



การใช้ประโยชน์จากไขที่สกัดจากใบกะหล่ำปลีคั่วทั้ง
สำหรับการเคลือบผิวหน้าผักและผลไม้สด

นิตยา งามม

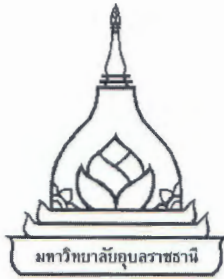
วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาปรัชญาดุษฎีบัณฑิต
สาขาวิชาเทคโนโลยีการอาหาร คณะเกษตรศาสตร์
มหาวิทยาลัยอุบลราชธานี
ปีการศึกษา 2560
ลิขสิทธิ์เป็นของมหาวิทยาลัยอุบลราชธานี



UTILISATION OF EXTRACTED WAX FROM DISCARDED
CABBAGE LEAVES FOR SURFACE COATING
OF FRESH FRUITS AND VEGETABLES

NITTAYA PHUNGAM

A THESIS SUBMITTED IN PARTIAL FULFILLMENT OF THE REQUIREMENTS
FOR THE DEGREE OF DOCTOR OF PHILOSOPHY
MAJOR IN FOOD TECHNOLOGY OF AGRICULTURE
UBON RATCHATHANI UNIVERSITY
ACADEMIC YEAR 2017
COPYRIGHT OF UBON RATCHATHANI UNIVERSITY



ใบรับรองวิทยานิพนธ์
มหาวิทยาลัยอุบลราชธานี
ปริญญาปรัชญาดุษฎีบัณฑิต
สาขาวิชาเทคโนโลยีการอาหาร คณะเกษตรศาสตร์

เรื่อง การใช้ประโยชน์จากไข่ที่สกัดจากใบกะหล่ำปลีคัดทิ้งสำหรับการเคลือบผิวหน้าผักและผลไม้สด

ผู้วิจัย นางสาวนิตยา ภูงาม

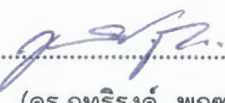
คณะกรรมการสอบ

รองศาสตราจารย์ ดร.เฉลิมชัย วงษ์อารี	ประธานกรรมการ
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.วีรเวทย์ อุทโธ	กรรมการ
ดร.ฤทธิรงค์ พฤษภูมิกุล	กรรมการ
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.เอกสิทธิ์ อ่อนสะอาด	กรรมการ

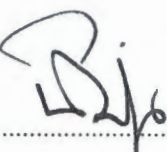
อาจารย์ที่ปรึกษา

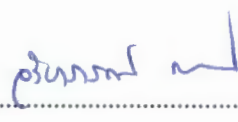

.....
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.วีรเวทย์ อุทโธ)

อาจารย์ที่ปรึกษาหลัก


.....
(ดร.ฤทธิรงค์ พฤษภูมิกุล)

อาจารย์ที่ปรึกษาร่วม


.....
(ดร.นรินทร บุญพราหมณ์)
คณบดีคณะเกษตรศาสตร์


.....
(รองศาสตราจารย์ ดร.อริยาภรณ์ พงษ์รัตน์)
รองอธิการบดีฝ่ายวิชาการ

ลิขสิทธิ์เป็นของมหาวิทยาลัยอุบลราชธานี
ปีการศึกษา 2560

กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบพระคุณ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.วีรเวทย์ อุทโธ อาจารย์ที่ปรึกษาหลัก ในการทำวิทยานิพนธ์ ดร.ฤทธิรงค์ พฤษภูมิกุล อาจารย์ที่ปรึกษา ร่วมวิทยานิพนธ์ ที่ให้ความอนุเคราะห์ตรวจแก้ไขข้อมูล ให้ความรู้ในการเรียนตลอดจนคำแนะนำ ข้อเสนอแนะที่เป็นประโยชน์ต่องานวิจัย และการเขียนเล่ม จนสมบูรณ์ในครั้งนี้ ขอขอบพระคุณรองศาสตราจารย์ ดร.เฉลิมชัย วงษ์อารี ที่ให้เกียรติเป็นประธานกรรมการสอบวิทยานิพนธ์ และผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.เอกสิทธิ์ อ่อนสอาด ที่ให้เกียรติเป็นกรรมการสอบวิทยานิพนธ์ และให้คำแนะนำในการเขียนเล่มวิทยานิพนธ์ ขอขอบพระคุณ ดร.กฤตยา อุทโธ ที่คอยให้คำแนะนำ ความช่วยเหลือในการ ทำวิจัยและการดำเนินชีวิต นอกจากนี้ ขอขอบคุณ คุณครู-อาจารย์ทุกท่านที่เคยอบรมสั่งสอนให้ความรู้ และคำแนะนำต่างๆ ที่เป็นประโยชน์ในการเรียน และการดำเนินชีวิต

ขอขอบพระคุณ สำนักงานพัฒนาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งชาติ (สวทช.) ที่สนับสนุนทุนการศึกษาระดับปริญญาเอก และทุนวิจัย ภายใต้โครงการทุน สถาบันบัณฑิตวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีไทย (Thailand Graduate Institute of Science and Technology: TGIST) และเจ้าหน้าที่ผู้ดูแลการรับทุน TGIST ทุกท่าน ที่คอยช่วยเหลือ อำนวยความสะดวก และประสานงานต่าง ๆ ในการรับทุนครั้งนี้ ขอขอบคุณห้องปฏิบัติการพลาสติก ศูนย์เทคโนโลยีโลหะและวัสดุแห่งชาติ (MTEC) ที่อนุเคราะห์ห้องปฏิบัติการและเครื่องมือวิทยาศาสตร์สำหรับการวิจัย ขอขอบคุณเจ้าหน้าที่ห้องปฏิบัติการพลาสติก ทุกท่าน ที่คอยให้คำแนะนำและความช่วยเหลือในการใช้เครื่องมือ ในการทำงานวิจัย

ขอขอบพระคุณ คณะเกษตรศาสตร์ มหาวิทยาลัยอุบลราชธานี ที่ได้สนับสนุน ทุนเพื่อการพัฒนาวิชาการระดับบัณฑิตศึกษาสำหรับการทำวิจัย ขอขอบคุณเจ้าหน้าที่บุคลากรห้องปฏิบัติการที่ให้ความอนุเคราะห์ การใช้เครื่องมือวิทยาศาสตร์ สำหรับทำงานวิจัย และเจ้าหน้าที่บุคลากรสำนักงานเลขานุการที่อนุเคราะห์ด้านเอกสารราชการและทุนวิจัยต่าง ๆ ขอขอบพระคุณพ่อแสง คุณแม่วันดี งามาม คุณพ่อบุญมี (ตา) คุณแม่จำปี (ยาย) ทัดศรี คุณอนุชรา งามาม (น้องสาว) ที่คอยให้กำลังใจ และสนับสนุนในการเรียนจนสำเร็จ ขอขอบคุณพี่ ๆ (คุณศรียุญา ศิริแสน บัณฑิตา ภูทรัพย์มี สุธิณี อุดมเดชาเวช และ ศิวพร สุกสี) ที่คอยช่วยเหลือในการซื้อ ตัวอย่างในการทำวิจัย ให้กำลังใจ คำปรึกษา และรับฟังเวลาเจอกับอุปสรรค ขอขอบคุณเพื่อน (คุณทรัพย์มณี บุญญโก) สำหรับกำลังใจ คอยรับฟัง และหาทางแก้ไขปัญหาช่วย กันตลอดมา ขอขอบคุณพี่ ๆ น้อง ๆ คณะเกษตรศาสตร์ทุกท่าน ที่คอยให้คำปรึกษาในการเขียนเล่ม และกำลังใจในการทำวิทยานิพนธ์ และสุดท้ายขอบคุณตัวเองที่ยืนยัน ไม่ยอมแพ้ และตั้งใจทำทุกสิ่ง จนกระทั่งวันนี้ประสบความสำเร็จอีกขั้นของการดำเนินชีวิต

นิตยา งามาม
ผู้วิจัย

บทคัดย่อ

เรื่อง : การใช้ประโยชน์จากไขที่สกัดจากใบกะหล่ำปลีคัตทิ้ง สำหรับการเคลือบ
ผิวหน้าผักและผลไม้สด

ผู้วิจัย : นิตยา ภูงาม

ชื่อปริญญา : ปรัชญาดุษฎีบัณฑิต

สาขา : เทคโนโลยีการอาหาร

อาจารย์ที่ปรึกษาหลัก : ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.วีรเวทย์ อุทโท

อาจารย์ที่ปรึกษาร่วม : ดร.ฤทธิรงค์ พงษ์พิบูล

คำสำคัญ : สารเคลือบผิว, ไขสกัดจากใบกะหล่ำปลีคัตทิ้ง, การแลกเปลี่ยนก๊าซและไอน้ำ, การเก็บรักษา, คุณภาพหลังการเก็บเกี่ยว

การสูญเสียน้ำหนักและการเปลี่ยนแปลงคุณภาพอื่น ๆ เช่น ลักษณะปรากฏที่เหี่ยวแห้งเป็นปัญหาสำคัญของการจัดการคุณภาพของผักและผลไม้สดภายหลังการเก็บเกี่ยว สารเคลือบผิวได้ถูกนำมาใช้เพื่อชะลอการเปลี่ยนแปลงคุณภาพดังกล่าว งานวิจัยนี้มีจุดมุ่งหมายเพื่อพัฒนาสารเคลือบผิวจากไขสกัดจากใบกะหล่ำปลีคัตทิ้ง ไขจากใบกะหล่ำปลีได้รับการสกัดด้วยวิธีการจุ่มในตัวทำละลายไดคลอโรมีเทน โดยไขที่สกัดได้มีสมบัติด้านทางเคมี-กายภาพจากการวัดค่าความเป็นกรด ค่าไอโอดีน และค่าซาโปนิฟิเคชัน ใกล้เคียงกับไขเชิงพาณิชย์อื่น ๆ ไขสกัดจากใบกะหล่ำปลีมีแนวโน้มการเกิดกลิ่นเหม็นหืนช้า มีจุดหลอมเหลวกว้าง (49-58°C) และมีสมบัติเทอร์โมพลาสติก การวิจัยนี้ได้ทดสอบการเคลือบผิวหนามะนาวและกระเจี๊ยบเขียวด้วยสารเคลือบผิวดังกล่าว พบว่า สมบัติการยอมให้ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ และไอน้ำซึมผ่านผิวของผลิตภัณฑ์มีค่าลดลงอย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$) เมื่อเปรียบเทียบกับผลิตภัณฑ์ไม่ผ่านการเคลือบผิว ไข ที่สกัดได้ถูกนำมาพัฒนาเป็นสารเคลือบผิวในรูปของสารละลายอิมัลชัน ประกอบด้วย ไขสกัดจากใบกะหล่ำปลี สารไตรเอทานอลเอมีน และน้ำกลั่น การวิจัยนี้ได้ศึกษาสมบัติบางประการของสารเคลือบผิวความเข้มข้น 10-50% (w/v) พบว่า ความเข้มข้นของสารเคลือบผิว 10-30% (w/v) มีความคงตัวของสารละลายอิมัลชันสูงสุด จึงนำสารละลายเหล่านี้มาทดสอบสมบัติของฟิล์มที่ขึ้นรูป ผลการศึกษาแสดงให้เห็นว่าพบว่า ความหนา การดูดซับน้ำ อุณหภูมิหลอมเหลว (T_m) และการต้านทานแรงดึงมีแนวโน้มเพิ่มสูงขึ้นเมื่อความเข้มข้นของสารละลายเพิ่มขึ้น แต่ความสว่างของฟิล์มและการยึดตัวของฟิล์มมีค่าที่ลดลง ทั้งนี้สมบัติการยอมให้ไอน้ำและก๊าซออกซิเจนซึมผ่านฟิล์มมีค่าลดลงเมื่อความเข้มข้นของไขสกัดเพิ่มขึ้น จากผลการทดลองดังกล่าวพบว่าสารละลายความเข้มข้น 10% (w/v) มีความเหมาะสมในการนำมาใช้เป็นสารเคลือบผิวผักและผลไม้ นอกจากนี้การวิจัยนี้ได้ศึกษาผลของสารเคลือบผิวความเข้มข้น 10% (w/v) (CB-wax) ต่อคุณภาพของพริกหวานสด เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 10°C เป็นเวลา 21 วัน เปรียบเทียบกับพริกหวาน สดที่เคลือบผิวด้วยสารละลายไคโตซาน (Chitosan) และไม่เคลือบผิวหน้า (Control) ผลการศึกษาแสดงให้เห็นว่า พริกหวานสดที่เคลือบผิวหน้าด้วยทั้ง CB-wax และ Chitosan มีการเปลี่ยนแปลงลักษณะปรากฏภายนอกเพียงเล็กน้อย ในขณะที่ผลิตผล Control เกิดการเปลี่ยนแปลงอย่างชัดเจนและเกิดการเจริญของเชื้อ ออจุลินทรีย์ภายหลังจากการเก็บรักษา 5 วัน การเคลือบผิวทั้งสองประเภทให้ผลต่อ

คุณภาพไม่แตกต่างกันและสามารถชะลอการเปลี่ยนแปลงสมบัติทางเคมี-กายภาพ ประกอบด้วยความแน่นเนื้อ ปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำได้ ปริมาณกรดที่ไทเทรตได้ อัตราการหายใจ ความเข้มข้น ของเอทานอลในเนื้อเยื่อ การสะสมก๊าซออกซิเจนและก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ และเอทานอลในเนื้อเยื่อของพริกหวาน สด ทั้งนี้พริกหวาน สดที่ไม่ผ่านการเคลือบผิวมีการเปลี่ยนแปลงสมบัติเหล่านี้อย่างรวดเร็ว โดยเฉพาะมีการสะสม เอทานอลในเนื้อเยื่อปริมาณที่สูงมาก ในภาพรวมการวิจัยนี้ได้ประสบความสำเร็จในการพัฒนาสารเคลือบผิวผักและผลไม้จากไขสกัดใบกะหล่ำปลีคัดทิ้ง ซึ่งเป็นนวัตกรรมและองค์ความรู้ใหม่ สารเคลือบผิวนี้นี้มีศักยภาพในการชะลอการเปลี่ยนแปลงคุณภาพหลังการเก็บเกี่ยวของผลิตผลสด และสามารถสร้างมูลค่าเพิ่มให้กับใบกะหล่ำปลีคัดทิ้งได้

ABSTRACT

TITLE : UTILISATION OF EXTRACTED WAX FROM DISCARDED
CABBAGE LEAVES FOR SURFACE COATING OF FRESH FRUITS AND
VEGETABLES

AUTHOR : NITTAYA PHUNGAM

DEGREE : DOCTOR OF PHILOSOPHY

MAJOR : FOOD TECHNOLOGY

ADVISOR : ASSIST. PROF. WEERAWATE UTTO, Ph.D.

CO – ADVISOR : RITTIRONG PRUTHTIKUL, Ph.D.

KEYWORDS : COATING, WAX EXTRACTED FROM DISCARDED CABBAGE LEAVES, GAS
AND WATER VAPOR EXCHANGE, STORAGE, POSTHARVEST QUALITY

Weight losses and other quality changes for example appearance of wrinkles are important problems for postharvest quality management of fresh fruits and vegetables. Surface coating materials have been used to minimize such quality changes. This research aims to develop surface coating material using wax extracted from discarded cabbage leaves. Wax was extracted from cabbage leaves using dipping extractions of which dichloromethane solution was a solvent. Physical and chemical properties measured in terms of acid value, iodine value and saponification number of the wax extracted was similar to those of other commercial waxes. Wax extracted from the cabbage leaves was likely to slowly develop rancidity. It had a wide range of melting point (49-58°C) and had thermoplastic property. Effects of cabbage wax coating on effective skin permeances to water vapor and carbon dioxide of limes and okras were undertaken. The research results highlight that both properties of the fruits coated were significantly lower ($p \leq 0.05$), compared to those of uncoated ones. The wax was later developed as surface coating emulsion comprising with wax extracted from the cabbage leaves, triethanolamine and distilled water. This research investigated certain properties of the emulsions of which concentrations tested were 10-50% (w/v). Experimental results showed that the emulsion concentrations of 10-30% (w/v) were highly stable. These emulsions thereafter were tested in forms of films fabricated. Experimental findings show that thickness, water absorption, melting temperature (T_m) and tensile strength became higher when emulsion concentrations were increased. However brightness and elongation of the films were decreased. Water vapour and oxygen transmission rate properties of the films became decreased when the emulsion concentration were increased. Based upon such research findings,

emulsion concentration of 10% (w/v) was considered suitable to further utilizations as surface coating material for fresh fruits and vegetables. Furthermore the research was conducted to investigate effects of the surface coating material 10% (w/v) (CB-wax) on fresh bell pepper kept at 10°C for 21 days. These were compared to the peppers either which were coated with chitosan and uncoated (control). The experimental results show that visual appearances of the bell pepper coated with CB-wax and chitosan slightly changed but those of the control became noticeably changed as well as microbial growth were detected after 5 days. Both coating materials did not cause apparent differences on qualities of the bell peppers. These materials could delay changes in physico-chemical properties including firmness, total soluble solid (TSS), titratable acidity (TA), respiration rates, ethanol concentration in tissues, and internal oxygen and carbon dioxide concentrations measured in the bell pepper cavities. In contrast those of the non-coated became quickly changed, especially there were high levels of ethanol concentrations accumulated in plant tissues. Overall, the present research had achieved its success in developing surface coating material of which the wax was extracted from the cabbage leaves. This is considered innovation and importantly contributes new knowledge. The surface coating material has potentials in minimizing postharvest quality changes of fresh produce and can create value-added for the discarded cabbage leaves.

สารบัญ

	หน้า
กิตติกรรมประกาศ	ก
บทคัดย่อภาษาไทย	ข
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ	ง
สารบัญ	ฉ
สารบัญตาราง	ช
สารบัญภาพ	ฌ
บทที่ 1 บทนำ	
1.1 ที่มาและความสำคัญของงานวิจัย	1
1.2 สมมุติฐานการวิจัย	3
1.3 วัตถุประสงค์	3
1.4 ขอบเขตการวิจัย	4
1.5 นิยามคำศัพท์	4
บทที่ 2 เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	
2.1 บทนำ	5
2.2 การสูญเสียหลังการเก็บเกี่ยวของกะหล่ำปลี	5
2.3 องค์ประกอบของไขของกะหล่ำปลี	6
2.4 กระบวนการสูญเสียน้ำของผักและผลไม้	10
2.5 สารเคลือบผิวผลไม้ที่สำคัญ	15
2.6 การสกัดไขจากธรรมชาติ	28
2.7 ปัจจัยสำคัญที่มีผลต่อประสิทธิภาพของการสกัดไข	35
2.8 สรุปประเด็นสำคัญ	40
บทที่ 3 วิธีดำเนินการวิจัย	
3.1 บทนำ	41
3.2 วัตถุประสงค์	41
3.3 อุปกรณ์ และเครื่องมือ	41
3.4 สารเคมี	42
3.5 วิธีดำเนินการ	43
3.6 การวางแผนการทดลอง	47
3.7 สรุปประเด็นที่สำคัญ	48

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
บทที่ 4 การศึกษาวิธีการสกัดไข สมบัติทางเคมี-กายภาพของไขสกัดจากใบกะหล่ำปลีและการพัฒนาไขเพื่อเป็นสารเคลือบผิวสำหรับผักและผลไม้	
4.1 บทนำ	49
4.2 การคัดเลือกวิธีการสกัดไขจากใบกะหล่ำปลี	49
4.3 สมบัติทางเคมี-กายภาพของไขสกัดจากใบกะหล่ำปลี	51
4.4 การพัฒนาสารเคลือบผิวจากไขสกัดจากใบกะหล่ำปลี ในรูปสารละลายอิมัลชัน (Emulsion solution)	60
4.5 การศึกษาสมบัติบางประการของฟิล์มที่ขึ้นรูปจากสารเคลือบผิว	68
4.6 สรุปประเด็นสำคัญ	77
บทที่ 5 ผลของสารเคลือบผิวหน้าสกัดจากไขใบกะหล่ำปลีต่อการเปลี่ยนแปลงคุณภาพของพริกหวานสดระหว่างการเก็บรักษา	
5.1 บทนำ	78
5.2 คุณภาพทางกายภาพ	78
5.3 คุณภาพทางด้านเคมี	87
5.4 สรุปประเด็นสำคัญ	94
บทที่ 6 สรุปและข้อเสนอแนะ	
6.1 สรุปผลการศึกษา	95
6.2 แนวทางการนำผลการทดลองไปใช้ประโยชน์	96
6.3 แนวทางการศึกษาต่อไป	97
เอกสารอ้างอิง	98
ภาคผนวก	128
ประวัติผู้วิจัย	172

สารบัญตาราง

ตารางที่	หน้า
2.1 องค์ประกอบทางเคมีของไข (Wax)	8
2.2 ตัวอย่างระดับการสูญเสียน้ำหนักสูงสุดที่ยอมรับได้ของผลไม้บางประเภท (ที่อุณหภูมิ 25°C)	11
2.3 ตัวอย่างสารเคลือบผิวผักและผลไม้ที่สำคัญและผลของสารเคลือบผิวต่อการชะลอการเปลี่ยนแปลงคุณภาพหลังการเก็บเกี่ยว	16
2.4 การสกัดไขมันจากใบกะหล่ำปลีด้วยวิธีการสกัดที่แตกต่างกัน	31
4.1 สมบัติทางเคมี-กายภาพของไขมันสกัดจากใบกะหล่ำปลี	55
4.2 ลักษณะปรากฏของสารละลายอิมัลชันของไขมันสกัดจากใบกะหล่ำปลี	63
4.3 ผลการศึกษาคุณภาพอิมัลชันของสารเคลือบผิว	66
4.4 ผลการศึกษาสมบัติบางประการของฟิล์ม	70
5.1 ผลการสังเกตลักษณะปรากฏภายนอกผิวหน้าของพริกหวานด้วยตาเปล่า ภายหลังการเก็บรักษาที่ อุณหภูมิ 10°C เป็นเวลา 21 วัน	80
5.2 ลักษณะภายนอกของพริกหวานที่ผ่านการเคลือบผิวหน้าและไม่ผ่านการเคลือบผิวหน้า เก็บรักษาที่ อุณหภูมิ 10°C ในระยะเวลาต่าง ๆ ของการเก็บรักษา 21 วัน	81
ก.1 กระบวนการสกัดไขมันจากใบกะหล่ำปลี	133
ข.1 ผลของความเข้มข้นของสารละลายไตรเอทานอลเอมีนที่เหมาะสม กับความคงตัวของอิมัลชันสารเคลือบผิว	161

สารบัญภาพ

ภาพที่		หน้า
2.1	ปรากฏการณ์น้ำกลิ้งบนใบบัว (Lotus leaf effect)	6
2.2	แนวคิดการสร้างความต้านทานการแลกเปลี่ยนก๊าซและไอน้ำระหว่าง ผลิตภัณฑ์และสิ่งแวดล้อมเพื่อชะลอการคายน้ำและกิจกรรมทางชีวเคมี ของผักและผลไม้ภายหลังการเก็บเกี่ยว	12
2.3	แบบจำลองการแพร่ของไอน้ำจากภายในของผลไม้ผ่านสารเคลือบผิว มาสู่สิ่งแวดล้อมภายนอก	13
2.4	ภาพจำลองขั้นตอนการสกัดไขกะหล่ำปลี (Cabbage wax) ด้วยวิธีการแช่ หรือจุ่ม (Extraction by means of immersion or dipping)	30
2.5	ภาพจำลองขั้นตอนการสกัดน้ำมันจากกากถั่วเหลือง ด้วยวิธีการสกัดด้วยตัวทำ ละลายที่มีกระบวนการให้ความร้อนร่วมด้วย	32
2.6	การสกัดด้วยคาร์บอนไดออกไซด์ภายใต้สภาวะวิกฤตยิ่งยวด	34
4.1	ตัวอย่างของไขสกัดจากใบกะหล่ำปลีด้วยวิธีซอกท์เลตและมีการปนเปื้อน ของไขด้วยสารอื่น ๆ เช่น คลอโรฟิลล์ ที่ให้สีเขียวในใบกะหล่ำปลี	50
4.2	ตัวอย่างลักษณะของไขที่สกัดด้วยวิธีที่มีการประยุกต์จากวิธีของ Bohinc et al. (2014)	51
4.3	ผลของไขสกัดจากใบกะหล่ำปลี (Lime+Cabbage wax หรือ CB-wax) และ ไคโตซาน (Lime+Chitosan) ต่อ สมบัติการยอมให้ไอน้ำซึมผ่านผิวหน้าของ มะนาวสด เปรียบเทียบกับมะนาวที่ไม่ผ่านการเคลือบผิวหน้า (Control) เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 25°C	57
4.4	ผลของไขสกัดจากใบกะหล่ำปลี (Lime+Cabbage wax หรือ CB-wax) และ ไคโตซาน (Lime+Chitosan) ต่อ อัตราการหายใจของมะนาวสด เปรียบเทียบ กับมะนาวที่ไม่ผ่านการเคลือบผิวหน้า (Control) เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 25°C	57
4.5	ผลของไขสกัดจากใบกะหล่ำปลี (CB-Wax) และอุณหภูมิการเก็บรักษา ต่อ สมบัติการยอมให้ไอน้ำซึมผ่านผิวหน้า (Effective Surface Water Vapour Permeance; Effective SPW) ของกระเจี๊ยบเขียวสด เปรียบเทียบกับ กระเจี๊ยบเขียวที่ไม่ผ่านการเคลือบผิวหน้า (Control)	58
4.6	ผลของไขสกัดจากใบกะหล่ำปลี (CB-Wax) และอุณหภูมิการเก็บรักษาต่อ อัตราการหายใจของกระเจี๊ยบเขียวสด เปรียบเทียบกับกระเจี๊ยบเขียว ที่ไม่ผ่านการเคลือบผิวหน้า (Control)	59

สารบัญภาพ (ต่อ)

ภาพที่		หน้า
4.7	ผลของไขสกัดจากใบกะหล่ำปลี (CB-Wax) และอุณหภูมิการเก็บรักษาต่อสมบัติการยอมให้ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ซึมผ่านผิวหนังของกระเจี๊ยบเขียวสดเปรียบเทียบกับกระเจี๊ยบเขียวที่ไม่ผ่านการเคลือบผิวหนัง (Control)	60
4.8	ขั้นตอนการเตรียมสารละลายสารเคลือบผิวจากไขสกัดจากใบกะหล่ำปลี	61
5.1	การเปลี่ยนแปลงค่าสี L^* a^* b^* และ h° ของพริกหวาน เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 10°C ในระยะเวลาต่างๆเป็นเวลา 21 วัน (ค่า average $\pm$ standard error; $n=18$)	84
5.2	ร้อยละการสูญเสียน้ำหนักของพริกหวานที่ผ่านการเคลือบผิวหนังด้วย CB-wax และไคโตซาน (Chitosan) เปรียบเทียบกับพริกหวานที่ไม่ผ่านการเคลือบผิว (Control) เก็บรักษาที่ อุณหภูมิ 10°C ในช่วงระยะเวลาต่าง ๆ เป็นเวลา 10 วัน (ค่า average $\pm$ standard error; $n=6$)	85
5.3	การเปลี่ยนแปลงความแน่นเนื้อของพริกหวานที่ผ่านการเคลือบผิวหนังด้วย CB-wax และ ไคโตซาน เปรียบเทียบกับพริกหวานที่ไม่ผ่านการเคลือบผิว เก็บรักษาที่ อุณหภูมิ 10°C เป็นระยะเวลา 21 วัน (ค่า average $\pm$ standard error; $n=18$)	86
5.4	ปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำได้ (แสดงในหน่วย %) ของพริกหวานที่ผ่านการเคลือบผิวหนังด้วย CB-wax และ ไคโตซาน (Chitosan) เปรียบเทียบกับพริกหวานที่ไม่ผ่านการเคลือบผิว (Control) เก็บรักษาที่ อุณหภูมิ 10°C เป็นระยะเวลา 21 วัน (ค่า average $\pm$ standard error; $n=18$)	88
5.5	ปริมาณปริมาณกรดที่ไทเทรตได้ (แสดงในหน่วย %) ของพริกหวานที่ผ่านการเคลือบผิวหนังด้วย CB-wax และ ไคโตซาน (Chitosan) เปรียบเทียบกับพริกหวานที่ไม่ผ่านการเคลือบผิว (Control) เก็บรักษาที่ อุณหภูมิ 10°C เป็นระยะเวลา 21 วัน (ค่า average $\pm$ standard error; $n=18$)	89
5.6	อัตราส่วนของปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำได้ต่อกรดที่ไทเทรตได้ของพริกหวานที่ผ่าน การเคลือบผิวหนังด้วย CB-wax และ ไคโตซาน เปรียบเทียบกับพริกหวานที่ไม่ผ่านการเคลือบผิวหนัง เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 10°C เป็นระยะเวลา 21 วัน (ค่า average $\pm$ standard error; $n=18$)	90
5.7	อัตราการหายใจของพริกหวานที่ผ่านการเคลือบผิวหนังด้วย CB-wax และ ไคโตซาน เปรียบเทียบกับพริกหวานที่ไม่ผ่านการเคลือบผิว เก็บรักษาที่ อุณหภูมิ 10°C เป็นระยะเวลา 10 วัน (ค่า average $\pm$ standard error; $n=6$) หมายถึงค่าที่แสดงวันที่ 0 มีค่าเท่ากับ $0.01 \mu\text{mol s}^{-1} \text{kg}^{-1}$	91

สารบัญภาพ (ต่อ)

ภาพที่	หน้า	
5.8	การเปลี่ยนแปลงความเข้มข้นของก๊าซออกซิเจน (สัญลักษณ์เต็ม) และคาร์บอนไดออกไซด์ (สัญลักษณ์มีช่องว่าง) ที่สะสมอยู่ภายในโพรงของพริกหวานที่ผ่านการเคลือบผิวหน้าด้วย CB-wax และ ไคโตซานเปรียบเทียบกับพริกหวานที่ไม่ผ่านการเคลือบผิว เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 10°C เป็นระยะเวลา 10 วัน (ค่า average $\pm$ standard error; n=6)	93
5.9	การเปลี่ยนแปลงความเข้มข้นของเอทานอลภายในเนื้อเยื่อพริกหวานที่ผ่านการเคลือบผิวหน้าด้วย CB-wax และ ไคโตซานเปรียบเทียบกับพริกหวานที่ไม่ผ่านการเคลือบผิว เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 10°C เป็นระยะเวลา 10 วัน (ค่า average $\pm$ standard error; n=6)	94
6.1	ตัวอย่างผลิตภัณฑ์ต้นแบบสารเคลือบผิวหน้าผักและผลไม้จากไขสกัดใบกะหล่ำปลี แสดงในงาน RISE 2018 ระหว่างวันที่ 30 มีนาคม-1 เมษายน 2561 ณ เซ็นทรัล พลาซ่า อุบลราชธานี (Central Plaza Ubon Ratchathani) จัดโดย สำนักงานอุทยานวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยอุบลราชธานี	97
ค.1	ขนาดของฟิล์มสารเคลือบผิวที่ใช้ในการทดสอบสมบัติเชิงกล	165

บทที่ 1

บทนำ

1.1 ความเป็นมา และความสำคัญของปัญหา

สารเคลือบผิว หน้าผักและผลไม้ซึ่งมีส่วนประกอบของไข สกัดที่ได้มาจากวัตถุดิบทางธรรมชาติ เช่น ไขรำข้าว (Rice bran wax) ไขคาร์นุบา (Carnauba wax) หรือ เรซิน เช่น เชลแลค (Shellac) และ ไคโตซาน (Chitosan) ได้มีการพัฒนาและใช้งานอย่างต่อเนื่อง มีจุดประสงค์เพื่อชะลอการคายน้ำ อัตราการหายใจ การเปลี่ยนแปลงทางสรีรวิทยา และคุณภาพภายหลังการเก็บเกี่ยว (दनัย บุญเกียรติ และนิธิยา รัตนานนท์, 2548; จริญญา ศิริพานิช, 2549; อนุวัตร แจ่มชัด, 2552; Chauhan et al., 2013; Kaya et al., 2016; Zhang et al., 2017) แนวทางในการพัฒนาสารเคลือบผิวในปัจจุบัน ได้มีการนำวัตถุดิบที่มาจากธรรมชาติมาใช้กันมากขึ้น เนื่องจากมีความปลอดภัยต่อ และผู้บริโภคส่วนใหญ่ให้ความสนใจในเรื่องของสุขภาพมากขึ้น ดังนั้นสารเคลือบผิวที่สามารถรับประทานได้ (Edible films) จึงได้รับความนิยมกันอย่างแพร่หลาย ตัวอย่างของวัตถุดิบธรรมชาติที่นำมาผลิตเป็นสารเคลือบผิว เช่น ไขอ้อย (Sugarcane wax) ไขรำข้าว (Rice bran wax) ไคโตซาน (Chitosan) ไขผึ้ง (Bee wax) คาร์บอกซิเมทิล เซลลูโลส (Carboxymethyl cellulose) (Arnon et al., 2014; Fajobi et al., 2015; Kerch, 2015; Perez-Gallardo et al., 2015; Koushesh-Saba and Sogvar, 2016) เจลวุ้นหางจระเข้ (Aloe vera extrac) เจลแป้งมันสำปะหลัง (Cassava starch) แคนเดิลลิลลา แวกซ์ (Candelilla wax) และแซนแทน กัม (Xanthan gum) (de Aquino et al., 2015; De Leon-Zapata et al., 2015; Sharma and Rao, 2015; Vieira et al., 2016)

สารเคลือบผิวที่มีส่วนประกอบของไขคาร์นุบา และเชลแลคเป็นที่นิยมใช้ในอุตสาหกรรม การเคลือบผิวผักและผลไม้ เนื่องจากมีคุณสมบัติทางด้านความแข็งแรงทนทาน ยึดติดพื้นผิวดี ลักษณะปรากฏที่มันวาวสูง ชะลอการซึมผ่านของไอน้ำ ลดการสูญเสียน้ำหนัก ตลอดจนมีความปลอดภัยต่อการบริโภค (จริญญา ศิริพานิช, 2549; Srithanyarat et al., 2011; Singh et al., 2017; Khorram and Ramezani, 2017) แม้ว่าเชลแลคเป็นผลิตภัณฑ์ที่ได้จากธรรมชาติ อันเป็นผลผลิตจากครั้ง และมีการเพาะเลี้ยง ครั้งอย่างแพร่หลายทางภาคเหนือตอนบน ของประเทศไทย แต่ปริมาณของเชลแลคยังไม่ เพียงพอต่อความต้องการในการใช้งาน จึงได้มีการนำเข้าไขคาร์นุบา เพื่อทำเป็นสารเคลือบผิว แต่การนำเข้าไขคาร์นุบา มีมูลค่าสูง (สำนักงานพัฒนาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งชาติ, 2554) อาจส่งผลกระทบต่อต้นทุนและราคาการจัดจำหน่ายของผลิตภัณฑ์ผ่านการเคลือบผิวด้วยไขคาร์นุบา ดังนั้นการใช้ไขจากธรรมชาติที่ได้ภายในประเทศ เพื่อทดแทนการนำเข้าจึงเป็นอีกแนวทางหนึ่งสำหรับการพัฒนาสารเคลือบผิวผักและผลไม้ เมื่อพิจารณาข้อมูลของการสูญเสียภายหลังการเก็บเกี่ยวของผักและผลไม้ภายในประเทศไทย พบว่า มูลค่าการสูญเสีย ตลอดโซ่อุปทานอาหาร อยู่ในระดับที่สูงมากถึง 15-50% (Food and Agriculture Organization in Thailand, 2018) เนื่องจากการจัดการหลังการ เก็บเกี่ยวที่ไม่เหมาะสมของเกษตรกรและผู้ประกอบการ เช่น การไม่ควบคุมอุณหภูมิในระหว่างการขนส่งและการเก็บรักษา หรือการใช้บรรจุภัณฑ์ที่ไม่สามารถสร้าง

สภาวะบรรยากาศดัดแปรสำหรับการชะลอการเปลี่ยนแปลงคุณภาพภายหลังการเก็บเกี่ยว ผัก
กะหล่ำปลีซึ่งเป็นพืชเศรษฐกิจสำคัญประเภทหนึ่งของประเทศไทย มีรายงานการสูญเสียภายหลังการ
เก็บเกี่ยวที่สูง จากการศึกษาของ ชุตินพงษ์ มรรยกุล (2555) พบว่า กะหล่ำปลีที่มีการขนส่งจากแหล่ง
ปลูกและศูนย์รวบรวมสินค้าในจังหวัดเชียงใหม่มายังตลาดไท กรุงเทพฯ มีการสูญเสียคิดเป็น 28-34%
ของน้ำหนักกะหล่ำปลีเดิม กนกพร บุญญะอดิชาติ (2558) ได้รายงานการสูญเสียภายหลังการเก็บ
เกี่ยวของกะหล่ำปลีรูปหัวใจจากแปลงปลูกมายัง ร้านค้าปลีก โครงการหลวง พบว่า กะหล่ำปลีรูป
หัวใจมีการสูญเสียคิดเป็น 2.09-42.99% ของน้ำหนัก สอดคล้องกับผลการศึกษาของวิบูลย์ ช่างเรือ
และคณะ (2555) ที่ได้รายงานว่าการหักซ้ำ การเข้าทำลายของแมลง และการสูญเสียน้ำเป็นสาเหตุที่
สำคัญของการสูญเสียของกะหล่ำปลี ส่งผลให้ผู้ประกอบการต้องทำการคัดและตัดแต่งใบห่อของ
กะหล่ำปลีด้านนอกที่มีลักษณะไม่พึงประสงค์ดังกล่าวออกไป ส่งผลให้น้ำหนักของกะหล่ำปลีลดลง
จากการศึกษาเบื้องต้นโดยสอบถามผู้ประกอบการขายส่งผักและผลไม้สดที่ตลาดวารินเจริญศรี อำเภอ
วารินชำราบ จังหวัด อุบลราชธานี พบว่าผู้ประกอบการต้องตัดใบกะหล่ำปลีเปลือกนอกที่มีตำหนิที่
เป็นจำนวนมากก่อนทำการบรรจุ หัวกะหล่ำปลีลงในถุงพลาสติก หรือแช่เพื่อรอการจำหน่าย ทั้งนี้ใบที่
ผ่านการคัดออกนั้นผู้ประกอบการอาจขายเป็นอาหารสัตว์หรือนำไปทิ้งที่จุดรวมขยะรวมทั้งนำไปทำ
เป็นปุ๋ยหมัก แม้ว่าการตัดใบกะหล่ำปลีทั้งนั้นเป็นสิ่งที่ไม่สามารถเลี่ยงได้ในทางปฏิบัติ แต่การใช้
ประโยชน์หรือการเพิ่มมูลค่าของใบกะหล่ำปลีคัตทิ้งเหล่านั้นอาจเป็นการช่วยเหลือด้านรายได้ ให้กับทั้ง
เกษตรกรและผู้ประกอบการในโซ่อุปทานกะหล่ำปลีได้อีกทางหนึ่ง

การศึกษานี้ได้นำเสนอวัฏกรรมและแนวทางการใช้ประโยชน์จากใบกะหล่ำปลีที่คัตทิ้ง ทั้ง
โดยทำการสกัดไข (Wax หรือ Epicuticular wax) ของใบกะหล่ำปลีคัตทิ้ง แล้วนำไขสกัดมาเตรียม
เป็นสารละลาย ย้อมสีขึ้นเพื่อเป็นสารเคลือบผิวพร้อมใช้งานต่อไป การสกัดไขจากของเหลือทิ้ง
ในกระบวนการผลิต เช่น ไขจากเปลือกอ้อย ที่เป็นของเหลือจากการกระบวนการผลิตน้ำตาลได้รับความ
สนใจศึกษาจากนักวิจัยของสำนักงานพัฒนาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งชาติ (สวทช.) และไขจาก
ฟางข้าวสาลี (Wheat straw wax) เป็นเศษเหลือภายหลังการเก็บเกี่ยวเมล็ดข้าวสาลี (Ali et al.,
2017) แต่เมื่อศึกษาเอกสารอ้างอิงที่เกี่ยวข้องพบว่ายังไม่มีรายงานของการดำเนินการวิจัยเพื่อสกัดไข
จากใบกะหล่ำปลีเพื่อทำเป็นสารเคลือบผิวผลไม้หรือบรรจุภัณฑ์ ทั้งนี้ Koch et al. (2006) and
Reinhard (2018) ได้ทำการวิเคราะห์องค์ประกอบของไขที่สกัดจากใบกะหล่ำปลี และรายงานว่า
มีสมบัติไม่ชอบน้ำ (Hydrophobicity) เปียกน้ำได้น้อยมาก (Low wettability) และสามารถ
ทำความสะอาดตัวเองได้ (Self-cleaning หรือ Lotus leaf effect) ส่วนประกอบหลักของไข
จากใบกะหล่ำปลี คือ สารกลุ่มแอลเคน (เช่น C_{29} -alkane) เท่ากับ $5.44 \times 10^{-8} \text{ g cm}^{-2}$ และ
ส่วนประกอบอื่น เช่น สารกลุ่มไพมารี แอลกอฮอล์ (Primary alcohols) (เช่น Hexacosanol และ
Triacontaneol) เท่ากับ $3.23 \times 10^{-8} \text{ g cm}^{-2}$ สารกลุ่มซีคันนารี แอลกอฮอล์ (Secondary
alcohols) (เช่น Triacontane-15-ol และ Nonacosane-14-ol) เท่ากับ $2.23 \times 10^{-8} \text{ g cm}^{-2}$
สารกลุ่มคีโตน (Ketones) (เช่น Nonacosane-14-one และ Triacontane-15-one) สารกลุ่ม
กรดไขมัน (Fatty acid) (เช่น Octacosanoic acid และ Triacontanoic) สารกลุ่มแอลดีไฮด์
(Aldehydes) (เช่น Octacosanal และ Dotriacontanal) เท่ากับ $2.72 \times 10^{-8} \text{ g cm}^{-2}$ และสารกลุ่ม

เอสเทอร์ (Esters) (เช่น C16-acid-C28-ol, C17-acid-26-ol, C17-acid-C27-ol, C18-acid-C27-ol, C18-acid-C26-ol, C19-acid-C27-ol, และ C20-acid-C27-ol)

แม้ว่าการเคลือบผิวด้วยสารเคลือบผิวสามารถชะลอการเสื่อมเสียโดยเฉพาะการสูญเสียไอน้ำ และน้ำหนักของผลผลิตได้ แต่จำเป็นต้องมีการพิจารณาถึงแนวโน้มของการเกิดสภาวะบรรยากาศดัดแปร (Modified atmosphere condition) ที่เกิดขึ้นภายในผลไม้ เนื่องจากสารเคลือบผิวได้จำกัดอัตราการแลกเปลี่ยนก๊าซและไอน้ำ (Gas and water vapour exchanges) ระหว่างผลผลิต และสิ่งแวดล้อม ในบางกรณีของการเคลือบผิวทำให้อัตราการแลกเปลี่ยนก๊าซออกซิเจนที่ต่ำมากจนนำไปสู่การสะสมของก๊าซออกซิเจนในระ ดับที่ต่ำมาก (เช่น $< 1\%$ (v/v)) ส่งผลให้เกิดกระบวนการหายใจแบบไม่ใช้ออกซิเจนและ การหมัก พร้อมกับการสะสม และเพิ่มขึ้นของปริมาณ เอทานอล (Ethanol) และอะเซทัลดีไฮด์ (Acetaldehyde) ซึ่งอาจมีกลิ่นรสที่ไม่พึงประสงค์ของผู้บริโภค (โคโรตากนกพานนท์ และคณะ, 2555; Arnon et al., 2014) ดังนั้นสมบัติการซึมผ่านฟิล์มซึ่งขึ้นอยู่กับสารเคลือบผิวของก๊าซและไอน้ำจึงต้องมีระดับที่สอดคล้องกับความต้องการด้านการแลกเปลี่ยนก๊าซและไอน้ำของผักและผลไม้

จากข้อมูลที่น่าเสนอมาข้างต้น การศึกษานี้จึงได้ดำเนินการวิจัยและพัฒนา สารเคลือบผิวผักและผลไม้โดยใช้ไข่ที่สกัดจากใบกะหล่ำปลีคัตทั้งพร้อมกับการทดสอบผลของสารเคลือบผิวต่อคุณภาพภายหลังการเก็บเกี่ยวของ ผลผลิต การศึกษานี้ใช้ ผลผลิตทดลองประกอบด้วย มะนาว กระเจี๊ยบเขียว และพริกหวาน เนื่องจากผลผลิต เหล่านี้ มีแนวโน้มการสูญเสียไอน้ำหนัก ที่เกิดจากการสูญเสียไอน้ำสู่บรรยากาศรอบๆ ได้ง่าย ตลอดจน ไม่มีข้อจำกัดด้านฤดูกาลและมีมูลค่าทางการตลาดที่สูง ดังนั้นหากสารเคลือบผิวไข่สกัดจากใบกะหล่ำปลีสามารถยืดอายุการเก็บรักษานานขึ้นจะช่วยคงมูลค่าทางการตลาดของผลผลิตได้มากขึ้น

1.2 สมมุติฐานการวิจัย

1.2.1 ปริมาณไข่สกัดจากใบกะหล่ำปลีคัตทั้งมีความสัมพันธ์กับปัจจัยสำคัญประกอบด้วย

(1) อุณหภูมิ (2) ชนิดและความเข้มข้นของตัวทำละลาย และ (3) ระยะเวลาในการสกัด

1.2.2 ส่วนประกอบของสารเคลือบผิวหน้า เช่น ปริมาณของไข่ สกัด และ/หรือสารละอิมัลซิฟายเออร์ (Emulsifier) ซึ่งมีผลต่อสมบัติบางประการของฟิล์มที่ขึ้นรูปจากสารเคลือบผิว หน้าที่ได้จากไข่ที่ผ่านกระบวนการสกัด

1.2.3 สารเคลือบผิวหน้าที่มีส่วนผสมของไข่ที่สกัดจากใบกะหล่ำปลีคัตทั้งที่มีผลต่อคุณภาพภายหลังการเก็บรักษาของผลผลิตทดลอง

1.3 วัตถุประสงค์

1.3.1 เพื่อศึกษากระบวนการสกัดไข่จากใบกะหล่ำปลี

1.3.2 เพื่อศึกษาสมบัติบางประการของฟิล์มที่ขึ้นรูปจากสารเคลือบผิวซึ่งได้จากไข่ที่ผ่านกระบวนการสกัด

1.3.3 เพื่อศึกษาผลของสารเคลือบผิวหน้าต่อคุณภาพการเก็บรักษาของ ผลผลิตภายหลังการเก็บเกี่ยวของผลผลิตทดลอง

1.4 ขอบเขตการวิจัย

1.4.1 วัตถุประสงค์สำหรับการสกัดใบ คือ กะหล่ำปลีวางแผนซื้อจากพุทธสถานราชธานีโอศก อำเภอดวารินชำราบ จังหวัดอุบลราชธานี (เป็นการปลูกพืชแบบอินทรีย์ เพื่อลดปริมาณสารเคมีบนเปลือกกะหล่ำปลี) และจากตลาดวารินเจริญศรี อำเภอดวารินชำราบ จังหวัดอุบลราชธานี (กะหล่ำปลีทั่วไปเพื่อนำมาสกัดในการพัฒนาเป็นสารเคลือบผิวต้นแบบ) ทั้งนี้ใบกะหล่ำปลีที่นำมาใช้ในการสกัดใบนั้นทำการคัดเลือกใบด้านนอกที่มีรอยหัก รอยแตก การเจาะของแมลง และใบที่เหี่ยว

1.4.2 ผลิตผลทดลอง ประกอบด้วย มะนาว กระเจี๊ยบเขียว และพริกหวาน

1.5 นิยามคำศัพท์

1.5.1 สารเคลือบผิว คือ สารที่ทำหน้าที่ยึดประสานอนุภาคของสารประกอบเข้าไว้ด้วยกัน มีลักษณะเป็นฟิล์มมีความหนืดเล็กน้อยยึดติดแน่นกับพื้นผิวที่ถูกเคลือบ ช่วยยืดอายุการเก็บรักษาผลผลิต ซึ่งถูกพัฒนามาจากวัตถุดิบทางธรรมชาติที่ได้มาจากพืช และสัตว์ เช่น ไชเซลแลค ไชผึ้ง และ ไชคาร์บูนา (Grainger and Blunt, 1998)

1.5.2 สารเคลือบผิวประเภทไขมันที่ผลิตในรูปของอิมัลชัน (Emulsion) มีองค์ประกอบของ ไขมัน น้ำ และสารอิมัลซิไฟเออร์ (Emulsifier) โดยสารอิมัลซิไฟเออร์ทำหน้าที่เป็นตัวเชื่อมให้อนุภาคของไขมันกับน้ำรวมตัวเป็นเดียวกัน และไม่เกิดการแยกชั้น เนื่องจากโมเลกุลของสารอิมัลซิไฟเออร์มีทั้งที่โมเลกุลมีขั้วที่จับกับโมเลกุลของไขมัน และโมเลกุลที่ไม่มีขั้วจับกับน้ำให้เกิดการเชื่อมกันระหว่างโมเลกุล และเกิดความคงตัวของระบบอิมัลชันขึ้น (Kumar et al., 2016)

บทที่ 2

เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.1 บทนำ

เนื้อหาในบทนี้ได้รวบรวมความรู้เกี่ยวกับการสกัดจากใบ กะหล่ำปลี เพื่อนำมาผลิตต่อยอดเป็นสารเคลือบผิวหน้า (Surface coating material) สำหรับผักและผลไม้สด ทั้งนี้เนื้อหาได้ครอบคลุมถึงสมบัติทางเคมีกายภาพของไข่ เช่น ค่าไอโอดีน ค่าความเป็นกรด และค่าซาโปนิฟิเคชัน การเตรียมสารเคลือบผิวในรูปของสารละลายอิมัลชัน ตลอดจนผลของการเคลือบผิวหน้าต่อการเปลี่ยนแปลงคุณภาพภายหลังการเก็บเกี่ยวของผักและผลไม้สด ปัจจุบันการใช้ประโยชน์จากใบกะหล่ำปลีคั้ดทิ้งยังอยู่ในวงจำกัดเพียงการเลี้ยงสัตว์หรือทำปุ๋ยชีวภาพ (ดังที่ได้นำเสนอในบทที่ 1) การสกัดจากใบกะหล่ำปลีเพื่อทำเป็นสารเคลือบผิวผักและผลไม้จึงเป็นแนวทางสำคัญในการใช้ประโยชน์จากใบคั้ดทิ้งเหล่านี้ จากการสืบค้นเอกสารอ้างอิงที่เกี่ยวข้องพบว่ายังไม่มีการศึกษา วิจัยการทำสารเคลือบผิวหน้าจากไข่สกัดจากใบกะหล่ำปลี และเนื้อหาที่เกี่ยวข้องค่อนข้างจำกัด ดังนั้นเนื้อหาที่รวบรวมในบทนี้จึงได้นำเนื้อหาของผลิตผลและ /หรือสารเคลือบผิวอื่น ๆ มาเพิ่มเติมสำหรับองค์ความรู้ในการวิจัยต่อไป

2.2 การสูญเสียหลังการเก็บเกี่ยวของกะหล่ำปลี

กะหล่ำปลีอยู่ในตระกูลของ *Cruciferae* มีชื่อทางวิทยาศาสตร์ว่า *Brassica oleracea* var. *capitata* Linn. (Ceponis et al., 1987) กะหล่ำปลีนิยมรับประทานทั้งแบบสดโดยรับประทานเป็นเครื่องเคียง และแบบเป็นส่วนประกอบ ในการปรุงอาหารในรูปการกินสุก กะหล่ำปลีมีคุณค่าทางอาหารและมีมูลค่าทางเศรษฐกิจที่สูงเนื่องจากเป็นที่นิยมในการบริโภค ทั้งภายในและต่างประเทศ (เบญจมาศ รัตนชินกร และคณะ, 2549) สำนักงานเศรษฐกิจการเกษตร (2560) รายงานว่า ในปัจจุบันประเทศไทยมีพื้นที่ปลูกกะหล่ำปลีประมาณ 69,108 ไร่ ผลผลิตรวม 248,440 ตัน แต่ละปีสามารถปลูกได้ 2-3 ครั้ง คิดเป็นมูลค่ารายได้ประมาณ 960 ล้านบาท ทั้งนี้ในการเตรียมกะหล่ำปลีเพื่อจัดจำหน่ายมีการจัดการภายหลังการเก็บเกี่ยว หลายขั้นตอน ได้แก่ การทำความสะอาด และการตัดแต่งใบที่เสียออก ขั้นตอนต่าง ๆ เหล่านี้ทำให้เกิดการสูญเสียภายหลังการเก็บเกี่ยวของกะหล่ำปลีเกิดขึ้น (กนกพร บุญญะอดิชาติ, 2558) ดนัย บุญยเกียรติ และคณะ (2555) ศึกษาการสูญเสียทางปริมาณของกะหล่ำปลีรูปหัวใจจากสถานที่ต่าง ๆ ในโซ่อุปทาน พบว่า การสูญเสียของกะหล่ำปลีจากการตัดแต่ง มีสัดส่วนที่ต่างกัน เช่น ใน แปลงปลูก เท่ากับ 7.24% โรงคัดบรรจุศูนย์พัฒนาโครงการหลวง เท่ากับ

42.99% โรงคัดบรรจุเชียงใหม่ เท่ากับ 4.11% โรงคัดบรรจุกรุงเทพฯ เท่ากับ 7.36% และร้านค้าปลีกโครงการหลวง เท่ากับ 2.09%

จากข้อมูลการสูญเสียดังกล่าวข้างต้นแสดงให้เห็นว่า การสูญเสียที่เกิดจากการตัดแต่งในแปลงปลูกเป็นสาเหตุของการสูญเสียที่สำคัญ เนื่องจากกะหล่ำปลีได้รับความเสียหายจากรอยแผล ของ การเข้าทำลายของเชื้อ จุลินทรีย์และ รอยกัด จาก แมลง ทำให้ต้องมีการตัดแต่งใบกะหล่ำปลีที่เกิดความเสียหายออกเป็นจำนวนมาก (ตามร บัณฑิตน์, 2558); ชูติพงศ์ มัชยกุล และ สมพงษ์ ศิริโสภณศิลป์ (2554) ได้ศึกษาข้อมูล ศูนย์คัดบรรจุมูลนิธิโครงการหลวงทุ่งหลวง จังหวัดเชียงใหม่ และรายงานว่าการสูญเสียปริมาณของกะหล่ำปลีภายหลังการตัดแต่งของเกษตรกร (จำนวน 6 ราย) มีระดับสูงถึง 9.48% ของปริมาณผลผลิตทั้งหมด ส่วนที่สูญเสียมากที่สุด คือ ใบห่อด้านนอกสุดของกะหล่ำ ปลีเนื่องผลมาจากการบอบช้ำ แตกหัก และแมลงกัดเจาะ ดังเช่นที่ได้นำเสนอข้างต้น การบรรจุและการขนส่ง ที่ไม่เหมาะสม และไม่ระมัดระวัง ทำให้กะหล่ำปลี เป็นสาเหตุสำคัญของการบอบช้ำ (เบญจมาศ รัตนชินกร และคณะ , 2549) ดังนั้นหากสามารถนำใบกะหล่ำปลีคัดทิ้งจากการตัดแต่งมาใช้ประโยชน์ได้ จะเป็นแนวทางสำคัญในการเพิ่มมูลค่าของสิ่งเหลือทิ้ง (Waste) ให้กับเกษตรกรและผู้ประกอบการได้

2.3 องค์ประกอบของไขของกะหล่ำปลี

ใบกะหล่ำปลีมีองค์ประกอบของ ไข (Wax) หรือนวล มีสมบัติไม่ชอบน้ำ (Hydrophobicity) ไม่สามารถละลายน้ำได้ แต่ สามารถ ละลายได้ในสารละลายอินทรีย์ เช่น เอทานอล (Ethanol) และไดคลอโรมีเทน (Dichloromethane) เปียกน้ำได้น้อยมาก (Low wettability) และสามารถทำความสะอาดตัวเองได้ หรือเป็นลักษณะของน้ำกลิ้งบนใบบัว (Self-cleaning หรือ Lotus leaf effect) (Blenn et al., 2012) ปรากฏการณ์น้ำกลิ้งบนใบบัว หรือ Lotus leaf effect (ภาพที่ 2.1) เมื่อสังเกต พื้นผิวใบบัวด้วยตาเปล่ามีลักษณะเหมือนไขและมีสีขาวนวล เนื่องจากองค์ประกอบของไขสักระยะมีสมบัติไม่ชอบน้ำอย่างยิ่งยวด (Highly hydrophobic) และความไม่มีขั้ว (Non-polar) จึงไม่สามารถยึดติดหรือจับกับโมเลกุลของน้ำได้ หากหยดน้ำมาสัมผัสกับพื้นผิวใบจะเกิดลักษณะเป็นทรงกลมเหมือนลูกบอลและมีความยืดหยุ่นสามารถกลิ้งบนใบบัวได้ นอกจากนี้สารประกอบต่างๆ ที่ปนเปื้อนบนผิวหน้าใบบัวซึ่งสามารถละลายน้ำได้ จะเกิดการเกาะติดหยดน้ำส่งผลทำให้ใบบัวเกิดความสะอาดหรืออาจเรียกปรากฏการณ์นี้ว่า การทำความสะอาดตัวเองได้ หรือ Self-cleaning (Barthlott and Neinhuis, 1997; Roach et al., 2008)



ภาพที่ 2.1 ปรากฏการณ์น้ำกลิ้งบนใบบัว (Lotus leaf effect)
ที่มา: Pixoboy (2017)

ไขเป็นองค์ประกอบที่อยู่ผิวหน้าของใบพืชส่วนใหญ่ จัดเป็นสารในกลุ่ม ของลิพิด (Lipid) ที่พบในธรรมชาติโดยทั่วไป เป็น กลุ่มเอสเทอร์ (Ester) ของกรดไขมันกับแอลกอฮอล์ที่มีน้ำหนักโมเลกุลสูง (ประมาณ 88.10 g mol^{-1}) อีกทั้งเป็นแอลกอฮอล์ที่มีหมู่ไฮดรอกซิลเพียงหมู่เดียว (Monohydric alcohol) มีลักษณะเป็นของแข็งที่อุณหภูมิห้อง (Kresge, et al., 2002) ไขที่พบอยู่ผิวหน้าของใบพืชมีองค์ประกอบ 2 ชั้น ได้แก่ (1) อีพิกิวติคูลาร์ แวกซ์ (Epicuticular wax) ทำหน้าที่เคลือบและครอบคลุมผิวหน้าด้านนอก และ (2) คิวติคูลาร์ แวกซ์ (Cuticular wax) เป็นชั้นบางๆอยู่ด้านใน โดยมีองค์ประกอบของคิวติน (Cutin) ที่ทำหน้าที่เป็นแกน โครงสร้างคล้ายฟองน้ำที่มีรูพรุน ประกอบด้วยไข 2 ชนิด ได้แก่ อีพิกิวติคูลาร์ แวกซ์ และคิวติคูลาร์ แวกซ์ เข้ามาอุดรูพรุนในคิวติน ไขมีลักษณะเป็นฟิล์มบางๆ สีขาวเคลือบอยู่บนผิวหน้าของใบพืชมีสมบัติทางเคมีที่ไม่ชอบน้ำส่วนใหญ่ เป็นสารประกอบในกลุ่มอะลิฟาติ กไฮโดรคาร์บอน (Aliphatic hydrocarbon) ที่มีสายโซ่ตรงหลายสายประกอบอยู่ หน้าที่หลักของอีพิกิวติคูลาร์ แวกซ์ คือ ลดการเปียกน้ำ และการสูญเสียความชุ่มชื้นของใบพืช นอกจากนี้มีหน้าที่ในการสะท้อนแสงอัลตราไวโอเล็ต และสามารถทำ ความสะอาดตัวเองได้ (Baker, 1982; Ensikat et al., 2000; Holloway and Jeffree, 2005)

ตารางที่ 2.1 แสดงองค์ประกอบทางเคมีที่สำคัญของไขสกัดโดยทั่วไป เช่น สารกลุ่มแอลกอฮอล์ ประกอบด้วย เตตระโคซานอล (Tetracosanol) เฮกซะโคซานอล (Hexacosanol) ออกโตโคซานอล (Octacosanol) และไตรโคซานอล (Triacosanol) หรือ กรดไขมัน เช่น กรดออกตาโคซานอิก (Octacosanoic acid) กรดไตรอะคอนทานอิก (Triacotanoic acid) และกรดโดไตรอะคอนทานอิก (Dotriacontanoic) (Tassone et al., 2016) ในการศึกษาของ Koch et al. (2006) และ Mackova et al. (2013) พบว่า องค์ประกอบหลักทางเคมีของไขจากใบกะหล่ำปลี ประกอบด้วย (1) สารกลุ่มแอลเคน เช่น เฮกซะโคเซน (Hexacosane หรือ C26-alkanes) มีสมบัติเป็นของแข็ง ไม่สามารถละลายน้ำได้ แต่ละลายในตัวทำละลายอินทรีย์ เช่น เอทานอล และไดคลอโรมีเทน มีจุดหลอมเหลว เท่ากับ 83°C และ (2) สารกลุ่มแอลดีไฮด์ เช่น ออกตาโคซานอล แอลดีไฮด์ (Octacosanol aldehydes หรือ C28-aldehydes) แอลดีไฮด์มีสมบัติละลายน้ำได้ เนื่องจาก โมเลกุลมีขั้ว แต่ความมีขั้วจะลดลงเมื่อจำนวนอะตอมของคาร์บอนมีค่าเพิ่มขึ้น และจุดหลอมเหลว เท่ากับ $10\text{-}30^{\circ}\text{C}$ เมื่อองค์ประกอบของสาร 2 กลุ่ม รวมกันส่งผลให้ไขมีลักษณะเป็นของแข็ง เนื่องจาก ไขมีการจัดเรียงโครงสร้างเป็นรูปแบบเกลียวคู่ (Double helices) ทำให้มีการจัดเรียงตัวของโมเลกุล ไขอย่างเป็นระเบียบ ส่งผลให้โครงสร้างมีความเป็นผลึกที่เป็นของแข็งที่อุณหภูมิห้อง (35°C) (Jenkins and Donald, 1995) ทั้งนี้ไขมีโครงสร้างแข็งแรง จึงช่วยเพิ่มสมบัติในการช่วยชะลอก การซึมผ่านของความชื้นและก๊าซได้ (Masclat et al., 2000) ดังนั้นไขที่เคลือบบนผิวหน้าของใบกะหล่ำปลี จึงช่วยในการลดการสูญเสียหรือการถ่ายเทน้ำหรือก๊าซของใบได้

ตารางที่ 2.1 องค์ประกอบทางเคมีของไข (Wax)

กลุ่มของไขมัน	องค์ประกอบของกลุ่มไขมัน	สูตรเคมีโครงสร้างของกลุ่มไขมัน	จุดหลอมเหลว (°C)
แอลเคน (Alkane)	-เตตระโคเซน (Tetracosane)	C ₂₄ H ₅₀	52
	-เฮปตะโคเซน (Heptacosan)	C ₂₇ H ₅₆	59
	-อ็อกตะโคเซน (Octacosan)	C ₂₈ H ₅₈	64.5
	-โนนาโคเซน (Nonacosane)	C ₂₉ H ₆₀	70
แอลกอฮอล์ (Alcohols)	-โดโคซานอล (Docosanol)	C ₂₂ H ₄₆ O	180
	-เตตระโคซานอล (Tetracosanol)	C ₂₄ H ₅₀ O	391
	-เฮกซะโคซานอล (Hexacosanol)	C ₂₆ H ₅₄ O	305
	-ออกโตโคซานอล (Octocosanol)	C ₂₈ H ₅₈ O	315
ไพมารี แอลกอฮอล์ (Primary alcohols)	-เฮกโคซานอล (Hexacosanol)	C ₂₆ H ₅₄ O	305
	-ไตรคอนทานอล (Triacontanol)	C ₃₀ H ₆₂ O	87
เซคันดารี แอลกอฮอล์ (Secondary alcohols)	-ไตรคอนเทน-15-ol (Triacontane-15-ol)	C ₂₄ H ₄₉	60
	-โนนาโคเซน-14-ol (Nonacosane-14-ol)	C ₃₆ H ₇₄	90
คีโตน (Ketones)	- โนนาโคซาน-15-one (Nonacosan-15-one)	C ₂₉ H ₅₈ O	80
กรดไขมัน (Fatty acid)	กรดไขมันอิ่มตัว (Saturated fat)		
	- กรดลอริก (Lauric acid)	CH ₃ (CH ₂) ₁₀ CO ₂ H	44.2
	- กรดไมริสติก (Myristic acid)	CH ₃ (CH ₂) ₁₂ CO ₂ H	53.9
	- กรดปาล์มิติก (Palmitic acid)	CH ₃ (CH ₂) ₁₄ CO ₂ H	63.1
	- กรดสเตียริก (Stearic acid)	CH ₃ (CH ₂) ₁₂ CO ₂ H	69.9

ที่มา: Masolet et al. (1995); Yang et al. (2007); Vollhard and Schore (2003)

ตารางที่ 2.1 องค์ประกอบทางเคมีของไข (Wax) (ต่อ)

กลุ่มของไขมัน	องค์ประกอบของกลุ่มไขมัน	สูตรโครงสร้างของกลุ่มไขมัน	จุดหลอมเหลว (°C)
	กรดไขมันไม่อิ่มตัว (Unsaturated fat)		
	-กรดลิโนเลอิก (Linoleic acid)	$\text{CH}_3(\text{CH}_2)_4\text{CH}=\text{CHCH}_2\text{CH}=\text{CH}(\text{CH}_2)_7\text{CO}_2\text{H}$	-5
	-กรดลิโนเลนิก (Linolenic acid)	$\text{CH}_3(\text{CH}_2)_4\text{CH}=\text{CHCH}_2\text{CH}=\text{CH}(\text{CH}_2)_7\text{CO}_2\text{H}$	-11
	-กรดโอเลอิก (Oleic acid)	$\text{CH}_3(\text{CH}_2)_7\text{CH}=\text{CH}(\text{CH}_2)_7\text{CO}_2\text{H}$	13.4
	-กรดปาลมิโตอิก (Palmitoleic)	$\text{CH}_3(\text{CH}_2)_4\text{CH}=\text{CH}(\text{CH}_2)_7\text{CO}_2\text{H}$	-0.5
แอลดีไฮด์ (Aldehydes)	-ออกตาโคซานอล แอลดีไฮด์ (Octacosanol aldehydes)	$\text{C}_{28}\text{H}_{56}\text{O}$	103
เอสเทอร์ (Esters)	-แคมเพสเตอ เอสเทอร์ (Campesterol ester)	$\text{C}_{44}\text{H}_{78}\text{O}_2$	137.5
	-ซิโทสเตอ เอสเทอร์ (Sitosterol ester)	$\text{C}_{45}\text{H}_{80}\text{O}_2$	141.5
	-สติกมาสเตอ เอสเทอร์ (Stigmasterol ester)	$\text{C}_{46}\text{H}_{78}\text{O}_2$	145
อื่น ๆ	-ออคโตโคเซน, 24-เมทิล (Octacosene, 24-methyl)	$\text{H}_3\text{C}-\text{CH}=\text{CH}-(\text{CH}_2)_{24}-\text{CH}(\text{CH}_3)-\text{CH}_2-\text{CH}_3$	73
	-เฮกซาโคซานอล, 24-เมทิล (Hexacosanol, 24-methyl)	$\text{H}_3\text{C}-(\text{CH}_2)_{24}-\text{CH}_2\text{OH}$	81
	-ออคทาโคซานอล, 26-เมทิล (Octacosanol, 26-methyl)	$\text{H}_3\text{C}-(\text{CH}_2)_{26}-\text{CH}_2\text{OH}$	83
	-เพนทาโคเซน, 24-เมทิล (Pentacosene, 24-methyl)	$(\text{H}_3\text{C})_2=\text{CH}-(\text{CH}_2)_{24}-\text{CH}_2\text{OH}$	50

ที่มา: Coleman (2001); Beydoun et al. (2008); Baraldi et al. (2003); Food standards agency (2018); Kim et al. (2004)

2.4 กระบวนการสูญเสียของผักและผลไม้

การสูญเสียของผักและผลไม้เกิดขึ้นในระหว่างกระบวนการเมตาบอลิซึมภายหลังการเก็บเกี่ยว โดยกระบวนการคายน้ำและกระบวนการหายใจเป็นสาเหตุสำคัญที่มีผลต่อการสูญเสีย น้ำผลไม้ทั่วไปมีองค์ประกอบของน้ำประมาณ 80-85% (Eskin, 1990) หลังจากการผลิตผลถูกเก็บเกี่ยวออกจากต้นน้ำบางส่วนเกิดการสูญเสียไปจากบริเวณเปลือกหรือผิวของผลไม้ บริเวณดังกล่าวมีส่วนของปากใบ หรือ ขนที่เป็นช่องทางในการปลดปล่อย น้ำออกมาจากภายในของผลไม้ ในธรรมชาติผักและผลไม้มีส่วนประกอบที่เป็นไขเคลือบอยู่ที่ผิวหน้าของผักและผลไม้ทำหน้าที่ชะลอการสูญเสีย (Dominguez et al., 2011) อย่างไรก็ตามชั้นของไขเกิดการหลุดออก อาจเกิดขึ้นระหว่างกระบวนการเก็บรักษาก่อนการขนส่ง และกระบวนการทำความสะอาด หรืออาจเกิดรอยแตก จากการเปลี่ยนแปลงของสภาวะอากาศหรือสิ่งแวดล้อมต่างๆ ส่งผลให้ความสามารถในการชะลอ การสูญเสียน้ำลดลง (Lownds et al., 1994; Maguire et al., 1999; Knoche et al., 2000; Peschel et al., 2003; Gilbert et al., 2010) นอกจากทำหน้าที่ชะลอการสูญเสียน้ำ ไขยังทำหน้าที่ป้องกันการเข้าทำลายของแมลงศัตรูพืชที่ส่งผลต่อการเกิดโรค และการเสื่อมเสียของพืช (Antonio et al., 2004; Muller and Riederer, 2005; Karbulkova et al., 2008; Damour et al., 2010; Lara et al., 2014) ในบทนี้ได้ใช้คำว่า “ผลไม้” แทนคำว่า “ผักและผลไม้” เพื่อความกระชับของคำและเนื้อหาในการนำเสนอ

เมื่อพิจารณาจากปริมาณน้ำในผลไม้ที่ สูญเสียไปในกระบวนการหายใจ พบว่ามีการสูญเสียน้ำไปในปริมาณที่น้อยกว่าปริมาณการสูญเสียน้ำจากกระบวนการคายน้ำ (Kader, 1987) อย่างไรก็ตามการสูญเสียน้ำจากการหายใจอาจมีส่วนที่มากกว่าการสูญเสียน้ำจากกระบวนการคายน้ำ เมื่อผลไม้ถูกเก็บรักษาภายใต้บรรยากาศที่มี ความชื้นสูงมาก (เช่น ความชื้นสัมพัทธ์ในบรรยากาศ เท่ากับ 95-99% RH) เนื่องจากผลไม้มีน้ำเป็นส่วนประกอบหลักจึงส่งผลให้ความชื้นในผลไม้มีค่าที่สูง ดังนั้นเมื่อความชื้นภายในผลไม้และบรรยากาศรอบ ๆ ผลไม้มีค่าที่ใกล้เคียงกัน ทำให้เกิดการสูญเสียน้ำจากการคายน้ำที่ต่ำ แต่กระบวนการหายใจของผลไม้ยังคงเกิดได้อย่างต่อเนื่องส่งผลให้เกิดการสูญเสียน้ำผ่านกระบวนการหายใจและนำไปสู่การสูญเสียน้ำหนักของผลไม้ ในการศึกษาการเก็บรักษาพริกสดในบรรจุภัณฑ์พลาสติก Utto (2001) รายงานว่า การสูญเสียน้ำหนักของพริกสดมีสาเหตุสำคัญมาจากการหายใจเมื่อความชื้นภายในบรรจุภัณฑ์สูงประมาณ 95-99% RH

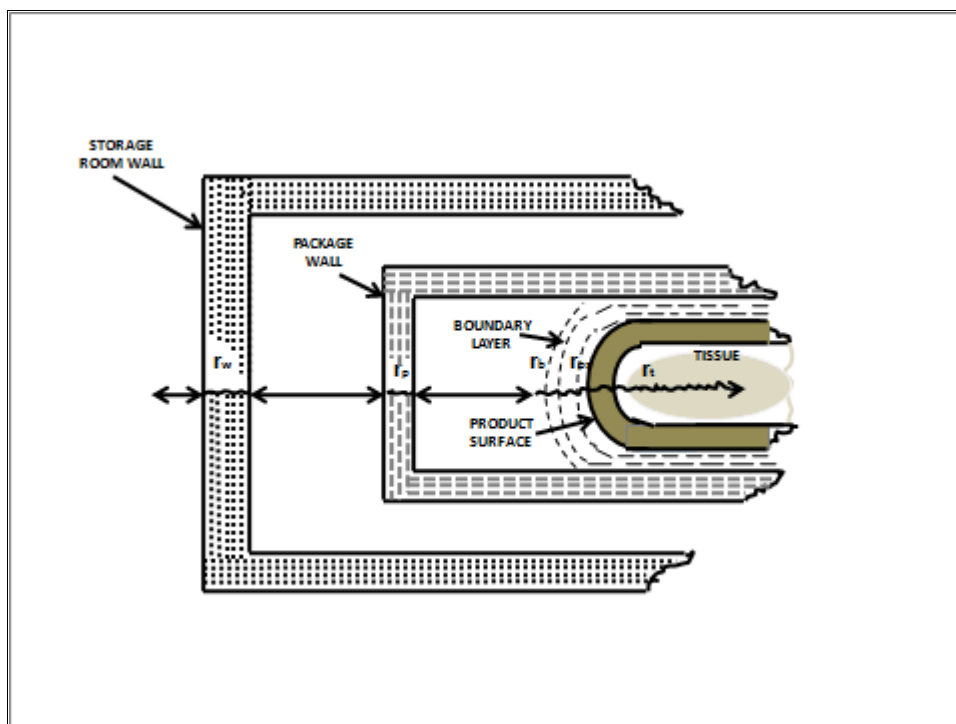
การสูญเสียน้ำจากการคายน้ำยังเป็นสาเหตุสำคัญต่อการสูญเสียน้ำหนักในสภาวะอุณหภูมิห้องหรือภายหลังการเก็บเกี่ยวก่อนนำไปเก็บรักษาภายในห้องเย็นเพื่อการขนส่งหรือจัดจำหน่าย (Boyer, 1985; Lee, 2005; Moggia et al., 2017) ทั้งนี้ระดับของการคายน้ำขึ้นอยู่กับปัจจัยต่างๆ เช่น ชนิดของผลไม้ สภาพแวดล้อมที่ผลไม้ได้รับ (โดยเฉพาะอุณหภูมิ ความชื้นสัมพัทธ์ และการหมุนเวียนของอากาศ) และการสูญเสียชั้นของไข ที่มาจากธรรมชาติ (Ben-Yehoshua, 1987) การสูญเสียน้ำหนักของผลไม้มีผลต่อการตัดสินใจซื้อ หรือการยอมรับในตัวผลิตภัณฑ์ของผู้บริโภค ตัวอย่างของระดับการสูญเสียน้ำหนักที่ส่งผลให้ผลไม้จำหน่ายไม่ได้แสดงในตารางที่ 2.2 เช่น ระดับการสูญเสียน้ำหนักของ พริกหวาน (เป็นผลผลิตหนึ่งที่ได้ใช้ในการศึกษา) ที่ยอมรับได้มีค่าเท่ากับ 5% ระดับดังกล่าวแสดงให้เห็นว่าหากมีการสูญเสียน้ำหนักของ พริกหวาน ในระดับที่สูงกว่านี้ผลผลิตจะไม่สามารถจำหน่ายได้ (Witsawapaisarn et al., 2012) นอกจากนี้การสูญเสียน้ำยังส่งผลให้ผลไม้

มีลักษณะปรากฏภายนอกที่เหี่ยวยุบ แห้ง และการเปลี่ยนแปลงสี อันเป็นลักษณะที่ไม่พึงประสงค์ของผู้บริโภค (Ben-Yehoshua, 1987)

ตารางที่ 2.2 ตัวอย่างระดับการสูญเสียน้ำหนักสูงสุดที่ยอมรับได้ของผลไม้บางประเภท (ที่อุณหภูมิ 25°C)

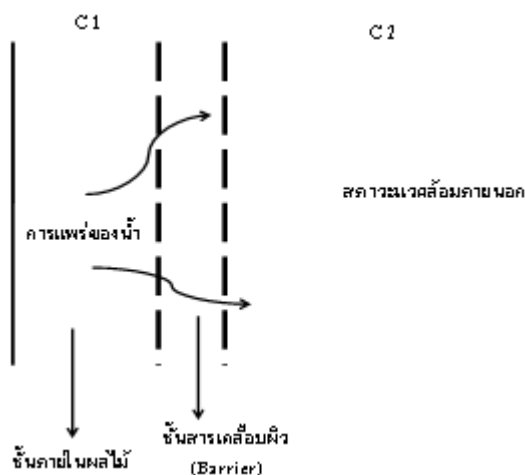
ผลไม้	ระดับการสูญเสียสูงสุดที่ยอมรับได้ (%)	อ้างอิง
มะนาว	12	Witsawapaisarn et al. (2012)
ส้มเขียวหวาน	5	Ben-Yehoshua (1987)
แอปเปิ้ล	5	Ben-Yehoshua (1987)
ถั่ว Broad bean	6	Ben-Yehoshua (1987)
ถั่ว Runner bean	5	Ben-Yehoshua (1987)
เบลคเบอร์รี่พันธุ์ Bedford giant	6	Kays (1991)
แตงกวาพันธุ์ Femdam	7	Kays (1991)
พริกหวาน	5	Lim et al. (2007)

จากที่กล่าวข้างต้นว่า การสูญเสียที่เคลือบผิวหน้าของผลไม้เป็นสาเหตุสำคัญที่ทำให้เกิดการสูญเสียน้ำออกไปจากผลไม้ ดังนั้นจึงได้มีการ ใช้สารเคลือบผิวเพื่อ ทดแทนและ เพิ่มความต้านทานการสูญเสียน้ำให้กับผิวของผลไม้ เนื่องจากน้ำภายในผลไม้เกิดการแพร่จากผลไม้ผ่านผิวหน้าของผลไม้ไปยังสิ่งแวดล้อม โดยมีความแตกต่างของความดันไอน้ำภายในผลไม้และสิ่งแวดล้อมเป็นแรงผลักดัน (Driving force) ทั้งนี้ความดันไอน้ำในผลไม้มีค่าที่สูงกว่าความดันไอน้ำในสิ่งแวดล้อม (Kays, 1991) นอกจากนี้การสร้างการต้านการสูญเสียน้ำสามารถทำได้โดยใช้บรรจุภัณฑ์ที่ยอมให้น้ำซึมผ่านได้น้อย เช่น ฟิล์มพลาสติกในกลุ่มของ Polyethylene (PE) (Chung et al., 2010) ร่วมกับการใช้สารเคลือบและ/หรือการเก็บรักษาในห้องเย็นดังตัวอย่างที่แสดงในภาพที่ 2.2



ภาพที่ 2.2 แนวคิดการสร้างความต้านทานการแลกเปลี่ยนก๊าซและไอน้ำระหว่างผลิตภัณฑ์และสิ่งแวดล้อมเพื่อชะลอการคายน้ำและกิจกรรมทางชีวเคมีของผักและผลไม้ภายหลังการเก็บเกี่ยว
ที่มา: Kays (1991: 268)

การสูญเสียไอน้ำเป็นกระบวนการแพร่ (Diffusional process) กระบวนการนี้สามารถอธิบายได้ด้วยแบบจำลองคณิตศาสตร์ของการแพร่ในสภาวะคงที่ (Steady-state diffusion) หรือ Fick's First Law ทั้งนี้การแพร่มีทั้งในสภาวะคงที่และไม่คงที่ (Unsteady-state) แต่การแพร่ของไอน้ำที่เกิดการสูญเสียไอน้ำของผลไม้จะเกิดขึ้นอย่างต่อเนื่อง และการเก็บรักษามีแนวโน้มที่ใช้เวลานานมากกว่า 48 ชั่วโมง Yam and Lee (1995) กล่าวว่า การแพร่หรือการเปลี่ยนแปลงในช่วง 48 ชั่วโมงแรกเป็นสภาวะไม่คงที่ แต่เมื่อเวลานานขึ้นการแพร่หรือการเปลี่ยนแปลงจะเข้าสู่สภาวะคงที่ ดังนั้นเนื้อหาในบทนี้จึง นำการแพร่ในสภาวะคงที่เพื่อทำความเข้าใจกระบวนการคายน้ำ ผ่าน สารเคลือบผิว โดยมีแบบจำลองแนวคิดการแพร่ของไอน้ำออกจากชั้นภายในของผลไม้ผ่านไปยังผิวและชั้นเคลือบผิวของผลไม้เพื่อไปสู่สิ่งแวดล้อมภายนอก ความแตกต่าง (Gradient) ระหว่างความเข้มข้นหรือความดันของไอน้ำในผลไม้และบรรยากาศภายนอกเป็นแรงขับเคลื่อนในการแพร่ (ภาพที่ 2.3)



