยู่กับชนิดของใบนั้นๆ แผ่นใบประกอบด้วย เส้นใบ (Vein) และเส้นกลางใบ (Midrib) เส้นกลางใบจะต่อกับก้านใบ (Petiole) เส้นกลางใบแยกออกเป็นเส้นใบ และแยกแขนงออกไปอีกเป็นเส้นแขนงใบหรือเส้นใบย่อย (Small netted veins) ดังรูปที่ 2.1

2.1.2 ก้านใบ (Petiole) ติดอยู่กับแผ่นใบบริเวณฐานใบ ยกเว้นพืชบางชนิด ก้านใบจะติดอยู่ตรงกลางหรือตรงด้านในของแผ่นใบ ก้านใบอาจจะมีลักษณะสั้นบ้าง ยาวบ้าง หรือไม่มีก้านใบเลย จะเรียกว่า เซสไซล์ (Sessile leaf) ก้านใบส่วนมากมีลักษณะกลม พืชใบเลี้ยงเดี่ยวบางชนิด ก้านใบจะแผ่หุ้มลำต้น เรียกว่า กาบใบ (Leaf sheath) ดังรูปที่ 2.2

2.1.3 หูใบ (Stipule) อยู่บริเวณโคนก้านใบ หูใบของใบย่อย (Leaflet) จะเรียกว่า หูใบย่อย (Stiple) หูใบมีลักษณะเป็นริ้ว หนามหรือต่อมเล็กๆ ส่วนใหญ่มีสีเขียว หูใบจะมีสี ขนาดและรูปร่างต่างกันไปตามชนิดของพืช ดังรูปที่ 2.3

รูปที่ 2.2 ก้านใบทองกวาว (Petiole)



รูปที่ 2.3 หูใบทองกวาว (Stipule)

2.2 การเรียงตัวของใบไม้ (Venation)

2.2.1 เส้นใบแบบขนาน (Parallel venation) พบในพืชใบเลี้ยงเดี่ยว สามารถแบ่งออกเป็น

2.2.1.1 เส้นใบเรียงตามความยาวของใบ (Longitudinal parallel venation) เช่น ใบไผ่ ใบมะพร้าว ใบข้าว ใบอ้อย ใบข้าวโพด ดังรูปที่ 2.4 เป็นต้น

2.2.1.2 เส้นใบขนานกันตามขวางของใบ (Transverse parallel venation) เช่น ใบกล้วย หรือใบตอง ดังรูปที่ 2.5 เป็นต้น

ใบไผ่ **ใบข้าว**

รูปที่ 2.4 เส้นใบขนานเรียงตามความยาวของใบ (Longitudinal parallel venation)

ใบกล้วย (ใบตอง)

รูปที่ 2.5 เส้นใบขนานเรียงตามขวางของใบ (Transverse parallel **venation)**

2.2.2 เส้นใบแบบตาข่าย (Netted หรือ Reticulated venation) พบในพืชใบเลี้ยงคู่ แบ่งออกเป็น

2.2.2.1 แบบตาข่ายขนนก (Pinnately netted venation) ใบจะมีลักษณะคล้ายขนนก แสดงดังรูปที่ 2.6 (ก)

2.2.2.2 แบบตาข่ายรูปมือ (Palmately netted venation) ใบจะมีลักษณะคล้ายรูปมือคนแบออก แสดงดังรูปที่ 2.6 (ข)

(ก) ใบมะม่วง (ข) ใบมะละกอ

รูปที่ 2.6 ลักษณะใบเลี้ยงคู่ (ก) แบบตาข่ายขนนก และ (ข) แบบตาข่ายรูปมือ

2.3 ใบเดี่ยวและใบประกอบ

2.3.1 ใบเดี่ยว (Simple leaf) หมายถึง ใบไม้ที่มีแผ่นใบแผ่นเดียว ดังรูปที่ 2.7

ใบโพธิ์

รูปที่ 2.7 ลักษณะใบเดี่ยว

2.3.2 ใบประกอบ (Compound leaf) คือใบที่มีแผ่นใบมากกว่าหนึ่งใบ เกิดบนก้านใบเดียวกัน แต่ละใบ เรียกว่าใบย่อย (Leaflet) ใบประกอบแยกออกได้เป็น

2.3.2.1 ใบประกอบแบบขนนก (Pinnately compound leaf) มีใบย่อยออก 2 ข้างของแกนกลาง (Rachis) ซึ่งเป็นส่วนที่ต่อกับก้านใบ ดังรูปที่ 2.8

ใบมะขาม

รูปที่ 2.8 ลักษณะใบประกอบแบบขนนก

2.3.2.2 ใบประกอบแบบรูปมือ (Palmately compound leaf) คือใบประกอบที่มีใบย่อยทุกใบออกมาจากตำแหน่งเดียวกันตรงปลายก้านใบ ดังรูปที่ 2.9

ใบขนุน

รูปที่ 2.9 ลักษณะใบประกอบรูปมือ

ที่มา : https://medthai.com/ขนุน

2.4 ทองกวาว (Bastard teak)

รูปที่ 2.10 ลักษณะใบทองกวาวและดอกทองกวาว

ชื่อวงศ์-อนุวงศ์ : LEGUMINOSAE-PAPILLIONOIDEAE

ชื่อวิทยาศาสตร์ : Butea monosperma (Lam.) Taub. Butea frondosaWild.

ชื่อสามัญ : Bastard teak, Bengal kino, Flame of the forest

ชื่อพื้นเมืองอื่น : กวาว, ก้าว (ภาคเหนือ), ทองกวาว ทองธรรมชาติ ทองพรมชาติ (ภาคกลาง), ทองต้น (ราชบุรี), จาน (อุบลราชธานี), จ้า (เขมร-สุรินทร์), จอมทอง (ภาคใต้) เป็นต้น

(ที่มา : องค์การสวนพฤกษศาสตร์, 2543)

ลักษณะทางพฤกษศาสตร์ของใบทองกวาว

ทองกวาวเป็นไม้ยืนต้นขนาดกลางสูงประมาณ 10-15 เมตร ลักษณะของเปลือกต้นเป็นปุ่มปมไม่เรียบ เปลือกต้นสีน้ำตาลอ่อนหรือน้ำตาลเทา แตกเป็นร่องตื้น ลำต้นและกิ่งคดงอ เปลือกมีน้ำยางสีแดง หากทิ้งไว้จะแข็งเป็นก้อนสีแดง เปราะ ต้นทองกวาวจัดเป็นไม้ผลัดใบ เรือนยอดรูปทรงไม่แน่นอน ส่วนใหญ่เป็นทรงกระบอกหรือทรงกลม

ใบทองกวาวเป็นใบประกอบใน 1 ก้านมี 3 ใบย่อย ก้านใบยาว 8-10 เซนติเมตร ใบกลางลักษณะใบรูปมนกว้างเกือบกลม กว้าง 8-10 เซนติเมตร ยาวประมาณ 10-12 เซนติเมตร ปลายใบมน โคนใบแหลม ใบด้านข้างทั้งสองมีลักษณะใบรูปไข่ กว้าง 6-8 เซนติเมตร ยาว 8-10 เซนติเมตร ปลายใบมน โคนใบแหลมสีเขียวเข้ม ใต้ใบสีเขียวอมเทา แผ่นใบหนา หลังใบมีลักษณะมันวาว และมีขนที่ใต้ท้องใบ ใบทองกวาวขนาดใหญ่ ใบกลางอาจมีขนาดกว้างถึง 30-35 เซนติเมตร

ดอก ออกดอกเป็นช่อแบบช่อกระจุกที่ปลายกิ่งหรือกิ่งข้าง ดอกลักษณะรูปดอกถั่ว ฐานรองดอกโคนเชื่อมติดกันเป็นรูปถ้วย กลีบเลี้ยงสีเขียวเข้ม มีขนนุ่มคล้ายกำมะหยี่ กลีบดอก 5 กลีบ ลักษณะโค้งยาวประมาณ 5-8 เซนติเมตร สีแดงหรือแสด มีขน เกสรตัวผู้ 10 อัน แยกเป็นอิสระ 1 อัน อีก 9 อัน โคนเชื่อมติดกันเป็นหลอด มักจะออกดอกช่วงเดือนธันวาคมถึงมีนาคมของทุกปี

ผล ลักษณะผลเป็นฝักแบน กว้าง 3-4 เซนติเมตร ยาวประมาณ 10-15 เซนติเมตร มีขนนุ่ม

เมล็ด มีเมล็ดลักษณะแบน 1 เมล็ด อยู่ที่ปลายฝัก

นิเวศวิทยาของต้นทองกวาว

เป็นไม้กลางแจ้ง มีมากในภาคเหนือ ภาคตะวันออก และภาคตะวันออกเฉียงเหนือของประเทศไทย เลี้ยงง่าย โตช้า ทนแล้ง ทนเค็ม ทนลม และทนต่ออากาศหนาว เหมาะจะปลูกในที่แห้งแล้งหรือริมทะเลไม่ควรปลูกริมน้ำหรือพื้นที่ที่มีระดับน้ำใต้ดินสูง จะทำให้ไม่ออกดอก

การปลูกและขยายพันธุ์ต้นทองกวาว

เจริญเติบโตได้ในดินทั่วไปทุกสภาพแวดล้อม เกิดขึ้นเองตามที่ลุ่มต่ำหรือตามป่าราบ ขยายพันธุ์ด้วยการเพาะเมล็ด

(ที่มา : ฐานข้อมูลพันธุ์ไม้องค์การสวนพฤกษศาสตร์, 2561)

2.5 การปฏิบัติหลังการเก็บเกี่ยว (Postharvest Handling)

การจัดการหลังการเก็บเกี่ยวที่ถูกวิธีและเหมาะสม สามารถช่วยชะลอการเปลี่ยนแปลงที่จะเกิดขึ้น รวมไปถึงการเข้าทำลายของโรคและแมลงศัตรูพืชที่ปนเปื้อนมากับผลผลิต หรือป้องกันการแพร่ระบาดหลังการเก็บเกี่ยว ในขณะเดียวกันยังสามารถช่วยยืดอายุการเก็บรักษาผลผลิตให้นานขึ้นตามความต้องการของผู้บริโภค การสูญเสียหลังการเก็บเกี่ยว (Postharvest losses) ในมะม่วงเกิดจากหลายสาเหตุ (ธวัชชัย และคณะ, 2556) เช่น การสูญเสียทางกล (Mechanical losses) เกิดจากการเก็บเกี่ยวที่ไม่ถูกวิธี หรือการขนส่งที่ไม่ระมัดระวัง ทำให้เกิดบาดแผล รอยช้ำ ก่อให้เกิดการเน่าเสีย การสูญเสียน้ำ (Water losses) เนื่องจากหลังการเก็บเกี่ยวผลมะม่วงยังคงหายใจ และมีการคายน้ำตลอดเวลา ทำให้เหี่ยว สูญเสียความสด และสูญเสียรูปทรง การสูญเสียจากการเสื่อมคุณภาพตามอายุของผล (Losses due to fruit senescence) เกิดจากการเก็บเกี่ยวมะม่วงในสภาพอุณหภูมิสูง ทำให้เกิดการเร่งกระบวนการเมแทบอลิซึม (Metabolism) ภายในผลเกิดอย่างรวดเร็ว ทำให้ผลมะม่วงเสื่อมสภาพตามอายุเร็วขึ้น และการสูญเสียเนื่องจากเชื้อจุลินทรีย์สาเหตุของโรค (Losses due to diseases) เช่น โรคแอนแทรคโนส (Anthracnose) และโรคขั้วผลเน่า (Stem end rot) เป็นต้น การเก็บรักษา (Storage) ผลมะม่วงหลังการเก็บเกี่ยว เพื่อชะลอการสุก การเสื่อมสภาพของผลและขยายระยะเวลาสำหรับการขนส่งและการจำหน่าย สามารถทำได้หลายวิธีดังนี้

2.5.1 การเก็บรักษาในห้องเย็น (Cold Storage)

การเก็บรักษาผลมะม่วงในสภาพอุณหภูมิต่ำ สามารถชะลอกระบวนการเมแทบอลิซึมต่างๆ ภายในผล และเพื่อรักษาคุณภาพของผลให้สดได้ ผลมะม่วงสามารถเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 13$\pm$2 องศาเซลเซียส ความชื้นสัมพัทธ์ 85-90 เปอร์เซ็นต์ ได้นาน 2-3 สัปดาห์ (อภิตา, 2553)

2.5.2 การเก็บรักษาในสภาพควบคุมบรรยากาศ (Controlled Atmosphere Storage; CA Storage)

การเก็บรักษาในสภาพควบคุมบรรยากาศจะทำการลดปริมาณออกซิเจนลง และเพิ่มคาร์บอนไดออกไซด์ให้สูงขึ้น เพื่อทำให้ผลมะม่วงมีอัตราการหายใจลดลง นอกจากนี้ยังทำให้การผลิตฮอร์โมนเอทีลีนแบบ Autocatalytic Ethylene Production ที่พบในผลไม้ประเภทที่สามารถบ่มให้สุกได้ (Climacteric fruit) ในเนื้อเยื่อพืชลดลง ทำให้สามารถชะลอการสุกของผลมะม่วง ลดการเกิดโรคและการเปลี่ยนแปลงลักษณะต่างๆ ได้ (Gorney and Kader, 1996) นอกจากนี้ยังสามารถชะลอการเน่าเสียของผักได้ อาทิเช่น ผักกาดหอม กะหล่ำปลี เป็นต้น (Salunkhe and Kadam, 1998) โดยทั่วไปนิยมควบคุมบรรยากาศในห้องให้มีปริมาณออกซิเจน 2-3 เปอร์เซ็นต์ คาร์บอนไดออกไซด์ 5-8 เปอร์เซ็นต์ และควบคุมอุณหภูมิที่ 3-5 องศาเซลเซียส (ธวัชชัย และคณะ, 2556)

2.5.3 การเก็บรักษาภายใต้สภาพดัดแปลงบรรยากาศ (Modified Atmosphere Storage; MA Storage)

การเก็บรักษาภายใต้สภาพดัดแปลง นิยมใช้กันมากในทางการค้า โดยนำผลมะม่วงบรรจุลงในถุงพลาสติกหรือกล่องพลาสติกที่เจาะรูระบายอากาศและความชื้นออกบางส่วน พลาสติกที่ใช้สามารถระบายอากาศได้ดี เช่น พีวีซี (Polyvinyl chloride, PVC) หลังนำผลมะม่วงบรรจุในถุงพลาสติกแล้ว พบว่า ปริมาณออกซิเจนในถุงลดลง คาร์บอนไดออกไซด์เพิ่มขึ้น ทำให้เกิดสภาพบรรยากาศเฉพาะ ซึ่งถูกดัดแปลงไปจากสภาพบรรยากาศปกติ ทำให้มะม่วงมีการหายใจลดลง การผลิตเอทีลีนภายในผลช้าลง ส่งผลให้อายุการเก็บรักษาผลมะม่วงยาวนานขึ้น ชะลอการสุกของผลมะม่วงได้ (Sornsrivichai et al., 1989, 1992) นอกจากนี้การเก็บรักษาภายใต้สภาพดัดแปลงบรรยากาศยังสามารถป้องกันการเสื่อมสภาพจากเชื้อจุลินทรีย์ และแมลงได้ (Wills and Golding, 2015)

2.5.4 การใช้สารเคมี (Chemical method)

