ว.114559

สัญญาเลขที่ **RMFU 02/2548**

รายงานวิจัยฉบับสมบูรณ์

การยืดอายุการเก็บรักษาเนื้อขนุนด้วยสารเคลือบผิว
(Extending Shelf-Life of Jackfruit Pulp with Edible Coating)

โดย

นางสาวเนตรา สมบูรณ์แก้ว

นางสาวนิรมล สันติภาพวิวัฒนา

สำนักวิชาอุตสาหกรรมเกษตร

งานวิจัยนี้ได้รับทุนอุดหนุนจากงบประมาณรายจ่ายประจำปี 2548

มหาวิทยาลัยแม่ฟ้าหลวง

กิตติกรรมประกาศ

การศึกษาชนิดของสารเคลือบผิวที่มีผลต่อการยืดอายุการเก็บรักษาเนื้อขนุนในครั้งนี้สำเร็จสมบูรณ์ด้วยความร่วมมือจากเจ้าหน้าที่ห้องปฏิบัติการทางเทคโนโลยีอาหาร เจ้าหน้าที่ประจำสำนักวิชาอุตสาหกรรมเกษตร และนักศึกษาสาขาเทคโนโลยีหลังการเก็บเกี่ยวและบรรจุภัณฑ์ จึงขอขอบคุณทุกท่านมา ณ โอกาสนี้ และขอขอบคุณมหาวิทยาลัยแม่ฟ้าหลวงที่ให้การสนับสนุนงบประมาณในการทำวิจัยครั้งนี้

เนตรา สมบูรณ์แก้ว

นิรมล สันติภาพวิวัฒนา

ชื่อโครงการ การยืดอายุการเก็บรักษาเนื้อขนุนด้วยสารเคลือบผิว

ผู้วิจัย เนตรา สมบูรณ์แก้ว
นิรมล สันติภาพวิวัฒนา

ทุนวิจัย งบประมาณรายจ่ายประจำปี 2548 มหาวิทยาลัยแม่ฟ้าหลวง

บทคัดย่อ

ผลของสารเคลือบผิว Chitosan-based, Whey Protein-based และ Carrageenan-based สามารถยืดอายุการเก็บรักษาเนื้อขนุนตัดแต่งได้เป็นระยะเวลา 16 วัน ณ อุณหภูมิ 10 องศาเซลเซียส โดย Carrageenan-based สามารถยับยั้งปริมาณคาร์บอนไดออกไซด์ที่ได้จากกระบวนการหายใจ ชะลอการสูญเสียน้ำหนักและความแน่นเนื้อรักษาระดับความสว่างและค่าสีเหลืองของเนื้อขนุน และลดปริมาณการเปลี่ยนแป้งเป็นโมเลกุลน้ำตาล รองลงมาคือสารเคลือบผิว Whey protein-based และสารเคลือบผิว Chitosan-based ตามลำดับ ผลร่วมของการใช้สารต่อต้านการเกิดสีน้ำตาลสามารถชะลอการเกิดสีน้ำตาลที่ผิวของเนื้อขนุนตัดแต่งได้อย่างมีประสิทธิภาพและเป็นที่ยอมรับของผู้บริโภคเป็นระยะเวลา 12 วัน

คำสำคัญ ขนุน/ ผลไม้ตัดแต่งพร้อมบริโภค/ สารเคลือบผิว/
สารต่อต้านการเกิดปฏิกิริยาสีน้ำตาล

Title Extending shelf life of jackfruit pulp with edible coating

Authors Nettra Somboonkaew
Niramon Suntipabvivattana

ทุนวิจัย งบประมาณรายจ่ายประจำปี 2548 มหาวิทยาลัยแม่ฟ้าหลวง

บทคัดย่อ

Effects of edible coatings; Chitosan-based, Whey Protein-based and Carrageenan-based for minimally processed jackfruit pulp were studied during storage at 10°C for 16 days. To limit the CO_2 production and accumulation and respiration rate, edible coatings were applied to fresh-cut jackfruit as semipermeable barrier against air. Carrageenan-based coating resulted to inhibition of CO_2, slowing down respiration rate, limitation of loss of weight and firmness, remaining L^* and b^* values, and control of TSS volume, followed by Whey-protein-based coating, and Chitosan-based coating, respectively. Addition of various antibrowning agents to these coatings was beneficial in maintaining colour during storage. The combination of coating solutions and anti browning agents also showed the analysis results of customer acceptation during 12 days storage.

คำสำคัญ Jackfruit/ Minimally processed jackfruit/ Edible coating/
Anti-browning agents

สารบัญ

		หน้า
กิตติกรรมประกาศ		ก
บทคัดย่อ		ข
สารบัญตาราง		ฉ
สารบัญภาพ		ช
บทที่		
1	**บทนำ**	1
	1.1 ความสำคัญและที่มาของปัญหาที่ทำการวิจัย	1
	1.2 วัตถุประสงค์ของโครงการวิจัย	2
	1.3 ขอบเขตของโครงการวิจัย	2
	1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ	2
2	**แนวคิด ทฤษฎี และวรรณกรรมที่เกี่ยวข้อง**	3
	2.1 ทฤษฎี สมมติฐานหรือกรอบแนวความคิด	3
	2.2 ขนุน	3
	2.3 การเปลี่ยนแปลงหลังการเก็บเกี่ยว	5
	2.4 การยืดอายุการเก็บรักษาผลไม้สดตัดแต่ง	6
	2.5 สารเคลือบผิวที่สามารถบริโภคได้	7
3	**วิธีดำเนินการวิจัย**	10
	3.1 วัตถุดิบ	10
	3.2 การเตรียมสารเคลือบผิว	10
	3.3 การวางแผนการทดลอง	12
	3.4 การวัดปริมาณก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์	12
	3.5 การวิเคราะห์การสูญเสียน้ำหนัก	13
	3.6 การเปลี่ยนแปลงของสี	13

สารบัญ (ต่อ)

บทที่		หน้า
	3.7 การวิเคราะห์ค่าปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำได้	13
	3.8 การทดสอบการยอมรับของผู้บริโภค	13
	3.9 การวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติ	14
4	**ผลการวิจัย**	15
	4.1 ปริมาณก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์	15
	4.2 การสูญเสียน้ำหนัก	17
	4.3 การเปลี่ยนแปลงค่าสี	19
	4.4 ความแน่นเนื้อ	24
	4.5 ปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำได้	26
	4.6 การยอมรับของผู้บริโภค	27
5	**สรุปผลการวิจัย**	29
บรรณานุกรม		30
ภาคผนวก		
ก	**แบบทดสอบการยอมรับของผู้บริโภค**	33
ข	**รูปภาพแสดงการเปลี่ยนแปลงของเนื้อขนุนระหว่างการเก็บรักษา**	34
ประวัติคณะผู้วิจัย		41

สารบัญตาราง

ตารางที่		หน้า
2.1	คุณค่าทางอาหารของเนื้อขนุน	4
2.2	สารพื้นฐานสำหรับการผลิตสารเคลือบผิวที่รับประทานได้	8
4.6	ผลการยอมรับของผู้บริโภค	27

สารบัญภาพ

ภาพที่		หน้า
4.1	ปริมาณก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ภายในถุงบรรจุเนื้อขนุน ที่อุณหภูมิ 10 องศาเซลเซียส เป็นระยะเวลา 16 วัน	15
4.2	ร้อยละการสูญเสียน้ำหนักของเนื้อขนุนเคลือบผิวด้วยสารเคลือบผิวต่างชนิด ที่อุณหภูมิ 10 องศาเซลเซียส เป็นระยะเวลา 16 วัน	18
4.3	ค่าความสว่างของเนื้อขนุนที่เคลือบด้วยสารเคลือบผิวต่างชนิดกัน ที่อุณหภูมิ 10 องศาเซลเซียส เป็นระยะเวลา 16 วัน	20
4.4	*b** values ของเนื้อขนุนที่เคลือบผิวด้วยสารเคลือบผิวที่แตกต่างกัน ที่อุณหภูมิ 10 องศาเซลเซียส เป็นระยะเวลา 16 วัน	23
4.5	ค่าความแน่นเนื้อของเนื้อขนุนที่เคลือบผิวด้วยสารเคลือบผิวต่างชนิด ที่อุณหภูมิ 10 องศาเซลเซียส เป็นระยะเวลา 16 วัน	25
4.6	ปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำได้ในเนื้อขนุนที่เคลือบผิวด้วยสารเคลือบผิวต่างชนิด ที่อุณหภูมิ 10 องศาเซลเซียส เป็นระยะเวลา 16 วัน	26
ภาคผนวก ข	การเปลี่ยนแปลงเนื้อขนุนในระหว่างการเก็บรักษา	34

บทที่ 1

บทนำ

1.1 ความสำคัญและที่มาของปัญหา

ขนุนเป็นผลไม้เมืองร้อนที่ปลูกและบริโภคกันอย่างกว้างขวางในประเทศไทย เนื่องจากรสชาติหวานหอมเป็นที่นิยมทั่วไปแม้แต่ในต่างประเทศซึ่งมีความต้องการบริโภคเนื้อขนุนเพิ่มมากขึ้นทั้งในรูปของเนื้อขนุนสดและเนื้อขนุนแปรรูป ในการแปรรูปขนุนนั้นสามารถทำได้หลายวิธี เช่น ขนุนในน้ำเชื่อมบรรจุกระป๋อง ขนุนกวน ขนุนแช่อิ่ม หรือขนุนแช่แข็งเพื่อการส่งออก (ปฐพีชล, 2529) แต่อย่างไรก็ตามผู้บริโภคยังให้ความนิยมบริโภคเนื้อขนุนสดมากกว่าผลิตภัณฑ์แปรรูปต่างๆ