ภาพที่ 2.3 แบบจำลองการแพร่ของไอน้ำจากภายในของผลไม้ผ่านสารเคลือบผิวมาสู่สิ่งแวดล้อมภายนอก

การแพร่ภายใต้สภาวะคง หรือ Fick' S First Law (สมการที่ 2.1) แสดงให้ทราบว่าฟลักซ์ (Flux) ของการแพร่ (อัตราการแพร่ต่อหน่วยพื้นที่) ขึ้นอยู่กับ (1) สมบัติการยอมให้ไอน้ำซึมผ่านผิวและ /หรือ สารเคลือบผิว (Skin permeability to water vapour; $P_{skin}^{H_2O}$) (2) ความหนาของผิวและ/หรือ สารเคลือบผิว (Skin thickness: L_{skin}) และ (3) ความแตกต่าง (Gradient) ระหว่างความเข้มข้นของไอน้ำหรือความดันในผลไม้และบรรยากาศภายนอก

$$J_{Skin}^{H_2O} = \frac{P_{Skin}^{H_2O}}{L_{skin}} RT (C_{Skin,1}^{H_2O} - C_{Skin,2}^{H_2O}) \quad (2.1)$$

โดยที่

- $J_{Skin}^{H_2O}$ = ฟลักซ์ของการแพร่ต่อหนึ่งหน่วยพื้นที่ผิวของไอน้ำ ($\text{mol s}^{-1} \text{m}^{-2}$)
- $P_{skin}^{H_2O}$ = สมบัติการยอมให้ไอน้ำซึมผ่านผิว หรือ Skin permeability to water vapour ($\text{mol m s m}^{-2} \text{Pa}^{-1}$)
- L_{skin} = ความหนาของผิวผลไม้ (m)
- R = ค่าคงที่ของแก๊ส ($8.314 \text{ Pa m}^3 \text{K}^{-1} \text{mol}^{-1}$)
- T = อุณหภูมิ (K)
- $C_{Skin,1}^{H_2O}$ = ความเข้มข้นของไอน้ำในผลไม้ ณ ตำแหน่งที่ 1 (ความเข้มข้นสูง หรือ C_1 ในภาพที่ 3) และ ความเข้มข้นของไอน้ำในบรรยากาศรอบๆ (ตำแหน่งที่ 2 ซึ่งมี
- $C_{Skin,2}^{H_2O}$ ความเข้มข้นต่ำ หรือ C_2 ในภาพที่ 3) ตามลำดับ (mol m^{-3})

สมบัติการยอมให้น้ำซึมผ่านที่ไม่พิจารณาความหนาของผิว หาค่าได้จากการนำเอา $P_{skin}^{H_2O}$ หารด้วย L_{skin} นั้นเรียกว่า Skin permeance to water vapour (สมการ 2.2) ใช้ค่า Skin $P_{skin}^{H_2O}$ () $P_{skin}^{H_2O}$ ทำให้ไม่ต้องนำความหนามาพิจารณา เนื่องจากความหนาของผิวและ/หรือ สารเคลือบผิวอาจไม่มีความสม่ำเสมอระหว่างจุดบนผิวหน้าซึ่งแตกต่างจากฟิล์มพลาสติก (Maguire et al., 1999)

$$J_{skin}^{H_2O} = P_{skin}^{H_2O} \cdot RT \cdot (C_{skin,1}^{H_2O} - C_{skin,2}^{H_2O}) \quad (2.2)$$

โดยที่

$$P_{skin}^{H_2O} = \text{สมบัติการยอมให้น้ำซึมผ่านผิว หรือ Skin permeance to water vapour (mol m}^{-2} \text{ s}^{-1} \text{ Pa}^{-1})$$

เมื่อพิจารณาสมการ 2.2 พบว่า $J_{skin}^{H_2O}$ แปร $P_{skin}^{H_2O}$ กับ $P_{skin}^{H_2O}$ เมื่อตัวแปรอื่นๆคงที่ $P_{skin}^{H_2O}$ มีค่าสูงจะส่งผลให้ $J_{skin}^{H_2O}$ สูงขึ้นตามไปด้วย ในทางตรงกันข้าม $P_{skin}^{H_2O}$ มีค่าต่ำจะส่งผลให้ $J_{skin}^{H_2O}$ มีค่าต่ำ ความสัมพันธ์ดังกล่าวแสดงให้เห็นว่าการเคลือบผิวผลไม้ $P_{skin}^{H_2O}$ ลดค่า

เพื่อให้เกิดการแพร่ของน้ำ จากภายในผลไม้ไปยังสิ่งแวดล้อมได้ช้าลง Witsawapaisarn et al. (2012) ได้ทำการศึกษาการเคลือบผิวหนามะนาวด้วยสารเคลือบผิวประเภทขี้ผึ้งเปรียบเทียบกับมะนาวที่ไม่ผ่านการเคลือบผิว เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 25°C และรายงานว่ มะนาวที่ผ่านการเคลือบผิวด้วยขี้ผึ้งมีอัตราการสูญเสียน้ำหนักที่ช้าลง Poverenov et al. (2014) ได้ศึกษาการเคลือบผิวหน้าของพริกหวานสีแดงด้วยสารเคลือบผิวที่รับประทานได้ ประเภทไคโตซาน (Chitosan) ผสมกับเจลาติน (Galatin) ทำการเก็บรักษา ที่อุณหภูมิ 20°C เป็นเวลา 14 วัน พบว่า พริกหวานที่เคลือบด้วยสารเคลือบผิวที่รับประทานได้มีอัตราการสูญเสียน้ำหนักที่ลดลงเมื่อเปรียบเทียบกับพริกหวานที่ไม่ผ่านการเคลือบผิว เนื่องจากสารเคลือบผิวทำให้ $P_{skin}^{H_2O}$ ของผลไม้มีค่าต่ำลง

จากสมการที่ 2.2 หากเปลี่ยนจากฟลักซ์ให้เป็นอัตราการแพร่ของน้ำ $r_{skin}^{H_2O}$ ดังแสดงในสมการ 2.3 พบว่าอัตราการสูญเสียน้ำขึ้นอยู่กับปัจจัยสำคัญ ประกอบด้วย $P_{skin}^{H_2O}$ $P_{skin}^{H_2O}$ A_{skin} (2) A_{skin} และ (3) ความแตกต่างของความเข้มข้นของน้ำ

$$r_{skin}^{H_2O} = P_{skin}^{H_2O} \cdot A_{skin} \cdot R \cdot T \cdot (C_{skin,1}^{H_2O} - C_{skin,2}^{H_2O}) \quad (2.3)$$

โดยที่

$$r_{skin}^{H_2O}$$

$$\begin{aligned} r_{skin}^{H_2O} &= \text{อัตราการแพร่ของไอน้ำผ่านผิวผลไม้ (mol s}^{-1}\text{)} \\ A_{skin} &= \text{พื้นที่ผิวของผลไม้ (m}^2\text{)} \end{aligned}$$

ความสัมพันธ์ระหว่างปัจจัยดังกล่าวนี้กับอัตราการแพร่ของไอน้ำสามารถสรุปได้ดังนี้

เมื่อพิจารณาความสัมพันธ์ระหว่าง $P_{skin}^{H_2O}$ และค่า $r_{skin}^{H_2O}$ โดยตัวแปรอื่นๆ คงที่ พบว่า หากค่า $P_{skin}^{H_2O}$ มีค่าสูงส่งผลให้ $r_{skin}^{H_2O}$ สูงขึ้น ซึ่งเปรียบเทียบกับผลไม้ที่มีการสูญเสียไอน้ำที่ผิวหน้าหรือไม่ผ่านการเคลือบ $P_{skin}^{H_2O}$ มีค่า $P_{skin}^{H_2O}$ สูงกว่าผลไม้ที่ผ่านการเคลือบผิว ทำให้ $P_{skin}^{H_2O}$ กลุ่มที่มีค่า

$P_{skin}^{H_2O}$ สูงเกิดการสูญเสียน้ำในอัตราที่สูงกว่า Chonpracha et al. (2011) รายงานว่า กล้วยที่ไม่ผ่านการเคลือบผิวเกิดการสูญเสียน้ำหนักสูงกว่ากล้วยที่ผ่านการเคลือบผิวด้วยไคโตซาน เนื่องจาก กล้วยที่ไม่ผ่านการเคลือบผิวมีชั้นของ Barrier น้อยกว่ากล้วยที่ผ่านการเคลือบ สอดคล้องกับผลการศึกษาของ Kaya et al. (2016) ที่ได้รายงานว่าการเคลือบผิวด้วยไคโตซานมีการสูญเสียน้ำหนักที่ต่ำเมื่อเปรียบเทียบกับผลไม้ที่ไม่ผ่านการเคลือบผิว

เมื่อพิจารณาความสัมพันธ์ระหว่าง A_{skin} $r_{skin}^{H_2O}$ $r_{skin}^{H_2O}$ พบว่า หากผลไม้มีพื้นที่ผิวที่สูงส่งผลให้อัตราการคายน้ำที่สูงขึ้น ในขณะเดียวกันหากค่าความแตกต่างของความเข้มข้นหรือความดัน $C_{skin,1}^{H_2O} - C_{skin,2}^{H_2O}$ $C_{skin,1}^{H_2O} - C_{skin,2}^{H_2O}$ มีระดับเพิ่มสูงขึ้นแสดงให้เห็นว่าความแตกต่างของความเข้มข้นภายในและภายนอกสิ่งแวดล้อมมีค่าเพิ่มสูง $r_{skin}^{H_2O}$ ส่งผลให้ค่า $r_{skin}^{H_2O}$ มีค่าเพิ่มสูงขึ้นตามไปด้วย เนื่องจากภายในผลไม้มีน้ำหรือความชื้นเป็นองค์ประกอบปริมาณมาก เมื่อสภาวะการเก็บรักษาภายนอกผลไม้ มีปริมาณความชื้นที่ต่ำกว่าส่งผลให้ความชื้นภายในเกิดการแพร่ออกมาสู่ภายนอกสิ่งแวดล้อมได้สูง (Zobel, 1982)

2.5 สารเคลือบผิวผลไม้ที่สำคัญ

2.5.1 ประเภทของสารเคลือบผิวผลไม้ที่สำคัญ

สารเคลือบผิว (Surface coating material) มีการใช้กันอย่างแพร่หลายในอุตสาหกรรม การเคลือบผิวผลไม้ สามารถแบ่งเป็น 2 กลุ่มใหญ่ คือ (1) สารเคลือบผิวธรรมชาติ เช่น ไชคาร์นุบา (Carnauba wax) ไชรำข้าว (Rice bran wax) เชลแลค (Shellac) สารเหล่านี้มีแหล่งวัตถุดิบจากธรรมชาติจึงมีความปลอดภัยต่อผู้บริโภค แต่อาจมีปริมาณไม่เพียงพอ หรือมีความแปรปรวนตามธรรมชาติเนื่องจากปัจจัยต่างๆ เช่น ฤดูกาลหรือแหล่งผลิต และ (2) สารเคลือบผิวสังเคราะห์ ส่วนใหญ่มีองค์ประกอบของออกซิไดซ์โพลีเอทิลีน (Oxidized Polyethylene; OP) สารเคลือบผิวจำพวกนี้เป็นสารสังเคราะห์จากกระบวนการพอลิเมอไรเซชัน (Polymerization) ของก๊าซเอทิลีน (Ethylene) ภายใต้ความดันและอุณหภูมิ ในสภาวะปราศจากตัวเร่งปฏิกิริยาโลหะ (Debeaufort et al., 1998; Sugama, 2006; Radecka et al., 2016) ตัวอย่างสารเคลือบผิวที่มีองค์ประกอบของ OP เช่น Oxidized Polyethylene China Wax ใช้ในการเคลือบผิวผลไม้ที่ไม่ได้บริโภคพร้อมเปลือก เช่น ส้ม แตงโม มะละกอ อะโวคาโด และสับปะรด (BASF, 2017) สารเคลือบผิวสังเคราะห์สามารถ

ผลิตได้ในปริมาณเชิงอุตสาหกรรม แต่อาจมีข้อกังขาจากผู้บริโภคเรื่องความปลอดภัยและสารเคมีตกค้าง ตารางที่ 2.3 ได้รวบรวมสารเคลือบผิวผักและผลไม้ที่สำคัญ ตลอดจนผลของสารเคลือบผิวเหล่านี้ต่อคุณภาพบางประการของผลไม้ รายละเอียดของสารเคลือบผิวที่สำคัญได้นำเสนอในหัวข้อย่อยถัดไป

ตารางที่ 2.3 ตัวอย่างสารเคลือบผิวผักและผลไม้ที่สำคัญและผลของสารเคลือบผิวต่อการชะลอการเปลี่ยนแปลงคุณภาพหลังการเก็บเกี่ยว

สารเคลือบผิว	การชะลอการเปลี่ยนแปลงคุณภาพหลังการเก็บเกี่ยว							อ้างอิง
	ความเข้มข้น	ตัวอย่างผลไม้	การสูญเสีย น้ำหนัก/เนื้อสัมผัส	การหายใจ	การผลิตเอทิลีน	การเปลี่ยนสี	การเจริญของ เชื้อจุลินทรีย์	
ไขรำข้าว (Rice bran wax)	0.6% w/v	มะนาว	+	+	+	+	-	Srigumlaitong and Udomsak (1975)
	1.2% w/v	มะม่วง	+	+	+	+	-	Amulya et al. (2016)
	1% w/v	มะเขือเทศเชอร์รี่	+	+	+	+	-	Zhang et al. (2017)
ไขคาร์บูบา (Carnauba wax)	14% w/v	ส้มเขียวหวาน	+	+	+	+	-	Hagenmaier et al. (2004)
	20% w/v	มะม่วง	+	+	+	+	-	Srithanyarat et al. (2011)
	0.6% w/v	ฝรั่ง	+	+	+	+	-	Garcia-Betanzos et al. (2017)
ไขเซลแลค (Shellac wax)	25% w/v	ส้มเขียวหวาน	+	+	+	+	-	Hagenmaier (1998)
	2% w/v	แอปเปิ้ล	+	+	+	+	-	Chung et al. (1990)
	11% w/v	ส้มเขียวหวาน	+	+	+	+	-	Khorram et al. (2017)
ไคโตซาน (Chitosan)	1-2% w/v	ลำไย	+	+	-	+	+	Jiang and Li (2001)
	1.5 % w/v	ชมพู	+	+	+	+	+	Devlieghere et al. (2004); Badawy and Rabea (2009)
	2% w/v	พริกหวาน	+	+	+	+	+	Poverenov et al. (2014)
คาร์บอกซิลเมทิลเซลลูโลส (Carboxymethyl cellulose)	1% w/v	สตอเบอรี่	+	+	+	+	-	Dong and Wang (2017)
	1% w/v	อะโวคาโด	+	+	+	+	-	Tesfay et al. (2017)
สารเคลือบผิว OP	25% w/v	ส้มเขียวหวาน	+	+	+	+	-	Hagenmaier (1998)

หมายเหตุเครื่องหมาย: + และ - ที่แสดงในตาราง หมายถึง ความสามารถชะลอ และ ไม่สามารถชะลอ การเปลี่ยนแปลงคุณภาพหลังการเก็บเกี่ยว ตามลำดับ

2.5.1.1 สารเคลือบผิวจากไขรำข้าว (Rice bran wax) ได้จากการสกัดน้ำมันรำข้าวมีลักษณะเป็นไขมีสีน้ำตาลอ่อน ช่วยปิดบังริ้วรอยขีดข่วนบนผิวผลไม้ช่วยให้ผลไม้มีความมันวาว ยึดเกาะพื้นผิวแน่น ช่วยลดการซึมผ่านของก๊าซและ ให้น้ำได้ และปลอดภัยต่อผู้บริโภค เนื่องจากเป็นสารสกัดจากธรรมชาติ (Lasztity, 1971) (ตารางที่ 2.3) Srigumlaitong and Udomsak (1975) รายงานว่า การเคลือบผิวด้วยไขรำข้าวสามารถชะลอการเปลี่ยนแปลงทางด้านสรีรวิทยาของมะนาว และมะม่วง เช่น ลดการสูญเสียน้ำหนักลดอัตราการหายใจ การเปลี่ยนแปลงสี และการเปลี่ยนแปลงเนื้อสัมผัส นอกจากนี้ยังช่วยให้ผลไม้มีความแวววาวดึงดูดใจผู้บริโภค ระดับความเข้มข้นของสารเคลือบผิวจากไขรำข้าวได้รับอนุญาตให้ใช้ได้ตามประกาศของสหพันธ์อาหาร ยา และเครื่องสำอาง (The Federal Food Drug and Cosmetic Act) มีค่าสูงสุดไม่เกิน 50 ppm (Lasztity, 1971) สารเคลือบผิวจากไขรำข้าวมีการใช้อย่างแพร่หลายในเชิงพาณิชย์ และเป็นที่ยอมรับในกลุ่มผู้บริโภคที่รักสุขภาพเพราะปลอดภัย ต่อร่างกาย อีกทั้งมีสมบัติช่วยชะลอการเปลี่ยนแปลงคุณภาพภายหลังการเก็บเกี่ยวของผลไม้ได้ (Shih et al., 2011; Zhang et al., 2017)

2.5.1.2 สารเคลือบผิวคาร์นูบาร์ (Carnauba) มีองค์ประกอบทางเคมี คือ พาราฟิน (Paraffin) ได้มาจากต้นปาล์มของประเทศบราซิล มีชื่อว่า *Copernicia cerifer* มีสมบัติให้ความมันวาวสูงไม่หลุดลอกง่าย มีความแข็งแรงมาก กลิ่นหอม ช่วยลดการซึมผ่านของก๊าซและให้น้ำ และมีจุดหลอมเหลวสูง ประมาณ $83-86^{\circ}\text{C}$ (Krochta et al., 1994) ในการศึกษาการเคลือบผิวหน้ามะม่วงด้วยสารเคลือบผิวคาร์นูบาร์ Srithanyarat et al. (2011) รายงานว่า มะม่วงที่ผ่านการเคลือบผิวด้วยคาร์นูบาร์ ความเข้มข้น เท่ากับ 20 และ 25% (w/w) เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 12°C มีการเปลี่ยนแปลงทางด้านสรีรวิทยาของมะม่วงได้ ในระดับที่ต่ำ เนื่องจากการเคลือบผิวสามารถลดการสูญเสียน้ำหนัก อัตราการหายใจ อัตราการผลิตเอทิลีน การเปลี่ยนแปลงเนื้อสัมผัส และการเปลี่ยนแปลงสี (ตารางที่ 2.3) สอดคล้องกับรายงานวิจัยของ Zambrano et al. (1995) ที่ได้ทำการศึกษาผลของสารเคลือบผิวคาร์นูบาร์มีความเข้มข้น เท่ากับ 1-15% (w/w) ต่อคุณภาพของมะม่วง และรายงานว่าการเคลือบผิวมีการสูญเสียน้ำในปริมาณน้อยกว่ามะม่วงที่ไม่ได้รับการเคลือบผิว Garcia-Betanzos et al. (2017) รายงานว่าการเคลือบผิวด้วยสารเคลือบผิวคาร์นูบาร์ที่มีความเข้มข้น เท่ากับ 0.6% (w/w) ลดการสูญเสียน้ำภายหลังการเก็บรักษาได้ดีกว่าฝรั่งที่ไม่ผ่านการเคลือบผิว สารเคลือบผิวเกิดการแนบชิดกับผิวหน้าของผลไม้แล้วปิดบริเวณปากใบทำให้ความสามารถในการคายน้ำน้อยลง นอกจากนี้การใช้สารเคลือบผิวที่มีผลในการชะลอการซึมผ่านของก๊าซได้ดี จึงลดการแลกเปลี่ยนก๊าซระหว่างผลิตผลและสิ่งแวดล้อม ทำให้ชะลอการเปลี่ยนแปลงทางด้านสรีรวิทยาและคุณภาพของผลฝรั่ง

2.5.1.3 สารเคลือบผิวเซลแลค (Shellac) มีองค์ประกอบทางเคมีเป็นเรซิน (Resin) ที่มีลักษณะโครงสร้างที่แข็งแรงแต่เปราะและแตกหักง่าย ป้องกันการซึมผ่านของให้น้ำได้ดี มีความมันวาวสามารถยึดกับพื้นผิวได้หลายชนิด เช่น พื้นผิวของผลไม้ที่มีความมันสูง นอกจากนี้สารเคลือบผิวเซลแลค แร็กซ์ สามารถทนต่ออุณหภูมิสูงได้ดี เช่น 60°C (Krause and Muller, 2001) Chung et al. (1990) ได้ทำการศึกษาคือการเคลือบผิว หน้าของแอปเปิ้ลด้วยสารเคลือบผิวเซลแลค และรายงานว่าการเคลือบผิวที่มีการเปลี่ยนแปลงทางด้านสรีรวิทยา ที่ช้าลง เนื่องจาก สารเคลือบผิวได้ชะลอการซึมผ่านของก๊าซ ออกซิเจนที่จะถูกนำไปใช้ในกระบวนการหายใจและเมตาบอลิซึมต่าง ๆ

ส่งผลให้การเปลี่ยนแปลงสีผิว และลักษณะกายภาพอื่นๆ เกิดขึ้นได้ช้า ลง (ตารางที่ 2.3) โศรดา กนกพานนท์ (2555) ได้ศึกษามะม่วงที่ผ่านการเคลือบผิวด้วยเซลแล คัดแปลง (Modified shellac wax) ความเข้มข้นไฮสก็ดมีค่าเท่ากับ 7.5% (w/w) จากนั้นบ่มมะม่วงให้สุก พบว่า มะม่วงที่ผ่านการเคลือบผิวมีแนวโน้มการสุกช้ากว่า สิ่งทดลองอื่น ๆ โดยเฉพาะการเปลี่ยนแปลงสีเขียวของเปลือก พบว่าเกิดขึ้นได้ช้า ดังเช่นผลที่รายงานข้างต้นในแอปเปิ้ล

การใช้สารเคลือบผิวเซลแล คสามารถใช้ในรูปของเซลแลค เพียงอย่างเดียว หรือใช้ร่วมกับ สารเคลือบผิวชนิดอื่น เช่น คาร์นูบาร์เพื่อช่วยให้สารเคลือบผิวมีประสิทธิภาพที่ดีขึ้น เนื่องจากเซลแลค มีโครงสร้างที่แข็งแรงแต่เปราะแตกหักได้ง่าย ดังนั้นการใช้สารเคลือบผิวเซลแล คร่วมกับสารเคลือบผิว คาร์นูบาร์ที่มีสมบัติในการยึดเกาะพื้นผิวแน่น และโครงสร้างแข็งแรงช่วยให้สารเคลือบผิวมีการยึดเกาะ พื้นผิวแน่น จึงช่วยชะลอการซึมผ่านของไอน้ำและก๊าซ ได้ดียิ่งขึ้น (Krause and Muller, 2001) จากการศึกษาของ Phungmaneeskul et al. (2010) ได้รายงานว่า เมื่อทำการเคลือบผิวหน้าของ ส้มเขียวหวานด้วย สารเคลือบผิว ซึ่งมีหลายองค์ประกอบผสมกัน เช่น ไข่ฝั ง 0.36% เซลแลค 5.06% โลคัสบินกัม (Locust bean gum) 0.69% และกลีเซอรอล (Glycerol) 0.81% (w/w) แล้วเก็บรักษา ที่อุณหภูมิ $27 \pm 2^{\circ}\text{C}$ และมีความชื้นสัมพัทธ์ เท่ากับ 75% RH สามารถชะลอการซึมผ่านของไอน้ำ และการเปลี่ยนแปลงทางด้านสรีรวิทยาของส้มได้ Khorram et al. (2017) รายงานว่าการเคลือบผิว ส้มเขียวหวานด้วยสารเคลือบผิวเซลแลคที่มีความเข้มข้น 11% (w/w) ช่วยชะลอการซึมผ่านของไอน้ำ การสูญเสียน้ำหนัก การเปลี่ยนแปลงสี และลักษณะเนื้อสัมผัสได้ดี

2.5.1.4 สารเคลือบผิวไคโตซาน (Chitosan) สารเคลือบผิวนี้ มีองค์ประกอบ ของ โพลีเมอร์ ที่จัดอยู่ในกลุ่มคาร์โบไฮเดรต ประเภท โพลีแซคคาไรด์ (Polysaccharide) ประกอบด้วย หมู่ D-glucosamine (2-amino-deoxy-D-glucose) (Win et al., 2012) ลักษณะของไคโตซาน เป็นสีขาว มีสมบัติชะลอการซึมผ่านของก๊าซและไอน้ำ สามารถย่อยสลายได้ง่าย มีความมันวาว และมีฤทธิ์ในการต้านเชื้อจุลินทรีย์ เนื่องจากไคโตซานมีองค์ประกอบที่เป็นประจุบวกบนหมู่ NH_2 สามารถเข้าไปจับกับผนังเซลล์ของเชื้อจุลินทรีย์หรือแบคทีเรีย ซึ่งมีองค์ประกอบส่วนมากเป็นประจุลบ เช่น N-Acetyl muramic acid และ Neuraminic acid จึงส่งผลต่อการส่งผ่านสารอาหารและ แร่ธาตุต่างๆ ทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงสมดุลเคมีของเซลล์ของเชื้อจุลินทรีย์ และนำไปสู่ การชะลอ การเจริญของเชื้อจุลินทรีย์ (Kienzale-Sterzer et al., 1984) (ตารางที่ 2.3) Poverenov et al. (2014) ได้ทำการเคลือบผิวพริกหวานด้วยสารเคลือบผิว ไคโตซานที่มีความเข้มข้น 2% (w/w) และ รายงานว่า พริกหวานที่ผ่านการเคลือบผิวมีการสูญเสียน้ำในระหว่างการเก็บรักษาน้อยลง ตลอดจน การเหี่ยวแห้งและการเปลี่ยนสีเกิดขึ้นได้ช้า เนื่องจากสารเคลือบผิวช่วยจำกัดการซึมผ่านของไอน้ำ และก๊าซออกทางปากใบ

2.5.1.5 สารเคลือบผิวคาร์บอกซิลเมทิลเซลลูโลส (Carboxymethyl cellulose: CMC) หรือที่เรียกว่า โซเดียมคาร์บอกซิเมทิลเซลลูโลส (Sodium carboxymethylcellulose) จัดอยู่ในกลุ่ม สารประกอบประเภท ไฮโดรคอลลอยด์ (Hydrocolloid) มีสมบัติชอบน้ำละลายน้ำได้ดีจัดอยู่ในกลุ่ม ของ คาร์โบไฮเดรตเป็น นอนพัณธ์ของเซลลูโลสดัดแปรจากสาร สกั ดที่ได้จากธรรมชาติ (Modified natural hydrocolloids) เช่น เปลือกทุเรียน และผักตบชวา สารเคลือบผิว CMC เกิดจากการ ดัดแปรหรือปรับปรุงสมบัติของเซลลูโลสจากส่วนประกอบของผนังเซลล์พืชให้เกิดการแทนที่โครงสร้าง

เดิมด้วยหมู่เมธิลและหมู่คาร์บอกซิเมทิล (ดุษฎี อุตภาพ และน้องนุช เจริญกุล, 2560; Sellamuthu et al. 2013) สารประกอบ CMC มีลักษณะเป็นของแข็งสีขาว ไม่มีกลิ่นและรสชาติ มีสมบัติเป็นสารเพิ่มความหนืดที่ช่วยในการยัดเกาะและเป็นสารคงสภาพ เมื่อนำไปเคลือบลงบนผิวหน้าของผักและผลไม้ช่วยชะลอการซึมผ่านของไอน้ำและการเปลี่ยนแปลงทางด้านสรีระวิทยา ดังเช่นสารเคลือบผิวอื่นๆ ที่ได้กล่าวมาข้างต้น (Sangsuwan et al., 2008; Busani et al., 2012) ในปัจจุบันสารเคลือบผิวหน้า CMC ได้รับความนิยม ใช้ในอุตสาหกรรมการเคลือบผิวผลิตภัณฑ์และแคปซูลยา หรือทำหน้าที่เป็นสารก่อให้เกิดการเป็นเจลในอุตสาหกรรมยา (กฤษณา ศิริเลิศมุก, 2547) Dong and Wang (2017) ทำการศึกษาการเคลือบผิวสตรอเบอร์รี่ด้วยสารเคลือบผิวคาร์บอกซิลเมทิลเซลลูโลส ความเข้มข้น 1% (w/w) (ตารางที่ 2.3) และรายงานว่าการเคลือบผิวช่วยชะลอการซึมผ่านของไอน้ำจากภายในของสตรอเบอร์รี่ออกมาอย่างช้าๆ ได้ดี เนื่องจากสมบัติการยัดเกาะพื้นผิวได้ดีทำให้สารเคลือบผิวทำหน้าที่ขัดขวางการแพร่ผ่านของไอน้ำออกทางปากใบ สอดคล้องกับงานวิจัยของ Tesfay et al. (2017) ได้ทำการเคลือบผิวอะโวคาโด (Avocado) ด้วยสารเคลือบผิว คาร์บอกซิลเมทิลเซลลูโลส ที่มีความเข้มข้น 1% (w/w) และรายงานว่าการเคลือบผิวช่วยชะลอการซึมผ่านของไอน้ำ และการเปลี่ยนแปลงคุณภาพ โดยเฉพาะด้านเนื้อสัมผัส และการสีของอะโวคาโดได้ดี

2.5.1.6 สารเคลือบผิว หน้าเชิงพาณิชย์ อื่นๆ สารเคลือบผิว ในกลุ่มนี้มีการนำเสนอในเอกสารอ้างอิงที่เกี่ยวข้องกับการเก็บรักษาผักและผลไม้ภายหลังการเก็บเกี่ยว เช่น สารเคลือบผิวออกซิไดซ์โพลีเอทิลีน (Oxidized polyethylene: OP) และสารโพลีเอทิลีนแว็กซ์ (Polyethylene wax) สารเคลือบผิวประเภทนี้เป็นสารสังเคราะห์ขึ้นมาเพื่อใช้ทดแทนสารเคลือบผิวที่มีตามธรรมชาติของผลไม้ มีสมบัติโดยทั่วไป เช่น มีความยืดหยุ่นสูง ยึดเกาะกับพื้นผิวได้ดี ความมันวามสูง และชะลอการซึมผ่านของก๊าซและไอน้ำได้ จากสมบัติดังกล่าวจึงได้มีการนำมาใช้ในการเคลือบผิวที่ช่วยในการยืดอายุ การเก็บรักษาคุณภาพภายหลังการเก็บเกี่ยวของผลไม้ นอกจากนี้สารเคลือบผิวประเภทนี้มีความทนต่อความเป็นกรด-ด่างสูง (pH เท่ากับ 6.5-7.0) จึงสามารถนำมาใช้ในการเคลือบผิวผลไม้ที่มีรสเปรี้ยว หรือที่มี ความเป็นกรดสูง (มะนาว และส้ม) ได้อย่างมีประสิทธิภาพ (Marszałek and Majczak, 2012) (ตารางที่ 2.3)

2.5.2 สมบัติทางเคมีและกายภาพที่สำคัญของสารเคลือบผิวผักและผลไม้

หัวข้อนี้ได้ทำการรวบรวมเนื้อหาที่เกี่ยวข้องกับสมบัติทางเคมี กายภาพที่สำคัญของสารเคลือบผิวผักและผลไม้โดยได้สรุปได้ดังต่อไปนี้

2.5.2.1 สมบัติทางเคมีที่สำคัญ

1) ค่าซาปอนิฟิเคชัน (Saponification Number: S.N.) หมายถึง ปริมาณสารละลายโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ที่ใช้ในการเกิดปฏิกิริยาไฮโดไลซิส (Hydrolysis) กับไขมัน (Lipid) ที่มีองค์ประกอบหลักเป็น ไตรกลีเซอไรด์ (Triglyceride) ถูกสลายพันธะด้วยด่างอย่างสมบูรณ์ 1 g เป็นค่าบ่งชี้ให้ทราบขนาดโมเลกุลของกรดไขมันที่เป็นองค์ประกอบของไตรกลีเซอไรด์ที่อยู่ในไขมัน หรือน้ำมัน ดังนั้นหากค่า S.N. อยู่ในช่วงที่ต่ำ (มีค่าน้อยกว่าหรือเท่ากับ 40 mgKOH/fat 100 g) แสดงว่ากรดไขมันมีน้ำหนักโมเลกุลที่สูง ส่งผลให้มีจำนวนโมเลกุลของไตรกลีเซอไรด์ต่อหน่วยน้ำหนัก ในระดับที่ต่ำและแสดงให้เห็นว่า ไขมันอาจเกิดกลิ่นเหม็นหืนได้เร็ว (Onyieke and Acheru, 2002;

Dosunmu and Ochu, 1995; Fuentes et al., 2010) ในทางตรงกันข้าม หากค่า S.N. มีค่าอยู่ในช่วงที่สูง (มีค่าเท่ากับ หรือมากกว่า 105 mgKOH/fat 100 g) แสดงให้ทราบว่ากรดไขมันมีน้ำหนักโมเลกุลต่ำ หรือมีจำนวนโมเลกุลของไตรกลีเซอไรด์ต่อหน่วยน้ำหนัก ที่สูง ดังนั้นไขมันจึงมีแนวโน้มเกิดกลิ่นเหม็นหืนได้ช้า โดยค่า S.N. สูง หรือ ต่ำ ขึ้นอยู่กับชนิดและองค์ประกอบของไข (Onyieke and Acheru, 2002; Dosunmu and Ochu, 1995; Fuentes et al., 2010) ในการศึกษาของ Pandolsook and Kupongsak (2017) รายงานว่า ค่า S.N. ของไขรำข้าว มีค่าเท่ากับ 141.13 mg KOH/fat 100 g ซึ่งจัดอยู่ในช่วงที่สูงมาก เนื่องจากไขรำข้าวมีองค์ประกอบหลักเป็น กรดไขมันที่มีน้ำหนักโมเลกุลต่ำ (หรือโมเลกุลของไตรกลีเซอไรด์มีน้ำหนักสูง) (ตารางที่ 2.1) การเกิดกลิ่นเหม็นหืนของไขรำข้าวเกิดขึ้นได้ช้า ดังนั้นไขรำข้าวสามารถนำมาพัฒนาเป็นสารเคลือบผิวที่มีประสิทธิภาพได้ Hagenmaier and Baker (1993) รายงานว่าไขผึ้ง (Bee wax) มีค่า S.N. เท่ากับ 80 mgKOH/fat 100 g ซึ่งเป็นค่าที่อยู่ในช่วงกลางระหว่างค่า S.N. ต่ำสุดและสูงสุดดังที่กล่าวไปในข้างต้น เนื่องจากไขผึ้งมีองค์ประกอบของกลุ่มกรดไขมัน และเอสเทอร์ จัดเป็นไขมัน ที่มีน้ำหนักโมเลกุลต่ำ (ตารางที่ 2.1) ดังนั้นไขผึ้งจึงเกิดกลิ่นเหม็นหืนได้ช้า สอดคล้องกับ Velickova et al. (2013) รายงานว่าสารเคลือบผิวที่มีส่วนประกอบของ ไคโตซาน และไขผึ้ง มีค่า S.N. เท่ากับ 92.01 mgKOH/fat 100 g จัดอยู่ในช่วง กลุ่มค่า S.N. ที่เป็นค่ากลาง จึงมีแนวโน้มเกิดกลิ่นเหม็นหืนได้ช้า

2) ค่าความเป็นกรด (Acid Value; A.V.) เป็นค่าที่บ่งชี้ถึงคุณภาพของไขมัน กล่าวคือ ไตรกลีเซอไรด์ (Triglyceride) ที่เป็นองค์ประกอบหลักที่อยู่ในไขมันถูกย่อยสลายด้วยปฏิกิริยาไฮโดรไลซิสโดยมีเอนไซม์ไลเปส (Lipase) และความชื้นเป็นปัจจัยสำคัญในการเร่งอัตราการเกิดปฏิกิริยา ไตรกลีเซอไรด์ที่ประกอบด้วย กรดไขมันชนิดไม่อิ่มตัว (Unsaturated fatty acid) ที่มีพันธะคู่ภายในกรดไขมันถูกออกซิไดซ์ด้วยออกซิเจน หรือเกิดการไฮโดรไลซิสกับน้ำ รวมทั้งสารละลายโปรแทสเซียม ไฮดรอกไซด์ เข้าไปทำปฏิกิริยากับพันธะคู่ของกรดไขมัน ผลิตภัณฑ์ของการเกิดปฏิกิริยา คือ กลีเซอรอล และกรดไขมันอิสระที่ส่งผลให้ไขมันมีค่าความเป็นกรดเพิ่มขึ้น และนำไปสู่การเกิดกลิ่นเหม็นหืน ค่า A.V. ของสารเคลือบผิวทั่วไปที่มีการใช้งานในปัจจุบันต่ำสุด เท่ากับ 4 mg KOH/g และสูงสุด เท่ากับ 35 mg KOH/g (Lasztity, 1971; Njombolwana et al., 2013) หากไขที่นำมาผลิตเป็นสารเคลือบผิวมีการเกิดกลิ่นเหม็นหืน สูง ส่งผลต่อคุณภาพด้านกลิ่น และรสชาติที่ผู้บริโภคไม่ยอมรับต่อสารเคลือบผิวที่นำมาใช้ในการเคลือบผิวของผลไม้ (Srigumlaitong and Udomsak, 1975) Hagenmaier and Baker (1993) ทำการศึกษาการเคลือบผิวส้มเขียวหวาน พันธุ์สายน้ำผึ้ง ด้วยสารเคลือบผิวที่มีส่วนผสมของไขผึ้ง 0.36% (w/w) เชลแลค 5.06% (w/w) และ ไซคาร์บูนา 10% (w/w) สารเคลือบผิวเหล่านี้มีค่า A.V. อยู่ในช่วง 8.58-8.82 mg KOH/g ผู้วิจัยได้รายงานว่า การใช้สารเคลือบผิว ดังกล่าวมีกลิ่นเหม็นหืนที่ต่ำและสามารถ ลดการสูญเสียน้ำหนัก และการเปลี่ยนแปลงเนื้อสัมผัส Velickova et al. (2013) ได้ทำการเคลือบผิวสตรอเบอรี่ด้วยสารเคลือบผิว ซึ่งมีส่วนประกอบของ ไคโตซาน 0.8% และไขผึ้ง 0.5% w/w พบว่า สารเคลือบผิว มีค่า A.V. เท่ากับ 16.12 mg KOH/g ซึ่งอยู่ในช่วงของค่ากลางของค่า A.V. ของสารเคลือบผิวทั่วไป (อยู่ในช่วง 4-35 mg KOH/g) จึงเป็นสารเคลือบผิวที่ไม่ทำให้เกิดผลมีกลิ่นเหม็นหืน (Debeaufort et al., 1995)

3) ค่าไอโอดีน (Iodine Number; I.V.) เป็นค่าที่แสดงถึงปริมาณของไอโอดีนที่เข้าไปทำปฏิกิริยากับพันธะคู่ของกรดไขมันไม่อิ่มตัว ซึ่งเป็นองค์ประกอบในโมเลกุลของไขมัน จำนวน 100 g ระดับของค่า I.V. เป็นตัวบ่งชี้ว่าไขมันมีกรดไขมันไม่อิ่มตัวเป็นองค์ประกอบอยู่ในโมเลกุลมากน้อยเพียงใด ในเอกสารอ้างอิงที่เกี่ยวข้องระบุว่า ค่า I.V. ของสารเคลือบผิวที่มีช่วงเท่ากับ 2-50 g/fat 100 g (Lasztity, 1971) หากค่า I.V. มีค่าที่สูงแสดงว่ามีปริมาณกรดไขมันชนิดไม่อิ่มตัวเป็นองค์ประกอบมากและสารเคลือบผิวมีแนวโน้มเกิดกลิ่นหืนชนิด Oxidative Rancidity ได้ง่าย (Srigumlaitong and Udomsak, 1975) Baldwin et al. (1995) รายงานว่า หากนำ สารเคลือบผิวชนิดไฮคาร์บูบาที่มีค่า I.V. อยู่ในช่วง 7-14 g/fat 100 g มาเคลือบผิวหน้าของส้มเขียวหวานพันธุ์สายน้ำผึ้ง ทำให้เกิดกลิ่นเหม็นหืนต่ำ และชะลอการเปลี่ยนแปลงทางด้านสรีรวิทยาของผลส้มเขียวหวานได้โดยเฉพาะลดการสูญเสียน้ำหนัก และการเปลี่ยนแปลงสี Pandolsook and Kupongsak (2017) รายงานว่า ไซราข้าวมีค่า I.V. เท่ากับ 63.09 g/fat 100 g (มีค่าสูงกว่า 50 g/fat 100 g) เนื่องจากไขอยู่ในรูปแบบของไซราข้าวดิบ (Crude rice bran wax) จึงมีองค์ประกอบของกรดไขมันไม่อิ่มตัวเป็นองค์ประกอบอยู่ภายในโมเลกุลจำนวนมาก (เช่น กรดโอเลอิก ลิโนเลอิก และปาล์มิติก พบอยู่ประมาณ 75-95% (w/w) (Salunkhe et al., 1992) จึงอาจส่งผลให้ปริมาณไอโอดีนเข้าไปทำปฏิกิริยากับพันธะคู่ของกรดไขมันชนิดไม่อิ่มตัวของไซราข้าวภายหลังการเก็บรักษาได้ง่ายขึ้น ทำให้ค่า I.V. ที่ได้มีค่าสูง (Njombolwana et al., 2013)

2.5.2.2 สมบัติทางกายภาพที่สำคัญ

1) จุดหลอมเหลว (Melting point) คือ อุณหภูมิที่ทำให้ไขมันเปลี่ยนสถานะจากของแข็งกลายเป็นของเหลว ไขมันส่วนใหญ่มีจุดหลอมเหลวเป็นช่วง อุณหภูมิ ซึ่งเป็นช่วงที่กว้าง หรือ ช่วงแคบขึ้นอยู่กับชนิดของไตรกลีเซอไรด์ที่เป็นส่วนประกอบของไขมัน เช่น ไขมันที่ประกอบด้วยไตรกลีเซอไรด์ชนิดเดียวกันทั้งหมดจะมีจุดหลอมเหลวที่แน่นอน จุดหลอมเหลวของกรดไขมันเพิ่มขึ้นเมื่อจำนวนคาร์บอนในโมเลกุลของกรดไขมันเพิ่มขึ้น เมื่อนำไขมันมาให้ความร้อนโดยการเพิ่มอุณหภูมิขึ้นอย่างช้าๆ ไขมันค่อยๆ หลอมตัวกลายเป็นของเหลว หากทำให้เย็นลงมีลักษณะกลับมาเป็นของแข็งตามเดิม (Srigumlaitong and Udomsak, 1975) ลักษณะดังกล่าวเป็นเทอร์โมพลาสติก (Thermoplastic) กล่าวคือ สารเคลือบผิวมีความยืดหยุ่นคล้ายยาง และเมื่อเย็นตัวลงสามารถกลับมาเป็นของแข็ง การเป็นเทอร์โมพลาสติกของสารเคลือบผิวเกิดจากการเติมสารละลายอิมัลซิไฟเออร์เพื่อทำหน้าที่ในการลดแรงยึดเหนี่ยวระหว่างสายโซ่โมเลกุลของไขมัน โมเลกุลของสารละลาย อิมัลซิไฟเออร์จะเชื่อมกับโมเลกุลของไขมัน ทำให้โมเลกุลของไขมันบางส่วนเกิดการละลาย จากนั้นโมเลกุลของไขมันการจัดเรียงตัวกันใหม่อย่างเป็นระเบียบ ส่งผลให้สายโซ่มีลักษณะเป็นเส้นตรงทำให้แรงยึดเหนี่ยวโมเลกุลของไขมันมีค่าลดลงจึงทำให้สารเคลือบผิวมีความยืดหยุ่นมากขึ้น (Carvalho et al., 2001) ไขมันทุกชนิดเมื่อมีอุณหภูมิที่ต่ำกว่าจุดหลอมเหลวลักษณะของไขมันมีสถานะเป็นของแข็ง จึงสามารถยึดเกาะกับพื้นผิวของวัสดุและไม่มีลักษณะเหนียวติดมือ เมื่ออุณหภูมิสูงขึ้นเข้าใกล้จุดหลอมเหลวลักษณะของไขมันมีสถานะคล้ายยาง เหนียวติดมือ ยึดติดพื้นผิววัสดุน้อยลงและส่งผลต่อคุณลักษณะทาง ด้านประสาทสัมผัสที่ทำให้ผู้บริโภคเกิดความรู้สึกไม่เป็นธรรมชาติในระหว่างการใช้บริโภค (Jimenez et al., 2010) จุดหลอมเหลวของไฮคาร์บูบา มีค่า เท่ากับ 82-85°C ไซราข้าวมีค่า เท่ากับ 40-70°C และไขมันมีค่า เท่ากับ 60-65°C (Lasztity, 1971) Jana and Martini (2016) ได้รายงานไว้ว่า จุดหลอมเหลวของ

ไขมันหุ้มห่อมีค่าเท่ากับ 79.8°C และไขมันหุ้มห่อ มีค่าเท่ากับ 75.8°C ไขมันหุ้มห่อ มีจุดหลอมเหลว มีค่าเท่ากับ 85°C จุดหลอมเหลวของสารเคลือบผิวที่ได้กล่าวมาข้างต้นเป็นสารเคลือบผิวที่นิยมใช้กันทั่วไปในการเคลือบผิวผลไม้ภายหลังเทคโนโลยีการเก็บเกี่ยว

2) จุดแข็งตัวของไขมัน (Solidifying point) หมายถึง อุณหภูมิที่ทำให้ไขมันกลายเป็นของแข็ง อุณหภูมิที่ไขมันเริ่มแข็งตัวเรียกว่าการเกิด โซลิดิฟิเคชัน (Solidification) และเรียกจุดนี้ว่า Solidifying point อุณหภูมินี้มักต่ำกว่าจุดหลอมเหลวประมาณ $2-3^{\circ}\text{C}$ ไขมันที่ประกอบด้วยไตรกลีเซอไรด์หลายชนิดผสมกันมีจุดแข็งตัวเป็นช่วงที่กว้าง โมเลกุลของไตรกลีเซอไรด์ที่มีลักษณะเป็นของเหลวภายหลังถึงจุดหลอมเหลวจะมีการเคลื่อนที่เข้ามาใกล้กันและสัมผัสกัน จากนั้นจัดเรียงตัวกันจนโครงสร้างเกิดเป็นผลึกของแข็งเมื่ออุณหภูมิถึงช่วงจุดแข็งตัว (Mapato et al., 2010) ไขมันโดยทั่วไป เช่น ไขมันหุ้มห่อ หรือไขมันหุ้มห่อ มีอุณหภูมิในการแข็งตัวที่อุณหภูมิต่ำกว่า $82-85^{\circ}\text{C}$ ไขมันหุ้มห่อมีอุณหภูมิในการแข็งตัวที่ต่ำกว่า $40-70^{\circ}\text{C}$ ดังนั้นอุณหภูมิที่ส่งผลให้ไขมันถึงจุดแข็งตัวเป็นปัจจัยที่สำคัญต่อลักษณะของไขมันเป็นอย่างมาก เนื่องจากภายหลังจากนำไขมันเคลือบลงบนผิวหน้าของผลไม้ต้องควบคุม อุณหภูมิในการเก็บรักษาให้ต่ำกว่าจุดหลอมเหลวของไขมันชนิดนั้น เพื่อให้ไขมันถึงจุดแข็งตัวจึงไม่เกิดการเหนียวติดมือ และมีประสิทธิภาพดียึดเกาะพื้นผิวของวัสดุได้ (Tian et al., 2014)

3) การละลาย (Solubility) ไขมันทุกชนิดไม่สามารถละลายน้ำ แต่ละลายได้ดีในตัวทำละลายอินทรีย์ ชนิดของตัวทำละลายอินทรีย์ที่ละลายไขมัน เช่น ปิโตรเลียมอีเธอร์ เฮกเซน ไดเอทิลอีเธอร์ คลอโรฟอร์ม อะซิโตน เบนซีน และเอทิลแอลกอฮอล์ ทั้งนี้ไตรกลีเซอไรด์ที่มีกรดไขมันต่างชนิดกันในโมเลกุล (Unsymmetric mixed triglycerides) ละลายได้ดีกว่าไตรกลีเซอไรด์ที่มีกรดไขมันชนิดเดียวกัน (Symmetric mixed triglycerides) เนื่องจากกรดไขมันต่างชนิดกันมีสมบัติทั้งมีขั้วและไม่มีขั้วอยู่ในกลุ่มของไตรกลีเซอไรด์เดียวกัน กลุ่มโมเลกุลที่มีขั้ว จะหันเข้าหากันและจับกันเช่นเดียวกันกับ กลุ่มโมเลกุลไม่มีขั้ว จะหันเข้าหากันและจับกันจึงเกิดการละลายได้อย่างสมบูรณ์ (Lehninger et al., 1993; Beesabathuni et al., 2015)

การละลายของกรดไขมันชนิดอิ่มตัวมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นในตัวทำละลายที่มีสมบัติไม่ชอบน้ำ เช่น อีเทอร์ (Lehninger et al., 1993) การละลายเกิดเพิ่มขึ้นเมื่ออุณหภูมิสูงขึ้นเนื่องจากเมื่อกรดไขมันได้รับความร้อนเข้าไปภายในโครงสร้างส่งผลให้เกิดการดูดความร้อน แล้วส่งผลต่อโครงสร้างเกิดการอ่อนตัว เมื่ออุณหภูมิถึงจุดหลอมเหลว ส่งผลให้ไขมันเกิดการละลาย นอกจากนี้การละลายของกรดไขมันในตัวทำละลายชนิดไฮโดรโฟบิกจะเพิ่มขึ้น ตามจำนวน ของ คาร์บอนในทางตรงกันข้าม การละลายของกรดไขมันเกิดการลดลงในตัวทำละลาย ที่ชอบน้ำ เช่น เอทานอล และคลอโรฟอร์ม เนื่องจาก กรดไขมันมีโมเลกุลจำพวกไม่มีขั้วจึงไม่สามารถจับกับโมเลกุลของตัวทำละลายเอทานอลที่มีโมเลกุลจำพวกมีขั้วจนเกิดการละลายได้ (Lehninger et al., 1993; Hernandez-Munoz et al., 2004)

4) ความหนาแน่น หรือความถ่วงจำเพาะ (Specific gravity) ไขมันที่มีจำนวนพันธะคู่ หรือมีจำนวนคาร์บอนในโมเลกุลของกรดไขมัน เพิ่มขึ้น ส่งผลให้ค่าความถ่วงจำเพาะของ กรดไขมันเพิ่มขึ้น เช่น กรดออกตาโคซานอิก (C_{26} -acid) กรดไตรอะคอนทานอิก (C_{28} -acid) และกรดโดไตรอะคอนทานอิก (C_{30} -acid) มีค่าความหนาแน่น หรือความถ่วงจำเพาะ เท่ากับ 1.40 1.61 และ 1.90 g cm^{-3} ตามลำดับ กรดไขมันที่มีจำนวนคาร์บอนเพิ่มขึ้นส่งผลให้มีค่าความหนาแน่น

หรือความถ่วงจำเพาะสูงขึ้น (Al-Arafi and Salimon, 2011) ไขมันที่อยู่ในสถานะของแข็ง ที่มีค่าความหนาแน่นหรือความถ่วงจำเพาะที่ลดลง เมื่อไขมันได้รับความร้อนและทำให้อยู่ในสถานะของเหลว เนื่องจากความร้อนทำให้โครงสร้างโมเลกุลของไขมันที่อยู่ในสถานะของแข็งเกิดการเสียสภาพและอ่อนตัวลง ภายหลังเกิดการเสียสภาพจากความร้อนส่งผลให้โมเลกุลของไขมันมีขนาดเล็กลงหรือปริมาณลดลงจึงเกิดการกระจาย ตัวเป็นของเหลวมากขึ้นทำให้ค่าความหนาแน่นลดลง ดังนั้นไขสกัดเมื่อหลอมละลายกลายเป็นของเหลว จึงมีค่าความถ่วงจำเพาะต่ำ กว่าน้ำ (หรือน้อยกว่า 1) แสดงให้เห็นว่าไขสกัดจะลอยอยู่บริเวณผิวหน้าของน้ำไม่ผสมเป็นเนื้อเดียวกัน เมื่อนำไปพัฒนาเป็นสารเคลือบผิวต้องมีการผสมสารอิมัลซิไฟเออร์ เช่น ไตรเอทานอลามีน (Triethanolamine) ช่วยให้ไขสกัดผสมเป็นเนื้อเดียวกันกับตัวทำละลายที่เป็นน้ำ (กมลวรรณ สุขสวัสดิ์, 2559; อ้างอิงจาก Pike, 1994)

5) สี (Colour) สีเป็นสิ่งที่บ่งชี้คุณภาพไขมันด้านกายภาพ คือ เป็น สิ่งที่ดึงดูดใจผู้ซื้อไขมันหรือน้ำมันแต่ละชนิดมีสีแตกต่างกันขึ้นอยู่กับรงควัตถุที่มีปนอยู่ในวัตถุดิบที่นำมาใช้ในการสกัด ไขมันหรือน้ำมันที่มีคุณภาพดี ควรมีสีเหลืองอ่อน (Lasztity, 1971) สีของสารเคลือบผิวที่ได้แตกต่างกันขึ้นอยู่กับรงควัตถุ ที่มีการปนอยู่ในวัตถุดิบที่นำมาใช้ในการสกัดเป็นสารเคลือบผิว เมื่อนำมาผ่านกระบวนการสกัดแล้วความร้อนอาจส่งผลให้สีของไขเปลี่ยนแปลงไปจากเดิมได้ เช่น การสกัดไขจากใบกะหล่ำปลี (ที่ใช้ในงานวิจัยครั้งนี้) จากการศึกษาเบื้องต้นพบว่า ภายหลังการสกัดแล้วสารละลายที่ได้มีลักษณะเป็นสีเขียวอ่อน ๆ เกิดจากการละลายออกมาของคลอโรฟิลล์ออกมาจากใบกะหล่ำปลี แต่เมื่อนำสารละลายที่ได้ไประเหยตัวทำละลายออกจากไขสกัด พบว่ามีการเปลี่ยนจากสีเขียวเป็นสีน้ำตาล เนื่องจากคลอโรฟิลล์เป็นรงควัตถุสีเขียวที่อยู่ในพืชทุกชนิดสามารถละลายได้ดีในตัวทำละลายอินทรีย์ และคลอโรฟิลล์ไม่คงตัวต่อความร้อนเมื่อได้รับความร้อนจะเปลี่ยนเป็นฟีโอไฟติน (Pheophytin) ทำให้สีเขียวเปลี่ยนเป็นสีเขียวอมน้ำตาล (Dominguez et al., 2011) Tooley (1971) รายงานว่า สารเคลือบผิวจากไขมันมีลักษณะเป็นสีขาวนวล เซลแลคมีลักษณะเป็นสีน้ำตาลแดง ไขมันคาร์บูบามีลักษณะเป็นสีเหลืองเทา และไขมันไฮดรอกซีมีลักษณะเป็นสีขาวเทา

6) การเกิดผลึกของ ไขมัน เกิดในสถานะที่ไขมันมีอุณหภูมิต่ำกว่าจุดหลอมเหลวของไขมันชนิดนั้น เช่น ไขมันคาร์บูบาร์ เกิดผลึกได้เมื่ออุณหภูมิต่ำกว่าจุดหลอมเหลว (ต่ำกว่า 83°C) และสามารถทำได้ด้วยการลดอุณหภูมิลงอย่างรวดเร็ว การเกิดผลึกมาจากโมเลกุลของไตรกลีเซอไรด์จำนวนมากมารวมตัวกันเป็นกลุ่ม หลังจากนั้นผลึกของไตรกลีเซอไรด์จะมีขนาดใหญ่ขึ้น หรือเรียกว่าการโตของผลึก คือ กระบวนการแพร่ที่เกิดขึ้นบนผิวหน้าของของแข็งที่ผลึกกำลังโตขึ้น โมเลกุลของไตรกลีเซอไรด์แพร่ผ่านเฟสที่เป็นของเหลวไปยังผิวหน้าของผลึกดังกล่าว ขั้นตอนการเพิ่มขนาดของผลึกเป็นตัวกำหนดรูปแบบโครงสร้างของผลึกให้มีขนาดเล็ก (0.1-0.5 μm) หรือใหญ่ (50-100 μm) ดังนั้นไขมันที่ถูกลดอุณหภูมิลงอย่างรวดเร็วส่งผลให้เกิดการรวมโมเลกุลของไตรกลีเซอไรด์เข้า และมีขนาดเล็ก ส่งผลให้ผลึกของไขมันที่เกิดขึ้นมีขนาดเล็ก ในทางตรงกันข้ามหากมีการลดอุณหภูมิลงอย่างช้า ๆ โมเลกุลของไตรกลีเซอไรด์เกิดการเคลื่อนที่เข้าหากันและรวมตัวกันเป็นกลุ่ม ขนาดใหญ่ ทำให้ผลึกของไขมันที่ได้มีขนาดใหญ่ (Bennett, 1975; Lidfeldt, 2007) Endlein and Peleikis (2011) รายงานว่า ไขมันเซลแลค มีการเกิดผลึกขนาดเล็ก 1.12-1.32 μm โดยมีลักษณะเป็นเกร็ดเล็กและสีขาว ส่งผลให้ไขมันเซลแลคมีประสิทธิภาพที่ดีในการช่วยชะลอการซึมผ่านของ ก๊าซและไอน้ำ

เนื่องจากผลึกของไซมิขนาดเล็กทำให้โครงสร้างภายในของสารเคลือบผิวแนบชิดกันไม่มีช่องว่างในการซึมผ่านของก๊าซหรือไอน้ำ

2.5.3 ผลของการเคลือบต่อการเปลี่ยนแปลงคุณภาพของผลิตผล

2.5.3.1 การผลิตเอทิลีน โดยเอทิลีนเป็นฮอร์โมนตามธรรมชาติที่มีอยู่ในผล ไม้ทุกชนิดอยู่ในรูปของก๊าซ ทำหน้าที่ควบคุมการเจริญเติบโต การสุกอม และการชราภาพของเนื้อเยื่อของผลไม้ (Kader, 1980; Watada et al., 1996; Yousef et al., 2015) ปริมาณของเอทิลีนที่ปล่อยออกมานั้นแตกต่างกันขึ้นอยู่กับชนิดของผลไม้ นอกจากนี้ อุณหภูมิเป็นปัจจัยสำคัญที่สามารถเพิ่มอัตราการผลิตเอทิลีน อุณหภูมิที่มีผลต่อการเพิ่มขึ้นของเอทิลีนอยู่ในช่วง $0-35^{\circ}\text{C}$ (Kader, 1980; Jeong et al., 2003) การผลิตเอทิลีนของผลิตผลกลุ่ม Climacteric¹ ส่งผลต่อการเพิ่มขึ้นของอัตราการหายใจเอทิลีนกระตุ้นให้เกิด Climacteric rise และ Climacteric peak ได้เร็วขึ้นและส่งผลให้มีผลให้อัตราการหายใจสูงขึ้นมาก ในขณะที่ผลไม้ประเภท Non-Climacteric (มะนาว ส้ม และแอปเปิ้ล เป็นต้น) มีการตอบสนองต่อเอทิลีนที่ต่ำ (Seymours et al., 1993) Yang (1985) กล่าวว่าผลไม้ประเภท Non-Climacteric มีการสร้างเอทิลีนภายในเนื้อเยื่อในอัตราที่ต่ำส่งผลให้กระบวนการสุกเกิดขึ้นอย่างช้า ๆ ทั้งนี้การผลิตเอทิลีนจัดเป็น secondary metabolism ดังนั้นการเคลือบผิวหน้าทำให้การแลกเปลี่ยนก๊าซของผลิตผลลดลงจึงทำให้ กระบวนการเมตาบอลิซึม เกิดขึ้นในอัตราที่ต่ำ (Kader, 1980) จึงเป็นสาเหตุสำคัญที่ทำให้การผลิตเอทิลีนลดลง

Hagenmaier (2005) ได้ศึกษาการเคลือบผิวแอปเปิ้ลด้วยสารเคลือบผิวชนิด APL-LUSTR 275 ไซเชลแลค และไซคาร์บูนา เปรียบเทียบกับแอปเปิ้ลที่ไม่ผ่านการเคลือบผิว (Control) พบว่า แอปเปิ้ลที่ผ่านการเคลือบผิวในทุกกลุ่มทดลองมีความเข้มข้นของเอทิลีนในปริมาณต่ำกว่าสิ่งทดลองควบคุม เนื่องจากสารเคลือบผิวมีสมบัติชะลอการซึมผ่านของก๊าซที่ผลแอปเปิ้ลนำไปใช้ในกระบวนการ เมตาบอลิซึม จึงส่งผลให้ผลิตเอทิลีนได้ในปริมาณต่ำ อย่างไรก็ตามในการเคลือบผิวแอปเปิ้ล อาจมีการสะสมของเอทิลีนสูงขึ้นหากสารเคลือบผิวเกิดการหลุดลอกไม่แนบชิดกับพื้นผิวจึงทำให้อัตราการซึมผ่านของก๊าซเพิ่มขึ้นส่งผลให้อัตราการหายใจสูงขึ้น และนำไปสู่การเพิ่มขึ้นของอัตราการ ผลิตเอทิลีน (Krochta et al., 1994) สอดคล้องกับรายงานของ Passam and Blunden (1982) ได้ทำการศึกษาการผลของการเคลือบต่อการผลิตเอทิลีนพบว่า มะนาวเคลือบผิวมะนาวด้วยสารเคลือบผิวไขผึ้งมีการผลิตเอทิลีนในปริมาณต่ำ ที่อยู่ในช่วง $0.10-0.15 \mu\text{l C}_2\text{H}_4 \text{ kg}^{-1} \text{ hr}^{-1}$ มะนาวที่ไม่ผ่านการเคลือบผิวมีการผลิตเอทิลีนในปริมาณ $0.35 \mu\text{l C}_2\text{H}_4 \text{ kg}^{-1} \text{ h}^{-1}$ ดังนั้นเมื่อทำการเคลือบผิวหน้ามะนาวด้วยสารเคลือบผิวที่มีคุณสมบัติในชะลอการซึมผ่านของก๊าซได้ดี ส่งผลให้อัตราการผลิตเอทิลีนลดลงทำให้ผลมะนาวเกิดการเปลี่ยนแปลงทางด้านสรีระวิทยาได้ช้า

Guillen et al. (2013) รายงานการเคลือบผิวลูกพีชและลูกพลัมสดด้วยสารเคลือบผิวเจลว่านหางจระเข้ เก็บรักษาไว้ที่อุณหภูมิ 20°C เป็นเวลา 6 วัน เปรียบเทียบกับผลไม้ที่ไม่ผ่านการเคลือบผิว พบว่า สารเคลือบผิวเจลว่านหางจระเข้ช่วยลดปริมาณเอทิลีนของลูกพีช

¹ Climacteric fruit หมายถึงผลไม้ที่มีอัตราการหายใจเปลี่ยนแปลงตามอายุ นับจากที่ผลไม้แก่จัด หรือ ผลสมบูรณ์ (Maturity) อัตราการหายใจเพิ่มสูงขึ้นจนถึงจุดสูงสุด (Climacteric peak) จากนั้นอัตราการหายใจค่อยๆลดลง เมื่อผลไม้เริ่มสุกจะมีการเปลี่ยนแปลงสภาพภายใน เช่น การเปลี่ยนแปลงสีของเปลือก การเปลี่ยนแปลงรสชาติให้เป็นน้ำตาลทำให้ ผลไม้สุกมีรสชาติหวาน เนื้อนิ่ม กลิ่นหอมมากกว่าผลไม้ดิบ ได้แก่ แอปเปิ้ล มะม่วง และมะละกอ เป็นต้น (Seymours et al., 1990)

และถูกพื้ได้ต่ำกว่าที่ไม่ได้พื้ านการเคลือบผิว เนื่องจากเจลว่านทางจระเข้มีคุณสมบัติในการเกิดฟิล์มบาง ๆ ที่สามารถควบคุมการแลกเปลี่ยนก๊าซจากภายในผลไม้กับสิ่งแวดล้อมทำให้มีปริมาณเอทิลีนลดลง (Valero and Serrano, 2010) จากงานวิจัยของ Tesfay et al. (2017) ที่ทำการศึกษาการเคลือบอะโวคาโดด้วยคาร์บอกซิลเมทิลเซลลูโลส ความเข้มข้น 1% (w/w) เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 5.5°C เป็นระยะเวลา 21 วัน พบว่า สารเคลือบผิวช่วยลดการผลิตเอทิลีนในอะโวคาโดตลอดการเก็บรักษา มีค่าอยู่ในช่วง 2.0-4.0 mg C₂H₄ kg⁻¹ h⁻¹ เนื่องจากสารเคลือบผิวที่มีคุณสมบัติในชะลอการซึมผ่านของก๊าซได้ดี ทั้งนี้อัตราการผลิตเอทิลีนของอะโวคาโดที่ไม่ได้เคลือบผิวมีค่าเท่ากับ 11.4-13.5 mg C₂H₄ kg⁻¹ h⁻¹

2.5.3.2 การเปลี่ยนแปลงสี และความมันวาวของผลไม้ องค์ประกอบหลักของสารให้สีในผักและผลไม้ คือ คลอโรฟิลล์ (Chlorophyll) ให้สีเขียว แคโรทีนอยด์ (Carotenoid) ให้สีเหลือง ส้ม แดง หรือ ม่วง ในระหว่างการสุก ส่งผลให้คลอโรฟิลล์มีการสลายตัว และรงควัตถุที่มีสี อื่น ๆ ปรากฏชัดเด่นขึ้น (Baldwin, 1993; Seifert and Zude-Sasse, 2017) การเคลือบผิวมีส่วนช่วยในการชะลอการเปลี่ยนแปลงสีของผลไม้ได้ เนื่องจากสารเคลือบผิวทำหน้าที่ช่วยชะลอการซึมผ่านของก๊าซที่ส่งผลต่อการเกิดปฏิกิริยาเคมีต่างๆ รวมทั้งการทำงานของเอนไซม์ที่มีก๊าซเป็นตัวเร่งให้เกิดการเปลี่ยนแปลงสีของผลไม้ จากรายงานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการเปลี่ยนแปลงสี Maftoonazad and Ramaswamy (2005) ได้ทำการศึกษากระบวนการเคลือบผิวหน้าอะโวคาโดด้วยสารเคลือบผิวชนิดเซลลูโลส พบว่า อะโวคาโด สดที่ผ่านการเคลือบผิวด้วยสาร เคลือบผิวเซลลูโลส ช่วยชะลอการเปลี่ยนแปลงสีผิวได้ เมื่อเปรียบเทียบกับกลุ่มควบคุม (Control) เนื่องจากสารเคลือบผิว เซลลูโลส มีคุณสมบัติในการช่วยชะลอการการซึมผ่านของก๊าซ โดยเฉพาะก๊าซออกซิเจนส่งผลให้กิจกรรมของเอนไซม์ที่เปลี่ยนแปลงรงควัตถุ สีลดลง Michael (1990) และ Tucker (1993) รายงานว่า สาเหตุที่ความเขียวของเปลือกมะนาวลดลงนี้ เป็นเพราะคลอโรฟิลล์ที่ผิวเปลือกเกิดการ เสื่อมสภาพเนื่องจากการทำงานของเอนไซม์คลอโรฟิลล์เลสและมะนาวเริ่มเข้าสู่ระยะสุก ทั้งนี้เอทิลีนสามารถกระตุ้นให้เอนไซม์คลอโรฟิลล์เลสทำงานเพิ่มขึ้นจึงส่งผลให้สีเขียวที่เปลือกของมะนาวลดลง

จากการศึกษาของ วรวัลย์ รุ่งเรือง ศรี (2550) ได้รายงานว่ สีของเปลือกส้มที่ผ่านการเคลือบผิวด้วยสารเคลือบ ผิวชนิด พอลิเอทิลีน แวกซ์ (PE wax) และแคนเดิลล้า แวกซ์ (Candelilla wax) มีค่า L* (ความสว่าง) ที่เปลี่ยนแปลงช้ากว่าส้มที่ไม่ได้เคลือบผิว (Control) เนื่องจากสารเคลือบผิวสามารถจำกัดการผ่านเข้าออกของก๊าซได้ดีส่งผลให้ปริมาณของก๊าซออกซิเจนภายในผลส้มลดลง และก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์เพิ่มขึ้น ปริมาณคาร์บอนไดออกไซด์ที่เพิ่มขึ้นช่วยชะลอกระบวนการสลายตัวของคลอโรฟิลล์และชะลอการสังเคราะห์แคโรทีนอยด์ด้วย (Subramanyam et al., 1975); Perdones et al. (2012) ได้ศึกษาการเคลือบผิวสตรอเบอรี่ด้วยสารเคลือบ ผิวชนิดไคโตซาน เพียงอย่างเดียว และ ไคโตซาน ผสมกับน้ำ มันหอมระเหย ที่สกัดจากมะนาว พบว่า สตรอเบอรี่ที่ผ่านการเคลือบผิวด้วยสารเคลือบผิวในทุกกลุ่มทดลองสามารถชะลอการเปลี่ยนแปลงสีแดงได้ดี เนื่องจาก ก๊าซออกซิเจน ซึมผ่านเข้ามาภายในได้น้อย และทำให้อัตราการหายใจของผลสตรอเบอรี่ อยู่ในระดับต่ำ ในทางตรงกันข้าม สตรอเบอรี่ที่ไม่ผ่านการเคลือบผิวมีการเปลี่ยนแปลงค่าสีแดงในระดับสูง

Srisiripan et al. (2012) รายงานว่า การเคลือบผิวพริกหวานด้วยสารเคลือบผิวไคโตซานที่มีความเข้มข้น 0.5 1.0 และ 1.0% (w/w) ช่วยชะลอการเปลี่ยนแปลงสีของพริกหวานภายหลังการเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 25°C เป็นเวลา 15 วัน เนื่องจากสารเคลือบผิวชนิด ไคโตซานมีผลช่วยยับยั้งการทำงานของเอนไซม์โพลีฟีนอลออกซิเดส (Polyphenol oxidase; PPO) และเอนไซม์เพอร์ออกซิเดส (Peroxidase; POD) เอนไซม์เหล่านี้ส่งผลให้เกิดสีน้ำตาลในผักและผลไม้ เพราะไคโตซานมีสมบัติในการชะลอการซึมผ่านของก๊าซออกซิเจนให้เข้ามาภายในพริกหวานได้ต่ำ ดังนั้นก๊าซออกซิเจนที่ผ่านเข้ามาในปริมาณน้อย ส่งผลให้กิจกรรมของ เอนไซม์ PPO และ POD มีระดับที่ต่ำ ส่งผลให้เกิดการเปลี่ยนแปลงสีได้ช้า (Jiang et al., 2002; Jiang and Li, 200) Aguilar et al. (2013) ได้ศึกษาการเคลือบผิวพริกหวานสีเขียวด้วยสารเคลือบผิวหลายองค์ประกอบประกอบไปด้วย กัม อารบิก (Arabic gum) เพคติน (Pectin) แซนแทน กัม (Xanthan gum) และไขผึ้ง (Bee wax) ทำการเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 25°C เป็นเวลา 10 วัน พบว่า การเคลือบผิวช่วยชะลอการเปลี่ยนแปลงสีของพริกหวานสีเขียวได้ เนื่องจากการ กิจกรรม ของเอนไซม์คลอโรฟิลล์เลส มีระดับต่ำเป็นผลมาจากการจำกัดการซึมผ่านก๊าซออกซิเจนระหว่างสิ่งแวดล้อมและเนื้อเยื่อ (Rocha and Morais, 2003)

Ali et al. (2015) ทำการศึกษาการเคลือบผิวพริกหวานด้วยสารเคลือบผิวไคโตซานผสมกับน้ำมันหอมระเหย โดยมีอัตราส่วนดังต่อไปนี้ (ไคโตซาน 1 g ต่อ น้ำมันหอมระเหย 0.5 g และ ไคโตซาน 1 g ต่อ น้ำมันหอมระเหย 1 g) เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 25°C เป็นเวลา 21 วัน พบว่า พริกหวานที่ผ่านการเคลือบผิวทั้ง 2 การทดลองมีการเปลี่ยนแปลงสีในระดับต่ำ เนื่องจากกิจกรรมของเอนไซม์โพลีฟีนอลออกซิเดส และเพอร์ออกซิเดสมีระดับที่ต่ำ ทำให้การเปลี่ยนแปลงสีของพริกหวานเกิดช้าลงเมื่อเปรียบเทียบกับที่ไม่ผ่านการเคลือบผิว (Azarakhsh et al., 2014)

นอกจากนี้การเคลือบผิวมีวัตถุประสงค์เพื่อ การเพิ่มมันวาวและความน่าสนใจให้แก่ผลิตภัณฑ์ที่ผ่านการเคลือบผิวหน้าด้วยสารเคลือบผิว เนื่องจากในปัจจุบันการใช้สารเคลือบผิวมีส่วนช่วยในการยืดอายุการเก็บรักษาผลไม้สด เช่น ชะลอการเปลี่ยนแปลงสี และช่วยเพิ่มมูลค่าให้แก่ผลไม้มีความสวยงามอีกทั้งยังต้องมีความปลอดภัยต่อผู้บริโภค ปัจจุบันผู้บริโภคมีความต้องการสารเคลือบผิวที่สามารถทานได้ และ สิ่งที่คาดหวังคือผลไม้ต้องมีความมันวาวน่ารับประทาน ดังนั้นการเพิ่มความมันวาวดึงดูดใจผู้บริโภคของผลไม้ภายหลังการเก็บเกี่ยวได้

Steyn (2015) ได้ทำการศึกษาการเคลือบผิวผลไม้ที่มีรสเปรี้ยว (มะนาว ส้ม และส้มโอ) ด้วยสารเคลือบผิว ชนิดพอลิเอทิลีน และสารเคลือบผิวไคโตซานดัดแปลง พบว่า ผลไม้รสเปรี้ยวทุก ๆ ชนิดที่ผ่านการเคลือบผิวหน้าด้วยสารเคลือบผิว ทั้งสองชนิดมีแนวโน้มของค่าความมันวาวเพิ่มขึ้น เมื่อเปรียบเทียบกับผลไม้ที่ไม่ผ่านการเคลือบผิว (Control) ซึ่งมีค่าความมันวาวลดลงเนื่องจากสารเคลือบผิวทั้งสองมีคุณสมบัติในความมันวาวและโปร่งใสมาก เมื่อทำการเก็บรักษาเป็นระยะเวลานานขึ้นจึงยังคงรักษาคุณภาพความมันวาวได้ดี แม้จะมีการสัมผัสกับความชื้นแต่ยังคงรักษาความมันวาวได้คงเดิมเพราะความชื้นซึมผ่านสารเคลือบผิวได้ช้า Hagenmaier (1998) รายงานว่าการ ใช้สารเคลือบผิว ชนิด แคนดิลลา แวกซ์ (Candelilla wax) ผสมกับสารเคลือบผิวพอลิเอทิลีน แวกซ์ สามารถช่วยลดการสูญเสียน้ำหนักของผลไม้ได้มาก นอกจากนี้ยังมีการยืดเกาะระหว่างสารเคลือบกับผิวหน้าของผลไม้ได้ดียิ่งขึ้น และไม่ส่งผลให้ความมันวาวลดลง

Njombolwana et al. (2013) รายงานว่า ผลไม้ในกลุ่มส้ม Navel ที่ผ่านการเคลือบผิวด้วย สารเคลือบผิว คาร์นูบา ปริมาณ 0.6-1.8 L (t^{-1} : Metric ton) มีค่าความมันวาวเพิ่มมากขึ้น แต่เมื่อระยะเวลาการเก็บรักษาเพิ่มขึ้นแนวโน้มค่าความมันวาวมีค่าลดลง เนื่องจากสารเคลือบผิว ชนิดคาร์นูบา แร็กซ์ มีการหลุดลอก เปรียบเทียบกับ กลุ่มส้ม Navel ที่เคลือบผิวด้วย พอลิเอทิลีน ปริมาณ 0.6-1.8 L (t^{-1} : Metric ton) พบว่า มีความมันวาวเพิ่มขึ้นเช่นเดียวกัน แต่ภายหลังการเก็บรักษา นานขึ้นค่าความมันวาวมีแนวโน้มลดลง เนื่องจากลักษณะของเปลือกผลไม้ที่มีลักษณะขรุขระไม่เรียบเนียน อาจทำให้ สารเคลือบผิวไม่มีการแนบชิดกับผิวเปลือกอย่างสมบูรณ์ (Baldwin et al., 1995) Marmur et al. (2013) ทำการศึกษาการเคลือบผิวพริกแดงด้วย สารเคลือบผิวโลคัสบีท กัม (Locust bean gum) คาร์นูบา แร็กซ์ และเซลแลค แร็กซ์ เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 25°C พบว่า พริกแดงที่ผ่านการเคลือบผิวในทุก การทดลองมีความมันวาวเพิ่มขึ้น Khorram et al. (2017) ได้ทำการเคลือบผิวหน้าส้มด้วยสารเคลือบผิวชนิด เซลแลค ที่มีความเข้มข้น 9 10 และ 11% (w/w) เจลาติน (Gelatin: GL) 5 6 และ 7% (w/w) และเปอร์เซีย กัม (Persian gum: PG) 3.5 4 และ 4.5% (w/w) ตามลำดับ เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 5°C เป็นเวลา 60 วัน และ รายงานว่า สารเคลือบผิวทุกชนิดช่วยให้ส้มมีความมันวาวเพิ่มมากขึ้นตามความเข้มข้นของ สารเคลือบผิว โดยเฉพาะในส้มที่เคลือบผิวด้วยสารเคลือบผิวชนิด เซลแลค คีมีความมันวาวที่สูง ดังนั้นเมื่อระยะเวลาการเก็บรักษานานขึ้นสารเคลือบผิวยังคงติดไม่มีการหลุดร่อนลักษณะของส้ม ก็ยังคงความมันวาวเพิ่มขึ้นตามไปด้วย (Perez-Gago et al., 2002; Contreras-Oliva et al., 2011)

2.5.3.3 การเจริญของเชื้อจุลินทรีย์ สารเคลือบผิวบางชนิดมีประสิทธิภาพในการชะลอการเจริญของเชื้อจุลินทรีย์ที่มีผลต่อการเน่าเสียของผลไม้ได้ โดยเฉพาะสารเคลือบผิวไคโตซาน ที่มีประสิทธิภาพในการป้องกัน เจริญของเชื้อจุลินทรีย์ Chien et al. (2007) ได้ทำการทดลองการเคลือบผิวมะม่วงหั่นชิ้นด้วยสารเคลือบผิวไคโตซานความเข้มข้น 0.5-2.0% (w/w) เปรียบเทียบกับ มะม่วงหั่นชิ้นที่ไม่ผ่านการเคลือบผิว เก็บรักษาเป็นเวลา 7 วัน ที่อุณหภูมิ 6°C พบว่า มะม่วงที่ผ่านการเคลือบผิว มีการเจริญของเชื้อจุลินทรีย์ในระดับต่ำ โดยเฉพาะมะม่วงที่เคลือบ ผิวด้วยไคโตซานความเข้มข้น 2% (w/w) มีจำนวนจุลินทรีย์เพิ่มขึ้น ในระดับ ต่ำที่สุด เท่ากับ 5.30 log CFU/g เมื่อเปรียบเทียบกับมะม่วงหั่นชิ้นที่ไม่ผ่านการเคลือบผิว มีจำนวนเชื้อจุลินทรีย์เพิ่มขึ้นสูงสุดเท่ากับ 6.41 log CFU/g เนื่องจากสมบัติการต้านการเจริญของเชื้อจุลินทรีย์ของ สารเคลือบผิวไคโตซาน ดังที่ได้กล่าวข้างต้น