มีการทดสอบใช้สารเคมีหลายชนิด เพื่อยืดอายุการเก็บรักษามะม่วง ลดอาการเน่าเสียจากเชื้อต่างๆ ที่เป็นสาเหตุของการเกิดโรค ชะลอการสุกและการเสื่อมสภาพของผล โดยการดูดซับหรือยับยั้งการผลิตเอทีลีน เช่น การใช้ 1-Methylcyclopropene (1-MCP) เพื่อชะลอการสุกของผลมะม่วง (จารุวัฒน์, 2544) ใช้สารละลายด่างทับทิม (Potassium permanganate, $KMnO_4$) เพื่อดูดซับเอทีลีนจากผลมะม่วง เป็นต้น (พิชญา และคณะ, 2551)

2.6 ปัจจัยที่มีผลต่ออายุหลังการเก็บเกี่ยวของพืช

ปัจจัยที่มีผลต่ออายุหลังการเก็บเกี่ยวของพืช (Basra, 2000) ประกอบด้วยหลายปัจจัย ดังนี้

2.6.1 อุณหภูมิ

อุณหภูมิเป็นปัจจัยที่สำคัญในการเปลี่ยนแปลงของพืชหลังการเก็บเกี่ยว อุณหภูมิที่สูงจะเพิ่มอัตราการหายใจของพืช ทำให้พืชมีการคายน้ำ และสลายพลังงานที่เก็บสะสมไว้อย่างรวดเร็ว ส่งผลให้มีอายุหลังการเก็บเกี่ยวสั้นลง สำหรับอุณหภูมิหลังการเก็บเกี่ยวที่มีอุณหภูมิต่ำ จะช่วยยืดอายุหลังการเก็บเกี่ยวได้ โดยทั่วไปอุณหภูมิที่เหมาะสมต่อการเก็บรักษาจะใกล้เคียงกับจุดเยือกแข็ง (0 องศาเซลเซียส) แต่อย่างไรก็ตาม พืชแต่ละชนิดก็จะมีอุณหภูมิที่เหมาะสมต่อการเก็บรักษาต่างกันไป ดังนั้น การเก็บรักษาเพื่อยืดอายุหลังการเก็บเกี่ยวของพืช ควรเลือกอุณหภูมิให้เหมาะสมต่อชนิดของพืชนั้นๆ

2.6.2 พลังงานของพืชที่เก็บสะสม

หลังการเก็บเกี่ยว พืชจะเก็บสะสมพลังงานอยู่ในรูปของคาร์โบไฮเดรต (แป้ง และน้ำตาล) พืชจะมีอายุหลังการเก็บเกี่ยวมากหรือน้อย ขึ้นอยู่กับพลังงานที่ถูกเก็บสะสมไว้ รวมไปถึงอัตราการหายใจของพืชด้วย หากพืชมีปริมาณพลังงานที่สะสมไว้สูง ระยะเวลาหลังการเก็บเกี่ยวก็จะสูงขึ้น

2.6.3 แสง

แสงเป็นส่วนสำคัญในกระบวนการสังเคราะห์แสงเพื่อสร้างอาหารของพืช สำหรับหลังการเก็บเกี่ยว แสงเป็นปัจจัยสำคัญในการคายน้ำของพืช เนื่องจากพืชที่ได้รับแสงในปริมาณที่สูงจะส่งผลให้ปากใบพืชเปิดออกเพื่อหายใจ และคายน้ำ ในกระบวนการหายใจและการคายน้ำของพืชหลังการเก็บเกี่ยว ทำให้พืชมีการสูญเสียพลังงานที่สะสมไว้ ซึ่งส่งผลต่ออายุในการเก็บรักษาของพืช

2.6.4 น้ำ

โดยทั่วไป พืชที่มีก้านและพื้นที่ผิวกว้างจะมีการสูญเสียน้ำและแห้งเหี่ยวอย่างรวดเร็ว ดังนั้น ในการเก็บรักษาควรเก็บที่อุณหภูมิต่ำ ความชื้นสัมพัทธ์ประมาณร้อยละ 95 เพื่อช่วยลดอัตราการสูญเสียน้ำของพืช ซึ่งเป็นสาเหตุของการเสื่อมสภาพ

2.6.5 เอทีลีน

เอทีลีนเป็นฮอร์โมนพืชชนิดหนึ่ง มีผลมากมายต่อการเติบโตของพืช พืชสามารถสร้างเอทีลีนได้มากโดยเฉพาะอย่างยิ่งในช่วงที่ผลไม้ใกล้สุก ก่อนการหลุดร่วงของใบและก่อนการออกดอกของพืชบางชนิด เอทีลีนมีหน้าที่ควบคุมการแก่ของพืช ดังนั้น ถ้าหากมีเอทีลีนจำนวนมาก จะทำให้พืชแก่ได้เร็วขึ้นและหลังการเก็บเกี่ยว หากในพืชมีปริมาณเอทีลีนสูง จะส่งผลให้พืชมีอายุการเก็บรักษาที่สั้นลง

2.7 การหายใจของพืช (Respiration)

พืชหลังการเก็บเกี่ยวยังคงมีการหายใจอยู่ ในกระบวนการหายใจของพืชหลังการเก็บเกี่ยว เป็นกระบวนการสลายสารอาหารของพืชที่เก็บสะสมไว้ในรูปของน้ำตาลโมเลกุลเดี่ยว ให้เปลี่ยนแปลงเป็นพลังงานเคมีในรูปของสารประกอบพลังงานสูง เพื่อคงสภาพของตัวเองไว้ไม่ให้เกิดการเสื่อมสภาพ และเมื่อพลังงานที่ถูกสะสมไว้เกิดการสลายออกมาจนหมด พืชจะเกิดการเสื่อมสภาพลงในที่สุด นอกจากนั้นการหายใจยังทำให้เกิดการปลดปล่อยพลังงานความร้อนออกมาด้วย ซึ่งมีผลให้พืชมีอุณหภูมิสูงขึ้นและเกิดการเสื่อมสภาพเร็วขึ้น (จริงแท้, 2541)

2.8 โรคพืช

โรคพืช หมายถึง ความผิดปกติที่เกิดกับพืชเนื่องจากเชื้อโรคหรือสภาพแวดล้อม เข้าไปทำให้ระบบการทำงานของส่วนต่างๆ ของพืชเกิดความผิดปกติ ทำให้โครงสร้างและรูปร่างของพืชเปลี่ยนแปลงไป ความผิดปกติด้านรูปร่างการเปลี่ยนแปลงภายใน (ชลิดา, 2557) เช่น เนื้อเยื่อมีการตาย ลำต้นแห้ง ใบเหี่ยว กระบวนการภายในการเกิดการเปลี่ยนแปลง เป็นต้น

2.8.1 สาเหตุของการเกิดโรค

โรคพืชเกิดได้จากหลายสาเหตุ ซึ่งมีลักษณะที่แตกต่างกันไป แบ่งได้เป็น 2 กลุ่มคือ โรคพืชที่เกิดจากสิ่งมีชีวิต (Biotic plant diseases หรือ Parasitic plant diseases) และโรคพืชที่เกิดจากสิ่งไม่มีชีวิต (Abiotic plant diseases หรือ Nonparasitic plant diseases)

2.8.1.1 โรคพืชที่เกิดจากสิ่งมีชีวิต

- โรคพืชที่เกิดจากรา
- โรคพืชที่เกิดจากแบคทีเรีย
- โรคพืชที่เกิดจากไฟโตพลาสมาและสไปโรพลาสมา
- โรคพืชที่เกิดจากไวรัสและไวรอยด์
- โรคพืชที่เกิดจากไส้เดือนฝอย

2.8.1.2 โรคพืชที่เกิดจากสิ่งไม่มีชีวิต

- โรคพืชที่เกิดจากอุณหภูมิไม่เหมาะสม
- โรคพืชที่เกิดจากความชื้นในดินไม่เหมาะสม
- โรคพืชที่เกิดจากความเข้มของแสงไม่เหมาะสม
- โรคพืชที่เกิดจากมลภาวะทางอากาศ
- โรคพืชที่เกิดจากการขาดธาตุอาหาร
- โรคพืชที่เกิดจากความเป็นกรดและด่างของดิน
- โรคพืชที่เกิดจากพิษของสารกำจัดวัชพืชและสารต่างๆ

2.8.2 อาการของโรคพืชที่พบ อาจจะมีความผิดปกติเกิดขึ้นหลายลักษณะดังนี้

- เนื้อเยื่อตาย เช่น ใบจุด ใบไหม้
- กิ่งแห้ง ต้นตาย โคนเน่า รากเน่า (เน่าอยู่ในดินทำให้ต้นเหี่ยวตาย)
- เป็นสะเก็ดที่กิ่งหรือผล
- ลักษณะใบหงิกงอ ใบด่าง
- โรคราแป้ง (คล้ายมีผงแป้งติดบนใบพืช) ทำให้ใบแห้งหรือร่วง
- โรคราสนิม (คล้ายผงสนิมติดตามใบ ทำให้ใบแห้งและร่วง)

รูปที่ 2.11 โรคจุดสนิมของดอกกล้วยไม้

ที่มา : https://www.trueplookpanya.com/knowledge/content/59211

รูปที่ 2.12 โรคราแป้งขาวของใบทองกวาว

ที่มา : https://sites.google.com/site/adecmju2601/xakar-khxng-rokh-bn-bi-1

รูปที่ 2.13 โรคราสนิมเหล็กของใบทองกวาว

ที่มา : https://sites.google.com/site/adecmju2601/xakar-khxng-rokh-bn-bi-1

รูปที่ 2.14 โรคใบจุดของใบทองกวาว

ที่มา : https://sites.google.com/site/adecmju2601/xakar-khxng-rokh-bn-bi-1

2.9 ธาตุอาหารที่จำเป็นสำหรับพืช (Essential elements)

โดยปกติในต้นพืชจะมีธาตุต่างๆ อยู่เกือบ 60 ธาตุ ซึ่งธาตุที่พบในพืชนี้ มีทั้งธาตุที่จำเป็นสำหรับการเจริญเติบโตของพืช และบางธาตุไม่มีความจำเป็นสำหรับการเจริญเติบโตของพืชแต่อย่างใด ทั้งนี้เนื่องจากในการดูดกินธาตุอาหารของพืชนั้น ธาตุอาหารต่างๆ จะถูกดูดขึ้นมาโดยไม่เลือกว่าธาตุใดจำเป็นหรือไม่จำเป็น การจัดหมวดหมู่ของธาตุอาหารพืช (ปัทมา, 2533) สามารถแบ่งออกได้ 2 จำพวก คือ

2.9.1 ธาตุอาหารหลัก (Macronutrient elements)

ประกอบด้วย 6 ธาตุ คือ ไนโตรเจน (N) ฟอสฟอรัส (P) โพแทสเซียม (K) แคลเซียม (Ca) แมกนีเซียม (Mg) และซัลเฟอร์ (S) ธาตุเหล่านี้เป็นธาตุอาหารหลักเนื่องจาก พืชมีความต้องการใช้ธาตุเหล่านี้ในปริมาณมากและมักจะเกิดการขาดธาตุอาหารอยู่เสมอ ตัวอย่างของการขาดธาตุอาหารหลัก เช่น การขาดธาตุไนโตรเจน หน้าที่หลักของธาตุไนโตรเจน ได้แก่ ช่วยกระตุ้นให้พืชเจริญเติบโต โดยเฉพาะการเจริญเติบโตของลำต้นและใบ และช่วยให้พืชเติบโตไดเร็วในระยะแรกของการเจริญเติบโต ทำให้พืชมีใบสีเขียว เพิ่มปริมาณโปรตีนในพืช ควบคุมการออกดอกออกผลและการสะสมอาหารของพืช หากพืชได้รับธาตุไนโตรเจนในปริมาณที่เหมาะสม การออกดอกออกผลก็จะเป็นไปตามอายุของพืช แต่ถ้าหากพืชได้รับธาตุไนโตรเจนมากเกินไป จะทำให้พืชมีการเจริญเติบโตทางด้านลำต้นและใบ เป็นผลให้มีการออกดอกช้า พืชจำพวกเกิดหัวที่ส่วนราก (Root crops) จะเกิดหัวช้าและให้ผลผลิตต่ำ เพราะแป้งถูกนำไปใช้ในการสร้างใบเสียเป็นส่วนใหญ่ อาการขาดธาตุไนโตรเจนในพืช จะมีลักษณะใบเหลืองผิดปกติ ใบล่างมีสีเหลืองปนส้ม ปลายใบและขอบใบแห้ง ลำต้นผอมสูง กิ่งก้านเล็ก ดังแสดงในรูปที่ 2.15 เป็นต้น

2.9.2 ธาตุอาหารเสริม (Micronutrient element)

ธาตุอาหารพืชที่จัดเป็นธาตุอาหารเสริม ได้แก่ เหล็ก (Fe) แมงกานีส (Mn) ทองแดง (Cu) สังกะสี (Zn) โบรอน (B) โมลิบดีนัม (Mo) คลอรีน (Cl) เป็นต้น ธาตุอาหารเสริมนั้น พืชมีความต้องการใช้ในปริมาณน้อย แต่มีความสำคัญเท่าเทียมกับธาตุอาหารหลัก เพราะถ้าหากพืชขาดธาตุเหล่านี้ ก็จะแสดงอาการผิดปกติออกมา เช่นเดียวกับการขาดธาตุอาหารหลัก

รูปที่ 2.15 อาการใบเหลืองจากการขาดธาตุไนโตรเจนของใบทองกวาว

2.10 การวิเคราะห์โครงสร้างด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอน รุ่น Leo1455VP (Scanning Electron Microscope, SEM)

เครื่อง SEM จะประกอบด้วยแหล่งกำเนิดอิเล็กตรอน ทำหน้าที่ผลิตอิเล็กตรอนเพื่อป้อนให้กับระบบกลุ่มอิเล็กตรอนที่ได้จากแหล่งกำเนิดจะถูกเร่งด้วยสนามไฟฟ้า จากนั้นกลุ่มอิเล็กตรอนจะผ่านเลนส์รวบรวมรังสี (Condenser lens) เพื่อทำให้กลุ่มอิเล็กตรอนกลายเป็นลำแสงอิเล็กตรอน ซึ่งสามารถปรับให้ขนาดของลำแสงอิเล็กตรอนใหญ่หรือเล็กได้ตามต้องการ หากต้องการภาพที่มีความคมชัดจะปรับให้ลำแสงอิเล็กตรอนมีขนาดเล็ก หลังจากนั้นลำแสงอิเล็กตรอนจะถูกปรับระยะโฟกัสโดยเลนส์ใกล้วัตถุ (Objective lens) ลงไปบนผิวชิ้นงานที่ต้องการศึกษา หลังจากลำแสงอิเล็กตรอนถูกกราดลงบนชิ้นงานจะทำให้เกิดอิเล็กตรอนทุติยภูมิ (Secondary electron) ขึ้น ซึ่งสัญญาณจากอิเล็กตรอนทุติยภูมินี้จะถูกบันทึก และแปลงไปเป็นสัญญาณทางอิเล็กทรอนิกส์และถูกนำไปสร้างเป็นภาพบนจอแสดงผลต่อไป (ศูนย์ปฏิบัติการวิทยาศาสตร์, 2561) ในงานวิจัยนี้ผู้วิจัยได้ใช้กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอน รุ่น Leo1455VP ดังรูปที่ 2.16 เพื่อดูลักษณะโครงสร้างของใบทองกวาวด้านหลังใบ ท้องใบ และด้านตัดขวางใบ