ขนุนเป็นผลไม้ขนากใหญ่มีน้ำหนักไม่ต่ำกว่า 10 กิโลกรัมต่อผล (พานิชย์, 2536) และเนื้อขนุนที่แกะได้จะให้ปริมาณมากซึ่งไม่สามารถรับประทานได้ทั้งหมดภายใน 1-2 วัน อีกทั้งการเก็บรักษาเนื้อขนุนนั้นไม่สามารถเก็บได้นาน นอกจากนี้ขนุนยังมียางเหนียวข้นปริมาณมากในขณะปอกเปลือกและสัดส่วนปริมาณเนื้อขนุนที่ได้นั้นน้อยกว่าปริมาณส่วนที่รับประทานไม่ได้ เช่น ส่วนเปลือก ดังนั้นผู้บริโภคจึงนิยมซื้อเฉพาะเนื้อขนุนที่ตัดแต่งแล้วจากผู้จำหน่าย แต่เนื้อขนุนที่วางจำหน่ายไม่สามารถเก็บรักษาไว้ได้นาน

ด้วยปัญหาดังกล่าว จึงมีผู้ศึกษาและทดลองการยืดอายุการเก็บรักษาเนื้อขนุนด้วยถึงและฟิล์มพลาสติก โดยสุนทร (2533) พบว่าการเก็บรักษาเนื้อขนุนในถาดโฟมที่ห่อหุ้มด้วยฟิล์มพลาสติกที่อุณหภูมิ 5 องศาเซลเซียส สามารถยืดอายุการเก็บรักษาเนื้อขนุนได้เป็นเวลา 9 วัน ขณะที่อินทิราและคณะ (2541) รายงานว่าเนื้อขนุนที่เก็บรักษาในถุงพลาสติก HDPE ที่ 10 องศาเซลเซียสมีอายุการเก็บรักษาได้ 9 วัน

ปัจจุบันมีการพัฒนาการยืดอายุผลไม้ตัดแต่งด้วยสารเคลือบผิวและฟิล์มชีวภาพ เทคนิคดังกล่าวเป็นการปรับสภาพบรรยากาศรอบๆผลิตผล ซึ่งสามารถลดอัตราการหายใจ ลดการสูญเสียน้ำและป้องกันการเกิดสีน้ำตาลในผลผลิตได้อย่างมีประสิทธิภาพ (Paull and Rohrbach, 1985) และยังสามารถลดอาการ Chilling injury ได้อีกด้วย (Tang et al., 1997) ด้วยคุณสมบัติข้างต้นทำให้สารเคลือบผิวได้รับการพัฒนาเพื่อใช้ในการยืดอายุการเก็บรักษาผลิตผลสดตัดแต่ง (fresh cut) ซึ่ง Lee และคณะรายงานเมื่อปี 2003 ว่า การใช้ whey protein เคลือบผิวแอปเปิลตัดแต่งสามารถยืดอายุการเก็บรักษาได้เป็น 2 สัปดาห์ ขณะที่เนื้อผลกีวีที่

ตัดแต่งแล้วเคลือบด้วย soybean protein isolate มีอายุการเก็บรักษาเป็น 37 วันหรือนานขึ้นสามเท่าเมื่อเทียบกับเนื้อผลกีวีที่ไม่ได้เคลือบผิว (Xu et al., 2000)

จากคุณสมบัติข้างต้นสารเคลือบผิวสามารถนำมาประยุกต์ใช้เพื่อยืดอายุการเก็บรักษาผลไม้ตัดแต่งได้หลายชนิด และสามารถเพิ่มมูลค่าให้แก่ผลผลิตได้อีกทางหนึ่ง ดังนั้นงานวิจัยนี้จึงมุ่งศึกษาถึงชนิดของสารเคลือบผิวเพื่อยืดอายุการเก็บรักษาเนื้อขนุนตัดแต่ง โดยเก็บรักษา ณ สภาพอุณหภูมิต่ำ

1.2 วัตถุประสงค์

1. เพื่อศึกษาผลของสารเคลือบผิวต่ออายุการเก็บรักษาเนื้อขนุนตัดแต่ง ณ สภาพอุณหภูมิต่ำ

1.3 ขอบเขตการศึกษา

1. ศึกษาชนิดของสารเคลือบผิวและสารเพิ่มประสิทธิภาพยับยั้งจุลินทรีย์ต่อคุณภาพการเก็บรักษาเนื้อขนุนตัดแต่งภายใต้การเก็บรักษา ณ อุณภูมิต่ำ

1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

สามารถยืดอายุการเก็บรักษาเนื้อขนุนตัดแต่ง ซึ่งสามารถประยุกต์และพัฒนาเทคนิคในเชิงพาณิชย์ได้ต่อไป

บทที่ 2

แนวคิด ทฤษฎี และวรรณกรรมที่เกี่ยวข้อง

2.1 ทฤษฎี สมมติฐานหรือกรอบแนวคิดของโครงการวิจัย

เนื้อขนุนตัดแต่งมักเกิดการเน่าเสียได้อย่างรวดเร็ว เนื่องจากเป็นผลไม้ประเภทมีการหายใจแบบ Climacteric โดยการเก็บรักษาในสภาวะที่ไม่เหมาะสม เช่น การเก็บรักษาที่อุณหภูมิสูง และการสัมผัสกับอากาศมากเกินไป มีส่วนกระตุ้นให้ขนุนตัดแต่งเกิดการเปลี่ยนแปลงทั้งทางกายภาพและชีวเคมี ซึ่งการเปลี่ยนแปลงดังกล่าวกระทบต่อระยะเวลาในการวางจำหน่ายและการบริโภค

การควบคุมสภาวะในการเก็บรักษา อาทิ การใช้อุณหภูมิต่ำ และการจำกัดปริมาณอากาศที่สัมผัสกับเนื้อผลไม้ สามารถชะลออายุของผลไม้ตัดแต่งได้หลายชนิด การเคลือบผิวด้วยสารชีวภาพต่างๆ เป็นวิธีการหนึ่งที่ช่วยควบคุมสภาวะการเก็บรักษาให้เหมาะสมขึ้น โดยสามารถลดการเปลี่ยนแปลงทั้งทางด้านกายภาพและชีวเคมีของผลไม้ตัดแต่งได้เป็นอย่างดี โดยผลการศึกษารายงานถึงความสำเร็จในการใช้สารเคลือบผิวใน แอปเปิล กีวี พลับ และมะม่วง (Lee et al., 2003, Xu et al., 2000, Perez-Cago et al., 2005, Anne et al., 2004) การใช้สารเคลือบผิว จึงเป็นวิธีการหนึ่งซึ่งนอกจากจะช่วยในการรักษาคุณภาพเนื้อขนุนหลังการตัดแต่แล้ว ยังส่งผลต่อการวางจำหน่ายและความยอมรับจากผู้บริโภคเพิ่มมากขึ้น

2.2 ขนุน (Jackfruit)

ขนุนเป็นผลไม้เขตร้อนจัดอยู่ในวงศ์ Moraceae และมีชื่อทางวิทยาศาตร์ว่า *Astocarpus heterophyllus* Lam.) ประเทศไทยมีพื้นที่การปลูกขนุนประมาณ 5,627 ไร่ (กรมวิชาการเกษตร, 2548) มีฤดูกาลออกสู่ตลาดปีละ 2 ครั้ง คือระหว่างเดือนธันวาคม – มกราคม และ เดือนเมษายน-พฤษภาคม และมีบางส่วนให้ผลผลิตตลอดทั้งปี (กรมวิชาการเกษตร, 2533) ขนุนนอกจากส่งขายภายในประเทศแล้วยังส่งออกไปยังตลาดในทวีปยุโรป อเมริกา และเอเชีย โดยส่งออกไปในรูปทั้งผล มีตลาดหลักอยู่ในประเทศจีน ฮ่องกงและไต้หวัน และส่งออกในรูปแบบเนื้อขนุนสดตัดแต่งและเนื้อขนุนแช่แข็ง ซึ่งส่วนใหญ่ส่งออกไปยังประเทศญี่ปุ่น สหรัฐอเมริกาและประเทศในสหภาพยุโรป