Liu et al. (2006) รายงานว่า ไคโตซานมีคุณสมบัติในด้านการยับยั้งการเจริญของเชื้อจุลินทรีย์ เช่น แบคทีเรีย และเชื้อรา ซึ่งเป็นจุดเด่นสำคัญในการนำไปใช้ประโยชน์ในการยืดอายุการเก็บรักษา ของผลไม้ ไคโตซานมีสมบัติเป็นตัวยับยั้งการเจริญของเชื้อจุลินทรีย์ที่ก่อให้เกิดโรคของผลไม้ที่นำไปสู่การเน่าเสีย อีกทั้งช่วยลดการสูญเสีย น้ำที่สัมพันธ์กับการสูญเสีย น้ำหนักของผลไม้และสามารถชะลอการสุกของผลไม้ ได้ ในขณะที่ El-Ghaout et al. (1992) กล่าวว่า การเคลือบผิวหน้ามะนาวด้วยไคโตซาน ที่มีความเข้มข้น เท่ากับ 0.25% (w/w) และ เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 25°C สามารถชะลอการเจริญของโรค และการเจริญของเชื้อจุลินทรีย์ได้นานกว่า ผลไม้ที่ไม่ผ่านการเคลือบผิวด้วยไคโตซาน ทั้งนี้มะนาวที่เคลือบผิวหน้ามี การเข้าทำลายของเชื้อจุลินทรีย์ มีปริมาณต่ำกว่าในมะนาวที่ไม่ได้เคลือบผิว ประสิทธิภาพของสารเคลือบผิวไคโตซานด้านการชะลอ

การเจริญของเชื้อจุลินทรีย์ได้รับการศึกษาและยืนยันในผลิตภัณฑ์อื่นๆ เช่น พริกหวาน (Srisiripan et al. 2012; Ali et al. 2015)

2.6 การสกัดไขมันจากธรรมชาติ

2.6.1 หลักการและวิธีการสกัดไขมัน (Wax) จากวัตถุดิบจากธรรมชาติ

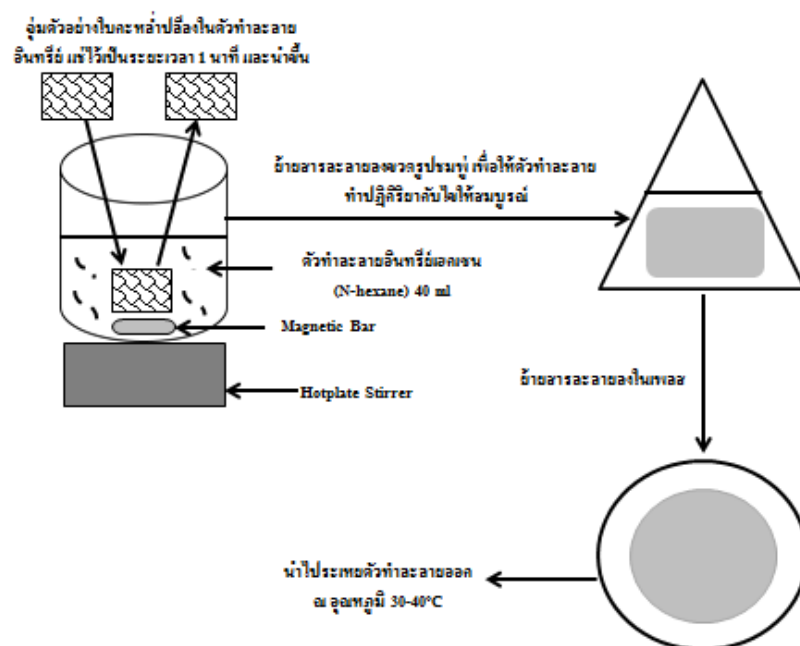
การเลือกวิธีการในการสกัดไขมันให้เหมาะสมกับวัตถุดิบที่ต้องการนำมาสกัดเพื่อให้ได้สารสกัดที่ต้องการ นำมาใช้ประโยชน์ เนื่องจากองค์ประกอบหรือโครงสร้างของสารสกัดที่ต้องการนำออกมานั้นมีความแตกต่างกัน เช่น การสกัดไขมันออกมาต้องพิจารณาถึงลักษณะโครงสร้างโมเลกุลของไขมันเป็นพวกโมเลกุลที่ไม่ละลายน้ำ ซึ่งน้ำมีโมเลกุลเป็นพวกมีขั้วจึงไม่สามารถจับกับโมเลกุลของไขมันที่มีโมเลกุลจำพวกไม่มีขั้วต่ำ หรือ ไม่มีขั้วส่งผลให้ไม่สามารถละลายได้ แต่ไขมันสามารถละลายในตัวทำละลายอินทรีย์ เพราะไขมันเป็นสารประกอบจำพวกไม่มีขั้วจึงละลายในตัวทำละลายอินทรีย์จำพวกไม่มีขั้ว เช่น เฮกเซน (Morillon et al., 2002; Harper, 1983; Johnson and Lusas, 1983) กระบวนการสกัดไขมันจากธรรมชาติมีหลากหลายขึ้นอยู่กับวิธีการเลือกวิธีที่เหมาะสมกับตัวอย่างที่นำมาสกัดเพื่อให้ได้ไขมันออกมาในปริมาณที่เหมาะสม กระบวนการสกัดอาจมีกระบวนการให้ความร้อน หรือ ความดันเข้ามาเกี่ยวข้อง เพราะมีส่วนช่วยให้ตัวทำละลายทำงาน และแทรกซึมเข้าไปในโครงสร้างของวัตถุดิบเพื่อทำการละลายสารสกัด เนื้อหาส่วนนี้ได้รวบรวมหลักการและวิธีการสกัดไขมันจากธรรมชาติที่สำคัญเนื่องจากในการศึกษานี้ได้มีการพัฒนาวิธีการสกัดไขมันจากใบกะหล่ำปลี ดังนั้นจึงขอเสนอวิธีการสกัดที่สำคัญในหัวข้อต่อไปนี้

2.6.1.1 การสกัดด้วยตัวทำละลาย (Solvent extraction) การสกัดด้วยตัวทำละลายเป็นวิธีที่นิยมใช้กันมากและใช้สกัดไขมันหรือน้ำมันออกจากเมล็ดพืช หรือองค์ประกอบของพืช เช่น เมล็ดพืช ใบ หรือ ลำต้นของพืช เป็นวิธีการแยกสารโดยอาศัยสมบัติการละลายของสารในตัวทำละลายที่เหมาะสมในการสกัดสารที่ต้องการออกจากของผสมตัวทำละลายที่นิยมใช้ในการสกัดเป็นตัวทำละลายอินทรีย์ เช่น ไดคลอโรมีเทน เอทานอล และเฮกเซน หลักการในการเลือกตัวทำละลายให้เหมาะสมกับสารสกัดที่ต้องการแยก โดยตัวทำละลายสามารถละลายสารสกัดที่ต้องการได้ดี ตัวทำละลายต้องไม่ละลายสารอื่นที่ไม่ต้องการสกัดตัวทำละลายต้องไม่ทำปฏิกิริยากับสารที่ต้องการสกัด ตลอดจนตัวทำละลายสามารถแยกออกจากสารที่ต้องการสกัดได้ง่าย ไม่เป็นพิษต่อร่างกาย และมีราคาที่เหมาะสม (Huang-Chung et al., 2001) นอกจากนี้ต้องพิจารณาจากสมบัติของตัวทำละลายอินทรีย์ที่นำมาใช้ในการสกัด โดยเฉพาะจุดเดือดของตัวทำละลาย เนื่องจากในการสกัดบางวิธีมีการให้ความร้อนในระหว่าง การสกัด ทั้งนี้หากเลือกใช้ตัวทำละลายที่มีจุดเดือดที่เหมาะสม (หรือสมบัติด้านอื่น) สามารถส่งผลให้ได้สารสกัดที่ต้องการในปริมาณสูง (Harper, 1983; Walter and Baumgarten, 1987; Johnson and Lusas, 1983) การสกัดด้วยตัวทำละลาย สามารถแยกออกเป็น 2 วิธีย่อยประกอบด้วย (1) การสกัดด้วยวิธีการแช่หรือจุ่ม และ (2) การสกัดด้วยตัวทำละลายที่มีกระบวนการให้ความร้อนร่วมด้วยโดยรายละเอียดของวิธีย่อยทั้งสองสามารถสรุปโดยสังเขปดังนี้

1) กระบวนการสกัดด้วยวิธีการแช่หรือจุ่ม (Extraction by means of immersion or dipping) การสกัดด้วยวิธีการแช่หรือจุ่ม เป็นวิธีการดั้งเดิมที่ใช้ตัวทำละลายอินทรีย์หลากหลายชนิด ได้แก่ อีเทอร์ (Ether) เมทิลคลอไรด์ (Methylene chloride) คลอโรฟอร์ม

(Chloroform) คาร์บอนเตตระคลอไรด์ (Carbon tetrachloride) เบนซีน (Benzene) และเฮกเซน (Hexane) (Walter and Baumgarten, 1987; Johnson and Lusas, 1983) วิธีการนี้ใช้ปริมาณตัวทำละลายมากในการสกัดไข โดยการแช่วัตถุดิบที่ต้องการสกัดลงในตัวทำละลายอินทรีย์ที่บรรจุในภาชนะที่มีฝาปิดมิดชิดเพื่อป้องกันการระเหยของตัวทำละลายอินทรีย์ วิธีการดังกล่าว จัดเป็นวิธีที่ดำเนินการได้ง่าย เนื่องจากอุปกรณ์ และวิธีการในการปฏิบัติงานไม่ยุ่งยาก อย่างไรก็ตามต้องคัดเลือกชนิดของตัวทำละลาย และอัตราส่วนตัวทำละลายกับวัตถุดิบที่ต้องการสกัดให้เหมาะสม (ดวงกมล เรืองงาม, 2557) วิธีการนี้ได้มีการใช้ในการสกัดไขที่เคลือบอยู่บนผิวหน้าของใบพืช โดยมีหลักการของการสกัดแบบแช่หรือจุ่ม คือ การจุ่มวัตถุดิบลงในตัวทำละลายอินทรีย์ที่มีคุณสมบัติในการละลายไขได้ดี เนื่องจากไขมีโมเลกุลพวกไม่มีขั้ว เมื่อตัวทำละลายอินทรีย์ที่มีโมเลกุลมีขั้วต่ำ หรือไม่มีขั้วมาละลายส่วนที่ไม่ชอบน้ำจะถูกละลายออกมาส่งผลให้สามารถสกัดไขออกมากับตัวทำละลายได้ (Morillon et al., 2002) การสกัดไขด้วยวิธีการ แช่หรือจุ่มนี้ เป็นวิธีการที่นิยมประยุกต์ใช้ในการสกัดไขจากพืชสดที่มีองค์ประกอบของไขอยู่บริเวณพื้นผิวหน้าของส่วนประกอบต่างๆของพืชที่สามารถสกัดออกมาได้ง่าย เนื่องจากไขที่ต้องการสกัดออกมาไม่ได้อยู่ในโครงสร้างภายในที่ซับซ้อน แต่จำเป็นต้องเลือกตัวทำละลายอินทรีย์ตลอดจนสภาวะการสกัดให้มีความเหมาะสม

จากการศึกษาเอกสารอ้างอิงที่เกี่ยวข้อง พบว่า มีการประยุกต์ใช้วิธีการสกัดไขจากใบกะหล่ำปลีด้วยวิธีการ แช่หรือจุ่ม (ตารางที่ 2.4) Znidarcic et al. (2008) รายงานการสกัดแบบจุ่มเพื่อสกัด ไขจากใบกะหล่ำปลี โดยการนำใบกะหล่ำปลีจำนวน 2 ใบ จุ่ม หรือ แช่ ลงในโหลแก้วขนาดใหญ่ที่มีตัวทำละลาย ชนิดเฮกเซน ปริมาตร 40 ml เป็นระยะเวลา 1 นาที ในระหว่างการสกัด ควรมีการเขย่า หรือกวนเบา ๆ ให้ทั่วร่วมด้วย (ภาพที่ 2.4) ผลการสกัดพบว่าวิธีการนี้สามารถสกัดไขได้ แต่ปริมาณไขที่ได้มีปริมาณที่ค่อนข้างน้อย หรือคิดเป็นร้อยละ 0.04



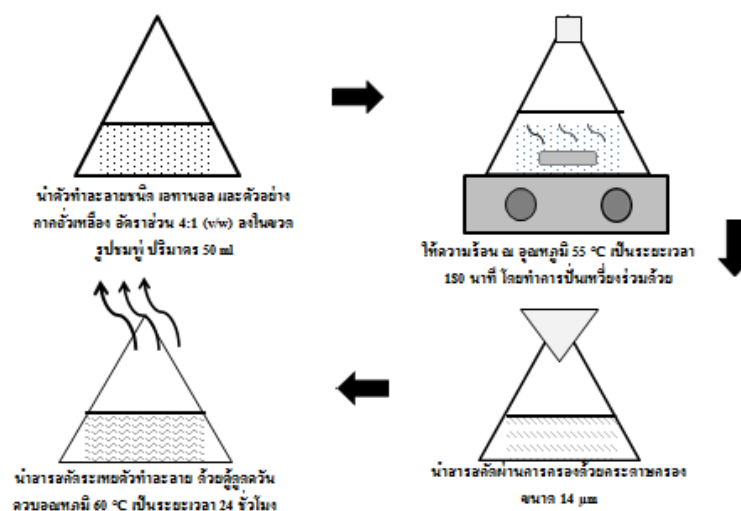
ภาพที่ 2.4 ภาพจำลองขั้นตอนการสกัดไขกะหล่ำปลี (Cabbage wax) ด้วยวิธีการแช่ หรือจุ่ม (Extraction by means of immersion or dipping)
ที่มา: ดัดแปลงจาก Znidarcic et al. (2008)

ตารางที่ 2.4 การสกัดไขมันจากใบกะหล่ำปลีด้วยวิธีการสกัดที่แตกต่างกัน

วิธีการสกัด	ตัวอย่าง (สายพันธุ์)	ชนิดของตัวทำละลาย	ปริมาณตัว ทำละลาย (ml or g)	ระยะเวลาใน การสกัด (min)	ปริมาณไขมันที่สกัดได้ (g)	อ้างอิง
<u>การสกัดด้วยตัวทำละลาย</u>						
(Solvent extraction)	-กะหล่ำปลี (สีแดง)					
การแช่ หรือ การจุ่ม (Immersion or Dipping)	-สายพันธุ์ Red dinosty	-เฮกเซน	4 ml	1 min	0.044	Znidarcic et al. (2008)
	-สายพันธุ์ Erfurtsko r.					
	-สายพันธุ์ Holondsko pozno rdece	” ”	” ”	” ”	0.044 0.047	Znidarcic et al. (2008) Znidarcic et al. (2008)
วิธีการสกัดแบบ ซอกซ์เลต (Soxhlet)	-กะหล่ำปลี (สีขาว)	-เอทานอล	150 ml	480 min	1**	ดัดแปลงจาก Zhao and Zhang (2014)

หมายเหตุ: เครื่องหมาย ** เป็นผลการทดลองที่ผู้วิจัยทำการทดสอบเบื้องต้นและนำมารายงานผลร่วมกับเอกสารอ้างอิง

2) จากวิธีการสกัดด้วยตัวทำละลายที่มีกระบวนการให้ความร้อนร่วมด้วย โดยในกระบวนการสกัดมีปัจจัยร่วมในกระบวนการสกัดหลายปัจจัย เช่น อุณหภูมิ ในการสกัดเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพในการสกัดให้ได้ในปริมาณสูงควรมีการใช้อุณหภูมิความร้อนที่มาใช้ในกระบวนการสกัดเพื่อให้ความร้อนมีส่วนช่วยให้ตัวทำละลายมีความหนืดลดลง และสามารถแทรกซึมเข้าไปภายในโครงสร้างของตัวอย่าง และละลายไขหรือน้ำมันออกมาให้ได้มากที่สุด (Mendez-Santiago and Teja, 1999) จากการศึกษาของ Dagostin et al. (2015) รายงานกระบวนการสกัดด้วยตัวทำละลายที่มีการให้ความร้อนร่วมด้วยเพื่อสกัดน้ำมันจากกากถั่วเหลือง โดยนำตัวทำละลายเอทานอลและกากถั่วเหลือง อัตราส่วน 4:1 (v/w) ใส่ลงในขวดรูปชมพู่ ปริมาตร 50 ml ผสมให้เข้ากัน จากนั้นนำตัวอย่างมาทำการสกัดโดยให้ความร้อน ที่อุณหภูมิ 55°C เป็นระยะเวลา 180 นาที ในระหว่างกระบวนการสกัดทำการปั่น เหยี่ยร่วมด้วย หลังจากนั้นนำสารสกัดมาระเหยตัวทำละลายโดยการให้ความร้อน ที่อุณหภูมิ 60°C เป็นระยะเวลา 24 ชั่วโมง และนำตัวอย่างน้ำมันถั่วเหลืองเก็บรักษา ที่ อุณหภูมิเย็น 4°C (ภาพที่ 2.5) พบว่า การสกัดที่อุณหภูมิ 55°C ส่งผลต่อปริมาณผลผลิตของน้ำมันกากถั่วเหลืองสูงเมื่อระยะเวลาในการสกัด 180 นาที เนื่องจากอุณหภูมิสูงช่วยลดความหนืดของตัวทำละลายส่งผลให้สามารถแทรกเข้าสู่โครงสร้างของกากถั่วเหลืองได้สูง และแพร่กระจายได้ทั่วถึงทำให้สามารถละลายน้ำมันออกมาได้สูง (Kwiatkowski and Cheryan, 2002) วิธีการสกัดนี้ยังไม่พบรายงานที่ประยุกต์ใช้ในการสกัดไขมันจากใบกะหล่ำปลี



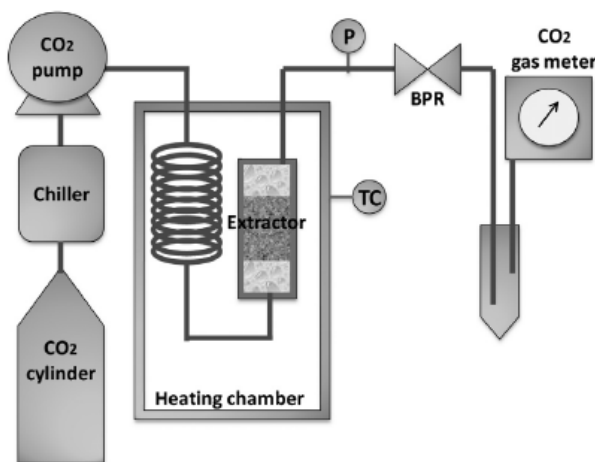
ภาพที่ 2.5 ภาพจำลองขั้นตอนการสกัดน้ำมันจากกากถั่วเหลือง ด้วยวิธีการสกัดด้วยตัวทำละลายที่มีกระบวนการให้ความร้อนร่วมด้วย
ที่มา: ดัดแปลงจาก Dagostin et al. (2015)

3) การสกัดด้วยชุด ซอกห์เลต (Soxhlet extractor) การสกัดด้วยชุดซอกห์เลตเป็นการใช้ตัวทำละลายที่เหมาะสมละลายสารที่ต้องการ รวบรวมจากสารผสมซึ่งเป็นของแข็ง ซึ่งการสกัดแบบนี้มีหลักการไม่แตกต่างจากการหาตัวทำละลายเพื่อตกผลึกสาร การสกัดวิธีนี้ทำได้โดยแช่ของแข็งที่ต้องการสกัดในตัวทำละลายที่ต้องการ กระบวนการสกัดด้วยชุดซอกห์เลตนี้ต้องใช้เวลานาน (เช่น มากกว่า 3 ชั่วโมง) ตัวอย่างที่ต้องการสกัดต้องมีปริมาณความชื้นที่ต่ำ เช่น 10% (dried basis) และขนาดชิ้นของตัวอย่างต้องมีขนาดเล็กเพื่อเพิ่มพื้นที่ผิวสัมผัสระหว่างตัวอย่างกับตัวทำละลายช่วยให้ประสิทธิภาพที่ดีในการสกัด (Harper, 1983; Johnson and Lusas, 1983) เครื่องสกัดแบบซอกห์เลต เป็นอุปกรณ์ที่ออกแบบมาสำหรับสกัดสารให้ได้ประสิทธิภาพสูงสุดนิยมใช้ในกรณีที่สารสกัดละลายได้ไม่ดีในตัวทำละลายอินทรีย์ที่ทำการสกัด

หลักการของวิธีการสกัดด้วยชุดเครื่องมือซอกห์เลต คือ การสกัดสารออกมาจากวัตถุดิบด้วยตัวทำละลายอินทรีย์ เช่น เอทานอล หรือ เฮกเซน ที่ถูกกลั่น และควบแน่นวนกลับมายังตัวอย่างเพื่อทำการสกัดไขมันหรือน้ำมันออกมาอย่างต่อเนื่อง กระบวนการสกัดนี้ใช้เวลาานมากกว่า 3 ชั่วโมง หรือจนกว่าไม่มีสารสกัดที่ต้องการละลายออกมาแล้ว (Ko et al., 2014) โดยทั่วไปงานวิจัยทางด้านการสกัดไขมันหรือน้ำมัน และการสกัดสารต้านอนุมูลอิสระนิยมใช้วิธีการสกัดด้วยชุดเครื่องมือซอกห์เลต เนื่องจากเป็นเทคนิคที่เหมาะสมในการแยก หรือสกัดสารอินทรีย์ที่ไม่เสถียร ความร้อนสูงออกจากสารผสมที่เป็นของแข็งและกระบวนการนี้มีค่าใช้จ่ายในการใช้งานถูก เนื่องจากในการสกัดใช้ตัวทำละลายที่มีราคาถูกแต่มีประสิทธิภาพในการทำงานสูง นอกจากนี้ยังเป็นเทคนิคที่ใช้งานง่ายสามารถนำมาประยุกต์ใช้ได้กับการสกัดผลิตภัณฑ์ที่มาจากธรรมชาติที่หลากหลาย (Pan and Liu, 2002)

4) การสกัดด้วย ก๊าซ คาร์บอนไดออกไซด์ภายใต้สภาวะวิกฤตยิ่งยวด (Supercritical carbon dioxide fluid extraction: SCFE) วิธีนี้เป็นวิธีการสกัดประเภทหนึ่งที่ใช้สกัดไขมันหรือน้ำมัน และสารต้านอนุมูลอิสระที่เสื่อมสภาพได้ด้วยความร้อน และเป็นสารที่มีความไวต่ออุณหภูมิหรือไม่มีขั้ว จึงสามารถละลายในตัวทำละลายคาร์บอนไดออกไซด์ (CO_2) ได้ดี เนื่องจากก๊าซ CO_2 เป็นตัวทำละลายที่ไม่มีขั้ว (Myers and Montgomery, 1995) ซึ่งวิธีการสกัดนี้ใช้สำหรับการแยกสารสกัดออกจากโครงสร้างหรือพื้นผิวของ ตัวอย่าง โดยก๊าซ CO_2 แทรกเข้าไปในโครงสร้างหรือเนื้อของวัตถุดิบที่ต้องการสกัดเพื่อทำการละลายสารสกัดออกมา เนื่องจากสมบัติของก๊าซ CO_2 ถูกบีบอัดให้เป็นของเหลวเหมือนน้ำ และการไหลเหมือนอากาศส่งผลให้สามารถแทรกเข้าไปในเนื้อวัตถุดิบได้อย่างมีประสิทธิภาพ จึงสามารถทำการสกัดสารสกัดที่ต้องการออกมาได้ดี (del valle and Aguilera, 1999) โดยทั่วไปวิธีนี้ใช้สำหรับสกัดสารที่มีขั้วต่ำหรือไม่มีขั้ว เช่น การสกัดน้ำมันรำข้าว (Soares et al., 2016) น้ำมันหอมระเหย (Uquiche et al., 2015) ในปัจจุบันได้มีการประยุกต์เพื่อให้สามารถสกัดสารที่มีขั้วสูงขึ้นได้โดยเติมตัวทำละลายอินทรีย์ที่มีขั้วมากกว่าในการสกัดด้วยหรือเรียกว่า Co-solvent เช่น เอทานอล ซึ่งกระบวนการสกัดด้วยคาร์บอนไดออกไซด์ภายใต้สภาวะวิกฤตยิ่งยวดยิ่ง แสดงตัวอย่างดังภาพที่ 6 (Ruen-ngam et al., 2012) วิธีการดังกล่าวนี้ นิยมใช้กันแพร่หลาย เนื่องจากให้ประสิทธิภาพในการสกัดที่ดีเมื่อเทียบกับวิธีการสกัดประเภทอื่น ๆ และสามารถสกัดสารได้หลายประเภท อีกทั้งยังสามารถแยกตัวทำละลายออกจากสารสกัดได้ดี เนื่องจากก๊าซ CO_2 เป็นตัวทำละลายอิสระ ที่อุณหภูมิต่ำ ($38-52^\circ\text{C}$) จึงช่วยเพิ่มประสิทธิภาพในการ

ละลายของสารสกัดได้ดียิ่งขึ้น (Del valle and Aguilera, 1999) ข้อดีของกระบวนการสกัดนี้ คือ มีประสิทธิภาพในการสกัดสูง ไม่เป็นพิษ มีความเสถียรภาพทางเคมี และไม่ก่อมลพิษต่อสิ่งแวดล้อม (Myers and Montgomery, 1995) อย่างไรก็ตามระบบดังกล่าวมีข้อจำกัด คือ ค่าอุปกรณ์และค่าดำเนินการสกัดมีราคาค่อนข้างสูง อีกทั้งดำเนินการภายใต้ความดันสูงต้องมีความระมัดระวังในระหว่างดำเนินการ นอกจากนี้วิธีนี้ใช้ในการสกัดสารมีคุณสมบัติสูงมีความประสิทธิภาพที่ดีสามารถเปลี่ยนและย่อยสารบางชนิดให้เป็นสารที่มีคุณสมบัติเพิ่มมากขึ้น (Ruen-ngam et al., 2012)



ภาพที่ 2.6 การสกัดด้วยคาร์บอนไดออกไซด์ภายใต้สภาวะวิกฤตยิ่ง
ที่มา: Tomita et al. (2014)

วิธีการสกัดนี้ยังไม่พบรายงานที่ประยุกต์ใช้ในการสกัดไขมันจากใบกะหล่ำปลี แต่ได้มีการประยุกต์ใช้ในอุตสาหกรรมสกัดน้ำมันรำข้าว เนื่องจากเป็นวิธีการที่สามารถแทรกเข้าไปในเนื้อวัตถุดิบได้ดีจึงมีการประยุกต์ใช้ในการสกัดน้ำมันรำข้าวออกมาในจำนวนมากและมีคุณภาพตัวอย่างเช่น Tomita et al. (2014) ได้ศึกษาวิธีการสกัดน้ำมันรำข้าว ด้วยวิธีการสกัดด้วยคาร์บอนไดออกไซด์ภายใต้สภาวะวิกฤตยิ่ง โดยใช้อุปกรณ์การทดลองตาม (ภาพที่ 2.6) ซึ่งใช้ตัวอย่างรำข้าว 4.5 g โดยกำหนดอุณหภูมิในการสกัด 40 60 และ 80°C และความดัน เท่ากับ 20 30 และ 40 MPa และอัตราการไหลของก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ (CO_2) เท่ากับ 1 3 6 และ 9 ml/s จากการศึกษเมื่อพิจารณาการสกัด ณ ความดัน 40 MPa สูงสุด พบว่า ผลของอุณหภูมิในการสกัดที่อุณหภูมิ 80°C ส่งผลต่อปริมาณผลผลิตของน้ำมันออกมา สูงกว่าอุณหภูมิการสกัดช่วง เนื่องจากอุณหภูมิสูง และความดันสูงส่งผลต่อการแพร่กระจายของก๊าซ CO_2 สามารถแทรกซึมเข้าไปภายในโครงสร้างของรำข้าวได้ดี และสามารถเข้าไปจับกับโมเลกุลของน้ำมันสามารถละลายออกมาได้ในปริมาณสูง (0.213 g/g sample) (del Valle et al., 2003)

2.7 ปัจจัยสำคัญที่มีผลต่อประสิทธิภาพของการสกัดไขมัน

ในการสกัดไขมันออกจากวัตถุดิบที่ได้จากธรรมชาติ ได้แก่ ใบพืช เมล็ดพืช เป็นต้น ควรคำนึงถึงปัจจัยที่มีผลต่อการสกัดเพื่อให้ได้ไขมันที่มีประสิทธิภาพ และได้ไขมันออกมาในปริมาณมาก ซึ่งในการสกัดไขมันนั้นใช้หลักการการเกิดปฏิกิริยาร่วมกันระหว่างปัจจัยต่าง ๆ ประกอบด้วย อุณหภูมิ ชนิด ตัวทำละลาย ความเข้มข้นตัวทำละลาย และระยะเวลา ในการสกัด เพื่อให้ได้มาซึ่งไขมันหรือน้ำมันที่ต้องการนำออกมาจากผิวหน้า หรือโครงสร้างภายในของส่วนประกอบต่างๆของพืชนำมาใช้เป็นวัตถุดิบในการสกัด เพื่อส่งผลต่อการละลายของสารสกัด (Chan et al., 2014) ปัจจัยที่นำมาพิจารณาเป็นสำคัญที่ส่งผลกระทบต่อปริมาณ หรือผลผลิตของไขมันหรือน้ำมันภายหลังจากกระบวนการสกัด โดยรายละเอียดของปัจจัยสำคัญที่มีผลต่อการสกัดไขมันได้กล่าวไว้ในลำดับต่อไป

2.7.1 อุณหภูมิ กระบวนการสกัดอาจจำเป็นต้องใช้อุณหภูมิความร้อนร่วมในกระบวนการสกัด เช่น วิธีการสกัดด้วยเครื่องซอกซ์เลตที่ใช้อุณหภูมิสูงประมาณ 90°C (Zhao and Zhang, 2014) และการสกัดด้วยคาร์บอนไดออกไซด์ภายใต้สภาวะวิกฤตยิ่งยวดยิ่ง ใช้อุณหภูมิเป็นปัจจัยร่วมในการสกัด เป็นกระบวนการที่ใช้ความร้อนสูง ประมาณ $31.90\text{--}99.85^{\circ}\text{C}$ (Sin et al., 2014) เพื่อช่วยให้ไขมันหรือน้ำมันละลายออกมาจากเมล็ดพืช หรือใบพืช ได้ง่าย (Harper, 1983; Johnson and Lusas, 1983) การกำหนดอุณหภูมิในการสกัดต้องคำนึงถึงจุดเดือดของตัวทำละลายที่ใช้ในการสกัดไขมันเพื่อช่วยให้ตัวทำละลายเกิดพลังงานความร้อนที่เหมาะสม และถึงจุดเดือดได้อย่างรวดเร็วช่วยให้กระบวนการสกัดมีประสิทธิภาพที่ดี เช่น ตัวทำละลายเอทานอล มีจุดเดือด เท่ากับ 78°C อุณหภูมิมีผลต่อคุณสมบัติของตัวอย่างโดยความร้อนที่ให้ในระหว่างกระบวนการสกัดมีส่วนช่วยให้โครงสร้างของตัวอย่างเกิดการอ่อนตัว และลดความหนืดของตัวทำละลายเพื่อให้ตัวทำละลายสามารถแพร่กระจายทั่วถึง และสามารถแทรกเข้าสู่โครงสร้างภายในของตัวอย่างและทำการละลายสารสกัดออกมาจากวัตถุดิบที่ต้องการสกัด (Patil and Ali, 2006)

Sin et al. (2014) ได้ทำการศึกษาการสกัดไขมันจากฟางข้าวสาลี โดยวิธีการสกัดแบบซอกซ์เลต และการสกัดแบบคาร์บอนไดออกไซด์ภายใต้สภาวะวิกฤตยิ่งยวด เมื่อพิจารณาผลของอุณหภูมิในการสกัดที่มีผลต่อปริมาณผลผลิตของไขมันจากฟางข้าวสาลี โดยกำหนดให้ค่าความดันในการสกัดคงที่ เท่ากับ 40 MPa พบว่า เมื่ออุณหภูมิในการสกัดไขมันจากฟางข้าวสาลีเพิ่มสูงขึ้นถึง 99.85°C การสกัดส่งผลให้ได้ปริมาณของไขมันเท่ากับร้อยละ 2.0 ไขมันที่สกัดได้นั้นมีปริมาณสูงกว่าการสกัดที่อุณหภูมิอื่น ๆ เนื่องจากอุณหภูมิสูงส่งผลต่อโครงสร้างของเส้นใยของฟางข้าวสาลีให้มีลักษณะอ่อนนุ่ม และความหนืดของตัวทำละลายลดลง ส่งผลให้ตัวทำละลายสามารถแทรกซึมและแพร่กระจายได้ทั่วถึงภายในโครงสร้างของฟางข้าว โมเลกุล ของตัวทำละลายที่มีความเป็นขั้วต่ำ หรือไม่มีขั้วสามารถจับกับโมเลกุลของไขมันและเกิดการละลายสารสกัดออกมาได้ในปริมาณสูง (Wisniewska et al., 2003) กระบวนการสกัดมีการใช้ความดันสูงมาร่วมในกระบวนการยิ่งส่งผลให้เกิดแรงดันสูงทำให้ตัวทำละลายสามารถแทรกซึมเข้าสู่ภายในได้ อย่างง่ายดายและรวดเร็วมากยิ่งขึ้นส่งผลต่อปริมาณผลผลิตที่ได้ ออกมาในปริมาณสูงตามไปด้วย (Patil and Ali, 2006) Sarip et al. (2016) ศึกษาการสกัดน้ำมันปาล์มด้วยวิธีการซอกซ์เลต เมื่อพิจารณาผลของอุณหภูมิที่มีผลต่อปริมาณของผลผลิตน้ำมัน โดยกำหนดความดันคงที่ ณ 50 bar พบว่า เมื่ออุณหภูมิในการสกัดเพิ่มสูงขึ้นอยู่ในช่วง 160°C มีผลผลิตน้ำมันปาล์มสูง ($0.53\text{ g-oil/g-dried masocara}$) กว่าอุณหภูมิการสกัดอื่น ๆ เนื่องจาก

อุณหภูมิสูง 160°C เป็นช่วงอุณหภูมิที่เหมาะสมในการสกัดของตัวทำละลายเพราะอุณหภูมิที่ใช้สูงกว่าสมบัติทางจุดเดือดของตัวทำละลายเฮกเซน (68°C) เมื่ออุณหภูมิสูงกว่าจุดเดือดของตัวทำละลายทำให้ตัวทำละลายเกิดการเปลี่ยนแปลงความหนืดที่มีค่าลดลงจึงเพิ่มความสามารถในการแทรกซึมและแพร่กระจายตัวเข้าภายในโครงสร้างของตัวอย่างได้ดีเพราะโครงสร้างของตัวอย่างเกิดความอ่อนนุ่ม จึงง่ายต่อการเข้าละลายของตัวทำละลายได้ในปริมาณสูง (Eller et al., 2011)

จากรายงานของ Salgin (2007) ทำการศึกษากระบวนการสกัดน้ำมันจากเมล็ดโจโจบาร์ โดยใช้กระบวนการสกัด 2 วิธีการ คือ 1) วิธีการสกัดแบบคาร์บอนไดออกไซด์ภายใต้สภาวะวิกฤตยิ่งยวดยิ่ง และ 2) วิธีการสกัดแบบซอกท์เลต จากการศึกษาผลของอุณหภูมิในการสกัดที่แตกต่างกัน ทำการพิจารณา ความดันในการสกัดคงที่ เท่ากับ 45 MPa และระยะเวลาในการสกัดคงที่ เท่ากับ 90 นาที จากการสกัดน้ำมันจากเมล็ดโจโจบาร์ โดยใช้การสกัดวิธีการด้วย ก๊าซ CO₂ ทำการเปรียบเทียบอุณหภูมิการสกัด 2 อุณหภูมิ คือ 69.85°C และ 89.85°C พบว่า เมื่ออุณหภูมิในการสกัดต่ำ เท่ากับ 69.85°C ผลผลิตของน้ำมันมีปริมาณสูง (0.45 gJo·g⁻¹ dry seed) แต่ในทางกลับกันเมื่ออุณหภูมิในการสกัดเพิ่มขึ้น เท่ากับ 89.85°C ผลผลิตน้ำมันมีค่าลดลง (0.39 gJo·g⁻¹ dry seed) เนื่องจากเมื่ออุณหภูมิ และความดันในการสกัดเพิ่มขึ้นส่งผลให้ตัวอย่างมีความหนาแน่นเพิ่มขึ้นทำให้ความเป็นรูพรุนของโครงสร้างภายในมีค่าลดลง เพราะเมื่ออุณหภูมิและความดันสูงขึ้น โครงสร้างภายในรวมทั้งบริเวณผิวหน้าของตัวอย่างเกิดการหลอมตัว จึงส่งผลให้ตัวทำละลายแทรกซึมและแพร่กระจายเข้าไปละลายน้ำมันออกมาได้อย่างลำบากทำให้ปริมาณของผลผลิตน้ำมันภายหลังการสกัด ที่อุณหภูมิ 89.85°C มีค่าลดลง (Cocero and Calvo, 1996) จากการสกัดน้ำมันจากเมล็ดโจโจบาร์ด้วย วิธีซอกท์เลตโดยพิจารณาผลของอุณหภูมิในการสกัดที่กำหนดตัวทำละลาย ปริมาณ 2% (v/w) และกำหนดความดันในการสกัดสูง เท่ากับ 45 MPa พบว่า อุณหภูมิในการสกัดที่สูง 89.85°C มีผลผลิตของน้ำมันสูง (0.43 gJo·g⁻¹ dry seed) กว่าจากการสกัด ณ อุณหภูมิต่ำ 69.85°C (0.40 gJo·g⁻¹ dry seed) เล็กน้อย เนื่องจากอุณหภูมิสูงมีส่วนช่วยในการลดความหนืดของตัวทำละลายและทำให้โครงสร้างของวัตถุดิบมีความอ่อนตัวส่งผลให้ตัวทำละลายสามารถแทรกซึมเข้าไปจับกับโมเลกุลของน้ำมันและทำการละลายน้ำมันออกมาได้ส่งผลให้ปริมาณของผลผลิตน้ำมันออกมาได้สูงกว่าเล็กน้อย (Ozkal et al., 2005)

Attard et al. (2017) ทำการศึกษาการสกัดน้ำมันดิบจากกากป่าน โดยใช้กระบวนการสกัด 2 วิธีการ คือ 1) วิธีการสกัดแบบคาร์บอนไดออกไซด์ภายใต้สภาวะวิกฤตยิ่งยวดยิ่ง และ 2) วิธีการสกัดแบบซอกท์เลต ใช้ตัวทำละลายเฮปเทน (Heptane) 200 ml โดยใช้อุณหภูมิในการสกัดต่ำสุด 35°C สูงสุด 65°C ความดันในการสกัดคงที่ เท่ากับ 400 bar พบว่า การเพิ่มอุณหภูมิสูงขึ้นได้ปริมาณน้ำมันเพิ่มสูงขึ้นตามไปด้วย โดยเฉพาะที่อุณหภูมิ 62.9°C และ 69.3°C เป็นช่วงที่อุณหภูมิที่ส่งผลให้ได้ปริมาณน้ำมันดิบสูงที่สุด เนื่องจากอุณหภูมิสูงมีส่วนช่วยในการลดความหนืดของตัวทำละลายและทำให้โครงสร้างของวัตถุดิบมีความอ่อนตัวและขยายตัวได้มากส่งผลให้ตัวทำละลายสามารถแทรกซึมเข้าไปจับกับโมเลกุลของน้ำมันและทำการละลายน้ำมันออกมาได้ (Perrotin-Brunel et al., 2010) สอดคล้องกับ Patil et al. (2017) ได้ศึกษาการสกัดน้ำมันชีวภาพ (Bio-oils) จากสาหร่าย (Algae) วิธีการสกัดแบบคาร์บอนไดออกไซด์ภายใต้สภาวะวิกฤตยิ่งยวดยิ่ง โดยอุณหภูมิในการสกัด 40–80°C และความดัน 200–370 bars พบว่า เมื่ออุณหภูมิในการสกัดเพิ่มขึ้นปริมาณน้ำมันชีวภาพ

จากสาหร่ายเพิ่มสูงขึ้น (20-33% (w/w)) เนื่องจากอุณหภูมิสูงทำให้โครงสร้างภายในของสาหร่ายอ่อนตัวทำให้ก๊าซ CO_2 สามารถในการแทรกซึมและแพร่กระจายตัวเข้าภายในโครงสร้างของตัวอย่างได้ดีจึงง่ายต่อการเข้าละลายของตัวทำละลายและละลายน้ำมันออกมาได้ในปริมาณสูง (Dejoye et al., 2011)

2.7.2 ชนิดตัวทำละลาย ในการประยุกต์ใช้ตัวทำละลายอินทรีย์ที่ใช้งานร่วมกัน กับกระบวนการสกัดที่หลากหลายวิธีการ พิจารณาจากคุณสมบัติชนิดของตัวทำละลาย เพื่อให้มีความเหมาะสมกับกระบวนการสกัด และสารที่ต้องการสกัด ในการคัดเลือกชนิดของตัวทำละลายเริ่มจากสารที่ดองการสกัดมีองค์ประกอบและละลายได้ในตัวทำละลายชนิดใด เช่น สารสกัดมีโมเลกุล ที่มีขั้วต่ำ หรือไม่มีขั้ว จำเป็นต้องคัดเลือกตัวทำละลายชนิดที่มี โมเลกุลชนิดเดียวกัน และคุณสมบัติทางด้านจุดเดือดของตัวทำละลาย เช่น เอทานอล จุดเดือด 78°C และเฮกเซน จุดเดือด 68°C (Soares et al., 2015) สมบัติของตัวทำละลายที่มีจุดเดือดต่ำนั้นมีส่วนช่วยให้เกิดประสิทธิภาพที่ดีในการสกัด โดยไม่ต้องใช้พลังงานในการสกัดสูงมากก็สามารถละลายตัวทำละลายออกมาได้ และอัตราส่วนของตัวทำละลายควรมีความเหมาะสม คือ ตัวทำละลายในการสกัดจำเป็นต้องใช้ในปริมาณสูงเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพในการทำละลายสารสกัดออกมา เนื่องจากบางกระบวนการสกัดมีการให้ความร้อนร่วมด้วยเมื่อทำการสกัดนานขึ้น ตัวทำละลายเกิดการระเหยไปในระหว่างกระบวนการสกัดส่งผลให้ตัวทำละลายมีประสิทธิภาพในการสกัดลดลงเพราะปริมาณไม่เพียงพอต่อการแทรกเข้าไปในโครงสร้างของวัสดุ เพื่อละลายสารสกัดออกมา แต่อย่างไรก็ตามอัตราส่วนของตัวทำละลายนั้นควรเหมาะสมกับตัวอย่าง เนื่องจากหากมีปริมาณตัวทำละลายมากเกินไปอาจสูญเสียตัวทำละลายไปมากเกินไปและเสียเวลาในขั้นตอนการระเหยเพราะต้องใช้เวลาในการระเหยตัวทำละลายออกจากตัวอย่างเป็นเวลานาน (Soares et al., 2015)

จากรายงานของ Sin et al. (2014) ศึกษาการสกัดไขมันจากฟางข้าวสาเลี้ยว โดยการสกัด 2 วิธีการ คือ การสกัดด้วยซอกซ์เลต และการสกัดแบบคาร์บอนไดออกไซด์ภายใต้สภาวะวิกฤตยวดยิ่งพบว่า ตัวทำละลายเอทานอลส่งผลให้ร้อยละของผลผลิตไขมันจากฟางข้าวมีค่าเพิ่มสูงขึ้น (3.9% (w/w)) กว่าตัวทำละลายชนิดอื่นที่ใช้วิธีการสกัดชนิดเดียวกัน และปริมาณของตัวทำละลายเท่ากัน (300 ml) เนื่องจากตัวทำละลายชนิดเอทานอลมีคุณสมบัติในการละลายไขมันได้ดีเพราะโมเลกุลของความมีขั้วต่ำ และมีโมเลกุลที่แข็งแรงสามารถเข้าไปจับกับโครงสร้างของโมเลกุลไขมันของไขมันที่มีส่วนขั้วต่ำ เช่นเดียวกัน และตัวทำละลายมีสมบัติจุดเดือดต่ำ (73°C) เมื่อตัวทำละลายสามารถถูกความร้อนสูงกว่าจุดเดือดจึงส่งผลให้ความหนืดของตัวทำละลายลดลง จึงสามารถแทรกซึมเข้าไปในโครงสร้างของฟางข้าวสาเลี้ยวและละลายไขมันออกมาได้ในปริมาณสูง (Bicking, 2000) เมื่อพิจารณาตัวทำละลายก๊าซ CO_2 ที่มีอุณหภูมิสูง 99.85°C และความดันเท่ากับ 40 MPa ส่งผลปริมาณไขมันจากฟางข้าวที่เพิ่มสูง (1.8% (w/w)) และมีค่าไม่แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติกับตัวทำละลายชนิดอะซิโตน (1.8% (w/w)) เนื่องจากตัวทำละลายก๊าซ CO_2 และอะซิโตนเป็นตัวทำละลายที่มีโมเลกุลไม่มีขั้วสามารถไปจับกับโมเลกุลของไขมันที่ไม่มีขั้วอยู่ภายในโครงสร้างของฟางข้าวสาเลี้ยวที่เกิดการอ่อนตัวจากกระบวนการสกัด ส่งผลให้ตัวทำละลายสามารถแทรกซึมและแพร่กระจายอยู่ภายในโครงสร้างของฟางข้าวสาเลี้ยวได้อย่างทั่วถึงจึงทำให้ไขมันละลายออกมาได้ในปริมาณสูง (Sparks et al., 2006)

Zhao and Zhang (2014) ได้ทำการศึกษาการสกัดน้ำมันจากใบยูคาลิปตัสด้วยวิธีการสกัดด้วยชุดซอกท์เลต และรายงาน ว่า ตัวทำละลายมีผลต่อปริมาณของน้ำมันยูคาลิปตัส โดยทำการเปรียบเทียบตัวทำละลาย 2 ชนิด คือ เอทานอล และเฮกเซน โดยมีปริมาตรของตัวทำละลายคงที่ เท่ากับ 150 ml และระยะเวลาในการสกัดคงที่ 8 ชั่วโมง พบว่า การใช้ตัวทำละลายเอทานอลในการสกัดทำให้ได้น้ำมันจากใบยูคาลิปตัสในปริมาณสูง (3.5% (w/w)) กว่าตัวทำละลายเฮกเซน เนื่องจากตัวทำละลายเอทานอลมีโมเลกุลมีขั้วต่ำ และมีโครงสร้างของโมเลกุลของตัวทำละลายที่แข็งแรง จึงส่งผลให้ตัวทำละลายสามารถจับกับโครงสร้างโมเลกุลของน้ำมันยูคาลิปตัสที่มีความมีขั้วต่ำ เช่นเดียวกัน และน้ำมันยูคาลิปตัสสามารถละลายผสมกับตัวทำละลายได้ ดีและส่งผลให้ร้อยละผลผลิตของน้ำมันสูง (Morillon et al., 2002)

จากรายงานของ Dagostin et al. (2015) ที่ได้ศึกษากระบวนการสกัดน้ำมันจากกากถั่วเหลืองด้วยวิธีการสกัดด้วยตัวทำละลายที่มีกระบวนการให้ความร้อน จากผลของตัวทำละลาย 2 ชนิดที่แตกต่างกัน โดยกำหนดอุณหภูมิในการสกัดเท่ากับ 55°C และระยะเวลาในการสกัดเท่ากับ 8 ชั่วโมง พบว่า ตัวทำละลายชนิด เอทานอล 90% ผสมกับไบโอดีเซล 10% (v/v) ส่งผลให้ผลผลิตของน้ำมันจากกากถั่วเหลืองมีปริมาณสูงสุด เท่ากับ 24 g oil/100g soybean เมื่อเทียบกับตัวทำละลายชนิดเอทานอลเพียงชนิดเดียว เนื่องจากตัวทำละลายเอทานอลมีลักษณะคุณสมบัติใกล้เคียงกับ ไบโอดีเซล มีโมเลกุลความมีขั้วต่ำและโครงสร้างโมเลกุลของ ตัวทำละลายทั้ง 2 ชนิดมีความแข็งแรงสูง และน้ำมันจากกากถั่วเหลืองมีโมเลกุลที่มีขั้วต่ำเช่นเดียวกันจึงส่งผลให้โมเลกุลของตัวทำละลายสามารถเข้าไปจับกับโมเลกุลของน้ำมันและละลายออกมาอย่างมีประสิทธิภาพ ภาพสูงสุดจากการทำงานร่วมกันของตัวทำละลายทั้งสองชนิด (Kwiatkowski and Cheryan, 2002) แม้ว่าตัวทำละลายเอทานอลมีความสามารถในการละลายน้ำมันจากกากถั่วเหลืองเช่นเดียวกัน แต่การใช้ตัวทำละลายอื่นร่วมด้วย เช่น สารผสมระหว่าง เอทานอล และไบโอดีเซล ในการสกัด ได้ส่งผลดีต่อผลผลิตของน้ำมันที่ออกมาได้ในปริมาณสูง (Kwiatkowski and Cheryan, 2002)

Attard et al. (2017) ได้ทำการสกัดน้ำมันดิบจากกากป่าน โดยใช้กระบวนการสกัดด้วยชุดซอกท์เลต ใช้ตัวทำละลายเฮปเทน ปริมาณ 200 ml ทำการสกัด ที่อุณหภูมิต่ำสุด 35°C และสูงสุด 65°C เป็นระยะเวลา 4 ชั่วโมง พบว่า การใช้ตัวทำละลายเฮปเทน ในการสกัดทำให้ได้น้ำมันจากกากป่านในปริมาณสูง (4.5% (w/w)) เนื่องจากตัวทำละลายเฮปเทนมีสมบัติเป็นตัวทำละลายที่มีโมเลกุลไม่มีขั้วจึงสามารถเข้าไปจับกับโมเลกุลของน้ำมันภายในกากป่านที่ไม่มีขั้วเช่นเดียวกัน และละลายออกมาได้ในปริมาณสูง (Marques et al., 2014) Patil et al. (2017) ศึกษาการสกัดน้ำมันชีวภาพจากสาหร่ายด้วยการสกัดแบบคาร์บอนไดออกไซด์ภายใต้สภาวะวิกฤตยิ่งยวดยิ่ง ตัวทำละลายก๊าซ CO₂ ใช้อุณหภูมิ 40–80°C และความดัน 200–370 bars แสดงให้เห็นว่า การใช้ก๊าซ CO₂ ในการสกัดช่วยให้ได้ปริมาณของน้ำมันจากสาหร่ายในปริมาณ ที่สูง (20–33% (w/w)) เนื่องจากก๊าซ CO₂ มีคุณสมบัติโมเลกุลเป็นพวกไม่มีขั้วจึงสามารถแทรกตัวด้วยความดันสูงผ่านโครงสร้างของสาหร่ายที่เกิดการอ่อนตัวจากความร้อนเข้าไปจับกับโมเลกุลของน้ำมัน ส่งผลให้ปริมาณที่ละลายออกมาได้ในปริมาณสูง (Dejoye et al., 2011)

2.7.3 ระยะเวลา กระบวนการสกัดมีการกำหนดระยะเวลาในการสกัดที่เหมาะสม สำหรับการทำงานของตัวทำละลาย และการสกัดออกมาให้ได้ในปริมาณสูงสุด ระยะเวลาในการสกัดมีส่วนในการ

นอกจากนี้ มีรายงานของ Zhao and Zhang (2014) ได้ทำการศึกษาระบบการสกัดน้ำมันยูคาลิปตัสด้วยคาร์บอนไดออกไซด์ภายใต้สภาวะวิกฤตยิ่งยวดยิ่ง เปรียบเทียบระยะเวลาในการสกัดต่างๆ คือ 30 60 90 120 และ 150 นาที โดยกำหนดอุณหภูมิในการสกัด เท่ากับ 60°C พบว่า ระยะเวลาในการสกัดมีผลต่อการเพิ่มขึ้นของผลผลิตของน้ำมันสูงขึ้นอย่าง มีนัยสำคัญ เนื่องจาก ระยะเวลาที่มีความจำเป็นสำหรับที่ส่งผลให้ก๊าซ CO₂ แทรกซึมเข้าสู่โครงสร้างของตัวอย่างใบยูคาลิปตัส เพื่อช่วยให้ก๊าซ CO₂ กระจายเข้าไปในโครงสร้างตัวอย่างและจับกับโมเลกุลของน้ำมันที่มีโมเลกุลไม่มีขั้ว ส่งผลให้สามารถละลายน้ำมันออกมาได้ แต่เมื่อระยะเวลาในการสกัดเพิ่มสูงขึ้น 120 และ 150 นาที ส่งผลให้ผลผลิตของน้ำมันจากยูคาลิปตัสลดลงเล็กน้อย เนื่องจากขนาดอนุภาคของตัวอย่าง มีขนาดเล็ก เมื่อสัมผัสกับตัวทำละลายเป็นเวลานานจึงส่งผลให้การถ่ายโอนระหว่างตัวทำละลายแทรกเข้าไป

ภายในของตัวอย่างได้ยากขึ้นทำให้อัตราการไหลของตัวทำละลายเข้าไปจับกับน้ำมันที่อยู่ภายใน โครงสร้างตัวอย่างได้ลดลง (Zhao and Zhang, 2013)

2.8 สรุปประเด็นสำคัญ

จากการตรวจเอกสารอ้างอิง พบว่า สารเคลือบผิวจากธรรมชาติ สามารถช่วยชะลอ การเปลี่ยนแปลงทางด้านสรีระวิทยาของผักและผลไม้ได้ เช่น ชะลออัตราการหายใจ การสูญเสีย น้ำหนัก การเปลี่ยนแปลงสี ลักษณะเนื้อสัมผัส และช่วยเพิ่ มความมั่นคงใจผู้บริโภค และสารเคลือบผิวบางชนิดช่วยยับยั้งการเจริญของเชื้อจุลินทรีย์ได้ เช่น ไคโตซาน สามารถ ช่วย คงมูลค่าทางการตลาดภายหลังเทคโนโลยีหลังการเก็บเกี่ยวของผักและผลไม้ได้ การนำสารเคลือบ ที่ได้จากธรรมชาติ มาใช้ประโยชน์จำเป็นต้องมีกระบวนการสกัดที่เหมาะสมในการสกัดสารเคลือบผิว มาใช้ประโยชน์ โดยปัจจัยที่ควรคำนึงถึงในการเพิ่มประสิทธิภาพการสกัดคือ อุณหภูมิ ชนิด และ ความเข้มข้นของตัวทำละลาย และระยะเวลาในการสกัดที่เหมาะสม ทั้งนี้สารเคลือบผิวที่นำมาใช้ ต้อง มีประสิทธิภาพที่ดี และปลอดภัยต่อผู้บริโภค ซึ่งภายหลังการได้สารเคลือบผิวแล้วต้องมีการศึกษา การสมบัติทางเคมีและกายภาพ พร้อมกับผลต่อคุณภาพหลังการเก็บเกี่ยวต่อไป

บทที่ 3

วิธีดำเนินการวิจัย

3.1 บทนำ

บทนี้นำเสนอวิธีการทดลองที่ใช้ในงานวิจัยประกอบด้วยการศึกษาสมบัติทางด้านเคมี หรือ กายภาพของไซสกัตจากใบกะหล่ำปลี การศึกษาความเข้มข้นที่เหมาะสมของ สารเคลือบผิวที่เตรียมจากไซสกัตจากใบกะหล่ำปลี การศึกษาสมบัติบางประการของฟิล์มที่ขึ้นรูปจากสารเคลือบผิว และการทดสอบประสิทธิภาพสารเคลือบผิวจากไซสกัตจากใบกะหล่ำปลีในการเก็บรักษาของสารเคลือบผิว พริกหวาน รายละเอียดของวิธีการทดลองได้นำเสนอตามหัวข้อต่อไปนี้

3.2 วัตถุดิบ

3.2.1 กะหล่ำปลีสด ซื้อจากพุทธสถานราชธานีโอศก อำเภวารินชำราบ จังหวัดอุบลราชธานี (เป็นการปลูกพืชแบบอินทรีย์ เพื่อลดปริมาณสารเคมีตกค้างบนเปลือกกะหล่ำปลี) และจากตลาดวารินเจริญศรี อำเภวารินชำราบ จังหวัดอุบลราชธานี (กะหล่ำปลีทั่วไปเพื่อนำมาสกัดในการพัฒนาเป็นสารเคลือบผิวต้นแบบ¹)

3.2.2 พริกหวาน (*Capsicum annuum* L. var. *longum*) มะนาว (*Citrus aurantifolia* (Christm.) Swingle) และกระเจี๊ยบเขียว (*Abelmoschus esculentus*) ผลิตผลเหล่านี้ซื้อจากผู้แทนจำหน่าย โดยผ่านบริษัท แม็คโคร จำกัด อำเภวารินชำราบ จังหวัดอุบลราชธานี

3.3 อุปกรณ์ และเครื่องมือ

3.3.1 เครื่องวิเคราะห์เนื้อสัมผัส (Texture analyzer) Lloyd instruments รุ่น LR 5K Intro Enterp., Powerwave Technologies Co., Ltd., U.S.

3.3.2 เครื่องแก๊สโครมาโตกราฟ (Gas chromatography: GC) GC 2014 Shimadzu Gas chromatograph, Bara scientific Co., Ltd., China.

¹ ในการเริ่มต้นการศึกษานี้ ได้ติดต่อและกำหนดการซื้อขายกะหล่ำปลีอินทรีย์จากพุทธสถานฯ อย่างไรก็ตามพุทธสถานฯ ไม่สามารถส่งและจำหน่ายกะหล่ำปลีอินทรีย์ให้ได้อีกต่อไป ผู้วิจัยจึงได้ทดลองใช้ใบกะหล่ำปลีที่จัดจำหน่ายในตลาดเจริญศรีซึ่งเป็นตลาดขายส่งผักและผลไม้ที่สำคัญ มาทำการสกัดไซ และพบว่าให้ผลที่ไม่ต่างกัน (ไม่แสดงข้อมูล) อย่างไรก็ตามงานวิจัยนี้ไม่ได้มีจุดประสงค์ในการกำจัดสารเคมีที่อาจตกค้างในใบกะหล่ำปลีจำหน่ายทั่วไป ดังนั้นผู้วิจัยจึงได้ใช้ใบกะหล่ำปลีจากทั้งสองแหล่งจำหน่ายในการศึกษา

3.3.3 เครื่องวัดสี (Hunter lab) Color flex, Color global Co., Ltd., U.S.

3.3.4 เครื่อง Differential Scanning Calorimeter (DSC) รุ่น DFA100, Perkin Elmer Thailand CO., Ltd., Thailand.

3.3.5 ตู้อบลมร้อน (Hot air oven) รุ่น F240, Jiangsu Xianfeng drying engineering Co., Ltd. China.

3.3.6 เครื่องวิเคราะห์ความหนืด (Viscometer) Newport model RVA-4, Sang Chai meter Co., Ltd., Thailand.

3.3.7 เครื่องวัดค่าความเป็นกรด-ด่าง (pH meter) Cyberscan, Eutech instruments Co., Ltd., Malaysia.

3.3.8 เครื่องวัดแก๊ส (Packaging atmosphere analysis) รุ่น MAP test 3050, Hitech instruments Luton Co., Ltd., England.

3.3.9 เครื่องรีแฟรกโตมิเตอร์ (Refractometer) Hand-Held refractometer instruction manual atago Co., Ltd., Japan.

3.3.10 กล้องถ่ายภาพดิจิทัล Fuji film รุ่น X-a3, Fujifilm Co., Ltd., Japan.

3.2.11 เวอร์เนียคาลิเปอร์ ดิจิตอล (Vernier caliper digital) รุ่น TT 13, Inter site (Thailand) CO., Ltd., Thailand.

3.3.12 เครื่องชั่งน้ำหนัก 3 ตำแหน่ง Denver instrument gmbh Robert-bosch-breite 10 Co., Ltd., Germany.

3.4 สารเคมี

3.4.1 เอทานอล (Ethanol) Analyzed A.C.S. reagent, J.T. Baker., Europe.

3.4.2 ฟีนอล์ฟทาลีน (Phenolphthalein) Indicator solution, Gammaco (Thailand) Co., Ltd., Thailand.

3.4.3 โซเดียมไฮดรอกไซด์ (Sodium hydroxide: NaOH) Analyzed UNIVAR reagent, Weifang tenor chemical Co., Ltd., China.

3.4.4 โพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ (Potassium hydroxide: KOH) Analyzed UNIVAR reagent, Chemipan corporation Co., Ltd., China.

3.4.5 เฮกเซน (n-Hexane) Analyzed A.C.S. reagent, J.T. Baker, Europe.

3.4.6 แก๊สฮีเลียม (Helium) บริษัท ลินด์ (ประเทศไทย) จำกัด (มหาชน), ไทย.

3.4.7 แก๊สไนโตรเจน (Nitrogen), ห้างหุ้นส่วนจำกัด แสนสุข อ็อกซิเจน, ไทย.

3.4.8 ไอโอดีน (Iodine) Gammaco (Thailand) Co., Ltd., Thailand.

3.4.9 โซเดียมเมตาไบซัลไฟท์ (Sodium metabisulfite) Analyzed UNIVAR reagent, Gammaco (Thailand) Co., Ltd., Thailand.

3.4.10 ไอโอดีนโมโนคลอไรด์ (Iodine mono-chloride) Panreac Co., Ltd., Barcelona.

3.4.11 คลอโรฟอร์ม (Chloroform) VWR We enable science Co., Ltd., England.

3.4.12 โพแทสเซียมไอโอไดด์ (Potassium iodide) Analyzed UNIVAR reagent, J.T Baker, U.S.A.

3.4.13 โซเดียม ไทโอซัลเฟต (Sodium thiosulfate) Anhydrous grad AR., Ajax Co., Ltd., Australia.

3.4.14 เมทานอล (Methanol) Analyzed A.C.S. reagent, J.T. Baker, Europe.

3.4.15 กรดไฮโดรคลอริก (Hydrochloric acid) Analyzed A.C.S. reagent, J.T. Baker, Europe.

3.5 วิธีดำเนินการ

3.5.1 การสกัดไขมันจากใบกะหล่ำปลี

กะหล่ำปลีซึ่งเป็นวัตถุดิบหลักสำหรับการสกัดไขมัน ได้ขนส่งจากแหล่งผลิตหรือจัดจำหน่ายมายังห้องปฏิบัติการหลังการเก็บเกี่ยว คณะเกษตรศาสตร์ มหาวิทยาลัยอุบลราชธานี ใบกะหล่ำปลีที่นำมาใช้ในการสกัดไขมันนั้น ได้ใช้ใบด้านนอกที่มี รอยหัก รอยแตก การเจาะของแมลง และใบที่เหี่ยว เป็นการจำลองใบกะหล่ำปลีคัดทิ้งที่ได้ดำเนินการโดยผู้ประกอบการทั่วไป ผู้วิจัยได้ดำเนินการศึกษาเบื้องต้นใน การสกัดไขมันจากใบกะหล่ำปลี โดยประยุกต์วิธีหลายวิธีที่มีการรายงานในเอกสารอ้างอิงที่เกี่ยวข้อง รายละเอียดขอ การศึกษาทั้งวิธีการ ข้อดี ข้อจำกัดของวิธีการต่าง ๆ ได้รวบรวมและนำเสนอในภาคผนวก ก. 1 จากผลการศึกษาผู้วิจัยพบว่าวิธีที่ ประยุกต์กระบวนการสกัดไขมัน ซึ่งรายงานโดย Bohinc et al. (2014) เป็นวิธีที่ให้ปริมาณไขมัน (Wax extraction yield) ที่มากกว่าวิธีอื่น ๆ² วิธีการสกัดด้วยวิธีดังกล่าวสามารถสรุปได้ดังต่อไปนี้

นำใบกะหล่ำปลีสดมาตัดให้มีขนาด 1 x 3 cm และใช้ตัวอย่างน้ำหนัก 150 g ใส่ลงในขวดโหลแก้วขนาด 2 L ภายในบรรจุตัวทำละลายไดคลอโรมีเทน (Dichloromethane) (ความเข้มข้น 100% basis w/v) ปริมาตร 300 ml ปิดฝาให้สนิท แช่เป็นระยะ เวลา 15 ชั่วโมง ที่อุณหภูมิห้อง (ประมาณ 35°C) จากนั้นแยกสารสกัดออกจากเศษใบกะหล่ำปลีด้วยการกรอง และนำสารสกัดไประเหยตัวทำละลายออกจากไขมันสกัดด้วยก๊าซไนโตรเจน (Nitrogen gas flow) อัตราการไหล 5 ml min⁻¹ โดยแช่ขวดในอ่างน้ำร้อนที่ควบคุมอุณหภูมิ 50°C จนตัวทำละลายระเหยออกหมด โดยไขมันสกัดรวมทั้งหมดที่ได้ เท่ากับ 0.041 g cm⁻² สภาวะดังกล่าวทำให้ไขมันสกัดที่ได้มีลักษณะแห้ง และสามารถนำมาใช้งานเป็นสารเคลือบผิวได้โดยการละลายในตัวทำละลายต่อไป ไขมันที่สกัดออกมาได้นำไปศึกษาสมบัติทางกายภาพและเคมี ด้วยวิธีการต่าง ๆ ดังต่อไปนี้

3.5.1.1 จุดหลอมเหลว (Melting point; M.P.) โดยวิธีของ AOCS (1997)); อ้างอิงจาก ปัทมา น้ำทองคำ (2552) (รายละเอียดแสดงภาคผนวก ก. 2)

3.5.1.2 ค่าไอโอดีน (Iodine value; I.V.) โดยวิธีของ AOAC (1995); อ้างอิงจาก อนรรฆอร ศรีไสยเพชร และมานิชย์ ฌนอมวัฒน์ (2555) (รายละเอียดแสดงภาคผนวก ก. 3)

² การทดลองนี้มีจุดประสงค์เพื่อการศึกษาไขมันที่สกัดจากใบกะหล่ำปลี โดยทำการสกัดด้วยวิธีที่สามารถดำเนินการได้ตามเครื่องมือและอุปกรณ์ในห้องปฏิบัติการ คณะเกษตรศาสตร์ ทั้งนี้ยังมีวิธีสกัดอื่นๆ เช่น CO₂ extraction ที่อาจให้ปริมาณไขมันสกัดสูงกว่าวิธีการในปัจจุบัน แต่การวิจัยนี้ไม่ได้มีจุดประสงค์ครอบคลุมถึงการสกัดในเชิงลึกเพื่อหาสภาวะที่เหมาะสม (Optimisation) ซึ่งจะเป็นวิธีการที่ศึกษาเพิ่มเติมในอนาคตต่อไป

3.5.1.3 ค่าความเป็นกรด (Acid value; A.V.) โดยวิธีของ AOCS (1997); อ้างอิงจาก ปัทมา น้ำทองคำ (2552) (รายละเอียดแสดงภาคผนวก ก. 4)

3.5.1.4 ค่าซาโปนิฟิเคชัน (Saponification number; S.N.) โดยวิธีการ AOAC (1995); อ้างอิงจาก อนรรฆอร ศรีไสยเพชร และมาโนชย์ ถนอมวัฒน์ (2555) (รายละเอียดแสดงภาคผนวก ก. 5)

3.5.1.5 การทดสอบประสิทธิภาพของไฮสกัตจากใบกะหล่ำปลีคัดทิ้งในการเคลือบผิวหน้า มะนาว และกระเจี๊ยบเขียวสด

จากการศึกษาสมบัติของไฮสกัตจากใบกะหล่ำปลีผู้วิจัยได้ทำการทดสอบคุณภาพในเบื้องต้นของไฮสกัตจากใบกะหล่ำปลี โดยนำไฮสกัต ผสมกับ ตัวทำละลาย เอทานอล³ (99%) อัตราส่วน 0.5:5 (w/v) จากนั้นทำการเคลือบผิว ด้วยการนำแปรงจุ่มสารเคลือบแล้วทาลงบนผิวหน้าของมะนาว และกระเจี๊ยบเขียว สดจนทั่ว และทำให้สารเคลือบบนผิวหน้า ของผลิตภัณฑ์แห้งด้วยการนำพัดลมมาเป่า เป็นเวลา 3 ชั่วโมง จากนั้นเก็บรักษามะนาวทุกการทดลองที่อุณหภูมิ 25°C แล้วนำไปศึกษาอัตราการหายใจ (Respiration rates) และสมบัติการยอมให้น้ำซึมผ่าน (Effective water vapour permeance) เปรียบเทียบกับมะนาวที่ผ่านการเคลือบด้วยโคโตซาน และมะนาวที่ไม่ผ่านการเคลือบผิวหน้า (ชุดควบคุม) (Control) ส่วนกระเจี๊ยบเขียวทำการเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 10 25 และ 35°C เป็นระยะเวลา 12 ชั่วโมง แล้วศึกษาผลของการซึมผ่านผิวหน้าของไอน้ำ อัตราการหายใจ และผลของการซึมผ่านผิวหน้าของก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ (Effective skin permeance to CO₂) เปรียบเทียบกับกระเจี๊ยบเขียวชุดควบคุม รายละเอียดการทดลองที่กล่าวมาข้างต้นนำเสนอในภาคผนวก ก. 5 และ 6 การศึกษาดังกล่าวนี้นี้เป็นแนวทางเบื้องต้นในการนำสารเคลือบผิวที่พัฒนาขึ้นในหัวข้อที่ 3.5.2 มาทดสอบประสิทธิภาพในลำดับต่อไป

3.5.2 การศึกษาความเข้มข้นที่เหมาะสมของ สารเคลือบผิวที่เตรียม จากไฮสกัตจากใบกะหล่ำปลี

นำไฮสกัตที่ได้จากใบกะหล่ำปลี ตามวิธีที่นำเสนอในหัวข้อ 3.5.1 มาทำการ ละลายในตัวทำละลาย (Solvent) ชนิด ไตรเอทานอลามีน (Triethanolamine) ซึ่งได้รับความนิยมใช้เป็น สารละลายอิมัลซิไฟเออร์ (Emulsifier) ในสารเคลือบผิวผักและผลไม้โดยทั่วไป เช่น สารเคลือบผิวคาร์บอเนตซิลเมทิลเซลลูโลส ไฮดรอกซิล โพรพิลเมทิลเซลลูโลส เซลแลค แวกซ์ คาร์นูบา แวกซ์ และโคโตซาน (Togrul and Arslan, 2004; Osorio et al., 2011; Chitravathi et al., 2014; Suseno et al., 2014) ทั้งนี้ข้อกำหนดมาตรฐานการใช้สารละลายไตรเอทานอลามีนในผลิตภัณฑ์สารเคลือบผิวไม่ควรเกินร้อยละ 5 (v/v) (กระทรวงอุตสาหกรรม, 2556) งานวิจัยครั้งนี้ได้ใช้ไตรเอทานอลเอมีนในสารละลายไฮสกัตจากใบกะหล่ำปลี คิดเป็น 5% (v/v) ของปริมาตรของสารละลายทั้งหมด 100 ml สัดส่วนดังกล่าวได้รับในเบื้องต้นเพื่อหาปริมาณที่เหมาะสม ดังรายละเอียดนำเสนอในภาคผนวก ข. 1

การศึกษา ความเข้มข้นของสารเคลือบผิวจาก ไฮสกัตจากใบกะหล่ำปลีที่เหมาะสม ได้ศึกษาจำนวน 5 ระดับ คือ 10 20 30 40 และ 50 % (w/v) โดย ทำการผสม ส่วนประกอบของสารละลาย อิมัลชันด้วยเครื่องโฮโมจิไนส์ที่ระดับความเร็วสูงสุดนาน 1 นาที ทั้งไว้ที่อุณหภูมิห้อง

³ จากการศึกษาเบื้องต้นพบว่าการใช้เอทานอลเพียงอย่างเดียว ไม่ส่งผลต่อการเปลี่ยนแปลงคุณภาพหลังการเก็บเกี่ยวอย่างมีนัยสำคัญ ผลการศึกษานี้ได้ทำการศึกษาไว้ในผลงานตีพิมพ์ ที่แสดงในภาคผนวก ก 6 ดังนั้นผลของการเคลือบผิวต่อการเปลี่ยนแปลงคุณภาพจึงเกิดจากไฮสกัตที่ได้จากใบกะหล่ำปลี

(30°C) นาน 1 คืน ตามวิธีที่นำเสนอในงานวิจัยของ ไสโรดา กนกพานนท์ และคณะ (2555) (ทั้งนี้ผู้วิจัยได้เริ่มต้นระดับความเข้มข้นไซสเกดที่ต่ำสุด คือ 10% (w/v) เนื่องจากผู้วิจัยได้ ทดสอบความเข้มข้นไซสเกดเบื้องต้นระดับต่ำสุด คือ 1 2 และ 5% (w/v) ซึ่งระดับความเข้มข้นดังกล่าว มีผลต่อการขึ้นรูปฟิล์มสารเคลือบผิวที่นำไปศึกษาในหัวข้อ 3.5.3 ส่งผลให้การพอร์มตัวเป็นฟิล์มไม่ดี มีความเปราะ แตกหักง่าย และไม่คงรูป จึงทำให้ผู้วิจัยต้องเพิ่มระดับความเข้มข้นให้สูงขึ้น) และศึกษาสมบัติด้านต่าง ๆ ของสารละลายดังต่อไปนี้

3.5.2.1 ลักษณะภายนอก โดยบันทึกข้อมูลลักษณะภายนอกของสารละลาย (ถ่ายรูปรด้วยกล้องดิจิทัล) และสังเกตการแยกชั้นของสารเคลือบผิวแต่ละสูตร (รายละเอียดแสดงภาคผนวก ข. 2)

3.5.2.2 ความหนืด ทำการวัดความหนืดของสารละลายด้วยเครื่องวัดความหนืดของเหลว (Viscometer) (รายละเอียดแสดงภาคผนวก ข. 3)

3.5.2.3 ค่า pH ของสารละลาย ด้วยเครื่องวัด pH (pH meter) (รายละเอียดแสดงภาคผนวก ข. 4)

3.5.2.4 ระดับเปอร์เซ็นต์น้ำหนักของแข็งที่อยู่ในสารเคลือบผิว (Insoluble solid) โดยทำการอบตัวอย่างด้วยตู้อบลมร้อนใช้อุณหภูมิประมาณ 50°C เป็นเวลา 6 ชั่วโมง และชั่งน้ำหนักทุก ๆ 2 ชั่วโมง จนได้น้ำหนักคงที่ (รายละเอียดแสดงภาคผนวก ข. 5)

3.5.3 การศึกษาสมบัติบางประการของฟิล์มที่ขึ้นรูปจากสารเคลือบผิว

ในการศึกษานี้ได้วางแผนประยุกต์การดำเนินการศึกษาสมบัติของฟิล์ม ที่ขึ้นรูปจากสารเคลือบผิวที่รายงานโดย ไสโรดา กนกพานนท์ และคณะ (2555) และเอกสารอ้างอิงอื่นที่เกี่ยวข้อง โดยนำสารเคลือบผิวสูตรต่างๆที่ พัฒนาในข้อ 3.5.2 มาขึ้นรูปให้ฟิล์มมีความหนาประมาณ 500 μm ด้วยวิธีการ Casting ประยุกต์วิธีการจาก ยุทธนา นามวงษา และคณะ (2559) นำสารละลายอิมัลชันที่เตรียมจากข้อ 3.5.2 ชั่งน้ำหนักสารละลายน้ำหนักเท่ากับ 40 g เทลงบนแผ่นฟิล์ม LDPE ที่มีขนาดเท่ากับ 15×15 cm ที่วางบนถาดทองเหลือง จากนั้นนำ เข้าไปทำแห้งด้วยตู้อบลมร้อน ที่ อุณหภูมิ 45°C เป็นเวลา 8 ชั่วโมง จากนั้นลอกแผ่นฟิล์มออกจากแผ่นฟิล์มและถาดทองเหลือง ทิ้งให้เย็นแล้วใส่ในถุงซิปล็อก และเก็บในโถดูดความชื้น แล้วนำมาทำการการศึกษาสมบัติบางประการดังนี้

3.5.3.1 ความหนาของฟิล์ม ด้วยเวอร์เนียคาร์ลิปเปอร์ อย่างน้อย 6 จุด (รายละเอียดแสดงภาคผนวก ค. 1)

3.5.3.2 การดูดซับน้ำ ทำการแช่ฟิล์ม สารเคลือบผิว ในน้ำอุณหภูมิ 25°C ทำการชั่งน้ำหนักทุก ๆ 6 ชั่วโมง จนน้ำหนักคงที่และวัดน้ำหนักที่เพิ่มขึ้นเปรียบเทียบกับน้ำหนักเริ่มต้นของฟิล์มแห้ง (รายละเอียดแสดงภาคผนวก ค. 2)

3.5.3.3 สีของฟิล์ม วัดโดยระบบ Colour space CIE L^* a^* และ b^* โดยใช้เครื่อง Hunter Lab ที่อาคารปฏิบัติการเทคโนโลยีการอาหาร คณะเกษตรศาสตร์ มหาวิทยาลัยอุบลราชธานี (รายละเอียดแสดงภาคผนวก ค. 3)

3.5.3.4 สมบัติทางความร้อน (Thermal properties) ทำการวิเคราะห์ค่าอุณหภูมิในการหลอมเหลว (Melting temperature: T_m) ด้วยเครื่อง Differential Scanning Calorimeter (DSC) เพื่อทำการศึกษาพฤติกรรมในการเปลี่ยนแปลงสถานะของพอลิเมอร์ในโครงสร้างของฟิล์ม

ทั้งนี้การใช้เครื่อง DSC ได้ใช้เครื่องที่อาคารปฏิบัติการเทคโนโลยีการอาหาร คณะเกษตรศาสตร์ มหาวิทยาลัยอุบลราชธานี โดยวิธีการ Madeni et al. (2011) (รายละเอียดแสดงภาคผนวก ค. 4)

3.5.3.5 สมบัติเชิงกล (Mechanical properties) ประกอบด้วย ความทนแรงดึง (Tensile strength) และการยืดตัว (Elongation) โดยใช้เครื่อง Texture analyzer (LLODY model, LR series, USA) ตามวิธี ASTM D882-01 และ Madeni et al. (2011) (รายละเอียดแสดงภาคผนวก ค. 5)

3.5.3.6 อัตราการซึมผ่านฟิล์มของไอน้ำ (Water vapour transmission rate; WVTR) ทดสอบ ปริมาณน้ำหนักของไอน้ำที่สามารถซึมผ่านฟิล์มได้ในช่วงเว ลาต่างๆ ตามมาตรฐาน ASTM E96-95 (รายละเอียดแสดงภาคผนวก ค. 7)

3.5.3.7 อัตราการซึมผ่านฟิล์มของก๊าซออกซิเจน (Oxygen transmission rate; OTR) ประยุกต์วิธีจากรายงานโดย De jong (2014); อ้างอิงจาก นิตยา ภูงาม (2556) โดยใช้เครื่อง Illinois instruments รุ่น 8000 (23°C RH 0% ตาม ASTM D3985) (รายละเอียดแสดงภาคผนวก ค. 8) ทั้งนี้การใช้เครื่อง Illinois instruments ได้ใช้ที่ห้องปฏิบัติการพลาสติกเทคโนโลยี ศูนย์เทคโนโลยี โลหะและวัสดุแห่งชาติ (MTEC)

3.5.4 การทดสอบประสิทธิภาพสารเคลือบผิวจากไข สกัดใบกะหล่ำปลีในการเก็บรักษาของ สารเคลือบผิวพริกหวาน

ในการทดลองส่วนนี้ทำการทดสอบประสิทธิภาพของสารเคลือบผิวที่ได้ทำการคัดเลือกจาก สารเคลือบผิวที่ศึกษาในข้อ 3.5.3 โดยทำการทดสอบกับ พริกหวาน สด เนื่องจาก พริกหวาน สดเป็น ผลผลิตที่สามารถหาได้ตลอดปี และมีมูลค่าทางการตลาดสูง แต่มีแนวโน้มการสูญเสีย น้ำหนักได้ง่าย และอาจส่งผลกระทบต่อคุณภาพหลังการเก็บเกี่ยวและศักยภาพทางการตลาด รายละเอียด การดำเนินการศึกษา สามารถสรุปได้ดังต่อไปนี้

3.5.4.1 การเตรียมตัวอย่าง ทำการคัดเลือก พริกหวานให้มีระดับของความแก่ที่เหมาะสม โดยใช้เทคนิคของ การแช่น้ำและน้ำเกลือ จากนั้นนำมาทำการฆ่าเชื้อในเบื่องตันด้วยการแช่ ลงใน สารละลายเมตาไบซัลไฟท์ ความเข้มข้น 100 ppm เป็นเวลา 1 นาที จากนั้นนำมาเป่าพัดลมให้แห้งสนิทและเก็บรักษาไว้ที่อุณหภูมิ 25°C (ห้องควบคุมอุณหภูมิ ซึ่งจะใช้เป็นห้องเตรียมตัวอย่าง)