รูปที่ 2.16 กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอน รุ่น Leo1455VP

(Scanning Electron Microscope, SEM)

ที่มา : https://www.sci.nu.ac.th/slcs/tools.php?tool_ID=1

2.11 อัตราการซึมผ่านของไอน้ำ (Water Vapor Transmission Rate, WVTR)

อัตราการซึมผ่านของไอน้ำ (Water Vapor Transmission Rate, WVTR) หมายถึง อัตราเร็วในการซึมของไอน้ำผ่านวัสดุชนิดหนึ่ง มีหน่วยเป็น กรัม/ตารางเมตร/วัน (ASTM E96, 2018) ตัวอย่างการวัดการซึมผ่านของไอน้ำจะวัดในสถานะที่สมดุลที่อุณหภูมิ 38 องศาเซลเซียส และที่ความชื้นสัมพัทธ์ 90% เช่น อัตราการซึมผ่านของไอน้ำของพลาสติกที่ใช้บรรจุอาหาร ใช้เพื่อการออกแบบบรรจุภัณฑ์สำหรับอาหารแห้ง เนื่องจากมีความสำคัญต่ออายุการเก็บรักษาของอาหาร ในงานวิจัยนี้การทดสอบอัตราการซึมผ่านของไอน้ำและความสามารถในการซึมผ่านไอน้ำ (Water vapor permeability, WVP) วิเคราะห์ด้วยวิธี Desiccant method ตามมาตรฐาน ASTM-E96 (ASTM, 1991) สามารถคำนวณได้ตามสมการที่ 2.1 และ 2.2 ตามลำดับดังนี้

$$WVPR\,(\mathrm{g/\,m^2 \cdot}\,day) = \frac{G/T}{A} = \frac{Slope}{A} \qquad (2.1)$$

$$WVP\left(\frac{\mathrm{g}\cdot\mathrm{m}}{m^2\cdot day\cdot mmHg}\right)=\frac{WVTR\times l}{\Delta P} \qquad (2.2)$$

เมื่อ G/T คือ อัตราการเปลี่ยนแปลงน้ำหนักต่อเวลา หาได้จากความชันของกราฟระหว่างเวลากับน้ำหนักที่เปลี่ยนแปลง (กรัมต่อวัน)

A คือ พื้นที่ผิวของตัวอย่าง (m^2)

l คือ ความหนาของฟิล์ม (m)

P คือ ผลต่างของความดัน คำนวณได้จากสมการ $\Delta P = P_s(\frac{\Delta RH}{100})$

เมื่อ ΔRH คือ ผลต่างระหว่างความชื้นภายใน (%RH = 0) กบความชื้นภายนอกถ้วยทดสอบตอนเริ่มต้น (%RH = 50) ดังนั้น ΔRH = 50

P_s คือ ความดันไอของน้ำ ณ อุณหภูมิ 30 องศาเซลเซียส มีค่าเท่ากับ 32.68 mmHg

2.12 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

มยุรี (2555) ได้ศึกษาผลของการใช้ 1-Methylcyclopropene (1-MCP) ต่อคุณภาพและอายุการเก็บรักษาผักกาดฮ่องเต้ ผักกาดฮ่องเต้ถูกทดสอบด้วย 1-MCP ในปริมาณต่างๆ นาน 6 ชั่วโมง เปรียบเทียบกับไม่ใช้ 1-MCP เพื่อประเมินประสิทธิภาพของ 1-MCP ต่อการชะลอการเสื่อมสภาพของผักกาดฮ่องเต้ระหว่างเก็บรักษาที่อุณหภูมิห้อง หรืออุณหภูมิตู้แช่ และทดสอบร่วมกับการฉีดพ่นด้วย Ethephon ก่อนเก็บรักษาที่อุณหภูมิห้อง พบว่า 1-MCP ไม่ได้ช่วยยืดอายุการเก็บรักษาผักกาดฮ่องเต้ระหว่างเก็บรักษาที่อุณหภูมิห้อง แต่ประสิทธิภาพของ 1-MCP เมื่อใช้ร่วมกับ Ethephon สามารถยืดอายุการเก็บรักษานานขึ้นเป็น 3 วันจาก 2 วันของชุด Ethephon อย่างเดียว และ พบว่า การใช้ 1-MCP อัตรา ½ เม็ด นาน 6 ชั่วโมง สามารถชะลอการเสื่อมสภาพผักกาดฮ่องเต้ระหว่างเก็บรักษา ณ อุณหภูมิตู้แช่ได้ดีที่สุด และสามารถชะลอการเหลืองของใบ รักษาความสดของสภาพภายนอกได้

ปณธร และคณะ (2557) ได้ทำการวิจัยและศึกษาการยืดอายุการเก็บรักษาคุณภาพของผักผลไม้สดเพื่อการส่งออก พบว่า การบรรจุผลลำไยสดในถุงฟิล์ม EMA6000 สามารถสร้างบรรยากาศดัดแปลงและยืดอายุการเก็บรักษาได้ถึง 41 วัน ผลลำไยมีคุณภาพดีคือ มีการสูญเสียน้ำหนักน้อยการเปลี่ยนแปลงค่าสีเล็กน้อย สามารถเก็บรักษาได้ยาวนานกว่าผลลำไยสดที่บรรจุถุงตาข่าย (ชุดควบคุม) ที่เก็บรักษาได้ 38 วัน และถุงฟิล์มโพลีโพรพิลีน (PP) ได้ 24 วัน เนื่องจากภายในถุงมีปริมาณก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์สูงส่งผลให้รสชาติของผลลำไยสดเปลี่ยนไปและมีน้ำในผลมาก ดังนั้นการบรรจุผลลำไยสดในถุงฟิล์ม EMA6000 จึงมีความเหมาะสมและสามารถใช้สำหรับการบรรจุเพื่อการส่งออกผลิตภัณฑ์ลำไยสดไปต่างประเทศได้ตามความต้องการของทางบริษัทส่งออก

รัฐิติกาล และคณะ (2558) ได้ศึกษาการยืดอายุข้าวโพดฝักอ่อนด้วยฟิล์มเจาะรูขนาดไมครอนฟิล์มบรรจุภัณฑ์ที่มีสภาวะบรรยากาศภายในดัดแปลงให้เป็นสภาวะสมดุล มีคุณสมบัติยอมให้ก๊าซที่ใช้ในกระบวนการหายใจผ่านเข้าออกได้ดีสอดคล้องกับอัตราการใช้และสร้างก๊าซในกระบวนการหายใจของผักและผลไม้สดที่บรรจุทำให้เกิดบรรยากาศดัดแปลงแบบสมดุลขึ้นในบรรจุภัณฑ์ ซึ่งประกอบด้วยก๊าซออกซิเจน 2–10 เปอร์เซ็นต์ และก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ 10–20 เปอร์เซ็นต์ ส่งผลให้เกิดการชะลอการเปลี่ยนแปลงทางชีวภาพ จึงสามารถยืดอายุการเก็บรักษาผักผลไม้สดนานขึ้น 2–5 เท่า และผลิตผลมีคุณภาพและรสชาติที่ดี โดยสามารถพัฒนาให้ฟิล์มมีความใส เกิดฝ้าน้อย เหมาะสำหรับใช้งานจริงในอุตสาหกรรมจากการวิจัยพบว่า การบรรจุข้าวโพดฝักอ่อนที่ปิดด้วยฟิล์ม BOPP (Biaxiallaly Oriented Polypropylene Film) ไม่เหมาะสม ผลิตผลมีอายุการเก็บรักษาสั้นเพียง 9 วันจึงไม่เหมาะสมในการนำมาใช้สำหรับบรรจุผักผลไม้สดเพื่อการส่งออก เนื่องจากภายในบรรจุภัณฑ์มีปริมาณก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์สูง ส่งผลให้ข้าวโพดฝักอ่อนเกิดกลิ่นหมักซึ่งไม่เป็นที่ยอมรับแก่ผู้บริโภค บรรจุภัณฑ์ที่ปิดด้วยฟิล์มยืดชนิดโพลีไวนิลคลอไรด์ (Polyvinyl Chloride, PVC) มีอายุการเก็บรักษานาน 18 วัน แต่พบว่า ข้าวโพดฝักอ่อนจะเกิดการสูญเสียน้ำมากส่งผลให้ผลิตผลเกิดการแห้งเหี่ยวและไม่เป็นที่ยอมรับ ดังนั้น ขนาดบรรจุ 80 กรัม ที่ปิดด้วยฟิล์ม MP-9 อยู่ในสภาวะที่เหมาะสมกับผลิตผล จนถึงวันสุดท้ายของการเก็บรักษา 22 วัน (เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 12 วัน แล้วเปลี่ยนเป็น อุณหภูมิ 8 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 10 วัน) คือก๊าซออกซิเจนและก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์อยู่ในช่วงที่เหมาะสมสำหรับข้าวโพดฝักอ่อน จึงเหมาะสมและสามารถใช้สำหรับการบรรจุเพื่อการส่งออกผลิตภัณฑ์ข้าวโพดฝักอ่อนสดไปต่างประเทศได้ตามความต้องการของทางบริษัทส่งออกในขณะที่การบรรจุและปิดผนึกด้วยฟิล์ม

ชนิดอื่นๆ เช่น BOPP (Biaxiallaly Oriented Polypropylene Film) ให้คุณภาพที่ยอมรับได้ต่ำกว่า 22 วัน

ฉัตรเกล้า และคณะ (2013) ได้ศึกษาผลกระทบของตัวแปรที่มีต่อสมบัติของแผ่นฟิล์มที่ก๊าซซึมผ่านได้ของฟิล์มพอลิเอทีลีนความหนาแน่นต่ำ (Low density polyethylene, LDPE) ผสมเถ้าแกลบ โดยมีตัวแปรที่ศึกษา คืออัตราส่วนของเถ้าแกลบที่ผสมในแผ่นฟิล์ม และอัตราแรงดึงแผ่นฟิล์ม (Stretching ratio) ขณะทำการขึ้นรูป จากการทดสอบอัตราการซึมผ่านไอน้ำ (Water Vapor Transmission Rate, WTR) ของแผ่นฟิล์มตามมาตรฐาน ASTM D3985 พบว่า อัตราการซึมผ่านของไอน้ำจะมีค่าเพิ่มมากขึ้น เมื่อค่าร้อยละเถ้าแกลบที่ผสมอยู่ในเนื้อฟิล์มพลาสติกและขนาดแรงดึงฟิล์มขณะขึ้นรูปมีค่าเพิ่มขึ้น เพราะอนุภาคของเถ้าแกลบที่แทรกอยู่ในเนื้อพลาสติกจะทำให้พื้นที่บริเวณผิวสัมผัสระหว่างอนุภาคของเถ้าแกลบกับเนื้อพลาสติกบางลงกว่าบริเวณอื่นๆ หรือกล่าวคือ ทำให้แผ่นฟิล์มมีรูพรุนขนาดเล็กเพิ่มมากขึ้น จึงทำให้ไอน้ำสามารถซึมผ่านได้มากขึ้นเมื่อแผ่นฟิล์มมีปริมาณอนุภาคเถ้าแกลบเพิ่มมากขึ้น

รัฐพล และคณะ (2015) ได้ศึกษาผลกระทบของตัวแปรที่มีต่อสมบัติของแผ่นฟิล์มพอลิเอทีลีนชนิดความหนาแน่นต่ำผสมชานอ้อย โดยเน้นศึกษาตัวแปรสองตัว คือ ปริมาณของชานอ้อยที่ผสมและขนาดของแรงดึงฟิล์มขณะขึ้นรูป โดยทำการผสมชานอ้อยกับพอลิเอทีลีนให้มีสัดส่วนของชานอ้อยอยู่ในช่วงร้อยละ 0-20 โดยน้ำหนัก แล้วทำการทดสอบสมบัติเชิงกลและอัตราการซึมผ่านไอน้ำ จากการทดสอบอัตราการซึมผ่านไอน้ำของแผ่นฟิล์มตามมาตรฐาน ASTM E398 พบว่าอัตราการซึมผ่านของไอน้ำจะมีค่าเพิ่มมากขึ้น เมื่อขนาดแรงดึงฟิล์มขณะขึ้นรูปและปริมาณร้อยละชานอ้อยที่ผสมอยู่ในเนื้อฟิล์มพลาสติกมีค่าเพิ่มขึ้น ทั้งนี้เนื่องจากโครงสร้างของพอลิเมอร์มีช่องว่างมากขึ้น เมื่อมีอนุภาคชานอ้อยแทรกในเนื้อฟิล์มพอลิเมอร์ขึ้น และการเพิ่มแรงดึงฟิล์มในขณะขึ้นรูปแผ่นฟิล์มพลาสติกจะมีผลทำให้แผ่นฟิล์มมีความบางมากขึ้น โดยที่บริเวณที่ไอน้ำสามารถซึมผ่านแผ่นฟิล์มได้ดี คือ บริเวณผิวสัมผัสระหว่างอนุภาคของชานอ้อยกับเนื้อพลาสติกซึ่งเป็นบริเวณที่มีความบางและมีช่องว่างหรือรูพรุนที่ไอน้ำสามารถซึมผ่านได้ดีกว่าเมื่อเทียบกับบริเวณอื่นๆ แผ่นฟิล์มที่ผลิตได้มีค่าอัตราการซึมผ่านของไอน้ำสูงสุดเท่ากับ 23.69 กรัม/ตารางเมตร/วัน

ลัดดาวัลย์ และคณะ (2551) ศึกษาผลของ 1-Methylcyclopropene (1-MCP) ต่อการสลายตัวของคลอโรฟิลล์ในผักชี โดยการรม 1-MCP ที่ระดับความเข้มข้น 0 (ชุดควบคุม) 100 200 300 400 และ 500 ppb นาน 12 ชั่วโมงที่อุณหภูมิ 20 องศาเซลเซียส แล้วเก็บรักษาผักชีในกลองพลาสติกใส ที่อุณหภูมิ 10

องศาเซลเซียส พบว่า ผักชีที่รม 1-MCP ความเข้มข้น 500 ppb สามารถชะลอการสูญเสียคลอโรฟิลล์ โดยมีปริมาณคลอโรฟิลล์รวมสูงที่สุด นอกจากนี้ยังชะลอการเหลืองของใบโดยพิจารณาจากค่าความสว่าง และค่าปริมาณคลอโรฟิลล์ที่เปลี่ยนแปลงช้ากว่าชุดการทดลองอื่น ๆ ซึ่งสอดคล่องกับการลดลงของค่าการเปลี่ยนแปลงสีอย่างช้าๆ นอกจากนี้ผักชีที่รม 1-MCP ความเข้มข้น 500 ppb ยังช่วยลดอัตราการผลิตเอทีลีนได้

Khan และคณะ (2017) ได้ศึกษาวิธีการเก็บรักษาผลไม้และผัก พบว่าผลไม้และผักทั้งหมดยังคงหายใจหลังการเก็บเกี่ยว โดยเกิดกระบวนการทางเคมีโดยที่ผักผลไม้แปลงน้ำตาลและออกซิเจนเป็นคาร์บอนไดออกไซด์ น้ำ และความร้อน อัตราการหายใจขึ้นอยู่กับอุณหภูมิ ออกซิเจน คาร์บอนไดออกไซด์ ความชื้น รอยแผลหรือรอยฟกช้ำ และโรคติดเชื้อ โดยอุณหภูมิเป็นปัจจัยด้านสิ่งแวดล้อมที่สำคัญที่สุด เพราะมีความเร็วต่ออัตราการเกิดปฏิกิริยาทางชีวภาพ ซึ่งช่วงอุณหภูมิ 0-30 องศาเซลเซียส ความเร็วของปฏิกิริยาทางชีวภาพจะเพิ่มขึ้น 2-3 ครั้งต่อทุก 10 องศาเซลเซียสที่เพิ่มขึ้น ดังนั้นในขณะที่ยังไม่ทำให้ผลไม้และผักเย็นตัวหลังจากการเก็บเกี่ยว การเสื่อมสภาพของผลไม้และผัก จะมีอัตราการเสื่อมสภาพที่รวดเร็วมาก