ขนุนสามารถแบ่งออกเป็น 2 สายพันธุ์ คือ ชนิดเนื้อนุ่มและฉ่ำ และชนิดเนื้อกรอบ รสชาติไม่หวานจัด สายพันธุ์ที่มีเนื้อนุ่มและฉ่ำจะมีเนื้อค่อนข้างเหนียวและรสชาติหวาน เช่น พันธุ์หัวกุญแจ และพันธุ์เหรียญชัย ขณะที่อีกสายพันธุ์หนึ่งมีเนื้อกรอบและรสชาติไม่หวานเท่าสายพันธุ์แรก เป็นสายพันธุ์ที่มีความสำคัญมากทางการค้า เนื่องจากรสชาติเป็นที่นิยมของผู้บริโภคส่วนใหญ่ รวมถึงผู้บริโภคในตลาดต่างประเทศ เช่น พันธุ์เหลืองใบเตยและเหรียญทอง ผลขนุนโดยทั่วไปมีขนาดใหญ่ประมาณ 18 กิโลกรัม ผิวเปลือกภายนอกมีสีเขียวขณะยังอ่อน และจะเปลี่ยนเป็นสีเขียวอมเหลืองเมื่อสุก ส่วนเนื้อขนุนส่วนใหญ่จะมีสีเหลืองและให้กลิ่นฉุนโดยเฉพาะเมื่อสุก ยวงมีความยาวประมาณ 2.5-3.0 นิ้ว หนาประมาณ 0.5-1.0 นิ้ว และขนุนหนึ่งผลประกอบไปด้วยเมล็ดประมาณ 100-500 เมล็ด ซึ่งคิดเป็น 12% ของน้ำหนักผลทั้งหมด (Bhatia et al., 1955)

คุณค่าทางอาหารของขนุนประกอบไปด้วยแร่ธาตุ วิตามินและอุดมด้วยแหล่งพลังงานจากคาร์โบไฮเดรต ซึ่งรายละเอียดปริมาณของสารอาหารในเนื้อขนุนจำแนกได้ตามตารางที่ 1

ตารางที่ 1 คุณค่าทางอาหารของเนื้อขนุน (165 กรัม)

พลังงาน	155 แคโลรี
-พลังงานจากคาร์โบไฮเดรต	143 แคโลรี
-พลังงานจากไขมัน	4.1 แคโลรี
-พลังงานจากโปรตีน	8.1 แคโลรี
วิตามินเอ	490 IU
วิตามินซี	11.1 มิลลิกรัม
Riboflavin	0.2 มิลลิกรัม
วิตามิน บี6	0.2 มิลลิกรัม
โฟเลต	23.1 mcg
แคลเซียม	56.1 มิลลิกรัม
เหล็ก	1.0 มิลลิกรัม
แมกนีเซียม	61.1 มิลลิกรัม
ฟอสฟอรัส	59.4 มิลลิกรัม
โพแทสเซียม	500 มิลลิกรัม
โซเดียม	5.0 มิลลิกรัม

สังกะสี	0.7 มิลลิกรัม
ทองแดง	0.3 มิลลิกรัม
แมงกานีส	0.3 มิลลิกรัม
น้ำ	121 กรัม
เถ้า	1.7 กรัม

ที่มา: Nutritiondata, online document (2005)

2.3 การเปลี่ยนแปลงหลังการเก็บเกี่ยว

2.3.1 การหายใจแบบ Climacteric

การหายใจแบบ Climacteric คือ การหายใจที่มีอัตราการหายใจเพิ่มขึ้นเรื่อยๆจนถึงจุดหนึ่งแล้วจึงลดลงเข้าสู่ระยะชราภาพ คือ อัตราการหายใจเพิ่มจาก 20-25 ml.CO_2.kg^{-1}.h^{-1} เป็น 50-55 ml.CO_2.kg^{-1}.h^{-1} เมื่อมีการหายใจเมื่อเข้าระยะสูงสุดของการหายใจแบบ Climacteric (UC Davis, 2004) ในขณะที่อัตราการหายใจเพิ่มขึ้นนั้น มีกระบวนการต่าง ๆ เกิดขึ้นไปพร้อมกันหลายกระบวนการ ทั้งการสร้างและการทำลาย เช่น การผลิตเม็ดสี (Pigment), การผลิตก๊าซเอทิลีนและก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ และ การเปลี่ยนโครงสร้างแป้งเป็นน้ำตาล กระบวนการดังกล่าวมีผลต่อการเปลี่ยนแปลงทั้งองค์ประกอบภายในและลักษณะภายนอกอย่างชัดเจน ทำให้ผลไม้ตัดแต่งสูญเสียคุณภาพอย่างรวดเร็วและไม่เป็นที่ยอมรับของผู้บริโภค

ขณะที่ขนุนยังไม่ถึงระยะบริบูรณ์เต็มที่นั้น เนื้อขนุนประกอบด้วยแป้ง (Starch) ปริมาณสูง ทำให้เนื้อขนุนในระยะนี้มีรสหวานน้อยมาก แต่หลังจากเข้าสู่ระยะบริบูรณ์แป้งจะถูกทำลายโครงสร้างให้เป็นน้ำตาลทั้งรูปโมเลกุลเดียว (ซูโครส กลูโคส และฟรุกโทส) หรือในรูป Polysaccharides อื่น ๆ ซึ่งพบว่าในเนื้อขนุนที่บริบูรณ์เต็มที่น้ำหนัก 100 กรัม มีปริมาณน้ำตาลถึง 79 มิลลิกรัม (Chowdhury et al., 1997) การเปลี่ยนแปลงดังกล่าวทำให้เนื้อขนุนมีรสชาติหวานมากยิ่งขึ้น

2.3.2 การเปลี่ยนแปลงทางสรีรวิทยา

โครงสร้างเซลล์ของผลไม้ภายหลังการตัดแต่งจะถูกทำลายไปบางส่วน ทำให้เกิดการสูญเสียส่วนประกอบต่าง ๆ ภายในเซลล์ เช่น ความชื้น วิตามินและเกลือแร่ เกิดปฏิกิริยา

ต่างๆ เพิ่มขึ้น เช่น ปฏิกิริยาระหว่างอากาศและสารเคมีหรือระหว่างสารเคมีที่ออกมาจากเซลล์ (เอนไซม์ ซับสเตรท กรดอินทรีย์ น้ำตาล น้ำ และ สารประกอบ Phenolics) ปฏิกิริยาดังกล่าวก่อให้เกิดผลกระทบต่อทั้งการสร้างก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์และก๊าซเอทีลีน การลดลงของน้ำตาลและกรดอินทรีย์ การสูญเสียน้ำหนัก การสูญเสียความแน่นเนื้อ การเปลี่ยนแปลงกลิ่นและรสชาติ การเปลี่ยนแปลงสีของเนื้อผลไม้ เป็นต้น ยกตัวอย่างเช่น สารประกอบ Phenolics ในแอปเปิลและพืชตัดแต่ง ทำปฏิกิริยากับอากาศ ทำให้เกิดสีน้ำตาลที่ผิวของผลไม้ (You et al., 2006 และ Gorny et al, 1999) นอกจากนี้การตัดแต่งผลไม้ยังทำให้โครงสร้างเซลล์อ่อนแอลง ง่ายต่อการเข้าทำลายของจุลินทรีย์ ในเนื้อขนุนตัดแต่ง จุลินทรีย์จำพวก *Erwinia*, *Bacillus* และ *Clostridium* สามารถย่อยเพคตินซึ่งเป็นส่วนประกอบของผนังเซลล์ เป็นผลให้เนื้อขนุนนิ่ม ฉ่ำน้ำและเกิดการเน่าเละขึ้น (สุมณฑา, 2545) ทั้งนี้น้ำและน้ำตาลที่เป็นผลจากการตัดแต่งยังเป็นแหล่งพลังงานสำคัญในการเจริญเติบโตของจุลินทรีย์อีกด้วย

2.4 การยืดอายุการเก็บรักษาผลไม้สดตัดแต่ง

นักวิจัยและผู้ประกอบการได้ประยุกต์ใช้เทคนิคต่างๆ ในการรักษาคุณภาพของผลไม้ตัดแต่ง เช่น การใช้สารดูดซับกาซเอทิลีน การใช้รังสีแกมมา การใช้ความร้อน (Heat treatment หรือ Heat shock) การใช้อุณหภูมิต่ำ และการใช้สารเคลือบผิว เป็นต้น

2.4.1 การควบคุมสภาพบรรยากาศ

-การควบคุมอุณหภูมิ อุณหภูมิต่ำสามารถชะลออัตราการหายใจและปฏิกิริยาเคมีต่างๆ ของผลผลิตสดหลังการเก็บเกี่ยวได้ ส่งผลให้เก็บรักษาผลผลิตในสภาพเดิมได้นานยิ่งขึ้น ยกตัวอย่างเช่น Voon et al, 2006 รายงานว่าทุเรียนสดตัดแต่ง (cv. D24) ที่เก็บรักษา ณ อุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียส มีอายุการเก็บรักษานานถึง 14 วัน โดยมีการเปลี่ยนแปลงของกรดอินทรีย์ ปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำได้ ความแน่นเนื้อ รสชาติและสีเพียงเล็กน้อย ขณะที่ทุเรียนที่เก็บ ณ 28 องศาเซลเซียส มีอายุการเก็บรักษาเพียง 1-3 วันเท่านั้น

นอกจากนี้อุณหภูมิยังมีอิทธิพลต่อการเจริญเติบโตของจุลินทรีย์บนผักผลไม้ตัดแต่งพร้อมบริโภค และปริมาณความชื้นของอากาศรอบๆผลผลิตอีกด้วย อุณหภูมิต่ำสามารถยับยั้งการเจริญเติบโตและการแพร่กระจายของจุลินทรีย์ได้อย่างมีประสิทธิภาพ ดังเช่นในการเก็บรักษาผลแพร์ตัดแต่งพร้อมบริโภค ณ อุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียส สามารถชะลอการเกิดแบคทีเรียและยีสต์ได้ถึง 11 วัน (Piga et al., 2000)