3.5.4.2 การเคลือบผิว เคลือบผิว พริกหวานด้วยสารเคลือบผิวที่พัฒนาขึ้น สารเคลือบผิว บรรจุใน ปีกเกอร์แก้วแล้วจุ่มด้วยแปรงที่มีขนนุ่มทาลงบนผิวหน้าของพริกหวาน สดจนทั่ว โดยใช้ สารละลายอิมัลชันสารเคลือบผิว ปริมาณ 1.5 ml จากนั้นเป่าให้สารเคลือบผิวแห้งด้วยลมเย็น แล้ว นำไปเก็บรักษาที่ อุณหภูมิ 10°C ความชื้นสัมพัทธ์ 90-95% เป็นเวลา 21 วัน เพื่อจำลองสภาวะ การเก็บรักษาในห่วงโซ่ความเย็น ทั้งนี้ผลพริกหวานสดที่ไม่ได้มีการเคลือบผิวจัดเป็นสิ่งทดลองควบคุม (Control) ในอุณหภูมิของการเก็บรักษา

3.5.4.3 การประเมินคุณภาพ ดำเนินการดังต่อไปนี้

1) คุณภาพทางกายภาพ ประกอบด้วย (ไศรดา กนกพานนท์ และคณะ, 2555)

1.1) ลักษณะปรากฏภายนอก ทำการเปรียบเทียบกับภาพถ่ายรูปโดยใช้ กล้องดิจิทัล และการเกิดโรคที่สามารถมองเห็นได้ด้วยตาเปล่า

1.2) ค่าสี ของผิวเปลือกและเนื้อวัดโดยระบบ Colour space CIE L^* a^* และ b^* และ L^* C และ h° โดยใช้เครื่อง Hunter Lab (รายละเอียดแสดงภาคผนวก ง. 1)

1.3) การสูญเสียน้ำหนัก โดยทำการเปรียบเทียบน้ำหนักเริ่มต้น และน้ำหนักของผลิตภัณฑ์หลังจากการเก็บรักษาในวันที่ประเมินคุณภาพ โดยรายงานเป็นร้อยละการสูญเสียน้ำหนัก (รายละเอียดแสดงภาคผนวก ง. 2)

1.3) ความแน่นเนื้อ ทำการวัดโดยใช้เครื่องโดยใช้ Texture analyser (LLOYD model, LR series, USA) ใช้หัวทดสอบแบบ Cylinder มีเส้นผ่านศูนย์กลางเท่ากับ 2 mm ใช้แรงกด 500 N บันทึกผล โดยจะรายงานผลเป็นค่าแรงสูงสุด (Maximum load) หน่วยเป็นนิวตัน (N)

2) คุณภาพทางเคมี ประกอบด้วย (ไครดา กนกพานนท์ และคณะ , 2555; Utto et al., 2008; Utto, 2001; Bai et al., 2011)

2.1) ปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำได้ของเนื้อพริกหวานสด (Total soluble solid; TSS) ใช้เครื่องรีแฟรกโทมิเตอร์ และรายงานเป็นร้อยละ (%) (รายละเอียดแสดงภาคผนวก ง. 3)

2.2) เปอร์เซ็นต์กรดที่ไทเทรตได้ของเนื้อพริกหวาน (Titratable acidity; TA) รายงานเป็นร้อยละ (%) (รายละเอียดแสดงภาคผนวก ง. 4)

2.3) อัตราส่วนของปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำได้ ต่อ เปอร์เซ็นต์กรดที่ไทเทรตได้ของเนื้อพริกหวาน (TSS/TA) รายงานเป็นร้อยละ (%) (รายละเอียดแสดงภาคผนวก ง. 5)

2.4) อัตราการหายใจ โดยวัดความเข้มข้นของก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ ในระบบปิด โดยประยุกต์วิธีที่รายงานใน Utto et al. (2008) ทั้งนี้จะทำการวิเคราะห์ความเข้มข้นก๊าซ CO_2 ด้วยเครื่อง Packaging atmosphere analysis (รุ่น MAP test 3050, England) (รายละเอียดแสดงภาคผนวก ง. 6)

2.5) ความเข้มข้นของก๊าซออกซิเจนและก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ ภายในผลไม้ (Internal oxygen and carbon dioxide concentration) โดยประยุกต์วิธีที่รายงานใน Utto (2001) (รายละเอียดแสดงภาคผนวก ง. 7)

2.6) ความเข้มข้นของเอทานอลในเนื้อเยื่อ ทำการประยุกต์จากวิธีที่รายงานโดย Bai et al. (2011) ซึ่งทำการวิเคราะห์ความเข้มข้นโดยเครื่อง Gas chromatogram แบบ Flame ionized Detector (FID-GC) (รายละเอียดแสดงภาคผนวก ง. 8)

3.6 การวางแผนการทดลอง

3.6.1 การสกัดไขมันจากใบกะหล่ำปลี ดำเนินการวางแผนการทดลองแบบ

ดำเนินการวางแผนการทดลองแบบ Factorial in Completely Randomised Design (CRD) โดยทำการวิเคราะห์ผลของปัจจัยต่อคุณภาพการเก็บรักษา 3 ตัวแปรอิสระที่มีผลต่อ ปริมาณของไขมันสกัด คือ ชนิดของตัวทำละลาย อุณหภูมิ และระยะเวลาในการสกัด ด้วยการวิเคราะห์ Analysis of variance (ANOVA) ณ $p \leq 0.05$ และทำการเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยของแต่ละสิ่งทดลองโดยใช้ Duncan multiple's range test (DMRT) ทั้งนี้โปรแกรมสถิติที่ใช้ คือ Statistical package for the social sciences for windows (SPSS) version 16.0 ดำเนินการศึกษากำหนดจำนวน 3 ซ้ำ (Replicates)

3.6.2 การศึกษาความเข้มข้นที่เหมาะสมของไข่ซึ่งสกัดจากใบกะหล่ำปลีที่ใช้ในการเคลือบผิว และสมบัติบางประการของฟิล์มที่ขึ้นรูปจากสารเคลือบผิว

ดำเนินการวางแผนการทดลอง แบบ Completely Randomised Design (CRD) โดยทำการวิเคราะห์ค่าเฉลี่ยของแต่ละสิ่งทดลองโดย Analysis of variance (ANOVA) ณ $p \leq 0.05$ และทำการเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยของแต่ละสิ่งทดลอง โดยใช้ Duncan multiple's range test (DMRT) ทั้งนี้โปรแกรมสถิติที่ใช้ คือ Statistical package for the social sciences for windows (SPSS) version 16.0 ดำเนินการศึกษาจำนวน 3 ซ้ำ (Replicates)

3.6.3 การศึกษาการเปลี่ยนแปลงคุณภาพของพริกหวาน

ดำเนินการวางแผนการทดลองแบบ Factorial in CRD โดยทำการวิเคราะห์ผลของปัจจัยต่อคุณภาพการเก็บรักษา 2 ตัวแปรอิสระที่มีผลต่อคุณภาพของ พริกหวาน คือ ชนิดของสารเคลือบผิว (สารเคลือบจากไข่สกัด สารเคลือบผิวไคโตซาน และไม่มีสารเคลือบผิว) และระยะเวลาในการเก็บรักษา (วันที่ 1, 3, 5, 7, 10, 14 และ 21) ด้วยการวิเคราะห์ Analysis of variance (ANOVA) ณ $p \leq 0.05$ และทำการเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยของแต่ละสิ่งทดลองโดยใช้ Duncan multiple's range test ทั้งนี้โปรแกรมสถิติที่ใช้ คือ Statistical package for the social sciences for windows (SPSS) version 16.0 ดำเนินการศึกษาจำนวน 3 ซ้ำ (Replicates)

3.7 สรุปประเด็นที่สำคัญ

วิธีการสกัดสามารถสกัดไข่จากใบกะหล่ำปลีได้ในปริมาณเหมาะสมเพื่อนำไปพัฒนาเป็นสารละลายอิมัลชันสารเคลือบผิวแล้ว นำมาศึกษาสมบัติทางด้านเคมี-กายภาพได้ จากนั้นทำการขึ้นรูปเป็นฟิล์มและศึกษาสมบัติบางประการของฟิล์ม ในบทต่อไปจะเป็นการแสดงผลการทดสอบคุณภาพของสารเคลือบผิว ฟิล์มที่ขึ้นรูปจากสารเคลือบผิว และผลของสารเคลือบผิวต่อคุณภาพการเก็บรักษาของผลิตผลสด

บทที่ 4

การศึกษาวิธีการสกัดไขมันจากใบกะหล่ำปลี และการพัฒนาไขมันเพื่อเป็นสารเคลือบผิวสำหรับผักและผลไม้

4.1 บทนำ

ในบทนี้นำเสนอ ผลการศึกษาของ วิธีการสกัดไขมันจากใบกะหล่ำปลีด้วยวิธีการที่ต่างๆที่ได้พัฒนาจากวิธีที่ได้รายงานในเอกสารอ้างอิง ที่เกี่ยวข้อง ปัจจุบันยังไม่มีรายงานการสกัดไขมันจากใบกะหล่ำปลี เพื่อพัฒนาเป็นสารเคลือบผิวผักและผลไม้ แต่งานวิจัยส่วนใหญ่ได้ทำการสกัดไขมันเพื่อการศึกษาองค์ประกอบหรือสมบัติทางเคมี-กายภาพ ซึ่งปริมาณไขมันที่สกัดได้มักจะมีปริมาณที่น้อย การศึกษานี้จึงได้พัฒนาวิธีการสกัด ไขมันจากใบกะหล่ำปลีเพื่อให้ได้ไขมันหลังจากการสกัดในปริมาณที่ เพียงพอ กับ การวิเคราะห์สมบัติและพัฒนาเป็นสารละลายอิมัลชันสารเคลือบผิว พร้อมกับขึ้นรูปเป็นฟิล์มและ ทำการศึกษาสมบัติบางประการของฟิล์ม เพื่อเป็นข้อมูลสำหรับการนำไปพัฒนาเป็นสารเคลือบผิวและ นำไปทดสอบคุณภาพของสารเคลือบผิวในการยืดอายุการเก็บรักษาผักและผลไม้ภายหลังการเก็บเกี่ยวต่อไป

4.2 การคัดเลือกวิธีการสกัดไขมันจากใบกะหล่ำปลี

วิธีการสกัดไขมันจากธรรมชาติ เช่น การสกัดแบบจุ่มหรือแช่ และการสกัดแบบซอกซ์เลต (Soxhlet) เป็นวิธีการสกัดที่สำคัญและนิยมใช้ทั่วไปสำหรับ การสกัดตัวอย่างเพื่อการวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมี ได้ถูกนำมาประยุกต์ในการสกัดวัตถุดิบที่ได้จากธรรมชาติ เช่น น้ำมันรำข้าว ไขมันข้าว ไขมันงา และไขมันจากพืชชนิดอื่นที่ได้สกัดและนำเสนอในบทที่ 2 การศึกษานี้จึงได้นำวิธีการสกัดทั้งสองมาทำการทดลองเพื่อสกัดไขมันจากใบกะหล่ำปลี ผลการทดลองทั้งหมดได้แสดงไว้ในภาคผนวก ก.1 เนื้อหาโดยสรุปสามารถนำเสนอได้ดังต่อไปนี้

วิธีการสกัดแบบจุ่มหรือแช่ที่มีการใช้ตัวทำละลายอินทรีย์ประเภทต่าง ๆ ได้แก่ อีเทอร์ (Ether) เมทิลีนคลอไรด์ (Methylene chloride) คลอโรฟอร์ม (Chloroform) คาร์บอนเตตระคลอไรด์ (Carbon tetrachloride) เบนซีน (Benzene) ไดคลอโรมีเทน (Dichloromethane) และเฮกเซน (Hexane) ซึ่งเป็นวิธีที่ได้ประยุกต์จาก Xu et al. (2012) พบว่า ไขมันที่ได้ออกมาจากการสกัดดังกล่าวมีปริมาณน้อยมากหรือไม่พบไขมันสกัดขึ้นอยู่กับชนิดของตัวทำละลายที่ใช้ ในการสกัด ในขณะที่วิธีการสกัดแบบซอกซ์เลต ประยุกต์วิธีจาก Zhao and Zhang (2014) สามารถสกัดไขมันได้ในปริมาณที่สูงกว่าแต่ไขมันที่ได้อาจปนเปื้อนขององค์ประกอบอื่น ๆ ปนมาค่อนข้างมาก เช่น คลอโรฟิลล์

(Chlorophyll) และ เพกติน (Pectin) เนื่องจากวิธีการสกัดแบบชอกท์เลตเป็นการใช้ความร้อน และความดันเพื่อให้ตัวทำละลายแทรกเข้าไปในโครงสร้างของพืชและสกัดสารออกมา จึงส่งผลให้โครงสร้างของใบกะหล่ำปลีอ่อนตัวและทำให้ตัวทำละลายแทรกเข้าไปในโครงสร้างได้ง่ายมากยิ่งขึ้น (Patil and Ali, 2006) และมีการปนเปื้อนด้วยสารอื่น ๆ นอกเหนือจากไขมันของใบกะหล่ำปลีค่อนข้างมาก (ภาพที่ 4.1)

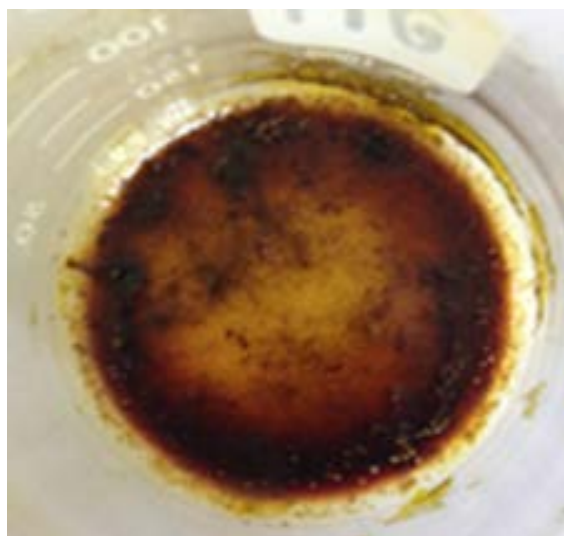


ภาพที่ 4.1 ตัวอย่างของไขมันสกัดจากใบกะหล่ำปลีด้วยวิธีชอกท์เลตและมีการปนเปื้อนของไขมันด้วยสารอื่น ๆ เช่น คลอโรฟิลล์ ที่ให้สีเขียวในใบกะหล่ำปลี

จากข้อมูลผลการสกัดของทั้งสองวิธี พบว่า การสกัดแบบจุ่มหรือแบบแช่น้ำจะมีความเหมาะสมกับการสกัดไขมันจากใบกะหล่ำปลีมากกว่าการสกัดแบบชอกท์เลต เนื่องจากการปนเปื้อนของไขมันที่สกัดออกมาได้ อย่างไรก็ตามปริมาณไขมันที่สกัดโดยวิธีการแบบจุ่มหรือแบบแช่น้ำนั้นยังคงมีปริมาณที่น้อย จึงต้องหาวิธีที่เหมาะสมสำหรับการสกัดไขมันด้วยวิธีดังกล่าว เมื่อทำการประยุกต์วิธีการสกัดไขมันจากใบกะหล่ำปลี ที่ได้รายงานโดย Bohinc et al. (2014) มาใช้สำหรับการสกัดไขมันจากใบกะหล่ำปลี พบว่าสามารถสกัดไขมันจากใบกะหล่ำปลีได้ในปริมาณพอสมควรและมากกว่าวิธีที่รายงานโดย Xu et al. (2012) รายละเอียดของวิธีการสกัดที่ประยุกต์จากวิธีของ Bohinc et al. (2014) เพื่อสกัดไขมันจากใบกะหล่ำปลีสามารถสรุปได้ดังต่อไปนี้

เตรียมใบกะหล่ำปลีสดขนาด 1 x 3 cm (กว้าง x ยาว) ให้ได้น้ำหนักสดเท่ากับ 150 g ใส่ลงในขวดโหลแก้วขนาด 2 L ภายในบรรจุตัวทำละลายไดคลอโรมีเทน (ความเข้มข้น 100% v/v) ปริมาตร 300 ml ปิดฝาให้สนิท แช่เป็นระยะเวลา 15 ชั่วโมง ที่อุณหภูมิห้อง (อุณหภูมิเฉลี่ย เท่ากับ 35°C) จากนั้นแยกสารสกัดออกจากเศษใบกะหล่ำปลีด้วยการกรอง โดยใช้กระดาษกรอง (Whatman No. 4) จนกว่าสารละลายแพร่ผ่านกระดาษกรองทั้งหมด นำสารสกัดที่แยกจากตัวทำละลายไประเหยตัวทำละลายออกจากไขมันด้วยก๊าซไนโตรเจน (Nitrogen gas) อัตราการเร็วของก๊าซไนโตรเจน เท่ากับ 5 ml min⁻¹ โดยสารสกัดแช่ในอ่างน้ำร้อนที่ควบคุมอุณหภูมิ 50°C จนตัวทำละลายระเหย

ออกหมด สภาวะดังกล่าวทำให้ไซสกัตที่ได้มีลักษณะสีน้ำตาล และชั้นเหนียวเล็กน้อย จากการสกัดไซสที่ได้ออกมาทั้งหมด เท่ากับ 0.040 g cm^{-2} โดยคิดเป็น 97.5% ของไซสที่อยู่บนผิวหน้าของใบกะหล่ำปลี (ภาพที่ 4.2) ทั้งนี้ปริมาณไซสทั้งหมดบนผิวใบกะหล่ำปลียังไม่มีรายงาน แต่ได้ทำการประมาณจากข้อมูลในเอกสารอ้างอิงของปริมาณไซสที่ผิวหน้าของ ใบกุหลาบป่า (*Rosa canina* leaves) ซึ่งมีขนาดของใบ เท่ากับ 17 cm^2 พบว่ามีไซสทั้งหมดอยู่บนใบกุหลาบป่า เท่ากับ 0.041 g cm^{-2} (Buschhaus, et al. 2007) หากตั้งสมมติฐานว่าใบกุหลาบป่าและใบกะหล่ำปลีมีไซสบนผิวหน้า ที่เท่ากัน ดังนั้นการสกัดไซสด้วยวิธีที่ศึกษานี้สามารถสกัดไซสออกมาจากผิวหน้าได้เกือบทั้งหมด ส่วนที่ ไม่สามารถสกัดได้อีกประมาณ 3% อาจสูญเสียไประหว่างการแยกสารละลายออกจากใบกะหล่ำปลี ดังนั้นจึงเป็นข้อสนับสนุนว่าวิธีการสกัดสามารถสกัดไซสจากผิวหน้าใบกะหล่ำได้อย่างมีประสิทธิภาพ ไซสที่สกัดออกมาจากใบกะหล่ำปลีนี้นั้นได้นำไปศึกษาสมบัติเคมี-กายภาพต่อไป



ภาพที่ 4.2 ตัวอย่างลักษณะของไซสที่สกัดด้วยวิธีที่มีการประยุกต์จากวิธีของ Bohinc et al. (2014)

ที่มา: Bohinc et al. (2014)

4.3 สมบัติทางเคมี-กายภาพของไซสสกัดจากใบกะหล่ำปลี

หัวข้อนี้เป็นการศึกษาเกี่ยวกับสมบัติทางเคมี หรือกายภาพของไซสสกัดจากใบกะหล่ำปลี ปัจจุบันยังไม่มีรายงานการสกัดไซสจากใบกะหล่ำปลีเพื่อมาทำเป็นสารเคลือบผิวผักและผลไม้ ดังนั้น ผลการศึกษาสมบัติทางเคมี หรือกายภาพของไซสสกัดจากใบกะหล่ำปลีจึงได้ทำการเปรียบเทียบและอภิปรายร่วมกับกับสารเคลือบผิวประเภทอื่น ๆ ที่มีการใช้งานใน เชิงพาณิชย์และ /หรือรายงานใน เอกสารอ้างอิงที่เกี่ยวข้อง ผลการศึกษาสามารถสรุปผลได้ดังต่อไปนี้

4.3.1 การเกิดกลิ่นหืนของไขมัน

4.3.1.1 ค่าไอโอดีน (Iodine value; I.V.)

เมื่อทำการวิเคราะห์ค่าไอโอดีนของไขมันจากใบกะหล่ำปลี พบว่า มีค่า I.V. เฉลี่ย เท่ากับ 2.67 g/fat 100 g ซึ่งมีค่าต่ำกว่าสารเคลือบผิวอื่น ๆ (ตารางที่ 4.1) แต่มีค่าใกล้เคียงกับไขมันจากคาร์บอกซิลเมทิลเซลลูโลส ที่มีค่าอยู่ในช่วง 0.1-2 g/fat 100 g (European Food Safety Authority, 2007) เนื่องจากภายในองค์ประกอบของไขมันจากใบกะหล่ำปลีมีทั้ง กรดไขมันชนิดไม่อิ่มตัว (เช่น กรดลอริก (Lauric acid) กรดไมริสติก (Myristic acid) และกรดปาล์มิติก (Palmitic acid)) และกรดไขมันชนิดอิ่มตัว (เช่น กรดปาล์มิโทอิก (Palmitoleic acid) กรดโอเลอิก (Oleic acid) และลิโนเลอิก (Linoleic acid) หากพิจารณาจากลักษณะของไขมันจากใบกะหล่ำปลี มีลักษณะเป็นของแข็งที่อุณหภูมิห้องแสดงให้เห็นว่ามีปริมาณของกรดไขมันชนิดไม่อิ่มตัวที่สูงกว่า กรดไขมันชนิดอิ่มตัวที่มีพันธะคู่ที่สารละลายไอโอดีนเข้าไปทำปฏิกิริยาได้น้อย จึงส่งผลให้ค่า I.V. ต่ำ (Njombolwana et al., 2013) Jetter et al. (2006) รายงานว่าโมเลกุลของกรดไขมันทั้ง 2 ประเภท ในไขมันที่สกัดจากใบกะหล่ำปลีได้รวมตัวอยู่ด้วยกันอย่างหนาแน่น ส่งผลให้สารละลายไอโอดีนเข้าไปทำปฏิกิริยากับพันธะคู่ของกรดไขมันชนิดไม่อิ่มตัวได้ยาก จึงอาจเป็นสาเหตุสำคัญที่ทำให้ค่า I.V. ของไขมันที่สกัดได้มีค่าที่ต่ำ Lasztity (1971) รายงานว่า ค่า I.V. ของไขมันที่กำหนดไว้ไม่ควรเกิน 2-50 g/fat 100 g หากค่า I.V. ของไขมันมีค่าสูงกว่าค่าดังกล่าว สามารถคาดคะเนได้ว่าไขมันนั้นมีแนวโน้มเกิดกลิ่นเหม็นหืนได้ง่าย รวดเร็ว (สุริยา พันธโกศล และ คณิต ฤกษ์นังกูร , 2558) สายสนม ประดิษฐ์ดวง และคณะ (2553) รายงานว่า ค่า I.V. ของไขมันบริสุทธิ์ที่มีค่าอยู่ในช่วง 5-9 g/fat 100 g โดยมีค่าต่ำกว่าค่า I.V. มาตรฐานดังแสดงข้างต้น ทั้งนี้อาจมีสาเหตุสำคัญจากภายในองค์ประกอบของไขมันที่มีปริมาณกรดไขมันชนิดไม่อิ่มตัว เช่น กรดปาล์มิโทอิก กรดโอเลอิก กรดลิโนเลอิก กรดลิโนเลนิก ในระดับที่ต่ำ (Salunkhe et al., 1992)

Baldwin et al. (1995) รายงานว่า สารเคลือบผิวคาร์บอนมีค่า I.V. อยู่ในช่วง 7-14 g/fat 100 g สอดคล้องกับธรรมชาติของไขมันที่สกัดจากเมล็ดพืชที่สกัดได้ช้า ในการศึกษาไขมันที่สกัดจากเมล็ดงา กมลวรรณ สุขสวัสดิ์ (2559) รายงานว่า ค่า I.V. ของไขมันมีค่าสูงและเท่ากับ 43.34 g/fat 100 g โดยน้ำมันที่สกัดจากเมล็ดงามีแนวโน้มเกิดกลิ่นเหม็นได้ง่าย และค่าดังกล่าวมีค่าใกล้เคียงกับค่า I.V. สูงสุดที่กำหนดไว้ของน้ำมันรำข้าว (50 g/fat 100 g) (Lasztity, 1971) ทั้งนี้ไขมันจากเมล็ดงามีองค์ประกอบของกรดไขมันชนิดโอเลอิก ลิโนเลอิก และแอลฟาไลโนเลอิก ที่เป็นกลุ่มกรดไขมันชนิดไม่อิ่มตัวอยู่ในปริมาณที่สูง (Knothe, 2002) ธิติสุตา ตระกูลหุทิพย์ (2559) รายงานว่า ค่า I.V. ของไขมันที่สกัดจากเมล็ดกระบกมีค่าอยู่ในช่วง 36.10-38.80 g/fat 100 g ไขมันจากเมล็ดกระบก¹ มีกรดไขมันชนิดไม่อิ่มตัว (กรดลิโนเลนิก (Linolenic acid) และกรดลิโนเลอิก (Linoleic acid)) เป็นองค์ประกอบจำนวนมาก ส่งผลให้ค่า I.V. ของน้ำมันที่สกัดจากกระบกมีค่าค่อนข้างสูง (Inthanakom and Chaiwut, 2013) เมื่อพิจารณาจากค่า I.V. ของไขมันที่สกัดจากใบกะหล่ำปลีที่พบว่ามีค่าต่ำ แสดงให้เห็นว่าเมื่อนำไขมันไปพัฒนาเป็นสารเคลือบผิวจะมีแนวโน้มเกิดกลิ่นเหม็นหืนได้ช้า

¹ เม็ดกระบก (ชื่อวิทยาศาสตร์ *Irvingia malayana*) มีลักษณะเป็นรูปไข่ขนาดใหญ่ผลอ่อนมีสีเขียว เมื่อสุกเป็นสีเหลือง ภายในมีเปลือกหุ้มเมล็ดมีสีน้ำตาล โดยเนื้อในเป็นสีขาวที่มีองค์ประกอบ เช่น แป้ง และน้ำมัน (สมนึก ชูศิลป์ และสมโภชน์ สุดจันทร์, 2544)

4.3.1.2 ค่าซาโปนิฟิเคชัน (Saponification number; S.N.)

เมื่อพิจารณา ค่า S.N. ของไขมันสกัดจากใบกะหล่ำปลี พบว่า มีค่าเท่ากับ 80.53 mgKOH/g (ตารางที่ 4.1) และมีค่าใกล้เคียงกันกับค่า S.N. ของไขมันสกัดจากคาร์นุบาร์ ไขราข้าว ไข่ผึ้ง และไขมันสกัดจากฟางข้าวสาธิต อยู่ในช่วงเท่ากับ 75-95 mgKOH/g (ตารางที่ 4.1) หากใช้ค่า S.N. เท่ากับ 40-105 mg/g เป็นเกณฑ์เบื้องต้น พบว่า ไขมันสกัดจากใบกะหล่ำปลีมีค่า S.N. อยู่ในช่วงที่สูง จึงมีแนวโน้มเกิดกลิ่นหืนได้ช้า เนื่องจากไขมัน กัดจากใบกะหล่ำปลีมีกลุ่มของไตรกลีเซอไรด์ ที่มีกรดไขมันชนิดอิ่มตัวและไม่อิ่มตัวเป็นองค์ประกอบ และมีสัดส่วนของกรดไขมันชนิดอิ่มตัวสูงกว่าจึงส่งผลให้ สารละลายโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์เข้าไปทำปฏิกิริยากับพันธะคู่ของกรดไขมันแล้วได้ค่า S.N. สูง แสดงให้เห็นว่ากรดไขมันมี น้ำหนักโมเลกุล ที่ต่ำ ทำให้จำนวนโมเลกุลของไตรกลีเซอไรด์ ต่อหน่วยน้ำหนักมีจำนวนสูงขึ้น จึงส่งผลให้ไขมันเกิดกลิ่นหืนหืนได้ช้า (Fuentes et al., 2010) Solis-Fuentes and Duran-de-Bazua (2004) รายงานว่า ค่า S.N. ของไขมันจากเมล็ดมะม่วง มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 189 mgKOH/g ค่าดังกล่าวแสดงให้เห็นว่าไขมันที่สกัดได้นั้นจะเกิดการเหม็นหืนหืนได้ช้า (Endlein, and Peleikis, 2011) ในการศึกษาเมล็ดกระบก อธิสุตา ตระกูลหุทิพย์ (2559) รายงานว่า ค่า S.N. ของไขมันจากเมล็ดกระบกอยู่ในช่วง 257.63-260.02 mgKOH/g เป็นค่าที่อยู่ในช่วงสูง แสดงให้เห็นว่าเมล็ดกระบกมีแนวโน้มการ เกิดกลิ่นและรสชาติที่ไม่พึง ประสงค์ของไขมันได้ช้า (Inthanakom and Chaiwut, 2013) Hagenmaier and Baker (1993) ได้ทำการเคลือบผิวหน้า มะนาวด้วยไขมันที่มีค่า S.N. เท่ากับ 80 mgKOH/g พบว่าสารเคลือบผิวมีกลิ่นเหม็นหืนที่น้อยมาก ดังนั้นไขมันสกัดจากใบกะหล่ำปลีมี ค่า S.N. อยู่ในช่วงที่สูง จึงแสดงให้เห็นว่าไขมันสกัดจากใบกะหล่ำปลีมี ประสิทธิภาพที่ดีและเหมาะสมในการนำไปพัฒนาเป็นสารเคลือบผิวผักและผลไม้ในขั้นตอนต่อไป

4.3.1.3 ค่าความเป็นกรด (Acid value; A.V.)

จากการวิเคราะห์ค่าความเป็นกรดของไขมันสกัดจากใบกะหล่ำปลี พบว่า มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 1.98 mg KOH/g เมื่อพิจารณาเห็นได้ว่ามีค่าใกล้เคียงกับ ไขมันสกัดจากคาร์นุบาร์ คือ 0.4-9.7 mg KOH/g (โศรดา กนกพานนท์ และคณะ , 2555) ไขมันสกัดจากรำข้าว มีค่าเท่ากับ 1.2 mg KOH/g (Orthoefer, 2005) อย่างไรก็ตามไขมันสกัดจากใบกะหล่ำปลีมีค่า A.V. ต่ำกว่าไขมันสกัด ในเชิงพาณิชย์ชนิดอื่น ๆ เนื่องจากไขมันสกัดจากใบกะหล่ำปลีมีไขมันหลายชนิดรวมตัวกันอย่างหนาแน่น เช่น เอสเทอร์ กรดไขมันชนิดอิ่มตัว และกรดไขมันชนิดไม่อิ่มตัว และจากการพิจารณาลักษณะ ทางกายภาพของไขมันมีลักษณะเป็นของแข็งที่อุณหภูมิห้อง ซึ่งเป็นสมบัติของ กรดไขมันชนิดอิ่มตัว ดังนั้นไขมันสกัดจากใบกะหล่ำปลีมีกรดไขมันชนิดอิ่มตัว สูงกว่า กรดไขมันชนิดไม่อิ่มตัวทำให้ สารละลาย โพแทสเซียม ไฮดรอกไซด์ เข้าไปทำปฏิกิริยากับพันธะคู่ของกรดไขมัน ชนิดไม่อิ่มตัวได้ น้อย จึงส่งผล ให้มีค่า A.V. ในระดับที่ต่ำ และการเกิดอนุมูลอิสระ หรือการเกิดกลิ่นเหม็นหืนหืนจึงมีแนวโน้ม ต่ำ (Debeaufort et al., 1995) ซึ่งไขมันสกัดในเชิงพาณิชย์ มีค่า A.V. ในช่วง 0.1-30.8 mg KOH/g (ตารางที่ 4.1) ความแตกต่างอาจเป็นผลจากการใส่สารเติมแต่ง (Additives) บางประเภทที่สามารถลด การเกิดอนุมูลอิสระ หรือสารลดการเกิดกลิ่นหืนใน ไขมันที่จำหน่ายเชิงพาณิชย์ เช่น วิตามินอี (Vitamin E) สาร Butylate hydroxyanisole (BHA) สาร Tertiary Butyl Hydro Quinone (TBHQ) สาร Ethylene Diamine Tetra-Acetate (EDTA) และ สาร Butylate hydroxytoluene (BHT) (สำนักงานคณะกรรมการอาหารและยา , 2556) Goswami and Basu (2012) รายงานว่า

ไซที่ผ่านการสกัดควรมีค่า A.V. ต่ำกว่า 35 mg KOH/g เพื่อชะลอการเกิดกลิ่นเหม็นหืนภายหลังการเคลือบลงบนผิวของผักและผลไม้ ทั้งนี้ค่า A.V. ของสารเคลือบผิวผักและผลไม้ ที่รายงานในเอกสารอ้างอิงทั่วไป พบว่า มีค่าอยู่ในช่วง 4-35 mg KOH/g (Lasztity, 1971) ในขณะที่ค่า A.V. ของไซสกัดจากใบกะหล่ำปลีมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 1.98 mg KOH/g พบว่ามีค่าต่ำกว่า 4 mg KOH/g จึงคาดคะเนได้ว่าหากนำไซที่สกัดจากใบกะหล่ำปลีไปมาพัฒนาเป็นสารเคลือบผิวหน้าจะเกิดกลิ่นที่ไม่พึงประสงค์ให้กับผู้บริโภคในอัตราที่ช้า

ตารางที่ 4.1 สมบัติทางเคมี-กายภาพของไขสกัดจากใบกะหล่ำปลี

สมบัติทางเคมี- กายภาพของไขสกัด จากใบกะหล่ำปลี	ชนิดของไขสกัด (Wax)								
	ไขสกัดจากใบ กะหล่ำปลี (Cabbage wax)	เซลแลค (Shellac)	คาร์นูบา (Carnauba)	ไขรำข้าว (Rice Bran Wax)	ไขผึ้ง (Bee wax)	ไคโตซาน (Chitosan)	คาร์บอกซิลเมทิล เซลลูโลส (Carboxymethyl cellulose)	ไขจากฟางข้าว สาเลี (Wheat straw wax)	ไขอ้อย (Sugar cane wax)
ค่าไอโอดีน (Iodine value, I.V.) (g/fat 100 g)	2.67	15-24 ^A	7.2-13.5 ^A	9 ^E 100 ^F 44.8 ^G	6-11 ^H	-	0.1-2 ^L	15-30 ^M	19.9-20.1 ^N
ค่าซาปอนิฟิเคชัน (Saponification number, S.N.) mgKOH/g	80.53	175-240 ^C	75-95 ^D	85 ^E 211.8 ^F 144.5 ^G	84-103 ^I	-	-	89.3 ^M	140.9-141.1 ^N
ค่าความเป็นกรด (Acid value, A.V.) (mg KOH/g)	1.98	4 ^A 6.05 ^B	0.4-9.7 ^A	0.5 ^E 1.2 ^F 10.6 ^G	16-24 ^H	6.5 ^{J,K}	0.1-0.5 ^L	30.8 ^M	17.9-18.5 ^N
จุดหลอมเหลว (Melting point) (°C)	49-58	65-85 ^A	83-86 ^A	76-84 ^E 62-70 ^F 65-70 ^G	63-65 ^H 77-86 ^I	170-230 ^{J,K}	260-270 ^L	20-60 ^M	77.6-80.0 ^N

ที่มา: ^A ไตรดา กนกพานนท์ และคณะ (2555); ^B Farag (2010); ^C Farag, and Leopold (2009); ^D Endlein, and Peleikis (2011); ^E สายสนม ประดิษฐ์ดวง และคณะ (2533); ^F Orthoefer (2005); ^G Vali et al. (2005); ^H Buchwald et al. (2008); ^I European Food Safety Authority (2007); ^J Dutta et al. (2004); ^K Kienzle et al. (1982); ^L Maria et al. (2012); ^M Sin (2014); ^N Rocha et al. (2015); ^O Nuissier (2002) และสัญลักษณ์ “-” หมายถึงไม่ได้รายงาน

4.3.2 จุดหลอมเหลว (Melting point: M.P.)

ค่า Melting point (M.P.) คือ ค่าที่แสดงอุณหภูมิที่ของแข็งเปลี่ยนสถานะเป็นของเหลว ณ ความดัน 1 บรรยากาศ (atm) (Sin, 2012) ในตารางที่ 4.1 ค่า M.P. ของไซสกัดจากใบกะหล่ำปลีมีค่าเฉลี่ย เท่ากับ 49-58°C (ตารางที่ 4.1) แสดงให้เห็นว่าไซสกัดจากใบกะหล่ำปลีมีอุณหภูมิในการหลอมเหลว มีช่วงที่กว้าง ทั้งนี้อาจมีสาเหตุสำคัญจากไซสกัดจากใบกะหล่ำปลีมีองค์ประกอบของกรดไขมันชนิดอิ่มตัว หลายตัว ซึ่งลักษณะของไซสกัดจากใบกะหล่ำ ปลีเป็นของแข็งที่อุณหภูมิห้อง จึงอยู่ในกลุ่มของกรดไขมันชนิดอิ่มตัว โดย ค่า M.P. มีความสัมพันธ์กับชนิดองค์ประกอบของกรดไขมัน ชนิดอิ่มตัว ประกอบด้วย กรดลอริก กรดไมริสติก กรดปาลมาติก และกรดสเตียริก มีค่าเท่ากับ 44.2 53.9 63.1 และ 69.8°C ตามลำดับ (Carvalho et al., 2001; Gutierrez and Del Rio, 2003)

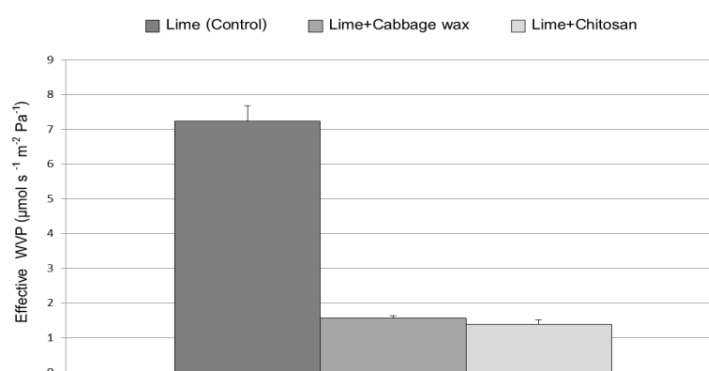
จากรายงานของ Fagerstrom et al. (2013) พบว่า ไซสกัดจากใบพืชทั่วไปมีลักษณะแข็งตัวเมื่ออุณหภูมิต่ำกว่าจุดหลอมเหลว หากไซสกัดได้รับอุณหภูมิที่สูงกว่าจุดหลอมเหลวสูงสุด ทำให้ไขมีลักษณะอ่อนตัว เหนียวเป็นยางยืด จึงส่งผลให้ไซสกัดเปลี่ยนรูปร่างได้ หรือมีสมบัติเป็นเทอร์โมพลาสติก (Thermoplastic) กล่าวคือ ไซสกัดมีความยืดหยุ่นคล้ายยางเมื่อได้รับความร้อน และเมื่อเย็นตัวลงสามารถกลับมาเป็นของแข็งได้ โมเลกุลของไขภายหลังการได้รับความร้อนจะเกิดการเปลี่ยนสภาพส่งผลให้แรงยึดเหนี่ยวของโมเลกุลลดลง เกิดการอ่อนตัวและสามารถเปลี่ยนรูปร่างได้ เช่น เมื่อนำไขใส่ในแม่พิมพ์จะได้รูปทรงตามแม่พิมพ์ แต่เมื่ออุณหภูมิของสิ่งแวดล้อมหรือ เข้าสู่สภาวะเย็นตัว ทำให้โมเลกุลของไขมีการจัดเรียงตัวกันใหม่ พร้อมกับมี แรงยึดเหนี่ยว ที่แข็งแรงมากขึ้นกว่าตอนอยู่ในสภาวะอ่อนตัว (Bruma and Schuiz, 2001) เมื่อพิจารณา ค่า M.P. ของไซสกัดจากใบกะหล่ำปลี (ตารางที่ 4.1) มีค่าต่ำกว่าค่า M.P. ของไซสกัดจากใบพืชทั่วไป แสดงให้ทราบว่าไซสกัดจะมีลักษณะแข็งตัวตามเดิมได้ง่ายเมื่ออุณหภูมิต่ำกว่าอุณหภูมิจุดหลอมเหลว และเมื่อได้รับความร้อนที่เพิ่มสูงขึ้นกว่าจุดหลอมเหลวไซสกัดมีลักษณะอ่อนตัว สามารถยืดตัวและเปลี่ยนรูปร่างได้ เมื่อนำมาเคลือบบนผิวหน้าของผักและผลไม้และทำการเก็บรักษาอุณหภูมิที่ต่ำกว่าจุดหลอมเหลว ไซสกัดมีแนวโน้ม ที่จะคงตัวและไม่เกิดการไหล เคลื่อนที่หรือหลุดออกจากผิวหน้าของผลิต (Srigumlaitong and Udomsak, 1975)

เมื่อเปรียบเทียบค่า M.P. ของไซสกัดจากใบกะหล่ำปลีจะมีค่าต่ำกว่าไขประเภทอื่น ๆ ซึ่งมีช่วงของค่า M.P. เท่ากับ (ตารางที่ 4.1) แต่มีช่วงที่ใกล้เคียงกับไซสกัดจากฟางข้าวสาลี มีค่าเท่ากับ 20-60°C ทั้งนี้ไซสกัดที่ได้มาจากฟางข้าวสาลีมีส่วนประกอบที่เป็นไขมันอยู่ร้อยละ 10 และมีสารกลุ่มลิกโนเซลลูโลส (Lignocellulosic material) ที่เป็นสารประกอบอินทรีย์ประเภทคาร์โบไฮเดรต จัดอยู่ในกลุ่มสารไฮโดรคอลลอยด์ มีจุดหลอมเหลวที่สูง (40-70°C) จึงส่งผลให้มีช่วงอุณหภูมิในการเกิดจุดหลอมเหลวในช่วงที่กว้างตามชนิดขององค์ประกอบไข (Sin, 2014) Yoon and Rhee (1982) รายงานว่า ไซร่าข้าวมีค่า M.P. อยู่ในช่วง 76.10-82.20°C เนื่องจากภายในองค์ประกอบของไซร่าข้าวมีกรดไขมันชนิดอิ่มตัวอยู่จำนวนมาก เช่น กรดลอริก กรดไมริสติก และกรดปาลมาติก โดยกรดไขมันกลุ่มนี้มีจุดหลอมเหลว 40-90°C เมื่อนำร่าข้าวมาสกัดไขจึงมีจุดหลอมเหลวใกล้เคียงกับชนิดของกรดไขมันที่เป็นส่วนประกอบหลัก (Cousin et al., 1953)

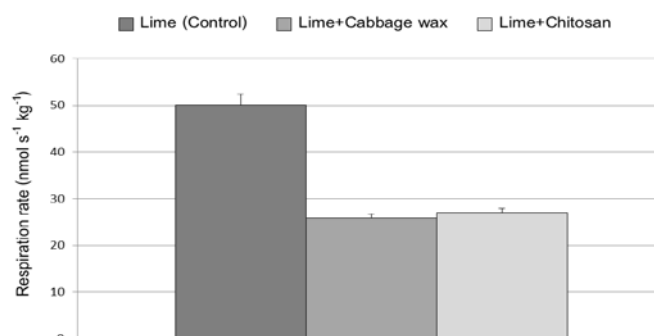
4.3.3 ผลของไซสกัตต่อการเปลี่ยนแปลงคุณภาพของมะนาว และกระเจี๊ยบเขียวสด

ผลการศึกษาในส่วนนี้ได้นำเสนอในรูปแบบของวารสารวิจัยที่ได้รับการตีพิมพ์ในวารสารวิทยาศาสตร์เกษตร และวารสาร International Food Research Journal แสดงในภาคผนวกที่ ก. 5 และก. 6. เนื้อหาโดยสรุปของผลการศึกษาได้นำเสนอ ดังนี้

จากการเคลือบผิวหน้าของมะนาวด้วยไซสกัตจากใบกะหล่ำปลี (CB-wax) เปรียบเทียบกับมะนาวที่ผ่านการเคลือบผิวหน้าด้วยไคโตซาน (Chitosan) และไม่ผ่านการเคลือบผิวหน้า (Control) พบว่า การเคลือบผิวช่วยชะลอสมบัติการยอมให้น้ำซึมผ่านผิวหน้าของมะนาวได้ดีกว่ามะนาวที่ไม่ผ่านการเคลือบผิวหน้า (ภาพที่ 4.3) และการเคลือบผิวหน้าช่วยให้มะนาวที่ผ่านการเคลือบผิวหน้าทั้ง 2 การทดลองมีอัตราการหายใจในระดับที่ต่ำกว่ามะนาวที่ไม่ผ่านการเคลือบผิวหน้า (ภาพที่ 4.4)

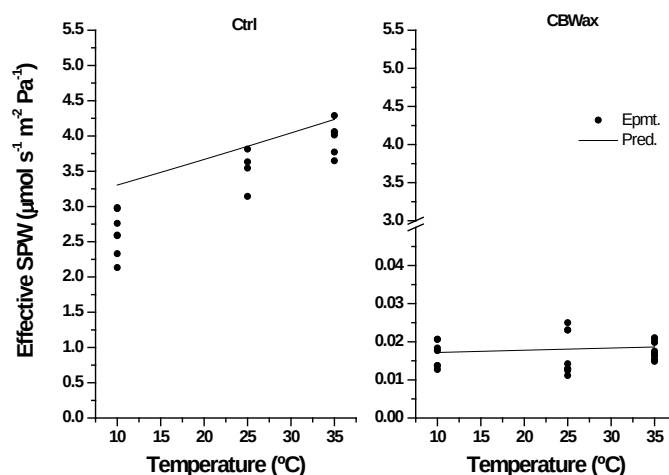


ภาพที่ 4.3 ผลของไซสกัตจากใบกะหล่ำปลี (Lime+Cabbage wax หรือ CB-wax) และไคโตซาน (Lime+Chitosan) ต่อ สมบัติการยอมให้น้ำซึมผ่านผิวหน้าของมะนาวสด เปรียบเทียบกับมะนาวที่ไม่ผ่านการเคลือบผิวหน้า (Control) เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 25°C



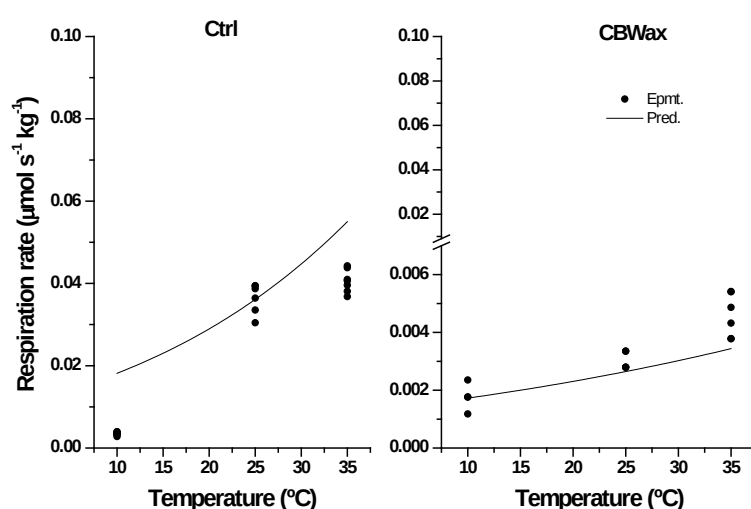
ภาพที่ 4.4 ผลของไซสกัตจากใบกะหล่ำปลี (Lime+Cabbage wax หรือ CB-wax) และไคโตซาน (Lime+Chitosan) ต่อ อัตราการหายใจของมะนาวสด เปรียบเทียบกับมะนาวที่ไม่ผ่านการเคลือบผิวหน้า (Control) เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 25°C

ผลการศึกษาในมะนาวที่แสดงข้างต้นมีความ สอดคล้องกับการเคลือบผิว หน้าของ กระจับเขียวด้วยไขสกัดจากใบกะหล่ำปลี (CB-wax) พบว่า สมบัติการยอมให้น้ำซึมผ่านผิวหน้า ของกระจับเขียวที่เคลือบโดย CB-wax มีค่าต่ำกว่ากระจับเขียวที่ไม่ผ่านการเคลือบผิวหน้า (ภาพที่ 4.5) และการเคลือบผิวหน้าช่วยชะลออัตราการหายใจ ของกระจับเขียวให้มีค่าต่ำกว่า ชุดควบคุม (Control) (ภาพที่ 4.6) นอกจากนี้ สมบัติการยอมให้ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ซึมผ่าน ผิวหน้าของกระจับเขียวที่ผ่านการเคลือบผิวหน้า ด้วย CB-wax และไคโตซานมีค่าต่ำกว่าชุดควบคุม (ภาพที่ 4.7) การลดลงของสมบัติการแลกเปลี่ยนก๊าซดังกล่าว มีสาเหตุสำคัญ เนื่องจากสารเคลือบผิว ทำหน้าที่ขัดขวางการซึมผ่านของไอน้ำ และก๊าซ (ทั้งก๊าซออกซิเจนและก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์) โดยการปิดช่องทางการแพร่ของไอน้ำ เช่น รูปากใบ หรือ รอยแตกของไข (Hagenmaier and Baker, 1993; Cisneros-Zevallos and Krochta, 2002) จากผลการศึกษาความสัมพันธ์ระหว่าง สมบัติการ ยอมให้น้ำซึมผ่านผิวหน้า (Effective Surface Water Vapour Permeance; Effective SPW) ของกระจับเขียวและอุณหภูมิในการเก็บรักษา พบว่า ค่า Effective SPW ของกระจับเขียวที่ผ่าน การเคลือบผิวด้วย CB-wax และไม่ผ่านการเคลือบผิวมีค่าสูงขึ้นเมื่ออุณหภูมิเพิ่มขึ้น (ภาพที่ 4.5) ซึ่ง สอดคล้องกับความสัมพันธ์แบบ Arrhenius ที่แสดงให้เห็นถึงการเพิ่มขึ้นของอัตราการเกิดปฏิกิริยา แบบเอกโปเนนเชียลเมื่ออุณหภูมิเพิ่มสูงขึ้น ทั้งนี้ภาพที่ 4.5 แสดงให้เห็นว่ากระจับเขียว ที่ไม่ผ่านการ เคลือบผิวมีการเพิ่มขึ้นของค่า Effective SPW ที่สูงกว่ากระจับเขียวที่มีการเคลือบผิว ผลการศึกษาดังกล่าวแสดงให้เห็นว่าการเคลือบผิวหน้า เป็นการลดการตอบสนองต่อการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิของ กระจับเขียว



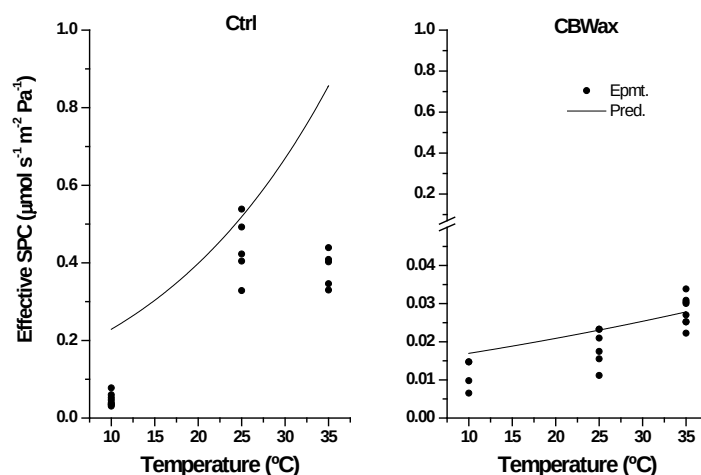
ภาพที่ 4.5 ผลของไขสกัดจากใบกะหล่ำปลี (CB-Wax) และอุณหภูมิการเก็บรักษาต่อสมบัติการยอมให้น้ำซึมผ่านผิวหน้า (Effective Surface Water Vapour Permeance; Effective SPW) ของกระจับเขียวสด เปรียบเทียบกับกระจับเขียวที่ไม่ผ่านการเคลือบผิวหน้า (Control)

จากการศึกษาอัตราการหายใจของกระเจี๊ยบเขียวที่ ผ่านการเคลือบผิว หน้าด้วย CB-wax พบว่า มีอัตราการหายใจที่ต่ำกว่ากระเจี๊ยบเขียวที่ไม่ผ่านการเคลือบผิวหน้า (ภาพที่ 4.6) เนื่องจาก กระเจี๊ยบเขียวชุดควบคุมมีความไวต่อการเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิมาก เมื่อเปรียบเทียบกับ กระเจี๊ยบเขียวที่ผ่านการเคลือบผิวหน้า สอดคล้องกับความสัมพันธ์แบบ Arrhenius แสดงให้เห็นว่า อัตราการหายใจของพริกหวานมีการเพิ่มขึ้นแบบเอกโปเนนเชียล เมื่ออุณหภูมิสูงเพิ่มขึ้น จากการ พิจารณา ภาพที่ 4.6 แสดงให้เห็นว่ากระเจี๊ยบเขียวที่ไม่ผ่านการเคลือบผิว หน้า เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 35°C มีอัตราการหายใจในระดับที่ต่ำกว่าที่อุณหภูมิ 25°C อาจเนื่องเกิดความชราภาพที่รวดเร็วภายใต้ อุณหภูมิที่สูงส่งผลให้อัตราการหายใจลดลง



ภาพที่ 4.6 ผลของไซสทักตจากใบกะหล่ำปลี (CB-Wax) และอุณหภูมิการเก็บรักษาต่ออัตราการหายใจของกระเจี๊ยบเขียวสด เปรียบเทียบกับกระเจี๊ยบเขียวที่ไม่ผ่านการเคลือบผิวหน้า (Control)

ผลของสมบัติการยอมให้ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ ซึมผ่านผิวหน้า (Effective skin permeance to carbon dioxide: Effective SPC) ของกระเจี๊ยบเขียวที่ผ่านการเคลือบผิวหน้า และ ไม่ผ่านการเคลือบผิวหน้ามีค่าสูงขึ้น เมื่ออุณหภูมิการเก็บรักษาเพิ่มขึ้น (ภาพที่ 4.7) โดยกระเจี๊ยบเขียวที่ไม่ผ่านการเคลือบผิวหน้าที่อุณหภูมิ 35°C มีสมบัติการยอมให้ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ ซึมผ่านผิวหน้าต่ำกว่าค่าที่ 25°C ซึ่งมีแนวโน้มเหมือนกับอัตราการหายใจอาจเป็นผลจากการชราภาพของ กระเจี๊ยบเขียวที่ถูกกระตุ้นเมื่อเก็บรักษาไว้ที่อุณหภูมิ 35°C จากข้อมูลการทดลองชี้ให้เห็นว่ากระเจี๊ยบเขียวที่ไม่ผ่านการเคลือบผิวหน้ามีความไวต่อการเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิที่สูงกว่าเมื่อเปรียบเทียบกับ กระเจี๊ยบเขียวที่ผ่านการเคลือบผิว

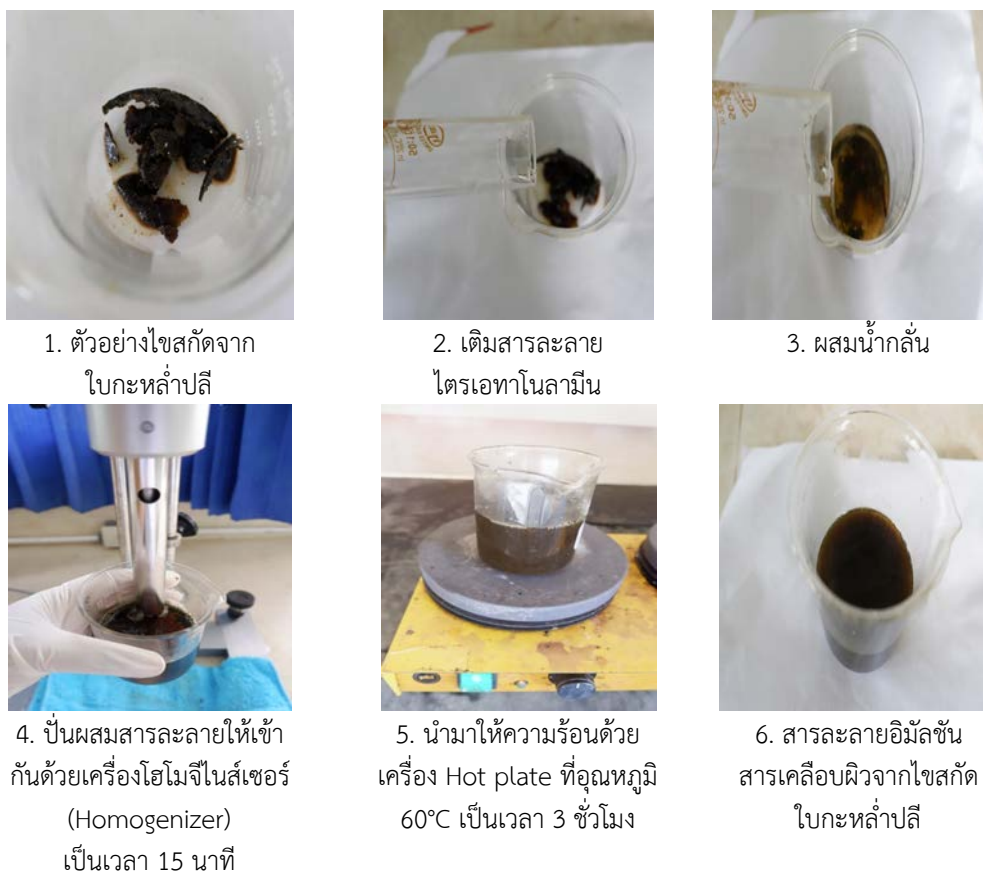


ภาพที่ 4.7 ผลของไซสกัตจากไบกะหล่ำปลี (CB-Wax) และอุณหภูมิการเก็บรักษาต่อสมบัติการยอมให้ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ซึมผ่านผิวหน้าของกระเจี๊ยบเขียวสด เปรียบเทียบกับกระเจี๊ยบเขียวที่ไม่ผ่านการเคลือบผิวหน้า (Control)

4.4 การพัฒนาสารเคลือบผิวจากไซสกัตจากไบกะหล่ำปลี ในรูปสารละลายอิมัลชัน (Emulsion solution)

การศึกษาส่วนนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อพัฒนาสารเคลือบผิวจากไซสกัตจากไบกะหล่ำปลีในรูปสารละลายอิมัลชัน (Emulsion) โดยได้ทำการทดสอบหาความเข้มข้นของสารละลายที่เหมาะสมส่งผลให้สารละลายอิมัลชันมีความคงตัว ไม่เกิดการแยกชั้นกันระหว่างไซสกัตกับตัวทำละลาย ทั้งนี้หากสารละลายอิมัลชันเกิดการแยกชั้นและเมื่อนำไปเคลือบลงบนผิวหน้าของผลิตภัณฑ์อาจส่งผลให้การยึดเกาะพื้นผิววัสดุของฟิล์มที่เกิดจากการเคลือบไม่มีความสม่ำเสมอ และทำให้ประสิทธิภาพในการทำงานของสารเคลือบผิวลดลง (Tietel et al., 2010)

สารเคลือบผิวมีส่วนประกอบของ ไซสกัตจากไบกะหล่ำปลี น้ำกลั่น และไตรเอทานอลามีน โดยทั่วไปไขมันจะไม่ละลายในน้ำ เนื่องจากไขมันมีโมเลกุลจำพวกมีขั้วต่ำหรือไม่มีขั้ว ในกรณีของน้ำมีโมเลกุลเป็นพวกมีขั้ว จึงส่งผลให้ไซสกัตไม่สามารถละลายในน้ำกลั่น ได้ (Morillon et al., 2002) ในการพัฒนาสารละลายอิมัลชันได้มีการเติม สารละลายไตรเอทานอลามีน เพื่อทำหน้าที่เป็นอิมัลซิไฟเออร์ ในการผสมให้ไซสกัตกับน้ำผสมเป็นเนื้อเดียวกัน เนื่องจาก สารละลายไตรเอทานอลามีน มีสมบัติช่วยให้สารละลายอิมัลชันคงตัว ลดแรงตึงผิวระหว่างตัวทำละลาย (น้ำกลั่น) กับตัวถูกละลาย (ไซสกัตจากไบกะหล่ำปลี) และช่วยป้องกันการแยกชั้นของสารละลายอิมัลชัน เพราะไตรเอทานอลามีนมีโมเลกุลส่วนที่มีขั้วและโมเลกุลส่วนที่ไม่มีขั้ว โมเลกุลของไตรเอทานอลามีนทำหน้าที่เชื่อมโมเลกุลของน้ำกับไซสกัต โดยหันโมเลกุลส่วนที่มีขั้วเข้าจับกับโมเลกุลของน้ำ ส่วนโมเลกุลที่ไม่มีขั้วล้อมรอบไซสกัตและเชื่อมกับโมเลกุลของไซสกัต จึงส่งผลให้สารละลายอิมัลชันผสมเป็นเนื้อเดียวกัน ไม่เกิดการแยกชั้น และมีความคงตัวมากขึ้น (Abo-Shosha et al., 2008) ขั้นตอนในการผสมสารละลายอิมัลชันสารเคลือบผิวได้มีการสรุปได้ดังขั้นตอนต่อในภาพที่ 4.8 ทั้งนี้ปริมาณน้ำกลั่นและไตรเอทานอลามีนจะขึ้นอยู่กับระดับความเข้มข้นที่ใช้ทดสอบ (แสดงในภาคผนวก ข. 1)



ภาพที่ 4.8 ขั้นตอนการเตรียมสารละลายสารเคลือบผิวจากไซสกัดจากใบกะหล่ำปลี

ผลการทดสอบสมบัติทางด้านเคมี-กายภาพของสารละลายอิมัลชันได้แสดงดังรายละเอียดต่อไปนี้

4.4.1 ลักษณะปรากฏ (Visual appearance)

เมื่อทำการสังเกตลักษณะปรากฏของสารละลายอิมัลชันความเข้มข้นต่างๆ (ตารางที่ 4.2) พบว่า สารละลายอิมัลชันที่มีความเข้มข้น ไซสกัด 10 และ 20% (w/v) มีลักษณะเป็นสีน้ำตาลอ่อน เมื่อเปรียบเทียบกับสารละลายอิมัลชันที่มีความเข้มข้นไซสกัด 30-50% (w/v) ซึ่งมีสีน้ำตาลเข้ม ทั้งนี้สีของสารละลายมีสีเข้มขึ้นตาม ระดับของปริมาณของไซที่เพิ่มขึ้น ในขณะที่สารละลายอิมัลชันสารเคลือบผิวที่มีความเข้มข้นไซสกัด 10 และ 20% (w/v) มีความคงตัวไม่เกิดการแยกชั้นระหว่างไซและตัวทำละลาย แต่สารละลายที่มีความเข้มข้นไซสกัด 30-50% (w/v) เกิดการแยกชั้นที่สามารถเห็นได้ด้วยตาเปล่า (ตารางที่ 4.2) โดยสาเหตุของการแยกชั้นและความไม่คงตัวของสารละลายอิมัลชันสารเคลือบผิว อาจเนื่องจากปริมาณของไซสกัดในอิมัลชันเพิ่มขึ้นส่งผลให้การแตกตัว หรือการกระจายตัวเป็นหยดขนาดเล็กของไซที่เกิดจากแรงกวนในระหว่างการผลิตสารละลายอิมัลชัน ด้วยเครื่องโฮโมจีไนส์ (Homogenizer) เพื่อเพิ่มพื้นที่ผิวสัมผัสระหว่างของเหลว 2 ชนิด ได้แก่ ไซสกัด และ น้ำกลั่น (Blake et al., 2014) แต่ด้วยปริมาณของไซสกัดที่สูงขึ้นอาจส่งผลให้การแตกตัวหรือการกระจายตัวของไซสกัดมีค่าลดลง (Abo-Shosha et al., 2008)

การพัฒนาสารละลายอิมัลชันได้ใช้สารไตรเอทาโนลามีนเป็น สารละลาย อิมัลซิไฟเออร์ งานวิจัยนี้ได้ใช้ไตรเอทาโนลามีนในปริมาณสูงสุดเท่ากับมาตรฐานที่กำหนดให้ใช้ได้ คือ 5% (w/w) แต่อาจไม่เพียงพอต่อความคงตัวของสารละลายอิมัลชัน จึงเป็นสาเหตุ สำคัญที่ส่งผลให้เกิดการแยกชั้น ของสารละลายอิมัลชันความเข้มข้น ไซสกัด 30% (w/v) (ตารางที่ 4.2) รุ่งทิพย์ จุฑะมงคล และคณะ (2555) ทำการศึกษาความคงตัวของสารละลายอิมัลชันสารเคลือบผิวหลายองค์ประกอบ (ไขปาล์ม (Palm wax) และไขคาร์นูบา) อัตราส่วน 50:50% (w/w) และน้ำปริมาณ 56% (w/w) โดยใช้อิมัลซิไฟเออร์ ชนิด ไตรเอทาโนลามีน ปริมาณ 28% (w/w) แสดงให้เห็นว่าสารละลายอิมัลชันที่ได้มีลักษณะ ปรากฏเป็นของเหลวเนื้อเดียวกัน สีครีมขุ่น และไม่เกิดการแยกชั้น เนื่องจากการเพิ่มปริมาณอิมัลซิไฟเออร์ให้สูงขึ้นช่วยให้สารละลายอิมัลชันมีความคง ตัว จากรายงานของ โศรดา กนกพานนท์ และคณะ (2555) กล่าวว่า สารละลายอิมัลชันสารเคลือบผิวดัดแปลงที่มีส่วนผสมของ ไชเซลแลค ความเข้มข้น 5 และ 7.5% (w/w) น้ำ ปริมาณ 84.36 และ 83.11% (w/w) ตามลำดับ และมีการเติมพลาสติกไซเซอร์ (Plasticizers) ชนิด กรดโอเลอิก (Oleic acid) (อยู่ในรูปแบบเกลือโซเดียมของกรดโอเลอิก) ปริมาณ 1% (w/w) สารละลายอิมัลชันที่ได้มีความคงตัวมาก กรดโอเลอิกทำหน้าที่ในการลดแรงตึงผิว ของสารละลายส่งผลให้โมเลกุลของไขกับน้ำสามารถเคลื่อนที่ไปจับกันได้ง่ายขึ้น และทำให้ สารละลาย อิมัลชันผสมเป็นเนื้อเดียวกันได้ดี

ตารางที่ 4.2 ลักษณะปรากฏของสารละลายอิมัลชันของไซสัลดจากใบกะหล่ำปลี

ระดับความเข้มข้นของ ไซสัลดจากใบกะหล่ำปลี	ภาพของอิมัลชันสารเคลือบผิวของไซสัลด จากใบกะหล่ำปลี	ลักษณะที่สังเกตด้วยตาเปล่าของอิมัลชันสาร เคลือบผิวของไซสัลดจากใบกะหล่ำปลี
10% (w/v)		- สีของอิมัลชันเป็นน้ำตาลอ่อน - อิมัลชันผสมเป็นเนื้อเดียวกัน - ไม่มีการตกตะกอนของไซสัลดจากใบกะหล่ำปลี
20% (w/v)		- สีของอิมัลชันเป็นสีน้ำตาลเข้มเล็กน้อย - ลักษณะผสมเป็นเนื้อเดียวกัน - ไม่มีการแยกชั้นหรือตกตะกอนของไซสัลดจากใบกะหล่ำปลีในอิมัลชัน
30% (w/v)		- อิมัลชันมีสีน้ำตาลเข้ม - ลักษณะของอิมัลชันมีการแยกชั้นและตกตะกอนอยู่ข้างล่างภาชนะ - และมีตะกอนของไซสัลดลอยอยู่บริเวณผิวหน้าของอิมัลชันสารเคลือบผิว
40% (w/v)		- มีลักษณะสีน้ำตาลเข้มมาก - อิมัลชันแยกชั้นและตกตะกอนลอยอยู่ข้างล่างภาชนะ - มีไซสัลดบางส่วนลอยอยู่บริเวณผิวหน้าของอิมัลชันสารเคลือบผิว
50% (w/v)		- ลักษณะอิมัลชันสีน้ำตาลเข้ม - มีการแยกชั้นและตกตะกอนของไซสัลดลงไปอยู่ด้านล่างกันภาชนะ - และมีตะกอนไซสัลดลอยอยู่บริเวณผิวหน้าของอิมัลชัน

4.4.2 ความหนืด (Viscosity)

การศึกษานี้ได้ทำการวัดค่าความหนืดของสารละลายอิมัลชันที่ระดับความเข้มข้นต่าง ๆ ภายหลังจากการเก็บรักษาไว้เป็นระยะเวลา 24 ชั่วโมง ณ อุณหภูมิห้อง (30°C) และแสดงผลในตารางที่ 4.3 พบว่า ความหนืดของสารละลายอิมัลชันเพิ่มขึ้นตามระดับความเข้มข้นของสารละลาย โดยมีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) เนื่องจากไซสัลดทำหน้าที่ในการเพิ่มความหนืด (Gelling agent) ให้กับระบบอิมัลชันช่วยให้น้ำมันเกิด ออแกโนเจล (Organo gel) โดยอิมัลชันสารเคลือบผิวไซสัลดจากใบกะหล่ำปลีเป็นวัสดุภาคในก ลุ่มไฮโดรเจล (Hydro gel) คือ วัสดุภาคภายในเป็นไซ และภายนอกเป็นน้ำ ซึ่งไซสัลด ภายหลังจากการไฮเมจิไนส์ไซสัลดจะมีขนาดโมเลกุลเล็กลง และ

ไซสกัตเกิดการเชื่อมต่อโมเลกุลเป็นร่างแห โดยมีสารละลายอิมัลซิไฟเออร์เชื่อมโมเลกุลไซสกัตเข้ากับน้ำ จึงส่งผลให้สารละลายอิมัลชัน มีความหนืดเพิ่มขึ้น (Vintiloiu and Leroux, 2008; Blake et al., 2014) การเติมไซสกัตจากใบกะหล่ำปลีช่วยเพิ่มความหนืดให้กับระบบอิมัลชันส่งผลให้ระยะเวลาในการรวมตัวของน้ำกลายเป็นหยดขนาดใหญ่เพิ่มขึ้นทำให้การแยกชั้นของน้ำและไขมันจึงเกิดขึ้นช้าลง (Salman et al., 2008) แต่การเพิ่มปริมาณไซที่ไม่สอดคล้องกับปริมาณสารอิมัลซิฟายเออร์ส่งผลเร่งให้เกิดการแยกชั้นดังที่กล่าวในหัวข้อ 4.4.1 การเพิ่มขึ้นของความหนืดของสารละลายอิมัลชัน นอกจากประการหนึ่งเกิดจากการกระจายตัวของเม็ดน้ำมันหรือไขมัน ทำให้พื้นที่ผิวน้อยลงส่งผลให้มีความหนืดเพิ่มขึ้น โดยระบบอิมัลชันจะมีการเชื่อมต่อผลึกของเม็ดไขมันเข้าด้วยกัน ส่งผลให้เกิดโครงสร้างเป็นรูปแห เชื่อมโยงกันอย่างหนาแน่นทำให้ภายใน ระบบ ของอิมัลชันจึงเกิดมีความหนืดเพิ่มขึ้น (ณรงค์ นิยมวิทย์, 2538; อ้างอิงจาก Fox, 1974)

เมื่อพิจารณาค่าความหนืดของสารละลายอิมัลชันที่ระดับความเข้มข้น ไซสกัต 10 20 30 40 และ 50% (w/v) พบว่ามีค่าเฉลี่ยอยู่ในช่วง 10.10-31.87 (CP) (ตารางที่ 4.3) ซึ่งอยู่ในช่วงใกล้เคียงกับช่วงความหนืดของสารละลายอิมัลชันสารเคลือบผิวเชิงพาณิชย์ เช่น สารละลาย อิมัลชันจากไขเซลแลค (Shellac wax emulsion) มีค่าเท่ากับ 10.70-30.80 (CP) และสารละลายอิมัลชันไบเลเยอร์ (ไฮดรอกซีโพรพิลเมทิลเซลลูโลส (Hydroxypropyl methylcellulose) และ ไซเซลแลค (Shellac wax)) มีค่าเท่ากับ 12.20-16.30 (CP) (Navarro-Tarazaga et al., 2007; Valencia-Chamorro et al., 2011) (ตารางที่ 4.3) ความหนืดเป็นสมบัติที่บ่งชี้ถึงประสิทธิภาพในการเคลือบลงบนผิวหน้าของผักและผลไม้ เมื่อสารเคลือบผิวมีความหนืดเพิ่มมากขึ้นแสดงถึงความต้านทานต่อการไหลที่สูงขึ้น (Perez-Gago and Krochta, 2002) อาจส่งผลต่อกระบวนการเคลือบผิว ดังในกรณีของสารละลายความเข้มข้นไซสกัต 40-50% (w/v) มีระดับความหนืด เท่ากับ 26.14 และ 31.87 (CP) (ตารางที่ 4.3) ความหนืดที่เพิ่มขึ้นทำให้มีความต้านทานต่อการไหลสูง ซึ่งสารเคลือบผิวที่มีความต้านทานการไหลสูงส่งผลต่อการเกาะติดที่เพิ่มขึ้นที่มีผลมาจากค่าความหนืดของสารเคลือบผิวที่เพิ่มขึ้น โดยสารอิมัลซิไฟเออร์ทำหน้าที่เชื่อมโยงโครงสร้างโมเลกุลให้มีขนาดใหญ่ขึ้นด้วยพันธะไฮโดรเจนจึงมีผลต่อความหนืดของเฟสต่อเนื่องในระบบอิมัลชัน ทำให้สารเคลือบผิวมีความสามารถในการยึดเกาะพื้นผิวของผักหรือผลไม้ได้ดีมากยิ่งขึ้น (Perez-Gago and Krochta, 2002; Everett and Mcleod, 2005) ในกรณีที่สารเคลือบผิวมีความหนืดต่ำจะมีความต้านทานการไหลต่ำ เช่น ระดับความหนืดของสารละลายอิมัลชันความเข้มข้น ไซสกัต 10-30% (w/v) มีค่าอยู่ในช่วงเท่ากับ 10.10-21.48 (CP) (ตารางที่ 4.3) ความต้านทานการไหลต่ำมีผลต่อความสามารถในการยึดเกาะพื้นผิววัสดุ ที่ลดลง อาจส่งผลต่อการหลุดลอกจากผิววัสดุได้ง่ายทำให้คุณภาพในการยืดอายุการเก็บรักษาภายหลังการเก็บเกี่ยวของผักและผลไม้ลดลง (Perez-Gago and Krochta, 2002; Everett and Mcleod, 2005)

เมื่อพิจารณาค่า ความหนืดของสารละลายอิมัลชันความเข้มข้น ไซสกัต 10-30% (w/v) แม้ว่าจะมีค่าน้อยกว่าค่าความหนืดของสารละลายความเข้มข้น ไซสกัต 40-50% (w/v) แต่สารละลายความเข้มข้นต่ำ ไม่แยกชั้นและมีค่าใกล้เคียงกับสารเคลือบผิวในเชิงพาณิชย์ดังที่ได้กล่าวมาข้างต้น จึงกล่าวได้ว่า สารเคลือบผิวความเข้มข้นไซสกัต 10-30% (w/v) มีประสิทธิภาพในการยึดเกาะพื้นผิววัสดุของสารเคลือบผิวได้ดี นอกจากนี้ค่าความหนืดต่ำส่งผลดีต่อวิธีการเคลือบผิว ซึ่งอาจทำได้โดยการฉีดพ่น

ด้วยสเปรย์ (Spraying) หรือการทำแอร์บรัช (Airbrush) การเคลือบผิวด้วยวิธีทั้งสองสามารถทำได้ง่าย รวดเร็วและเคลือบผิวได้ในจำนวนมากและลดระยะเวลาการเคลือบลง

ตารางที่ 4.3 ผลการศึกษาคุณภาพอิมัลชันของสารเคลือบผิว

ชนิดของอิมัลชัน	คุณสมบัติของอิมัลชันของสารเคลือบผิว		
	ค่าความหนืด (Viscosity; (CP)	ค่าความเป็นกรด-ด่าง (pH)	ของแข็งที่ไม่ละลายน้ำ (Insoluble solid; g)
สารละลายอิมัลชันสารเคลือบผิวของไฮดรอกซีโปรพิล เมทิล เซลลูโลส (Cabbage wax emulsion; CB-Wax)			
- CB-Wax-10%	10.10±0.003 ^D	8.32±0.005 ^A	0.11±0.014 ^D
- CB-Wax-20%	16.53±0.077 ^C	8.34±0.004 ^A	0.33±0.008 ^D
- CB-Wax-30%	21.48±0.046 ^B	8.35±0.003 ^A	0.45±0.026 ^C
- CB-Wax-40%	26.14±0.025 ^B	8.36±0.002 ^A	0.56±0.021 ^B
- CB-Wax-50%	31.87±0.070 ^A	8.39±0.006 ^A	0.78±0.020 ^A
สารละลายอิมัลชันเซลแลค (Shellac wax emulsion)	10.70-30.80 ^ก	8.5-8.7 ^ก	0.10 ^ก
สารละลายอิมัลชันไคคาร์นุบา (Carnauba wax emulsion)	37.50 ^ก	8.24 ^ก 9.10-9.30 ^ข	0.37 ^ข
สารละลายอิมัลชันไฮดรอกซี โพรพิล เมทิล เซลลูโลส (Hydroxypropyl methylcellulose) และ ไช้ผึ้ง (Beeswax)	100-150 ^ข	6.68-10.00 ^ข	0.79 ^ข
สารละลายอิมัลชันไฮดรอกซี โพรพิล เมทิล เซลลูโลส และ เซลแลค (Shellac wax)	12.20-16.30 ^ข	7.4-7.6 ^ข	6.0-8.0 ^ข
สารละลายอิมัลชันสารเคลือบผิวหลายองค์ประกอบ (ไฮดรอกซีโพรพิล เมทิลเซลลูโลส เซลแลค และคาร์นุบาร์)	36.75-40.10 ^ข 8.96 ^ข	8.58-8.82 ^ข	0.95 ^ข
สารละลายอิมัลชันไคโตซาน (Chitosan emulsion)	116-188 ^ค	4.71-4.89 ^ค	1.22-2.86 ^ค

ที่มา: ^กโครตา กนกพานนท์ (2555); ^ขNavarro-Tarazaga et al. (2007); ^ครุ่งทิพย์ จูฑะมงคล และคณะ (2555); ^งChiumarelli and Hubinger (2014); ^จFagundes et al. (2014); ^ฉBourtoom (2008); ^ชValencia-Chamorro et al. (2011); ^ซสุทธิลักษณ์ พุ่มนิสกุล และคณะ (2554); ^ฌCisneros-Zevallos and Krochta (2003); ^ฎChonpracha et al. (2009) หมายเหตุ ค่าที่แสดงของสารเคลือบผิวจากไฮดรอกซีโปรพิล เมทิล เซลลูโลส คือ average ± standard error (n = 6) ; ตัวอักษรเหมือนกันคอลัมน์เดียวกัน (ของผลการทดลองที่ได้จากการศึกษา) หมายถึง ไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางด้านสถิติ ณ ระดับความเชื่อมั่น 95%

4.4.3 ค่าความเป็นกรด-ด่าง (pH)

ผลการทดสอบค่าความเป็นกรด-ด่าง (ค่า pH) ของสารละลายอิมัลชันที่ระดับความเข้มข้นไฮสก็ดต่าง ๆ แสดงในตารางที่ 4.3 และพบว่าค่า pH ของสารละลายอิมัลชันทุกความเข้มข้นไฮสก็ดอยู่ในช่วงเท่ากับ 8.32-8.39 ซึ่งอยู่ในสภาวะความเป็นด่าง ซึ่งไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) เนื่องจากส่วนผสมที่ใช้ในสารละลายอิมัลชันประกอบด้วยน้ำกลั่นที่มีค่า pH เท่ากับ 7 (สภาวะความเป็นกลาง) และสารละลายไตรเอทานอลเอมีน มีค่า pH เท่ากับ 8.00 ที่สามารถเพิ่มค่าความเป็นด่างให้กับสารละลายอิมัลชัน (กระทรวงอุตสาหกรรม, 2556) เมื่อพิจารณาค่า pH ของสารละลายอิมัลชันจากไฮสก็ดใบกะหล่ำปลี พบว่า มีค่าใกล้เคียงกับสารละลายอิมัลชันของสารเคลือบผิวเชิงพาณิชย์ ได้แก่ สารละลายอิมัลชันเซลแลค ไชคาร์บูนา และสารเคลือบผิวแบบผสมหลายองค์ประกอบ (ประกอบด้วยสารไฮดรอกซีโพรพิล สารเมทิลเซลลูโลส เซลแลค แวกซ์ และสารคาร์บูนา แวกซ์) มีค่า pH เท่ากับ 8.5-8.7 8.24 และ 8.58-8.82 ตามลำดับ (โศรดา กนกพานนท์, 2555; รุ่งทิพย์ จุฑะมงคล และคณะ, 2555; สุทธิลักษณ์ พุ่มนิสสุกุล และคณะ, 2554) (ตารางที่ 7) ผลการศึกษาแสดงให้เห็นทราบว่าสารละลายอิมัลชันของไฮสก็ดจากใบกะหล่ำปลีมีค่า pH ที่เหมาะสมในการนำไปใช้งานได้จริง เนื่องจากองค์ประกอบของไฮสก็ดเป็นวัตถุดิบจากธรรมชาติ เช่นเดียวกับอิมัลชันที่กล่าวมาข้างต้น