Farhad และคณะ (2019) ได้ทำการทดลองเพื่อประเมินความคงตัวในการเก็บรักษาของผักและผลไม้โดยใช้การหมัก ผักและผลไม้ที่ไม่ได้รับการเก็บรักษาหรือการเก็บรักษาด้วยการเผาผลาญโซเดียม 6 กรัมต่อผักและผลไม้ 1 กิโลกรัม ทำการเก็บด้วยกระบวนการหมักแบบใช้ออกซิเจน (Aerobically) เป็นเวลา 7 วัน การทดลองที่ 1 ผลไม้และผักที่ใช้โซเดียมเมตาไบซัลไฟต์ (Sodium metabisulfite) นั้นถูกทิ้งให้อยู่รวมกันเป็นชีวมวลที่มีความชื้นสูง การหมักไม่มีประสิทธิภาพในการป้องกันการเสื่อมสภาพและการควบคุมเชื้อราซึ่งส่งผลให้การสูญเสียน้ำตาลอย่างรวดเร็ว ในทางตรงกันข้าม จำนวนจุลินทรีย์ที่ไม่พึงประสงค์ในระดับต่ำส่งผลให้สูญเสียสารอาหารเล็กน้อยในการหมักด้วยโซเดียมเมตาไบซัลไฟต์ การทดลองที่ 2 ผลไม้และผักที่ผ่านการบำบัดด้วยโซเดียมเมตาไบซัลไฟต์ แล้วถูกทำให้เป็นก้อนร่วมกับแบบแห้ง โดยผลิตภัณฑ์ตามสัดส่วนที่แตกต่างกันเพื่อให้โซเดียมเมตาไบซัลไฟต์ปริมาณ 1.6 2.4 3.2 และ 4 กรัมต่อกิโลกรัม จากการวิเคราะห์ทางจุลชีววิทยา องค์ประกอบของสารอาหารและการทดสอบทางประสาทสัมผัส พบว่า ปริมาณโซเดียมเมตาไบซัลไฟต์ที่มีมวลชีวภาพ 3.2 กรัมต่อกิโลกรัมให้ค่าการเก็บรักษาที่ต้องการมากที่สุด

บทที่ 3

วิธีดำเนินการ

งานวิจัยนี้เป็นการศึกษาและพัฒนาสมบัติทางกายภาพของใบทองกวาวและถ้วยใบทองกวาว โดยจะทำการทดสอบหาระยะเวลาในการเก็บรักษาใบทองกวาว โดยใช้วิธีเก็บรักษาภายในตู้เย็นที่ออกแบบเพื่อการเก็บรักษาโดยเฉพาะและสามารถปรับช่วงอุณหภูมิการทดลองได้ ศึกษาโครงสร้างของใบทองกวาวด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอน และงานวิจัยนี้ยังได้ทำการทดสอบการซึมผ่านของไอน้ำ การบวมน้ำ และการทนความร้อนของถ้วยใบทองกวาว มาช่วยในการเพิ่มสมบัติทางกายภาพของถ้วยใบทองกวาว ดังนั้นเพื่อให้งานวิจัยบรรลุวัตถุประสงค์ที่ได้ตั้งไว้ จึงได้กำหนดวิธีการดำเนินงานดังนี้

3.1 อุปกรณ์ เครื่องมือและสารเคมีที่ใช้ในการงานวิจัย

3.1.1 วัสดุที่ใช้ในการทดลอง

- ใบทองกวาว

3.1.2 อุปกรณ์และเครื่องมือ

- เครื่องวัดความชื้น (Moisture Analyzer Balance) รุ่น PMB-53
- กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอน (Scanning Electron Microscope, SEM) รุ่น Leo-1455VP
- โถดูดความชื้น (Desiccator)
- เตาไมโครเวฟ Sharp R-380I
- ตู้อบลมร้อน รุ่น OP-100 (Oven)
- เวอร์เนียดิจิตอล (Digital Vernier Caliper)
- เครื่องพิมพ์ถ้วยใบทองกวาว
- แผ่นให้ความร้อน (Heater)
- กล่องทึบแสง (กล่องดำ)
- กล่องโปร่งแสง (กล่องใส)
- ถุงซิปล็อค
- ตู้เย็น
- เครื่องชั่งน้ำหนัก

3.2 ขั้นตอนการดำเนินงานวิจัย

3.2.1 การจัดหาและเตรียมวัตถุดิบที่ใช้ในการทดลอง

3.2.1.1 หาแหล่งใบทองกวาว

3.2.1.2 เลือกใบทองกวาวที่สมบูรณ์ คือต้องไม่ขาดและไม่เป็นโรคต่างๆ

3.2.2 ขั้นตอนการศึกษาระยะเวลาในการเก็บรักษาใบทองกวาว

3.2.2.1 ทำการเลือกใบทองกวาวที่ไม่ขาดและไม่เกิดเชื้อรา

3.2.2.2 การบรรจุเก็บรักษาใบทองกวาว

- บรรจุใบทองกวาวในถุงซิปจำนวน 1 2 3 และ 4 ชั้น อย่างละ 10 ใบ ทำอย่างละ 2 ชุด และเก็บบรรจุในกล่องทึบแสง

- บรรจุใบทองกวาวในถุงซิปจำนวน 1 2 3 และ 4 ชั้น อย่างละ 10 ใบ ทำอย่างละ 2 ชุด และเก็บบรรจุในกล่องโปร่งแสง

- นำไปแช่ในตู้เย็นโดยใช้ 2 ช่วงอุณหภูมิ คือ 0-4 และ 4-8 องศาเซลเซียส

3.2.3 ขั้นตอนการศึกษาความสามารถในการซึมผ่านของไอน้ำ

3.2.3.1 ตัดตัวอย่างใบทองกวาวและถ้วยใบทองกวาวเป็นวงกลมขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 9 เซนติเมตร ตัวอย่างละ 2 ชิ้น โดยตัวอย่างต้องปราศจากรอยพับ ขีด และรูรั่วที่มองเห็นได้

3.2.3.2 นำซิลิกาเจลที่ผ่านการอบแห้ง บรรจุลงในจานเพาะเชื้อ

3.2.3.3 นำตัวอย่างใบทองกวาวและถ้วยใบทองกวาวมาวางปิดปากถ้วย ผนึกรอบปากถ้วยโดยไม่ให้มีรอยรั่ว

3.2.3.4 นำไปชั่งน้ำหนักอย่างละเอียดด้วยเครื่องชั่งทศนิยม 4 ตำแหน่ง จากนั้นนำไปวางในตู้ควบคุมความชื้น

3.2.3.5 บันทึกการเปลี่ยนแปลงน้ำหนักทุกๆ 24 ชั่วโมง เป็นเวลา 7 วัน

3.2.4 ขั้นตอนการศึกษาคุณสมบัติทางกายภาพของใบทองกวาว

3.2.4.1 ทำการเลือกใบทองกวาวที่ไม่ขาดและไม่มีเชื้อรา

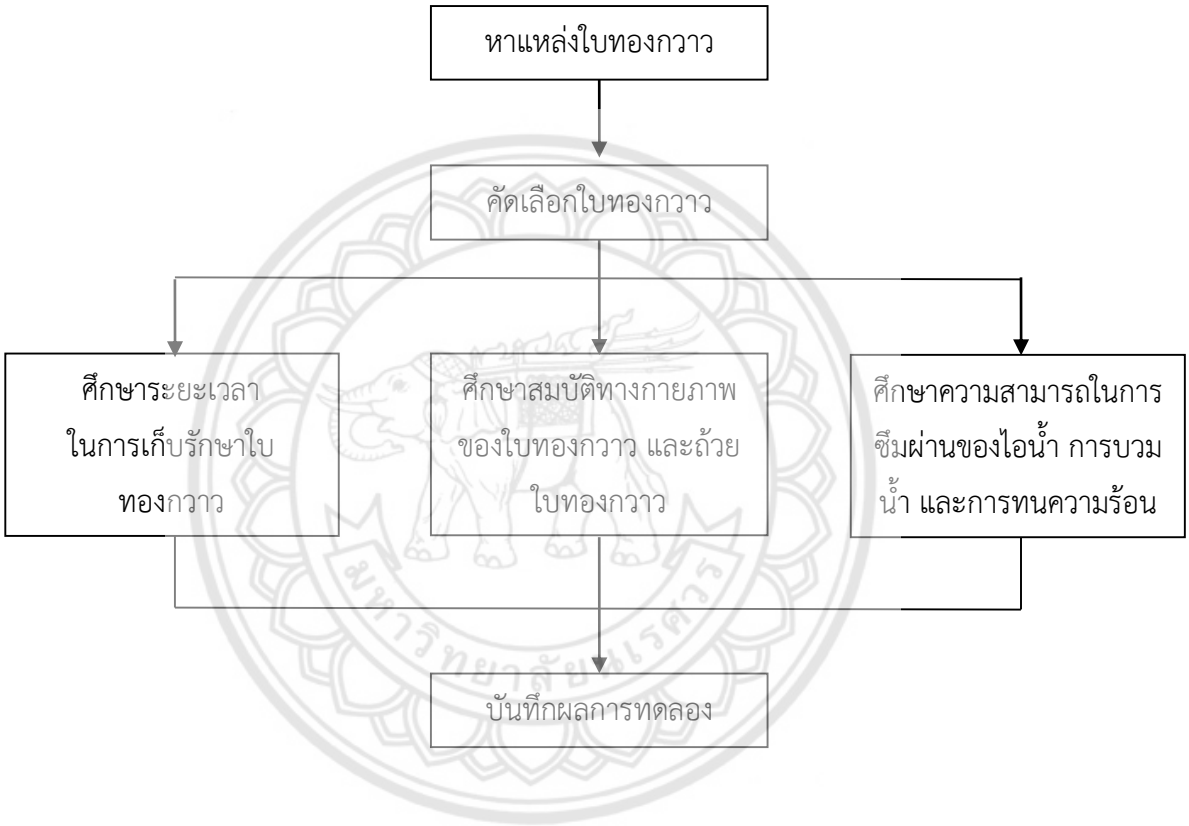
3.2.4.2 ทำการล้างใบไม้ให้สะอาดด้วยน้ำสะอาด

3.2.4.3 นำใบไม้ที่ตากแห้งแล้ว เข้าเตาอบที่อุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 3 ชั่วโมง

3.2.4.4 นำใบไม้ที่ผึ่งแห้งไปขึ้นรูปด้วยใบทองกวาว

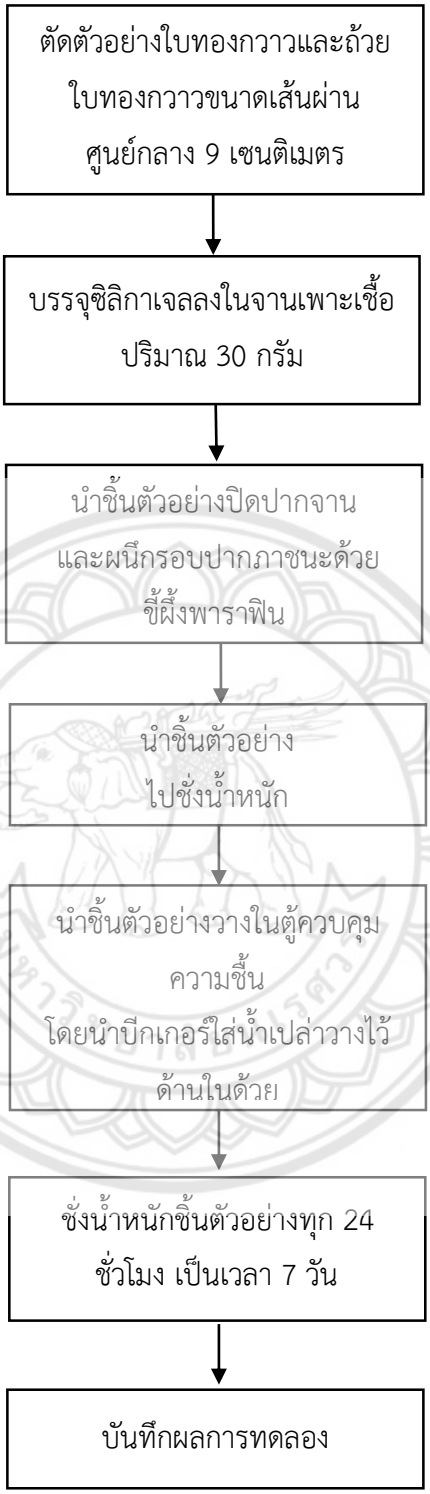
3.2.4.5 เตรียมตัวอย่างสำหรับการทดสอบด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอน

- ตัดชิ้นตัวอย่างในข้อ 3.2.3.4 และ 3.2.3.5 ขนาด 1x1 เซนติเมตร



รูปที่ 3.1 ขั้นตอนการดำเนินการวิจัย

รูปที่ 3.2 ขั้นตอนการศึกษาการเก็บรักษาใบทองกวาว



รูปที่ 3.3 ขั้นตอนการศึกษาความสามารถในการซึมผ่านของไอน้ำ

รูปที่ 3.4 แผนภาพขั้นตอนการศึกษาสมบัติทางกายภาพของใบทองกวาวเพื่อทดสอบโครงสร้างของใบทองกวาว

บทที่ 4

ผลการทดลองและวิเคราะห์ผลการทดลอง

ในบทนี้นำเสนอผลของการทดลองในหัวข้อต่างๆ ดังนี้

4.1 ผลการศึกษาตัวแปรที่มีผลต่อระยะเวลาในการเก็บรักษาใบทองกวาว ได้แก่ อุณหภูมิที่ใช้ในการเก็บรักษา กล่องทึบแสง โปร่งแสง และจำนวนชั้นของถุงซิปที่ใช้ในการเก็บรักษา

4.2 ผลการศึกษาค่าการซึมผ่านไอน้ำของใบทองกวาว ถ้วยใบทองกวาว และถุงซิป

4.3 ผลการศึกษาสมบัติทางกายภาพของใบทองกวาว และถ้วยใบทองกวาว ได้แก่ ความเรียบ การบวมน้ำ และการทนต่อความร้อน

4.1 ผลการศึกษาตัวแปรที่มีผลต่อระยะเวลาในการเก็บรักษาใบทองกวาว ได้แก่ อุณหภูมิที่ใช้ในการเก็บรักษา กล่องทึบแสง โปร่งแสง และจำนวนชั้นของถุงซิปที่ใช้ในการเก็บรักษา