-การควบคุมปริมาณก๊าซ เทคนิคการดัดแปลงและควบคุมบรรยากาศในการเก็บรักษาผลไม้ตัดแต่งนั้น มีการศึกษาและวิจัยอย่างกว้างขวาง โดยมีหลักการคือลดปริมาณออกซิเจนให้มีอยู่ต่ำที่สุดแต่ไม่ต่ำจนเกินไปที่จะทำให้เกิดการหายใจแบบไม่ใช้ออกซิเจน เนื่องจากปริมาณออกซิเจนมีผลต่อการหายใจ การสร้างก๊าซเอทิลีน และกระบวนการออกซิเดชันต่างๆ เช่น การออกซิไดส์สารประกอบ Phenolics จนได้สารสีน้ำตาล (Browning) เป็นต้น ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ซึ่งเป็นของเสียจากการหายใจ หากมีปริมาณมากสามารถยับยั้งบางขั้นตอนในกระบวนการหายใจได้ นอกจากนั้นคาร์บอนไดออกไซด์ยังสามารถขัดขวางการทำงานของก๊าซเอทิลีนได้อีกด้วย โดยพบว่าคาร์บอนไดออกไซด์จะไปแทนที่ Active Site ของก๊าซเอทิลีนได้ ดังนั้นการลดปริมาณออกซิเจนและเพิ่มปริมาณคาร์บอนไดออกไซด์ จึงสามารถยืดอายุการเก็บรักษาผลิตผลได้

มีการนำเทคนิคการดัดแปลงบรรยากาศภายในถุงพลาสติกบรรจุผลไม้ตัดแต่งพร้อมบริโภคนั้น (Modified atmosphere packaging; MAP) โดยมีการใช้อย่างกว้างขวางในเชิงธุรกิจ เช่น ผักสลัด เห็ด และแคนตาลูป แต่อย่างไรก็ตามมีรายงานถึงการเปลี่ยนแปลงกลิ่นรสชาติ และสีของผลผลิตที่บรรจุด้วย MAP (Gil et al., 1998)

2.4.2 การใช้สารเคมี

ในการศึกษาประสิทธิภาพของสารเคมีที่นำมาใช้ในการยืดอายุผลไม้ตัดแต่งนั้น ผู้ประเมินจะพิจารณาถึงความสามารถในการรักษาความแน่นเนื้อ การยับยั้งการเกิดสีน้ำตาล และการควบคุมการเจริญเติบโตของจุลินทรีย์ ปัจจุบันมีการนำสารเคมีหลายชนิดประยุกต์ใช้เพื่อยืดอายุการเก็บรักษา เช่น คลอรีน ไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ (H_2O_2) สารประกอบแคลเซียม สารยับยั้งจุลินทรีย์ และ Cysteine อย่างไรก็ตามเมื่อพิจารณาถึงความปลอดภัยของผู้บริโภคแล้วนั้น สารเคมีที่อาจส่งผลกระทบต่อสุขภาพและความปลอดภัยของผู้บริโภคจึงไม่เหมาะสมในการนำมาใช้ได้ นักวิจัยจึงให้ความสำคัญในการพัฒนาสูตรสารเคมีที่สามารถรับประทานได้ เพื่อนำมาประยุกต์ใช้ในการยืดอายุของผลไม้ตัดแต่งพร้อมบริโภค

2.5 สารเคลือบผิวที่สามารถบริโภคได้ (Edible Coating)

โดยธรรมชาติผลไม้มีสารประเภทไขเคลือบอยู่ที่ผิวเปลือก ซึ่งสามารถป้องกันการสูญเสียความชื้นและป้องกันการเข้าทำลายของเชื้อโรค แต่สารเคลือบผิวดังกล่าวถูกทำลายใน

ระหว่างขั้นตอนการล้างและการตัดแต่งผลผลิต ดังนั้นโดยหลักการดังกล่าวจึงได้มีการค้นคว้าถึงสารเคลือบผิวทดแทนสารเคลือบผิวตามธรรมชาติ เพื่อปกป้องการเข้าทำลายของเชื้อจุลินทรีย์ รักษาความแน่นเนื้อ ชะลอการเกิดปฏิกิริยาเคมีต่างๆ และรวมถึงเพิ่มความมันวาวให้กับผลิตผลได้อีกทางหนึ่ง

โดยทั่วไปสารเคลือบผิวที่สามารถรับประทานได้นี้ ประกอบด้วยสารพื้นฐานหลักและสารประกอบอื่น ๆ เพื่อเพิ่มคุณสมบัติต่าง ๆ ให้กับสารเคลือบผิว เช่น เพิ่มความมันวาว สารพื้นฐานหลักสามารถแบ่งออกเป็น 3 ประเภท ดังรายละเอียดในตารางที่ 2

ตารางที่ 2 สารพื้นฐานสำหรับการผลิตสารเคลือบผิวที่รับประทานได้

สารพื้นฐาน	คุณสมบัติ
1. Lipid and resins -Nature wax: carnauba wax, rice bran wax, bee wax -Petroleum-based wax: paraffin, polyethylene wax -Petroleum-based oil -Mineral oil Vegetable oil: น้ำมันข้าวโพด น้ำมันถั่วเหลือง น้ำมันปาล์ม -Resins: shellac, wood rosin, coumarone indene	-ลดอัตราการแลกเปลี่ยนก๊าซ -ชะลอการสูญเสียความชื้น -เพิ่มความมันวาว -เพื่อเพิ่มคุณสมบัติอื่น ๆ จึงมีการเพิ่ม Plasticizer, Emulsifier, Lubricant, และ Formulation aids
2. Polysaccharides -Cellulose derivatives: methylcellulose (MC), hydroxypropyl cellulose (HPC), hydroxylpropyl mrthylcellulose (HPMC), carboxymethyl cellulose (CMC) -Chitin: chitosan	-ควบคุมการผ่านเข้าออกของก๊าซออกซิเจนและคาร์บอนไดออกไซด์ ซึ่งทำให้บรรยากาศที่อยู่รอบๆผลไม้ตัดแต่งถูกดัดแปลง ส่งผลต่อการชะลอการสุกได้ -ไม่สามารถป้องกันการสูญเสียน้ำได้

สารพื้นฐาน	คุณสมบัติ
-คาราจีแนน -Agar	และไม่ให้ความมันวาว แต่สามารถเพิ่มสารอื่นๆ เพื่อประสิทธิภาพดังกล่าวได้ โดยอาจเติม resins, rosins, plasticizers, น้ำมัน, wax และ emulsifiers -ยับยั้งการเจริญเติบโตของเชื้อจุลินทรีย์ได้ดี โดยเฉพาะ Chitosan
3. โปรตีน -Milk protein -Collagen -Gelatin -โปรตีนจากเมล็ดธัญพืช	-มีประสิทธิภาพขัดขวางการผ่านเข้าออกของออกซิเจนและคาร์บอนไดออกไซด์ กลิ่นและน้ำมันได้ดี (สภาวะความชื้นสัมพัทธ์ต่ำ) -ประสิทธิภาพลดลงในสภาวะที่มีความชื้นสูง เนื่องจากความสามารถในการดูดซับความชื้นสูง -หากผสมกับ hydrophobic materials จะเพิ่มประสิทธิภาพการทำงานในสภาวะความชื้นสัมพัทธ์สูงได้

บทที่ 3

วิธีดำเนินการวิจัย

3.1 วัตถุดิบ

ขนุนพันธุ์ทองประเสริฐ ขนส่งโดยรถยนต์จากจังหวัดระยอง และใช้ระยะเวลา 3 วัน หลังการเก็บเกี่ยวจึงมาถึงห้องปฏิบัติการทางเทคโนโลยีการอาหาร มหาวิทยาลัยแม่ฟ้าหลวง โดยขนุนทั้งหมดผ่านการลดอุณหภูมิก่อนทำการตัดแต่ง หลังจากปอกเปลือกแล้วขนุนที่ยังมีเนื้อเยื่อสีขาวห่อหุ้มจะผ่านการล้างด้วยสารละลาย 0.01% (w/v) โพแทสเซียมเปอร์แมงกาเนต เพื่อทำความสะอาดก่อนการตัดแต่ง หลังจากนั้นซับให้แห้งด้วยผ้าสะอาด

การตัดแต่งขนุนทำโดยความรวดเร็วและสะอาด ก่อนนำไปเก็บที่อุณหภูมิ 10 องศาเซลเซียสเพื่อรอการเคลือบผิวในขั้นตอนต่อไป

3.2 การเตรียมสารเคลือบผิว

3.2.1 สารเคมี

สารเคมีทุกชนิดที่ใช้เตรียมสารเคลือบผิวมีคุณภาพในขั้น Food-grade ซึ่งประกอบด้วยสารเคมีดังต่อไปนี้

3.2.1.1 k-Carrageenan DX5253 (FMC, Belgium)

3.2.1.2 ผง Chitosan; 85% deacetylation (Aqua Premier, ประเทศไทย)