สารละลายอิมัลชันของสารเคลือบผิวเชิงพาณิชย์ที่ใช้ในปัจจุบันมีความเป็นด่าง เนื่องจากเมื่อนำไปเคลือบลงบนผิวหน้าของผักและผลไม้สารเคลือบผิวจะไม่ทำปฏิกิริยากับผิวหน้าของผลผลิต ที่จะนำไปสู่การเปลี่ยนแปลงทางด้านสรีรวิทยาของผักและผลไม้ เช่น การเกิดรอยดำ หรือ การเปลี่ยนแปลงสีของเปลือกผลไม้ (Rojas-Argudo et al., 2009) สอดคล้องกับงานวิจัยของ Rojas-Grau et al. (2008) ได้นำสารเคลือบผิวที่บริโภคได้ที่มีความเป็นด่างมาเคลือบผิวหน้ามะม่วงน้ำดอกไม้ ตัดแต่งพร้อมบริโภคพบว่าช่วยชะลอการเปลี่ยนแปลงทางด้านสรีรวิทยา โดยเฉพาะการเปลี่ยนแปลงสีเนื่องจากการเกิดปฏิกิริยาสีน้ำตาลที่เกี่ยวข้องกับเอนไซม์โพลีฟีนอลออกซิเดส (Polyphenol oxidase (PPO)) ทั้งนี้ค่า pH ที่เหมาะสมต่อการเกิดปฏิกิริยาอยู่ระหว่าง 5-7 และออกซิเจน (Oxygen) ทำหน้าที่เป็นตัวเร่งให้เกิดปฏิกิริยา ดังนั้นหากมีการใช้สารเคลือบผิวที่ใช้มีค่า pH ที่สูงกว่า 5-7 จึงสามารถช่วยชะลอการปฏิกิริยาดังกล่าวได้

4.4.4 ปริมาณของแข็งที่ไม่ละลายน้ำ (Insoluble solid)

ผลของการศึกษาปริมาณของแข็งที่ไม่ละลายน้ำในสารละลายอิมัลชันความเข้มข้น ไฮสก็ดต่าง ๆ แสดงในตารางที่ 4.3 และพบว่า มีค่าอยู่ใน ช่วงเท่ากับ 0.11-0.78 (g) และมีค่าสูงขึ้นตามความเข้มข้น ไฮสก็ด ของสารละลายอิมัลชัน หรือปริมาณไฮสก็ด ที่เป็นส่วนผสมในสารละลาย ซึ่งมีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) เนื่องจากในระบบอิมัลชันเป็นการผสมกันระหว่างไฮสก็ดกับน้ำ ทั้งนี้ ในกระบวนการผสมอิมัลชันมีการโฮโมจิไนส์เพื่อให้ไฮสก็ดแตกตัวทำให้อนุภาคไขมันมีขนาดเล็กลง อาจส่งผลให้สามารถละลายน้ำได้บางส่วน แต่ยังคงมี ไฮสก็ดที่มีอนุภาคเล็กลงแต่ ไม่ละลายน้ำมีค่าสูงขึ้นตามระดับความเข้มข้น สอดคล้องกับความคงตัวของสารละลายอิมัลชันสารเคลือบผิว ในหัวข้อที่ 4.4.1 เมื่อระดับความเข้มข้นไฮสก็ดเพิ่มขึ้นทำให้ความคงตัวของอิมัลชันลดลง ซึ่งเกิดจากไฮสก็ดที่ไม่ละลายน้ำมีปริมาณสูงทำให้เกิดการแยกชั้น ความคงตัวของอิมัลชันลดลง และไฮสก็ดตกตะกอนอยู่ข้างล่างภาชนะแม้จะมีการผสมสารละลาย

อิมัลซิไฟเออร์แต่ไม่เพียงพอ ในการเชื่อมโมเลกุลของไฮสก็ดกับตัวทำละลายได้ จึงมีความเชื่อมโยงกับ ปริมาณของแข็งที่ไม่ละลายน้ำที่สูงขึ้น ซึ่ง ปริมาณของแข็งที่ไม่ละลายน้ำได้ของสารเคลือบผิว มีส่วนช่วยเพิ่มความแข็งแรงของพอลิเมอร์ภายหลังการเกิดฟิล์ม จึงส่งผลดีต่อ คุณสมบัติบางประการ ของสารเคลือบผิว เช่น ความสามารถในการต้านทานการซึมผ่านของไอน้ำ และก๊าซออกซิเจน และลดอัตราการสูญเสียน้ำหนักของผลผลิตให้มีประสิทธิภาพที่ดียิ่งขึ้น (Debeaufort et al. 1998; สุทธิลักษณ์ พุ่มนิสกุล และคณะ, 2555)

เมื่อพิจารณาปริมาณของแข็งที่ไม่ละลายน้ำของอิมัลชันสารเคลือบผิวจากไฮสก็ด ไบกะหล่ำปลีเปรียบเทียบกับสารเคลือบผิวเชิงพาณิชย์ พบว่ามีค่าใกล้เคียงกับ สารละลาย อิมัลชันเซลแล ค ไฮคาร์นูบา ไบเลเยอร์ (ไฮดรอกซี โพรพิล เมทิล เซลลูโลส (Hydroxypropyl methylcellulose) และ ขี้ผึ้ง (Beeswax)) ที่มีค่าอยู่ในช่วงเท่ากับ 0.10-0.79 (g) (ตารางที่ 4.3) (โศรดา กนกพานนท์, 2555; Chiumarelli and Hubinger, 2014; Fagundes et al. 2015) เนื่องจากสารเคลือบผิวจากไฮสก็ดไบกะหล่ำปลีมีองค์ประกอบของไขมันจากธรรมชาติเช่นเดียวกันกับ สารเคลือบเชิงพาณิชย์ โมเลกุลของไฮสก็ดกลุ่มนี้มีความแข็งแรงส่วนมากจะเป็นโมเลกุลจำพวกไม่มีขั้ว ทำให้ไม่สามารถละลายน้ำได้จึง อาจเป็นเหตุผลสำคัญซึ่ง ส่งผลให้มีส่วนที่ไม่ละลายน้ำมีปริมาณ ที่ใกล้เคียงกัน (दनัย บุญเกียรติ และนิธิยา รัตนานนท์, 2548)

4.5 การศึกษาสมบัติบางประการของฟิล์มที่ขึ้นรูปจากสารเคลือบผิว

ภายหลังจากการศึกษาความเข้มข้นที่เหมาะสมในการพัฒนาสารละลายอิมัลชันของสารเคลือบผิว จากไฮสก็ดไบกะหล่ำปลี ผู้วิจัยได้ทำการคัดเลือกสารละลายอิมัลชันสารเคลือบผิวมาใช้ในการขึ้นรูป เป็นฟิล์มเพื่อศึกษาสมบัติบางประการของฟิล์ม จำนวน 3 ระดับ ประกอบด้วย ความเข้มข้นไฮสก็ด 10 20 และ 30% (w/v) เนื่องจากสารละลายอิมัลชันทั้ง 3 ระดับ มีความคงตัว ไม่เกิดการแยกชั้นของ ไฮสก็ดกับตัวทำละลายภายหลังการเก็บรักษาไว้ 1 คืน ส่งผลดีการนำมาพัฒนาเป็นฟิล์มเพราะลักษณะ ของฟิล์มที่ได้จะมีโครงสร้างที่แข็งแรงที่เกิด การกระจายของไฮสก็ดจนทั่วทั้งระบบของอิมัลชันและมีการเชื่อมโมเลกุลกันอย่างสมบูรณ์จนฟิล์มที่ได้มีความแข็งแรง นอกจากนี้สมบัติทางด้านเคมี- กายภาพ ของสารละลายอิมัลชันทั้ง 3 ระดับ มีค่าใกล้เคียงกับสารเคลือบผิวเชิงพาณิชย์ แสดงให้เห็นว่าสามารถ เป็นตัวแทนที่ดีในการนำมาศึกษาคุณภาพในลำดับต่อไป

กระบวนการขึ้นรูปฟิล์มเพื่อทำการทดสอบคุณภาพ แสดงในภาคผนวก ค.1 จากนั้นทำการศึกษา สมบัติบางประการของฟิล์มจากสารเคลือบผิวที่สำคัญได้แก่ ความหนาของฟิล์ม การดูดซับน้ำ สีของฟิล์ม สมบัติทางความร้อน ได้แก่ อุณหภูมิในการหลอมเหลว (T_m) สมบัติเชิงกล (Mechanical properties) ประกอบด้วย ความทนแรงดึง และการยืดตัว อัตราการซึมผ่านฟิล์มของไอน้ำ และ อัตราการซึมผ่านฟิล์มของก๊าซออกซิเจน ซึ่งผลการศึกษานำเสนอในลำดับต่อไป

4.5.1 ความหนาของฟิล์ม (Thickness)

ผลการทดสอบความหนาของฟิล์ม พบว่า มีค่าเพิ่มขึ้นตามความเข้มข้นของสารเคลือบผิว (10 20 และ 30% (w/v)) และมีค่าเท่ากับ 0.506 0.514 และ 0.524 mm ตามลำดับ ซึ่งไม่มีความ แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางด้านสถิติ ($p \leq 0.05$) (ตารางที่ 4.4) เนื่องจากภายในฟิล์มสารเคลือบผิว เมื่อผ่านกระบวนการทำแห้งแล้วจะมีส่วนของแข็งที่เป็นเนื้อของไฮสก็ดหลงเหลืออยู่ภายในโครงสร้าง

ของฟิล์ม ฟิล์มสารเคลือบผิวที่มีการเติมไฮสก็ดเพิ่มมากขึ้น ทำให้ปริมาณเนื้อของแข็งรวมอยู่จำนวน มากจึงส่งผลให้ความหนาของฟิล์มเพิ่มมากขึ้น สอดคล้องกับงานวิจัยของ โศรดา กนกพานนท์ และ คณะ (2555) ทำการขึ้นรูปฟิล์มจากสารเคลือบผิวเซลแล ค ที่มีสูตรส่วนผสมแตกต่างกัน พบว่า ฟิล์มสารเคลือบที่มีปริมาณของแข็งรวมสูงขึ้นมีผลทำให้ฟิล์มสารเคลือบผิวมีความหนาเพิ่มสูงขึ้น เมื่อพิจารณาความหนาของฟิล์มสารเคลือบผิวจากไฮสก็ดไบกะหล่ำปลีเปรียบเทียบกับความหนา ของฟิล์มสารเคลือบเชิงพาณิชย์ แสดงในตารางที่ 4.4 ทำให้คาดคะเนได้ว่าการถ่ายเทของก๊าซและ ไอน้ำซึมผ่านฟิล์มจากสารเคลือบผิวไฮไบกะหล่ำปลีจะเกิดขึ้นในอัตราที่ต่ำกว่า

ตารางที่ 4.4 ผลการศึกษาสมบัติบางประการของฟิล์ม

ชนิดของฟิล์ม	สมบัติบางประการของฟิล์ม									
	ความหนา (Thickne ss) (mm)	การดูดซับน้ำ (Water absorption) (g water/g solid)	สีของฟิล์ม			สมบัติทางความร้อน (Thermal properties)	สมบัติเชิงกล (Mechanical properties)		Water vapour transmission rate (g m ⁻² ·day)	Oxygen transmission rate (ml m ⁻² ·day)
			L*	a*	b*	Melting temperature: (T _m ; °C)	Tensile strength) (MPa)	Elongation (%)		
ฟิล์มจากไขสกัดจากใบ กะหล่ำปลี (Cabbage wax film: CB-Wax)										
CB-Wax-10%	0.506 ^A	1.226 ^B	3.241 ^A	1.316 ^C	1.356 ^C	40.625 ^C	0.259 ^C	164.143 ^A	377.28 ^A	2,035.441 ^A
CB-Wax-20%	0.514 ^A	1.300 ^A	2.655 ^B	2.547 ^B	2.529 ^B	41.918 ^B	0.372 ^B	149.367 ^B	360.96 ^A	1,619.213 ^B
CB-Wax-30%	0.524 ^A	1.335 ^A	1.490 ^C	3.427 ^A	3.191 ^A	51.985 ^A	0.473 ^A	129.201 ^C	239.04 ^B	1,338.689 ^B
ฟิล์มจากเซลแลค	0.10 ^ก	0.69 ^ก	-	-	-	119.38 ^ก	0.81 ^ก	95.48 ^ก	13.00 ^จ 17.21 ^ก	212,782.5-749,805 ^ก
ฟิล์มจากไขคาร์บูบา	0.15 ^ข	1.05 ^ก	60.35 ^ข	-4.70 ^ข	15.70 ^ข	82.90 ^ข	0.709 ^ข 1.050 ^ข	130.00 ^ข 133.64 ^ข	0.22-83.15 ^ข	38.16 ^ข 537,022.3- 992,985 ^ก
ฟิล์มจากไขผึ้ง	0.10 ^ก	1.02 ^ข	65.46 ^ข	-5.41 ^ข	17.11 ^ข	77-86 ^ข	2.30 ^ข	51.44 ^ข	0.76 ^ก	7,866.87 ^ข

ที่มา: ^กโครตา กนกพานนท์ และคณะ (2555); ^ขสุทธิลักษณ์ พงษ์นิสกุล และคณะ (2554); ^คSoradech et al. (2012); ^งWeller et al. (1998); ^จRodrigues et al. (2014); ^ฉVelickova et al. (2013); ^ชNavarro-Tarazaga et al. (2008); ^ซAbdul Haq et al. (2016); ^ญKlangmuang and Sothornvit (2016); หมายเหตุ: n=6; ตัวอักษรเหมือนกันคอลัมน์เดียวกัน (ของผลการทดลองที่ได้จากการศึกษา) หมายถึง ไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางด้านสถิติ ณ ระดับความเชื่อมั่น 95%

ตารางที่ 4.4 ผลการศึกษาสมบัติบางประการของฟิล์ม (ต่อ)

ชนิดของฟิล์ม	สมบัติบางประการของฟิล์ม									
	ความหนา (Thickness) (mm)	การดูดซับน้ำ (Water absorption) (g water/g solid)	สีของฟิล์ม			สมบัติทางความร้อน (Thermal properties)	สมบัติเชิงกล (Mechanical properties)		Water vapour transmission (g m ⁻² ·day)	Oxygen transmission rate (ml m ⁻² ·day)
			L*	a*	b*	Melting temperature: (Tm: °C)	Tensile strength (MPa)	Elongation (%)		
ฟิล์มจากไคโตซาน (Chitosan film)	0.114 ^d	1.21 ^d	94.24 ⁿ	3.42 ⁿ	12.25 ⁿ	328 ^d	13.40 ^d 19.60 ^d	20.70 ^d 42.38 ^d	6.70-1,146 ^{fl}	600.50 ⁿ
ฟิล์ม LDPE (Low density polyethylene)	0.065 ⁿ	-	-	-	-	112.57 ^{uu} 120 ⁿ	9.0-14.5 ^{uu} 6.27 ^u	90-800 ^{uu} 119.39 ^u	18.00 ⁿ	3,480.99 ⁿ 7,750 ^{uu}
ฟิล์มคาร์บอกซี เมทิล เซลลูโลส	0.94 ⁿ	1.257 ^o	58.26 ⁿ	-6.13 ⁿ	11.26 ⁿ	78.10 ^u	77.74 ^u	27.88 ⁿ	303.55 ⁿ	62.821 ⁿ
ฟิล์มไบเลเยอร์ (Bilayer film เช่น แก้วกัม และ แซน แทนกัม)	0.142 ^u	0.932 ^u	51.00 ^u	1.00 ^u	20.10 ^u	196.70 ^u	13.31-22.2 ^u	73.6-273 ^u	144.20 ⁿ	50.000 ^o

ที่มา: ^ฉCaner et al. (1998); ^ณValenzuela et al. (2013); ^ทCasariego et al. (2009); ^ณปิยพร แซ่หย่อง และคณะ (2556); ^ณKwon et al. (2002); ^ฉนิตยา ภูงาม (2556); ^ณณัฐดนัย หาญการสุจริต (2558); ^ฉGhanbarzadeh and Almasi (2011); ^ทTorres et al. (2012); ^ณสุชัยพรรณน เข้มแก้ว และ สุปราณี แก้วภิรมย์ (2559); ^ณRachtanapun and Rattanapanone (2011); ^ณOsorio et al. (2011); ^ณGuo et al. (2014); ^ณVelickova et al. (2015); ^ณWiler et al. (2000)

ตารางที่ 4.4 ผลการศึกษาสมบัติบางประการของฟิล์ม (ต่อ)

ชนิดของฟิล์ม	สมบัติบางประการของฟิล์ม									
	ความหนา (Thickness) (mm)	การดูดซับน้ำ (Water absorption) (g water/g solid)	สีของฟิล์ม			สมบัติทางความร้อน (Thermal properties) Melting temperature (Tm: °C)	สมบัติเชิงกล (Mechanical properties) Tensile strength (MPa)		Water vapour transmission (g m ⁻² ·day)	Oxygen transmission rate (ml m ⁻² ·day)
			L*	a*	b*		Elongation (%)			
ฟิล์มจากแป้งข้าวเจ้า (Rice flour film)	0.073 ^ท	1.42 ^ท	-	-	-	65-170 ^ท	1.23-2.69 ^ท 1.60 ^ก	3.68-14.78 ^ท 2.80 ^ก	306.11 ^ท	99.23 ^ท
ฟิล์มจากเจลาติน และ ไคโตซาน (Gelatin and Chitosan film)	0.174-0.243 ^ม	-	-	-	-	-	0.13-10.45 ^ม	11.90-233.60 ^ม	398.10 ^ม	990.95-1,000.10 ^ม
ฟิล์มเจลาตินผสม สมุนไพร (Gelatin and selected herbs film)	0.326 ^บ	-	43.33 ^บ	0.27 ^บ	1.6 5 ^บ	-	3.80-26.45 ^บ	10.63-44.58 ^บ	-	-
ฟิล์มยืด (Polyethylene film)	0.05 ^ร	-	-	-	-	109.2-110.9 ^ร	10.047- 15.514 ^ร	7.80-100 ^ร	20.29 ^ร	550 ^ร

ที่มา: ^ท สายารุณ มาตรวิจิตร (2554); ^ท Nithya et al. (2012); ^ก Amanda et al. (2009); ^ม อภิตา บุญศิริ และคณะ (2551); ^บ ผกาพรรณ นิมศิริพัฒนามกุล (2557); ^ร Kasirajan and Ngouajio (2012); ^อ ปูน คงเจริญเกียรติ และสมพร คงเจริญเกียรติ (2541)

4.5.2 การดูดซับน้ำ (Water absorption)

สมบัติทางด้านการดูดซับน้ำของฟิล์มคือการที่ฟิล์มสามารถอุ้มน้ำจากสภาวะแวดล้อมหรือบรรยากาศรวมทั้งน้ำที่ซึมผ่านออกมาจากผลิตภัณฑ์แล้วฟิล์มทำการดูดซับน้ำเก็บไว้ จากการทดลองการดูดซับน้ำของฟิล์มสารเคลือบผิวจากไฮสก็ดไบกะหล่ำปลี พบว่า มีแนวโน้มเพิ่มขึ้นตามความเข้มข้นของไฮสก็ดที่สูงขึ้น (10 20 และ 30% (w/v)) มีค่าเท่ากับ 1.226 1.300 และ 1.335 g water/g solid ตามลำดับ โดยมีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางด้านสถิติ ($p \leq 0.05$) (ตารางที่ 4.4) เนื่องจากภายในชั้นของฟิล์มที่มีไฮสก็ดปริมาณเพิ่มขึ้นโมเลกุลของไฮสก็ดสามารถเชื่อมจับกับโมเลกุลของสารละลายอิมัลซิไฟเออร์ได้มากขึ้น ทำให้ภายหลังกระบวนการทำแห้งที่มีการระเหยน้ำออก ยังคงมีส่วนที่เป็นของแข็งของสารละลายอิมัลซิไฟเออร์ที่ผสมอยู่รวมกันกับเนื้อของไฮสก็ด จึงส่งผลให้สามารถดูดซับน้ำเข้าไปภายในโครงสร้างของฟิล์มได้ ทั้งนี้การดูดซับน้ำเกิดจากแรงยึดเหนี่ยวโมเลกุลของฟิล์มมีค่ามากกว่าแรงยึดเหนี่ยวโมเลกุลของน้ำจึงส่งผลให้เกิดปรากฏการณ์ที่น้ำถูกดูดซับเข้าไปภายในวัตถุของฟิล์มที่สัมผัส แล้วน้ำถูกอุ้มไว้ในโครงสร้างของฟิล์ม (Thakhiew et al., 2010)

ทั้งนี้เมื่อเปรียบเทียบปริมาณการดูดซับน้ำของฟิล์มจากไฮสก็ดไบกะหล่ำปลีมีค่าใกล้เคียงกับฟิล์มสารเคลือบผิวเชิงพาณิชย์ ได้แก่ ฟิล์มสารเคลือบผิวจากไคโตซาน และคาร์บอกซีเมทิลเซลลูโลส มีค่าเท่ากับ 1.21 และ 1.257 g water/g solid ตามลำดับ (ตารางที่ 4.4) (Velickova et al., 2013; Torres et al., 2006) เนื่องจากฟิล์มทั้ง 3 ชนิด เป็นองค์ประกอบที่ได้จากธรรมชาติและได้มีการเติมสารละลายอิมัลซิไฟเออร์เข้าในองค์ประกอบฟิล์มเช่นเดียวกันจึงอาจส่งผลให้มีค่าการดูดซับน้ำใกล้เคียงกัน ฟิล์มสารเคลือบผิวจากไคโตซานมีสมบัติที่ไม่สามารถละลายน้ำได้แต่มีความสามารถในการดูดซับน้ำได้ดีเพราะภายในโครงสร้างโมเลกุลของไคโตซานมีส่วนที่มีขั้วจึงสามารถจับกับโมเลกุลของน้ำและดูดซับน้ำเก็บไว้ อีกทั้งในกระบวนการพัฒนาฟิล์ม ไคโตซานได้มีการเติมกลีเซอรอลเข้าไปภายในฟิล์ม เนื่องจากกลีเซอรอลมีสมบัติที่สามารถดูดซับน้ำได้ดี (Khalid et al., 2008) นอกจากนี้ฟิล์มที่ขึ้นรูปจากสารเคลือบผิวจากคาร์บอกซีเมทิลเซลลูโลสมีความสามารถละลายน้ำได้ดี แต่ไม่สามารถดูดซับน้ำได้ เมื่อนำมาพัฒนาเป็นฟิล์มสารเคลือบผิวได้มีการเติมกลีเซอรอลเข้าด้วยจึงทำให้ฟิล์มดูดซับน้ำได้เพิ่มขึ้น (Hagenmaier, 2004)

4.5.3 คุณภาพด้านสี (Colour)

สีเป็นคุณลักษณะทางกายภาพแรกๆที่ผู้บริโภคให้ความสำคัญในการยืดอายุการเก็บรักษาด้วยการเคลือบผิวหน้าต้องคงความเป็นธรรมชาติของผักและผลไม้ไว้ จากการทดสอบค่าสีของฟิล์มที่พัฒนาจากสารเคลือบผิวไฮสก็ดจากไบกะหล่ำปลีที่มีความเข้มข้นของไฮสก็ด 3 ระดับ พบว่า ฟิล์มที่มีความเข้มข้นของไฮสก็ดเพิ่มสูงขึ้นมีแนวโน้มของค่าความสว่าง (L^*) ที่มีค่าลดลง โดยฟิล์มที่มีความเข้มข้นของไฮสก็ดในปริมาณต่ำ เช่น 10 และ 20% (w/v) มีค่า L^* อยู่ในช่วงที่สูง ซึ่งมีค่าเท่ากับ 3.241 และ 2.655 ตามลำดับ และฟิล์มที่มีความเข้มข้นไฮสก็ด 10 และ 20% (w/v) มีแนวโน้ม ค่าความเป็นสีแดง (a^*) และค่าความเป็นสีเหลือง (b^*) ที่ลดลง กล่าวคือ ฟิล์มที่มีความเข้มข้นไฮสก็ด 10% (w/v) มีค่า a^* เท่ากับ 1.316 และ ค่า b^* เท่ากับ 1.356 ในขณะที่ฟิล์มที่มีความเข้มข้นไฮสก็ด 20% (w/v) มีค่า a^* เท่ากับ 2.547 และ ค่า b^* 2.529 มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางด้านสถิติ ($p \leq 0.05$) (ตารางที่ 4.4) จากการสังเกตในระหว่างการทดลองพบว่า เมื่อนำส่วนผสมเข้ากับน้ำกลั่นจะทำให้สีของไฮสก็ดที่ดั้งเดิมมีสีน้ำตาลเข้มเกิดการเจือจาง ส่งผลให้สีของไฮสก็ดอ่อนลง

และทำให้มีค่าความสว่างที่เพิ่มสูงขึ้น แต่ความเป็นสีแดงและสีเหลืองมีค่าลดลง เมื่อพิจารณาฟิล์มที่มีความเข้มข้นไฮสกัต 30% (w/v) แสดงให้เห็นว่ามีค่า L^* เท่ากับ 1.490 ซึ่งมีค่าความสว่างอยู่ในระดับที่ต่ำ อีกทั้งยังส่งผลให้ฟิล์มที่ได้มีค่า a^* และ ค่า b^* อยู่ในระดับที่สูง โดยค่า a^* เท่ากับ 3.427 และค่า b^* เท่ากับ 3.191 (ตารางที่ 4.4) ฟิล์มที่ได้มีลักษณะเป็นสีน้ำตาลเข้ม แม้จะมีการผสมเจือจางกับน้ำกลั่นแต่สีของสารเคลือบผิวหน้ายังมีสีน้ำตาลเข้ม

เมื่อนำฟิล์มสารเคลือบผิวจากไฮสกัตไบกะหล่ำปลีมาเปรียบเทียบกับฟิล์มสารเคลือบผิวเชิงพาณิชย์ พบว่า ฟิล์มจากไฮสกัตไบกะหล่ำปลี มีลักษณะสีน้ำตาล และมีค่าความสว่างที่ต่ำกว่า (ตารางที่ 4.4) การที่ฟิล์มสารเคลือบผิวเชิงพาณิชย์มี ค่าความสว่างที่สูง และสีของฟิล์มมีแนวโน้มไปในสีเหลืองอ่อน และสีขาวใส เนื่องจากไฮสกาธรรมชาติที่นำมาพัฒนาเป็นฟิล์มสารเคลือบผิวส่วนมากมีโทนสีเป็นสีเหลืองอ่อน เช่น ไข่ฝิ่ง คาร์บอกซิล เมทิล เซลลูโลส เจลาติน และคาร์บูบาร์ แวกซ์ สีขาว เช่น ไคโตซาน นอกจากนี้ กระบวนการสกัดไฮสกาธรรมชาติ เหล่านี้ ต้องผ่านกระบวนการฟอกสี โดยการใช้สารดูดซับสีด้วยสารดูดซับ ประเภท ดินเหนียวกัมมันต์ (Bleaching clay) ถ่านกัมมันต์ (Acitated clay หรือ Activated carbon) สารดูดซับเหล่านี้มีส่วนช่วยดูดซับสิ่งปนเปื้อนอื่นๆได้ช่วยให้ได้ไฮสกัตที่ได้บริสุทธิ์มากขึ้น (พุทธชาติ แก้วแดง , 2544) จึงส่งผลให้ฟิล์มที่ได้มีลักษณะมีค่าความสว่างที่เพิ่มขึ้นและมีสีเหลืองอ่อน

4.5.4 สมบัติทางความร้อน

สมบัติทางความร้อนมีผลต่อคุณลักษณะทางด้านกายภาพของฟิล์มสารเคลือบผิว สมบัตินี้บ่งบอกถึงสถานะของฟิล์มสารเคลือบผิวกับอุณหภูมิในการใช้งานที่จะส่งผลต่อการเก็บรักษาผลผลิตภายหลังการเคลือบผิว หากเก็บรักษาในอุณหภูมิที่เหมาะสมช่วยคงสถานะของสารเคลือบผิวไว้ (Chambi and Grosso, 2006; อภิธา บุญศิริ และคณะ , 2551) สมบัติทางความร้อนที่ศึกษาในงานวิจัยนี้ คือ อุณหภูมิในการหลอมเหลว (T_m) คือ อุณหภูมิที่ทำให้สายโซ่โพลิเมอร์ส่วนที่เป็นผลึก (Crystalline region) สามารถเคลื่อนไหวได้จนเกิดการหลอมตัว (Molten state) (Jinaphan, 2012; Chambi and Grosso, 2006)

เมื่อพิจารณาผลการศึกษาอุณหภูมิ T_m ของฟิล์มสารเคลือบผิวไฮสกัตจากไบกะหล่ำปลี พบว่า ค่า T_m มีแนวโน้มเพิ่มสูงขึ้นเมื่อปริมาณของไฮส กัตเพิ่มสูงขึ้น และมีค่าเท่า 40.625 41.918 และ 51.985°C ตามลำดับของความเข้มข้น ซึ่งมีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางด้านสถิติ ($p \leq 0.05$) (ตารางที่ 4.4) เมื่อเปรียบเทียบค่า T_m ของฟิล์มสารเคลือบผิวจากไฮสกัตไบกะหล่ำปลีกับสารเคลือบผิวเชิงพาณิชย์ แสดงให้เห็นว่ามีค่า T_m ต่ำกว่าฟิล์มสารเคลือบผิวเชิงพาณิชย์ (ตารางที่ 4.4) เนื่องจากไฮสกัตจากไบกะหล่ำปลีมีองค์ประกอบไขมันหลายชนิดรวมตัวกันอยู่ภายใน หากพิจารณาจากลักษณะภายนอกแสดงให้เห็นว่าจัดอยู่ ในกลุ่มกรดไขมันชนิดอิ่มตัว เพราะมีลักษณะเป็นของแข็งที่อุณหภูมิห้อง ประกอบไปด้วย กรดลอริก กรดไมริสติก กรดปาลมาติก และกรดสเตียริก ที่มีอุณหภูมิการหลอมเหลว เท่ากับ 44.2 53.9 63.1 และ 69.8°C จึงส่งผลให้จุดหลอมเหลวของฟิล์ม สารเคลือบผิวไฮสกัตจากไบกะหล่ำปลีมีค่า ในช่วงต่ำตามชนิดองค์ประกอบ ของไข (Gutierrez and Del Rio, 2003) ทั้งนี้ฟิล์มสารเคลือบผิวจากไฮสกัตไบกะหล่ำปลีมีค่า T_m ต่ำกว่าฟิล์มสารเคลือบ ผิวในเชิงพาณิชย์ เช่น ไคโตซาน ซึ่งมีค่า T_m เท่ากับ 328°C (ตารางที่ 4.4) เนื่องจากไคโตซานมีโครงสร้างผลึกที่แข็งแรง ภาคอุตสาหกรรมได้เพิ่มสารพลาสติกไซเซอร์เข้ากับไคโตซานส่งผลให้การจัดเรียงโครงสร้างของ

โมเลกุลโคโธซานเป็นระเบียบเพิ่มขึ้น ผลึกที่เกิดขึ้นมีความแข็งแรงสูงมากจึงส่งผลให้สายโซ่โมเลกุลไม่สามารถเคลื่อนไหวได้จึงต้องมีใช้อุณหภูมิที่สูงมากในการหลอมเหลว (Lazaridou and Biliaderis, 2002) สอดคล้องกับรายงานการวิจัย Guo et al. (2014) ศึกษาอุณหภูมิการหลอมเหลวของฟิล์มไบเลเยอร์ ประกอบด้วย กัวกัม และ แชนแทนกัม พบว่า มีค่าเท่ากับ 196.70°C (ตารางที่ 4.4) เพราะฟิล์มไบเลเยอร์เป็นการทำงานร่วมกันของสารสกัด 2 ชนิด ซึ่งแซนแทนกัมมีลักษณะโครงสร้าง เป็นแบบกึ่ง เมื่อนำมาผสมกับกัวกัมที่มีคุณสมบัติเป็นสาร ละลายอิมัลซิไฟเออร์แล้วให้ความร้อนจึงทำให้โครงสร้างของแซนแทนกัมเกิดการจัดเรียงตัวใหม่ภายหลังจากระเหยตัวทำละลายออกส่งผลให้สายโซ่โมเลกุลภายในพอลิเมอร์มีผลึกที่แข็งแรง ดังนั้นการที่จะให้สายโซ่โมเลกุลส่วนที่ เป็นผลึกเคลื่อนไหวแล้วเกิดการหลอมเหลวต้องใช้อุณหภูมิที่สูงมาก (Hoque et al., 2011)

4.5.5 สมบัติเชิงกล (Mechanical properties)

4.5.5.1 ค่าความทนแรงดึง

จากการทดสอบค่าความทนแรงดึงของฟิล์มสารเคลือบผิวจากไซสกัต ไบกะหล่ำปลี จากตารางที่ 4.4 พบว่า ฟิล์มที่มีความเข้มข้นของไซสกัตเพิ่มขึ้นส่งผลให้ค่าการทนแรงดึง มีแนวโน้มเพิ่มขึ้นตามไปด้วย และมีค่าเท่ากับ 0.259 0.372 และ 0.473 MPa ตามลำดับของความเข้มข้นของสารละลาย โดยมีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางด้านสถิติ ($p \leq 0.05$) เนื่องจากปริมาณไซสกัตที่เพิ่มสูงขึ้นทำให้มีของแข็งที่ไม่ละลายน้ำได้คงอยู่ในพอลิเมอร์จำนวนมาก ประกอบกับการทำงานของสารละลายอิมัลซิไฟเออร์ ทำหน้าที่ในการเชื่อมโมเลกุลของไซสกัตให้จับกับตัวทำละลายให้มีการจัดเรียงตัวกันอย่างความหนาแน่นและเป็นระเบียบ จึงส่งผลให้สายโซ่โมเลกุลของพอลิเมอร์เกิดผลึกที่แข็งแรงและช่วยให้พันธะไฮโดรเจนระหว่างโมเลกุลของพอลิเมอร์มีความแข็งแรงเพิ่มขึ้นทำให้ค่าความทนแรงดึงขาดสูงขึ้น (Ebewe, 2000; Mali et al., 2005) เมื่อเปรียบเทียบกับฟิล์มสารเคลือบผิวเชิงพาณิชย์ พบว่า มีค่าทนแรงดึงที่ต่ำกว่าฟิล์มสารเคลือบ เชิงพาณิชย์ในทุกๆ ประเภท (ตารางที่ 4.4) เนื่องจากไซสกัตจากไบกะหล่ำปลีจากการสังเกตของผู้วิจัยพบว่าโครงสร้างผลึกมีความเปราะ แตกหักง่าย และไม่ทนแรงสัมผัส แต่ได้มีการเพิ่มสารละลายอิมัลซิไฟเออร์เข้าในองค์ประกอบจึงทำให้ฟิล์มมีโครงสร้างผลึกที่แข็งแรงมากขึ้นกว่า เดิม แต่ยังมีค่าความทนแรงดึงน้อยกว่าฟิล์มสารเคลือบผิวเชิงพาณิชย์

4.5.5.2 เปอร์เซนต์การยืดตัว

การทดสอบเปอร์เซนต์การยืดตัวของฟิล์มสารเคลือบผิวไซสกัตจากไบกะหล่ำปลี พบว่า เมื่อความเข้มข้นของไซสกัตเพิ่มขึ้นเปอร์เซนต์การยืดตัวมีค่าลดลง และมีค่าเท่ากับ 164.143 149.367 และ 129.201% ตามลำดับของความเข้มข้นสารเคลือบผิว มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางด้านสถิติ ($p \leq 0.05$) (ตารางที่ 4.4) เนื่องจากปริมาณของไซสกัตที่เพิ่มสูงขึ้นจะทำให้โครงสร้างโมเลกุลของสายโซ่เกิดผลึกที่แข็งแรงมากขึ้น แต่ฟิล์มมีความ เปราะ และแตกหักง่ายจึงทำให้มีเปอร์เซนต์การยืดตัวลดลง (Ebewe, 2000) หากนำมาเปรียบเทียบกับฟิล์มสารเคลือบผิวเชิงพาณิชย์ พบว่า ฟิล์มสารเคลือบผิวจากไซสกัตไบกะหล่ำปลีมีเปอร์เซนต์การยืดตัวสูงกว่าฟิล์มสารเคลือบผิวเชิงพาณิชย์ ทุกๆ ประเภท ยกเว้นฟิล์มสารเคลือบผิวที่มีความเข้มข้นไซสกัต 30% (w/v) มีค่าต่ำกว่าสารเคลือบผิวเชิงพาณิชย์ ชนิดคาร์บูนา (ตารางที่ 4.4) อาจเป็นผลต่อของปัจจัยหลายประการ เช่น ลักษณะของพอลิเมอร์ของไซที่ใช้ หรืออาจเป็นชนิดของอิมัลซิไฟเออร์ที่เติมลงไป

4.5.6 อัตราการซึมผ่านฟิล์มของไอน้ำ (Water vapour transmission: WVTR) และ ก๊าซออกซิเจน (Oxygen transmission rate; OTR)

จากการทดสอบอัตราการซึมผ่านฟิล์มที่ขึ้นรูปจากสารเคลือบผิวของไอน้ำ พบว่ามีค่าลดลงเมื่อความเข้มข้นของสารละลายเพิ่มขึ้น โดยค่า WVTR เท่ากับ 377.28 360.96 และ 239.04 g m⁻²·day ตามลำดับของสารละลาย เมื่อพิจารณาอัตราการซึมผ่านฟิล์มของก๊าซออกซิเจนพบว่า มีแนวโน้มที่เหมือนกันและมีค่าเท่ากับ 2,035.44 1,619.21 และ 1,338.68 ml m⁻²·day ตามลำดับของสารละลาย มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางด้านสถิติ (p≤0.05) (ตารางที่ 4.4) ปริมาณไซสกัตเพิ่มขึ้นส่งผลให้โครงสร้างมีความหนาแน่นภายในโครงสร้างพอลิเมอร์เพิ่มมากขึ้น ส่งผลให้ฟิล์มมีความหนาเพิ่มขึ้น (แสดงในหัวข้อที่ 4.5.1) และนำไปสู่การถ่ายโอนมวลของไอน้ำและก๊าซออกซิเจนเกิดขึ้นได้ในอัตราที่ต่ำจึงทำให้ค่า WVTR และ OTR มีค่าที่ต่ำลง

เมื่อเปรียบเทียบฟิล์มที่พัฒนาขึ้นกับฟิล์มสารเคลือบผิวเชิงพาณิชย์ แสดงให้เห็นว่าฟิล์มสารเคลือบผิวจากไซสกัตโบกะหล่ำปลีมีค่า WVTR สูงกว่าฟิล์มสารเคลือบผิวเชิงพาณิชย์ทุกประเภท (ตารางที่ 4.4) ในขณะที่เมื่อนำค่า OTR ของฟิล์มสารเคลือบผิวจากไซสกัตโบกะหล่ำปลีเปรียบเทียบกับฟิล์มสารเคลือบผิวเชิงพาณิชย์ แสดงในตารางที่ 8 พบว่ามีค่า OTR ต่ำกว่าฟิล์มสารเคลือบผิวเชิงพาณิชย์ ประเภท ฟิล์มเซลแลค คาร์บูบา ไชผิ้ง และ LDPE (ตารางที่ 4.4) เนื่องจากฟิล์มจากไซสกัตโบกะหล่ำปลีมีความหนาสูงกว่าฟิล์มในเชิงพาณิชย์ที่กล่าวมาข้างต้น จึงส่งผลให้ความต้านทานการซึมผ่านของก๊าซออกซิเจนที่ซึมผ่านฟิล์มมีค่าอยู่ในช่วงที่ต่ำ

4.5.7 สรุปการคัดเลือกความเข้มข้นของฟิล์มสารเคลือบผิว

ในงานวิจัยนี้ผู้วิจัยได้ทำการคัดเลือกฟิล์มสารเคลือบผิวที่มีองค์ประกอบไซสกัต ความเข้มข้น 10% (w/v) เพื่อนำไปศึกษาประสิทธิภาพของสารเคลือบผิวในการยืดอายุการเก็บรักษาของพริกหวาน (ผลการศึกษาแสดงในบทที่ 5 ลำดับต่อไป) โดยการคัดเลือกครั้งนี้ได้พิจารณาจากสมบัติของฟิล์มสารเคลือบผิว ได้แก่ ค่าสี (เช่น L* a* และ b*) เพราะฟิล์มสารเคลือบผิวที่มีความเข้มข้นไซสกัต 10% (w/v) มีค่าความสว่างที่สูง และมีแนวโน้มสีน้ำตาลอมเหลืองอ่อน ดังนั้นเมื่อนำมาเคลือบลงบนผิวหน้าของผักและผลไม้จึงทำให้สีของผักและผลไม้เปลี่ยนไปจากเดิม นอกจากนี้เพิ่มความมันวาวให้ผักและผลไม้ไม่รับประทานเป็นที่ยอมรับของผู้บริโภค ค่าการดูดซับน้ำของฟิล์มสารเคลือบผิวความเข้มข้นไซสกัต 10% (w/v) อยู่ในช่วงระดับต่ำ (1.226 g water/g solid) จึงส่งผลดีเมื่อนำไปเคลือบลงบนผิวหน้าของผักและผลไม้แล้วจะไม่เกิดการอุ้มน้ำที่ซึมผ่านออกมาจากภายในผลไม้ไว้ หากฟิล์มสารเคลือบผิวที่มีการดูดซับน้ำได้ สูงทำให้น้ำถูกดูดซับไว้ในฟิล์มแล้วส่งผลให้เกิดคุณลักษณะที่ไม่พึงประสงค์ เมื่อผู้บริโภครับประทานผักและผลไม้เข้าไปทำให้รับรู้ถึงความไม่เป็นที่ธรรมชาติของผักและผลไม้จนไม่เป็นที่ยอมรับ และทำให้เกิดการเจริญของเชื้อยีสต์-ราที่ส่งผลให้เกิดการเน่าเสียได้ (Arvanitoyannis et al. 1998)

นอกจากนี้ยังพิจารณาจากอัตราการซึมผ่านฟิล์มของไอน้ำ และก๊าซออกซิเจน โดยฟิล์มสารเคลือบผิวที่มีความเข้มข้นไซสกัตที่ 10% (w/v) อยู่ในระดับสูงกว่าความเข้มข้นอื่น ๆ ซึ่งผักและผลไม้เมื่อผ่านการเคลือบผิวยังมีความจำเป็นต้องมีการแลกเปลี่ยนไอน้ำและก๊าซออกซิเจนกับภายนอกสิ่งแวดล้อมอยู่ เพื่อเป็นการระบายความร้อนด้วยการคายน้ำออกและน้ำเกิดการซึมผ่านชั้นของฟิล์มออกมายังภายนอกสิ่งแวดล้อม และการแลกเปลี่ยนก๊าซออกซิเจนนำไปใช้ในกระบวนการหายใจ

เพื่อให้เกิดกระบวนการเมตาบอลิซึมต่อไป ดังนั้นฟิล์มสารเคลือบผิวจึงมีความจำเป็นต้องสามารถแลกเปลี่ยนไอน้ำและก๊าซออกซิเจนที่อยู่ในระดับที่เหมาะสม และสมบัติด้านต่าง ๆ มีค่าใกล้เคียงกับฟิล์มสารเคลือบผิวที่ใช้ในเชิงพาณิชย์ จึงจะไม่ส่งผลเสียต่อการเปลี่ยนแปลงทางด้านสรีรวิทยาของผักและผลไม้ภายหลังการเก็บเกี่ยว

ทั้งนี้เมื่อ พิจารณาสมบัติการยอมให้ออกซิเจนซึมผ่านฟิล์มที่ขึ้นรูปจากสารเคลือบผิว CB-wax ซึ่งมีเท่ากับ $2.40 \times 10^{-8} \text{ mol s}^{-1}$ (คำนวณ จากพื้นที่ผิวของฟิล์มเท่ากับ 0.024 m^2 หรือเป็นขนาดพื้นที่ผิวของพริกหวาน 1 ลูก) พบว่า มีค่าสูงกว่าอัตราการหายใจของพริกหวานที่เคลือบ ผิวด้วย CB-wax (3.30×10^{-9} – $7.73 \times 10^{-9} \text{ mol s}^{-1}$ คำนวณจากน้ำหนักเฉลี่ยของพริกหวาน 1 ลูก ซึ่งเท่ากับ 0.164 kg) ผลการเปรียบเทียบแสดงให้เห็นว่า ก๊าซออกซิเจนที่แพร่ผ่านฟิล์มของสารเคลือบผิวไปยังเนื้อเยื่อของพริกหวานมีปริมาณที่เพียงพอสำหรับการหายใจ ส่งผลให้พริกหวานมี กระบวนการหายใจแบบใช้ออกซิเจนโดยปกติ ผลการศึกษานี้สนับสนุนการใช้ประโยชน์ของสารเคลือบผิว CB-wax กับผักและผลไม้สด

4.6 สรุปประเด็นสำคัญ

ผลการศึกษาแสดงให้เห็นว่ากระบวนการสกัดที่เลือกใช้สามารถสกัดไขมันจากใบกะหล่ำปลีได้ ปริมาณที่พอเหมาะ ไขมันที่สกัดได้มีสมบัติทางเคมี และกายภาพที่คล้ายกับไขมันที่ใช้งานในเชิงพาณิชย์อื่น ๆ นอกจากนี้ยังสามารถพัฒนาต่อเป็นสารละลายอิมัลชันที่ไม่แยกชั้นและสามารถเคลือบและยึดผิวหน้าผักและผลไม้ได้ เมื่อทำการศึกษาสมบัติ ฟิล์มที่ขึ้นรูปจากสารละลายอิมัลชัน ความเข้มข้นต่าง ๆ พบว่ามีสมบัติที่ใกล้เคียงกับฟิล์มจากสารเคลือบผิวเชิงพาณิชย์หลายประเภทที่มีการใช้งานจริงอยู่ในปัจจุบัน ทั้งนี้ผู้วิจัยคัดเลือกลักษณะเคลือบผิวที่มีความเข้มข้น ของสารละลายเท่ากับ 10% (w/v) เพื่อนำไปศึกษาคุณภาพการเคลือบผิวของผักและผลไม้ต่อไป

บทที่ 5

ผลของสารเคลือบผิวหน้าสกัดจากไขใบกะหล่ำปลีต่อการเปลี่ยนแปลงคุณภาพของ พริกหวานระหว่างการเก็บรักษา

5.1 บทนำ

บทนี้นำเสนอผลของสารเคลือบผิวหน้าที่พัฒนาจากไขสกัดใบกะหล่ำปลี (สารเคลือบผิวหน้า CB-Wax) ต่อการเปลี่ยนแปลงคุณภาพของพริกหวานระหว่างการเก็บรักษา โดยเปรียบเทียบผลดังกล่าวกับการเคลือบผิวหน้าของพริกหวานสดด้วยสารเคลือบผิวโคโตซาน และการไม่เคลือบผิวหน้า (สิ่งทดลองควบคุม หรือ Control) เพื่อนำมาเป็นข้อมูลสนับสนุนสมบัติและศักยภาพเชิงพาณิชย์ของสารเคลือบผิวหน้า CB-Wax การศึกษาได้ใช้พริกหวานแป้นผลิตผลตัวอย่าง (Demonstrative produce) เนื่องจากมีมูลค่าทางการตลาดที่สูงและมีแนวโน้มที่จะเกิดการเสื่อมเสียได้ง่ายในสภาวะการเก็บรักษาที่ไม่เหมาะสม ผลการศึกษาได้นำเสนอในหัวข้อต่อไป

5.2 คุณภาพทางกายภาพ

5.2.1 ลักษณะปรากฏภายนอก

ลักษณะปรากฏภายนอกของผักและผลไม้สดเป็นสิ่งที่สามารถดึงดูดใจให้ผู้บริโภคให้มีความสนใจในตัวของผลิตภัณฑ์และเกิดการตัดสินใจเลือกซื้อไปบริโภค ลักษณะปรากฏที่สำคัญ ได้แก่ ลักษณะผิวหน้าโดยรวม รอยขีด การเหี่ยวเหี่ยว การเจริญของเชื้อยีสต์และรา (Plotto, 2004) จากการศึกษา ลักษณะปรากฏของพริกหวานสดที่ผ่านการเคลือบผิวด้วยสารเคลือบผิว CB-Wax เก็บรักษา ที่อุณหภูมิ 10°C เป็นเวลา 21 วัน พบว่า พริกหวานไม่มีการเปลี่ยนแปลงลักษณะปรากฏภายนอกที่แตกต่างจากวันที่ 0 (ตารางที่ 5.1 และ 5.2) แต่ภายหลัง 21 วัน ลักษณะปรากฏที่มีรอยเหี่ยวเหี่ยวบ้าง แต่ไม่มีรอยขีดและไม่มีการเจริญของเชื้อจุลินทรีย์ ผลการศึกษาดังกล่าวคล้ายคลึงกันกับพริกหวานที่ผ่านการเคลือบผิวด้วยโคโตซาน การเปลี่ยนแปลงของลักษณะภายนอกดังกล่าวเป็นผลจากสารเคลือบผิวที่มีสมบัติในการชะลอการซึมผ่านของไอน้ำและการแลกเปลี่ยนก๊าซ ดังนั้นจึงสามารถชะลอการสูญเสียน้ำและกระบวนการเมตาบอลิซึม นอกจากนี้ สารเคลือบผิวทำหน้าที่เพิ่มความแข็งแรงเป็นเกาะป้องกันบริเวณผิวหน้าของพริกหวานที่อาจเกิดการกระทบหรือสัมผัสกับภาชนะบรรจุ ทำให้ไม่เกิดรอยขีดได้ง่าย และทำหน้าที่ในการป้องกันการเจริญของเชื้อจุลินทรีย์จากการปนเปื้อนที่บริเวณผิวหน้า (Kader, 1983; Pen and Jiang, 2003) เมื่อเปรียบเทียบการเปลี่ยนแปลงคุณภาพของพริก

หวานที่เคลือบด้วย CB-Wax หรือโคโตซาน กับพริกหวาน สดที่ไม่ผ่านการเคลือบผิว พบว่า ภายหลังจากการเก็บรักษา 5 วัน พริกหวาน สดของสิ่งทดลองควบคุมเริ่มมีรอยซ้ำ ผิวหน้ามีการเหี่ยวยุบ ไม่มีความมันวาว และพริกหวานบางผลมีการเจริญของเชื้อจุลินทรีย์บริเวณซั้วผล และผิวหน้าบางส่วน (ตารางที่ 5.1 และ 5.2)

ผลของการเคลือบผิวหน้าที่ช่วยชะลอการเปลี่ยนแปลงคุณภาพของลักษณะปรากฏ สอดคล้องกับงานวิจัยอื่นๆ เช่น Abad-Ullah et al. (2017) รายงานว่า การเคลือบผิวหน้าพริกหวาน สดด้วยสารเคลือบผิวกัมอะราบิก 12% (w/v) ช่วยชะลอการเปลี่ยนแปลงลักษณะภายนอกของ พริกหวาน สดได้ โดยเฉพาะชะลอการเหี่ยวยุบของผิวหน้า และ การเจริญของเชื้อจุลินทรีย์ที่ส่งผลต่อ การเน่าเสียของพริกหวาน สดภายหลังการเก็บรักษาได้ สอดคล้องกับรายงานของ Baldwin et al. (1999) ที่ได้ศึกษาการเคลือบผิวมะม่วงด้วยสารเคลือบผิวคาร์นูบาร์แว็กซ์ และไฮดรอกซิลโพรพิล เซลลูโลสที่มีความเข้มข้นไฮสกัด 5 และ 10.8% (w/v) ตามลำดับ พบว่า การเคลือบผิวหน้ามะม่วง ด้วยสารเคลือบผิวทั้ง 2 ประเภท สามารถชะลอการเปลี่ยนแปลงลักษณะภายนอก เช่น การเหี่ยว การเกิดรอยซ้ำ และการเจริญของเชื้อจุลินทรีย์ได้ วาสนา พิทักษ์พล และคณะ (2553) รายงานว่า ลองกองที่ผ่านการเคลือบผิวหน้าด้วยสารละลายไคโตซาน ที่ระดับความเข้มข้น 0.25 และ 0.5% (w/v) มีแนวโน้มช่วยลดการเหี่ยว การเกิดสีน้ำตาลบริเวณเปลือกนอก และผิวเนื้อภายในผล รวมทั้ง ช่วยลดการเน่าเสียของผลลองกอง ที่เกิดจากการเข้าทำลายของเชื้อจุลินทรีย์ได้ เนื่องจากไคโตซานมี สมบัติในการต้านทานการเจริญของเชื้อจุลินทรีย์ โดยเข้าทำลายผนังเซลล์และขัดขวางการทำงานของ ทางเดินอาหารของเชื้อจุลินทรีย์ทำให้ไม่สามารถเจริญต่อได้

ตารางที่ 5.1 ผลการสังเกตลักษณะปรากฏภายนอกผิวหน้าของพริกหวานด้วยตาเปล่า ภายหลังการเก็บรักษา ที่ อุณหภูมิ 10°C เป็นเวลา 21 วัน

สิ่งทดลอง	ระยะเวลาในการเก็บรักษา (วัน)	ลักษณะปรากฏภายนอกผิวหน้าของพริกหวาน			การเจริญของเชื้อสี-รา
		จุดรอยชำ	ผิวหน้าเหี่ยวย่น	ความมันวาว	
พริกหวานไม่ผ่านการเคลือบผิวหน้า (Control)	0	-	-	S	-
	1	-	-	S	-
	3	-	-	S	-
	5	+	+	S	+
	7	+	+	S	+
	14	+	+	S	+
	21	+	+	S	+
พริกหวานเคลือบผิวหน้าด้วย CB-wax	0	-	-	-	-
	1	-	-	-	-
	3	-	-	-	-
	5	-	-	-	-
	7	-	-	-	-
	14	-	-	-	-
	21	-	+	+	-
พริกหวานเคลือบผิวหน้าด้วย Chitosan	0	-	-	-	-
	1	-	-	-	-
	3	-	-	-	-
	5	-	-	-	-
	7	-	-	-	-
	14	-	-	-	-
	21	-	+	-	-

หมายเหตุ: เครื่องหมาย + หมายถึง มีการเปลี่ยนแปลงอย่างชัดเจน เครื่องหมาย — หมายถึง ไม่มีการเปลี่ยนแปลงลักษณะอย่างชัดเจน และ สัญลักษณ์ S หมายถึง ไม่มีความมันวาว

ตารางที่ 5.2 ลักษณะภายนอกของพริกหวานที่ผ่านการเคลือบผิวหน้าและไม่ผ่านการเคลือบผิวหน้า เก็บรักษาที่ อุณหภูมิ 10°C ในระยะเวลาต่างๆ ของการเก็บรักษา 21 วัน

วันที่	พริกหวานไม่ผ่านการเคลือบผิวหน้า (control)	พริกหวานผ่านการเคลือบผิวหน้าด้วย CB-wax	พริกหวานผ่านการเคลือบผิวหน้าด้วย Chitosan
1			
3			
5			

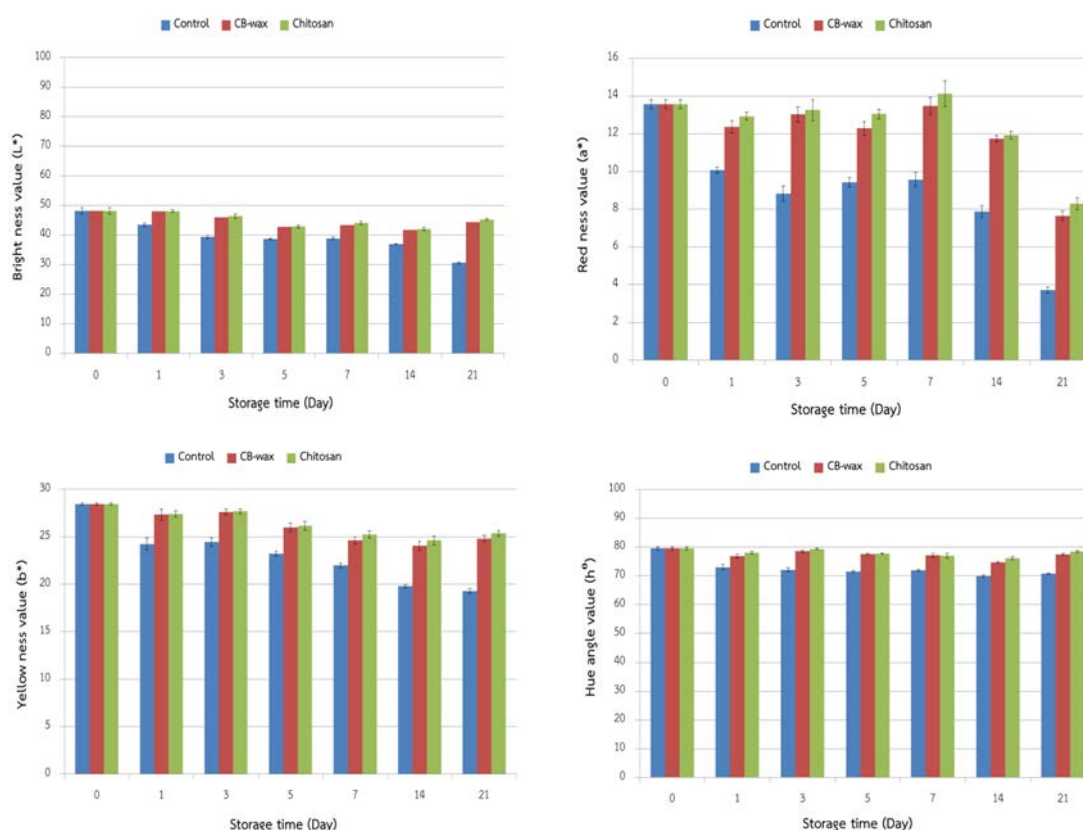
ตารางที่ 5.2 ลักษณะภายนอกของพริกหวานที่ผ่านการเคลือบผิวหน้าและไม่ผ่านการเคลือบผิวหน้า เก็บรักษาที่ อุณหภูมิ 10°C ในระยะเวลาต่างๆ ของการเก็บรักษา 21 วัน (ต่อ)

วันที่	พริกหวานไม่ผ่านการเคลือบผิวหน้า (control)	พริกหวานผ่านการเคลือบผิวหน้าด้วย CB-wax	พริกหวานผ่านการเคลือบผิวหน้าด้วย Chitosan
7			
14			
21			

5.2.2 การเปลี่ยนแปลงสี

สีเป็นลักษณะภายนอกของผักและผลไม้ที่บ่งบอกถึงดัชนีบ่งชี้ความอ่อน -แก่ของผักหรือผลไม้ชนิดนั้น ๆ สีเปลือกมีสี วนช่วยในการดึงดูดความน่าสนใจให้น่ารับประทานทำให้ผู้บริโภคตัดสินใจซื้อผลิตภัณฑ์ (Nigel et al., 1997; สถาพร คำหอม, 2559) ผลการศึกษาแสดงให้เห็นว่าภาพรวมของการเปลี่ยนแปลงสีพริกหวานสดในทุกสิ่งทดลอง คือ ค่าความสว่าง (L^*) ของพริกหวานสดที่เคลือบผิวด้วย CB-wax หรือ ไคโตซานมีแนวโน้มคงที่ตลอดอายุการเก็บรักษา (มีค่าอยู่ในช่วง 45.0-46.0) แต่ค่า L^* ของพริกหวานสดที่ไม่ได้เคลือบผิวมีค่าเฉลี่ยที่ลดลงอย่างชัดเจนภายหลังการเก็บรักษา 14 วัน (ภาพที่ 5.1) ค่า a^* มีค่าลดลงอย่างต่อเนื่องตลอดการเก็บรักษา แต่ค่า a^* ของพริกหวานสดที่ไม่ได้เคลือบผิวมีค่าลดลงมากกว่าอย่างเห็นได้ชัดเมื่อเปรียบเทียบกับค่า a^* ของพริกหวานสดที่เคลือบผิวด้วย CB-Wax หรือไคโตซาน (ภาพที่ 5.1) ในขณะที่ค่า b^* ของพริกหวาน สดที่เคลือบผิวด้วย CB-Wax หรือ ไคโตซานลดลงภายในช่วง 5 วันแรก จากนั้นจะคงที่ตลอดอายุการ เก็บรักษา (ค่า b^* ในสภาวะคงที่อยู่ในช่วง 28.0-24.9) ในขณะที่ค่า b^* ของพริกหวาน สดที่ไม่ได้เคลือบผิวมีค่าลดลงอย่างต่อเนื่องเมื่อพิจารณาค่า hue angle (h°) พบว่ามีแนวโน้มที่จะคงที่ แต่ค่า h° ของพริกหวาน สดที่ไม่ได้เคลือบผิวมีค่าเฉลี่ยต่ำกว่าค่าเฉลี่ยของ h° ของพริกหวานสดเคลือบผิวด้วย CB-Wax หรือไคโตซาน (ภาพที่ 5.1)

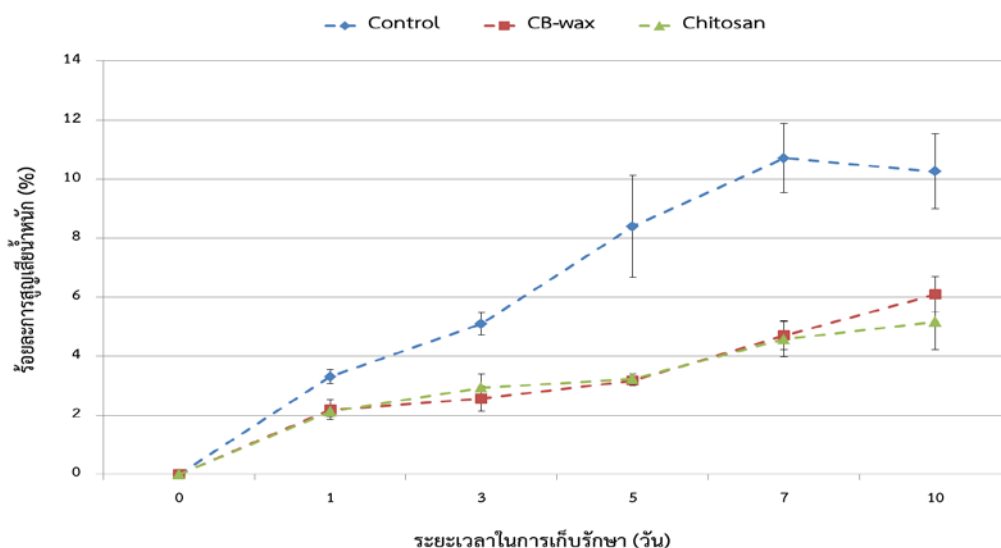
ผลการศึกษาข้างต้นแสดงให้เห็นว่าการเคลือบผิวสามารถชะลอการเปลี่ยนแปลงสีของพริกหวาน สดได้ นอกจากนี้สารเคลือบผิวมีส่วนช่วยเพิ่มความสว่าง และความมันวาวให้แก่ผิวหน้าของพริกหวาน สด เนื่องจากสาร เคลือบผิวทำหน้าที่จำกัดการแลกเปลี่ยนก๊าซออกซิเจน จึงส่งผลให้กระบวนการเมตาบอลิซึมของพริกหวาน สดที่สามารถทำให้ สารกลุ่มแคโรทีนอยด์ให้เปลี่ยนสี (เช่น จากสีเหลืองไปเป็นสีน้ำตาล) เกิดขึ้นในอัตราที่ช้าลง (Marty and Berset, 1990; Trebitsh et al., 1993) จึงทำให้สีของพริกหวาน สดยังคงความเป็นสีเหลืองที่มากกว่าพริกหวาน สดที่ไม่เคลือบผิว จากการศึกษาของ Abad-Ullah et al. (2017) รายงานว่า การเคลือบผิวหน้า ของพริกหวานด้วยสารเคลือบผิว เจลวุ้นทางจระเข้ ความเข้มข้น 4-6% (w/v) และ กัมอะราบิก ความเข้มข้น 6-12% (w/v) เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 8°C เป็นเวลา 24 วัน พบว่า การเคลือบผิวส่งผลให้พริกหวาน สดมีค่า L^* และความมันวาวที่เพิ่มขึ้น นอกจากนี้ค่า a^* และค่า b^* มีแนวโน้มเพิ่มขึ้นตามระยะเวลาในการเก็บรักษา ซึ่งสอดคล้องกับผล การศึกษานี้ ในทำนองเดียวกัน Lerdthanangkul and Krochta (1996) รายงานว่า การเคลือบผิวหน้าพริกหวานสดสีเขียวด้วยสารเคลือบผิวเวย์โปรตีนไอโซเลต (Whey protein isolate) ความเข้มข้นเวย์โปรตีน 10 (w/v) และโซเดียมคาร์ซีเนตผสมไขผึ้ง (Sodium caseinate mixed with beeswax) โซเดียมคาร์ซีเนต ความเข้มข้น 10% (w/v) ต่อ ไขผึ้ง ความเข้มข้น 30% (w/v) เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 10°C เป็นเวลา 20 วัน พบว่า พริกหวาน สดสีเขียวที่ผ่านการเคลือบผิวหน้าในทุกสิ่งทดลองไม่เกิดการเปลี่ยนแปลงค่าสี จากการศึกษาของ วาสนา พิทักษ์พล และคณะ (2558) รายงานว่า มะนาว สดที่เคลือบผิวหน้าด้วยสารเคลือบผิวคาร์บอกซีเมทิลเซลลูโลส ที่ความเข้มข้น 0.5-2.0% (w/v) มีการเปลี่ยนแปลงค่าสีของมะนาว สดที่ช้ากว่ามะนาว สดที่ไม่ผ่านการเคลือบผิว ซึ่งมีการเปลี่ยนแปลงสีเป็นสีเหลืองได้อย่างรวดเร็วและไม่เป็นที่ยอมรับ ของผู้บริโภค



ภาพที่ 5.1 การเปลี่ยนแปลงค่าสี L* a* b* และ h° ของพริกหวานสด เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 10°C ในระยะเวลาต่างๆเป็นเวลา 21 วัน (ค่า average $\pm$ standard error; n=18)

5.2.3 การสูญเสียน้ำหนักของพริกหวานสด

การสูญเสียน้ำหนักของพริกหวานสดเกิดจากการสูญเสียไอน้ำในระหว่างการเก็บรักษา เป็นสาเหตุสำคัญที่ส่งผลต่อการสูญเสียมูลค่าทางการตลาด การนำสารเคลือบผิวมาช่วยในการชะลอการสูญเสียน้ำหนักจึงเป็นอีกทางเลือกหนึ่งที่สามารถแก้ไขปัญหานี้ได้ โดยสารเคลือบผิวภายหลังการเคลือบลงบนผิวหน้าของพริกหวานสดแล้วเกิดการฟอร์มตัวเป็นฟิล์มบางคลุมบริเวณปากใบส่งผลให้ไอน้ำ หรือ ความชื้นที่อยู่ภายในผลผลิตแพร่ผ่านออกมาสู่ภายนอกสิ่งแวดล้อมได้ในระดับต่ำจึงส่งผลให้การสูญเสียน้ำหนักของผลผลิตเกิดขึ้นได้ในระดับต่ำ (Watada and Qi, 1999) ผลการศึกษาแสดงให้เห็นว่าพริกหวานสดทุกสิ่งทดลองมีแนวโน้มการสูญเสียน้ำหนักเพิ่มขึ้นตลอดเวลา แต่ร้อยละการสูญเสียน้ำหนักของพริกหวานที่เคลือบผิวหน้าด้วย CB-Wax หรือไคโตซานมีค่าต่ำกว่าพริกหวานที่ไม่เคลือบผิวหน้าอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$) (ภาพที่ 5.2) การเปลี่ยนแปลงดังกล่าวเป็นผลเนื่องจากสารเคลือบผิวทำหน้าที่ในการเป็นอุปสรรคในการขัดขวางการซึมผ่านของน้ำที่อยู่ภายในผลของพริกหวานสดออกมาสู่ภายนอกสิ่งแวดล้อม ดังที่ได้อภิปรายในหัวข้อ 4.4.4 (Hagenmaier, 2002; Valverde et al., 2005) จึงส่งผลให้การสูญเสียน้ำหนักของพริกหวาน ที่ผ่านการเคลือบผิวเกิดขึ้นได้น้อยลง



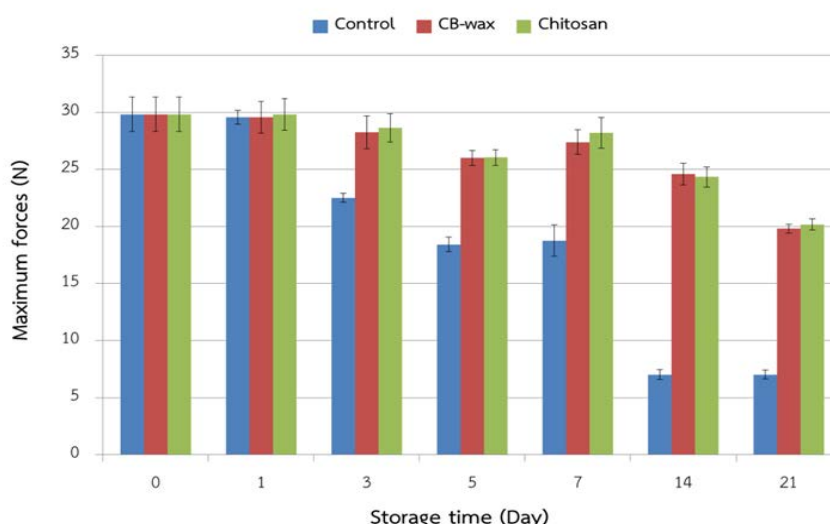
ภาพที่ 5.2 ¹ร้อยละการสูญเสียน้ำหนักของพริกหวานสดที่ผ่านการเคลือบผิวหน้าด้วย CB-wax และไคโตซาน (Chitosan) เปรียบเทียบกับพริกหวานสดที่ไม่ผ่านการเคลือบผิว (Control) เก็บรักษาที่ อุณหภูมิ 10°C ในช่วงระยะเวลาต่างๆ เป็นเวลา 10 วัน (ค่า average $\pm$ standard error; n=6)

ผลการทดลองในการวิจัยนี้สอดคล้องกับการศึกษาที่รายงานในเอกสารอ้างอิง เช่น Abad-Ullah et al. (2017) รายงานว่า พริกหวาน สดที่ผ่านการเคลือบผิวด้วยเจลว่านหางจระเข้ หรือ กัมอะราบิก มีแนวโน้มการสูญเสียน้ำหนักในระดับที่ต่ำกว่าพริกหวาน สดที่ไม่ผ่านการเคลือบผิว ในขณะที่ Lerdthanangkul and Krochta (1996) รายงานว่า พริกหวาน สดที่ผ่านการเคลือบผิวด้วย สารเคลือบผิวโซเดียมคาร์บอเนต และโซเดียมคาร์บอเนตผสมไข่ผึ้ง มีแนวโน้มการสูญเสียน้ำหนักในระดับ ต่ำ (2.00-7.00%) ซึ่งมีค่าต่ำกว่าพริกหวาน สดสีที่เคลือบด้วย เวย์โปรตีน ไอโซเลต (3.00-10.10%) อาจเนื่องจากสารเคลือบผิวเวย์โปรตีน ไอโซเลตมีความเปราะ แตกหักง่ายจึงส่งผลให้ในระหว่าง การเก็บรักษาเคลือบผิวที่เคลือบอยู่บริเวณผิวหน้าของพริกหวาน สดหลุดลอกไปจึงส่งผลให้มีการ สูญเสียน้ำหนักที่เพิ่มสูงขึ้นใกล้เคียงกับพริกหวาน สดที่ไม่ผ่านการเคลือบผิว (3.00-9.80%) ทั้งนี้ วาสนา พิทักษ์พล และคณะ (2558) รายงานผลการสูญเสียน้ำหนักของ มะนาวที่เคลือบผิวหน้าด้วย สารเคลือบผิวคาร์บอกซีเมทิลเซลลูโลส พบว่า มะนาวที่ผ่านการเคลือบผิวในทุกสิ่งทดลองมีการสูญเสีย น้ำหนักในระดับที่ต่ำกว่ามะนาวสดที่ไม่ผ่านการเคลือบผิว

¹ การศึกษาอัตราการสูญเสียน้ำหนัก อัตราการหายใจ และความเข้มข้นของก๊าซออกซิเจน และคาร์บอนไดออกไซด์ภายใน ได้มีการเก็บรักษาและทดสอบ บคุณภาพเป็นระยะเวลา 10 วัน เนื่องจากเครื่อง วัดและวิเคราะห์ความเข้มข้น ก๊าซออกซิเจนและคาร์บอนไดออกไซด์ MAP test ที่คณะเกษตรศาสตร์ มหาวิทยาลัยอุบลราชธานี เกิดขัดข้องไม่สามารถ ดำเนินงานได้ ผู้วิจัยจึงมีความจำเป็นต้องไปทำการทดสอบที่ ศูนย์เทคโนโลยีโลหะและวัสดุแห่งชาติ (MTEC) จากผลการทดสอบ พบว่า ภายหลังจากเก็บรักษา 7-10 วัน ความเข้มข้น ก๊าซเข้าสู่สภาวะคงที่ (steady-state) สภาวะความเข้มข้นของก๊าซดังกล่าวแสดงให้เห็นว่าอัตราแลกเปลี่ยนก๊าซผ่านผิวของพริกหวานเท่ากับอัตราการใช้ออกซิเจน หรือการผลิต ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ ผู้วิจัยจึงได้คาดคะเนว่าระดับความเข้มข้นของก๊าซทั้งสองในวันที่ 14 และ 21 จะมีค่าใกล้เคียงหรือเท่ากับค่าที่วัดได้ในวันที่ 10 เนื่องจากอัตราการหายใจของ พริกหวานที่ 10°C มีค่าที่ไม่สูงมาก (ผลแสดงในหัวข้อต่อไปในบทนี้) กรอบกับระยะเวลาในการใช้เครื่องมือในห้องปฏิบัติการที่ MTEC มีจำกัด ดังนั้นผู้วิจัยจึงไม่ได้ดำเนินการวัดก๊าซ ในวันที่ 14 และ 21 ตามสาเหตุและข้อจำกัดที่ได้นำเสนอข้างต้น

5.2.4 ความแน่นเนื้อของพริกหวานสด

ลักษณะความแน่นเนื้อเป็นดัชนีที่บ่งบอกถึงการเปลี่ยนแปลงทางด้านสรีรวิทยาของผักหรือผลไม้ เช่น การสุก ผลิตผลบางชนิดมีความจำเป็นต้องรักษาความแน่นเนื้อไว้ในระหว่างการเก็บรักษาตามความต้องการของผู้บริโภค ทั้งนี้กระบวนการสุก การสูญเสียน้ำ และการเน่าเสียส่งผลต่อความแน่นเนื้อของผลิตผล รวมทั้งพริกหวาน มะนาว และกระเจี๊ยบเขียว (McGuire and Hallman, 1995) ผลการทดสอบการเปลี่ยนแปลงความแน่นเนื้อของพริกหวาน สดในระหว่างการเก็บรักษาพบว่า ความแน่นเนื้อ (แสดงโดยค่าแรงสูงสุด หรือ Maximum force) มีแนวโน้มลดลง แต่การเปลี่ยนแปลงความแน่นเนื้อของพริกหวานสดที่ผ่านการเคลือบผิวด้วย CB-Wax หรือไคโตซานมีการเปลี่ยนแปลงน้อยกว่า (มีค่าเฉลี่ยอยู่ในช่วง 26.00-20.00 N) การเปลี่ยนแปลงของพริกหวาน สดที่ไม่ได้เคลือบผิวหน้า (มีค่าเฉลี่ยอยู่ในช่วง 18.00-6.00 N (ภาพที่ 5.3) แนวโน้มการเปลี่ยนแปลงเนื้อสัมผัสนี้สอดคล้องกับการสูญเสียน้ำหนัก (หัวข้อ 5.2.3) อันสืบเนื่องจากสารเคลือบผิวทำหน้าที่ในการชะลอการสูญเสียน้ำ และจำกัดการแลกเปลี่ยนก๊าซทำให้พริกหวานมีอัตราการหายใจเข้าสู่สภาวะการชรา หรือการสุกได้ช้าลง (Elsheshetawy et al., 2016)



ภาพที่ 5.3 การเปลี่ยนแปลงความแน่นเนื้อของพริกหวานสดที่ผ่านการเคลือบผิวหน้าด้วย CB-wax และ ไคโตซาน เปรียบเทียบกับพริกหวานสดที่ไม่ผ่านการเคลือบผิว เก็บรักษาที่ อุณหภูมิ 10°C เป็นระยะเวลา 21 วัน (ค่า average $\pm$ standard error; n=18)

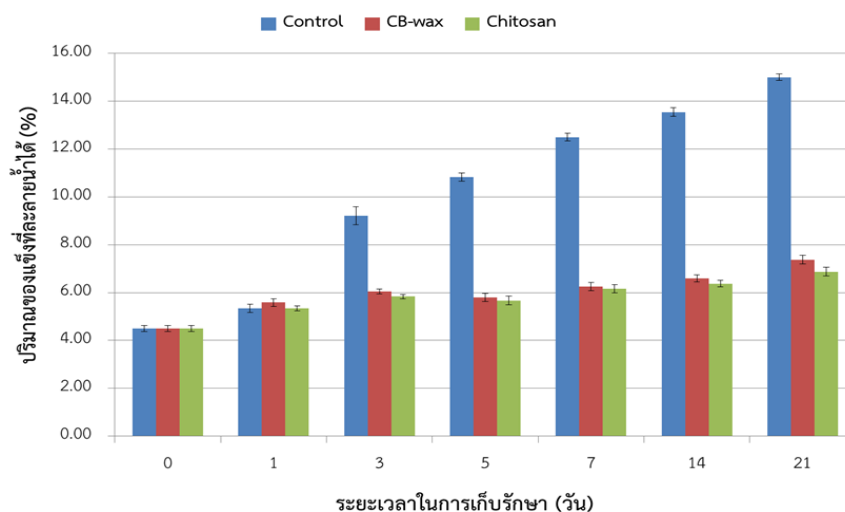
ผลการศึกษานี้สอดคล้องกับงานวิจัยที่รายงานเกี่ยวกับการชะลอการเปลี่ยนแปลงความแน่นเนื้อของพริกหวานด้วยสารเคลือบผิวอื่น ๆ เช่น สารเคลือบผิว เวย์โปรตีน ไอโซเลต และโซเดียมคาร์ซิเนตผสม กับไขผึ้ง (Lerdthanangkul and Krochta, 1996) ในการวิจัยของ อภิธา บุญศิริ และคณะ (2551) ซึ่งได้ทำการเคลือบผิวหน้าของเนื้อส้มโอด้วยสารเคลือบผิวที่พัฒนาจากไคโตซานผสมกับเจลาติน เก็บรักษาเป็นระยะเวลา 21 วัน พบว่า เนื้อส้มโอที่ผ่านการเคลือบผิวด้วย

สารเคลือบฟิวดังกล่าวมีความแน่นเนื้อสูง (5.27-5.56 N) มากกว่าเนื้อส้มโอที่ไม่ผ่านการเคลือบผิว (4.12-3.29 N) เนื่องจากสารเคลือบผิวลดการสูญเสียของเนื้อส้มโอได้จึงทำให้เกิดการอ่อนตัวของส้มโอได้ช้าลง ผลการศึกษาดังกล่าวสอดคล้องกับการวิจัยของ สมัคร แก้วสุกแสง และนพรัตน์ ทัดมาลา (2558) ผู้วิจัยได้ทำการทดสอบการเคลือบผิวเงาะ สต สายพันธุ์ โรงเรียน ด้วยสารเคลือบผิวซูโครสแฟตตี้แอซิด เอสเทอร์ (Sucrose fatty acid ester) ความเข้มข้น 0.5 และ 1.0% (w/v) ที่อุณหภูมิ 13°C เป็นเวลา 13 วัน พบว่า เงาะสตที่ผ่านการเคลือบผิวด้วยสารเคลือบที่ระดับความเข้มข้น เท่ากับ 1.0% (w/v) สามารถคงความแน่นเนื้อของเงาะ สตได้ในระดับสูง (7.97-7.03 N) กว่าเงาะสตที่ผ่านการเคลือบผิวด้วยความเข้มข้น 0.5% (w/v) และเงาะสตที่ไม่ผ่านการเคลือบผิว