การศึกษาตัวแปรที่มีผลต่อการเก็บรักษาใบทองกวาวนั้น เพื่อศึกษาหาระยะเวลาที่จะสามารถเก็บรักษาใบทองกวาวได้นานที่สุด และมีคุณสมบัติที่สามารถผลิตถ้วยใบทองกวาวได้ โดยใช้สายตาและภาพถ่ายสังเกตสีของใบทองกวาวที่เปลี่ยนแปลงไป รวมทั้งลักษณะผิวสัมผัสของใบเป็นค่าชี้วัด ซึ่งหมายถึงการแสดงถึงการเน่าเสีย (Rotten) ของใบทองกวาว โดยทำการเปรียบเทียบกับตัวแปรตัวอื่นที่ใช้ในการเก็บรักษา พร้อมทั้งหาระยะเวลาที่ดีและเหมาะสมที่สุดการเก็บรักษาใบทองกวาว เนื่องด้วยการเก็บรักษาใบทองกวาวในช่วงอุณหภูมิ 4-8 องศาเซลเซียส ใบไม้เกิดการเสื่อมสภาพทางกายภาพ (Physical deterioration of leaves) โดยเฉพาะสีของใบไม้ที่มีการเปลี่ยนสีอย่างชัดเจน คือ ใบไม้มีลักษณะคล้ายกับการช้ำของใบ (Spoiled/rotten leaves) โดยเกิดสภาพช้ำขึ้นหลังจากทำการเก็บรักษาเพียง 7 วัน ดังนั้นจึงได้ทำการศึกษาโดยใช้ช่วงอุณหภูมิที่ต่ำลงคือ ที่อุณหภูมิ 0-4 องศาเซลเซียส ในการวิเคราะห์และสรุปผลการทดลอง ดังนี้

4.1.1 ผลการทดลองเก็บรักษาใบทองกวาว ภายใต้ตัวแปร กล่องทึบแสง และกล่องโปร่งแสง

การศึกษาตัวแปรด้านกล่องทึบแสง โดยใช้กล่องดำเป็นตัวแทนกล่องทึบแสง และด้านกล่องโปร่งแสง โดยใช้กล่องใสเป็นตัวแทนนั้น เป็นการศึกษาเพื่อหาผลกระทบเกี่ยวกับแสงที่อาจจะมีผลต่อการเก็บรักษาใบทองกวาว เนื่องจากแสงส่งผลต่อการสังเคราะห์แสง (Photosynthesis) ของใบไม้ได้ถึงแม้จะ

ถูกเก็บเกี่ยวมาจากต้นแล้วก็ตาม โดยได้ทำการเปรียบเทียบความเปลี่ยนแปลงของใบทองกวาวที่เกิดขึ้นระหว่างการเก็บในกล่องดำและกล่องใส

ผลการทดลองเก็บรักษาใบทองกวาวภายใต้ตัวแปรกล่องดำ และกล่องใสที่อุณหภูมิ 0-4 องศาเซลเซียส จากรูปเมื่อเปรียบเทียบการเก็บรักษาใบทองกวาวภายในกล่องดำและกล่องใส โดยเก็บรักษาภายในถุงซิปจำนวน 2 ชั้น พบว่า

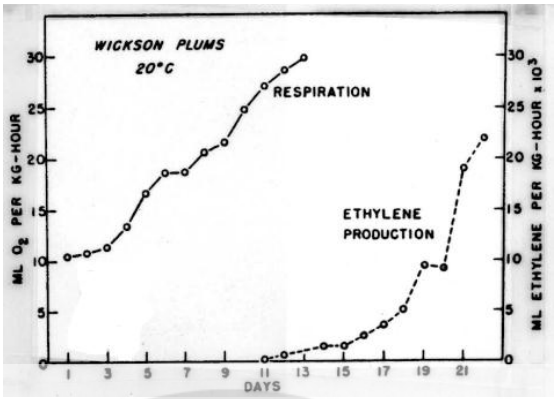
4.1.1.1 เวลา 3 วัน ทั้งกล่องดำและกล่องใส ไม่พบความเปลี่ยนแปลงของใบทองกวาว เนื่องจากอาจจะคงอยู่ในระยะเริ่มต้นในคายพลังงานคายน้ำ และคายคาร์บอนไดออกไซด์ ดังรูปที่ 4.2 โดยมีสมการการหายใจของพืชแบบใช้ออกซิเจน (Aerobic respiration or Cellular respiration) (SciMath, 2562) ดังนี้

$$C_6H_{12}O_6 + 6O_2 \rightleftarrows 6CO_2 + 6H_2O + \text{energy} \qquad (4.1)$$

4.1.1.2 เวลา 10 วัน ทั้งกล่องดำและกล่องใส ยังคงไม่พบความเปลี่ยนแปลงของใบทองกวาว ดังรูปที่ 4.3

4.1.1.3 เวลา 20 วัน จะพบว่าใบทองกวาว เริ่มมีการเปลี่ยนแปลงทั้งกล่องดำและกล่องใส โดยลักษณะที่เกิดขึ้น ใบไม้เริ่มมีรอยฟกช้ำสีดำ ซึ่งคาดว่า อาจจะเกิดจากการเน่าเสียของใบไม้และการเปลี่ยนสีให้เป็นสีดำ ส่วนหนึ่งเกิดจากการคายฮอร์โมนเอทีลีนของใบไม้ เพราะเอทีลีนเป็นฮอร์โมนควบคุมการเจริญเติบโตของพืชและยังควบคุมไปถึงการเกิดสีของใบไม้อีกด้วย ดังรูป 4.1 พบว่า การเพิ่มขึ้นของการหายใจเกิดขึ้นก่อนการเพิ่มขึ้นของเอทีลีน (Biale and Young, 1981) และเวลา 20 วันจะเห็นว่าใบทองกวาวด้านของกล่องใสเกิดรอยช้ำบริเวณขอบใบมากกว่ากล่องดำ ดังรูปที่ 4.4

4.1.1.4 เวลา 30 วัน จะพบว่าใบทองกวาวของกล่องใสเกิดรอยฟกช้ำสีดำมากขึ้นซึ่งมากกว่าใบทองกวาวของกล่องดำอันเนื่องมาจากผลกระทบของแสงเพราะแสงสว่างจะไปช่วยกระตุ้นการเปิดปากใบของใบทองกวาว และการมีปากใบที่ขยายเพิ่มมากขึ้นจะทำให้มีช่องระเหยสำหรับน้ำ การถ่ายเทก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ และอาจรวมไปถึงการระเหยของเอทีลีนที่มีมากขึ้นและน้ำยังเป็นปัจจัยหลักสำคัญในการเกิดการเปลี่ยนแปลงจนกระทั่งเน่าเสีย (SciMath, 2562) ดังรูปที่ 4.5 โดยในการทดลองได้ทำการทดลองซ้ำสองครั้ง ซึ่งได้แสดงในภาคผนวกดังรูป (รูปที่ ก.1 - รูปที่ ก.3)



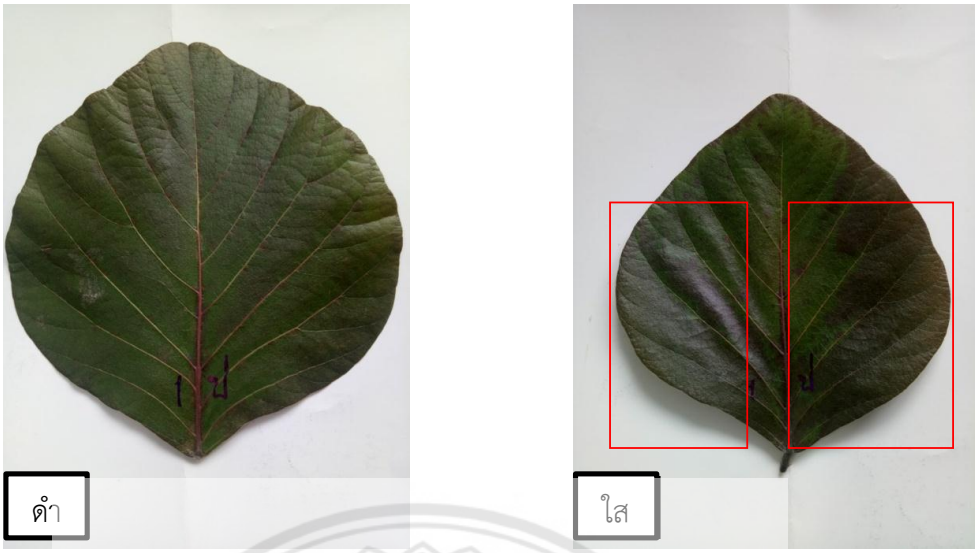
รูปที่ 4.1 อัตราการหายใจและการผลิตเอทีลีนของผลอะโวกาโด

ที่มา : Respiration and ripening in fruits-retrospect and prospect (Biale and Young, 1981)

รูปที่ 4.2 การเก็บรักษาใบทองกวาวในกล่องดำและกล่องใสเวลา 3 วัน

รูปที่ 4.3 การเก็บรักษาใบทองกวาวในกล่องดำและกล่องใสเวลา **10 วัน**

รูปที่ 4.4 การเก็บรักษาใบทองกวาวในกล่องดำและกล่องใสเวลา 20 วัน



รูปที่ 4.5 การเก็บรักษาใบทองกวาวในกล่องดำและกล่องใสเวลา 30 วัน

4.1.2 ผลการทดลองเก็บรักษาใบทองกวาว ภายใต้ตัวแปร จำนวนชั้นของถุงซิปที่ใช้ในการเก็บรักษาในกล่องดำ

จากผลการทดลองที่ได้ในหัวข้อ 4.1.1 พบว่า การเก็บรักษาใบทองกวาวในกล่องดำ จะส่งผลให้ใบไม้เน่าเสียช้าลง จึงนำผลสรุปที่ได้มาทำการศึกษาต่อภายใต้ตัวแปรของการเก็บรักษาในถุงซิปก่อนบรรจุกล่องดำ โดยเปรียบเทียบในส่วนของจำนวนชั้นของถุงซิป (เนื่องจากไม่สามารถจัดซื้อถุงที่มีความหนาตามที่ต้องการได้ในท้องตลาด จึงใช้วิธีการศึกษาแบบใช้การบรรจุในถุงซิปที่มีจำนวนชั้นแตกต่างกัน) เพื่อศึกษาว่าถ้าความหนาของภาชนะที่ใช้เก็บรักษาใบทองกวาวมีความหนาที่แตกต่างกัน อัตราการหายใจของใบทองกวาวจะเป็นอย่างไรจะดี หรือแตกต่างกันอย่างไร โดยผลการทดลองการเก็บรักษาใบทองกวาวภายใต้ตัวแปรจำนวนชั้นของถุงซิป ที่ใช้ในการเก็บรักษาภายในกล่องดำนั้น จากรูป เมื่อเปรียบเทียบกับการเก็บรักษาใบทองกวาวภายในกล่องดำ ที่จำนวนชั้นของถุงซิป 2 ชั้นและ 3 ชั้น พบว่า ที่เวลา 3 10 20 และ 30 วัน ไม่พบความแตกต่างของใบทองกวาว ดังรูปที่ 4.6 ทั้งนี้สันนิษฐานว่า เนื่องมาจากมีผลของค่าการซึมผ่านของไอน้ำและออกซิเจนที่ค่อนข้างใกล้เคียงกัน แต่เมื่อลองสังเกต ใบทองกวาว ที่จำนวนการเก็บรักษาที่ถุงซิป 4 ชั้นที่วันที่ 30 ดังรูปที่ 4.9 จะเห็นว่าสภาพของใบทองกวาวค่อนข้างสมบูรณ์กว่าใบทองกวาวภายในถุงซิป 2 ชั้นและ 3 ชั้น ทั้งนี้เนื่องมาจากค่าการซึมผ่านที่แตกต่างกัน และผลที่ได้พบว่าจำนวนชั้นของถุงซิป 2 ชั้นและ 3 ชั้น เกิดการสูญน้ำเสียไม่แตกต่างกัน แต่ที่จำนวนชั้นถุงซิป 4 ชั้น เกิด

การสูญน้ำเสียได้ช้ากว่าถุงซิป 2 ชั้นและ 3 ชั้น เนื่องมาจากถุงซิป จำนวน 4 ชั้น มีการป้องกันการซึมผ่านของออกซิเจนและน้ำ ที่เป็นตัวแปรในการหายใจและการเน่าสลายของใบไม้ได้ดีกว่าถุงซิป จำนวน 2 ชั้น และ 3 ชั้น แต่เมื่อพิจารณาในแง่ของราคาและวัสดุที่อาจเกิดการสิ้นเปลือง ใบทองกวาวที่เก็บรักษาภายในถุงซิป 2 ชั้นและ 3 ชั้นนั้นก็ยังคงมีสภาพที่ใช้งานได้ ดังนั้น จึงอาจบอกได้ว่าในการทดลองใช้ถุงซิปจำนวน 2 ชั้น หรือ 3 ชั้น ก็อาจจะเพียงพอในการเก็บรักษาเพื่อที่จะทำการขึ้นรูปถ้วยใบทองกวาว และหากมีการควบคุมด้านการเก็บรักษาที่ดี ภายในระยะเวลาการเก็บรักษา 20 วัน ก็จะไม่ส่งผลถึงการเปลี่ยนแปลงด้านสี และคุณภาพของถ้วยใบทองกวาวมากนัก

หมายเหตุ : ตามขั้นตอนการวางแผนทำโครงงานวิจัยครั้งนี้นั้น ได้ทราบผลของจำนวนถุงซิปที่เหมาะสมต่อการนำไปใช้งานจริง คือ จำนวน 2 และ 3 ชั้น แต่เนื่องด้วยต้องการทราบเพิ่มเติมว่า จำนวนถุงซิป 2 และ 3 ชั้น จะมีความเปลี่ยนแปลงของใบทองกวาวแตกต่างกันมากน้อยเพียงใด ดังนั้นจึงได้ทำการทดลองเก็บรักษาใบทองกวาวภายในถุงซิปจำนวน 4 ชั้น เพื่อทำการเปรียบเทียบเพิ่มเติม

รูปที่ 4.6 การเก็บรักษาในถุงซิป 2 ชั้น และ 3 ชั้นเวลา 3 วัน

รูปที่ 4.7 การเก็บรักษาในถุงซิป 2 ชั้น และ 3 ชั้นเวลา 10 วัน

รูปที่ 4.8 การเก็บรักษาในถุงซิป 2 ชั้น และ 3 ชั้นเวลา 20 วัน

รูปที่ 4.9 การเก็บรักษาในถุงซิป 2 ชั้น และ 3 ชั้นเวลา 30 วัน

รูปที่ 4.10 การเก็บรักษาในถุงซิป 4 ชั้นเวลา 30 วัน

4.2 ผลการศึกษาค่าการซึมผ่านไอน้ำของใบทองกวาว ถ้วยใบทองกวาว และถุงซิปจำนวน 1 2 3 และ 4 ชั้น

การศึกษาค่าการซึมผ่านไอน้ำของใบทองกวาว ถ้วยใบทองกวาว และถุงซิป เพื่อศึกษาความสามารถในการเก็บน้ำของใบทองกวาว และถ้วยใบทองกวาว เพื่ออ้างอิงประกอบกับการนำไปใช้งานได้จริง และทำเพื่อศึกษาความสามารถของไอน้ำในการซึมผ่านถุงซิป ว่าถุงซิปจำนวนใด ความหนาขนาดเท่าใด มีการควบคุมและป้องกันไม่ให้ไอน้ำเข้าไปสัมผัสกับใบไม้ทองกวาวที่เราทำการเก็บรักษา ทำการทดลองโดยอาศัยความสามารถในการดูดความความชื้นหรือไอน้ำของเม็ดซิลิกาเจลผ่านตัวกลางคือ ใบทองกวาว ถ้วยใบทองกวาว และถุงซิป โดยจะควบคุมอยู่ภายในตู้ควบคุมความชื้น