3.2.1.3 Whey Protein (Precision Engineered; UK)

3.2.1.4 Polyethylene glycol 200; PEG (Sigma, USA)

3.2.1.5 กรดแอสคอร์บิค กรดซิตริก กรดออกซาลิค (Sigma, USA)

3.2.1.6 Glycerol (99% reagent grade)

3.2.2 การเตรียมสารละลาย

3.2.2.1 สารละลาย Chitosan

การเตรียมสารละลาย 1.0 % Chitosan (85% deacetylated) เตรียมโดยอ้างอิงวิธีการของ El Ghaouth et al., 1991 และมีการปรับเปลี่ยนวิธีการเล็กน้อย การละลายผง Chitosan โดยใช้ผง chitosan 1 กรัมละลายด้วยน้ำกลั่น 80 ml โดยเติมกรดอะซิติก 2.5 ml เพื่อช่วยให้การละลายมีประสิทธิภาพเพิ่มยิ่งขึ้น หลังจากสารละลายเป็นเนื้อเดียวกันแล้ว สารละลายจะถูกปรับความเป็นกรดเป็นด่างให้เท่ากับ pH 5.2 และเติมน้ำกลั่นจนได้สารละลาย 100 ml

3.2.2.2 สารละลาย Whey Protein

การเตรียมสารเคลือบผิว whey protein อ้างอิงจากวิธีการของ Lee et al. (2003) ด้วยการปรับเปลี่ยนวิธีการเล็กน้อย โดยใช้ 5% (w/v) whey protein, ละลายร่วมกับ 2.5% (v/v) glycerol, 0.25% (w/v) carboxymethyl cellulose (CMC) และ 0.125% (w/v) $CaCl_2$ ละลายด้วยน้ำกลั่น หลังจากนั้นให้ความร้อนสารละลายที่ระดับ 80 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 30 นาที หลังจากนั้นจึงทำให้สารละลายเย็นลงที่อุณหภูมิห้อง

3.2.2.3 สารละลาย Carrageenan

สารเคลือบผิว Carrageenan เตรียมโดย k-Carrageenan ในน้ำกลั่น (0.5 กรัม ต่อน้ำกลั่น 100 มิลลิลิตร) จากนั้นผสมกับสารเพิ่มคุณสมบัติความเป็นพลาสติกโดยใช้สารที่ผสมระหว่าง glycerol และ polyethylene glycol 200 (50:50 (w/w)) เป็นตัวเพิ่มคุณสมบัติความเป็นพลาสติก (0.75 กรัม / คาราจีแนน 1 กรัม) และละลายสารทั้งหมดที่อุณหภูมิ 70 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 40 นาทีด้วย Hot Plate และหลังจากนั้นทำให้เย็นที่อุณหภูมิห้อง

3.2.2.4 สารละลายเพื่อต่อต้านการเกิดสีน้ำตาล (Anti-browning agents)

สารละลายกรดแอสคอร์บิก (AA) สารละลายกรดซิตริก (CA) และสารละลายกรดออกซาลิค (OA) เตรียมโดย 1 กรัม AA/ น้ำกลั่น 100 มิลลิลิตร 1 กรัม CA/ น้ำกลั่น 100 มิลลิลิตร และ 0.05 กรัม/ น้ำกลั่น 100 มิลลิลิตร

3.3 การวางแผนการทดลอง

การวิจัยครั้งนี้ใช้แผนการทดลองแบบ Completed Random Design โดยเนื้อขนุนที่ผ่านการตัดแต่งและคัดคุณภาพที่ใกล้เคียงกันแล้ว จะถูกสุ่มเลือกบรรจุลงในถาดพลาสติก (ขนาด 21 x 12.5 x 3 cm) โดยให้แต่ละถาดมีเนื้อขนุนโดยเฉลี่ย 100 กรัม เป็นจำนวน 144 ถาด จากนั้นสุ่มแบ่งเนื้อขนุนทั้งหมดออกเป็น 9 กลุ่มเท่าๆกัน โดยแต่ละกลุ่มมีการเคลือบผิวด้วยสารเคลือบผิวดังต่อไปนี้

กลุ่มที่ 1 เคลือบด้วย AA และ Chitosan
กลุ่มที่ 2 เคลือบด้วย CA และ Chitosan
กลุ่มที่ 3 เคลือบด้วย OA และ Chitosan
กลุ่มที่ 4 เคลือบด้วย AA และ Whey Protein
กลุ่มที่ 5 เคลือบด้วย CA และ Whey Protein
กลุ่มที่ 6 เคลือบด้วย OA และ Whey Protein
กลุ่มที่ 7 เคลือบด้วย AA และ Carrageenan
กลุ่มที่ 8 เคลือบด้วย CA และ Carrageenan
กลุ่มที่ 9 เคลือบด้วย OA และ Carrageenan

จากนั้นขนุนที่เคลือบผิวและทำให้สารเคลือบผิวแห้งแล้ว ถูกบรรจุในถุงพลาสติก polyethylene และผนึกปากถุงด้วยเครื่อง Vacuum Packing ที่ระดับ 3 และเก็บรักษาในตู้แช่เย็นที่ 10 องศาเซลเซียสเป็นระยะเวลา 16 วัน โดยมีการตรวจประเมินคุณภาพของเนื้อขนุนในวันที่ 0, 2, 4, 6, 8, 10, 12, 14 และ 16 ของการทดลอง

3.4 การวัดปริมาณก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์

ทำการเทียบมาตรฐาน (Calibration) ของ Gas analyzer ก่อนการวัดปริมาณก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ที่เนื้อขนุนผลิตขึ้น โดยค่ามาตรฐานของคาร์บอนไดออกไซด์เท่ากับ 0.03% และออกซิเจนเท่ากับ 21% หลังจากนั้นเนื้อขนุนจากแต่ละทรีตเมนต์ถูกสุ่มหยิบทรีตเมนต์ละ 3 ถุงตัวอย่าง และวัดปริมาณก๊าซผ่าน septum และบันทึกผลการทดลอง

3.5 การวิเคราะห์การสูญเสียน้ำหนัก

วัดน้ำหนักของเนื้อขนุนในแต่ละถุงตัวอย่าง (ไม่รวมน้ำหนักของถุงและถาดพลาสติก) โดยเครื่องชั่งดิจิตอล 2 ตำแหน่ง เพื่อคำนวณหาร้อยละการสูญเสียน้ำหนักในลำดับต่อไป

3.6 การเปลี่ยนแปลงของสี

เนื้อขนุน 3 ชิ้น ถูกสุ่มหยิบเป็นตัวแทนของแต่ละถุงตัวอย่าง เพื่อวัดการเปลี่ยนแปลงค่าความสว่าง (L^*) และ ค่า b^* (สีเขียว-สีเหลือง) ด้วยเครื่อง Hunter Lab Colorimeter (ColorQuest XE; USA)

3.7 ค่าความแน่นเนื้อ

หลังจากเสร็จจากการวัดการเปลี่ยนแปลงของค่าสีแล้ว เนื้อขนุนตัวอย่างถูกวัดความแน่นเนื้อด้วยเครื่อง Texture Analyzer (TA XT Plus, Stable Micro Systems, UK) โดยใช้หัวเข็มขนาด P2 (เส้นผ่านศูนย์กลาง 2 มิลลิเมตร) ความเร็วหัวเข็ม 0.2 mm ต่อวินาที

3.8 การวิเคราะห์ค่าปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำได้

เนื้อขนุนที่ผ่านการวัดความแน่นเนื้อแล้ว ถูกนำมาหั่นละเอียดรวมกัน ก่อนคั้นผ่านผ้าขาวบางสองชั้น นำน้ำคั้นที่ได้วิเคราะห์ด้วย Hand Refractometer (N-1E, Atago, Japan) เพื่อหาปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำได้ โดยค่าที่อ่านได้มีหน่วยเป็น $^{\circ}$Brix

3.9 การทดสอบการยอมรับของผู้บริโภค

เนื้อขนุนที่ไม่ได้ผ่านการวิเคราะห์ข้างต้น ถูกตัดแต่งและสุ่มใส่ถาดขนาดเล็กจำนวน 10 ถาด เพื่อให้ผู้บริโภค (ซึ่งผ่านการฝึกฝนและทำความเข้าใจในการให้คะแนนแล้ว) ทดสอบการยอมรับ (รายละเอียดแบบประเมิน: ภาคผนวก)