5.3 คุณภาพทางด้านเคมี

5.3.1 ปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำได้ (Total soluble solid: %TSS)

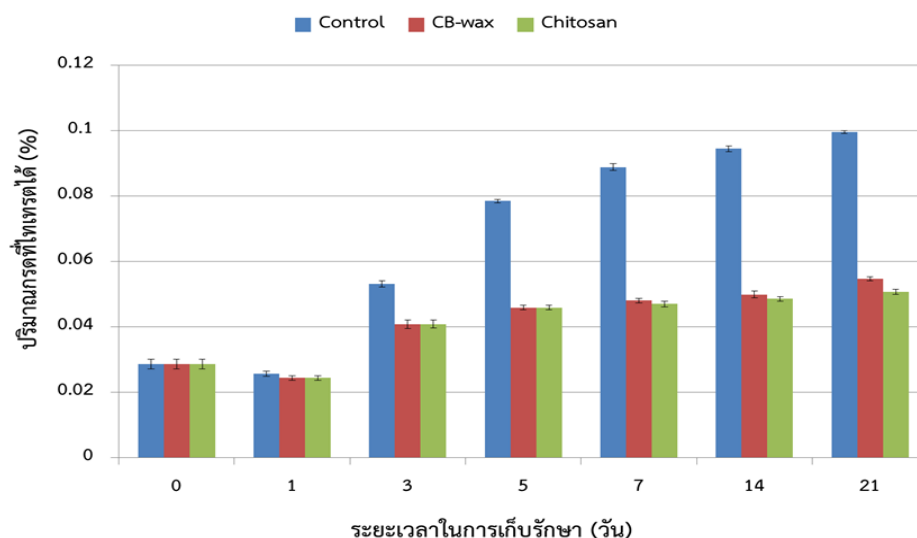
ปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำได้ (TSS) เป็นการศึกษาระยะการเปลี่ยนแปลงของผักและผลไม้เมื่อเข้าช่วงสุกหรือช่วงการสุก โดยมีการเปลี่ยนแปลงของแป้งที่ละลายน้ำไปเป็นน้ำตาลที่ละลายน้ำได้ (Trebitsh et al., 1993) ผลการศึกษาแสดงให้เห็นว่า พริกหวานสดที่เคลือบผิวหน้าด้วย CB-wax มีแนวโน้มของ TSS เพิ่มขึ้นเล็กน้อย มีค่าอยู่ในช่วง 5.8-7.2% ซึ่งมีค่าใกล้เคียงกันกับพริกหวานสดที่ผ่านการเคลือบผิวหน้าด้วยไคโตซาน ในขณะที่พริกหวานสดที่ไม่ผ่านการเคลือบผิวหน้ามีค่า TSS เพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่อง และสูงกว่าพริกหวาน สดที่เคลือบผิวหน้าด้วยสารเคลือบผิวทั้งสอง (5.8-14.8%) (ภาพที่ 5.4) การเปลี่ยนแปลงในพริกหวานสดที่เคลือบผิวเป็นผลเนื่องจากสารเคลือบผิวมีส่วนช่วยในการชะลอการแลกเปลี่ยนก๊าซระหว่างพริกหวาน สดกับสิ่งแวดล้อม ส่งผลให้พริกหวาน สดมีอัตราการหายใจที่ลดลง จึงเป็นผลให้กระบวนการเมตาบอลิซึมซึ่งเปลี่ยนแปลงไปเป็นน้ำ ตาลเกิดขึ้นได้ช้าลง (Sumnu and Bayindirli, 1994) ผลการวิจัยที่รายงานข้างต้นสอดคล้องกับการศึกษาของ Abad-Ullah et al. (2014) ซึ่งได้รายงานว่ปริมาณของแข็งที่ละลายได้ของพริกหวาน สดที่เคลือบผิวด้วยสารเคลือบผิว เจลวุ้นหางจระเข้ และกัมอะราบิก มีการเปลี่ยนแปลงค่า TSS ในระดับที่ต่ำกว่าพริกหวานที่ไม่ผ่านการเคลือบผิวหน้า ในทำนองเดียวกัน Gol et al. (2015) รายงานว่า มะเฟืองที่เคลือบผิวหน้าด้วยสารเคลือบผิวไคโตซานสามารถชะลอการเพิ่มขึ้นของค่า TSS ได้



ภาพที่ 5.4 ปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำได้ (แสดงในหน่วย %) ของพริกหวานสดที่ผ่านการเคลือบผิวหน้าด้วย CB-wax และ ไคโตซาน (Chitosan) เปรียบเทียบกับพริกหวานสดที่ไม่ผ่านการเคลือบผิว (Control) เก็บรักษาที่ อุณหภูมิ 10°C เป็นระยะเวลา 21 วัน (ค่า average $\pm$ standard error; n=18)

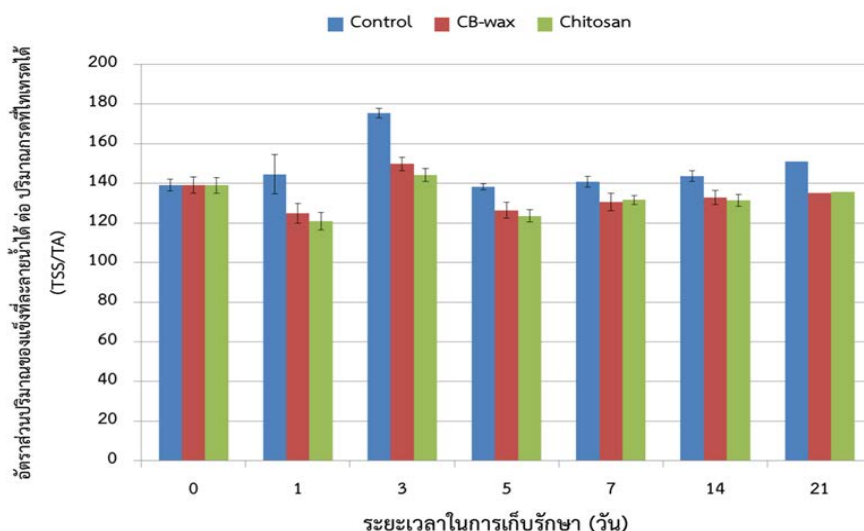
5.3.2 ปริมาณกรดที่ไทเทรตได้ (Titratable acidity; %TA)

กรดที่ไทเทรตได้ที่มักพบมากในผลิตผลภายหลังการเก็บเกี่ยวเป็นกรดอินทรีย์ (Organic acids) ซึ่งเป็นส่วนหนึ่งที่เกิดจากกระบวนการเมตาบอลิซึมของผักและผลไม้และเกี่ยวข้องกับกระบวนการหายใจ เนื่องจากกรดอินทรีย์ถูกสังเคราะห์ขึ้นมาในระหว่างการหายใจ ดังนั้น หากผลิตผลมีอัตราหายใจสูงส่งผลให้มีปริมาณกรดอินทรีย์สะสมอยู่ในเนื้อเยื่อจะสูงขึ้น (Kays, 1991) ผลการศึกษาแสดงให้เห็นว่า พริกหวานที่เคลือบ ผิวหน้าด้วย CB-wax หรือไคโตซาน มีการเพิ่มขึ้นของค่า TA เล็กน้อยตลอดระยะเวลาเก็บรักษาและมีค่าอยู่ในช่วง 0.03-0.05% ในขณะที่ ค่า TA ของพริกหวาน สดที่ไม่ได้เคลือบผิวมีค่าเพิ่มขึ้นสูงอย่างต่อเนื่องและอยู่ในช่วง 0.03-0.10% (ภาพที่ 5.5) การเปลี่ยนแปลงดังกล่าวเป็นผลจากการเคลือบผิวทำห น้ำที่ชะลอการเปลี่ยนแปลงก๊าซ ทำให้พริกหวาน สดมีอัตราการหายใจและเมตาบอลิซึมที่ต่ำลง (Vargas et al., 2008) จึงส่งผลให้ การสังเคราะห์กรดอินทรีย์ที่ถูกสะสมไว้ในเนื้อเยื่อของพริกหวาน สดที่ผ่านการเคลือบผิว หนามีค่าที่ เพิ่มขึ้นเพียงเล็กน้อย ผลการศึกษานี้สอดคล้องกับผลงานวิจัยของ วาสนา พัทธกษิพล และคณะ (2558) ที่ได้รายงานว่ มะนาว สดที่ผ่านการเคลือบผิว หนาดด้วยสารเคลือบ คาร์บอกซีเมทิล ซัลลูโลส มีค่า TA เพิ่มขึ้นเล็กน้อยตามระยะเวลาในการเก็บรักษา และมีค่าต่ำกว่ามะนาวสดที่ไม่ผ่านการเคลือบผิว



ภาพที่ 5.5 ปริมาณปริมาณกรดที่ไทเทรตได้ (แสดงในหน่วย %) ของพริกหวานสดที่ผ่านการเคลือบผิวหน้าด้วย CB-wax และ ไคโตซาน (Chitosan) เปรียบเทียบกับพริกหวานสดที่ไม่ผ่านการเคลือบผิว (Control) เก็บรักษาที่ อุณหภูมิ 10°C เป็นระยะเวลา 21 วัน (ค่า average $\pm$ standard error; n=18)

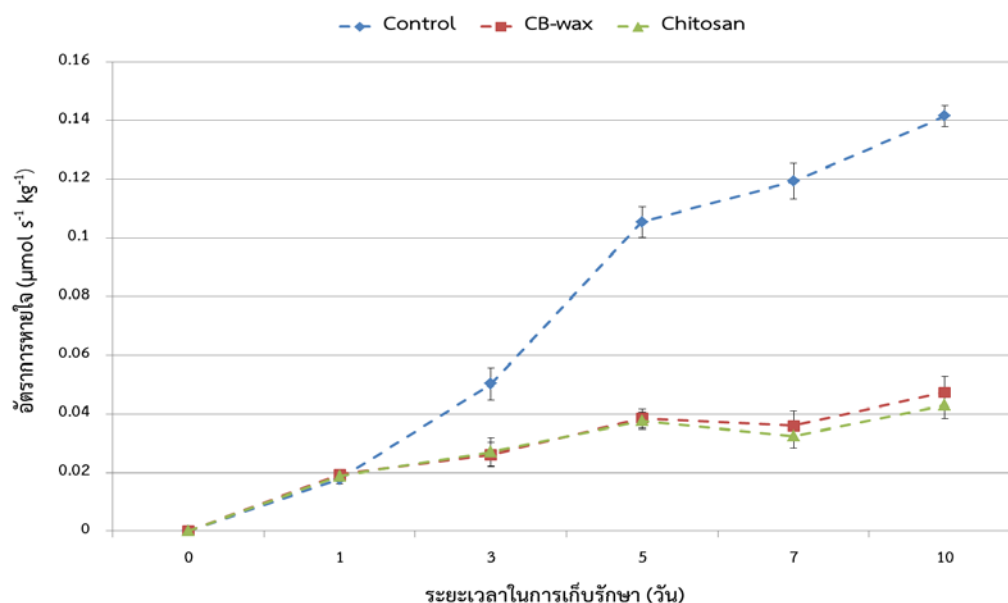
เมื่อศึกษาอัตราส่วนของปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำได้ต่อปริมาณกรดที่ไทเทรต (TSS/TA ratio) ได้ พบว่า อัตราส่วนดังกล่าวของพริกหวาน สดที่ผ่านการเคลือบผิว หน้าด้วยสารเคลือบผิว ชนิด CB-wax หรือไคโตซาน มีค่าลดลงเล็กน้อยในช่วง 3 วันแรกของการเก็บรักษา จากนั้นมีค่าคงที่ตลอดอายุการเก็บรักษาและมีค่าอยู่ในช่วง 140-130 ในขณะที่อัตราส่วน TSS/TA ของพริกหวานสดที่ไม่ได้ผ่านการเคลือบผิว หน้ามีแนวโน้มที่เหมือนกันแต่มีค่าที่สูงกว่าอัตราส่วนของพริกหวาน สดที่มีการเคลือบผิว ซึ่งมีค่าอยู่ในช่วง 140-150 (ภาพที่ 5.6) จากการศึกษาของ ศิริวรรณ ตั้งจิตวิบูลย์กุล และ พิระศักดิ์ ฉายประสาธ (2557) ได้ทำการทดสอบอัตราส่วน TSS/TA ของทุเรียนหลงลับแลที่เคลือบผิว ด้วยกัมมะฮาก ที่ระดับความเข้มข้น 2.5 และ 5.0% (w/v) เปรียบเทียบกับทุเรียนที่ไม่เคลือบผิว พบว่า ทุเรียนหลงลับแลที่ผ่านการเคลือบผิว หน้าด้วยสารเคลือบผิว ที่ระดับความเข้มข้น 5.0% (w/v) มีค่า TSS/TA มีค่าต่ำกว่า (74.96) ทุเรียนในสิ่งทดลองอื่นๆ เนื่องจากสารเคลือบผิวความเข้มข้น 5.0% สามารถชะลอการแลกเปลี่ยนก๊าซได้ดีกว่าสารเคลือบผิวความเข้มข้น 2.0% ในทำนองเดียวกัน ชมพูนุท บัวเฟื่อน และ ลดาวัลย์ เลิศเลอวงศ์ (2557) รายงานค่า มะนาวแป้น สดที่ผ่านการเคลือบผิวหน้าด้วยเจลวุ้นทางจระเข้มีอัตราส่วน TSS/TA ที่คงที่และอยู่ในช่วง 1.0-1.1 เนื่องจากสารเคลือบผิววุ้นทางจระเข้มีองค์ประกอบพอลิแซ็กคาไรด์ที่ทำหน้าที่ในการเป็น อุปสรรคในการกั้นการแพร่เข้า - ออกของก๊าซและความชื้น ดังนั้นมะนาวสดที่ผ่านการเคลือบผิว หน้าจึงไม่มีการเปลี่ยนแปลงคุณภาพที่ ช้ามาก (Athmasevi et al., 2013)



ภาพที่ 5.6 อัตราส่วนของปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำได้ ต่อ กรดที่ไทเทรตได้ ของพริกหวานสด ที่ผ่านการเคลือบผิวหน้าด้วย CB-wax และ ไคโตซาน เปรียบเทียบกับพริกหวานสด ที่ไม่ผ่านการเคลือบผิวหน้า เก็บรักษาที่ อุณหภูมิ 10°C เป็นระยะเวลา 21 วัน (ค่า average $\pm$ standard error; n=18)

5.3.3 อัตราการหายใจของพริกหวานสด (Respiration rate)

ผลการศึกษาพบว่า อัตราการหายใจของพริกหวาน สดที่ผ่านการเคลือบผิว หน้าด้วย CB-wax หรือไคโตซาน มีค่าที่เพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่องและไม่มี ความแตกต่างกัน ค่าเฉลี่ยของอัตราการหายใจของพริกหวาน สดที่เคลือบผิว ณ วันที่ 0 เท่ากับ $0.010 \mu\text{mol s}^{-1} \text{kg}^{-1}$ และ วันที่ 10 เท่ากับ $0.043 \mu\text{mol s}^{-1} \text{kg}^{-1}$ ในขณะที่ค่าเฉลี่ยของอัตราการหายใจของพริกหวาน สดที่ไม่มีการเคลือบผิวหน้ามีค่าที่เพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่อง และวันที่ 10 เท่ากับ $0.14 \mu\text{mol s}^{-1} \text{kg}^{-1}$ (ภาพที่ 5.7) จากผลการทดลองดังกล่าวแสดงให้เห็น ถึงศักยภาพของสารเคลือบผิวในการชะลออัตราการหายใจของพริกหวาน สดได้ เนื่องจากการจำกัดการซึมผ่านของก๊าซออกซิเจน ดังที่กล่าวมาแล้วข้างต้นในสมบัติการชะลอการแลกเปลี่ยนก๊าซระหว่างสิ่งแวดล้อมและผลิตผล (Sharma et al., 2015) จากรายงานของ Conforti and Zinck (2002) ทำการทดสอบอัตราการหายใจของพริกหวานสีเขียวที่ผ่านการเคลือบผิวหน้าด้วย โลกัสปีทกัม มอลโตเดกติน และแซนแทนกัม ที่มีระดับความเข้มข้น 20 5.8 และ 28% (w/v) ตามลำดับ เก็บรักษาที่ อุณหภูมิ 20°C เป็นเวลา 21 วัน พบว่า พริกหวานสดที่ผ่านการเคลือบผิวหน้ามีแนวโน้มของอัตราการหายใจที่ต่ำกว่า ($1.30 \mu\text{mol s}^{-1} \text{kg}^{-1}$) พริกหวานสดที่ไม่ผ่านการเคลือบ ($1.80 \mu\text{mol s}^{-1} \text{kg}^{-1}$) ในทำนองเดียวกัน Maftoonazad et al. (2007) ได้ศึกษาอัตราการหายใจของอะโวคาโดที่ผ่านการเคลือบผิวหน้าด้วยเพคติน ที่มีระดับความเข้มข้น 3% (w/w) โดยเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 20°C เป็นเวลา 7 วัน พบว่า อะโวคาโดที่ผ่านการเคลือบผิวมีอัตราการหายใจที่เพิ่มขึ้นตามระยะเวลาในการเก็บรักษา มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ $0.25 \mu\text{mol s}^{-1} \text{kg}^{-1}$ และมีค่าต่ำกว่าอะโวคาโดที่ไม่ผ่านการเคลือบผิวหน้า ซึ่งมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ $0.35 \mu\text{mol s}^{-1} \text{kg}^{-1}$



ภาพที่ 5.7 อัตราการหายใจของพริกหวานสดที่ผ่านการเคลือบผิวหน้าด้วย CB-wax และ ไคโตซานเปรียบเทียบกับพริกหวานสดที่ไม่ผ่านการเคลือบผิว เก็บรักษาที่ อุณหภูมิ 10°C เป็นระยะเวลา 10 วัน (ค่า average $\pm$ standard error; n=6) หมายเหตุค่าที่แสดงวันที่ 0 มีค่าเท่ากับ $0.01 \mu\text{mol s}^{-1} \text{kg}^{-1}$

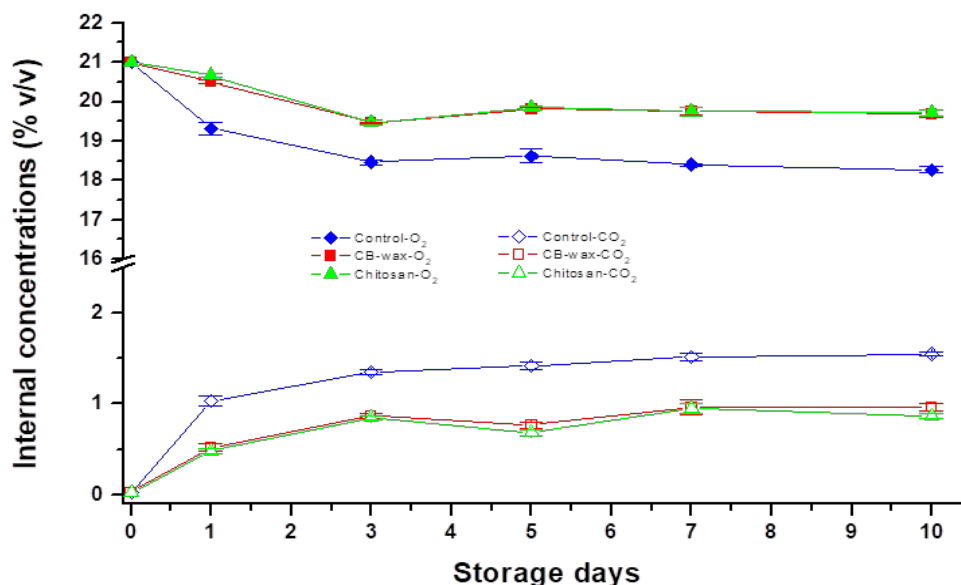
5.3.4 ความเข้มข้นของก๊าซออกซิเจนและก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ภายในพริกหวานสด

การวิจัยนี้ได้ศึกษาการเปลี่ยนแปลงความเข้มข้นของก๊าซออกซิเจนและคาร์บอนไดออกไซด์ภายใน หรือภายในโพรงของพริกหวาน สดทุกสิ่งทดลอง พบว่า สภาวะบรรยากาศภายในโพรง เป็นสภาวะบรรยากาศดัดแปร กล่าวคือ ความเข้มข้นของก๊าซออกซิเจนลดลงและความเข้มข้นของก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ มีค่าเพิ่มขึ้น (ภาพที่ 5.8) เมื่อทำการเปรียบเทียบความเข้มข้นของก๊าซ ทั้งสองในโพรงกับความเข้มข้นในบรรยากาศปกติ ซึ่งมีค่าเท่ากับ O_2 20.90 และ CO_2 0.03% (v/v) ตามลำดับ

ความเข้มข้นของก๊าซออกซิเจนในโพรงของพริกหวาน สดที่เคลือบผิว หน้าด้วย CB-Wax หรือ ไคโตซานมีค่าลดลงอย่างต่อเนื่องภายใน 3 วันแรกของการเก็บรักษาจากนั้นมีค่าค่อนข้างคงที่ ตลอดอายุการเก็บรักษา (ค่าเฉลี่ยเท่ากับ 19.5% (v/v)) ทั้งนี้ความเข้มข้นของก๊าซออกซิเจน ภายในโพรงของพริกหวาน สดที่ไม่เคลือบผิวมีแนวโน้มการเปลี่ยนแปลงที่เหมือนกันกับภายในพริกหวาน สดที่เคลือบผิว แต่มีการลดลงของความเข้มข้นก๊าซออกซิเจนที่เร็วกว่ามากและมีระดับความเข้มข้นที่ต่ำกว่า (ค่าเฉลี่ยเท่ากับ 18.5% (v/v)) (ภาพที่ 5.8) เมื่อพิจารณาก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ พบว่า ความเข้มข้นมีค่าเพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่องภายใน 3 วันแรกและมีแนวโน้มคงที่ตลอดอายุการเก็บรักษา ลักษณะการเปลี่ยนแปลงดังกล่าวสอดคล้องกับการเปลี่ยนแปลงของ ความเข้มข้นก๊าซออกซิเจน เนื่องจากการหายใจของผลผลิตเป็นการใช้ ก๊าซออกซิเจน (Oxygen consumption) และให้ผลลัพธ์เป็นก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ (Carbon dioxide generation) น้ำ และพลังงาน โดยการเพิ่มขึ้น

ของความเข้มข้นก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ภายในโพรงของพริก หวานสดที่เคลือบผิวหน้าด้วย CB-Wax หรือ ไคโตซาน มีอัตราการเปลี่ยนแปลงและระดับที่ต่ำ (ค่าเฉลี่ยประมาณ 0.9% (v/v)) เมื่อเปรียบเทียบกับความเข้มข้นในโพรงของพริกหวาน สดที่ไม่ผ่านการเคลือบผิว หน้า (ค่าเฉลี่ยประมาณ 1.5% (v/v)) (ภาพที่ 5.8) ผลการศึกษานี้สอดคล้องกับงานวิจัยของ Lerdthanangkul and Krochta (1996) ซึ่งรายงานไว้ว่า ความเข้มข้นในสภาวะคงที่ของก๊าซ O_2 ที่อยู่ภายในพริกหวานสด สีเขียว ที่เคลือบผิวหน้าด้วยสารเคลือบผิวเวียโปรตีน ไอโซเลต และโซเดียม คาร์ซิเนตผสมไขผึ้ง มีค่าประมาณ 16% (v/v) ในขณะที่ความเข้มข้นในสภาวะคงที่ของก๊าซ CO_2 ที่อยู่ภายในพริกหวานสด สีเขียวที่เคลือบผิวหน้า มีค่าประมาณ 1.3-3.0% (v/v)

การเปลี่ยนแปลงลักษณะดังกล่าวของความเข้มข้นก๊าซออกซิเจนและก๊าซคาร์บอน ไดออกไซด์ ในโพรงของ พริกหวาน สดที่มีการเคลือบผิวหน้าเป็นผลจากสารเคลือบผิวชะลอ การแลกเปลี่ยนก๊าซโดยเฉพาะการซึมผ่านก๊าซออกซิเจนจึงส่งผลให้อัตราการหายใจของพริกหวาน สด ลดลง จึงทำให้ความเข้มข้นของก๊าซออกซิเจนในโพรงมีค่าลดลงจากอากาศปกติเพียงเล็กน้อย ในขณะที่เดียวกันจึงมีการผลิตก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ ในอัตราที่ต่ำทำให้มีการสะสมความเข้มข้นของ ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ ในโพรงอยู่ในระดับที่ต่ำ ผลการทดลองดังกล่าวนี้สนับสนุนผลการทดลอง ที่ผ่านมาซึ่งแสดงให้เห็นศักยภาพของสารเคลือบผิวในการชะลอการหายใจของพริ กหวานสดได้ จึง ส่งผลให้การเปลี่ยนแปลงคุณภาพทั้งกายภาพและเคมีเกิดขึ้นได้ช้ากว่าพริกหวานที่ไม่เคลือบผิว นอกจากนี้การเคลือบผิวหน้าไม่ได้ทำให้เกิดการใช้ก๊าซออกซิเจนในอัตราที่สูงมากจนนำไปสู่การลดลง ของก๊าซออกซิเจนในปริมาณที่ต่ำ และส่งผลให้เกิดการหายใจแบบไม่ใช้ออกซิเจน

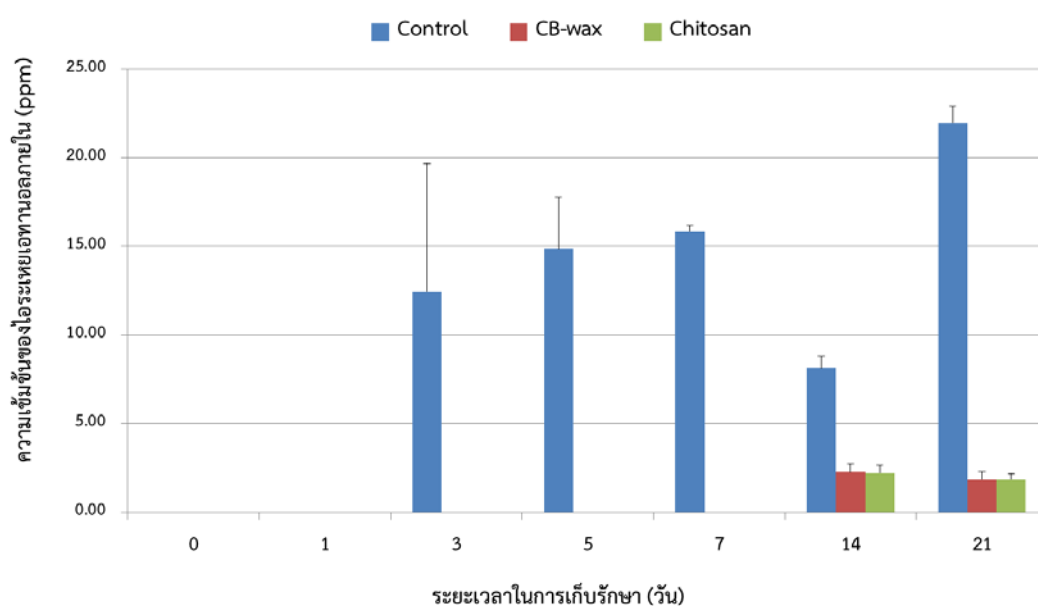


ภาพที่ 5.8 การเปลี่ยนแปลงความเข้มข้นของก๊าซออกซิเจน (สัญลักษณ์เต็ม) และก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ (สัญลักษณ์มีช่องว่าง) ที่สะสมอยู่ภายในโพรงของพริกหวานสดที่ผ่านการเคลือบผิวหน้าด้วย CB-wax และ ไคโตซานเปรียบเทียบกับพริกหวานสดที่ไม่ผ่านการเคลือบผิว เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 10°C เป็นระยะเวลา 10 วัน (ค่า average $\pm$ standard error; n=6)

5.3.6 ความเข้มข้นของเอทานอลภายในเนื้อเยื่อพริกหวานสด

จากการศึกษาความเข้มข้นของ เอทานอลภายในของพริกหวานที่ ผ่านการเคลือบผิวหน้าพบว่า ไม่มีการ เปลี่ยนแปลงความเข้มข้นของ เอทานอลในช่วง 7 วัน ของการเก็บรักษา ทั้งนี้เมื่อระยะเวลาในการเก็บรักษาครบ 14 และ 21 วัน ความเข้มข้นของ เอทานอลภายใน เนื้อเยื่อพริกหวาน สดที่ผ่านการเคลือบผิวหน้ามีแนวโน้มเพิ่มขึ้น นเล็กน้อย (1.84-2.27 ppm) (ภาพที่ 5.9) เมื่อพิจารณาความเข้มข้นของ เอทานอลในเนื้อเยื่อพริกหวานสดที่ไม่ผ่านการเคลือบผิว หน้า ในช่วงวันแรกของการเก็บรักษาไม่มีการเปลี่ยนแปลงของเอทานอล แต่ภายหลังการเก็บรักษาวันที่ 3 มีแนวโน้มเพิ่มขึ้น (12.46-15.85 ppm) แต่มีค่าลดลงภายหลังเก็บรักษาครบ 14 วัน (8.13 ppm) จากนั้นจะมีค่าเพิ่มสูงขึ้นอีกครั้งภายหลังวันที่ 21 ของการเก็บรักษา (21.97 ppm) (ภาพที่ 18) เนื่องจากพริกหวานที่ไม่ผ่านการเคลือบผิว หน้าเริ่มมีการเจริญของเชื้อจุลินทรีย์ในช่วง 3 วันแรก และตลอดจนระยะเวลาในการเก็บรักษา จุลินทรีย์สามารถเข้าไปเปลี่ยนแปลงไปเป็นน้ำตาลอันเป็นขั้นตอนที่สำคัญหนึ่งของกระบวนการหมักซึ่งมีผลิตภัณฑ์สำคัญคือ เอทานอล และอะเซตัลดีไฮด์ จี ส่งผลให้มีความเข้มข้นของเอทานอลสะสมอยู่ภายในเนื้อเยื่อพริกหวานสด (Arthey, 1975) จากรายงานของ Hoa et al. (2002) กล่าวว่า การเคลือบผิวม ะม่วงสดด้วยสารเคลือบผิว คาร์นูบา แวกซ์ ความเข้มข้น 2% (w/v) ชะลอการสะสมของเอทานอลภายในเนื้อเยื่อมะม่วงสดได้ (0.76 ppm) เมื่อเปรียบเทียบกับ

มะม่วง สดที่ไม่ผ่านการเคลือบผิวมีความเข้มข้นของไธราเฮยเอทานอลภายในเพิ่มขึ้น (5.45 ppm) เอทานอลจะส่งต่อการเกิดกลิ่นที่ไม่พึงประสงค์สำหรับผลิตภัณฑ์ให้ผู้บริโภคไม่ยอมรับในผลิตผลนั้น สอดคล้องกับงานวิจัยของ เกศรัตน์ วิศวไพศาล และคณะ (2555) รายงานว่า การเคลือบผิวมะนาว สดด้วยสารเคลือบผิวไขมันที่หนาจะส่งผลให้มะนาวที่เก็บรักษาเป็นเวลานาน เกิดการหายใจแบบไม่ใช้ออกซิเจนทำให้เกิดการสะสมของเอทานอล และเกิดกลิ่นที่ไม่พึงประสงค์ในมะนาวสด



ภาพที่ 5.9 การเปลี่ยนแปลงความเข้มข้นของเอทานอลภายในเนื้อเยื่อพริกหวานสดที่ผ่านการเคลือบผิวหน้าด้วย CB-wax และ ไคโตซานเปรียบเทียบกับพริกหวานสดที่ไม่ผ่านการเคลือบผิวเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 10°C เป็นระยะเวลา 10 วัน (ค่า average $\pm$ standard error; n=6)

5.4 สรุปประเด็นสำคัญ

ผลจากการศึกษา พบว่า สารเคลือบผิว CB-wax สามารถชะลอการเปลี่ยนแปลงคุณภาพภายหลังการเก็บเกี่ยวของพริกหวานสดได้ นอกจากนี้ยังพบว่า สารเคลือบผิว CB-wax มีความสากใกล้เคียงกับสารเคลือบผิวไคโตซานในการชะลอการเปลี่ยนแปลงและสร้างความโดดเด่นให้กับผลิตภัณฑ์ด้านความแวววาว จากผลการศึกษาจึงสามารถสรุปสารเคลือบผิว CB-wax มีประสิทธิภาพที่ดีในการช่วยชะลอการเปลี่ยนแปลงคุณภาพและยืดอายุการเก็บรักษาของพริกหวานสดได้

บทที่ 6

สรุปและข้อเสนอแนะ

6.1 สรุปผลการศึกษา

การศึกษานี้มีจุดมุ่งหมายสำคัญคือการพัฒนา สารเคลือบผิวผักและผลไม้สดจาก ไชสกัด ของ ใบกะหล่ำปลีคัตทิ้ง ซึ่งเป็นการใช้ประโยชน์และเพิ่มมูลค่าจากวัสดุการเกษตรที่เหลือทิ้งเนื่องจาก ใบกะหล่ำปลีมีศักยภาพเป็น แหล่งของไชที่สามารถนำมาพัฒนาต่อเป็นสารเคลือบผิวได้ ผลการศึกษา การสกัดไชจากใบกะหล่ำปลี แสดงให้เห็นว่าวิธีการสกัด แบบจุ่มหรือแบบแช่ (ดัดแปลงจากวิธีการของ Bohinc et al., 2014) ส่งผลให้ไชสกัดที่ได้ออกมาในปริมาณพอสมควร และไชสกัดที่ได้มีความบริสุทธิ์ กว่าไชสกัดที่ได้มาจากการสกัดอื่น ๆ เมื่อทดสอบสมบัติทางเคมี เช่น ค่าความเป็นกรด ค่าไอโอดีน และค่าซาโปนิฟิเคชัน และสมบัติทางกายภาพ เช่น จุดหลอมเหลว พบว่ามีสมบัติใกล้เคียงกับไช สกัด เจริญพันธ์ เช่น คาร์บูบา แวกซ์ เซลแลกซ์ แวกซ์ และโคโตะซาน นอกจากนี้ ไชสกัดจากใบกะหล่ำปลี มีสมบัติเป็น Thermoplastic มีลักษณะแข็ง เมื่ออยู่ในสถานะอุณหภูมิห้อง และเมื่อได้รับความร้อน ที่เพิ่มสูงขึ้นกว่าจุดหลอมเหลว ส่งผลให้ไชสกัดอ่อนตัว สามารถยืดตัวและเปลี่ยนรูปร่างได้ ดังนั้น เมื่อนำไชมาเคลือบบนผิวหน้าของผักและผลไม้และทำการเก็บรักษาอุณหภูมิที่ต่ำกว่า จุดหลอมเหลว ไชจะเกิดการ คงตัว ไม่เกิดการไหล เคลื่อนที่หรือหลุดออกจากผิวหน้าของผลิต ผล โดยผลการศึกษา ดังกล่าวยืนยันศักยภาพของไชที่จะนำไปพัฒนาเป็นอิมัลชันสารเคลือบผิว

ผลการวิจัยเพื่อ พัฒนาสารเคลือบผิวจากไช ที่สกัดได้ในรูปสารละลายอิมัลชัน พบว่า สารละลาย อิมัลชัน ซึ่งมีความเข้มข้นไชสกัด เท่ากับ 10% (w/v) และมีองค์ประกอบ ของ ไชสกัด น้ำกลั่น และ สารไตรเอทานอลามีน (สารอิมัลซิไฟเออร์) มีค่าความสว่างที่สูง และฟิล์มที่ขึ้นรูปจากสารละลาย อิมัลชันมีสีน้ำตาลอมเหลืองอ่อน เมื่อนำไปเคลือบลงบนผิวหน้าทำให้ผลิตผล มีความสว่าง มันวาว และ ไม่ส่งผลต่อการเปลี่ยนแปลงจากสีธรรมชาติ นอกจากนี้สารละลายอิมัลชันดังกล่าวมี ความหนืดต่ำ ส่งผลดีต่อวิธีการเคลือบผิว ที่สามารถพัฒนาต่อไปได้ทั้งก การฉีดพ่นด้วยสเปรย์ หรือกา รใช้วิธีการ แอร์บรัช (Air brushing) การเคลือบผิวได้ทำให้เกิดการ เปลี่ยนแปลงสมบัติการแลกเปลี่ยนก๊าซและ ใอน้ำด้าน Effective skin permeances to water vapour, carbon dioxide and oxygen ของ กระเจี๊ยบเขียว สด มะนาว สด และพริกหวาน สด โดยทำให้สมบัติเหล่านี้มีค่าลดลงส่งผลให้เกิดการ ชะลอของอัตราการหายใจ การคายน้ำ และกระบวนการเมตาบอ ลิซึมอื่น ๆ ผลการศึกษากการสกัดไช จากใบกะหล่ำปลีและ การพัฒนาสารเคลือบผิวจากไชในรูปสารละลายอิมัลชันเป็นองค์ความรู้ใหม่ (Advanced knowledge) และนวัตกรรม (Innovation) ที่ยังไม่ได้รับการพัฒนาและวิจัยมาก่อน

ผลการวิจัยการเคลือบผิวหน้าของพริกหวาน สดด้วยสารเคลือบผิว จากไซสทาดไบกะหล่ำปลี ที่ได้พัฒนาขึ้น พบว่า สารเคลือบผิวมีประสิทธิภาพที่ดีในการช่วยชะลอการเปลี่ยนแปลงคุณภาพของพริกหวาน สดในระหว่างการเก็บรักษาได้ เช่น ชะลอการเกิดรอยเหี่ยวยุบ / รอยช้ำบนผิวหน้า การเจริญของเชื้อจุลินทรีย์ การเปลี่ยนแปลง ลงสี เพิ่มความมันวาวให้กับตัวผลผลิตและเป็นที่ดึงดูดใจผู้บริโภคได้ นอกจากนี้สารเคลือบผิวหน้ามีประสิทธิภาพในการชะลอการสูญเสียน้ำหนัก การเปลี่ยนแปลงความแน่นเนื้อ และอัตราการหายใจของพริกหวาน สดได้ตลอดระยะเวลาในการเก็บรักษา ทั้งนี้การเคลือบผิวหน้าพริกหวาน สดและเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 10°C ไม่ส่งผลให้เกิดสภาวะการหายใจแบบไม่ใช้ออกซิเจน (Anaerobic respiration) ที่นำไปสู่การสะสม เอทานอลในเนื้อเยื่อ ปริมาณที่สูง (จากการหมัก) หรือการลดลงต่ำของก๊าซออกซิเจนและการเพิ่มขึ้นสูงมาก ของก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ ผลการศึกษานี้ทำให้เห็นได้ว่าการ ใช้สารเคลือบผิวจากไซสทาดไบกะหล่ำปลี สามารถช่วยชะลอการเปลี่ยนแปลงคุณภาพและยืดอายุการเก็บรักษาผลผลิต ซึ่งเป็นแนวทางสำคัญในการลดการสูญเสียภายหลังการเก็บเกี่ยวอันเป็นปัญหาที่สำคัญของการเกษตรในประเทศไทย

จากผลการวิจัยทั้งหมดในการศึกษานี้แสดงให้เห็นว่า กระบวนการสกัดไซสทาดไบกะหล่ำปลี การพัฒนาสารเคลือบผิวในรูปของสารละลายอิมัลชัน การทดสอบสมบัติเคมี-กายภาพของไซสทาดไบกะหล่ำปลี และสารเคลือบผิว ตลอดจนการทดสอบผลของสารเคลือบผิวต่อคุณภาพหลังการเก็บเกี่ยว ของผลผลิต ได้ทำให้การศึกษานี้ได้บรรลุวัตถุประสงค์และจุดมุ่งหมายที่ตั้งเอาไว้ นอกจากนี้ผลการวิจัยที่นำไปสู่การพัฒนาสารเคลือบผิวที่มีศักยภาพเชิงพาณิชย์ แสดงให้เห็นว่ากระบวนการ และลำดับขั้นตอนของการดำเนินการวิจัยนี้สามารถนำไปประยุกต์ใช้กับการพัฒนาสารเคลือบผิวหน้าจากวัสดุการเกษตรอื่นๆ เพื่อเป็นการเพิ่มมูลค่าและ/หรือยกระดับรายได้ให้กับภาคการเกษตรของประเทศไทยต่อไป

6.2 แนวทางการนำผลการทดลองไปใช้ประโยชน์

6.2.1 นำสารเคลือบผิวที่ได้ไปใช้ทดแทนการนำเข้าสารเคลือบผิวจากต่างประเทศ เช่น ลดการนำเข้าคาร์นูบา แวกซ์ พร้อมกับพัฒนาและ การจัดจำหน่ายในรูปสารเคลือบผิวพร้อมใช้ งาน (ภาพที่ 6.1)

6.2.2 สารเคลือบผิวช่วยชะลอการเปลี่ยนแปลงทางด้านสรีระวิทยาของผักและผลไม้ภายหลังการเก็บเกี่ยวได้ ช่วยเพิ่มความมันวาวดึงดูดใจผู้บริโภค และมีส่วนช่วยในการคงมูลค่า ทางการตลาดให้ยาวนานมากยิ่งขึ้น

6.2.3 สามารถนำสารเคลือบผิวที่ได้ไปประยุกต์ใช้ในอุตสาหกรรมเครื่องสำอางได้อีกทางหนึ่งด้วย เช่น อุตสาหกรรมลิปสติก



ภาพที่ 6.1 ตัวอย่างผลิตภัณฑ์ต้นแบบสารเคลือบผิวหน้าผักและผลไม้สดจากไขสกัดใบกะหล่ำปลี
แสดงในงาน RISE 2018 ระหว่างวันที่ 30 มีนาคม-1 เมษายน 2561 ณ เซ็นทรัล
พลาซ่า อุบลราชธานี (Central Plaza Ubon Ratchathani) จัดโดย สำนักงาน
อุทยานวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยอุบลราชธานี

6.3 แนวทางการศึกษาต่อไป

6.3.1 นำไขสกัดไปพัฒนาเป็นสารเคลือบผิวหลายองค์ประกอบเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพของ
สารเคลือบผิวให้ดียิ่งขึ้น โดยการเพิ่มสารเคลือบผิว เช่น ไคโตซาน ไซราข้าว และไขอ้อย

6.3.2 นำไขสกัดที่ได้ไปใช้ในอุตสาหกรรมที่มีความหลากหลายมากขึ้น เช่น อุตสาหกรรม
เครื่องสำอาง

เอกสารอ้างอิง

เอกสารอ้างอิง

- กนกพร บุญญะอดิชาติ. “การจัดการหลังการเก็บเกี่ยวและปัจจัยที่มีผลต่อการสูญเสียปริมาณ และคุณภาพของผักปราชิต”, วารสารมหาวิทยาลัยนราธิวาสราชนครินทร์. 7(3): 147-157; กันยายน-ธันวาคม, 2558.
- กนกมณฑล ศรศรีวิชัย. การเก็บรักษาผลผลิตการเกษตรหลังการเก็บเกี่ยว. เชียงใหม่: สาขาเทคโนโลยีและสรีรวิทยาภาควิชาชีววิทยา มหาวิทยาลัยเชียงใหม่, 2556; อ้างอิงจาก อดิศักดิ์ จูมวงษ์, จินตนา จูมวงษ์ และปาริชาติ เทียนจุมพล. รายงานวิจัยการประเมินความสามารถการต้านออกซิเดชันในผลไม้พื้นบ้านไทย บางชนิดในจังหวัดเชียงใหม่. เชียงใหม่: มหาวิทยาลัยแม่โจ้, 2556.
- กมลวรรณ สุขสวัสดิ์. ผลของวิธีการสกัดไขมันต่อสมบัติทางเคมีและกายภาพของไขมันและแป้งจากเมล็ดเงาะ. วิทยานิพนธ์ปริญญาโทวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต: มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี, 2559.
- กรรณพต แก้วสอน. ผลของสารเคลือบผิวไคโตซานต่อคุณภาพสับปะรดพันธุ์ปัตตาเวียน. วิทยานิพนธ์ปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต: มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคล, 2552.
- กระทรวงอุตสาหกรรม (2556). “บัญชีรายชื่อวัตถุดิบ”, ประกาศกระทรวงอุตสาหกรรม. <https://www.google.co.th/search?biw=1366&bih=651&ei=MZfyWsenMsr8vASN04XgCw&q>. 28 มกราคม, 2561.
- กฤษณา ศิริเลิศมุกด (2547). “เซลล์ลูโลสจากเปลือกทุเรียน”, สารเคลือบผิว. www.material.chula.ac.th/RADIO47/September/radio9-4.htm. 22 มกราคม, 2561.
- จริงแท้ ศิริพานิช. สรีรวิทยาและเทคโนโลยีหลังการเก็บเกี่ยวผักและผลไม้. กรุงเทพมหานคร: มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, 2549.
- ชมพูนุท บัวเผื่อน และลดาวัลย์ เลิศเลอวงศ์. “การใช้สารเคลือบผิวเจลว่านหางจระเข้เพื่อยืดอายุวางจำหน่ายมะนาวพันธุ์แป้น”, วารสารวิทยาศาสตร์เกษตร. 45(3/1 ฉบับพิเศษ): 101-104; กันยายน-ธันวาคม, 2557.
- ชุดิพงศ์ มัยกุล. การวิเคราะห์ต้นทุนและความสูญเสียจากการขนส่งสินค้าเกษตร กรณีศึกษาการขนส่งผักกะหล่ำปลีในจังหวัดเชียงใหม่. วิทยานิพนธ์ปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต: จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2555.
- ณรงค์ นิยมวิทย์. อิมัลชันของไขมัน. กรุงเทพมหานคร: ฟอรัมพรีนติ้ง, 2538.
- ณัฐดนัย หาญการสุจริต. “เทคโนโลยีการบรรจุและวัสดุเพื่อการเพิ่มคุณภาพอาหารแช่เยือกแข็ง”, วารสารเทคโนโลยีการอาหาร มหาวิทยาลัยสยาม. 10(1): 43-48; กันยายน, 2558.
- ดนัย บุญยเกียรติ และนิธิยา รัตนพานนท์. การปฏิบัติภายหลังการเก็บเกี่ยวผักและผลไม้. กรุงเทพมหานคร: โอเดียนสโตร์, 2548.
- ดนัย บุญยเกียรติ และคณะ. “การสูญเสียหลังการเก็บเกี่ยวในโซ่อุปทานพืชผักของโครงการหลวง”, วารสารวิทยาศาสตร์เกษตร. 43(3)(พิเศษ): 376-379; กันยายน – ธันวาคม, 2555.

เอกสารอ้างอิง (ต่อ)

- ดวงกมล เรือนงาม. “การสกัดสารต้านอนุมูลอิสระ”, **วารสารวิทยาศาสตร์ลาดกะบัง**. 23(2): 120-139; กรกฎาคม-ธันวาคม, 2557.
- ตามร บัณฑิต. (2558). “การขนส่งด้วยสายโซ่ความเย็น และความเสียหายทางกายภาพ”, **ศูนย์นวัตกรรมเทคโนโลยีหลังการเก็บเกี่ยว**.
<http://www.phtnet.org/2015/07/150/>. 10 มกราคม, 2561.
- ธิดิสดา ตระกูลหุทิพย์. การสกัดไขกระบกเพื่อใช้ในผลิตภัณฑ์สบู่ก้อน. วิทยานิพนธ์ปริญญาการศึกษามหาบัณฑิต: มหาวิทยาลัยแม่ฟ้าหลวง, 2559.
- นิตยา งาม. การเปลี่ยนแปลงสมบัติการยอมให้ก๊าซออกซิเจนซึมผ่านของฟิล์มพลาสติกที่สัมพันธ์กับปริมาณไขมันที่ถูกดูดซับจากข้าวกล้องงอกและข้าวฮางอกในบรรจุภัณฑ์ **สฤณอากาศ**. วิทยานิพนธ์ปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต: มหาวิทยาลัยอุบลราชธานี, 2556.
- เบญจมาศ รัตนชินกร และคณะ “การเก็บรักษากะหล่ำปลีหั่นฝอยพร้อมบริโภคร”, **วารสารวิทยาศาสตร์เกษตร**. 37(2): 123-126; พฤษภาคม, 2549.
- ปณธ จันทนพ และคณะ “คุณภาพ และอายุการเก็บรักษาของผลลำไยสดบรรจุภายใต้สภาวะบรรยากาศดัดแปลง”, **วารสารวิชาการพระจอมเกล้าพระนครเหนือ**. 24(3): 614-623; กรกฎาคม-กันยายน, 2557.
- ปิยพร แซ่หย่อง, สุธีรา วัฒนกุล และอนวัตร แจ้งชัด. “การพัฒนาฟิล์มไคโทซานผสมน้ำมันมะรุมและการประยุกต์ใช้สำหรับการยืดอายุการเก็บรักษาผลมะเขือเทศ”, **วารสารวิทยาศาสตร์เกษตร**. 44(3พิเศษ): 65-68; กรกฎาคม, 2556.
- ปุ่น คงเจริญเกียรติ และสมพร คงเจริญเกียรติ. **บรรจุภัณฑ์อาหาร**. กรุงเทพฯ: สมาคมการบรรจุภัณฑ์ไทย, 2541.
- ผกาพรรณ นิมศิริพัฒนากุล. การพัฒนาผลิตภัณฑ์แผ่นฟิล์มรับประทานได้จากเจลาตินผสม **สมุนไพร**. วิทยานิพนธ์ปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต: มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์, 2557.
- ยุทธนา นามวงษา, ละมุล วิเศษ และณัฐพล ภูมิสะอาด. “ผลของพลาสติกไซเซอร์และอุณหภูมิอบแห้งต่อสมบัติของฟิล์มย่อยสลายได้ ตามธรรมชาติจากแป้งบุก”, **วารสารวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยอุบลราชธานี**. 18(2): 32-38; พฤษภาคม-สิงหาคม, 2559.
- รุ่งทิพย์ จุฑามงคล จันจิรา ศรีม่วง และจิตติมา สุขสุวรรณ. “ผลของการเคลือบอิมัลชันน้ำมันปาล์มต่อการเก็บรักษาผลไม้”, **แก่นเกษตร**. 40(4): 1260-1271; เมษายน, 2555.
- วรวิญญ์ รุ่งเรืองศรี. **ผลของสารเคลือบผิวพอลิเอทิลีน และแคนเดลิลาแวกซ์ไมโครอิมัลชันต่อผลส้มสายพันธุ์สายน้ำผึ้งระหว่างการเก็บรักษา**. วิทยานิพนธ์ปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต: มหาวิทยาลัยเชียงใหม่, 2550.
- วิบูลย์ ช่างเรือ และคณะ “การประเมินการสูญเสียในกระบวนการจัดการสายโซ่อุปทานกะหล่ำปลีในจังหวัดเชียงใหม่”, **วิทยาศาสตร์การเกษตร**. 43: 300-303; พฤษภาคม, 2555.

เอกสารอ้างอิง (ต่อ)

- วาสนา พิทักษ์พล, ศศิธร สวีสสม และหทัยทิพย์ นิมิตรเกียรติไกล. “ผลของเมทิลจัสโมเนตและไคโตซานต่อคุณภาพหลังการเก็บเกี่ยวของผลลองกอง”, **แก่นเกษตร**. 42(1 ฉบับพิเศษ): 589-595; มีนาคม, 2557.
- วาสนา พิทักษ์พล, เพ็ญโฉม พจนธำรี และสมสุดา วรพันธุ์. “การยืดอายุการเก็บรักษาผลมะนาวด้วยสารเคลือบผิวคาร์บอกซีเมทิล เซลลูโลสจากผักตบชวา และการดัดแปลงเบอเรียลลิต”, **แก่นเกษตร**. 43(ฉบับพิเศษ 1): 881-887; มีนาคม, 2559.
- วีรเวทย์ อุทโธ, เอกสิทธิ์ อ่อนสอาด และเรวัติ ชัยราช. “การพัฒนาต้นแบบของควบคุมการปล่อยไอระเหยเอทานอลสำหรับมะละกอตัดสด”, **วารสารเกษตรพระจอมเกล้า**. 30(2 พิเศษ): 39-49; พฤษภาคม-สิงหาคม, 2555.
- ไศรดา กนกพานนท์, สิริรุ่ง ปรีชาพันธ์ และอริตา บุญศิริ. รายงานวิจัยการพัฒนาสารเคลือบผิวผลไม้จากสารละลายเซลลูลิกเพื่อยืดอายุการเก็บรักษาและรักษาคุณภาพผลไม้เมืองร้อนไทย. กรุงเทพมหานคร: สำนักงานกองทุนสนับสนุนการวิจัย (สกว.), 2555.
- สถาพร คำหอม. (2559). “แคโรทีนอยด์”, **การศึกษาความเสถียรของแคโรทีนอยด์**. <https://www.rsu.ac.th/engineer/che/news/News%20Data/Carotene.pdf>. 5 กุมภาพันธ์, 2561.
- สมโภชน์ สุดาจันทร์ และสมนึก ชูศิลป์. “การพัฒนาเครื่องกะเทาะเมล็ดกระบก”, **วารสารแก่นเกษตร**. 9(1): 61-74; มกราคม-มิถุนายน, 2544.
- สวทช. (2554) “ศูนย์สื่อสารวิทยาศาสตร์ไทย สวทช.”, **หนังสือพิมพ์กรุงเทพธุรกิจ**. <http://www.nstda.or.th/nstda-knowledge>. 24 มีนาคม, 2560.
- สายวรุณ มาตรวิจิตร. ผลของสารเคลือบผิวจากแป้งข้าวเจ้าและสารสกัดขิง กระชาย และขมิ้นชันเพื่อลดการเกิดโรคผลเน่าจากราสีเขียวของส้มสายพันธุ์สายน้ำผึ้ง. วิทยานิพนธ์ปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต: มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี, 2554.
- สายสนม ประดิษฐดวง, เนื่อทอง วานานวัธ และมณี แสงเงิน. “การผลิตไซรัปข้าวบิสสุทธี”, **วารสารเกษตรศาสตร์**. 24: 496-501; เมษายน, 2533.
- สุริยา พันธโกศล และคณิต กฤษณังกูร. “การประมาณแรงตึงผิวของไบโอดีเซลจากค่าสะพานนิฟิเคชันและค่าไอโอติน”, **วารสารวิจัยพลังงาน**. 12(1): 57-68; กุมภาพันธ์, 2558.
- สุทธิลักษณ์ พุ่มมณีสกุล, อนุวัตร แจ่มชัด และกมลวรรณ แจ่มชัด. รายงานวิจัยการพัฒนาสารเคลือบผิว ไบเลเยอร์และสารเคลือบผิวหลายองค์ประกอบเพื่อลดการสูญเสียน้ำหนักของส้มเขียวหวานสายพันธุ์น้ำผึ้ง. กรุงเทพมหานคร: มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, 2554.
- สำนักงานคณะกรรมการอาหารและยา. (2556). “วัตถุเจือปนอาหาร”, **แนวทางการใช้วัตถุเจือปนอาหารและกฎหมายที่เกี่ยวข้อง ฉบับปรับปรุง พ.ศ. 2556**. <https://www.google.co.th/search?biw=1366&bih=651&ei=96byWtXGEYTmvGSG0ZzoDg&q>. 12 มีนาคม, 2561.

เอกสารอ้างอิง (ต่อ)

- สุจิตพรพรณ เข้มแก้ว และสุปราณี แก้วภิรมย์. “ผลของกลีเซอรอล และเพค-10 ไดเมทิลโคนต่อสมบัติของฟิล์มชีวภาพจากเปลือกทุเรียน”, **วารสารวิชาการเทคโนโลยีอุตสาหกรรม**. 12(2): 11-21; พฤษภาคม-สิงหาคม, 2559.
- สำนักงานเศรษฐกิจการเกษตร. (2560). “เจาะเส้นทางกะหล่ำปลี 400 ล้าน ภูทับเบิก”, **ประชาชาติธุรกิจเศรษฐกิจภูมิภาค**.
https://www.prachachat.net/news_detail.php?newsid=1447666365.
 12 มกราคม, 2561.
- อนุวัตร แจ่มชัด. (2552). “KU wax”, **ทางเลือกใหม่ของสารเคลือบผลไม้**.
http://kukr.lib.ku.ac.th/ku_frontend/BKN_AGRO/search_detail/result/165551.
 10 มิถุนายน, 2016.
- อภิตา บุญศิริ, ไชโรดา กนกพานนท์ และศิริพร วิหคโต. **รายงานการวิจัยฟิล์มเคลือบบริโภาคได้จากไคโตซานและเจลาตินสำหรับรักษาคุณภาพและยืดอายุการเก็บรักษาส้มโอพันธุ์ขาวน้ำผึ้งแปรรูปพร้อมบริโภค**. กรุงเทพมหานคร: มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, 2551.
- อภิตา บุญศิริ และคณะ. (2554). “สารเคลือบผิวเพื่อยืดอายุการเก็บรักษายืดอายุการเก็บรักษาผลไม้คงความสดลดเน่าเสีย”, **สารเคลือบผิวผลไม้**.
http://www.rdi.ku.ac.th/kasetresearch54/GroupEconomic/27-apita_bun/template.html. 24 ธันวาคม, 2558.
- อภิญญา วัฒนา. **การศึกษาองค์ประกอบของกรดไขมันและการประเมินศักยภาพในการผลิตไบโอดีเซลจากน้ำมันเมล็ดส้มโอ**. ปัญหาพิเศษวิทยาศาสตร์บัณฑิต: มหาวิทยาลัยแม่โจ้, 2551.
- Abad-Ullah and et al. “Influence of edible coatings on biochemical fruit quality and storage life of bell pepper cv. “Yolo Wonder”, **Journal of Food Quality**. 10: 1-11; October, 2017.
- Abdul Haq, M. and et al. “Characterization of edible gum cordia film: Effects of beeswax”, **LWT - Food Science and Technology**. 68: 674-680; January, 2016.
- Aboshosha, S. S. and et al. “Protein analysis and peroxidase isozymes as molecular markers for resistance and susceptibility of sunflower to macrophomina phaseolina”, **International Journal of Agriculture and Biology**. 10(1): 28-34; December, 2008.
- Al-Arafi, N. and Salimon, J. “Production of oleic acid based wax ester using acidic homogeneous catalysts”, **E-Journal of Chemistry**. 9(1): 99-106; July, 2011.
- Ali, A., Noh, N. M. and Mustafa, M. A. “Antimicrobial activity of chitosan enriched with lemongrass oil against anthracnose of bell pepper”, **Food Packaging and Shelf life**. 3: 56-61; October, 2015.

เอกสารอ้างอิง (ต่อ)

- Ali, U. and et al. “Effect of β -glucan-fatty acid esters on microstructure and physical properties of wheat straw arabinoxylan films”, **Carbohydrate Polymers**. 161: 90-98; December, 2017.
- A.O.A.C. **Official methods of analysis of the association of official analytical chemistry** (16th ed). Wachington: AOCS Press, 1995.
- A.O.C.S. **Official methods and recommended practices of the AOCS** (5th ed.). Champaign: AOCS Press, 1997.
- Amulya, P. R. and et al. “Effect of edible wax coating and map on the quality of many during storage”, **International Journal of Agricultural Science and Research**. 6(4): 13-18; August, 2016.
- Amanda, B. D. and et al. “Biodegradable films based on rice starch and rice flour”, **Journal of Cereal Science**. 51: 2010; May, 213-219.
- Antonio, G. C. and et al. **Osmotic dehydration of papaya (carica papaya L.): influence of process variables**. London: Butterworth and Publishers, 2004.
- Arnon, H. and et al. “Effects of carboxymethyl cellulose and chitosan bilayer edible coating on postharvest quality of citrus fruit”, **Postharvest Biology and Technology**. 87: 21-26; January, 2014.
- Arthey, V.D. **Quality of horticultural products**. London: Butterworth and Publishers, 1975.
- Arvanitoyannis, I. S., Nakayama, A. and Aiba, S. “Chitosan and gelatin based edible films: state diagrams, mechanical and permeation properties”, **Carbohydrate Polymers**. 37(4): 371-382; May, 1998.
- Attard, T. M., McElroy, C. R. and Hunt, A. “Economic assessment of supercritical CO₂ extraction of waxes as part of a maize stover biorefinery”, **International Journal of Molecular Sciences**. 16: 17546-17564; July, 2015.
- Auras, R., Arroyo, B. and Selke, S. “Production and properties of spin-coated cassava-starch-glycerol-beeswax films”, **Starch Food Chemistry**. 61: 463-471; July, 2009.
- Azarakhah, N. and et al. “Lemongrass essential oil incorporated into alginate-based edible coating for shelf-life extensions and quality retension of fresh-cut pineapple”, **Postharvest Biology and Technology**. 88: 1-7; May, 2014.

เอกสารอ้างอิง (ต่อ)

- Badawy, M.E. and Rabea, E.I. “Potential of the biopolymer chitosan with different molecular weights to control postharvest gray mold of tomato fruit”, **Postharvest Biology and Technology**. 51(1): 110-117; January, 2009.
- Baden Aniline and Soda Factory. (2015) “Waxes and wax emulsions for industrial applications”, **Luwax Poligen**.
<https://www.scribd.com/document/364430585/BASF-Waxes-pdf>. December 16, 2017.
- Bai, J. and et al. “Ethanol vapor and saprophytic yeast treatments reduce decay and maintain quality of intact and fresh-cut sweet cherries”, **Postharvest Biology and Technology**. 62: 204–212; May, 2011.
- Baker, E. **Chemistry and morphology of plant epicuticular waxes**. New York: Academic Press, 1982.
- Baldwin, E. A. and et al. “Effect of coatings and prolonged storage conditions on fresh orange flavor volatiles, degrees brix, and ascorbic acid levels”, **Journal of Agricultural and Food Chemistry**. 43(5): 1321-1331; October, 1995.
- Banker, G. S. “Film coating theory and practice”, **Journal of Pharmaceutical Sciences**. 55(1): 81-89; January, 1966.
- Baraldi, E. and et al. “Increased exhaled 8-isoprostane in childhood asthma”, **Chest**. 124: 25–30; October, 2003.
- Barthlott, W. and Neinhuis, C. “Purity of the sacred lotus, or escape from contamination in biological surfaces”, **Planta**. 202: 1–8; November, 1997.
- Bauer, J. and et al. “By-product formation during exposure of respiring *Saccharomyces cerevisiae* cultures to excess glucose is not caused by a limited capacity of pyruvate carboxylase”, **FEMS Microbiology Letters**. 179(1): 107-113; October, 1999.
- Beesabathuni, S. N. and et al. “Getting in shape: molten wax drop deformation and solidification at an immiscible liquid interface”, **Journal of Colloid and Interface Science**. 445: 231-242; May, 2015.
- Bennett, H. **Industrial waxes**. New York: Chemical Publishing Company, Incorporated, 1975.
- Bertuzzi, M. A. and et al. “Water vapor permeability of edible starch based films”, **Journal of Food Engineering**. 80(3):972–978; May, 2007.

เอกสารอ้างอิง (ต่อ)

- Beydoun, M. A. and et al. “n-3 Fatty acids, hypertension and risk of cognitive decline among older adults in the atherosclerosis risk in communities (ARIC) study”, **Public Health Nutrition**. 11: 17–29; May, 2008.
- Bicking, M. **Extraction analytical extractions**. New York: Academic Press, 2000.
Cited Mustafa, A. and Turner, C. “Pressurized liquid extraction as a green approach in food and herbal plants extraction: A review”, **Analytica Chimica Acta**. 703(1): 8-18; October, 2011.
- Blake, A. I., Co, E. D. and Marangoni, A. G. “Structure and physical properties of plant wax crystal networks and their relationship to oil binding capacity”, **Journal of American Oil Chemistry Society**. 91: 885-903; May, 2014.
- Bohinc, T., Markovic, D. and Trdan, S. “Leaf epicuticular wax as a factor of antixenotic resistance of cabbage to cabbage flea beetles and cabbage stink bugs attack”, **Acta Agriculturae Scandinavica, Section B -Soil and Plant Science**. 64(6): 493–500; May, 2014.
- Boyer, J. S. “Water transport”, **Annual Review of Plant Physiology**. 36(1): 473-516; October, 1985. Cited Van Volkenburgh, E. and Boyer, J. S. “Inhibitory effects of water deficit on maize leaf elongation”, **Plant Physiology**. 77(1): 190-194; May, 1995.
- Bourtoom, T. “Edible films and coatings: characteristics and properties”, **International Food Research Journal**. 15(3): 237-248; May, 2008.
- Buchwald, R. and et al. “Interspecific variation in beeswax as a biological construction material”, **Journal of Experimental Biology**. 209: 3984-3989; 2006.
- Busani, M., Julius, M. P. and Voster, M. “Antimicrobial activities of *Moringa oleifera* lam leaf extracts”, **African Journal of Biotechnology**. 11: 2797-2802; May, 2012.
- Buschhaus, C., Herz, H. and Jetter, R. “Chemical Composition of the Epicuticular and Intracuticular Wax Layers on adaxial sides of rosa canina Leaves” **Annals of Botany**. 100: 1557–1564; June, 2007.
- Caner, C., Vergano, P.J. and Wiles, J. L. “Chitosanfilmmechanical and permeation properties as affected by acid, plasticizer and storage”, **Journal of Food Science**. 63(6): 1049–1053; March, 1998.
- Celeman, R. “Safety in the histchemistry laboratory”, **Acta Histochem**. 103: 253-260; June, 2001.

เอกสารอ้างอิง (ต่อ)

- Ceponis, M.J., Cappellini, R.A. and Lightner, G.W. “Disorders in cabbage, bunched broccoli and cauliflower shipments to the New York market”, **Plant Disease**. 71: 1151-1154; May, 1987.
- Chan, C. H., Yusoff, R. and Ngoh, G. C. “Modeling and kinetics study of conventional and assisted batch solvent extraction”, **Chemical Engineering Research and Design**. 92(6): 1169-1186; June, 2014.
- Chambi, H. and Grosso, C. “Edible films produced with gelatin and casein cross-linked with transglutaminase”, **Food Research International**. 39: 458-466; May, 2006.
- Chang, R. K., Iturrioz, G. and Luo, C. W. “Preparation and evaluation of shellac pseudolatex as an aqueous enteric coating system for pellets”, **International Journal of Pharmaceutics**. 60(2): 171-173; April, 1990.
- Chauhan, O.P. and et al. “Shellac and aloe vera gel based surface coating for shelf life extension of tomatoes”, **Journal Food Science Technology**. 65(8): 45-51; November, 2013.
- Chen, S. and Nussinovitch, A. “Galactomannans in disturbances of structured wax-hydrocolloid-based coatings of citrus fruit (easy-peelers)”, **Food Hydrocolloids**. 14(6): 561-568; November, 2000.
- Chien, P. J., Sheu, F. and Yang, F. H. “Effects of edible chitosan coating on quality and shelf life of sliced mango fruit”, **Journal of Food Engineering**. 78(1): 225-229; January, 2007.
- Chitravathi, K., Chauhan, O. P. and Raju, P. S. “Postharvest biology and technology postharvest shelf-life extension of green chillies (*Capsicum annuum* L.) using shellac-base edible surface coating”, **Postharvest Biology Technology**. 92: 146-148; June, 2014.
- Chiumarelli, M. and Hubinger, M. D. “Evaluation of edible films and coating formulated with cassava starch, glycerol, carnauba wax and stearic acid”, **Food Hydrocolloids**. 38: 20-27; July, 2014.
- Chonpracha, U., Jangchud, A. and Jangchud, K. “Effect of plasticizers on properties of chitosan coating and application on banana (Musa AAA group)”, In 47th Kasetsart University Annual Conference. p.17-20. Bangkok: Kasetsart University, 2011.

เอกสารอ้างอิง (ต่อ)

- Chung, C. I. **Extrusion of polymers: theory and practice**. New York: Hanser Gardner Pubns, 2000.
- Chung, S., Conrad, M. and Oliphant, K. **Impact of potable water disinfectants on PE Pipe**. Kitchener: Laboratories, Inc., 2010.
- Cisneros-Zevallos, L. and Krochta, J. M. "Dependence of coating thickness on viscosity of coating solution applied to fruits and vegetables by dipping method", **Journal of Food Science**. 68: 503-510; October, 2003.
- Cocero, M. J. and Calvo, L. "Supercritical fluid extraction of sunflower seed oil with CO₂ ethanol mixtures", **Journal of the American Oil Chemists Society**. 73(11): 1573-1578; November, 1996.
- Conforti, F. D. and Zinck, J. B. "Hydrocolloid-lipid coating affect on weight loss, pectin content and textural quality of green bell pepper", **Food Chemistry and Texicology**. 67(4): 1360-1363; July, 2002.
- Contreras-Oliva, Rojas-Argudo, A. and Perez-Gago, M. B. "Effect of solid content and composition of hydroxypropyl methycellulose-lipid edible coating on physicochemical, sensory and nutrional qulity of valencial oranges", **International Journal of Food Science and Technology**. 46: 2473-2445; March, 2011.
- Cousins, E. R. and et al. "Rice bran oil VII tank settlings from crude rice bran oil as a soure of wax", **Journal of the American Oil Chemists' Society**. 30(1): 1-4; May, 1953.
- Dagostin, J. L. A., Carpine, D. and Corazza, M. L. "Extraction of soybean oil using ethanol and mixtures with alkyl esters (biodiesel) as co-solvent: Kinetics and thermodynamics", **Industrial Crops and Products**. 74: 69-75; November, 2015.
- Damour, G. and et al. "An overview of models of stomatal conductance at the leaf level", **Plant, Cell & Environment**. 33: 1419-1438. June, 2010.
- de Aquino, A.B., Blank, A.F. and de Aquino-Santana, L.C. "Impact of edible chitosan-cassva starch coatings enriched with *Lippia grcilis* Schaver genotype mixture on the shelf of guavas (*Psidium guajava* L.) during storage at room temperature", **Food Chemistry**. 171: 108-116; September, 2015.
- Debeaufort, F., Quezada-Gallo, J. A. and Voilley, A. "Edible films and coatings: tomorrow's packagings: a review", **Critical Reviews in Food Science**. 38(4): 299-313; June, 1998.

เอกสารอ้างอิง (ต่อ)

- De Jong, A. (2004). "Packaging and food quality", **Active and Intelligent Packaging**.
<http://books.google.co.th/books?id=NFRR6GayR74C&pg=PA289&dq=Packagin>.
 June 27, 2016.
- Dejoye, C. and et al. "Combined extraction processes carbon dioxide extraction",
International Journal of Molecular Sciences. 12: 9332-9341; July, 2011.
- De Leon-Zapata, M. A. and et al. "Edible candelilla wax coating with fermented
 extract of tarbush improves the shelf life and quality of apples", **Food
 Packaging and Shelf Life**. 3: 70-75; January, 2015.
- del Valle, J. M., and Aguilera, J. M., "Extracción con CO₂ a Alta Presión",
**Fundamentos y Aplicaciones en la Industria de Alimentos, Food
 Science and Technology International**. 5: 1-6; September, 1999.
- del Valle, J. M. and et al. "Supercritical CO₂ Extraction of Chilean Hop (*Humulus
 lupulus*) Ecotypes", **Journal of the Science of Food and Agriculture**.
 83: 1349-1354; May, 2003.
- Devlieghere, F., Vermeulen, A. and Debevere, J. "Chitosan: antimicrobial activity,
 interactions with food components and applicability as a coating on fruit
 and vegetables", **Food Microbiology**. 21(6): 703-714; December, 2004.
- Dominguez, E., Cuartero, J. and Heredia, A. "An overview on plant cuticle
 biomechanics", **Plant Science**. 181: 77-84; May, 2011. Cited Serrano, M.
 and et al. "The cuticle and plant defense to pathogens", **Frontiers in
 Plant Science**. 5: 274-280; May, 2014.
- Dong, F. and Wang, X. "Effects of carboxymethyl cellulose incorporated with garlic
 essential oil composite coatings for improving quality of strawberries",
International Journal of Biological Macromolecules. 104: 821-826; June,
 2017.
- Dosunmu, M.I. and Ochu, C. "Physicochemical properties and fatty acid composition
 of lipids extracted from some Nigerian fruits and seeds", **Global Journal of
 Pure and Applied Sciences**. 1(1/2): 45-50; May, 1995.
- Dutta, P. K., Dutta, J. and Tripathi, V. S. "Chitin and chitosan: chemistry, properties
 and applications", **Journal of Scientific and Industrial Research**. 63: 20-
 31; January, 2004.
- Ebewele, R. O. **Polymer science and technology**. New York: CRC press, 2000.
- El-Ghaouth, A. and et al. "Chitosan coating to extend the storage life of tomatoes",
HortScience. 27(9): 1016-1018; September, 1992.

เอกสารอ้างอิง (ต่อ)

- Eller, F. J., Teel, J. A. and Palmquist, D. E. “Continuous hydrolysis of cuphea seed oil in subcritical water”, **Journal of the American Oil Chemists Society**. 88(9): 1455-1461; March, 2011.
- Elsheshetawy, H.E. and et al. “Comparative study on the quality characteristics of some Egyptian mango cultivars used for food processing”, **Annals of Agricultural Sciences**. 61, 49–56; January, 2016.
- Endlein, E. and Peleikis, K. H. “Natural waxes – properties, compositions and applications”, **Natural Waxes**. 137: 1-7; May, 2011.
- Ensikat, H., Neinhuis, C. and Barthlott, W. “Direct access to plant epicuticular wax crystals by a new mechanical isolation method”, **International Journal of Plant Sciences**. 161(1): 143-148; Number, 2000.
- Eskin, N. M. **Biochemistry of Foods**. New York: Academic Press, 1990.
- European Food Safety Authority “Beeswax (E 901) as a glazing agent and as carrier for flavours”, **The European Food Safety Authority Journal**. 615: 1-28; November, 2007.
- Everett, D. W. and McLeod, R.E. “Interactions of polysaccharide stabilisers with casein aggregates in stirred skim-milk yoghurt”, **International Dairy Journal**. 15: 1175-1183; March, 2005.
- Fagerstrom, A. and et al. “Characterization of a plant leaf cuticle model wax, phase behavior of model wax-water systems”, **Thermochimica Acta**. 571: 42-52, September, 2013.
- Fagundes, C. and et al. “Hydroxypropyl methyl-cellulose-bees wax edible coating formulated with antifungal food additives to reduce alternaria black spot and maintain postharvest quality of cold-stored cherry tomatoes”, **Scientia Horticulturae**. 193: 249-257; May, 2015.
- Farag, Y. and Leopold, C. S. “Physicochemical properties of various shellac types”, **Dissol Technology**. 10(1): 33-39; May, 2009.
- Farag, Y. **Characterization of different shellac types and development of shellac-coated dosage forms**. Doctor’s Thesis: Hamburg University, 2010.
- Fрати, F., Salerno, G. and Conti, E. “Cabbage waxes affect trissolcus brochymenae response to short-range synomones”, **Insect Science**. 20(6): 753-762; December, 2013.

เอกสารอ้างอิง (ต่อ)

- Fajobi, A.B., Akinlolu, S.O. and Ige, O.O. "Study of sugar cane wax inhibitor on concrete reinforcement corrosion in 3.5% NaCl solution", **Report and Opinion**. 7(9): 1-8; October, 2015.
- Food and Agriculture Organization in Thailand (2016) "Comprehensive analysis of the disaster risk reduction and management system for agriculture", **Publications**. <http://www.fao.org/publications/en/>. January 10, 2018.
- Food Standards Agency. (2015) "Fat and oil", **Publications**. <https://www.google.co.th/search?biw=1366&bih=651&ei=NfzuWvKdKMfFvQSWLZrADw&q=Food+standards+agency>. January 24, 2018.
- Fuentes, N. and et al. "A new comprehensive database of alien plant species in chile based on herbarium records", **Biological Invasions**. 15: 847-858; December, 2010.
- Garcia-Betanzos, C. I. and et al. "Physicochemical, total phenols and pectin methylesterase changes on quality maintenance on guava fruit (*Psidium guajava* L.) coated with carnauba wax solid lipid nanoparticles-xanthan gum.", **Food Research International**. 101: 218-227; November, 2017.
- Ghanbarzadeh, B. and Almasi, H. "Physical properties of edible emulsified films based on carboxymethyl cellulose and oleic acid", **International Journal of Biological Macromolecules**. 48: 44-49; November, 2010.
- Gibert, C. and et al. "Quantification and modelling of the stomatal, cuticular and crack components of peach fruit surface conductance", **Functional Plant Biology**. 37(3): 264-274; February, 2010.
- Gol, N. B., Chaudhari, M. L. and Rao, T. V. R. "Effect of edible coatings on quality and shelf life of carambola (*Averrhoa carambola* L.) fruit during storage", **Journal Food Science Technology**. 52(1): 78-91; January, 2015.
- Goswami, D. and Basu, J. K. "Effects of process variables and additives on mustard oil hydrolysis by porcine pancreas lipase", **Brazilian Journal of Chemical Engineering**. 29(03): 449-460; July-September, 2012.
- Grainger, S. S. and Blunt, J. **Engineering Coatings: Design and Application**. Cambridge: Woodhead Publishing Ltd, 1998.
- Guillen, F. and et al. "Aloe arborescens and aloe vera gels as coating in delaying postharvest ripening in peach and plum fruit", **Postharvest Biology and Technology**. 83: 54-57; March, 2013.

เอกสารอ้างอิง (ต่อ)

- Guo, J. and et al. "Periodate oxidation of xanthan gum and its crosslinking effectson gelatin-based edible films", **Food Hydrocolloids**. 39: 243-250; January, 2014.
- Gutierrez, A. and Del Rio, J. C. "Lipids from flax fiber and their fat in alkaline pulping", **Journal of Agricultural and Food Chemistry**. 51(2): 4965-4971; June, 2003.
- Hagenmaier, R. D. and Baker, R. A. "Reduction in gas exchange of citrus fruit by wax coatings", **Journal of Agricultural and Food Chemistry**. 41(2): 283-287; February, 1993.
- "Wax microemulsions and emulsions as citrus coatings", **Journal of Agricultural and Food Chemistry**. 42(4): 899-902; April, 1994.
- Hagenmaier, R. D. "Wax microemulsion formulations used as fruit coatings", In **Proceedings-Florida State Horticultural Society**. p.251-254. United States of America: Florida State Horticultural Society, 1998.
- "Evaluation of a polyethylene-candelilla coating for 'valencia' oranges", **Postharvest Biology and Technology**. 19(2): 147-154; February, 2000.
- "The flavor of mandarin hybrids with different coatings", **Postharvest Biology and Technology**. 24: 79-87; February, 2002.
- "Fruit coatings containing ammonia instead of morpholine", **Proceedings of the Florida State Horticultural Society**. 117: 396-402; August, 2004.
- "A comparison of ethane, ethylene and CO₂ peel permeance for fruit with different coatings", **Postharvest Biology and Technology**. 37(1): 56-64; July, 2005.
- Harper, J. H. "A review of modern sample-preparation techniques for the extraction and analysis of medicinal plants", **Analytical and Bioanalytical Chemistry**. 373(1-2): 23-30; April, 1983.
- Hassanpour, H. "Effect of aloe vera gel coating on antioxidant capacity antioxidant enzyme activities and decay in raspberry fruit", **LWT-Food Science and Technology**. 60: 495-501; July, 2014.
- Hernandez-Munoz, P. and et al. "Water barrier proper ties of derived films", **Biomacromolecules**. 5: 1503-1510; October, 2004.
- Holloway, P. J. and Jeffree, C. E. "Epicuticular waxes", **Encyclopedia of Applied Plant Sciences**. 3: 1190-1204; May, 2005.