ตารางที่ 4.1 ผลการทดลองการซึมผ่านไอน้ำของใบทองกวาว และถ้วยใบทองกวาว

ตัวอย่าง	ใบทองกวาวสด	ถ้วยใบทองกวาว
ความหนา (มิลลิเมตร)	0.000324	0.000280
ค่าการซึมผ่านไอน้ำ (กรัม/ตารางเมตร/วัน)	16.6023	15.5870

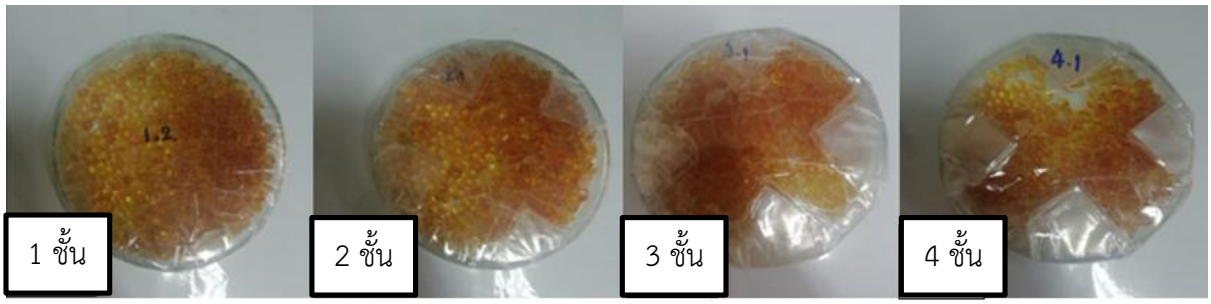
ผลการศึกษาค่าการซึมผ่านของไอน้ำของใบทองกวาว ถ้วยใบทองกวาว พบว่าค่าการซึมผ่านไอน้ำของใบทองกวาวสดดีกว่าของถ้วยใบทองกวาว ดังรูปที่ 4.11 ทั้งนี้น่าจะเป็นสาเหตุมาจากใบไม้สดมีความชื้นภายในตัวอยู่แล้ว และเมื่อนำมาทำการทดลอง จึงอาจทำให้มีปริมาณไอน้ำที่เพิ่มมากขึ้นจากที่ควรจะเป็นจากเดิม จึงส่งผลทำให้เม็ดซิลิกาเจลดูดซึมน้ำทั้งที่มาจากภายนอก และน้ำจากตัวของใบไม้สดเอง จนทำให้มีน้ำหนักที่มีอัตราเพิ่มมากขึ้น จึงทำให้รู้ว่ามีอัตราการซึมผ่านของไอน้ำที่ดีกว่าถ้วยใบทองกวาว

รูปที่ 4.11 ผลการทดลองการซึมผ่านไอน้ำของใบทองกวาวสดและใบทองกวาวขึ้นรูป

ตารางที่ 4.2 ผลการทดลองการซึมผ่านไอน้ำของจำนวนชั้นถุงซิป

ตัวอย่าง	ถุงซิป 1 ชั้น	ถุงซิป 2 ชั้น	ถุงซิป 3 ชั้น	ถุงซิป 4 ชั้น
ความหนา (มิลลิเมตร)	0.000076	0.000121	0.000249	0.000330
ค่าการซึมผ่านไอน้ำ (กรัม/ตารางเมตร/วัน)	1.7345	1.2562	0.7846	0.6278

ผลการศึกษาค่าการซึมผ่านของไอน้ำของถุงซิปจำนวน 1 ชั้น 2 ชั้น 3 ชั้น และ 4 ชั้น พบว่าค่าการซึมผ่านไอน้ำของจำนวนถุงซิป 4 ชั้น และ 3 ชั้น มีค่าน้อยกว่าถุงซิปจำนวนชั้น 2 และ 1 ชั้น ตามลำดับ ทั้งนี้เนื่องมาจากความหนาของถุงซิปที่เพิ่มมากขึ้นจะทำให้อัตราการซึมผ่านของไอน้ำลดลง กล่าวคือ การซึมผ่านเป็นไปได้ยาก ดังรูปที่ 4.12



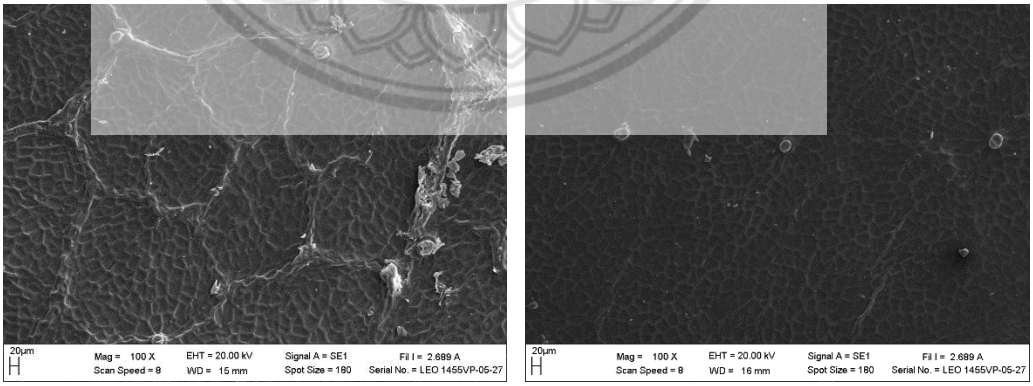
รูปที่ 4.12 ผลการทดลองการซึมผ่านไอน้ำของถุงซิป จำนวน 1 2 3 และ 4 ชั้น

4.3 ผลการศึกษาสมบัติทางกายภาพของใบทองกวาว และถ้วยใบทองกวาว ได้แก่ ความเรียบ การบวมน้ำ และการทนต่อความร้อน

การศึกษาสมบัติทางกายภาพของใบทองกวาวและถ้วยใบทองกวาวนั้น เพื่อศึกษาโครงสร้างและลักษณะสัณฐานวิทยาของใบทองกวาวและถ้วยใบทองกวาว โดยใช้การตรวจสอบจากกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอน เพื่อแสดงลักษณะโครงสร้างภายใน และความเรียบของใบทองกวาวและถ้วยใบทองกวาว นอกจากนี้ยังมีการศึกษาการทนความร้อนของถ้วยใบทองกวาว และการบวมน้ำของถ้วยใบทองกวาวเพื่อใช้ในการอ้างอิงและประกอบกับการนำไปใช้งานจริง

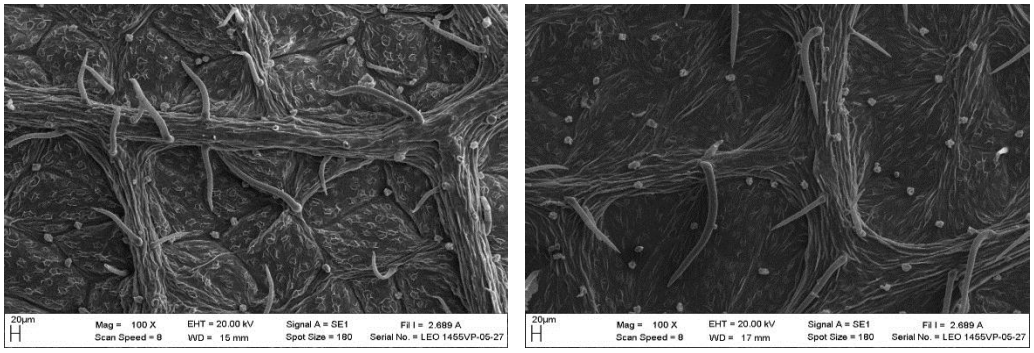
4.3.1 ผลการศึกษาลักษณะทางสัณฐานของใบทองกวาว และถ้วยใบใบทองกวาว

การศึกษาลักษณะทางสัณฐานของใบทองกวาวและถ้วยใบใบทองกวาวด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอน ในการทดสอบภาพที่ได้จากกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแสดงดังรูปที่ 4.13 และ 4.14 จากภาพแสดงให้เห็นว่า พบโครงสร้างที่ซับซ้อนของใบทองกวาวและถ้วยใบทองกวาว จากการสังเกตจะเห็นว่าลักษณะผิวของหลังใบและท้องใบทองกวาวก่อนทำการขึ้นรูปมีลักษณะค่อนข้างหยาบ ด้านหลังใบจะเห็นรอยของเส้นใยปรากฏขึ้น และด้านท้องใบจะสังเกตเห็นเส้นใยเชื่อมต่อกัน มีขนอยู่บริเวณเส้นใบ หลังทำการขึ้นรูปจะสังเกตเห็นได้ว่าด้านหลังใบและท้องใบมีความเรียบขึ้น ซึ่งเกิดจากการกดทับของแม่พิมพ์และความร้อนจากแม่พิมพ์ขณะทำการขึ้นรูป สังเกตได้จากรอยของเส้นใยที่จางหายไป รอยกดทับบริเวณเส้นใบ และบนใบที่แนบติดไปกับท้องใบ ดังแสดงในรูปที่ 4.13 และ 4.14



ก. ก่อนทำการขึ้นรูป **ข. หลังทำการขึ้นรูป**

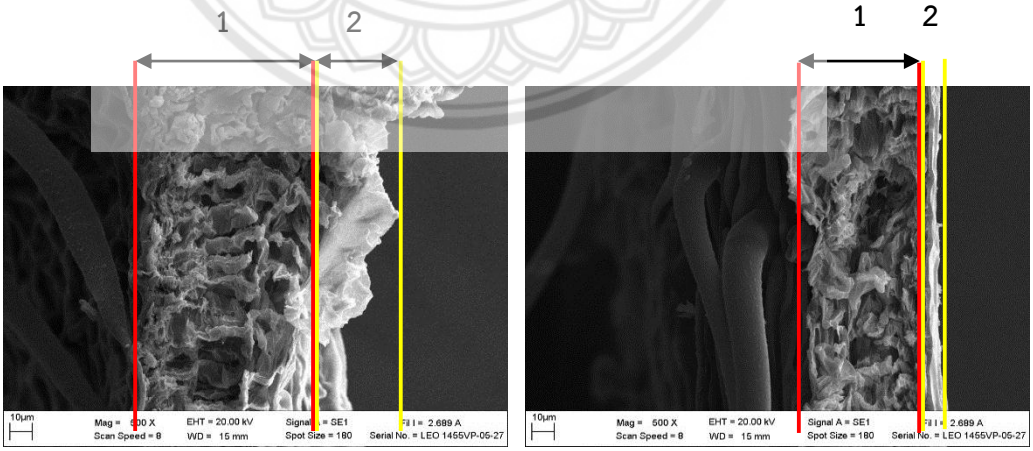
รูปที่ 4.13 ภาพขยายหลังใบทองกวาว (มันวาว) ก. ก่อนทำการขึ้นรูป ข. หลังทำการขึ้นรูป



ก. ก่อนทำการขึ้นรูป ข. หลังทำการขึ้นรูป

รูปที่ 4.14 ภาพขยายท้องใบทองกวาว ก. ก่อนทำการขึ้นรูป ข. หลังทำการขึ้นรูป

และเมื่อพิจารณาเปรียบเทียบองค์ประกอบทางกายภาพของภาพตัดขวางของใบทองกวาว และถ้วยใบทองกวาว จากการสังเกตพบว่า โครงสร้างมีลักษณะถูกกดทับหรือบีบอัดทำให้มีการยุบตัวลง และหดเข้าชิดกันของโครงสร้างของใบทองกวาว ดังแสดงในรูปที่ 4.15 ซึ่งสามารถนำไปอธิบายถึงอัตราการซึมผ่านไอน้ำได้ว่า หลังจากการขึ้นรูปถ้วยใบทองกวาว เนื่องจากโครงสร้างภายในของใบทองกวาวถูกบีบอัดจนชิดกัน ทำให้ช่องว่างของโครงสร้างภายในใบทองกวาวลดลง เมื่อเทียบกับโครงสร้างของใบทองกวาวก่อนทำการขึ้นรูป ส่งผลให้อัตราการซึมผ่านของไอน้ำลดลงหลังทำการขึ้นรูป แสดงผลดังตารางที่ 4.1



ก. ก่อนทำการขึ้นรูป ข. หลังทำการขึ้นรูป

รูปที่ 4.15 ภาพขยายตัดขวางของใบทองกวาว ก. ก่อนทำการขึ้นรูป ข. หลังทำการขึ้นรูป

4.3.2 ผลการทดลองการบวมน้ำของถ้วยใบทองกวาว

การทดลองการบวมน้ำของถ้วยใบทองกวาว จะใช้ถ้วยใบทองกวาวที่สมบูรณ์ แบ่งการทดลองการบวมน้ำออกเป็น 3 การทดลอง คือ การใช้น้ำกลั่น การใช้น้ำส้มสายชูเป็นตัวแทนอาหารที่มีฤทธิ์เป็นกรด และการใช้ผงฟูละลายน้ำเป็นตัวแทนอาหารที่มีฤทธิ์ด่าง เพื่อสามารถนำไปเปรียบเทียบกับการใช้งานจริงกับอาหารที่มีความเป็นกรดด่างได้ โดยทำการทดลองแช่ในสารตัวแทนต่างๆ ทิ้งไว้ภายในถ้วยใบทองกวาว ณ อุณหภูมิห้องเป็นเวลา 5 วัน ซึ่งจะบันทึกค่าการบวมน้ำที่เปลี่ยนแปลงไป ทุกๆ 1 วัน เพื่อเป็นการศึกษาและเปรียบเทียบหาความสามารถในการเก็บสารละลายตัวแทนต่างๆ ของถ้วยใบทองกวาว และเพื่อทำการเปรียบเทียบกับค่าการซึมผ่านของไอน้ำ และอ้างอิงประกอบกับการนำไปใช้งานได้จริง

4.3.2.1 ผลการทดลองการบวมน้ำโดยใช้น้ำกลั่น

ผลการทดลองการบวมน้ำของถ้วยใบทองกวาวโดยใช้น้ำกลั่น หลังจากทำการแช่ทิ้งไว้เป็น เวลา 5 วัน ดังรูปที่ 4.16 พบว่าถ้วยใบทองกวาวมีลักษณะอ่อนตัวลงเนื่องจากเกิดการดูดซับน้ำเข้าไปยังโครงสร้างภายใน และยังคงจะสังเกตเห็นสีของถ้วยใบทองกวาวที่เปลี่ยนแปลงไป ซึ่งน่าจะเป็นผลมาจากการแพร่ของคลอโรฟิลล์จากใบทองกวาวมายังน้ำกลั่น และถ้วยใบทองกวาวที่แช่น้ำกลั่น มีค่าการบวมน้ำเพิ่มขึ้นเฉลี่ยประมาณ 7 เปอร์เซ็นต์ต่อวัน หรือประมาณ 36 เปอร์เซ็นต์ต่อ 5 วันของน้ำหนักถ้วยใบทองกวาวจากเริ่มต้น