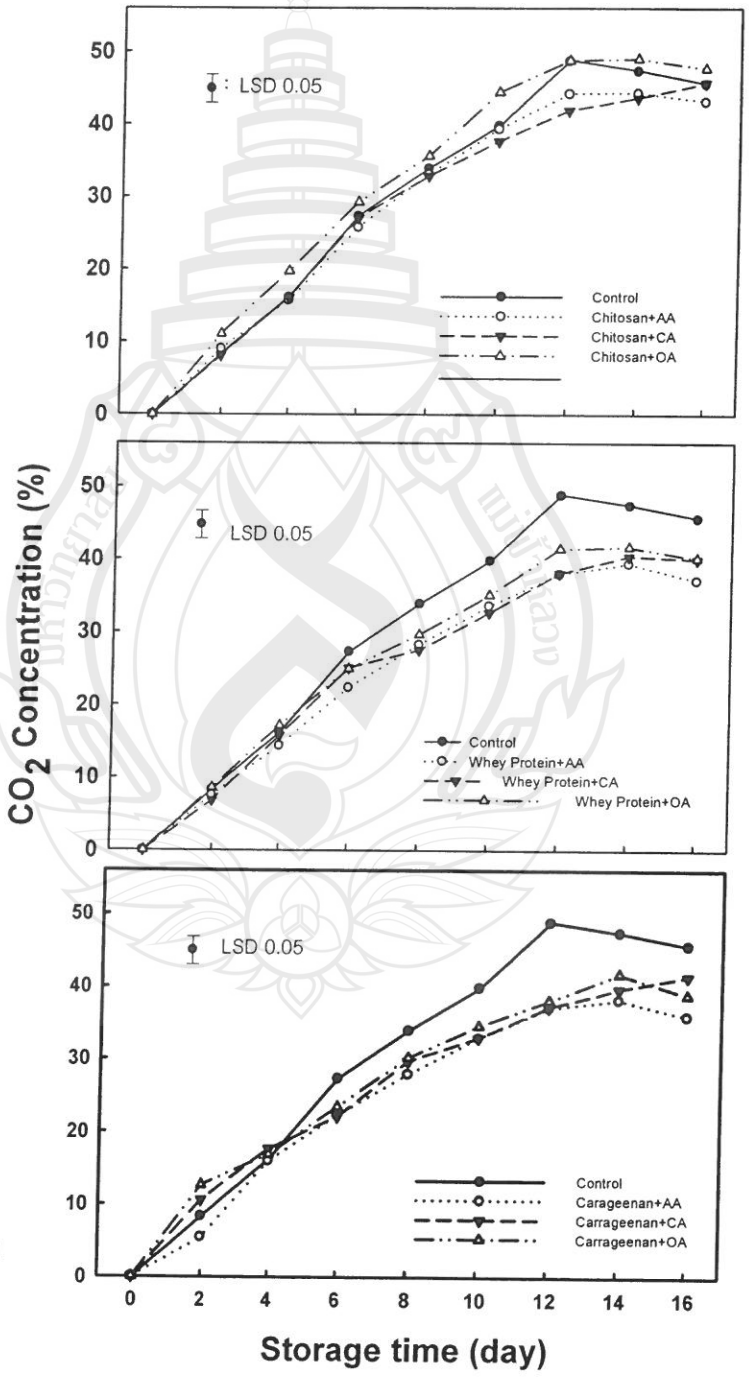
3.10 การวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติ

วิเคราะห์ผลการทดลองด้วยโปรแกรมสำเร็จรูป Genstat: Version 8.1 (VSN International, UK) โดยวางแผนการทดลองแบบ Completed Random Design; CRD และวิเคราะห์ผลการทดลองแบบ General Analysis of variance โดยเปรียบเทียบค่าความแตกต่างของค่าเฉลี่ยของผลการทดลองด้วย Least significant difference (LSD) ที่ระดับ 5%

บทที่ 4

ผลการวิจัย

4.1 ปริมาณก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์



ภาพที่ 4.1
ปริมาณก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ภายในถุงบรรจุเนื้อขนุน ที่อุณหภูมิ 10 องศาเซลเซียส ระยะเวลา 16 วัน

คาร์บอนไดออกไซด์ภายในถุงพลาสติกที่เก็บรักษาเนื้อขนุนที่เคลือบด้วย Carrageenan มีปริมาณต่ำที่สุด ตามด้วยเนื้อขนุนที่เคลือบด้วย Whey Protein และ Chitosan ตามลำดับ โดยมีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95

ปริมาณ CO_2 ที่เพิ่มขึ้นในเนื้อขนุนทุกทรีตเมนท์ เป็นผลจากเนื้อขนุนเกิดบาดแผลเนื่องจากการตัดแต่ง ทำให้เนื้อขนุนถูกกระตุ้นให้เกิดปฏิกิริยาเคมี อาทิ การผลิตก๊าซเอทิลีน การกระตุ้นอัตราการหายใจให้สูงขึ้น การสูญเสียน้ำเนื่องจากการหายใจ เป็นต้น อย่างไรก็ตาม พบว่าหลังจากเคลือบผิวเนื้อขนุนแล้ว สารเคลือบผิวสามารถลดอัตราการหายใจได้ (เปรียบเทียบกับเนื้อขนุนที่ไม่ได้เคลือบผิว; Control) โดยเรียงจากความสามารถในการลดปริมาณ CO_2 จากมากไปน้อยได้ดังนี้ สารเคลือบผิวคาราจีแนน สารเคลือบผิว Whey Protein และ สารเคลือบผิว Chitosan ตามลำดับ

สาเหตุที่สารเคลือบผิวโดยเฉพาะ Whey Protein สามารถชะลอการผลิต CO_2 ได้นั้น เป็นผลจากการใช้ความร้อนขณะเตรียมสารละลาย Whey Protein ทำให้เกิดการสูญเสียสภาพทางธรรมชาติ ก่อให้เกิด thiol-disulfide interchange และ thiol oxidation reaction ซึ่งกระตุ้นให้เกิดการสร้างตัวประสานระหว่างโมเลกุลและทำให้อนุภาคในโมเลกุลเหล่านี้ประสานกันดียิ่งขึ้น (McHugh and Krochta, 1994) มีผลต่อคุณสมบัติเป็นตัวกีดขวางการผ่านเข้าออกของก๊าซ CO_2 ให้มีประสิทธิภาพมากยิ่งขึ้น นอกจากนี้การที่เป็นสารเคลือบผิวที่น้ำไม่สามารถละลายได้ (water insolubility) และคุณสมบัติขัดขวางการผ่านเข้าออกของก๊าซ O_2 ทำให้ส่วนผสมของก๊าซระหว่างเนื้อขนุนและสารเคลือบผิวถูกดัดแปลงไปเข้าสู่บรรยากาศที่ทำให้เนื้อขนุนมีการหายใจลดลง ซึ่งการลดอัตราการหายใจนี้เป็นการปรับตัวให้เข้ากับสภาพของผลไม้เอง นอกจากนี้ Le Tien et al., 2001 รายงานผลการวิจัยที่สนับสนุนเพิ่มเติม โดยพบว่า สารเคลือบผิวที่มีส่วนผสมหลักจากผลิตภัณฑ์นม (Milk-based coatings) สามารถลดปฏิกิริยาการเกิดสีน้ำตาล โดยสารเคลือบผิวดังกล่าวทำหน้าที่คล้ายกับเป็นตัวขัดขวาง O_2 ไม่ให้มาทำปฏิกิริยากับสารประกอบฟีนอลในผักและผลไม้

นอกจากนี้ไอออนของแคลเซียม(ที่ใช้เป็นส่วนผสมในสารเคลือบผิว) ยังมีผลในการยับยั้งกระบวนการหายใจและการผลิตก๊าซเอทิลีนได้ (Poovaiah et al., 1988) โดย Wong et al., 1994 พบว่าสาร Ascorbate ที่เป็นส่วนผสมของสารเคลือบผิวสองชั้น (bilayer) ระหว่าง Polysaccharides และ Lipid (โดยใน Lipid นั้นมีการใช้ Ascorbate เป็น Buffer) สามารถลดอัตราการหายใจของแอปเปิลตัดแต่งได้ เนื่องจาก Ascorbate ประกอบด้วยไอออนของแคลเซียม แต่อย่างไรก็ตามสำหรับการทดลองกับเนื้อขนุนนั้นน่าจะเป็นผลจากคุณสมบัติการเป็นตัวขัดขวางก๊าซ O_2 มากกว่าคุณสมบัติของไอออนของแคลเซียม เนื่องจาก

ในสารเคลือบผิวคาราจีแนนไม่มีส่วนผสมของแคลเซียม แต่ยังคงสามารถลดปริมาณก๊าซ CO_2 ที่เกิดจากการหายใจของเนื้อขนุนตัดแต่งได้