เอกสารอ้างอิง (ต่อ)

- Hoque, M.S., Benjakul, S. and Prodpran, T. “Effect of heat treatment of film-forming solution on the properties of film from cuttlefish (*Sepia pharaonis*) skin gelatin”, **Journal of Food Engineering**. 96: 66–73; May, 2010.
- Huang-Chung, W., Chao-Ruey, C. and Chiehming, J.C. “Analytical nutritional and clinical methods section, carbon dioxide extraction of ginsen root hair oil and ginsenosides”, **Food Chemistry**. 72(4): 505-509; March, 2001.
- Huang, S. and et al. “1-methylcyclopropene reduces chilling injury of harvested okra (*Hibiscus esculentus*, L.) Pods”, **Horticultural Science**. 141: 42-46; October, 2012.
- Inthanakom, N. and Chaiwut, P. **Extraction of perilla seed oil by enzyme-ssisted method**. Master’s Thesis: Mae Fah Luang University, 2013.
- Jana, S. and Martini, S. “Phase behavior of binary blends of four different waxes”, **Journal of the American Oil Chemists' Society**. 93(4): 543–554; December, 2016.
- Jangchamongkond, R., Phadisdong, S. and Vananuwat, N. “Effect of rice bran waxing on fruit and vegetable storage”, **Postharvest Biology and Technology**. 45: 1115-1126; April, 2009.
- Jenkins, P. J. and Donald, A. M. “The influence of amylose on starch granule structure”, **International Journal of the Biology of Macromolecules**. 17: 315-321; May, 1995.
- Jeong, J., Huber, D.J. and Sargent, S.A. “Influence of 1-methylcyclopropene (1MCP) on ripening and cell wall matrix polysaccharides of avocado (*Persea americana*) fruit”, **Postharvest Biology and Technology**. 25: 241–256; October, 2002.
- Jetter, R., Kunst, L. and Samuels, A. L. “Composition of plant cuticular waxes”, In **Biology of the plant cuticle**. Riederer, M. and Muller, C. ed. p. 182–215. New York: Blackwell Publishing, 2006.
- Jiang, Y. and Li, Y. “Effects of chitosan coating on postharvest life and quality of longan fruit”, **Food Chemistry**. 73(2): 139-143; May, 2001.
- Jiang, Y. and et al. “Postharvest biology and handling of longan fruit (*Dimocarpus longan Lour.*)”, **Postharvest Biology and Technology**. 26: 241-252; June, 2002.

เอกสารอ้างอิง (ต่อ)

- Jinaphan, N. and et al. “Properties of carboxymethyl cellulose (CMC) film from rice straw pulp”, **Agricultural Science Journal**. 43(2): 616-620; September, 2012.
- Jimenez, A. and et al. “Physical properties and antioxidant capacity of starch-sodium caseinate films containing lipids”, **Journal of Food Engineering**. 116: 695-702; October, 2010.
- Jo, W. and et al. “Quality and microbial safety of fuji apples coated with carnauba-shellac wax containing lemongrass oil”, **Food Science Technology**. 55: 490-497; May, 2013.
- Kader, A. A. “Prevention of ripening in fruits by use of controlled atmospheres”, **Food Technology**. 34(3): 51-54; March, 1980.
- Kader, A. A. “Postharvest quality maintenance of fruits and vegetables in developing countries”, In **Postharvest Physiology and Crop Preservation**. p.455-470. United States of America: Springer, 1983.
- Kader, A. A. “Respiration and gas exchanges of vegetables”, In **Postharvest Physiology of Vegetables**. p 25-40. New York: Marcel Dekker, 1987.
- Karbulkova, J. and et al. “Differences between water permeability of astomatous and stomatous cuticular membranes: Effect of air humidity in two species of contrasting drought-resistance strategy”, **Journal of Experimental Botany**. 15: 3987–3995; May, 2008.
- Kasirajan, S. and Ngouajio, M. “Polyethylene and biodegradable mulches for agricultural applications: a review”, **Agronomy for Sustainable Development**. 32: 501–529; January, 2012.
- Kays, S. J. **Postharvest physiology and handling of perishable plant products**. New York: Springer, 1991.
- Kerch, G. “Chitosan films and coatings prevent losses of fresh fruit nutritional quality: a review”, **Trends in Food Science and Technology**. 46(2): 159–166; October, 2015.
- Khalid, H.P.S., Bhat, I. U.H. and Sartika, M. Y. “Degradation, mechano-physical, and morphological properties of empty fruit burch reinforced polyester composites”, **Biological Resource**. 5(4): 2278-2296; June, 2008.
- Khairuddin, Pramono, E. and et al. “The effect of polyethylene glycol on shellac stability”, **Materials Science and Engineering**. 107: 1-8; March, 2016.

เอกสารอ้างอิง (ต่อ)

- Khorram, F., Ramezani, A. and Hashem-Hosseini, S.M. "Shellac, gelatin and persian gum as alternative coating for orange fruit", **Scientia Horticulturae**. 225: 22-28; June, 2017.
- Kienzle-Sterzer, C., Rodriguez-Sanchez, D. and Rha, C. **Solution properties of chitosan: Chain conformation**. Orlando: Academic Press, 1984.
- Kim, S. W., McPherson, R. L. and Wu, G. "Dietary arginine supplementation enhances the growth of milk-fed young piglets", **Journal of Nutrition**. 134: 625-630; October, 2004.
- Klangmuang, P. and Sothornvit, R. "Combination of beeswax and nanoclay on barriers sorption isotherm and mechanical properties of hydroxypropyl methylcellulose-based composite films", **LWT-Food Science and Technology**. 65: 222-227; July, 2016.
- Knoche, M. and et al. "Studies on water transport through the sweet cherry fruit surface: characterizing conductance of the cuticular membrane using pericarp segments", **Planta**. 212(1): 127-135; July, 2000.
- Knothe, G. "Structure indices in FA chemistry: how relevant is the iodine value", **Journal of the American Oil Chemists' Society**. 79: 847-854; December, 2002.
- Ko, M. J., Cheigh, C. I. and Chung, M. S. "Relationship analysis between flavonoids structure and subcritical water extraction (SWE)", **Food Chemistry**. 143: 147-155; January, 2014.
- Koch, K. and et al. "Influences of air humidity during the cultivation of plants on wax chemical composition, morphology and leaf surface wettability", **Environmental and Experimental Botany**. 56: 1-9; May, 2006.
- Koushesh Saba, M., and O. B. Sogvar. "Combination of carboxymethyl cellulose-based coatings with calcium and ascorbic acid impacts in browning and quality of fresh-cut apples", **LWT-Food Science and Technology**. 66: 165-71; September, 2016.
- Krause, K. P. and Muller, R. H. "Production of aqueous shellac dispersions by high pressure homogenization", **International Journal of Pharmaceutics**. 223(1): 89-92; July, 2001.
- Kresge, N., Simoni, R. D. and Hill, R. L. "Lipid biochemistry", **Journal of Biological Chemistry**. 4: 254-261; June, 2002.

เอกสารอ้างอิง (ต่อ)

- Krochta, J. M., Baldwin, E. A. and Nisperos-Carriedo, M. O. "Definition of an edible coating" In **Edible coatings and films to improve food quality**. Park, H. J. ed. p. 265-379. New York: Taylor and Francis Group, 1994.
- Kumar, H. V., Woltornist, S. J. and Adamson, D.H. "Fractionation and characterization of graphene oxide by oxidation extent through emulsion stabilization", **Food Hydrocolloids**. 98: 491-495; January, 2016.
- Kwon, Y. B. and et al. "Effect of postharvest treatments on fruit quality during storage of 'Niitaka' pear.Korean", **Journal of Horticultural Science and Technology**. 21: 114-119; May, 2003.
- Kwiatkowski, J. R. and Cheryan, M. "Extraction of oil from ground corn using ethanol", **Journal of the American Oil Chemists Society**. 79(8): 825-830; August, 2002.
- Ladanyia, M. and Ladaniya, M. **Fruit Biochemistry**. London: Academic Press, 2008.
- Lahaye, M. and Rochas, C. "Chemical structure and physico-chemical properties of agar", In **International Workshop on Gelidium**. Lahaye, M. and Rochas, C. Editors. p. 137-148. Netherlands: Springer, 1991.
- Lara, I., Belge, B. and Goulao, L. F. "The fruit cuticle as a modulator of postharvest quality", **Postharvest Biology and Technology**. 87: 103-112; May, 2014.
- Lazaridou, A. and Biliaderis, C. G. "Thermophysical properties of chitosan, chitosan-starch and chitosan pullulan films near the glass transition", **Carbohydrat Polymer**. 48: 179-190; April, 2002.
- Lasztiy, R. "Investigation of rheologica properties of gluten III. role of hydrophobic bonds in the rheological properties of gluten", **Cereal Chemistry**. 68(3): 411-419; March, 1971.
- Lee, D.S. "Packaging containing natural antimicrobial or antioxidative agents", **Innovations in Food Packaging**. 108-119; May, 2005.
- Lehninger, A.L., Nelson, D.L. and Cox, M.M. "Oxidative phosphorylation and photophosphorylation in principles of biochemistry", In **Biological reviews**. Glynn and Bodmin. Editors. p. 242-261. New York: Worth Publishers, 1993.
- Lerdthanangkul, S. and Krochta, J. M. "Edible coating effects on post-harvest quality of green bell pepper", **Journal Food Science**. 61(1): 176-179; October, 1996.

เอกสารอ้างอิง (ต่อ)

- Li, H. and Yu, T. "Effect of chitosan on incidence of brown rot, quality and physiological attributes of postharvest peach fruit", **Journal of the Science of Food and Agriculture**. 81(2): 269-274; January, 2001.
- Lidefelt, J. O. **Handbook vegetable oils and fats**. Sweden: Alfaprint, 2007. Cited Pali, V. and Mehta, N. "Evaluation of oil content and fatty acid compositions of flax (*Linum usitatissimum* L.) varieties of india", **Journal of Agricultural Science**. 6: 198-207; August, 2014.
- Lim, C. S., Kang, S. M. and Cho, J. L. "Bell pepper (*Capsicum annuum* L.) fruits are susceptible to chilling injury at the breaker stage of ripeness", **Hort Science**. 42(7): 1659-1664; March, 2007.
- Liu, N. and et al. "Effect of MW and concentration of chitosan on antibacterial activity of *Escherichia coli*", **Carbohydrate Polymers**. 64: 60-65; January, 2006.
- Lownds, N. K., Banaras, M. and Bosland, P. W. "Postharvest water loss and storage quality of nine pepper (*Capsicum*) cultivars", **HortScience**. 29(3): 191-193; October, 1994.
- Mackova, H. and et al. "Enhanced drought and heat stress tolerance of tobacco plants with ectopically enhanced cytokinin oxidase/dehydrogenase gene expression", **Journal of Experimental Biology**. 64(10): 2805-2815; September, 2013.
- Madaeni, S.S., Falsafi, M. and Ghaemi, N. "A novel method for preparation of low-fouling membranes: Surface coating by extracted wax from leafy cabbage", **Desalination**. 283: 148-155; April, 2011.
- Maftoonazad, N. and Ramaswamy, H. S. "Postharvest shelf-life extension of avocados using methyl cellulose-based coating", **LWT-Food Science and Technology**. 38(6): 617-624; September, 2005.
- Maftoonazad, N. and et al. "Effect of pectin-based edible emulsion coating on changes in quality of avocado exposed to *Lasiodiplodia theobromae* infection" **Carbohydrate Polymers**. 68: 341-349; January, 2007.
- Maguire, K. M. et al. "Relationship between water vapour permeance of apples and micro-cracking of the cuticle", **Postharvest Biology and Technology**. 17(2): 89-96; October, 1999.

เอกสารอ้างอิง (ต่อ)

- Mali, S. and et al. “Water sorption and mechanical properties of cassava starch films and their relation to plasticizing effect”, **Carbohydrate Polymers**. 60: 283-288; April, 2005.
- Mapato, C., Wanapat, M. and Cherdthong, A. “Effect of urea treatment of straw and dietary level of vegetable oil on lactating dairy cows”, **Tropical Animal Health and Production**. 42: 1635–1642; May, 2010.
- Marmur, T., Elkind, Y. and Nussinovitch, A. “Increase in gloss of coated red pepper by different brushing”, **LWT-Food Science and Technology**. 51: 531-536; December, 2013.
- Maria, D. T. and et al. “Water adsorption isotherms of carboxymethyl cellulose, guar, locust bean, tragacanth and xanthan gums”, **Carbohydrate Polymer**. 89: 592-598; March, 2012.
- Marques, M. P. and et al. “An inelastic neutron scattering study of dietary phenolic acid”, **Physical Chemistry Chemical Physics**. 16: 7491-7500; May, 2014.
- Marszałek, G. and Majczak, G. “Polyethylene wax — preparation, modification and applications”, **The Journal Polimery**. 4: 640-645; June, 2012.
- Marty, C. and C. Berset. “Factors affecting the thermal degradation of all-trans-beta-carotene”, **Journal of Agricultural and Food Chemistry**. 38: 1063-1067; 1990.
- Masclet, P., Hoyau, V. and Jaffrezo, J. L. “Cachier polycyclic aromatic hydrocarbon deposition on the ice sheet of Greenland”, **Part I: Superficial snow, Atmos. Environ**. 34: 3195–3207; December, 2000.
- Mauer, L. J., Smith, D. E., Labuza, T. P. “Water vapor permeability, mechanical, and structural properties of edible b-casein films”, **International Dairy Journal**. 10: 353–358; June, 2000.
- Mcguire, R.G. and Hallman, G.J. “Coating guavas with cellulose- or carnauba-based emulsions interferes with postharvest ripening”, **HortScience**. 30: 294–295; October, 1995.
- Mendez-Santiago, J. and Teja, A. S. “The solubility of solids in supercritical fluids”, **Fluid Phase Equilibria**. 158: 501-510; June, 1999.
- Michael, N.M. “Lipid composition and food quality of some freshwater phytoplankton for cladoceran zooplankters”, In **Biochemistry of food**. Gunnel, A., Lisa Lundstedt, M. B. and Curt, F. Editors. p. 198-649. Washington: Academic Press, 1990.

เอกสารอ้างอิง (ต่อ)

- Moggia, C. “Fruit characteristics and cuticle triterpenes as related to postharvest quality of high bush blue berries”, **Postharvest Biology and Technology**. 211: 449–457; May, 2016.
- Morillon, V. and et al. “Factors affecting the moisture permeability of lipid-based edible films: a review”, **Critical Reviews in Food Science and Nutrition**. 42(1): 67-89; June, 2002.
- Mota, W. F. D. and et al. “Waxes and plastic film in relation to the shelf life of yellow passion fruit”, **Scientia Agricola**. 60(1): 51-57; January, 2003.
- Muller, C. and Riederer, M. “Plant surface properties in chemical ecology”, **Journal of Chemical Ecology**. 31: 2621–2651; February, 2005.
- Myers, R.H. and Montgomery, D.C. **Response surface methodology: process and product optimization using designed experiments**. New York: John Wiley and Sons, 1995.
- Myung, K., Parobek, A. P., Godbey, J. A. “Interaction of organic solvents with the epicuticular wax layer of wheat leaves”, **Journal of Agricultural and Food Chemistry**. 61(37): 8737-8742; April, 2013.
- Navarro-Tarazaga, M. L., Sothornvit, R. and Perez-Gsgo, M. B. “Effect of plasticizer type and amount on hydroxypropyl methylcellulose beeswax edible film properties and postharvest quality of coated plums (CV. Angeleno)”, **Journal of Agricultural and Food Chemistry**. 56(20): 9502-9509; December, 2008.
- Nigel, H. and et al. “Coating to Enhance Fruit life”, In **Proceedings from Conference '97: Searching for Quality**. Nigel, H. and et al. Editors. Australian: NZ growers association, Inc., 1997.
- Nithya, K. and et al. “Molecular detection of *Colletotrichum falcatum* Went causing red rot disease of sugarcane (*Saccharum officinarum* L.) using a SCAR marker”, **Annals of Applied Biology Plant Science**. 160: 168-173; April, 2012.
- Njombolwana, N. S. and et al. “Effects of citrus wax coating and brush type on imazalil residue loading, green mould control and fruit quality retention of sweet oranges”, **Postharvest Biology and Technology**. 86: 362-371; December, 2013.
- Nuissier, G. and et al. “Composition of sugarcane waxes in rum factory wastes”, **Phytochemistry**. 61: 721-726; December, 2002.

เอกสารอ้างอิง (ต่อ)

- Ochoa-Reyes, E. and et al. "Improvement of shelf life quality of green bell peppers using edible coating formulations", **Journal of Microbiology, Biotechnology and Food Sciences**. 2(6): 2448-2451; May, 2013.
- Oliveira, B. F., Cruz, A. F. and Alves, E. "Cassava starch coatings for postharvest control of papaya anthracnose", **Phytopathologia Mediterranea**. 55(2): 276–284; October, 2016.
- Onyeike, E. N. and Acheru, G. N. "Chemical composition of selected Nigerian oil seeds and physicochemical properties of the oil extracts", **Food Chemistry**. 77(4): 431-437; June, 2002.
- Orthoefer, F. T. "Rice Brain Oil", In **bailey's industrial oil and fat products, ssixth edition**. New York: John Wiley & Sons, Inc, 2005.
- Osorio, F. A. and et al. "Characteristics of hydroxy propyl methyl cellulose (HPMC) based edible film developed for blueberry coatings", **Procedia Food Science**. 1: 287–293; May, 2011.
- Ozkal, S. G., Salgın, U. and Yener, M. E. "Supercritical carbon dioxide extraction of hazelnut oil", **Journal of Food Engineering**. 69(2): 217-223; July, 2005.
- Pan, X., Niu, G. and Liu, H. "Comparison of microwave-assisted extraction and conventional extraction techniques for the extraction of tanshinones from *salvia miltiorrhiza bunge*", **Biochemical Engineering Journal**. 12(1): 71-77; October, 2002.
- Pandolsook, S. and Kupongsak, S. "Influence of bleached rice bran wax on the physicochemical properties of organogels and water-in-oil emulsion", **Journal of Food Engineering**. 214: 182-192; March, 2017.
- Passam, H.C. and Blunden, G. "Experiments on the storage of limes at tropical ambient temperature (*Citrus limetta*)", **Tropical Agriculture**. 59(1): 20-24; January, 1982.
- Patil, R. T. and Ali, N. "Effect of pre-treatments on mechanical oil expression of soybean using a commercial oil expeller", **International Journal of Food Properties**. 9(2): 227-236; May, 2006.
- Pen, L.T., and Jiang, Y.M. "Effects of chitosan coating on shelf life and quality of fresh-cut Chinese water chestnut *Lebensm.-Wiss*", **U-Technology**. 10: 359-364; October, 2003.

เอกสารอ้างอิง (ต่อ)

- Perdones, A. and et al. “Effect of chitosan–lemon essential oil coatings on storage-keeping quality of strawberry”, **Postharvest Biology and Technology**. 70: 32-41; April, 2012.
- Perez-Gago, M. B. and Krochta, J. M. “Water permeability of whey protein emulsion films as effected by pH”, **Food Science**. 64: 695–698; July, 2002.
- Perez-Gallardo, A. and et al. “Effect of native and acetylated-crosslinked waxy corn starch-beeswax coatings on quality attributes of raspberries during storage”, **Biosynthesis Nutrition Biomedical**. 64(8): 665-673; August, 2015.
- Perrotin-Brunel, H. and et al. “Solubility of non-psychoactive cannabinoids in supercritical carbon dioxide and comparison with psychoactive cannabinoids”, **The Journal of Supercritical Fluids**. 55: 603-608; September, 2010.
- Perry Robert, H., Green Don, W. and Maloney James, O. **Perry's chemical engineers' handbook**. New York: Mc Graw-Hills, 1996.
- Peschel, S., Beyer, M. and Knoche, M. “Surface characteristics of sweet cherry fruit: stomata-number, distribution, functionality and surface wetting”, **Scientia Horticulturae**. 97(3): 265-278; February, 2003.
- Phungmaneeskul, S., Jangchud, A. and Jangchud, K. “Development of bilayer and composite coatings for decreasing weight loss of tangerine”, **Journal of Agriculture**. 34(1): 23-28; January, 2010.
- Pithakpol, W., Photjanataree, P. and Vorapunthu, S. “Storage life extension of lime fruits by coating with carboxymethylcellulose from water hyacinth and gibberaliic acid”, **Khon Kaen Agriculture Journal**. 43(1): 881-887; June, 2015.
- Pixoboy. (2016). “Lotus leaf effect”, **Lotus effect**.
<https://www.google.co.th/search?tbm=isch&q=>. February 20, 2017.
- Plotto, A. (2004). “Hibiscus: post production management for improved marketaccess”, **Food and Agriclture Orgenization of the UN (FAO)**.
<https://ac.els-cdn.com/S030881461400692X/1-s2.0-S030881461400692X-main.pdf>. February 11, 2018.
- Poverenov, E. and et al. “Effects of a composite chitosan-gelatin edible coating on postharvest quality and storability of red bell pepper”, **Postharvest Biology and Technology**. 96: 106-109; July, 2014.

เอกสารอ้างอิง (ต่อ)

- Rachatanapun, P. and Rattanapanone, N. "Synthesis and characterization of carboxymethyl cellulose from mimosa pigra peel", **Journal of Applied Polymer Science**. 122: 3218-3226; May, 2011.
- Rachatanapun, P. and et al. "Carboxymethyl cellulose film from durian rind", **LWT-Food Science and Technology**. 48(1): 52-58; February, 2012.
- Radecka, I. and et al. "Oxidized polyethylene wax as a potential carbon source for PHA production", **Materials**. 9(5): 367-373; may, 2016.
- Rao, M. S. and et al. "Chitosan and guar gum composite films: Preparation, physical, mechanical and antimicrobial properties", **Carbohydrate Polymers**. 82(4): 1243-1247; June, 2010.
- Roach, P., Shirtcliffe, N. J. and Newton, M. I. "Progres in superhydrophobic suface development", **Soft Matter**. 4: 224-240; May, 2009.
- Rocha, G. J. M. and et al. "Influence of mixed sugarcane bagasse samples evaluated by elemental analysis and physical-chemical composition", **Industrial Crops and Products**. 64: 52-58; October, 2015.
- Rodrigues, D. C. and et al. "Influence of cassava starch and carnauba wax on physical properties of cashew tree gum-based films", **Food Hydrocolloid**. 38: 147-151; June, 2014.
- Rojas-Argudo, C., Del Río, M. A. and Pérez-Gago, M. B. "Development and optimization of locust bean gum (LBG)-based edible coatings for postharvest storage of 'Fortune' mandarins", **Postharvest Biology and Technology**. 52(2): 227-234; May, 2009.
- Rojas-Grau, M., Soliva-Fortuny, R., Martin-Belloso, O. "Effect of natural antibrowning agents on color and related enzymes in fresh-cut fuji apples as an alternative to the use of ascorbic acid," **Journal Food Science**. 73(6): 267-272; July; 2008.
- Ruen-ngam, D. and et al. "Selective extraction of lutein from alcohol treated *Chlorella vulgaris* by supercritical CO₂", **Chemical Engineering and Technology**. 35(2): 255-260; January, 2012.
- Salgin, U. "Extraction of jojoba seed oil using supercritical CO₂+ ethanol mixture in green and high-tech separation process", **The Journal of Supercritical Fluids**. 39(3): 330-337; January, 2007.
- Salman, M. and et al. "Preparation of oil /water emulsions of paraffin and bwes waxes with water", **Journal of Scientific Research**. 37(2): 5-8; July, 2008.

เอกสารอ้างอิง (ต่อ)

- Salunkhe, D. K. and et al. **World oilseeds: chemistry, technology, and utilization**. New York: Van Nostrand, 1992.
- Sangsuwan, J., Rattanapaone, N. and Rachtanapun, P. “Effect of chitosan/methyl cellulose on microbial and quality characteristics of fresh-cut cantaloupe and pineapple”, **Posthavest Biology and Technology**. 49: 403-410; July, 2008.
- Sarip, M. S. M. and et al. “Crude palm oil (CPO) extraction using hot compressed water (HCW)”, **Separation and Purification Technology**. 169: 103–112; June, 2016.
- Seifert, B. and Zude-Sasse, M. “High hydrostatic pressure effects on spectral-optical variables of the chlorophyll pool in climacteric fruit”, **LWT - Food Science and Technology**. 73: 303–310; May, 2016.
- Sellamuthu, P. S. and et al. “Thyme oil vapour and modified atmosphere packafing reduce anthracnose incidence and maintain fruit quality in avocado”, **Journal of the Science of Food and Agriculture**. 93: 3024-3031; May, 2013.
- Seymour, G. B. and et al. “Composition and structural features of cell wall polysaccharides from tomato fruits”, **Phytochemistry**. 29(3): 725-731; January, 1990.
- Seymour, G. B., Taylor, J. E. and Tucker, G. A. “Respiration and energy”, In **Biochemistry of fruit ripening**. Tucker, G. A. Editor. p. 329-453. London: Springer Science and Business Media, 1993.
- Sharma, S. and Ramana Rao, T.V. “Xanthan gum based edible cating enriched with cinnamic acid prevents bronwing and extends the shelf-life of fresh-cut pears”, **LWT-Food Science and Technology**. 62: 791-800; December, 2015.
- Sharma, R., Joshi, V. K. and Kaushal, M. “Effect of pre-treatments and drying methods on quality attributes of sweet bell-pepper (*Capsicum annum*) powder”, **Journal Food Science Technology**. 52(6): 3433-3439; June, 2015.
- Shellhammer, T. H. and Krochta, J. M. **Lipids-industrial applications**. New York: Maroal, 1997.
- Shih, F. F., Daigle, K. W. and Champagne, E. T. “Effect ofrice wax on water vapour permeability and sorption properties of edible pullunlan films”, **Food Chemsitry**. 127(1): 118–121; May, 2011.

เอกสารอ้างอิง (ต่อ)

- Sin, E. H. and et al. "Identification, quantification and chrastil modelling of wheat straw wax extraction using supercritical carbon dioxide", **Comptes Rendus Chimie**. 17(3): 293-300; July, 2014.
- Singh, S. and et al. "Carnauba wax-based edible coating enhances shelf-life and retain quality of eggplant (*Solanum melongena*) fruits", **LWT-Food Science and Technology**. 74: 420-426; August, 2016.
- Soares, J. F. and et al. "Extraction of rice bran oil using supercritical CO₂ and compressed liquefied petroleum gas", **Journal of Food Engineering**. 30: 1-6; May, 2016.
- Soradech, S. and et al. "An approach for the enhancement of the mechanical properties and film coating efficiency of shellac by the formation of composite films based on shellac and gelatin", **Journal of Food Engineering**. 108: 94-102; July, 2012.
- Solis-Fuentes, J. A. and Duran-de-Bazua, M. C. "Mango seed uses: thermal behaviour of mango seed almond fat and its mixtures with cocoa butter", **Bioresource Technology**. 92(1): 71-8; March, 2004.
- Sparks, D. and et al. "Extraction of rice brain oil using supercritical carbon dioxide and propane", **Journal of the American Oil Chemists' Society**. 83(10): 885-891; October, 2006.
- Srigumlaitong, S. and Udomsak, B. "A study on production of floor polish from rice bran wax", **Technical Report**. 2: 5552-5558; July, 1975.
- Srisiripan, T., Uthaibutra, J. and Saengnil, K. "Effect of chitosan coating on postharvest physical quality of bell pepper". **Agricultural Science**. 38(5): 87-90; September, 2012.
- Srithanyarat, S., Ratanchinkorn, B. and Kwanhong, P. "Effect of carnuba coating on keeping quality of mangoes namdok mai si thong", **Agriculture Science**. 42(2): 205-208; May, 2011.
- Steyn, L. B. **Design, development and optimization of edible wax coatings for fresh fruit**. Master's Thesis: Stellenbosh University, 2015.
- Subramanyam, H., Krishnamurthy, S. and Parpia, H. A. "Physiology and biochemistry of mango fruit", **Advances in Food Research**. 21: 223-350; April, 1975.
- Sugama, T. "High-performance coating materials", **Brookhaven National Laboratory**. 54: 130-138; July, 2006.

เอกสารอ้างอิง (ต่อ)

- Sumnu, G. and Bayindirli, L. “Effects of Semperfresh (Tm) and Johnfresh(Tm) Fruit Coatings on Poststorage Quality of Ankara Pears”, **Journal of Food Processing and Preservation**. 18(3): 189-199; May, 1994.
- Suseno, S. H., Saraswati, Hayati, S. and Izaki, A. F. “Fatty acid composition of some potential fish oil from production centers in Indonesia”, **Oriental Journal of Chemistry**. 30(3): 975-980; July, 2014.
- Tassone, E. E. and et al. “Chemical variation for leaf cuticular waxes and their levels revealed in a diverse panel of *Brassica napus L.*”, **Industrial Crops and Products**. 79: 77-83; June, 2016.
- Tesfaya, S. Z. and et al. “Carboxyl methylcellulose (CMC) containing moringa plant extracts as new postharvest organic edible coating for Avocado (*Persea americana* Mill.) fruit”, **Scientia Horticulturae**. 226: 201-207; May, 2017.
- Thakhiew, W., Devahastin, S. and Soponronnarit, S. “Effects of drying methods and plasticizer concentration on some physical and mechanical properties of edible chitosan films”, **Journal of Food Engineering**. 99: 216-224; December, 2010.
- Togrul, H. and Arslan, N. “Extending shelf-life of peach and pear by using CMC from sugar beet pulp cellulose as a hydrophilic polymer in emulsions”, **Food Hydrocolloids**. 18: 215-226; March, 2004.
- Tomita, K. and et al. “Extraction of rice bran oil by supercritical carbon dioxide and solubility consideration”, **Separation and Purification Technology**. 125: 319-325; December, 2014.
- Torres, J. D. and et al. “Influence of process conditions on mechanical properties of osmotically dehydrated mango”, **Journal of Food Engineering** 74(2): 240-246; May, 2006.
- Torres, M. and et al. “Water adsorption isotherms of carboxymethyl cellulose, guar, locust bean, tragacanth and xanthan gums”, **Carbohydrate Polymers**. 89(2): 592-598; September, 2012.
- Tian, Z. and et al. “The study of temperature profile inside wax deposition layer of waxy crude oil in pipeline”, **Frontiers in Heat and Mass Transfer**. 5(5): 1-8; July, 2014.
- Tietel, Z. and et al. “Effects of wax coatings and postharvest storage on sensory quality and aroma volatile composition of ‘mor’mandarins”, **Journal of the Science of Food and Agriculture**. 90(6): 995-1007; April, 2010.

เอกสารอ้างอิง (ต่อ)

- Trebitsh, T., Goldschmidt, E. E. and Riov, J. "Ethylene induces de novo synthesis of chlorophyllase, a chlorophyll degrading enzyme in citrus fruit peel", **Proceedings of the National Academy of Sciences**. 90: 9441-9445; December, 1993.
- Tucker, G.A. **Biochemistry of fruit ripening**. Cambridge: Chapman & Hall, 1993.
- Uquiche, E., Cirano, N. and Millao, S. "Supercritical fluid extraction of essential oil from *Leptocarpha rivularis* using CO₂", **Industrial Crops and Products**. 77: 307-314; September, 2015.
- Utto, W. **The design of modified atmosphere perforated plastic packaging for fresh chilies**. Master's Thesis: Massey University, 2001.
- Valencia-Chamorro, S. A. and et al. "Antimicrobial edible films and coatings for fresh and minimally processed fruit and vegetables", **A review Critical Reviews in Food Science and Nutrition**. 51: 872-900; October, 2011.
- Valero, D. and Serrano, M. **Postharvest Biology and Technology**. Washington: CRC-Taylor and Francis, 2010.
- Valverde, J. M. and et al. "Novel edible coating based on aloe vera gel to maintain table grape quality and safety", **Journal of Agricultural and Food Chemistry**. 53(20): 7807-7813; April, 2005.
- Vili, S. R. and et al. "A process for the preparation of food-grade rice bran wax and the determination of physical", **Chemistry**. 101(35): 6847-6854; October, 2005.
- Vargas, M., Pastor, C., Albors, A., Chiralt, A. and Genzalez-Martinez, C. "Development of edible coating for fruit and vegetable possibilities and limitations", **Fresh Produce**. 2(2): 32-40; October, 2008.
- Vieira, J.M. and et al. "Effect of chitosan-aloe vera coating on postharvest quality of blueberry (*Vaccinium Corymbosum*) fruit", **Postharvest Biology and Technology**. 116: 88-97; February, 2016.
- Vollhardt, K. P. C. and Schore, N. E. **Organic chemistry: structure and function**. New York: Freeman and Co., 2003.
- Walter and Baumgarten E. D.C. **Organic Experiments**. Linstromberg. New York: Heath and Company, pp. 69-81, 1987.

เอกสารอ้างอิง (ต่อ)

- Wang, W. Y. and Gao, H. "Effect of chitosan-based edible coating on antioxidants, antioxidant enzyme sytem, and postharvest fruit qulity of strawberries (*Fragaria x aranassa Duch*)", **LWT-Food Science and Technology**. 52: 71-79; May, 2013.
- Wang, C. and Erhan, S. "Studies of thermal polymerization of vegetable oils with a differential scanning calorimeter", **Journal of the American Oil Chemists Society**. 76(10): 1211-1216; October, 1999.
- Watada, A. E., Ko, N. P. and Minott, D. A. "Factors affecting quality of fresh-cut horticultural products", **Postharvest Biology and Technology**. 9(2): 115-125; November, 1996.
- Watada, A. and Qi, L. "Quality of fresh-cut produce", **Postharvest Biology and Technology**. 15: 201-205; May, 1999.
- Weller, C. L., Gennadios, A. and Saraiva, A. "Edible bilayer films from zein and grain sorghum wax or carnauba wax", **Lebensmitter-Wissenschaft and Technology**. 31: 279-285; October, 1998.
- Wiles, J. L. and et al. "Water vapor transmission rates and sorption behavior of chitosan films", **Journal of Food Science**. 65(7): 1175-1179; October, 2000.
- Win, J. and et al. "Effector biology of plant-associated organisms: concepts and perspectives", In **Cold Spring Harbor Symposia on Quantitative Biology**. p. 235-247. New York: Cold Spring Harbor Laboratory Press, 2012.
- Wisniewska, S. K. and et al. "Surface properties of barley straw. Colloids and surfaces", **Biointerface**. 29: 131-142; June 2003.
- Witsawapaisarn, K. and et al. "Shelf life extension of lime fruit by bee wax coatings", **Agricultural Science**. 43(3): 323-326; May, 2012.
- Wong, D. W. S. and et al. "Gas exchange in cut apples with bilayer coatings", **Journal of Agricultural and Food Chemistry**. 42(10): 2278-2285; June, 1994.
- Xu, L. W. and et al. "Phytochemical and their biological activities of plant in tagetes", **Jounal Chinese Hebal Medicines**. 4(2): 103-117; May, 2012.
- Yam, K. L. and Lee, D. S. **Active Food Packaging**. New York: Glasgow Chapman and Hall, 1995.
- Yang, S.F. "Biosynthesis and action of ethylene", **Annual Review of Plant Physiology**. 30(1): 533-591; June, 1985.

เอกสารอ้างอิง (ต่อ)

- Yang, W. “AtPLAI is an acyl hydrolase involved in basal jasmonic acid production and arabidopsis resistance to botrytis cinerea”, **Journal of Biological Chemistry**. 282: 18116-18128; July, 2007.
- Yoon, S. H. and Rhee, J. S. “Composition of waxes from crude rice bran oil”, **Journal of AOAC International**. 59: 561-563; December, 1982.
- Yousef, A. M. and et al. “Evaluation of bionanocomposites as packaging material on properties of soft white chere during storage period”, **Carbohydrate Polymers**. 132: 274-285; July, 2015.
- Yun, J. H. and et al. “Modified atmosphere packaging of fresh produce using microporous earthenware material”, **Packaging Technology and Science**. 19(5): 269-278; September-October, 2006.
- Zambrano, S. “Some ripening change storage and ripening in wax-coated mangoes”, **Hortscience**. 30: 214-218; October, 1995.
- Zhang, L. and et al. “Influence of rice bran wax coating on the physicochemical properties and pectin nanostructure of cherry tomatoes”, **Food Bioprocess Technology**. 10: 349-357; November, 2017.
- Zhao, S. and Zhang, D. “Supercritical CO₂ extraction of eucalyptus leaves oil and comparison with soxhlet extraction and hydro-distillation methods”, **Separation and Purification Technology**. 133(8): 443-451; September, 2014.
- content in the leaves of cabbage (*Brassica oleracea L. var. capitata*) as a mechanical barrier against three insect pests”, **Acta Agriculturae Slovenica**. 91(2): 361-370; September, 2008.
- Zobel, M. G. R. “Measurement of odour permeability of polypropylene packaging films at low odourant levels”, **Polymer Testing**. 3(2): 133-142; May, 1982.

ภาคผนวก

ภาคผนวก ก

วิธีการสัปดาห์ และสมบัติทางเคมี-กายภาพของไซจากใบกะหล่ำปลี

1 วิธีการสกัดไขมันจากใบกะหล่ำปลี

1.1 บทนำ

กระบวนการสกัดทำหน้าทีในการสกัดวัตถุดิบจากธรรมชาติเพื่อนำสารสกัดที่ต้องการออกมาใช้ประโยชน์ตามวัตถุประสงค์ต่าง ๆ ที่ต้องการ เช่น น้ำมันรำข้าว ไขมันข้าว ไขมันไก่ ไขมันหมู และในงานวิจัยนี้เป็นการสกัดไขมันจากใบกะหล่ำปลี ซึ่งกระบวนการสกัดที่จะให้ได้มาซึ่งสารสกัดที่ต้องการจำเป็นพิจารณาถึงลักษณะโครงสร้างและองค์ประกอบทางเคมีของพืชหรือวัตถุดิบ ที่นำมาทำการสกัดด้วย โดยทั่วไปลักษณะโครงสร้างทางเคมีของไขมันสกัด (Wax extraction) ซึ่งเป็นกลุ่มไขมันที่โมเลกุลที่ไม่ละลายน้ำ เนื่องจากน้ำมีโมเลกุลในกลุ่มพวกมีขั้วจึงไม่สามารถจับกับโมเลกุลของไขมันที่มีโมเลกุลจำพวกมีขั้วต่ำหรือไม่มีขั้วจึงส่งผลให้ไขมันไม่ สามารถละลายในน้ำได้ แต่ไขมันสามารถละลายในตัวทำละลายอินทรีย์ เพราะไขมันเป็นสารประกอบจำพวกไม่มีขั้วจึงละลายในตัวทำละลายอินทรีย์จำพวกไม่มีขั้ว เช่น เอทานอล (Ethanol) เฮกเซน (N-hexane) เมทานอล (Methanol) และไดคลอโรมีเทน (Dichloromethane) (Morillon et al., 2002; อ้างใน Johnson and Lusas, 1983) โดยทั่วไปไขมันจากพืชหรือวัตถุดิบจากธรรมชาติอื่น ๆ เป็นส่วนประกอบแทรกตัวอยู่ในโครงสร้างหรือองค์ประกอบอื่นของพืช เช่น ลำต้น เมล็ด และใบ ในการสกัด โดยมีการทำงานร่วมกันระหว่างวิธีการสกัด ระยะเวลา และตัวทำละลาย ดังที่ ได้กล่าวไว้ในบทที่ 2 เพื่อให้ได้มาซึ่งไขมันที่ต้องการนำมาออกมาจากผิวหน้าหรือโครงสร้างภายในของส่วน ประกอบต่างๆของพืชนำมาใช้เป็นวัตถุดิบในการสกัด (Chan et al., 2014)

ซึ่งบทนี้เป็นการสรุปกระบวนการสกัดไขมันจากใบกะหล่ำปลีทั้งหมดที่ผู้วิจัยได้ทำการ ทดสอบเพื่อค้นหากระบวนการที่เหมาะสมที่สุดในการสกัดเพื่อให้ได้ไขมันในปริมาณที่สูงและมีคุณลักษณะที่ดีของไขมัน

1.2 สรุปกระบวนการสกัดไขมันจากใบกะหล่ำปลี

จากการประยุกต์กระบวนการสกัดงานวิจัยของ Frati et al. (2013) แสดงกระบวนการสกัดในตารางที่ ก.1 (A) พบว่า เป็นกระบวนการที่ควบคุมวิธีการสกัดยาก เนื่องจากต้องใช้แก้วในการครอบเพื่อจำกัดพื้นที่ในการสกัดในระหว่างการสกัดอาจมีรอยแตกของใบกะหล่ำปลีส่งผลให้ตัวทำละลายรั่ว แม้ว่าวิธีการนี้ใช้ตัวทำละลายคลอโรฟอร์ม (Chloroform) ที่เป็นตัวทำละลายอินทรีย์ที่มีคุณสมบัติเป็นกลุ่มโมเลกุลไม่มีขั้ว หรือมีขั้วต่ำที่มีประสิทธิภาพในการจับกับโมเลกุลของไขมันและละลายไขมันออกมาได้ นอกจากนี้ยังการบีบตัวทำละลายด้วยปั๊มให้มีความดันเพื่อช่วยให้ตัวทำละลายไขมันออกมาจากผิวหน้าของใบกะหล่ำปลีให้ได้มากที่สุด แต่กระบวนการสกัดนี้ใช้เวลาในการสกัดสั้นมากเพียง 30 วินาที จึงส่งผลให้การสัมผัสกันระหว่างตัวทำละลายกับไขมันที่อยู่บนผิวหน้าของใบกะหล่ำปลีน้อย ทำให้ประสิทธิภาพในการละลายไขมันออกมาได้น้อยมาก หรือแทบไม่พบไขมันออกมาเลยหลังจากการนำสารละลายไประเหยตัวทำละลายออก เนื่องจากระยะเวลาในการสกัดมีส่วนสำคัญมากในกระบวนการสกัดเพราะระยะเวลาเป็นตัวกำหนดให้สารละลายสัมผัสหรือแทรกซึมเข้าสู่โครงสร้างของวัตถุดิบเพื่อช่วยการทำให้ปฏิกิริยากันระหว่างตัวทำละลายและตัวถูกละลายเพื่อทำการย่อยสลาย หรือละลายสารสกัดออกมาสู่ภายนอกโครงสร้างของวัตถุดิบ โดยออกมาในรูปแบบของสารละลายระหว่างตัวทำละลายกับไขมันที่ต้องการ (Perry et al., 1996)

เช่นเดียวกับการยกที่ใช้กระบวนการสกัดจากรายงานวิจัยของ Myung et al. (2013) แสดงในตารางที่ ก. 1 (B) พบว่า กระบวนการสกัดนี้เป็นวิธีการที่สะดวกและง่ายในการเตรียมตัวอย่างและวิธีการสกัด นอกจากนี้ยังใช้ตัวอย่างในการสกัดน้อย โดยกระบวนการนี้มีการเปรียบการสกัดด้วยตัวทำละลาย 2 ชนิด คือ ไอโซโพรพานอล (Isopropanol) ซึ่งเป็นสารละลายในกลุ่มที่มีขั้ว หรือมีความมีขั้วต่ำ (Polar) จากการทดลองพบว่าตัวทำละลายชนิดนี้สามารถละลายไขะหล่ำปัสออกมาได้เล็กน้อย แม้ว่าไขสกัดจากไขะหล่ำปัสจะมีโมเลกุลในกลุ่มไม่มีขั้วหรือมีขั้วต่ำ เนื่องจากความมีขั้วต่ำของไขะหล่ำปัสไปจับกับบางส่วนของตัวทำละลายจึงสามารถละลายออกมาได้บ้าง และจากการสกัดที่ใช้ตัวทำละลายเมทานอล (Methanol) เป็นตัวทำละลายอินทรีย์ที่มีโมเลกุลในกลุ่มไม่มีขั้วจึงสามารถจับกับโมเลกุลของไขะหล่ำปัสออกมาได้บ้างเล็กน้อย (Kwiatkowski and Cheryan, 2002) แต่เมื่อพิจารณาระยะเวลาในการสกัดเพียง 3 นาที แสดงให้เห็นว่าระยะเวลาในการสกัดส่งผลต่อประสิทธิภาพในการสกัดได้ เนื่องจากในการสกัดหากใช้ระยะเวลาน้อยเกินไปทำให้ตัวทำละลายสัมผัสกับไขะหล่ำปัสได้น้อยจึงไม่สามารถทำปฏิกิริยาหรือจับกับโครงสร้างของไขะหล่ำปัสและละลายไขะหล่ำปัสออกมาได้ในปริมาณเยอะ แม้ว่าไขะหล่ำปัสจะอยู่บริเวณผิวหน้าของไขะหล่ำปัสก็ตาม เนื่องจากระยะเวลาในการสกัดที่นานขึ้นสามารถทำให้ตัวทำละลายสัมผัสกับไขะหล่ำปัสได้นานขึ้น และทำการย่อย หรือสกัดไขะหล่ำปัสออกมาจากบริเวณพื้นผิวไปได้มากขึ้น (Mendez-Santiago and Teja, 1999) ซึ่งการสกัดไขะหล่ำปัสด้วยวิธีนี้แม้ว่าภายหลังการระเหยตัวทำละลายออกจะมีการหลงเหลือของไขะหล่ำปัสอยู่ในปริมาณน้อยมาก

จากกระบวนการสกัด ไขะหล่ำปัสของ Koch et al. (2006) โดยกระบวนการสกัดแสดงในตารางที่ ก. 1 (C) ซึ่งในกระบวนการนี้มีการใช้ตัวอย่างในการสกัดปริมาณสูง 10 g ต่อปริมาณของตัวทำละลาย 100 ml และใช้ระยะเวลาในการสกัด 60 วินาที จากการทดสอบภายหลังจากครบระยะเวลาในการสกัดและนำสารละลายที่ได้ไปกรองแยกส่วนของไขะหล่ำปัสกับตัวทำละลายออกพบว่า ในการสกัดด้วยวิธีนี้ไม่มีไขะหล่ำปัสหลงเหลือออกมาเลย และจากกระบวนการนี้เห็นได้ว่าการใช้ตัวอย่างในการทดลองทั้งไขะหล่ำปัสและตัวทำละลายครั้งเดียวผู้วิจัยก็ไม่พบว่ามีไขะหล่ำปัสออกมาเลย ดังนั้นผู้วิจัยจึงได้ประยุกต์วิธีการโดยการตัดชิ้นตัวอย่างเล็กลงเพื่อเพิ่มพื้นที่ผิวสัมผัสให้ตัวทำละลายสามารถสัมผัสกับตัวอย่างได้อย่างทั่วถึงเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพในการสกัด (Harper, 1983; อ้างใน Johnson and Lusas, 1983) ซึ่งนำไขะหล่ำปัสที่มีการหั่นเป็น ชิ้นและจุ่มลงในตัวทำละลายเหมือนดังวิธีการดั้งเดิม และภายหลังการกรองสารละลายด้วยกระดาษกรองก็ยังไม่พบการหลงเหลือของไขะหล่ำปัสจากไขะหล่ำปัสออกมาเช่นเดียวกัน อาจเนื่องจากในกระบวนการนี้ใช้ระยะเวลาในการสกัดสั้นเกินไปจึงส่งผลให้ตัวทำละลายไม่สามารถแทรกซึมเข้าไปจับกับไขะหล่ำปัสและทำการย่อยหรือละลายไขะหล่ำปัสออกมาได้ (Perry et al., 1996) แม้ว่าไขะหล่ำปัสจะอยู่บริเวณผิวหน้าของไขะหล่ำปัสซึ่งเป็นส่วนที่อยู่ภายนอกโครงสร้างของไขะหล่ำปัสก็ตามแต่หากระยะเวลาในการสัมผัสกันระหว่างตัวทำละลายและตัวถูกละลายน้อยเกินไปก็อาจส่งผลให้ประสิทธิภาพในการสกัดลดลงได้เช่นเดียวกัน

สอดคล้องกับรายงานการวิจัยของ Znidarcic et al. (2008) แสดงในตารางที่ ก. 1 (D) ซึ่งกระบวนการนี้เป็นวิธีที่ใช้ตัวอย่างในการสกัดปริมาณมากถึง 20 g อาจเนื่องมาจากปริมาณของไขะหล่ำปัสที่มีปริมาณต่ำจึงจำเป็นต้องใช้ตัวอย่างในการสกัดปริมาณมาก (Znidarcic et al., 2008) เมื่อพิจารณาจากลักษณะของ ไขะหล่ำปัสที่มีขนาดใหญ่เมื่อนำมาจุ่มลงในตัวทำละลายปริมาณเพียง

40 ml อาจทำให้ตัวทำลายกระจายไปทั่วพื้นผิวของใบกะหล่ำปลีเพื่อทำการย่อยหรือละลายไขออกมาได้ เนื่องจากตัวอย่างมีขนาดใหญ่เกินไปดังนั้นผู้วิจัยจึงได้ทำการลดขนาดตัวอย่างโดยการหั่นใบกะหล่ำปลีให้ชิ้นตัวอย่างมีขนาดเล็กลงเพื่อเพิ่มพื้นที่ผิวสัมผัสให้ตัวทำลายสามารถทำการสกัดไขออกมาให้ได้มากที่สุด (Harper, 1983; Johnson and Lusas, 1983) ภายหลังการกรองสารละลายเพื่อแยกตัวทำลายออกจากไขสกัดด้วยกระดาษกรอง พบว่า ไขสกัดจากใบกะหล่ำปลีที่ได้มีปริมาณที่น้อยมากหรือแทบจะไม่มีหลงเหลือไขออกมาเลย อาจเนื่องจากระยะเวลาในการสกัดยังสั้นเกินไปทำให้ประสิทธิภาพในการทำงานของตัวทำลายในการเข้าไปจับกับโครงสร้างโมเลกุลของไขที่เป็นส่วนมีขี้ตัว หรือไม่มีขี้ตัว และทำการย่อยหรือละลายไขออกมาได้ในปริมาณต่ำ (Mendez-Santiago and Teja, 1999) แม้ว่าในกระบวนการนี้ใช้ตัวทำลายอินทรีย์ที่มีโมเลกุลเป็นกลุ่มไม่มีขี้ตัวเช่นเดียวกับไขจากใบกะหล่ำปลี แต่หากระยะเวลาในการสกัดไม่นานเพียงพอต่อการสกัด ก็ส่งผลให้ประสิทธิภาพในการสกัดลดลงได้

ตารางที่ ก.1 กระบวนการสกัดไขมันจากใบกะหล่ำปลี

วิธีการสกัด	สภาวะในการสกัด								ข้อดีของกระบวนการสกัด					ข้อเสียของกระบวนการสกัด						
	ปริมาณตัวอย่าง (g)	อุณหภูมิในการสกัด (°C)	ระยะเวลาการสกัด (Sec./Min)	ชนิดของตัวทำละลาย	ปริมาณตัวทำละลาย (ml)	ชนิดตัวอย่าง														
							ปริมาณไขมันสกัดจากใบกะหล่ำปลี (%)						วิธีการในการสกัดง่าย	ตัวทำละลายปริมาณน้อย	ปริมาณตัวอย่างน้อย	ระยะเวลาการสกัดสั้น	ไขมันที่มีปริมาณสูง	ไขมันที่ได้มีปริมาณน้อยหรือไม่พบ	วิธีการสกัดมีข้อจำกัด	ปนเปื้อนของคลอโรฟิล (ไขมันสกัดเป็นสีเขียวคล้ำ)
(A)	10 g (1 ใบ)	อุณหภูมิห้อง (35°C)	30 Sec.	คลอโรฟอร์ม (Chloroform)	4	ใบสด	-						+	+	+	+	-	+	+	-
(B)	4 ใบ (ขนาด 10x20 mm)	อุณหภูมิห้อง (35°C)	1 Min. 2 Min. 3 Min.	เมทานอล Methanol ไอโซโพรพานอล (Isopropanol)	100 ml "	ใบสด	Methanol			Isopropanol			+	+	+	+	-	+	-	+
							1M.	2M.	3M.	1M.	2M.	3M.								
							0.4	0.5	1.6	0.14	0.16	0.6								
(C)	10 g (1 ใบ)	อุณหภูมิห้อง (35°C)	60 Sec.	คลอโรฟอร์ม (Chloroform)	100 ml	ใบสด	-						+	+	+	+	-	+	+	-

หมายเหตุ: เครื่องหมาย + และ - ที่แสดงในตาราง หมายถึง มีประสิทธิภาพ และ ไม่มีประสิทธิภาพ ในกระบวนการสกัดไขมันจากใบกะหล่ำปลี ตามลำดับ, ที่มา: Frati et al. (2013); Myung et al. (2013); Koch et al. (2006); Znidarcic et al. (2008)

ตารางที่ ก.1 กระบวนการสกัดไขมันจากใบกะหล่ำปลี (ต่อ)

วิธีการสกัด	สภาวะในการสกัด						ปริมาณไขมันสกัดจากใบกะหล่ำปลี (%)			ข้อดีของกระบวนการสกัด					ข้อเสียของกระบวนการสกัด			
	ปริมาณตัวอย่าง (g)	อุณหภูมิในการสกัด (°C)		ระยะเวลาการสกัด (Sec./Min.)	ชนิดของตัวทำละลาย	ปริมาณตัวทำละลาย (ml)				ชนิดตัวอย่าง	วิธีการในการสกัดง่าย	ใช้ตัวทำละลายปริมาณน้อย	ปริมาณตัวอย่างน้อย	ระยะเวลาการสกัดสั้น	ไขมันสกัดที่ได้มีปริมาณสูงและบริสุทธิ์สูง	ไขมันสกัดที่ได้มีปริมาณน้อยหรือไม่พบ	วิธีการสกัดมีข้อจำกัด	มีการปนเปื้อนของคลอโรฟิลล์ (ไขมันสกัดเป็นสีเขียวคล้ำ)
(D)	20 g (2 ใบ)	อุณหภูมิห้อง (35°C)		1 Min. 2 Min. 3 Min.	เฮกเซน (Hexane)	40 ml	ใบสด	1 Min	2 Min	3 Min	+	+	-	+	-	+	+	+
									0.45	0.35								
(E)	5 g	สกัด	ระเหย	480 Sec.	เอทานอล (Ethanol)	150 ml	ใบแห้ง	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3	+	-	+	-	+	-	+	+
	90	45						3.33	2.86	4.16								

หมายเหตุ: เครื่องหมาย + และ - ที่แสดงในตาราง หมายถึง มีประสิทธิภาพ และ ไม่มีประสิทธิภาพ ในกระบวนการสกัดไขมันจากใบกะหล่ำปลี ตามลำดับ; ที่มา: Zhao and Zhang (2014); Bohinc et al. (2014)

ตารางที่ ก.1 กระบวนการสกัดไขมันจากใบกะหล่ำปลี (ต่อ)

วิธี การ สกัด	สภาวะในการสกัด						ปริมาณไขมันสกัดจาก ใบกะหล่ำปลี (%)			ข้อดีของกระบวนการสกัด					ข้อเสียของกระบวนการสกัด		
	ปริมาณ ตัวอย่าง (g)	อุณหภูมิใน การสกัด (°C)	ระยะเวลา ในการสกัด (Sec./ Min.)	ชนิดของ ตัวทำ ละลาย	ปริมาณตัว ทำละลาย (ml)	ชนิด ตัวอย่าง				วิธีการ ในการ สกัดง่าย	ใช้ตัวทำ ละลาย ปริมาณ น้อย	ปริมาณ ตัวอย่าง น้อย	ระยะ เวลาใน การสกัด สั้น	ไขมัน ที่ได้มี ปริมาณ สูงและ บริสุทธิ์ สูง	ไขมันที่ได้มี ปริมาณน้อย หรือไม่พบ	วิธีการสกัด มีข้อจำกัด	มีการปนเปื้อน ของคลอโรฟิลล์ (ไขมันที่เป็น สีเขียวคล้ำ)
(F)	150 g	อุณหภูมิห้อง (35°C)	15 hour.	ไดคลอโรมีเทน (Dichloromethane)	300 ml	ใบสด	0.38	0.15	0.64	+	-	-	-	+	+	-	-

หมายเหตุ: เครื่องหมาย + และ - ที่แสดงในตาราง หมายถึง มีประสิทธิภาพ และ ไม่มีประสิทธิภาพ ในกระบวนการสกัดไขมันจากใบกะหล่ำปลี ตามลำดับ; ที่มา: Zhao and Zhang (2014); Bohinc et al. (2014)

นอกจากนี้ได้มีการประยุกต์กระบวนการสกัดจากรายงานการวิจัยของ Zhao and Zhang (2014) แสดงในตารางที่ ก. 1 (E) ซึ่งกระบวนการนี้เป็นการสกัดโดยใช้เครื่องซอกซ์เลต (Soxhlet) เป็นเครื่องที่มีประสิทธิภาพสูงในการสกัดและเป็นที่นิยมในการนำมาประยุกต์ใช้ในการสกัดสารสกัดจำพวกไขมันโดยการทดลองด้วยวิธีนี้ พบว่า กระบวนการนี้มีประสิทธิภาพสูงในการสกัดให้ได้ไขมันที่ออกมาในปริมาณมากกว่าวิธีการที่ได้ทำการทดสอบมาในข้างต้น แต่ไขมันที่ได้มามีความบริสุทธิ์ต่ำมาก เนื่องจากกระบวนการนี้เป็นการสกัดที่ใช้ตัวทำละลายอินทรีย์ที่มีประสิทธิภาพในการละลายไขมันได้สูง การใช้อุณหภูมิสูง 90°C และระยะเวลาในการสกัดนาน 480 วินาที หรือ 8 ชั่วโมง ซึ่งอุณหภูมิสูงส่งผลให้โครงสร้างภายในของใบกะหล่ำปลีเกิดการขยายและอ่อนตัวมากขึ้น รวมทั้งทำให้ความหนืดของตัวทำละลายลดลงทำให้ตัวทำละลายสามารถแทรกซึมเข้าไปทำหน้าที่ในการจับกับโมเลกุลของไขมันและทำการย่อยหรือการละลายไขมันออกมาสู่ภายนอกโครงสร้างของใบกะหล่ำปลีได้อย่างมีประสิทธิภาพ (Patil and Ali, 2006) ไม่เพียงแต่ไขมันที่สกัดจากใบกะหล่ำปลีจะละลายออกมาเพียงอย่างเดียวเท่านั้นอาจมีองค์ประกอบอื่นๆของใบกะหล่ำปลีหลุดออกมาด้วย เช่น สารสีเขียวหรือคลอโรฟิลล์ของใบกะหล่ำปลีหลุดออกมาด้วย เนื่องจากคลอโรฟิลล์ละลายได้ดีในตัวทำละลายกลุ่มแอลกอฮอล์ (Wong, 2000) ซึ่งในกระบวนการสกัดนี้ใช้ตัวทำละลายเป็นเอทานอลที่เป็นแอลกอฮอล์จึงส่งผลให้คลอโรฟิลล์ละลายออกมาในปริมาณมากทำให้ไขมันที่ได้มีความบริสุทธิ์ต่ำจากการศึกษากระบวนการสกัดทั้งหมดที่ผ่านมา พบว่า บางกระบวนการก็ไม่มีไขมันจากใบกะหล่ำปลีหลงเหลือออกมาเลยหรือบางวิธีการสกัดได้ไขมันที่สกัดออกมาในบ้าง แต่ไขมันที่สกัดจากใบกะหล่ำปลีที่ได้ก็มีความบริสุทธิ์ต่ำ โดยทางผู้วิจัยได้พบงานวิจัยของ Bohinc et al. (2014) จึงได้ทำการดัดแปลงกระบวนการสกัด แสดงในตารางที่ ก. 1 (F) จนได้ไขมันที่สกัดตามวัตถุประสงค์ ที่ต้องการคือ ไขมันที่ได้มีความบริสุทธิ์ดีกว่าวิธีการสกัดด้วยวิธีการซอกซ์เลต โดยลักษณะไขมันที่ได้มีลักษณะเหนียวเล็กน้อย และสีของไขมันเป็นสีน้ำตาลอาจเนื่องจากตัวทำละลายชนิด ไดคลอโรมีเทน (Dichloromethane) ที่มีคุณสมบัติเป็นพวกโมเลกุลที่มีขั้วต่ำ หรือไม่มีขั้ว จึงสามารถไปจับกับโครงสร้างของไขมันที่มีโมเลกุลชนิดเดียวกัน (Myung et al., 2013) และในกระบวนการนี้ใช้ตัวอย่าง 150 g ต่อตัวทำละลายปริมาณสูง 300 ml และระยะเวลาในการสกัดที่นานถึง 15 ชั่วโมง ซึ่งใบกะหล่ำปลีผ่านการลดขนาดตัวอย่างโดยการหั่นใบกะหล่ำให้มีขนาดเล็กลงเพื่อเพิ่มพื้นที่ผิวสัมผัสให้ตัวทำละลายได้แพร่กระจายอย่างทั่วถึงและสามารถจับกับโมเลกุลของไขมันและละลายไขมันออกมาได้อย่างมีประสิทธิภาพ (Harper, 1983; อ้างใน Johnson and Lusas, 1983) นอกจากนี้กระบวนการยังมีประสิทธิภาพที่ดี คือ ในการสกัดไม่ได้มีการให้ความร้อนร่วมด้วยจึงทำให้ตัวทำละลายไม่แทรกเข้าไปในโครงสร้างภายในของใบกะหล่ำปลีและไปละลายเอาคลอโรฟิลล์ออกมาด้วย เนื่องจากคลอโรฟิลล์ละลายได้ดีในตัวทำละลายกลุ่มแอลกอฮอล์ (Wong, 2000) ดังนั้นกระบวนการนี้จึงไม่มีผลต่อการละลายสารกลุ่มคลอโรฟิลล์ออกจึงทำให้ได้ไขมันที่บริสุทธิ์กว่าวิธีการอื่น ๆ

1.3 สรุปประเด็นสำคัญ

กระบวนการสกัดที่มีประสิทธิภาพที่ดีในการสกัด คือ การใช้กระบวนการการจุ่ม หรือแช่ ใบกะหล่ำปลีหั่นปริมาณ 150 g ในตัวทำละลายไดคลอโรมีเทน 300 ml เป็นระยะเวลา 15 ชั่วโมง เนื่องจากเป็นกระบวนการที่ให้ไซสกัดในปริมาณที่สูงกว่าวิธีการที่มีลักษณะคล้ายคลึงกัน แต่อาจได้ไซสกัดในปริมาณที่ต่ำกว่าที่ได้จากกระบวนการสกัดแบบซอกท์เลตก็ตาม แต่ไซสกัดที่ได้มีความบริสุทธิ์กว่าและมีสีที่มีลักษณะคล้ายคลึงกับไซสกัดในเชิงพาณิชย์ คือ สีน้ำตาล

2. ค่าไอโอดีน (Iodine value: IV)

ค่าไอโอดีน หมายถึง กรัมของไอโอดีนที่ใช้เติมเข้าไปทำปฏิกิริยาพอกกับไขมัน 100 g เป็นค่าบ่งชี้ถึงระดับความไม่อิ่มตัวของไขมัน (%) โดยมีวิธีการดังต่อไปนี้

2.1 ชั่งตัวอย่างไขมันจากใบกะหล่ำปลี 0.3-0.4 g (บันทึกน้ำหนักที่แน่นอน) ลงในขวดสีชาที่มีฝาปิด จากนั้นปิเปต Iodine mono-chloride (ICI) ปริมาตร 25 ml เติมลงไปจากนั้นปิดฝาขวดและนำไปตั้งทิ้งไว้ในที่มืด เป็นระยะเวลา 1 ชั่วโมง โดยในระหว่างนั้นเขย่าบ้างเป็นบางครั้ง ในขณะเดียวกันเตรียมขวดเปรียบเทียบ (Blank) ซึ่งใช้คลอโรฟอร์ม ปริมาตร 10 ml แทนสารละลายลิปิด

2.2 ถ่ายสารละลายออกจากขวดที่มีฝาปิดลงในขวดรูปชมพู่ขนาด 250 ml จากนั้นใช้น้ำกลั่นปริมาณเล็กน้อยล้างสารละลายที่ติดขวดสีชาและเทลงในขวดรูปชมพู่ให้หมด แล้วปิเปต Potassium iodide (KI) ปริมาตร 10 ml เติมลงไปลงในขวดรูปชมพู่ แล้วปิดปากขวดให้สนิทด้วยพาราฟิล์ม ทำการเขย่าให้สารละลายเข้ากันในระหว่างนั้นเกิดก๊าซ I_2 ขึ้น จากนั้นนำไปไตเตรทหาปริมาณก๊าซที่เกิดขึ้นด้วย Sodium thiosulphate ($Na_2S_2O_3$) เมื่อไตเตรทจนได้สารละลายสีเหลืองซีด (โดยเปรียบเทียบสีเหลืองของขวดตัวอย่างให้เท่ากับขวด Blank) และทำการเติมน้ำแบ่งลงไปลงในขวดตัวอย่าง ปริมาตร 1 ml ซึ่งน้ำแบ่งทำปฏิกิริยากับไอโอดีนได้สารละลายเป็นสีน้ำเงิน

2.3 นำมาไตเตรทต่อจนสีน้ำเงินหายไปในช่วงไตเตรทค่อยๆ เติม $Na_2S_2O_3$ ที่ละน้อยและทำการเขย่าอย่างแรงตลอดเวลาเพื่อให้แน่ใจว่า I_2 ถูกดึงออกจากชั้นของไขมันและของคลอโรฟอร์ม และทำปฏิกิริยาได้เต็มที่

2.4 บันทึกปริมาตรสารละลาย $Na_2S_2O_3$ ที่ใช้ในการไตเตรทขวดตัวอย่างและขวด Blank และนำมาคำนวณหาค่าไอโอดีน ตามสมการที่ 2.4 (อภิญา วัฒนา, 2551; อนรรฆอร ศรีไสยเพชร และมาโนชญ์ วัฒนวัฒน์, 2555)

$$\text{ค่าไอโอดีน (Iodine value)} = \frac{1.27 (B-C)}{\text{น้ำหนักตัวอย่าง (g)}} \quad (2.4)$$

โดย

B = ปริมาตร ของ 0.1 M $Na_2S_2O_3$ ที่ใช้ในการไตเตรทขวดเปรียบเทียบ (Blank) (ml)

C = ปริมาตรของ 0.1 M $Na_2S_2O_3$ ที่ใช้ในการไตเตรทขวดตัวอย่าง (ml)

3. ไตรเตรหาค่าความเป็นกรด (Acid value)

ชั่งไขมันจากใบกะหล่ำปลี 7 g บันทึกน้ำหนักที่แน่นอน เติมนิเอทานอลร้อน (78°C) (Ethanol) ปริมาตร 75 ml และฟีนอล์ฟทาไลน์ 2 ml จากนั้นนำไปไตเตรทด้วยสารละลายมาตรฐาน โซเดียมไฮดรอกไซด์ 0.25 N เขย่าให้เข้ากันจนได้สารละลายสีชมพูที่คงตัว นาน 30 วินาที พร้อมทำ Blank แล้วคำนวณค่ากรดไขมันอิสระ ตามสมการที่ 2.5 และค่ากรดที่แสดงใน สมการที่ 2.6 (AOCS, 1997; ปัทมา น้ำทองคำ, 2552)

$$\% \text{Free fatty acid} = \frac{(A-B) \cdot N \cdot 28.2}{W} = \frac{(A-B) \cdot N \cdot 28.2}{W} \quad (2.5)$$

เมื่อ A = ปริมาตรของ NaOH 0.25 N ที่ใช้ในการไตเตรทกับตัวอย่าง (ml)
 B = ปริมาตรของ NaOH 0.25 N ที่ใช้ในการไตเตรทกับสารละลาย Blank (ml)
 N = ความเข้มข้นของ NaOH (Normality: N)
 W = น้ำหนักตัวอย่างที่ใช้ (g)

คำนวณปริมาณกรดไขมันอิสระให้อยู่ในรูปของ Acid value

$$\text{โดย Acid value} = \% \text{ Free fatty acid} \times 1.99 \quad (2.6)$$

4. ค่าซาโปนิฟิเคชัน (Saponification number)

ค่าซาโปนิฟิเคชัน หมายถึง มิลลิกรัมของ KOH ที่ใช้ในการทำปฏิกิริยาพอกดีกับไขมัน 1 g เป็นค่าชี้บอกขนาดของโมเลกุลเฉลี่ยของไขมัน มีวิธีการดังต่อไปนี้

4.1 ชั่งไขมันจากใบกะหล่ำปลี ปริมาตร 2 g ใส่ลงในขวดรูปชมพู่ขนาด 250 ml แล้วเติม 1 M alcoholic KOH ปริมาตร 50 ml (เตรียมสารละลายโดยชั่ง KOH ปริมาตร 1.4 g อย่างรวดเร็วใส่ลงในขวดสีชา จากนั้นเติมนิเอทานอลลงไป ปริมาตร 50 ml เขย่าให้เม็ด KOH ละลายเล็กน้อย นำสารละลายไปต้มโดยวิธีการ Reflux เป็นระยะเวลา 45 นาที โดยในระหว่างการให้ความร้อนเพื่อป้องกันไม่ไห้สารละลายเดือดเกินไปให้เติมเม็ด KOH ลงไป 2-3 ชิ้น)

4.2 จากนั้นปิเปตสารละลายออกมา ปริมาตร 30 ml แบ่งใส่ขวดรูปชมพู่ขนาด 100 ml จำนวน 2 ใบ และหยด 0.04% Phenolphthalein ปริมาตร 1-2 หยด นำสารละลายไปไตเตรทกับ 0.5 M Standard HCL แล้วจดบันทึกข้อมูล นำมาเทียบกับตัวอย่างเปรียบเทียบกับ (Blank) โดยเตรียมตัวอย่าง Blank นำสารละลาย KOH ปริมาตร 15 ml เติมนิเอทานอลลงในขวดรูปชมพู่ขนาด 250 ml และหยด 0.04% Phenolphthalein ปริมาตร 1-2 หยด นำสารละลายไปไตเตรทกับ 0.5 M Standard HCL และบันทึกข้อมูล นำมาคำนวณค่าสะโปนิฟิเคชัน ตามสมการที่ 2.7 (นิธิยา รัตนาปนนท์, 2529; อนรรฆอร ศรีไสยเพชร และมานิชย์ ถนอมวัฒน์, 2555)

$$\text{ค่าซาโปนิฟิเคชัน} = \text{ปริมาตรของ KOH ที่ใช้ในการไตเตรทไขมัน 1 g (ml)}$$

$$= \frac{56 \cdot N \cdot (B-A)}{W} \quad (2.7)$$

โดย A = ปริมาตรเฉลี่ยของ 0.5 M Standard HCL ที่ใช้ในการไตเตรทหาค่าตัวอย่าง (ml)
 B = ปริมาตรเฉลี่ยของ 0.5 M Standard HCL ที่ใช้ในการไตเตรทหาค่าเปรียบเทียบ (ml)
 N = ความเข้มข้นของ HCL (0.5 M)
 W = น้ำหนักไขมันจากใบกะหล่ำปลี (g)

5. งานวิจัย เรื่อง ผลของการเคลือบผิวด้วยไขสกัดจากใบกะหล่ำปลีต่อสมบัติการยอมให้น้ำซึมผ่านและอัตราการหายใจของมะนาวสด (Effects of Surface Coating Using Wax Extracted from Cabbage Leaf on Effective Water Vapour Permeance and Respiration Rate of Fresh Lime) นำเสนอผลงานในงาน การประชุมวิชาการวิทยาการหลังการเก็บเกี่ยวแห่งชาติ ครั้งที่ 15 และได้รับการตีพิมพ์ในวารสารวิทยาศาสตร์เกษตร ปีที่ 48 ฉบับที่ 3 (พิเศษ) กันยายน-ธันวาคม 2560

**ผลของการเคลือบผิวด้วยไขสกัดจากใบกะหล่ำปลีต่อสมบัติการยอมให้น้ำซึมผ่านและ
อัตราการหายใจของมะนาวสด**

**Effects of Surface Coating Using Wax Extracted from Cabbage Leaf on Effective
Water Vapour Permeance and Respiration Rate of Fresh Lime**

นิตยา ภูงาม¹ วีระเวทย์ อุทโท^{1,2} และฤทธิรงค์ พฤษพิณกุล³
 Nittaya Phungam¹, Weerawate Utto^{1,2} and Rittirong Pruthitikul³

Abstract

This research has developed the method to extract wax from the cabbage leaf i.e. immersion of fresh leaves cut into size of 1 x 3 cm in a dichloromethane solution, as a solvent, for 15 h at room temperature (35°C) after which the solvent was evaporated out from the extract using nitrogen gas flushing technique giving the dried and ready-to-use wax extract. The research was conducted to investigate effects of surface coating using the wax extract which was dissolved in an ethanol solvent on effective water vapor permeance (effective WVP) and respiration rate of fresh lime. This was compared to those of surface coating using the chitosan coating material (Benefit Chitosan, 2% (w/w) concentration) and non-coated lime (designated as control) at 25°C. The experimental results showed that the effective WVP values of fresh lime coated using both coating materials were significantly lowered than those

¹ สาขาวิชาเทคโนโลยีการอาหาร คณะเกษตรศาสตร์ มหาวิทยาลัยอุบลราชธานี ถนนสมเด็จณรงค์ อำเภอวารินชำราบ จังหวัดอุบลราชธานี

¹ Department of Food Technology, Faculty of Agriculture, Ubon Ratchathani University, StilMark Road, Warinchamrab district., Ubon Ratchathani

² ศูนย์นวัตกรรมเทคโนโลยีหลังการเก็บเกี่ยว สำนักงานคณะกรรมการการอุดมศึกษา กรุงเทพมหานคร

² Postharvest Technology Innovation Center, Commission on Higher Education, Bangkok 10400, Thailand.

³ ห้องปฏิบัติการพลาสติก ศูนย์เทคโนโลยีโลหะและวัสดุแห่งชาติ สำนักงานพัฒนาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งชาติ

³ Laboratory Plastics, National Metal and Materials Technology Center, National Science and Technology Development Agency

of non-coated lime ($7.2 \mu\text{mol s}^{-1} \text{m}^{-2} \text{Pa}^{-1}$). An average value of the effective WVP of lime coated using the cabbage wax extract and the chitosan were 1.6 and $1.4 \mu\text{mol s}^{-1} \text{m}^{-2} \text{Pa}^{-1}$ respectively. The study results show that surface coating could greatly decrease respiration rates. An average value of the respiration rate of the lime coated with the cabbage leaf wax extract ($25.8 \text{ nmol s}^{-1} \text{kg}^{-1}$) was comparable to that of the lime coated with the chitosan ($26.9 \text{ nmol s}^{-1} \text{kg}^{-1}$). These were approximately 2-fold lower than the average respiration rate value of the non-coated lime ($50.1 \text{ nmol s}^{-1} \text{kg}^{-1}$).