รูปที่ 4.16 ผลการทดลองการบวมน้ำของถ้วยใบทองกวาวโดยใช้น้ำกลั่น

4.3.2.2 ผลการทดลองการบวมน้ำโดยใช้น้ำส้มสายชู

ผลการทดลองการบวมน้ำของถ้วยใบทองกวาวโดยใช้น้ำส้มสายชูดังรูปที่ 4.17 เพื่อนำมาเป็นตัวแทนอาหารที่มีความเป็นกรด โดยอาหารส่วนใหญ่จะมีความเป็นกรด ดังนั้นจึงทำการปรับใช้ pH ที่ประมาณ 3 หลังจากทำการแช่ทิ้งไว้เป็น เวลา 5 วัน พบว่าถ้วยใบทองกวาวมีลักษณะอ่อนตัวลง เนื่องจากเกิดการดูดซับน้ำเข้าไปยังโครงสร้างภายใน และยังคงจะสังเกตเห็นสีของถ้วยใบทองกวาวที่เปลี่ยนแปลงไป ซึ่งเป็นผลมาจากการแพร่ของคลอโรฟิลล์จากถ้วยใบทองกวาวมายังน้ำส้มสายชู เช่นเดียวกับการใช้น้ำกลั่น และถ้วยใบทองกวาวที่แช่น้ำส้มสายชู มีค่าการบวมน้ำเพิ่มขึ้นเฉลี่ยประมาณ 20 เปอร์เซ็นต์ต่อ 5 วันของน้ำหนักถ้วยใบทองกวาวจากเริ่มต้น หรือประมาณ 4 เปอร์เซ็นต์ต่อวัน

รูปที่ 4.17 ผลการทดลองการบวมน้ำของถ้วยใบทองกวาวโดยใช้น้ำส้มสายชู

4.3.2.3 ผลการทดลองการบวมน้ำโดยใช้ผงฟูละลายน้ำ

ผลการทดลองการบวมน้ำของถ้วยใบทองกวาวโดยใช้ผงฟูละลายน้ำ เพื่อนำมาใช้เป็นตัวแทนอาหารที่มีความเป็นด่าง ดังรูปที่ 4.18 แต่เนื่องด้วยอาหารมีจำนวนน้อยมากที่จะมีความเป็นด่าง ดังนั้นจึงเลือกใช้ ค่า pH ประมาณ 7.5 หลังจากทำการแช่ทิ้งไว้เป็น เวลา 5 วัน พบว่าถ้วยใบทองกวาวมีลักษณะอ่อนตัวลงเนื่องจากเกิดการดูดซับน้ำเข้าไปยังโครงสร้างภายใน และยังคงจะสังเกตเห็นสีของถ้วยใบทองกวาวที่ซีดลงไป ซึ่งเป็นผลมาจากการแพร่ของคลอโรฟิลล์จากใบทองกวาวมายังน้ำผงฟู เช่นเดียวกับการทดลองที่แช่ในน้ำกลั่นและในน้ำส้มสายชู และถ้วยใบทองกวาวที่แช่ผงฟูละลายน้ำ มีค่า

การบวมน้ำเพิ่มขึ้นเฉลี่ยประมาณ 33 เปอร์เซ็นต์ต่อ 5 วันของน้ำหนักถ้วยใบทองกวาวจากเริ่มต้น หรือประมาณ 6 เปอร์เซ็นต์ต่อวัน

รูปที่ 4.18 ผลการทดลองการบวมน้ำของถ้วยใบทองกวาวโดยใช้ผงฟูละลายน้ำ

4.3.3 ผลการทดลองการทนความร้อนของถ้วยใบทองกวาว

การทดลองการทนความร้อนของถ้วยใบทองกวาว ทำการทดลองโดยนำถ้วยใบทองกวาวแบบใส่น้ำ และไม่ใส่น้ำ อบในเครื่องไมโครเวฟกำลังไฟ 1200 วัตต์ เป็นเวลา 3 5 และ 10 นาที เพื่อศึกษาหาความสามารถในการทนความร้อนของถ้วยใบทองกวาว เพื่ออ้างอิงกับการนำไปใช้งานได้จริง

4.3.3.1 การทดลองการทนความร้อนของถ้วยใบทองกวาวแบบใส่น้ำ

ผลการทดลองการทนความร้อนของถ้วยใบทองกวาวแบบใส่น้ำ เพื่อนำมาใช้เป็นตัวแทนของอาหารที่มีน้ำเป็นองค์ประกอบ อาทิ อาหารประเภทต้ม แกง เป็นต้น พบว่า หลังจากนำถ้วยใบทองกวาวแบบใส่น้ำเข้าไมโครเวฟเป็นเวลา 3 5 และ 10 นาที ตามลำดับ สีของถ้วยใบทองกวาวจะค่อยๆซีดลงไป เมื่อระยะเวลาในการอบเพิ่มขึ้น และจะสังเกตเห็นลักษณะของถ้วยใบทองกวาวที่อ่อนตัวลง ดังรูปที่ 4.19 ซึ่งเป็นผลมาจากน้ำที่เดือดแทรกซึมเข้าไปยังโครงสร้างของตัวถ้วยใบทองกวาว ทั้งนี้ไม่พบการรั่วซึมของน้ำในถ้วยใบทองกวาวออกมาแต่อย่างใด

(ก (ข)

รูปที่ 4.19 การทดสอบการทนความร้อนของถ้วยใบทองกวาวขณะใส่น้ำ
(ก) ก่อนเข้าไมโครเวฟ (ข) หลังเข้าไมโครเวฟ 10 นาที

4.3.3.2 การทดลองการทนความร้อนของถ้วยใบทองกวาวแบบไม่ใส่น้ำ

ผลการทดลองการทนความร้อนของถ้วยใบทองกวาวแบบไม่ใส่น้ำ เพื่อนำมาใช้เป็นตัวแทนของอาหารแห้งหรือขนม อาทิ ขนมปัง ซาลาเปา เป็นต้น พบว่า หลังจากนำถ้วยใบทองกวาวแบบไม่ใส่น้ำ เข้าไมโครเวฟเป็นเวลา 3 และ 5 นาที ไม่พบการเปลี่ยนแปลงของสี และลักษณะโครงสร้างของถ้วยใบทองกวาวแต่อย่างใด และเมื่อนำถ้วยใบทองกวาวแบบไม่ใส่น้ำเข้าไมโครเวฟเป็นเวลา 10 นาที จะเริ่มสังเกตเห็นบริเวณก้นถ้วยใบทองกวาวมีรอยไหม้เกิดขึ้น ดังรูปที่ 4.20

(ก) (ข)

รูปที่ 4.20 การทดสอบการทนความร้อนของถ้วยใบทองกวาวแบบไม่ใส่น้ำ
(ก) ก่อนเข้าไมโครเวฟ (ข) หลังเข้าไมโครเวฟ 10 นาที

บทที่ 5

สรุปผลการทดลอง

ผลการศึกษาและวิเคราะห์สมบัติทางกายภาพของใบทองกวาวและถ้วยใบทองกวาว สรุปได้ดังต่อไปนี้

5.1 การศึกษาตัวแปรที่มีผลต่อระยะเวลาในการเก็บรักษาใบทองกวาว

5.1.1 การเก็บรักษาใบทองกวาวภายในกล่องทึบแสง มีระยะเวลาในการเก็บรักษายาวนานกว่าการเก็บรักษาภายในกล่องโปร่งแสง

5.1.2 การเก็บรักษาใบทองกวาวในถุงซิป สามารถยืดอายุการเก็บรักษาของใบทองกวาวได้ และการเพิ่มจำนวนชั้นของถุงซิปในการเก็บรักษาขึ้น ทำให้อายุการเก็บรักษาของใบทองกวาวเพิ่มขึ้นเล็กน้อย

5.2 การศึกษาค่าการซึมผ่านไอน้ำของใบทองกวาว ถ้วยใบทองกวาว และถุงซิป

5.2.1 ค่าการซึมผ่านไอน้ำของใบทองกวาวมีค่าลดลงหลังจากทำการขึ้นรูป โดยค่าการซึมผ่านของใบทองกวาวก่อนการขึ้นรูปเท่ากับ 16.6023 กรัม/ตารางเมตร/วัน หลังการขึ้นรูปถ้วยใบทองกวาวเท่ากับ 15.5870 กรัม/ตารางเมตร/วัน และไม่เกิดการรั่วซึมทำให้สามารถนำถ้วยใบทองกวาวไปใส่อาหารประเภทต้มหรือแกงได้

5.2.2 เมื่อเพิ่มจำนวนชั้นของถุงซิปมากขึ้นส่งผลให้ค่าการซึมผ่านไอน้ำมีค่าลดลง โดยค่าการซึมผ่านไอน้ำของถุงซิปจำนวน 1 2 3 และ 4 ชั้น มีค่าเท่ากับ 1.7345 1.2562 0.7846 และ 0.6278 กรัม/ตารางเมตร/วัน ตามลำดับ

5.3 การศึกษาสมบัติทางกายภาพของใบทองกวาว และถ้วยใบทองกวาว

5.3.1 การศึกษาลักษณะทางสัณฐานของใบทองกวาว และถ้วยใบทองกวาว

จากการศึกษาลักษณะทางสัณฐานของใบทองกวาว และถ้วยใบทองกวาวด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอน พบว่า การบีบอัดและความร้อนของแม่พิมพ์ในกระบวนการขึ้นรูปส่งผลให้ใบทองกวาวหลังการขึ้นรูปมีความเรียบเพิ่มมากขึ้น โครงสร้างภายในเรียงชิดกันมากขึ้น และมีขนาดช่องว่างของโครงสร้างภายในลดลง

5.3.2 การทดลองการบวมน้ำของถ้วยใบทองกวาว

ผลการทดลองการบวมน้ำของถ้วยใบทองกวาวโดยใช้น้ำกลั่น มีค่าการบวมน้ำเพิ่มขึ้นเฉลี่ยประมาณ 7 เปอร์เซ็นต์ต่อวัน การทดลองการบวมน้ำของถ้วยใบทองกวาวโดยใช้น้ำส้มสายชูเป็นตัวแทนของอาหารที่มีฤทธิ์เป็นกรดมีค่าการบวมน้ำเพิ่มขึ้นเฉลี่ยประมาณ 4 เปอร์เซ็นต์ต่อวัน การทดลองบวมน้ำของถ้วยใบทองกวาวโดยใช้ผงฟูละลายน้ำเป็นตัวแทนของอาหารที่มีฤทธิ์เป็นด่าง มีค่าการบวมน้ำเพิ่มขึ้นเฉลี่ยประมาณ 6 เปอร์เซ็นต์ต่อวัน และถ้วยใบทองกวาวสามารถนำมาใส่อาหารประเภทของเหลวได้ โดยไม่เกิดการรั่วซึมใดๆ

5.3.3 การทดลองการทนความร้อนของถ้วยใบทองกวาว

ถ้วยใบทองกวาวสามารถนำมาใช้ในการอุ่นอาหารได้ตามปกติ โดยระยะเวลาที่เหมาะสมที่ใช้ในการอุ่นอาหารควรอยู่ในระยะเวลาประมาณ 5-8 นาที โดยที่ถ้วยใบทองกวาวจะไม่เกิดการรั่วซึม หรือเกิดความเสียหายใดๆ

เอกสารอ้างอิง

กรมควบคุมมลพิษ. (2559). **ประเภทขยะมูลฝอย.** สืบค้นเมื่อ ตุลาคม 2561, จาก https://sites.google.com/site/khorngkarkhyanichumchun/ home/prapheth-khxng-khya-mulfxy

กระทรวงวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี. **ขยะประเภทพลาสติกและโฟม.** สืบค้นเมื่อ ตุลาคม 2561 จาก http://coastalradar.gistda.or.th/wp/?page=news-detail&id=3561&fbclid=IwAR0HkR5HxO57mfPDwPRtOE8jYG0MkeV7GIbkt6TEWfk0SwdlZpKwosxpE6E

จริงแท้ ศิริพานิช. 2541. **สรีรวิทยาและเทคโนโลยีหลังการเก็บเกี่ยวผักและผลไม้.** พิมพ์ครั้งที่ 2. กรุงเทพฯ : สำนักพิมพ์มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

จารุวัฒน์ โรจนภัทรากุล. (2544). **ผลของ 1-Methylcyclopropene ต่อการชะลอการสุกของผลมะม่วงพันธุ์น้ำดอกไม้.** วิทยานิพนธ์มหาบัณฑิต. วิทยาศาสตร์ (เทคโนโลยีหลังการเก็บเกี่ยว). มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี, กรุงเทพฯ.

จิรัฐิติกาล บุณธนากร และคณะ. (2557). **การยืดอายุข้าวโพดฝักอ่อนด้วยฟิล์มเจาะรูขนาดไมครอน.** ภาควิชาเทคโนโลยีอุตสาหกรรมเกษตร อาหาร และสิ่งแวดล้อม คณะวิทยาศาสตร์ประยุกต์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ. กรุงเทพ ฯ.

ฉัตรเกล้า มะชะศร และคณะ. (2013). **ผลกระทบของตัวแปรที่มีต่อสมบัติของแผ่นฟิล์มพอลิเอทิลีน-เถ้าแกลบที่ก๊าซซึมผ่านได้.** สาขาวิชาวิศวกรรมเคมี คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น. ขอนแก่น.

ชลิดา เล็กสมบูรณ์. (2557). **โรคพืชและการวินิจฉัย.** พิมพ์ครั้งที่ 2. สำนักพิมพ์มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์. กรุงเทพฯ.

ฐานข้อมูลพันธุ์ไม้องค์การสวนพฤกษศาสตร์. **ลักษณะทางพฤกษศาสตร์ของใบทองกวาว.** สืบค้นเมื่อ ตุลาคม 2561 จาก http://www.qsbg.org/database/botanic_book%20full%20option/search_detail.asp?botanic_id=811

ธวัชชัย รัตน์ชเลศ และคณะ. (2556). **มะม่วง-การผลิตและเทคโนโลยีหลังการเก็บเกี่ยว.** ศูนย์นวัตกรรมเทคโนโลยีหลังการเก็บเกี่ยว สำนักงานคณะกรรมการการอุดมศึกษา. เชียงใหม่

เอกสารอ้างอิง (ต่อ)

นันทนา สำเภา. (2558). **ใบ (Leaves).** สื่อการสอน. โรงเรียนปทุมราชวงศา. อำนาจเจริญ.

ปณธรจันทนพ และคณะ. (2557). **คุณภาพและอายุการเก็บรักษาของผลลำไยสดบรรจุภายใต้สภาวะบรรยากาศดัดแปลง.** ภาควิชาเทคโนโลยีอุตสาหกรรมเกษตรอาหารและสิ่งแวดล้อม คณะวิทยาศาสตร์ประยุกต์มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ. กรุงเทพ ฯ.

ปัทมา วิตยากร. (2533). **ดิน : แหล่งธาตุอาหารพืช.** ภาควิชาปฐพีศาสตร์คณะเกษตรศาสตร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น

พิชญา บุญประสม และคณะ. (2551). **การผลิตสารดูดซับเอทีลีนสำหรับยืดอายุการเก็บรักษามะม่วงพันธุ์น้ำดอกไม้.** วารสารวิทยาศาสตร์เกษตร 39 (3 พิเศษ) : 107-110.

มยุรี กระจายกลาง. (2555). **ผลของการใช้ 1-Methylcyclopropene ต่อคุณภาพและอายุการเก็บรักษาผักกาดฮ่องเต้.** คณะเกษตรศาสตร์ ทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม มหาวิทยาลัยนเรศวร. พิษณุโลก.

รัฐพล แสงศัพท์ และคณะ. (2015). **สมบัติเชิงกล และสมบัติการให้ก๊าซผ่านแผ่นฟิล์มพอลิเอทีลีนผสมชานอ้อย.** สาขาวิชาวิศวกรรมเคมี คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น. ขอนแก่น.