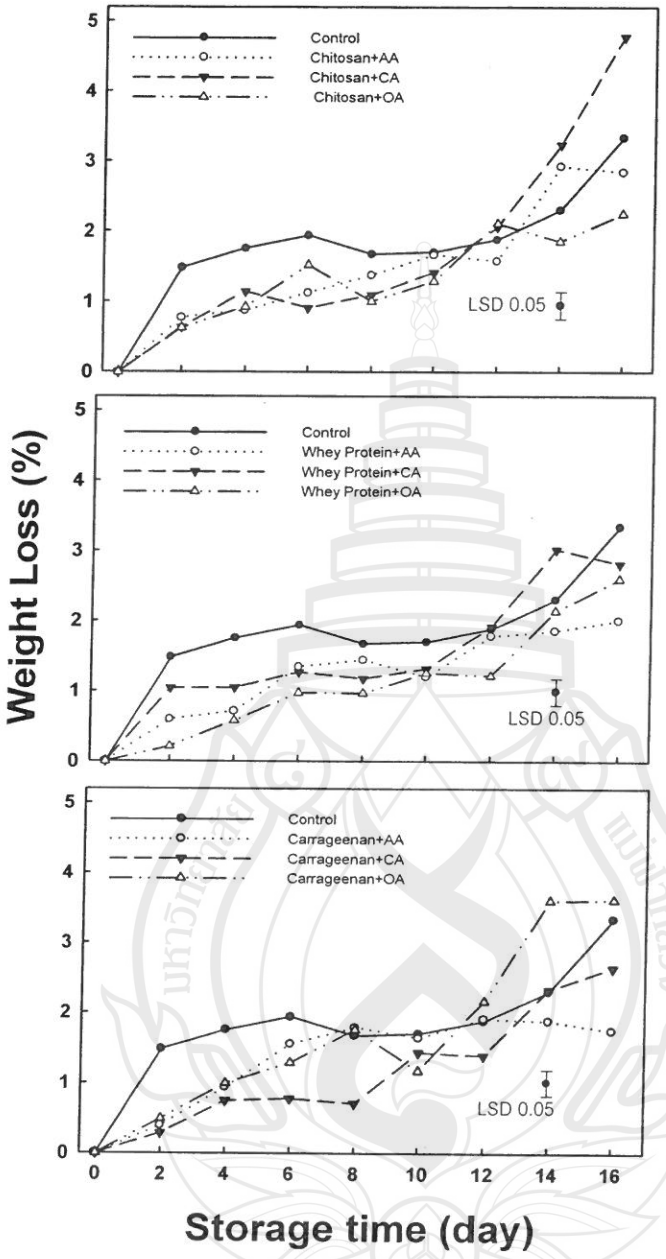
อย่างไรก็ตามหลังจากวันที่ 12 ของการทดลอง ปริมาณ CO_2 เริ่มลดลง เนื่องจาก CO_2 มีผลยับยั้งการทำงานของเอนไซม์ Succinic dehydrogenase ใน Krebs cycle ทำให้กระบวนการหายใจแบบปกติไม่สามารถดำเนินต่อไปได้ แต่ยังคงมีความต้องการพลังงานเพื่อไปใช้อยู่ ดังนั้นความต้องการดังกล่าวจะกระตุ้น glycolysis ให้เกิดเร็วยิ่งขึ้น และ NAD^+ ที่ถูกนำไปใช้ใน glycolysis จะถูกนำกลับมาใหม่ได้ โดยการรีดิวซ์กรด pyruvic ให้กลายเป็นแอลกอฮอล์ (จริงแท้, 2541) กระบวนการดังกล่าวจึงส่งให้เนื้อขนุนเริ่มมีกลิ่นแอลกอฮอล์ปรากฏหลังจากเก็บรักษาได้ 8 วัน (กลิ่นไม่รุนแรง) จนถึงวันสุดท้ายของการเก็บรักษา (มีกลิ่นฉุนของแอลกอฮอล์ชัดเจน)

4.2 วิเคราะห์การสูญเสียน้ำหนัก

การสูญเสียน้ำหนักของเนื้อขนุนตัดแต่งในทุกทรีตเมนต์ระหว่างการเก็บรักษาวันที่ 0 ถึงวันที่ 12 สูญเสียน้ำหนักในอัตราต่ำ (น้อยกว่า 2%) แต่หลังจากวันที่ 12 แล้วนั้น การสูญเสียน้ำหนักของเนื้อขนุนเพิ่มสูงขึ้นอย่างรวดเร็วจนกระทั่งวันที่ 16 โดยเมื่อเปรียบเทียบร้อยละการสูญเสียน้ำหนักระหว่างวันที่ 0 ถึงวันที่ 12 นั้น พบว่าเนื้อขนุนที่เคลือบด้วยสารเคลือบผิว Whey Protein-based มีการเปลี่ยนแปลงต่ำที่สุด ตามด้วยเนื้อขนุนที่เคลือบด้วยสารเคลือบผิว Carrageenan-based เนื้อขนุนที่เคลือบด้วยสารเคลือบผิว Chitosan-based และเนื้อขนุนที่ไม่ได้เคลือบผิว (Control) ตามลำดับ โดยมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่น 95%

ทั้งนี้สามารถอธิบายได้ว่าเนื้อขนุนที่ไม่ได้เคลือบผิวนั้น สามารถใช้ออกซิเจนที่อยู่รอบๆ ผลผลิตมาใช้ในกระบวนการหายใจได้อย่างเต็มที่ ซึ่งการหายใจนั้นผลิตผลสูญเสียน้ำตาลหรือกรดอินทรีย์เพื่อเป็นแหล่งพลังงานในกระบวนการหายใจ นอกจากนี้กระบวนการหายใจยังส่งผลให้เนื้อขนุนสูญเสียความชื้นในรูปของไอน้ำ (ดังสมการการหายใจด้านล่าง)

$$C_6H_{12}O_6 + 6O_2 \longrightarrow 6CO_2 + 6H_2O + \textbf{พลังงาน}$$



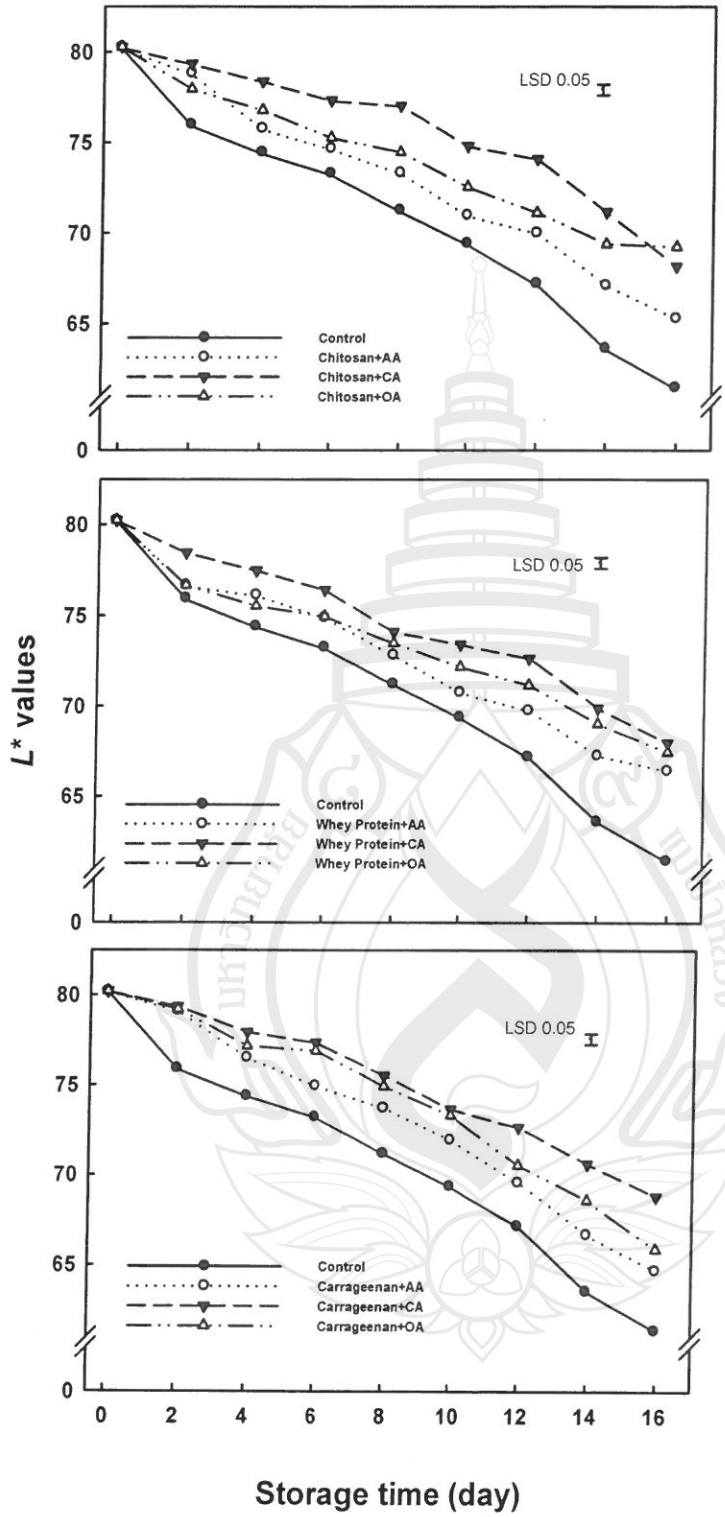
ภาพที่ 4.2

ร้อยละการสูญเสียน้ำหนักของเนื้อขนุนเคลือบผิวด้วยสารเคลือบผิวต่างชนิด ที่อุณหภูมิ 10 องศาเซลเซียส เป็นระยะเวลา 16 วัน

การสูญเสียความชื้นนี้เป็นตัวชี้วัดสำคัญในการสูญเสียน้ำหนักโดยรวมของเนื้อขนุน เพราะเนื้อขนุนสดนั้นมีน้ำเป็นองค์ประกอบหลักถึงร้อยละ 73 (Nutrition Data, 2006) เมื่อมีการสูญเสียความชื้นไปในกระบวนการหายใจย่อมหมายถึงน้ำหนักของเนื้อขนุนย่อมลดลงตามไปด้วย เมื่อเปรียบเทียบผลของสารเคลือบผิวต่อน้ำหนักของเนื้อขนุนแล้วพบว่าสารเคลือบผิว whey protein-based สามารถชะลอการสูญเสียน้ำหนักของเนื้อขนุนได้ดีที่สุด เนื่องจากคุณสมบัติการเป็นตัวขัดขวางการผ่านเข้าออกของ CO_2 และ O_2 ได้อย่างมีประสิทธิภาพ (รายละเอียดในหัวข้อ 4.1) และเป็นผลให้ลดอัตราการหายใจของเนื้อขนุนได้ โดยมีรายงานสนับสนุนคุณสมบัติของสารเคลือบผิว whey-protein based ในการลดอัตราการสูญเสียน้ำหนักของแอปเปิลตัดแต่งและผลพลับตัดแต่ง (Perez-Gago et al., 2006 และ Perez-Gago et al., 2005)