Keywords: Effective water vapor permeance (WVP), Respiration rate, Cabbage leaf wax extracted

บทคัดย่อ

การวิจัยนี้ได้พัฒนาวิธีการสกัดไขมันจากใบกะหล่ำปลีโดยการแช่ใบกะหล่ำปลีสดขนาด $1 \times 3 \text{ cm}$ ในตัวทำละลาย ไดคลอโรมีเทน เป็นระยะเวลา 15 ชั่วโมง ที่อุณหภูมิห้อง (35°C) และระเหยตัวทำละลายออกจากไขมันที่สกัดด้วยก๊าซไนโตรเจน ไขมันที่ได้มีลักษณะแห้งพร้อมใช้งาน การวิจัยได้ศึกษาผลของการเคลือบผิวมะนาวด้วยไขมันที่สกัดซึ่งนำมาละลายในตัวทำละลายเอทานอลต่อสมบัติการยอมให้น้ำซึมผ่านและอัตราการหายใจ เปรียบเทียบกับมะนาว ซึ่งเคลือบผิวด้วยสารเคลือบผิวไคโตซาน (Benefit Chitosan ความเข้มข้น $2\% \text{ (w/w)}$) และมะนาวที่ไม่ผ่านการเคลือบผิวหน้า (ชุดควบคุม) ที่อุณหภูมิ 25°C ผลการทดลอง พบว่า การเคลือบผิวหน้าทำให้สมบัติการยอมให้น้ำซึมผ่านของมะนาวลดลงอย่างมากเมื่อเปรียบเทียบกับมะนาวชุดควบคุม ($7.2 \mu\text{mol s}^{-1} \text{m}^{-2} \text{Pa}^{-1}$) โดยค่าเฉลี่ยของสมบัติการยอมให้น้ำซึมผ่านของมะนาวที่เคลือบผิวหน้าด้วยไขมันสกัด และสารเคลือบผิวไคโตซาน มีค่าเท่ากับ 1.6 และ $1.4 \mu\text{mol s}^{-1} \text{m}^{-2} \text{Pa}^{-1}$ ตามลำดับ ผลการศึกษาแสดงให้เห็นว่าการเคลือบผิวหน้าทำให้อัตราการหายใจลดลง ค่าเฉลี่ยของอัตราการหายใจของมะนาวที่เคลือบผิวด้วยไขมันสกัดจากใบกะหล่ำปลี ($25.8 \text{ nmol s}^{-1} \text{kg}^{-1}$) มีค่าใกล้เคียงกับค่าเฉลี่ยของอัตราการหายใจของมะนาวที่เคลือบผิวด้วยสารเคลือบผิวไคโตซาน ($26.9 \text{ nmol s}^{-1} \text{kg}^{-1}$) และมีค่าต่ำกว่าค่าเฉลี่ยของอัตราการหายใจของมะนาวที่ไม่ผ่านการเคลือบผิว ($50.1 \text{ nmol s}^{-1} \text{kg}^{-1}$)

คำสำคัญ: สมบัติการซึมผ่านของไอน้ำ อัตราการหายใจ ไขมันสกัดจากใบกะหล่ำปลี

คำนำ

สารเคลือบผิวที่ได้จากวัตถุดิบธรรมชาติเป็นที่นิยมกันอย่างแพร่หลายในอุตสาหกรรมการเคลือบผิวผักและผลไม้สด เนื่องจากช่วยชะลอการเปลี่ยนแปลงทางด้านสรีระวิทยาภายหลังการเก็บเกี่ยวของผักและผลไม้สดได้ เช่น ชะลอการหายใจ และการคายน้ำ สารเคลือบผิวผลิตจากวัตถุดิบทางธรรมชาติที่สามารถรับประทานได้ (Edible films) เช่น ไขผึ้ง (Bee wax) ไขรำข้าว (Rice bran wax) ไขอ้อย (Sugarcane wax) ไคโตซาน (Chitosan) คาร์บอกซิเมทิล เซลลูโลส (Carboxymethyl cellulose) มีความปลอดภัยต่อผู้บริโภค (Arnon *et al.*, 2014) สารเคลือบผิวที่มีส่วนประกอบของ

คาร์นูบาร์ (Carnauba wax) และเซลแล็ก (Shellac) เป็นที่นิยมกันอย่างแพร่หลายในอุตสาหกรรม การเคลือบผิวผักและผลไม้ เนื่องจากมีคุณสมบัติทางด้านความแข็งแรงทนทาน ยึดติดพื้นผิวดี และ ชะลอการสูญเสียน้ำหนัก และปลอดภัยต่อผู้บริโภค (จริงแท้, 2549; Srithanyarat *et al.*, 2011) การ พัฒนาสารเคลือบผิวจากวัสดุธรรมชาติเพื่อทดแทนการนำเข้าจากต่างประเทศ เช่น ไชคาร์นูบาร์เป็น แนวทางการพัฒนาทางการเกษตรหนึ่งที่ได้รับ ความสนใจอย่างต่อเนื่อง (สวทช, 2554) การวิจัยนี้ได้ ศึกษาการใช้ประโยชน์ของใบกะหล่ำปลีคัดทิ้งจากการตัดแต่งก่อนจำหน่าย โดยได้พัฒนาวิธีการสกัดไขมัน จากใบกะหล่ำปลี เนื่องจากไขมันที่สกัดจากใบกะหล่ำปลี ซึ่งมีสมบัติไม่ชอบน้ำ (Hydrophobicity) เปียก น้ำได้น้อยมาก (Low wettability) และสามารถทำความสะอาดตัวเองได้ (Self-cleaning หรือ Lotus leaf effect) (Koch *et al.*, 2006) การวิจัยนี้ยังได้ศึกษาผลของการใช้สารเคลือบผิวหน้าที่ได้จากการ สกัดไขมันจากใบกะหล่ำปลีต่อสมบัติการยอมให้น้ำซึมผ่านและอัตราการหายใจของมะนาวสด

อุปกรณ์และวิธีการ

1. การสกัดไขมันจากใบกะหล่ำปลี

การสกัดไขมันจากใบกะหล่ำปลีได้ประยุกต์วิธีจากงานวิจัยของ Bohinc *et al.* (2014) โดยใช้ ใบกะหล่ำปลีสอดขนาด 1 x 3 cm จำนวน 150 g ใส่ลงในขวดโหลแก้วขนาด 2 L ภายในบรรจุ ตัวทำละลายไดคลอโรมีเทน (Dichloromethane) (ความเข้มข้น 100%) ปริมาตร 300 ml ปิดฝาให้ สนิท แช่เป็นระยะเวลา 15 ชั่วโมง ณ อุณหภูมิห้อง (35°C) จากนั้นแยกสารสกัดออกจากเศษใบ กะหล่ำปลีด้วยการกรอง และนำสารสกัดไประเหยตัวทำละลายออกจากไขมันสกัดด้วยก๊าซไนโตรเจน (Nitrogen gas) อัตราการไหล 5 mL min⁻¹ โดยสารสกัดไขมันในอ่างน้ำร้อนที่ควบคุมอุณหภูมิ 50°C จน ตัวทำละลายระเหยออกหมด สภาวะดังกล่าวทำให้ไขมันสกัดที่ได้มีลักษณะแห้งและสามารถนำมาใช้งาน เป็นสารเคลือบผิวได้โดยการละลายในตัวทำละลายต่อไป

2. การเคลือบผิวหน้ามะนาว

การเตรียมสารเคลือบผิวด้วยการนำไขมันสกัดจากใบกะหล่ำปลีผสมกับสารละลายเอทานอล (99%) อัตราส่วน 0.5:5 (w/v) นำมะนาวที่ผ่านการทำความสะอาดและเก็บรักษาไว้ ณ อุณหภูมิ 25°C เป็น เวลา 24 ชั่วโมง มาเคลือบผิวหน้าด้วยสารเคลือบที่ผสมขึ้นด้วยการนำแปรงจุ่มสารเคลือบแล้วทาลง บนผิวหน้าของมะนาวจนทั่ว ทำซ้ำ 2 รอบและทำให้สารเคลือบบนผิวหน้ามะนาวแห้งด้วยการนำพัด ลมมาเป่า เป็นเวลา 3 ชั่วโมง จากนั้นเก็บรักษา ณ อุณหภูมิ 25°C แล้วนำไปศึกษาอัตราการหายใจ และอัตราการซึมผ่านของไอน้ำ ทำการเปรียบเทียบกับมะนาวที่ผ่านการเคลือบผิวหน้าด้วยไคโตซาน (Benefit Chitosan ความเข้มข้น 2% (w/w)) โดยวิธีการเคลือบดังวิธีที่ได้รายงานข้างต้น และมะนาว ที่ไม่ผ่านการเคลือบผิว (ชุดควบคุม)

3. วิธีการศึกษา

3.1 สมบัติการยอมให้อไอน้ำซึมผ่าน (effective water vapour permeance; effective WVP)

การประมาณค่าสมบัติการยอมให้อไอน้ำซึมผ่านของมะนาวที่ผ่านการเคลือบผิว และไม่ผ่านการเคลือบผิว ได้ประยุกต์จากงานวิจัยของ Maguire (1998) ซึ่งเป็นการวัดอัตราการซึมผ่านของไอน้ำในสถานะคงที่ (steady-state diffusion) การประมาณค่า effective WVP ใช้หลักการของการแพร่ในสถานะคงที่ หรือ Fick's first law โดยอัตราการซึมผ่านผิวของผักและผลไม้ของไอน้ำ สัมพันธ์กับ (1) ค่า effective WVP (2) พื้นที่ผิว และ (3) ความแตกต่างระหว่างความดันไอน้ำภายในผลิตภัณฑ์และสิ่งแวดล้อม

3.2 การวัดอัตราการหายใจของมะนาว (respiration rate)

ชั่งน้ำหนักผลมะนาวแต่ละลูก และจดบันทึกเป็นน้ำหนักสด และนำผลผลิต ใส่ลงในขวดโหล (1 ลูก ต่อ 1 โหล) ปิดฝาให้สนิท เก็บรักษาไว้ ที่อุณหภูมิ 25°C เป็นระยะเวลาประมาณ 1 ชั่วโมง (โดย ณ เวลาเริ่มต้น หรือ $t=0$ จะกำหนดให้ความเข้มข้นของ $\text{CO}_2 = 0.03\% \text{ (v/v)}$) เมื่อเวลาครบ 1 ชั่วโมง ทำการดูดก๊าซ 20 ml จากบรรยากาศภายในขวดโหลโดยใช้เข็มฉีดยา นำตัวอย่างก๊าซฉีดลงในเครื่อง MAPtest เพื่อวิเคราะห์ความเข้มข้นก๊าซ CO_2 และรายงานค่าในหน่วย $\% \text{ (v/v)}$ จากนั้นนำค่ามาคำนวณอัตราการหายใจร่วมกับน้ำหนักของมะนาว ตาม Ideal gas law โดยคำนวณอัตราการผลิต CO_2 ต่อหน่วยเวลา วิธีการวัดและคำนวณอัตราการหายใจได้ประยุกต์จากงานวิจัยของ Maguire (1998)

ผล

ผลการศึกษาการเคลือบผิวมะนาวด้วยไฮสก็ดจากใบกะหล่ำปลีที่ส่งผลต่อสมบัติการยอมให้อไอน้ำซึมผ่านของมะนาวเปรียบเทียบกับมะนาวที่เคลือบผิวด้วยสารละลายไคโตซาน และมะนาวไม่ผ่านการเคลือบผิว (ชุดควบคุม) พบว่า การเคลือบผิวส่งผลให้สมบัติการยอมให้อไอน้ำซึมผ่านของมะนาวลดลงอย่างมาก (Figure 1) ซึ่งมะนาวที่เคลือบผิวด้วยไฮสก็ดจากใบกะหล่ำปลี และสารเคลือบผิวไคโตซานมีค่าเฉลี่ยของสมบัติการยอมให้อไอน้ำซึมผ่าน เท่ากับ 1.6 และ 1.4 $\mu\text{mol s}^{-1} \text{ m}^{-2} \text{ Pa}^{-1}$ ตามลำดับ เมื่อเปรียบเทียบกับมะนาวชุดควบคุมแสดงให้เห็นว่ามีค่าสมบัติการยอมให้อไอน้ำซึมผ่านสูงกว่ามาก (7.2 $\mu\text{mol s}^{-1} \text{ m}^{-2} \text{ Pa}^{-1}$)

การเคลือบผิวด้วยสารเคลือบผิวของไฮสก็ดจากกะหล่ำปลีและสารละลายไคโตซานส่งผลให้อัตราการหายใจของมะนาวมีค่าลดลง เมื่อเปรียบเทียบกับอัตราการหายใจของมะนาวชุดควบคุม (50.1 $\text{nmol s}^{-1} \text{ kg}^{-1}$) (Figure 2) มะนาวที่เคลือบผิวด้วยไฮสก็ดจากใบกะหล่ำปลีมีค่าเฉลี่ยอัตราการหายใจ เท่ากับ 25.8 $\text{nmol s}^{-1} \text{ kg}^{-1}$ ซึ่งใกล้เคียงกับค่าเฉลี่ยของอัตราการหายใจของมะนาวที่ เคลือบผิวด้วยสารเคลือบผิวไคโตซาน ซึ่งมีค่าเท่ากับ 26.9 $\text{nmol s}^{-1} \text{ kg}^{-1}$

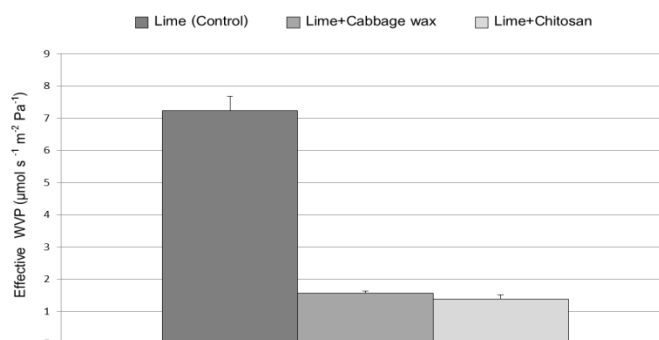


Figure 1 Effects of CB-Wax coating and chitosan coating on effective WVP of fresh lime fruit (n = 8 at 25°C). Ctrl (control) represents non-coated lime. Data shown represented average $\pm$ standard deviation

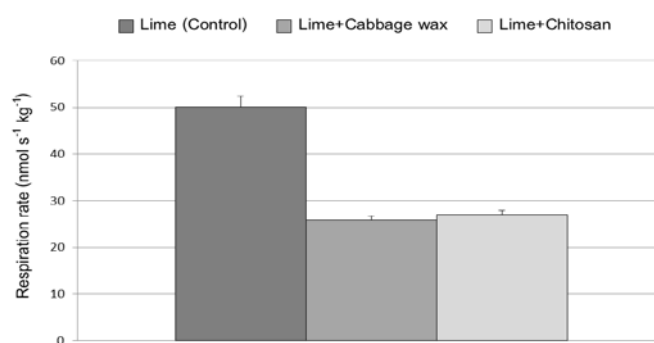


Figure 2 Effects of CB-Wax coating and chitosan coating on respiration rate of fresh lime fruit (n = 8 at 25°C). Ctrl (control) represents non-coated lime. Data shown represented average $\pm$ standard deviation

วิจารณ์ผลการทดลอง

การเคลือบผิวช่วยให้สมบัติการยอมให้อิออนน้ำซึมผ่านของมะนาวลดลง เนื่องจากสารเคลือบผิวไปทำหน้าที่ในการเป็นตัวขัดขวางการซึมผ่านของไอน้ำโดยการปิดรูปากใบที่เปิดตามธรรมชาติในชั้น epidermis ของผักและผลไม้ (Hagenmaier and Baker, 1993) การซึมผ่านไอน้ำเกิดจากความแตกต่างของความดันไอน้ำภายในมะนาวมีค่าสูงกว่าความดันไอน้ำที่อยู่ภายนอกสิ่งแวดล้อม (Kays, 1991) ทั้งนี้ผักและผลไม้มีไขเคลือบผิวหน้าตามธรรมชาติ ทำหน้าที่ควบคุมการซึมผ่านของก๊าซและไอน้ำระหว่างผลิตผลและสิ่งแวดล้อม แต่ไขสามารถเกิดการสูญเสียในระหว่างการเก็บเกี่ยว กระบวนการทำความสะอาด และขนส่ง (Wiles *et al.*, 2000; เกศรัตน์ และคณะ, 2555)

การเคลือบผิวหน้าส่งผลให้อัตราการหายใจลดลง เนื่องจากสารเคลือบผิวจำกัดการถ่ายเทของก๊าซออกซิเจนจากภายนอกมาสู่เนื้อเยื่อของพืช จึงส่งผลให้อัตราการผลิตก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ลดลง (Cisneros-Zevallos and Krochta, 2002) ดังผลการศึกษาที่พบในการศึกษานี้หรืองานวิจัย

ของ Del Nobile *et al.* (2009) ซึ่งได้รายงานว่า การเคลือบผิวหน้าของผลแคคตัสแพร์ (Cactus pear) ด้วยวุ้น (Agar) และอัลจิเนต (Alginate) ส่งผลให้อัตราการหายใจของผลแคคตัสแพร์ลดลง

สรุป

จากการทดลองการสกัดไข่ด้วยวิธีการแช่สามารถสกัดไข่จากใบกะหล่ำปลีได้ และสารเคลือบผิวจากไข่สกัด ใบกะหล่ำปลีมีผลต่อการแลกเปลี่ยนก๊าซของมะนาว ส่งผลให้สมบัติการยอมให้น้ำซึมผ่านของมะนาวลดลง และอัตราการหายใจของมะนาวลดลงด้วย

คำขอบคุณ

สำนักงานพัฒนาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งชาติ (สวทช.) สำหรับทุนสนับสนุนการศึกษาระดับปริญญาเอกของโครงการ TGIST ประจำปีการศึกษา 2558-2560 และ คณะเกษตรศาสตร์ มหาวิทยาลัยอุบลราชธานี เงินสนับสนุนการวิจัยและห้องปฏิบัติการเทคโนโลยีหลังการเก็บเกี่ยว และการอาหาร

เอกสารอ้างอิง

- เกศรัตน์ วิศว์ไพศาล, วิลาวรรณ คำปวน, จารุณี จุงกลาง และจันทน์ อุทัยบุตร. 2555. การยืดอายุการวางจำหน่ายของผลมะนาวโดย สารเคลือบผิวจากไข่ผึ้ง. วารสารวิทยาศาสตร์เกษตร 43: 323-326.
- จริงแท้ ศิริพานิช. 2549. สรีรวิทยาและเทคโนโลยีหลังการเก็บเกี่ยวผักและผลไม้. มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์. กรุงเทพมหานคร. 408 น.
- สวทช. ศูนย์สื่อสารวิทยาศาสตร์ไทย สวทช. 2554. หนังสือพิมพ์กรุงเทพธุรกิจ. คอลัมน์ Smart Life. ฉบับวันอังคารที่ 13 กันยายน 2554 [ระบบออนไลน์]. แหล่งที่มา: <http://www.nstda.or.th/nstda-knowledge/6577-20110913-fruits-pretty-dangerous> (10 กุมภาพันธ์ 2558).
- Arnon, H., Y. Zaitsev, R. Porat and E. Poverenov. 2014. Effects of carboxymethyl cellulose and chitosan bilayer edible coating on postharvest quality of citrus fruit. *Postharvest Biology and Technology* 87: 21-26.
- Bohinc, T., D. Markovic and S. Trdan. 2014. Leaf epicuticular wax as a factor of antixenotic resistance of cabbage to cabbage flea beetles and cabbage stink bugs attack. *Acta Agriculturae Scandinavica, Section B-Soil and Plant Science* 64(6): 493-500.
- Cisneros-Zevallos, L. and J. M. Krochta. 2002. Internal modified atmospheres of coated fresh fruits and vegetables: Understanding relative humidity effects. *Journal of Food Science* 67(6): 1990-1995.

- Del Nobile, M. A., A. Conte, C. Scrocco and I. Brescia. 2009. New strategies for minimally processed cactus pear packaging. *Innovative Food Science and Emerging Technologies* 10(3): 356-362.
- Hagenmaier, R. D. and R. A. Baker. 1993. Reduction in gas exchange of citrus fruit by wax coatings. *Journal of Agricultural and Food Chemistry* 41(2): 283-287.
- Kays, S. J. 1991. *Postharvest physiology and handling of perishable plant products*. Springer. United States of America. pp. 119-526.
- Koch, K., K.D. Hartmann, L. Schreiber, W. Barthlott and C. Neinhuis. 2006. Influences of air humidity during the cultivation of plants on wax chemical composition, morphology and leaf surface wettability. *Environmental and Experimental Botany* 56(1): 1-9.
- Maguire, K. M. 1998. Factors affecting mass loss of apples. Ph.D. thesis. Massey University. Palmerston North, New Zealand.
- Srithangarat, S., B. Ratanchinkorn and P. Kwanhong. 2011. Effect of caruba coating on keeping quality of mangoes namdok mai si thong. *Agriculture Science* 42(2)(Suppl.): 205-208.
- Wiles, J. L., P. J. Vergano, F. H. Barron, J. M. Bunn and R. F. Testin. 2000. Water vapor transmission rates and sorption behavior of chitosan films. *Journal of Food Science* 65(7): 1175-1179.

6. **งานวิจัย** งานวิจัยเรื่อง ปฏิสัมพันธ์ระหว่างการเคลือบผิวหน้าด้วยไขสกัดจากใบกะหล่ำปลีและอุณหภูมิต่อการเปลี่ยนแปลงสมบัติของก๊าซและไอน้ำของกระเจี๊ยบเขียวสด (Interaction between surface coating using cabbage leaf wax extract and temperature on water vapour and gas exchange properties of fresh okra (*Abelmoschus esculentus* (L.) Moench)) ตีพิมพ์ในวารสาร *International Food Research Journal (IFRJ)* ประเทศ มาเลเซีย

Interaction between surface coating using cabbage leaf wax extract and temperature on water vapour and gas exchange properties of fresh okra (*Abelmoschus esculentus* (L.) Moench)

¹Phungam, N., ^{1,3,*}Utto, W. and ²Pruthitkul, R.

¹Faculty of Agriculture, Ubon Ratchathani University, 85 Muang Sri Kai Subdistrict, Warin Chamrap, Ubon Ratchathani 34190, Thailand.

²National Metal and Materials Technology Center (MTEC), 114 Thailand Science Park (TSP), Phahonyothin Road, Khlong Nueng, Khlong Luang, Pathum Thani 12120, Thailand.

³ Postharvest Technology Innovation Center, Commission on Higher Education, Bangkok 10400, Thailand.

*Correspondent author Email: weerawate.u@ubu.ac.th

Abstract

Significant shelf-life losses can occur in fresh okra fruit because of weight loss and shrivelling. The effects of surface coating using wax extracted from cabbage leaf (CB-Wax), and storage temperature on water vapour and gaseous exchange properties of fresh okra were investigated. CB-wax was prepared by immersion of outer cabbage leaves in dichloromethane solvent for 15 h at ambient temperatures and stored in a dried form. The extract was mixed with ethanol for coating the intact okra surface through brushing. CB-Wax coated okra were kept in three different temperatures (10, 25 and 35°C) and effective skin permeance to water vapor (effective SPW), respiration rate, and effective skin permeance to CO₂ (effective SPC) were studied and compared to those of a non-coated control. Values of effective SPW, respiration, and effective SPC of CB-Wax coated okra were significantly lower than those of non-coated fruit. These values showed temperature dependence where could be described by the Arrhenius model; values of error root mean squares were in a range of 0.001-0.422. However, CB-Wax coated okra apparently were less sensitive to temperature changes compared to non-coated okra as determined by activation of energy estimated from the model using a non-linear regression approach. CB-Wax has external benefits in reducing water vapour loss, respiration rate, and CO₂ permeation through the skin of fresh okra.

Keywords

Effective skin permeance, Gas exchange properties, Surface coating, Wax, Okra

Introduction

Water loss from fresh okra (*Abelmoschus esculentus*) after harvest causes reductions in its market value because of wilt or a wrinkled appearance and more, importantly, it is due to weight loss (Ben-Yehoshua, 1987; Finger *et al.*, 2008). Water loss is the major contributor to this weight loss (Gillepsie, 1986). The market acceptance of weight loss for okra is limited to 5% (Finger *et al.*, 2008). Like other

horticultural products, water vapour continuously diffuses from the cuticle of the okra fruit skin to the surrounding environment due to the water vapour pressure gradient (Kays, 1991). Although plants have natural waxes on their surface to minimize water loss, some losses of these waxes are unavoidable and may result from for example, harvesting and cleaning processes (Srilaong *et al.*, 2013). Losses of wax subsequently lead to weight loss, through facilitating water vapor losses from the fruit (Dagostin *et al.*, 2015). To compensate for waxes lost from the fruit, surface coating with either natural or synthetic waxes including carnauba wax, shellac wax, rice bran wax, chitosan and oxidized polyethylene have been commercially applied to a range of fruit to prevent water loss, as well as to increase fruit surface appearance (Cisneros-Zevallos and Krochta, 2002).

In this study, wax was extracted from the outer leaves of fresh cabbage as surface coating material (CB-Wax). Outer fresh cabbage leaves are typically discarded as part of normal marketing practices because of their tough hard texture, and unpleasant appearance caused by, for example, bruises and holes from insect damage (Thammawong *et al.*, 2011). Cabbage leaf has high amounts of surface wax which can exert a so-called 'lotus leaf effect' in which the surface is considered unwettable or self-cleaning (Koch *et al.*, 2006). Utilisation of the outer cabbage leaves for wax extraction is a value-added approach for what is otherwise a waste product. These appear to be no other reports on using wax extracted from cabbage leaves for use on okras or other horticultural products. Wax coating is considered to provide additional barriers to water vapour and to gaseous permeations through the skin of fruit (Kays, 1991). Consequently changes to water vapour diffusion and to other gaseous exchange properties of coated okra fruit could be expected when the fruit are treated with cabbage leaf waxes. Storage temperatures of horticultural products can often fluctuate and vary widely. Such changes can have negative consequences to fruit including the promotion of microbial proliferation, water loss, reductions in firmness and colour changes (Celikel *et al.*, 2002). The influence of temperature on okra fruit that were either untreated or coated with wax extracted from cabbage leaves (denoted as CB-Wax) was also studied. The aims of this study were to investigate the effectiveness of CB-Wax surface coating as well as the influences of temperature on respiration and skin permeance to water vapour and gaseous exchange in okra fruit.

Materials and Methods

Raw material

Cabbages and okra fruit were purchased from markets in Warin Chamrap, Ubon Ratchathani, Thailand. Both products were transported to the postharvest laboratory, Faculty of Agriculture, Ubon Ratchathani University within 2 h. Outer cabbage leaves were detached out from the cabbage head and left at room temperature (approximately 35°C) prior to the extraction process. Okra fruit were separated into three groups in accordance to experimental temperatures (10, 25 and 35°C). The fruits were kept in the desired temperatures for 18 h to equilibrate with the storage temperature treatment prior to applying the coating. Preliminary tests showed that the fruit temperature, measured using a thermocouple probe, was equal to the storage room temperature in which the fruit was stored after this equilibration period.

CB-wax extraction and preparation

The CB-Wax extraction procedure used was an immersion method as reported by Bohinc *et al.* (2014) with some modifications. Fresh leaves were cut size into 1 x 3 cm pieces and 150 g of leaf was placed in to a 2 L glass jar. A 300 mL volume of dichloromethane liquid (99% w/v) was added and the jars were left for 15 h at ambient temperature (35°C). The extract was then separated from the leaves by filtration. The solvent was evaporated by placing the extract solvent solution in a beaker in water bath (50°C) and aerating with nitrogen gas (5 mL min⁻¹ flow rate) within a fume hood. The dried wax was stored in a desiccator.

Coating of okra surface using CB-Wax

To prepare the wax surface coating material, the dried CB-Wax was mixed with ethanol (99%) at a ratio of 0.5: 5 (w/v). Individual okra fruits were coated using a brush dipped in the coating material. The okra surface was brushed thoroughly and left to dry in a ventilated area, i.e. the time period was at least 12 h. The time period was considered sufficient for gas transport processes achieving their steady-state condition. Non-coated okra fruit were designated as the control (Ctrl). From our studies undertaken (data not shown), there were no significant effects of ethanol as a wax solvent on gaseous exchange properties of okra studied. Values of the properties measured from okra either control or only brushed with ethanol were comparable. The effects of cabbage wax extracted surface coating on the gaseous exchange properties of the okras should be considered results of the wax *per se*.

Measurement of effective skin permeance to water vapour

Values of effective skin permeance to water vapour (denoted as effective SPW) for both coated and non-coated fruit were estimated according to Fick's first law for steady-state diffusion (Equation 1) following Maguire (1998):

$$P_{okr}^{H_2O} = \frac{r_{okr}^{H_2O}}{(p_{int}^{H_2O} - p_{env}^{H_2O}) \times A_{fr}} \quad (\text{Equation 1})$$

where $P_{okr}^{H_2O}$ is the effective SPW ($\text{mol s}^{-1} \text{ m}^{-2} \text{ Pa}^{-1}$); $r_{okr}^{H_2O}$ is the steady-state rate of water loss from fruit (mol s^{-1}); A_{okr} is the fruit surface area (m^2); and $p_{int}^{H_2O}$ and $p_{env}^{H_2O}$ are the partial pressure of water vapor inside the fruit and in the atmosphere surrounding the fruit (Pa), respectively. The value of $r_{fr}^{H_2O}$ was estimated by subtracting the rate of carbon loss attributed to respiration processes from the steady-state rate of weight loss (Equation 2).

$$r_{okr}^{H_2O} = r_{okr}^{wt} - r_{okr}^{Closs} \quad (\text{Equation 2})$$

where r_{okr}^{wt} is the steady-state weight loss of fresh okra (mol s^{-1}); and r_{okr}^{Closs} is the rate of carbon loss attributed to respiration processes of fresh okra (mol s^{-1}). To quantify r_{okr}^{wt} , fresh okra fruit were weighed periodically using a digital balance until the weight reduction became linear and the value of r_{okr}^{wt} was represented by the slope of the linearized weight change which was estimated using linear regression (Microsoft Excel 2010). The value of r_{okr}^{Closs} was estimated using equation 3.

$$r_{okr}^{Closs} = r_{okr}^{CO_2} M_{okr} \quad (\text{Equation 3})$$

where $r_{okr}^{CO_2}$ is the respiration rate ($\text{mol s}^{-1} \text{ kg}^{-1}$); and M_{okr} is the okra mass (kg). The respiration rate of fresh okra was measured through CO_2 generation rate in a closed system following Maguire (1998). Values of $p_{fr}^{H_2O}$ and $p_{env}^{H_2O}$ were calculated using equation 4 and equation 5, respectively.

$$p_{fr}^{H_2O} = 611 \cdot \exp \left(17.27 \cdot \left(\frac{T_{fr}}{T_{fr} + 237.3} \right) \right) \times a_w \quad (\text{Equation 4})$$

$$p_{env}^{H_2O} = 611 \cdot \exp \left(17.27 \left(\frac{T_{wb}}{T_{wb} + 237.3} \right) \right) - \gamma (T_{db} - T_{wb}) \quad (\text{Equation 5})$$

where T_{fr} fruit temperature ($^{\circ}\text{C}$); a_w water activity [defined as 0.995 following Maguire (1998)]; T_{wb} , T_{db} wet and dry bulb temperature ($^{\circ}\text{C}$), respectively; γ constant, defined as $67 \text{ Pa } ^{\circ}\text{C}^{-1}$ following Maguire (1998). The okra surface area was measured using a leaf area measuring meter (Area meter Li-3100, Nebraska, USA). To measure the surface area, individual okra were wrapped with opaque tape which was later cut and peeled off from the okra using a sharp knife. The tape was spread out and flattened on a transparent sheet inserted into the leaf area meter. The surface area was estimated from the opaque section laid on the sheet.

Measurement of effective skin permeance to CO_2

Effective skin permeance to CO_2 (denoted as effective SPC) was estimated according to Fick's first law for steady-state diffusion following Banks (1983). To quantify CO_2 concentration inside the fruit, the techniques by Banks (1983) were utilized. Cannulae (14 gauge stainless steel needles, cut down to 2-cm length) were inserted through the fruit wall into the cavity of the fruit. The connection between the cannula and the skin was sealed to be gas-tight using an epoxy adhesive. Once the cannulae were attached, fruit were separated into three groups (8 fruits per individual temperature; $n = 8$) and then equilibrated for 18 h in three different temperatures (10, 25 and 35°C). Steady-state internal CO_2 ($p_{okr,int}^{CO_2}$) at each storage temperature thereafter were determined by sampling 10 mL from the fruit cavities through the cannulae (Banks, 1983). Values for effective SPC were then calculated using equation 6 (Cheng, 1999).

$$P_{okr}^{CO_2} = \frac{r_{okr}^{CO_2} M_{okr}}{(p_{int}^{CO_2} - p_{env}^{CO_2}) A_{okr}} \quad (\text{Equation 6})$$

where $P_{okr}^{CO_2}$ is an effective SPC ($\text{mol s}^{-1} \text{ m}^{-2} \text{ Pa}^{-1}$); and $p_{int}^{CO_2}$, $p_{env}^{CO_2}$ are CO_2 concentration in the fruit interior and in the environment (Pa), respectively. It should be noted that the value of $p_{env}^{CO_2}$ was equal to 0.03 kPa which is the CO_2 pressure in the ambient atmosphere.

Data analysis

The experimental design and statistical analysis was in accordance with a factorial in Complete Randomized Design (CRD) of which the coating (CB-Wax and non-coated) and storage temperatures (10, 25 and 35°C) were main effects. All data were analysed using the General Linear Model (GLM) analysis of variance and Tukey multiple range test ($p < 0.05$) for comparison of means using MINITAB (Minitab, Inc.).

Data for effective SPW, respiration rate and SPC were analyzed and expressed according to units proposed by Bank *et al.* (1995). Temperature dependences of the data were analysed using Arrhenius's law (Equation 7). The reference temperature for Arrhenius's law was in all cases fixed at 15°C (288.15 K).

$$k = k_{ref} \exp \left(\frac{Ea}{R} \left(\frac{1}{T_{ref}} - \frac{1}{T} \right) \right) \quad (\text{Equation 7})$$

where R is gas constant ($8.314 \text{ J mol}^{-1} \text{ K}^{-1}$); Ea energy of activation (J mol^{-1}) expresses the dependence of given rate (either effective skin permeance or respiration rate represented by k) on temperature (T , K), k_{ref} effective skin permeance or respiration rate at arbitrarily chosen reference T_{ref} .

Nonlinear regressions were conducted for fitting data from equation 7 to the empirical results. Values of Arrhenius coefficients were identified through fitting by minimizing the sum of squared residuals in Microsoft Excel[®]. Statistical analyzes were conducted to evaluate the differences between the predicted ($pred$) (i.e. Equation 7) and experimental ($epmt$) results, through calculations of root mean square of error following Yantarasi *et al.* (1995) (Equation 8).

$$RMSE = \sqrt{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n ((epmt)^i - (pred)^i)^2} \quad (\text{Equation 8})$$

where $RMSE$ is root mean square of error, n is number of data points, and $epmt$ and $pred$ are experimental and equation 7's predicted data, respectively.

Results and discussion

Effective skin permeance to water vapour (Effective SPW)

The effective SPW values of okra coated with CB-Wax were significantly lower than for non-coated okra (approximately 100-fold) (Figure 1). The reductions were attributed to the CB-Wax layer coated on the okra, which decreased the rate of

water vapor transfer from the okra to the immediate environment, due to the differences between the partial pressure of water vapor inside and outside the fruit (Tapia *et al.*, 2008). Hence CB-Wax significantly reduced the loss of water vapour from the fruit and, consequently, minimized the loss in fresh fruit weight. CB-Wax has, therefore, potential as method for effective water vapour and weight loss control. Okra coated with CB-wax had a greener color and had only minor wrinkle marks on the fruit surface. In contrast, non-coated fruit had a noticeably wrinkled appearance and became slightly yellow in appearance (data not shown).

The effective SPW of both CB-Wax coated and non-coated okra increased with increased temperature (Figure 1). Changes of the effective SPW in relation to temperature were adequately described by Arrhenius's relationship (Equation 7) (Table 1). The value of **RMSE** was lower than 2 which, according to Yang and Chinnan (1998), indicated that the model or equation can reasonably described the experimental data. Variations observed amongst the effective SPW data especially observed in non-coated okra could mainly be attributed to natural characteristics wax coated on fruit surface (Figure 1). Unlike plastic film, the wax layer naturally coated on fruit surface is not even which could be results of, for examples, cracks and losses of wax at some areas on the surface (Maguire *et al.*, 1999). Such irregularities of wax could provide additional passages for gaseous and water vapour exchanges between fruit and immediate environment. Since individual okra fruit could have different wax irregularities, the effective SPW data of non-coated okra accordingly showed high variations. In contrast, the variations become lesser amongst CB-Wax coated okra (Figure 1). These could be attributed to the fact that CB-Wax additionally applied on the fruit surface filled in some cracks or replaced empty spaces caused by losses of wax.

The estimates for activation energy ($Ea_{P_{H_2O}^{okra}}$) of CB-Wax coated okra was approximately 3-fold lower than that of control fruit (Table 1). The experimental results indicated that non-coated okra were more sensitive to temperature changes, compared to the CB-Wax coated okra. The values of $Ea_{P_{H_2O}^{okra}}$ for both CB-Wax coated okra and the non-coated controls were much lower than those of plastic films: for example, 61.9 kJ·mol⁻¹ polyvinylidene chloride (PVDC), 42.2–65.3 kJ·mol⁻¹ polypropylene (PP), and 33.4–61.7 kJ·mol⁻¹ polyethylene (Roger *et al.*, 1982). Consequently the rates of water vapour loss from okra are relatively less sensitive to temperature changes compared to those of water vapour permeations through such plastic films.

Respiration rates

Values for respiration rate of okra coated with CB-Wax were approximately 10-fold lower than those of non-coated okra (Figure 2). The wax layer is likely to have been an additional barrier that limits oxygen transfer from the outside of the okra fruit to the fruit interior, causing a lower respiration rate as the rate is dependent on oxygen concentration (Cisneros-Zevallos and Krochta, 2002). Del Nobile *et al.* (2009) similarly reported that cactus pear coated with agar and alginate coating materials had lower rates of oxygen exchanges between the cactus pear and the environment due to the coating layers. Values of respiration rates of non-coated okra measured at 35°C were apparently lower than those measured at 25°C in the control fruit. These lower values could be attributed to effects of high temperature during storage (i.e. 35°C) stimulating senescence of okra which subsequently led to lower respiration rates. In contrast, the respiration rates of CB-Wax coated okra measured at 35°C were higher than those measured at 25°C and these could be results of the wax coated lowered the respiration and related metabolic activities, causing the okra having slower senescence rate.

Changes in respiration rate in relation to temperature were adequately described by the Arrhenius relationship (Equation 7) with values of *RMSE* being lower than 2 (Table 1). The estimates for activation energy ($Ea_{r_{CO_2}}^{okra}$) of okra coated with CB-Wax were lower than there for non-coated okra (Table 1). The experimental result indicated that non-coated okra is more sensitive to temperature change compared with the CB-Wax coated okra. It could be noticeable that the Arrhenius model overestimated respiration rates of non-coated okra measured at 10°C (Figure 2). The low respiration rate could be results of chilling injury. Whilst there is limited information on effects of the chilling injury on respiration rate of okra, those for example, on mango were reported i.e. the chilling injury suppressed respiration rate and delayed fruit colour development (Nair and Singh, 2009). Although optimal storage temperature of okra is in a range of 7-10°C, different cultivars and production environment among others would be factors causing the okra became differ in susceptibility to the chilling injury (Cantwell and Suslow, 2001). Given such information, the low respiration rates measured at 10°C of non-coated okra would be considered disorders attributed to the chilling injury. In contrast, Arrhenius model sufficiently predicted the respiration rates measured at 10°C of CB-Wax coated fruit suggested that symptoms of chilling injury occurred to the coated okra were lessened compared to those of the non-coated fruit. Future studies would be conducted to investigate for understanding effects of CB-Wax on chilling injury of fresh okra.

The Ea_{r,CO_2} values of both CB-Wax coated and non-coated okra were lower than those for bell pepper ($39.869 \text{ kJ mol}^{-1}$) (Chen *et al.*, 2000), and hot chillies ($69.813 \text{ kJ mol}^{-1}$) (Utto, 2001). These other species physically have internal cavities, similar to those in okra but fresh okra appears to be less sensitive to temperature than both crops mentioned. The CB-Wax further reduced okra's sensitivity to temperature differences. The reduced in sensitivity could provide benefit in future supply chain management of fresh okra where temperature fluctuations occur during cool chain transportation and storage.

Effective skin permeances to CO₂

The values for effective SPC of okra coated with CB-Wax were approximately 10-fold lower than those of non-coated okra. These lower values were attributed to the coated layer which minimizes gaseous exchanges between okra and the environment (Banks, 1984). As mentioned above the wax layer can reduce the rate of oxygen transfer into the fruit causing a reduction in respiration rate. This lowers the concentration of CO₂ which is a key product of respiration. The lower CO₂ concentration accumulated in the internal regions of the fruit in turn lowers effective SPC because of the decreased CO₂ concentration gradient between the internal and the immediate external environment, subsequently reducing CO₂ transfer rates.

Like the effective SPW, values of effective SPC of both coated and non-coated okra increased with increasing temperature (Figure 3). Amongst the control okra, the SPW values measured at 35°C were lower than those measured at 25°C. The similar trend was observed in the respiration values (Figure 2) and these could be mainly attributed to senescence of okra which was stimulated when they were kept at 35°C. The Arrhenius relationship described adequately the experimental data supported by the values of RMSE which were lower than 2 (Table 1). The activation energy of non-coated okra (Ea_{p,CO_2}) was approximately 2-fold high than that of CB-Wax coated okra (Table 1). The experimental data suggested that non-coated okra were more sensitive to temperature changes compared to CB-Wax coated fruit. It can be noticed that the Arrhenius model overestimated values of the effective SPW of non-coated okra measured at 10°C. Similar prediction of the Arrhenius model was observed in Figure 2. The overestimations among the effective SPW data could be results of effects of the chilling injury on respiration rates of non-coated fruit at 10°C as discussed previously in the respiration rate.

Conclusion

The experimental results showed that both CB-Wax coating and storage temperatures had significant effects on water vapour and CO₂ gas exchange properties of fresh okra. Applications of CB-Wax as a surface coating material reduced effective skin permeances to both water vapour and CO₂, as well as respiration rates. The CB-Wax developed in this study shows potential benefits for incorporation in future postharvest cool chain management for reducing sensitivity of fresh okra to temperature fluctuations.

Acknowledgments

We would like to express our appreciation to the National Science and Technology Development Agency (NSTDA) for providing the scholarship under the TGIST programme for Master's degree, and to the Faculty of Agriculture, Ubon Ratchathani University, Thailand for providing financial and technical support.

References

- Banks, N. H. 1983. Evaluation of methods for determining internal gases in banana fruits. *Journal of Experimental Botany* 34: 871-879.
- Banks, N. H. 1984. Some effects of TAL Pro-long coating on ripening bananas. *Journal of Experimental Botany* 35(1): 127-137.
- Banks, N. H., Cleland, D. J., Cameron, A. C., Beaudry, R. M. and Kader, A. A. 1995. Proposal for a rationalized system of units for postharvest research in gas exchange. *HortScience* 30: 1129-1131.
- Ben-Yehoshua, S., Shapiro, B. and Moran, R. 1987. Individual seal-packing enables the use of curing at high temperature to reduce decay and heal injury of citrus fruits. *HortScience* 22: 777-783.
- Bohinc, T., Markovic, D. and Trdan, S. 2014. Leaf epicuticular wax as a factor of antixenotic resistance of cabbage to cabbage flea beetles and cabbage stink bugs attack. *Acta Agriculturae Scandinavica, Section B-Soil and Plant Science* 64(6): 493-500.
- Cantwell, M. and Suslow, T. August 2001. Okra: recommendations for maintaining postharvest quality. Retrieved on April 3, 2017 from Perishables Handling Website: http://afghanag.ucdavis.edu/a_horticulture/row-crops/okra/FS_Veg_Okra_Postharvest_UCD_PHTC.pdf

- Celikel, F. G., Kaynas, K. and Erenoglu, B. 2002. A study on modified atmosphere storage of strawberry. In XXVI International Horticultural Congress: Issues and Advances in Postharvest Horticulture p. 423-430. Toronto: Canada.
- Chen, X., Hertog, M. L. and Banks, N. H. 2000. The effect of temperature on gas relations in MA packages for capsicums (*Capsicum annuum* L., cv. Tasty): an integrated approach. *Postharvest Biology and Technology* 20(1): 71-80.
- Cheng, Q. 1999. Effects of temperature and coating treatment on gas exchange of Braeburn apple. Palmerston North, New Zealand: Massey University, MAppSc thesis.
- Cisneros-Zevallos, L. and Krochta, J. M. 2002. Internal modified atmospheres of coated fresh fruits and vegetables: Understanding relative humidity effects. *Journal of Food Science* 67(6): 1990-1995.
- Dagostin, J. L. A., Carpine, D. and Corazza, M. L. 2015. Extraction of soybean oil using ethanol and mixtures with alkyl esters (biodiesel) as co-solvent: Kinetics and thermodynamics. *Industrial Crops and Products* 74: 69-75.
- Del Nobile, M. A., Conte, A., Scrocco, C. and Brescia, I. 2009. New strategies for minimally processed cactus pear packaging. *Innovative Food Science and Emerging Technologies* 10(3): 356-362.
- Finger, F. L., Della-Justina, M. E., Casali, V. W. D. and Puiatti, M. 2008. Temperature and modified atmosphere affect the quality of okra. *Scientia Agricola* 65(4): 360-364.
- Gillespie, A.T. 1986. The potential of entomogenous fungi as control agents for onion thrips, thrips tabaci. In *Proceeding of Brighton Crop Protection Conference: Biotechnology and Crop Improvement and Protection*, p. 237-242. United Kingdom: Integrated Crop Protection.
- Kays, S. J. 1991. Movement of gases, solvents, and solutes within harvested products and their exchange between the product and its external environment. In Kays, S. J. (Ed.) *Physiology and Handling of Perishable Plant Products*, p. 409-456. United States of America: Springer.
- Koch, K., Hartmann, K.D., Schreiber, L., Barthlott, W. and Neinhuis, C. 2006. Influences of air humidity during the cultivation of plants on wax chemical composition, morphology and leaf surface wettability. *Environmental and Experimental Botany* 56(1): 1-9.
- Maguire, K. M. 1998. Factors affecting mass loss of apples. Palmerston North, New Zealand: Massey University, Ph.D. thesis.

- Maguire, K. M., Lang, A., Banks, N. H., Hall, A., Hopcroft, D. and Bennett, R. 1999. Relationship between water vapour permeance of apples and micro-cracking of the cuticle. *Postharvest Biology and Technology* 17(2): 89–96.
- Nair, S. and Singh, Z. 2009. Chilling injury during storage affects respiration rate and fruit quality in Kensington Pride mango fruit. *Acta Horticulturae* 820: 737-744.
- Rogers, C. E., Fels, M. and Li, N. N. 1982. Separation by permeation through polymeric membranes. In Li, N. N. (Ed.). *Recent Developments in Separation Science*, p. 107–152. Florida: CRC Press.
- Srilaong, V., Pongprasert, N. and Aryusuk, K. 2013. Application of rice bran wax for coating of orange. *Agricultural Science Journal* 44(2): 341-344.
- Thammawong, M., Kaneta, T., Nakamura, N., Yoshida, M., Soga, A. and Shina, T. 2011. Influence of impact stress on the postharvest physiological and chemical properties of cabbage heads. *Food Preservation Science* 37: 273-282.
- Tapia, M. S., Rojas-Grau, M. A., Carmona, A., Rodriguez, F. J., Soliva-Fortuny, R. and Martin-Belloso, O. 2008. Use of alginate-and gellan-based coatings for improving barrier, texture and nutritional properties of fresh-cut papaya. *Food Hydrocolloids* 22(8): 1493-1503.
- Utto, W. 2001. The design of modified atmosphere perforated plastic packaging for fresh chilies. Palmerston North, New Zealand: Massey University, MTech thesis.
- Yantarasi, T., Ben-Yehoshua, S., Rodov, V., Kumpuan, W., Uthaibutra, J. and Sornsrivichai, J. 1995. Development of perforated modified atmosphere package for mango. *Acta Horticulturae* 398: 81-91.
- Yang, C. C. and Chinnan, M. S. 1998. Modeling the effect of O₂ and CO₂ on respiration and quality of stored tomatoes. *Transactions of the ASAE* 31(3): 920-925.

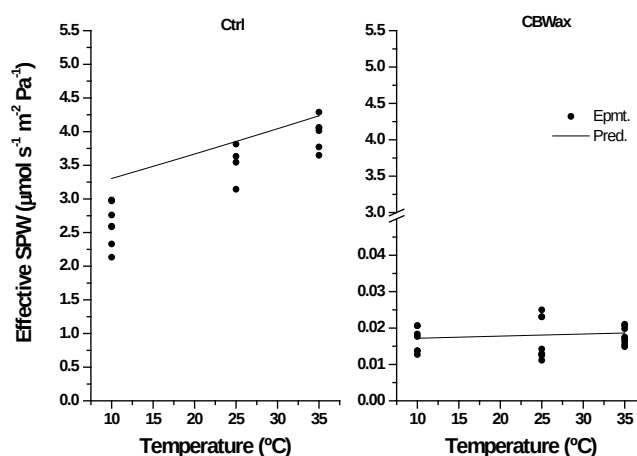


Figure 1. Effects of CB-Wax coating and storage temperature on effective SPW of fresh okra fruit ($n = 8$). Ctrl (control) represents non-coated okra. Epmt. and Pred. represented experimental and Eq. 7's predicted data, respectively.

Table 1. Parameter estimates resulting from non-linear regression analysis of data of the effects of storage temperature differences on effective SPW, respiration rate, and effective SPC (Ctrl represents non-coated okra; CB-Wax represents coated okra)

Water vapour and gas exchange properties	Parameters	Ctrl	CB-Wax
Effective SPW	$P_{okr,ref}^{H_2O}$	3.484	0.017
	$Ea_{P_{okr}^{H_2O}}$	7.206	2.337
	$RMSE$	0.422	0.003
Respiration rate	$r_{okr,ref}^{CO_2}$	0.023	0.002
	$Ea_{r_{okr}^{CO_2}}$	32.138	20.000
	$RMSE$	0.014	0.001
Effective SPC	$P_{okr,ref}^{CO_2}$	0.230	0.019
	$Ea_{P_{okr}^{CO_2}}$	49.807	14.367
	$RMSE$	0.325	0.006

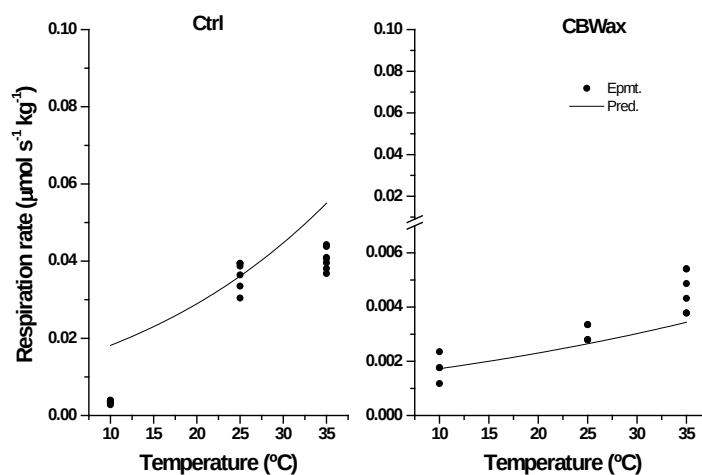


Figure 2. Effects of CB-Wax coating and storage temperature on respiration rate of fresh okra (n= 8). Ctrl represents non-coated okra (control). Epmt. and Pred. represented experimental and predicted data, respectively.

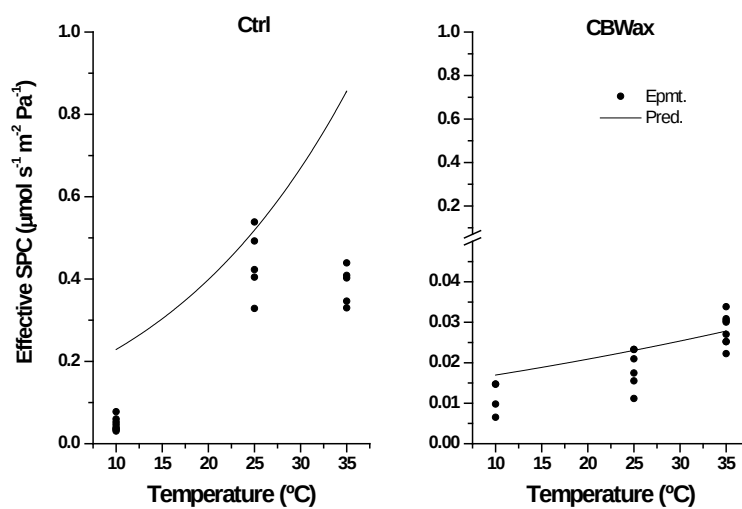


Figure 3. Effects of CB-Wax coating and storage temperature on effective SPC of fresh okra (n= 8). Ctrl represents non-coated okra (control). Epmt. and Pred. represented experimental and predicted data, respectively.

ภาคผนวก ข

การศึกษาความเข้มข้นที่เหมาะสมของไซซึ่งสกัดจากใบกะหล่ำปลีที่ใช้ในการเคลือบผิว

1. ผลของความเข้มข้นของ สารละลายไตรเอทานอลเอมีน (Triethanolamine) ที่เหมาะสมกับความคงตัวของอิมัลชันสารเคลือบผิว

จากการศึกษาความเข้มข้นของสารละลายไตรเอทานอลเอมีนที่แตกต่างกัน 5 ระดับ พบว่า ภายหลังจากการนำสารละลายอิมัลชันสารเคลือบผิวมาเก็บรักษาไว้เป็นระยะเวลา 1 วัน อิมัลชันสารเคลือบผิวที่เติมสารละลายไตรเอทานอลเอมีนความเข้มข้น 1-4% (w/v) (ตารางที่ ข.1) อิมัลชันที่ได้มีความคงตัวที่ต่ำและมีการแยกชั้นกัน โดยเฉพาะที่ความเข้มข้น 1-3% (w/v) มีการแยกชั้นกันอย่างชัดเจนและมีความคงตัวในระดับที่ต่ำมาก เมื่อเปรียบเทียบกับอิมัลชันที่มีระดับความเข้มข้นไตรเอทานอลเอมีน เท่ากับ 5% (w/v) ซึ่งอิมัลชันที่ได้มีความคงตัวสูงไม่เกิดการแยกชั้นกันจึงเป็นความเข้มข้นที่เหมาะสมในการนำไปใช้ในการพัฒนาเป็นอิมัลชันสารเคลือบผิวในลำดับต่อไป

ตารางที่ ข.1 ผลของความเข้มข้นของสารละลายไตรเอทานอลเอมีนที่เหมาะสมกับความคงตัวของอิมัลชันสารเคลือบผิว

ลำดับ	ความเข้มข้นของสารละลายไตรเอทานอลเอมีน (%)	ความคงตัวของอิมัลชันระหว่างเก็บรักษา	เกิดการแยกชั้นของอิมัลชันระหว่างเก็บรักษา
1	1	-	-
2	2	-	-
3	3	-	-
4	4	-	-
5	5	+	+

สัญลักษณ์: เครื่องหมาย - คือไม่มีผลต่อคุณภาพอิมัลชัน เครื่องหมาย + ส่งผลดีต่อคุณภาพอิมัลชัน

สรุปประเด็นสำคัญ

ระดับความเข้มข้นของสารละลายไตรเอทานอลเอมีนที่ 5% (w/v) มีผลทำให้อิมัลชันมีความคงตัวและไม่เกิดการแยกชั้นของอิมัลชันสารเคลือบผิว

2. ลักษณะภายนอก

โดยบันทึกข้อมูลลักษณะภายนอกของสารละลายด้วยการถ่ายรูปด้วยกล้องดิจิทัล สังเกตการแยกชั้นของสารเคลือบผิวแต่ละสูตร โดยมีระดับความเข้มข้นไฮสก็ด 10 20 30 40 และ 50% (w/v) บรรจุในบีกเกอร์ขนาด 150 ml (ไครดา กนกพานนท์ และคณะ, 2555)

3. ความหนืด (Viscosity)

เตรียมตัวอย่างวัด โดยนำตัวอย่างจากใบกะหล่ำปลี ปริมาณ 150 ml ใส่ลงใน บีกเกอร์ขนาด 250 ml โดยใช้หัววัดทรงกระบอก ขนาด 1.5 cm ทำการวัดความหนืดของสารละลายด้วย

เครื่องวัดความหนืดของเหลว (Viscometer) และจดบันทึกผลการทดลอง (โสธรา กนกพานนท์ และคณะ, 2555)

4. ค่าความเป็นกรด-ด่าง (pH)

วิเคราะห์ด้วยเครื่อง pH (pH meter) โดยการนำตัวอย่างไข่จากใบกะหล่ำปลี ปริมาณ 10 ml ใส่ลงในปิកเกอร์ขนาด 50 ml จากนั้นนำหัววัดจุ่มลงในตัวอย่าง และจดบันทึกผลการทดลอง (โสธรา กนกพานนท์ และคณะ, 2555)

5. เปอร์เซ็นต์น้ำหนักของแข็งอยู่ในสารเคลือบ (Insoluble solid)

โดยวัดน้ำหนักของแข็งด้วยการอบด้วยเตาอบ (Drying oven) อุณหภูมิ 50°C โดยชั่งน้ำหนักเริ่มต้น และอบตัวอย่างเป็นเวลา 6 ชั่วโมง และชั่งน้ำหนักทุกๆ 2 ชั่วโมง แล้วบันทึกน้ำหนักจนได้น้ำหนักที่คงที่ (โสธรา กนกพานนท์ และคณะ, 2555)

ภาคผนวก ค

การศึกษาสมบัติบางประการของฟิล์มที่ขึ้นรูปจากสารเคลือบผิว

1. ความหนาของฟิล์ม

วัดด้วยเวอเนียคาลิปเปอร์ แบบดิจิตอล (Vernier caliper digital) โดยสุ่มวัดความหนาของฟิล์มอย่างน้อย 6 จุด และจดบันทึกผล (ไศรดา กนกพานนท์ และคณะ, 2555)

2. การดูดซับน้ำ (Moisture adsorption)

วัดปริมาณการดูดซับน้ำได้โดยตัดฟิล์มสารเคลือบในแต่ละสูตรขนาดเท่า ๆ กัน ชั่งน้ำหนักเริ่มต้น จากนั้นแช่ฟิล์มในน้ำอุณหภูมิ 25°C ที่มีความชื้นสัมพัทธ์ ชั่งน้ำหนักทุก ๆ 6 ชั่วโมง โดยจดบันทึกข้อมูลจนน้ำหนักคงที่ ซึ่งวัดน้ำหนักที่เพิ่มขึ้นเปรียบเทียบกับน้ำหนักของฟิล์มแห้ง (ไศรดา กนกพานนท์ และคณะ, 2555)

3. สีของฟิล์มสารเคลือบผิว (Color)

วัดด้วยระบบ Color space CIE L* a* และ b* โดยใช้เครื่องวัดสี Color meter

ค่า L* เป็นค่าที่รายงานถึงความสว่างของสีมีค่าตั้งแต่ 0-100 (ไศรดา กนกพานนท์ และคณะ, 2555)

กรณีที่ค่า L* เท่ากับ 100 หมายถึง ความสว่าง

ค่า L* เท่ากับ 0 หมายถึง ความมืด

ค่า a* เป็นค่าที่รายงานถึงการเปลี่ยนแปลงของสีในช่วงสีเขียวถึงสีแดง

กรณีที่ค่า a* เป็นลบ หมายถึง สีเขียว

ค่า a* เป็นบวก หมายถึง สีแดง

ค่า b* เป็นค่าที่รายงานถึงการเปลี่ยนแปลงสีในช่วงสีน้ำเงินถึงสีเหลือง

กรณีที่ค่า b* เป็นลบ หมายถึง สีน้ำเงิน

ค่า b* เป็นบวก หมายถึง สีเหลือง

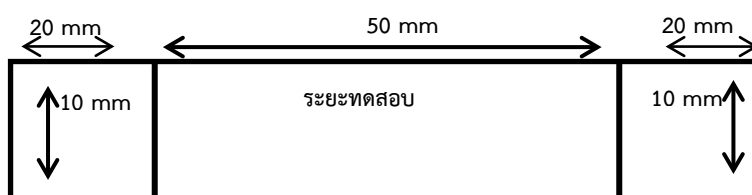
เครื่องวัดสีทำงานใช้หลักการ โดยให้แสงจากแหล่งกำเนิดแสงภายในตัวเครื่องตกกระทบบนผิววัสดุอนุภาคของสีบนผิววัสดุดูดกลืนแสงบางส่วนคลืนไว้ และสะท้อนแสงบางส่วนคลืนออกมา และ ถูกบันทึก และนำข้อมูลมาประมวลผลการตอบสนองของตามนุษย์ที่ไวต่อแสง สีแดง สีเขียว และสีน้ำเงิน คำนวณค่าสีออกมาเป็นตัวเลขตามระบบ CIE (Commission International de l'Eclariage) (ไศรดา กนกพานนท์ และคณะ, 2555)

4. สมบัติของความร้อน (Thermal properties)

วิเคราะห์ค่าอุณหภูมิในการหลอมเหลว (Melting temperature: T_m) ด้วยเครื่อง Differential scanning calorimeter (DSC) เพื่อศึกษาพฤติกรรมในการเปลี่ยนแปลงสถานะของพอลิเมอร์ โดยตัดฟิล์มสารเคลือบผิวให้มีขนาดเล็ก ชั่งตัวอย่างน้ำหนัก 5 mg วางในภาชนะบรรจุตัวอย่างให้ความร้อน แก่ขึ้นตัวอย่างด้วยอัตรา 10°C ต่อนาที ในช่วงอุณหภูมิ -20-180°C (ไศรดา กนกพานนท์ และคณะ, 2555)

5. สมบัติเชิงกล (Mechanical properties)

โดยทำการวิเคราะห์ ความทนแรงดึง (Tensile strength) และการยืดตัว (%Elongation) วิเคราะห์โดยใช้เครื่องวัดเนื้อสัมผัส Texture analyzer (LLOYD model, LR series, USA.) อ้างอิงมาตรฐานในการทดสอบ ASTM D882-01 ซึ่งการเตรียมตัวอย่างที่ใช้ในงานวิจัยมี ลักษณะ ดังภาพที่ ค.1 ในการวิเคราะห์ใช้จำนวนแผ่นฟิล์มที่ใช้ทดสอบแต่ละชุดไม่น้อยกว่า 5 ชิ้น แผ่นฟิล์มที่ใช้ ในการทดสอบมีขนาด 10x90 mm โดยบริเวณขอบของฟิล์มต้องไม่มีรอยตำหนิจากการเตรียม ซึ่งสภาวะในการทดสอบ คือ ใช้หัววัด Tension แรงดึงขนาด (Load cell) 1,000 N และอัตราเร็วในการดึง 20 mm/min บันทึกค่าแรงดึง Stress/Strain ณ จุดที่ดึงขาด (โศรดา กนกพานนท์ และคณะ, 2555)



ภาพที่ ค.1 ขนาดของฟิล์มสารเคลือบผิวที่ใช้ในการทดสอบสมบัติเชิงกล
ที่มา: โศรดา กนกพานนท์ และคณะ (2555)

6. อัตราการซึมผ่านฟิล์มของไอน้ำ (Water vapour transmission rate: WVTR)

ทำการวัดปริมาณน้ำหนักของไอน้ำที่สามารถซึมผ่านฟิล์มได้ในช่วงเวลาต่างๆ ตามมาตรฐาน ASTM E96-95 โดยการวัดปริมาณน้ำหนักของไอน้ำที่สามารถซึมผ่านฟิล์มได้ในช่วงเวลาต่าง ๆ ศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการซึมผ่านเข้าออกของไอน้ำ และความหนาของฟิล์มสารเคลือบผิว การทดสอบทำโดยการประยุกต์จากวิธีการของ Jo et al. (2004) ตามมาตรฐาน ASTM E96-95 เพื่อศึกษาความสามารถในการซึมผ่านของไอน้ำสำหรับฟิล์มสารเคลือบผิวที่บริโภคได้ โดยใช้ขวดขนาด เส้นผ่านศูนย์กลาง 25 mm เติมน้ำกลั่นปริมาตร 10 ml จากนั้นปิดปากขวดด้วยฟิล์มเคลือบผิว สูตรต่าง ๆ ให้สนิทหลังจากนั้นทำการชั่งน้ำหนักเริ่มต้น และชั่งน้ำหนักอีกครั้ง เมื่อครบ 24 ชั่วโมง ทำการทดลอง ณ อุณหภูมิ 25°C ความชื้นสัมพัทธ์ 80% คำนวณหาอัตราการซึมผ่านของไอน้ำต่อ พื้นที่ตามสมการ 2.8 และ 2.9 (โศรดา กนกพานนท์ และคณะ, 2555)

$$WVTR = (\Delta w / \Delta t) / A \quad (2.8)$$

$$\begin{aligned} \text{โดย } \frac{\Delta w}{\Delta t} &= \text{น้ำหนักของน้ำที่ซึมผ่านต่อหน่วยเวลา} \\ A &= \text{พื้นที่สำหรับใช้ในการซึมผ่านของน้ำ (m}^2\text{)} \end{aligned}$$

$$WVP = (WVTP \times L) / \Delta P \quad (2.9)$$

$$\begin{aligned} \text{โดย } WVTR &= \text{อัตราการซึมผ่านของไอน้ำ (Water vapour transmission rate)} \\ &(\text{g s}^{-1}\text{m}^2) \\ L &= \text{ความหนาของฟิล์ม (m)} \\ \Delta P &= \text{ความแตกต่างของค่าความดันไอน้ำระหว่างฟิล์ม (Pa)} \end{aligned}$$

โดยคิดว่าขวดที่มีน้ำกลั่นอยู่เทียบได้กับผลไม้ที่มีน้ำเป็นองค์ประกอบอยู่ภายใน ซึ่งเราถือว่าภายในผลไม้มีอากาศ และความชื้นอยู่ 100% มีความดันไอในระดับอิ่มตัว (Saturated vapour pressure) ตัวอย่าง เช่น ขวดน้ำกลั่นที่ตั้งทิ้งไว้ ณ อุณหภูมิ 27°C มีความชื้นสัมพัทธ์เท่ากับ 70% เมื่ออ่านค่าความดันไอจากแผนภูมิไซโครเมตริกได้เท่ากับ 16 mbar หรือเท่ากับ 1,600 Pa ความดันไอน้ำในระดับอิ่มตัวที่อุณหภูมิ 27°C อ่านค่าจากแผนภูมิไซโครเมตริก (Psychrometric chart) ได้เท่ากับ 38 mbar หรือเท่ากับ 3,800 Pa ดังนั้นความแตกต่างความดันไอน้ำระหว่างฟิล์มมีค่าเท่ากับ 2,200 Pa โดยมีความหนาของฟิล์มเท่ากับ 0.24 mm หรือเท่ากับ 0.00024 m

7. อัตราการซึมผ่านฟิล์มของก๊าซออกซิเจน (Oxygen transmission rate: OTR)

การทดสอบอัตราการซึมผ่านของก๊าซออกซิเจน หรือ OTR ของฟิล์มจากสารเคลือบผิวได้ดำเนินการโดยใช้เครื่อง Illinois instrument รุ่น 8000 ใช้สภาวะในการทดสอบ ณ อุณหภูมิ 23°C และความชื้น 0% RH (ASTM D3985) ซึ่งได้ทำการวัดค่า OTR ของตัวอย่าง ณ ห้องปฏิบัติการ ศูนย์เทคโนโลยีโลหะและวัสดุแห่งชาติ หลักการการทดสอบการวิเคราะห์แบบมาโนเมตริกเป็นการวิเคราะห์โดยอาศัยความแตกต่างของความดันที่ผิวหน้าทั้งสองด้านของฟิล์มสารเคลือบผิวและก๊าซ ซึ่งซึมผ่านจากด้านที่มีความดันสูงไปยังด้านที่มีความดันต่ำ โดยการวัดการซึมผ่านที่เกิดขึ้นทำได้หลากหลายขึ้นอยู่กับชนิดของเครื่องมือที่ใช้การวัดอัตราการซึมผ่านของก๊าซออกซิเจน โดย Coulometric sensor ทำการวัดภายใต้สภาวะการทดสอบที่แห้ง ซึ่งตัวอย่างถูกยึดในสภาวะปิดที่มีความดันบรรยากาศด้านหนึ่งของฟิล์มเป็นก๊าซออกซิเจน ส่วนอีกด้านหนึ่งเป็นก๊าซตัวพา คือ ก๊าซไนโตรเจน ที่ทำหน้าที่ในการนำก๊าซออกซิเจนซึมผ่านไปยังเซ็นเซอร์เพื่อประมวลผล เป็นค่าอัตราการซึมผ่าน และรายงานผลเป็นค่า Oxygen transmission rate (OTR; หน่วย คือ $\text{mL}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{day}^{-1}$) (De Jong, 2014; นิตยา ภูงาม, 2556)

ภาคผนวก ง
การทดสอบประสิทธิภาพสารเคลือบผิวจากไขกะหล่ำปลี ในการเก็บรักษา
ของผัก และผลไม้สด

1. สีของผิวหน้าผลไม้ (Color)

วัดด้วยระบบ Color space CIE L^* a^* และ b^* โดยใช้เครื่องวัดสี Color meter ค่า L^* เป็นค่าที่รายงานถึงความสว่างของสีมีค่าตั้งแต่ 0-100 (โศรดา กนกพานนท์ และคณะ, 2555)

กรณีที่ค่า L^* เท่ากับ 100 หมายถึง ความสว่าง

ค่า L^* เท่ากับ 0 หมายถึง ความมืด

ค่า a^* เป็นค่าที่รายงานถึงการเปลี่ยนแปลงของสีในช่วงสีเขียวถึงสีแดง

กรณีที่ค่า a^* เป็นลบ หมายถึง สีเขียว

ค่า a^* เป็นบวก หมายถึง สีแดง

ค่า b^* เป็นค่าที่รายงานถึงการเปลี่ยนแปลงสีในช่วงสีน้ำเงินถึงสีเหลือง

กรณีที่ค่า b^* เป็นลบ หมายถึง สีน้ำเงิน

ค่า b^* เป็นบวก หมายถึง สีเหลือง

ค่า h° เป็นค่าที่รายงานถึงค่าเฉดสี

กรณีที่ค่า $h^\circ = 0$ หมายถึง สีอ่อนลง

กรณีที่ค่า $h^\circ = 10$ หมายถึง สีสว่างขึ้น

เครื่องวัดสีทำงานใช้หลักการ โดยให้แสงจากแหล่งกำเนิดแสงภายในตัวเครื่องตกกระทบบนผิววัสดุของสีบนผิววัสดุตกเส้นแสงบางช่วงคลื่นไว้ และสะท้อนแสงบางช่วงคลื่นออกมา และถูกบันทึก และนำข้อมูลมาประมวลผลการตอบสนองของตามนุษย์ที่ไวต่อแสง สีแดง สีเขียว และสีน้ำเงิน คำนวณค่าสีออกมาเป็นตัวเลขตามระบบ CIE (Commission International de l'Eclariage) (โศรดา กนกพานนท์ และคณะ, 2555)

2. การวัดอัตราการสูญเสียน้ำ (Water loss)

นำผลผลิตมาชั่งน้ำหนักผลผลิตแต่ละลูก จดบันทึกเป็นน้ำหนักเริ่มต้น จากนั้นเก็บรักษาผลิตภัณฑ์ในตู้ควบคุมอุณหภูมิ (10°C) โดยวางเรียงเพียงชั้นเดียว (ไม่ให้เกิดการทับกันของผลผลิต) เป็นเวลาอย่างน้อย 12 ชั่วโมง ภายหลังจากการเก็บตามเวลาข้างต้น ทำการชั่งน้ำหนักผลผลิตแต่ละลูก และจดบันทึกเป็นน้ำหนักสุดท้าย คำนวณตามสมการที่ 2.10

$$\text{Water loss} = \frac{\text{น้ำหนักเริ่มต้น (g)} - \text{น้ำหนักสุดท้าย (g)}}{\text{น้ำหนักเริ่มต้น (g)}} \times 100 \quad (2.10)$$

3. ปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำได้ของผลไม้ (Total soluble solids; TSS) มีวิธีการดังต่อไปนี้

3.1 นำผลไม้สดที่ผ่านการเคลือบผิวมาหั่นเป็นชิ้นเล็กๆ ชั่งน้ำหนักปริมาณ 50 g

3.2 เติมน้ำกลั่นปริมาตร 200 mL ใส่ในตัวอย่างและปั่นด้วยเครื่องโฮมจิไนส์ เป็นเวลา 2 นาที จากนั้นกรองผ่านผ้าขาวบางเพื่อแยกกากออก

3.3 นำสารละลายผลไม้ที่ได้ไปวัดค่าปริมาณของแข็งที่ละลายได้ด้วย Hand refractometer (ATAGO, ATC-1 Cat. No. 2910) อ่านและบันทึกค่า จากนั้นทำการคำนวณแฟกเตอร์การละลาย (dilution factor) ตามสมการที่ 2.11

$$\%TSS = \frac{\%Brix \times 100}{\text{ปริมาณตัวอย่าง (g)}} \quad (2.11)$$

โดย

%Brix ที่วัดได้จากเครื่อง Hand refractometer (%)

4. ปริมาณกรดที่ไทเทรตได้ของผลไม้ (Titratable acidity; TA)

4.1 นำตัวอย่างสารละลายจากข้อ 1 วัดปริมาตรด้วยกระบอกตวง ปริมาณ 20 ml ใส่ในขวดรูปชมพู่ (Erlenmeyer flask) แล้วเติมน้ำกลั่น 30 ml

4.2 จากนั้นหยดสารละลายฟีนอล์ฟทาลีน ความเข้มข้น 0.1% ปริมาณ 1-2 หยด แล้วทำการไทเทรตด้วยสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ ความเข้มข้น 0.1 N จนถึงจุดยุติ (End point) ของฟีนอล์ฟทาลีน ที่ pH 8.2 สังเกตได้ว่าจะเป็นสีชมพูจางๆ

4.3 แล้วหยุดการไทเทรต อ่านค่าและบันทึกผลปริมาตร NaOH ที่ใช้มีหน่วยเป็น ml แล้วนำไปคำนวณหาค่า %TA ตามสมการ 2.12

$$\%TA = \frac{\text{ปริมาณของ NaOH ที่ใช้ (ml)} \times \text{ความเข้มข้นของ NaOH (0.1 N)} \times \text{meq of acid (0.064)} \times 100}{100 \text{ ml}} \quad (2.12)$$

โดย

ปริมาณของโซเดียมไฮดรอกไซด์ (NaOH) ที่ใช้ในการไทเทรต (ml)

ความเข้มข้นของโซเดียมไฮดรอกไซด์ (NaOH) (0.1) (N)

5. อัตราส่วนของ ปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำได้ ต่อปริมาณกรดที่ไทเทรตได้ ของผลไม้ (%TSS/TA) คำนวณได้ตามสมการที่ 2.13

$$\%TSS/TA = \frac{TSS}{TA} \quad (2.13)$$

โดย

TSS = ปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำได้ของผลไม้ (%)

TA = ปริมาณกรดที่ไทเทรตได้ของผลไม้ (%)

6. อัตราอัตราการหายใจ (โดยทำการวัดการผลิต CO₂ ในระบบปิด) มีวิธีการดังต่อไปนี้

6.1 ชั่งน้ำหนักผลผลิตแต่ละลูก และบันทึกเป็นน้ำหนักสด (M_{fr})

6.2 นำผลผลิตใส่ลงในขวดโหล (1 ลูก ต่อ 1 โหล) ปิดฝาให้สนิท จำนวน 5 ขวดโหล แล้วทำการจับเวลาวางไว้ ณ อุณหภูมิ 30°C แล้วปล่อยทิ้งไว้ เป็นเวลา 1 ชั่วโมง (โดย ณ เวลาเริ่มต้น หรือ $t=0$ กำหนดให้ ความเข้มข้นของ $\text{CO}_2 = 0 \%$ (v/v)) โดยทั้งนี้

6.3 ภายหลังจากทิ้งไว้ครบ 1 ชั่วโมง ทำการดูดก๊าซจากบรรยากาศภายในขวดโหลโดย ใช้วิธีการใช้เข็มฉีดยา โดยปริมาตรที่ดูด คือ 20 ml ทั้งนี้ให้ดูดประมาณ 23-25 ml และก่อนนำไปฉีดลงในเครื่อง MAP test ให้ดันก้านเข็ม (Plunger) ลงมาเบาๆ เพื่อปรับปริมาตรก๊าซในเข็มให้เป็น 20 ml แล้วจึงทำการฉีดลงเครื่อง จากนั้นทำการจดบันทึกค่าความเข้มข้นของ CO_2 (หน่วย คือ % (v/v))

6.4 การคำนวณอัตราการหายใจ คำนวณบน พื้นฐานของ Ideal gas law โดยคำนวณอัตราการผลิต CO_2 ต่อหน่วยเวลา ตามสมการที่ 2.14 (Utto et al., 2008)

$$r_{\text{CO}_2} = \frac{C_{\text{CO}_2}}{100} \cdot p_{\text{tot}} \cdot \frac{(V_{\text{jar}} - V_{\text{fruit}}) \cdot 10^{-6}}{8.314 \cdot (273.15 + T_{\text{fr}})} \cdot \frac{1}{(t \cdot 3600)} \cdot \frac{1}{(M_{\text{fr}} \cdot 10^{-3})} \quad (2.14)$$

โดย

r_{CO_2}	= อัตราการหายใจ ($\text{mol} \cdot \text{s}^{-1} \cdot \text{kg}^{-1}$)
C_{CO_2}	= ความเข้มข้นของ CO_2 (%)
p_{tot}	= ความดันบรรยากาศ (Pa; กำหนดให้เท่ากับ 10^5 Pa)
$V_{\text{jar}}, V_{\text{fr}}$	= ปริมาตรขวดโหล และ ผลผลิต ตามลำดับ (ml)
T_{fr}	= อุณหภูมิผลผลิต ($^{\circ}\text{C}$; กำหนดให้เท่ากับอุณหภูมิที่ทำการวัดอัตราการหายใจ)
t	= เวลาในการวัด (hr)
M_{fr}	= น้ำหนักผลผลิต (g)

การหาปริมาตรขวดโหล สามารถหาโดยการเติมน้ำที่รู้ปริมาตรลงในขวดโหลจนเต็ม และทำการบันทึก ส่วนการวัดปริมาตรผลผลิต โดยทั่วไปจะทำการวัดโดยการแทนที่น้ำ ซึ่งจะต้องมีอุปกรณ์เฉพาะที่จะกดผลผลิตลงในน้ำ โดยที่มือของผู้วิจัยจะไม่ไปแทนที่น้ำด้วย ในการศึกษานี้จะทำการประมาณปริมาตรผลผลิตจากน้ำหนักผลผลิต (ชั่งก่อนการวัด) โดยอาศัยความสัมพันธ์ของน้ำหนัก-ปริมาตร จากค่าความหนาแน่น ทั้งนี้ผลผลิตส่วนใหญ่มักจะลอยปริ่มน้ำ ดังนั้นความหนาแน่นที่จะใช้ในการประมาณ คือ $0.99 \text{ g} \cdot \text{ml}^{-1}$

7. ความเข้มข้นของก๊าซออกซิเจนและก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ภายในผลไม้ (Internal oxygen and carbon dioxide concentration) โดยประยุกต์วิธีที่รายงานใน Utto (2001)

ผลไม้สดที่ผ่านการเคลือบผิวจากไขจากใบ กะหล่ำปลี และผลไม้ที่ไม่ผ่านการเคลือบผิว ถูกนำมาวัดปริมาณก๊าซ O_2 และ CO_2 ที่อยู่ภายในผลไม้ภายใต้อุณหภูมิในการเก็บรักษา 10°C (18 ชั่วโมง) โดยนำเข็มฉีดยา (เข็มสแตนเลส ขนาด 14 โดยตัดส่วนของไส้ลึกลงยาว 2 cm) จากนั้นนำเข็มฉีดยาแทรกผ่านชั้นของผิวเปลือก ผลไม้ให้อยู่ภายในผนังผลชั้นกลาง (Mesocarp) จากนั้นเชื่อมต่อเข็มฉีดยากับ

ผลไม้โดยใช้การอีพ็อกซี่ทิ้งให้แห้ง เมื่อเข็มฉีดยาแบบชนิดกับผลไม้แล้ว ตัวอย่างถูกเก็บรักษาที่กำหนด (10°C) จากนั้นทิ้งไว้ข้ามคืนเป็นระยะเวลา 24 ชั่วโมง เพื่อรอให้ก๊าซที่อยู่ภายในผลไม้เข้าสู่สภาวะสมดุล หลังจากนั้นสุ่มวัดปริมาณก๊าซที่อยู่ภายในผลไม้ โดยสุ่มตัวอย่าง 100 μL ผ่านเข็มฉีดยาที่ฝังอยู่ภายในผลไม้ โดยวัดปริมาณก๊าซด้วยเครื่อง MAP test แล้วจดบันทึกข้อมูล

8. ความเข้มข้นของเอทานอลในผลไม้ทำการประยุกต์วิธีที่รายงานโดย Bai et al. (2011)

ทำการวิเคราะห์ความเข้มข้นโดยเครื่อง Gas Chromatogram แบบ Flame ionized detector (FID-GC) และคอลัมน์ที่ใช้คือ Porapak Q (2.0 m length, inner diameter 3.00 mm) ซึ่งใช้ฮีเลียม (Helium) เป็นแก๊สตัวพา (Carrier gas) (วิธวิธี อุทโย และคณะ, 2555) โดยวัดความเข้มข้นของเอทานอลบริเวณ Head space การเตรียมสารมาตรฐานเอทานอล ($1000 \mu\text{L}^{-1}$) ปริมาตร 2.6 μL ฉีกลงในขวดแก้วขนาด 1000 ml แล้วปิดผนึกด้วยเทปลอน หลังจาก ที่เอทานอลมีปริมาณลดลง หรือระเหยสมบูรณ์ นำก๊าซเอทานอลบริเวณ Head space ไปเจือจางจาก $0-100 \mu\text{L}^{-1}$ โดยในการเจือจางเอทานอลมาตรฐาน มีส่วนผสมของสารละลายน้ำตาล 15% สารละลายโซเดียมคลอไรด์ อิมิตัว และน้ำปราศจากไอออน (2:1:1, w/w/w) นำไปบ่ม ณ อุณหภูมิ 50°C เป็นระยะเวลา 15 นาที จากนั้นดูดก๊าซเอทานอลที่อยู่บริเวณ Head space ปริมาณ 1 ml เพื่อนำเส้นโค้งกราฟมาตรฐานที่ได้จากอนุกรมของก๊าซเอทานอลมาใช้สำหรับคำนวณความเข้มข้นของเอทานอลในเนื้อเยื่อของผลไม้ 15 g นำผลไม้ไปปั่นด้วยเครื่องโฮโมจิไนส์แอดมิกซ์สารละลายโซเดียมคลอไรด์อิมิตัว ปริมาณ 7.5 g และเติมน้ำปราศจากไอออน ปริมาณ 7.5 g จากนั้นนำไปปั่นด้วยเครื่องโฮโมจิไนส์ให้เข้ากัน แล้วนำตัวอย่างที่ได้ปริมาณ 3 g ใส่ลงในขวดแก้วขนาด 10 ml แล้วปิดผนึกด้วยฝาจีบที่มีเทปลอนซิลิโคนประกอบอยู่ นำขวดตัวอย่างที่ได้ไปบ่ม ณ อุณหภูมิ 50°C เป็นระยะเวลา 15 นาที จากนั้นดูดก๊าซเอทานอลที่อยู่บริเวณ Head space ปริมาณ 1 ml และฉีดเข้าไปในเครื่อง GC เพื่อวิเคราะห์ข้อมูลแล้วนำไปเปรียบเทียบกับเส้นโค้งของกราฟมาตรฐานเพื่อคำนวณความเข้มข้นของเอทานอลในเนื้อเยื่อผลไม้

ประวัติผู้วิจัย

ชื่อ	นางสาวนิตยา ภูงาม
ประวัติการศึกษา	พ.ศ. 2551 – 2554 มหาวิทยาลัยราชภัฏอุบลราชธานี วิทยาศาสตร์บัณฑิต สาขาวิชาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีการอาหาร คณะเกษตรศาสตร์ พ.ศ. 2555 – 2557 มหาวิทยาลัยอุบลราชธานี วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาเทคโนโลยีการอาหาร คณะเกษตรศาสตร์
ผลงานทางวิชาการ	นิตยา ภูงาม , วีรเวทย์ อุทโธ และฤทธิรงค์ พงษ์พิบูล. “การศึกษาการเปลี่ยนแปลงน้ำหนักของบรรจุภัณฑ์ฟิล์มพลาสติกเนื่องจากการดูดซับไอน้ำจากข้าวกล้องงอกและข้าวฮางงอกในระหว่างการรักษา ”, วารสารวิทยาศาสตร์การเกษตร . 44(3): 299-302; กันยายน-ธันวาคม, 2556. นิตยา ภูงาม, วีรเวทย์ อุทโธ และฤทธิรงค์ พงษ์พิบูล. “ผลของการเคลือบผิวด้วยไขสกัดจากใบกะหล่ำปลีต่อสมบัติการยอมให้อุณหภูมิซึมผ่านและอัตราการหายใจ ของมะนาวสด”, วารสารวิทยาศาสตร์การเกษตร . 48(3): 241-244; กันยายน-ธันวาคม, 2560. Nittaya Phungam, Weerawate Utto and Rittirong Pruthikul. “Effect of surface coating using wax extracted from cabbage leaf on water vapor permeance of fresh lime”, In Internal Postgraduate Symposium on Food, Agriculture and Biotechnology . p.96-102. Mahasarakham: Faculty of Technology Mahasarakham University, 2016. Utto, W., Pruthikul, R., Nutthi, S., and Phungam, N. “Change in oxygen permeability of plastic vacuum bags containing germinated brown and parboiled germinated rice’. International Food Research Journal . 24(4): 1571-1578, 2017. Phungam, N., Utto, W. and Pruthikul, R. “Interaction between surface coating using cabbage leaf wax extract and temperature on water vapour and gas exchange properties of fresh okra (<i>Abelmoschus esculentus</i> (L.) Moench)”, International Food Research Journal . (accepted and in-press).
ประวัติการทำงาน	พ.ศ. 2556 ตำแหน่งผู้ช่วยวิจัย โครงการวิจัย การศึกษาคุณภาพข้าวพื้นเมืองและการยืดอายุการเก็บรักษาคุณภาพพุ่มหนั สาขาวิชาเทคโนโลยีการอาหาร คณะเกษตรศาสตร์ มหาวิทยาลัยอุบลราชธานี อำเภอวารินชำราบ จังหวัดอุบลราชธานี

พ. ศ. 2561 ที่ปรึกษาการพัฒนาผลิตภัณฑ์ข้าวเกรียบจากมันม่วงให้กับ
ผู้ประกอบการ OTOP ภายใต้หน่วยงาน หน่วยบ่มเพาะวิสาหกิจ
มหาวิทยาลัยราชภัฏอุบลราชธานี (UBR UBI)