ลัดดาวัลย์ คำมะปะนา และคณะ. (2551). **ผลของ 1-Methylcyclopropene ต่อการสลายตัวของคลอโรฟิลล์ในผักชี.** สาขาวิชาเทคโนโลยีหลังการเก็บเกี่ยว คณะทรัพยากรชีวภาพและเทคโนโลยี ศูนย์นวัตกรรมเทคโนโลยีหลังการเก็บเกี่ยว มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี. กรุงเทพฯ.

วิไลวรรณ ศิริอรรถ. (2558). **การรับรู้การใช้ภาชนะโฟมบรรจุอาหารตามแบบแผนความเชื่อสุขภาพ**. มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ วิทยาเขตบางเขน.

ศูนย์ปฏิบัติการวิทยาศาสตร์ คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยนเรศวร. **การวิเคราะห์โครงสร้างด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอน.** สืบค้นเมื่อ ตุลาคม 2561 จาก https://www.sci.nu. ac.th/slcs/tools.Php?tool_ID=1

เอกสารอ้างอิง (ต่อ)

สุณี ปิยะพันธุ์พงศ์. (2560). **รายงานสถานการณ์ขยะมูลฝอยชุมชนของประเทศไทย.** สำนักจัดการกากของเสียและสารอันตรายกรมควบคุมมลพิษ. กรุงเทพ ฯ.

องค์การสวนพฤกษศาสตร์. (2543). **หนังสือพรรณไม้สวนพฤกษศาสตร์สมเด็จพระนางเจ้าสิริกิติ์ เล่มที่ 1.** กระทรวงทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม.

อภิตา บุญศิริ. (2553). **วิทยาการหลังการเก็บเกี่ยวมะม่วงและมังคุดเพื่อการส่งออก.** เอกสารประกอบการบรรยายในการสัมมนา “การพัฒนาการผลิตมะม่วงอย่างยั่งยืน”. นครราชสีมา.

ASTM E96. (2018). **Standard Test Methods for Water Vapor Transmission of Materials.** (Online). Available: https://www.astm.org/Standards/E96.htm (Oct 14, 2018).

ASTM. (1991). **Standard Test Method for Tensile Properties of Thin Plastic Sheeting.** D882-91 In Annual Book of American Society for Testing Methods, ASTM, Philadelphia, pp.313-321.

Basra A. S. (2000). **Plant Growth Regulators in Agriculture and Horticulture.** The Haworth Press. United State of America.

Biale J. B. and Young R. E. (1891). **Respiration and ripening in fruit-retrospect and prospect**. pp. 1-40. In J. Friend and M. J. C. Rhodes (eds.). Recent Advances in the Biochemistry of Fruits and Vegetables. Academic Press, London.

Farooq A Khan, Sajad A Bhat and Sumati Narayan. (2017). **Storage Methods for Fruits and Vegetables.** Sher-e-Kashmir University of Agricultural Sciences and Technology of Kashmir, Shalimar. India.

Food Network Solution. **อัตราการซึมผ่านของไอน้ำ (Water vapor transmission rate**) สืบค้นเมื่อ มีนาคม 2562 จาก http://www.foodnetworksolution.com/wiki/word/0463/water-vapor-transmission-rate-อัตราการซึมผ่านของไอน้ำ

เอกสารอ้างอิง (ต่อ)

Gorney J.R. and Kader A.A. (1996). **Relation of ethylene biosynthesis in climacteric apple fruit by elevated CO_2 and reduced O_2 atmosphere.** Posthavest Biology and Technology 9: 311-323.

Salunkhe D. K. and Kadam S. S. (1998). **Handbook of vegetable science and technology: production, composition, and processing.** Marcel Dekker. New York.

Farhad Ahmadi. et al. (2019). **Long-term anaerobic conservation of fruit and vegetable discards without or with moisture adjustment after aerobic preservation with sodium metabisulfite.** College of Medical Life Sciences & College of Sanghur Life Science, Konkuk University, Republic of Korea.

SciMath**. Cellular respiration**. สืบค้นเมื่อ มีนาคม 2562 จาก https://www.scimath.org/lesson-biology/item/7029-cellular-respiration-7029

SciMath. **การคายน้ำของพืช.** สืบค้นเมื่อ มีนาคม 2562 จาก https://www.scimath.org/article-science/item

Sornsrivichai J. et. al. (1989). **Storage life and quality of mango (Mangifera indica L. cv. Keaw Sawoey) fruit stored in seal packaging by plastic films and under low pressure at different temperature.** Japanese Journal of Tropical Agriculture 33: 6-17.

Sornsrivichai J. et. al. (1992). **Seal packaging by plasticfilm as a technique for limiting fungal decay of mangoes.** Acta Horticulturae 296: 24-32.

Wills R. B. H. and Golding J. (2015). **Advances in Postharvest Fruit and Vegetable Technology.** CRC Press Taylor & Francis Group. New York.

ภาคผนวก ก
(ผลการทดลองเพิ่มเติม)

ตารางที่ ก. 1 น้ำหนักที่เปลี่ยนแปลงไปในแต่ละวันของชิ้นตัวอย่างในการทดสอบการซึมผ่านของไอน้ำของใบทองกวาว

วัน	น้ำหนักตัวอย่าง (กรัม)			
	ก่อนการขึ้นรูป		หลังการขึ้นรูป	
	ตัวอย่างที่ 1	ตัวอย่างที่ 2	ตัวอย่างที่ 1	ตัวอย่างที่ 2
วันที่ 1	78.3379	78.1604	78.2232	77.0202
วันที่ 2	78.9425	78.7976	78.3997	77.1125
วันที่ 3	78.9673	78.8572	78.4954	77.1845
วันที่ 4	79.0705	78.8918	78.6463	77.3009
วันที่ 5	79.1489	78.9094	78.7584	77.3933
วันที่ 6	79.2531	78.9225	78.8970	77.5086
วันที่ 7	79.3267	78.9774	79.0110	77.6008

ตารางที่ ก. 2 น้ำหนักที่เปลี่ยนแปลงไปในแต่ละวันของชิ้นตัวอย่างในการทดสอบการซึมผ่านของไอน้ำของถุงซิป 1 ชั้น และ 2 ชั้น

วัน	น้ำหนักตัวอย่าง (กรัม)			
	ถุงซิป 1 ชั้น		ถุงซิป 2 ชั้น	
	ตัวอย่างที่ 1	ตังอย่างที่ 2	ตัวอย่างที่ 1	ตัวอย่างที่ 2
วันที่ 1	74..6271	77.3075	76.4691	78.3548
วันที่ 2	74.6404	77.3206	76.4776	78.3619
วันที่ 3	74.6532	77.3328	76.4873	78.3712
วันที่ 4	74.6798	77.3585	76.5055	78.3900
วันที่ 5	74.6899	77.3691	76.5125	78.3971
วันที่ 6	74.7012	77.3803	76.5216	78.4060
วันที่ 7	74.7163	77.3938	76.5302	78.4153

ตารางที่ ก. 3 น้ำหนักที่เปลี่ยนแปลงไปในแต่ละวันของชิ้นตัวอย่างในการทดสอบการซึมผ่านของไอน้ำของถุงซิป 3 ชั้น และ 4 ชั้น

วัน	น้ำหนักตัวอย่าง (กรัม)			
	ถุงซิป 3 ชั้น		ถุงซิป 4 ชั้น	
	ตัวอย่างที่ 1	ตังอย่างที่ 2	ตัวอย่างที่ 1	ตัวอย่างที่ 2
วันที่ 1	77.1420	80.2813	80.8900	79.7457
วันที่ 2	77.1541	80.2971	80.9054	79.7600
วันที่ 3	77.1693	80.3128	80.9236	79.7752
วันที่ 4	77.1958	80.3480	80.9552	79.8059
วันที่ 5	77.2078	80.3602	80.9691	79.8188
วันที่ 6	77.2197	80.3762	80.9844	79.8334
วันที่ 7	77.2364	80.3942	81.0025	79.8496

ตารางที่ ก. 4 น้ำหนักที่เปลี่ยนแปลงไปในแต่ละวันของชิ้นตัวอย่างในการทดสอบการบวมน้ำ

ตัวอย่าง	pH	น้ำหนัก (กรัม)						น้ำหนักที่เพิ่มขึ้น (%)	เฉลี่ย (%)
		เริ่มต้น	วันที่ 1	วันที่ 2	วันที่ 3	วันที่ 4	วันที่ 5		
1	6.5	3.8238	4.4445	4.8099	4.9880	5.1739	5.3530	39.99	36.23
2	6.5	4.1541	4.7908	5.2780	5.3593	5.4067	5.5623	33.90	
3	6.5	3.1821	3.8003	4.3168	4.3517	4.4090	4.4290	39.18	
4	6.5	3.8689	4.3576	4.6240	4.8469	5.0642	5.1002	31.83	
1	3.1	4.0608	4.5099	4.7244	4.7276	4.8150	4.8270	18.87	20.43
2	3.1	3.8182	4.2682	4.6616	4.5728	4.6030	4.7245	23.74	
3	3.1	4.1212	4.6766	4.9228	4.9705	4.9764	5.0322	22.11	
4	3.1	4.3956	4.7636	5.0189	5.0940	5.1361	5.1435	17.01	
1	7.4	3.6906	4.1058	4.4048	4.4311	4.6300	4.7527	28.78	33.49
2	7.4	4.1400	4.8370	5.2994	5.3817	5.5127	5.5343	33.68	
3	7.4	3.3480	3.8180	4.1139	4.1925	4.2467	4.2629	27.33	
4	7.4	3.0445	3.5605	3.9332	4.1694	4.1545	4.3897	44.18	

รูปที่ ก.1 การเก็บรักษาใบทองกวาวในถุงซิป 2 ชั้น และเก็บในกล่องทึบ**แสง (กล่องดำ)** เป็นเวลา 30 วัน ช่วงอุณหภูมิ 0-4 องศาเซลเซียส

รูปที่ ก.2 การเก็บรักษาใบทองกวาวในถุงซิป 3 ชั้น และเก็บในกล่องทึบแสง (กล่องดำ) เป็นเวลา 30 วัน ช่วงอุณหภูมิ 0-4 องศาเซลเซียส

รูปที่ ก.3 การเก็บรักษาใบทองกวาวในถุงซิป 2 ชั้น และเก็บในกล่องโปร่**งแสง (กล่องใส)**
เป็นเวลา 7 วัน ช่วงอุณหภูมิ 4-8 องศาเซลเซียส

รูปที่ ก.4 การเก็บรักษาใบทองกวาวในถุงซิป 2 ชั้น และเก็บในกล่องทึบแสง (กล่องดำ)
เป็นเวลา 7 วัน ช่วงอุณหภูมิ 4-8 องศาเซลเซียส

10 วัน 20 วัน 30วัน

รูปที่ ก.5 การเก็บรักษาใบทองกวาวในถุงซิป 2 ชั้น และเก็บในกล่องโปร่ง**แสง (กล่องใส)** เป็นเวลา 10 20 และ 30 วัน ช่วงอุณหภูมิ 0-4 องศาเซลเซี**ยส**

10 วัน 20 วัน 30วัน

รูปที่ ก.6 การเก็บรักษาใบทองกวาวในถุงซิป 2 ชั้น และเก็บในกล่องทึบแสง (กล่องดำ) เป็นเวลา 10 20 และ 30 วัน ช่วงอุณหภูมิ 0-4 องศาเซลเซียส

10 วัน 20 วัน 30วัน

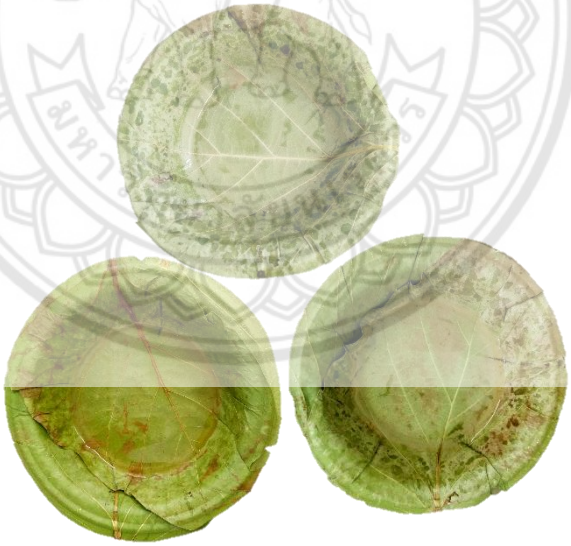
รูปที่ ก.7 การเก็บรักษาใบทองกวาวในถุงซิป 3 ชั้น และเก็บในกล่องทึบแสง (กล่องดำ) เป็นเวลา 10 20 และ 30 วัน ช่วงอุณหภูมิ 0-4 องศาเซลเซียส

รูปที่ ก.8 ถ้วยใบทองกวาวหลังเข้าไมโครเวฟกำลังไฟ 1200 วัตต์ เป็นเวลา 3 นาที

รูปที่ ก.9 ถ้วยใบทองกวาวหลังเข้าไมโครเวฟกำลังไฟ 1200 วัตต์ เป็น**เวลา 5 นาที**

รูปที่ ก.10 ถ้วยใบทองกวาวหลังเข้าไมโครเวฟกำลังไฟ 1200 วัตต์ เป็นเวลา 10 นาที

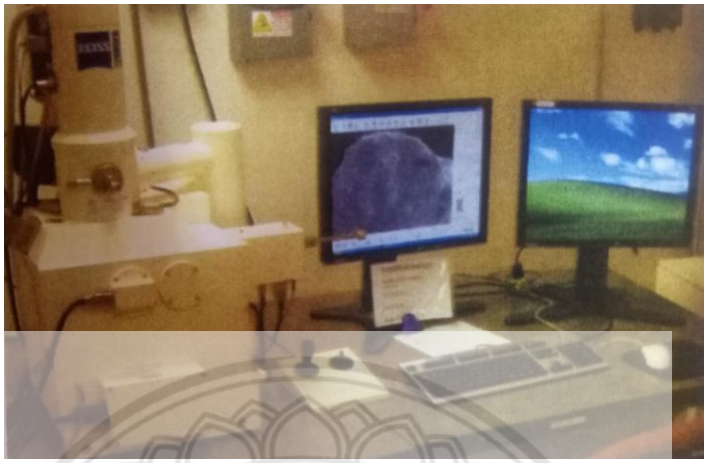
รูปที่ ก.11 ถ้วยใบทองกวาวก่อนเข้าไมโครเวฟ



รูปที่ ก.12 ถ้วยใบทองกวาวใส่น้ำหลังเข้าไมโครเวฟกำลังไฟ 1200 วัตต์ เป็นเวลา 5 นาที

รูปที่ ก.13 ถ้วยใบทองกวาวใส่น้ำหลังเข้าไมโครเวฟกำลังไฟ 1200 วัตต์ **เป็นเวลา 10 นาที**

ภาคผนวก ข
(อุปกรณ์และเครื่องมือ)



รูปที่ ข. 1 กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอน รุ่น Leo-1455VP

รูปที่ ข. 2 เตาไมโครเวฟ รุ่น R-390I

รูปที่ ข. 3 ตู้เย็น

รูปที่ ข. 4 เครื่องวัดความชื้น รุ่น PMB-53

รูปที่ ข. 5 เวอร์เนียร์ดิจิตอล

รูปที่ ข. 6 ไมโครมิเตอร์ดิจิตอล