Carrageenan-based เป็นสารเคลือบผิวจัดอยู่ในกลุ่ม Polysaccharides และ สารเคลือบผิว Chitosan-based เป็นสารที่ได้จากการ deacetylation ของ chitin โดยสารเคลือบผิวทั้งสองประเภทมีคุณสมบัติยอมให้ไอน้ำ (water vapour) ผ่านเข้าออกได้ดีกว่าสารในกลุ่ม Protein ดังนั้นถึงแม้สารเคลือบผิวชนิดนี้จะเป็นตัวขัดขวางการผ่านเข้าออกของก๊าซ O_2 และ CO_2 ที่ดี แต่กลับยอมให้ไอน้ำจากเนื้อขนุนผ่านออกไปสู่บรรยากาศภายนอกได้ ซึ่งบรรยากาศภายนอกมีสัดส่วนปริมาณความชื้นน้อยกว่าปริมาณความชื้นภายในเนื้อขนุน ทำให้ความชื้นจากเนื้อขนุนถูกดึงออกมาสู่บรรยากาศ โดยถึงแม้บรรยากาศรอบๆ จะมีความชื้นสัมพัทธ์ 100% เนื้อขนุนยังมีโอกาสสูญเสียความชื้นได้ตลอดเวลา เนื่องจากเนื้อขนุนยังมีการหายใจ และความร้อนจากการหายใจมีผลให้อากาศรอบๆ ผลผลิตสามารถรับปริมาณความชื้นได้มากกว่าเดิม (จริงแท้, 2541) ดังนั้นจึงทำให้เนื้อขนุนที่เคลือบด้วย Carrageenan-based และ Chitosan-based มีอัตราการสูญเสียน้ำหนักสูง โดย Ribeiro et al., 2007 รายงานว่าสตรอเบอรรีที่เคลือบด้วยสาร Carrageena-based นั้น มีอัตราการสูญเสียน้ำหนักไม่แตกต่างจากสตรอเบอรรีที่ไม่ได้เคลือบผิว

4.3 การเปลี่ยนแปลงค่าสี



ภาพที่ 4.3

ค่าความสว่างของเนื้อขนุนที่เคลือบด้วยสารเคลือบผิวที่แตกต่างกัน เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 10 องศาเซลเซียส เป็นระยะเวลา 16 วัน

ค่าความสว่างเป็นค่าที่สามารถเป็นตัวชี้วัดถึงการเกิดสีน้ำตาลของผักและผลไม้ตัดแต่งพร้อมบริโภค โดยจากการทดลองเก็บรักษาเนื้อขนุน พบว่าสารต่อต้านการเกิดปฏิกิริยาสีน้ำตาลสามารถรักษาระดับค่าความสว่างของเนื้อขนุนได้อย่างมีประสิทธิภาพ ซึ่ง CA มีประสิทธิภาพสูงสุดในการยับยั้งการเกิดสีน้ำตาล ตามมาด้วย OA, AA และ Control ตามลำดับ นอกจากนี้ลำดับของสารต่อต้านการเกิดสีน้ำตาลนี้เกิดขึ้นเหมือนกันทั้งในสารเคลือบผิว Whey protein-based, Carrageenan-based และ Chitosan-based

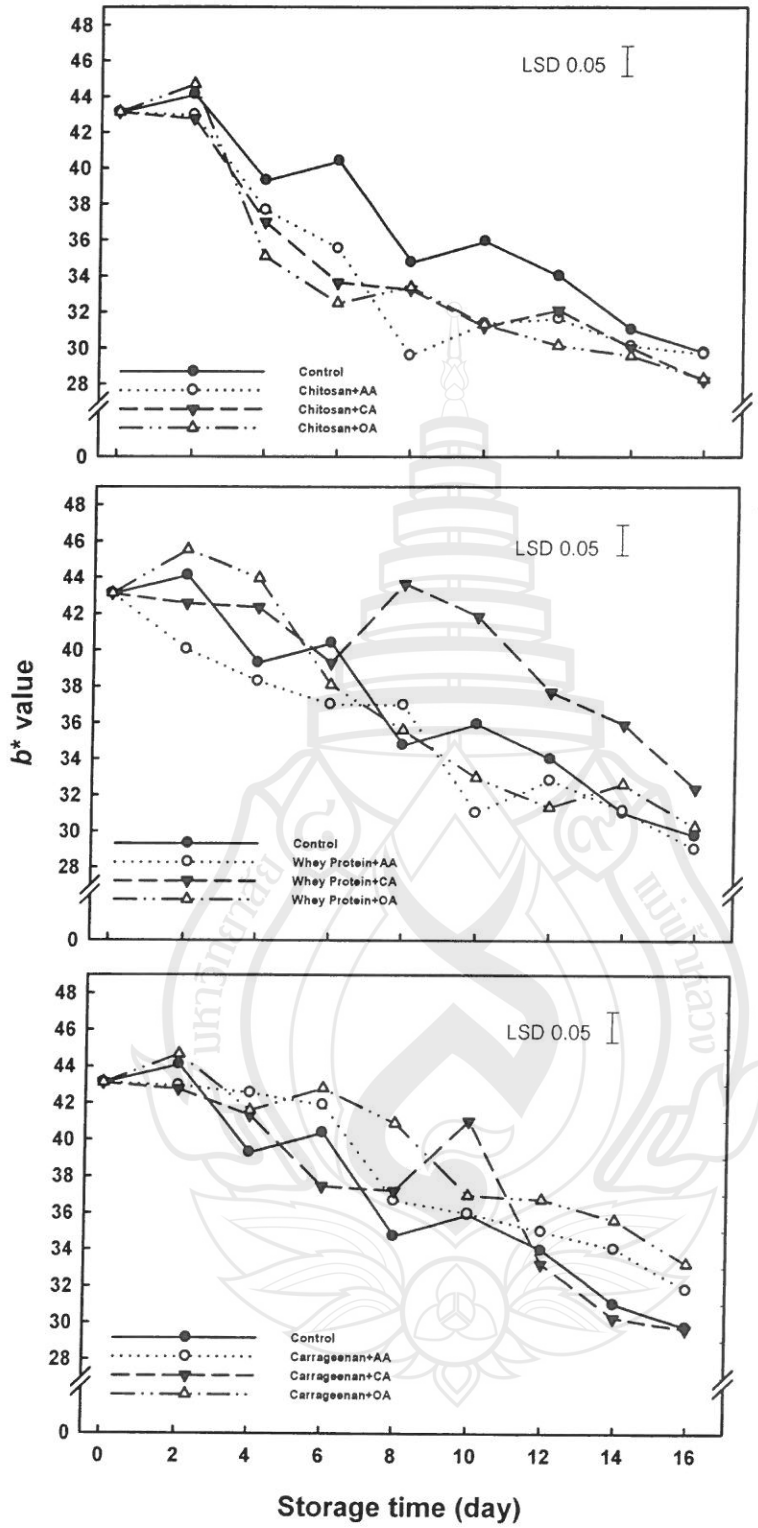
มีรายงานผลการวิจัยเกี่ยวกับสารต่อต้านการเกิดสีน้ำตาลที่สามารถยืดอายุการเก็บรักษาของผักและผลไม้ตัดแต่งอย่างกว้างขวาง โดยพบว่ากรดซิตริกและกรดแอสคอร์บิคนั้นสามารถใช้เป็นสารต่อต้านการเกิดปฏิกิริยาสีน้ำตาลได้อย่างมีประสิทธิภาพ (Son et al., 2001) โดยบทบาทที่สำคัญของกรดซิตริกนั้นนอกจากจะทำให้ความเป็นกรดด่างลดลง (กิจกรรมของ Polyphenol oxidase ต่ำลงเมื่อ pH < 4.5) แล้วยังทำหน้าที่เป็นตัวทำให้ทองแดง (ทองแดงเป็นองค์ประกอบของ Polyphenol oxidase) จับกับ Active Site ของ Polyphenol oxidase และเป็นผลทำให้เอนไซม์ Polyphenol oxidase ไม่สามารถทำงานได้ตามปกติ ทำให้ยับยั้งปฏิกิริยาการเกิดสีน้ำตาลได้ (Gurbuz and Lee, 1997) นอกจากนี้มีรายงานเกี่ยวกับผลร่วมของกรดซิตริกและคาราจีแนนต่อต้านการเกิดสีน้ำตาลในแอปเปิลสไลด์ได้นานถึง 2 สัปดาห์ (Lee et al., 2003)

อย่างไรก็ตามตามรายงานการวิจัยของ Rocha et al. (1998) พบว่าสารละลาย AA ความเข้มข้น 75 กรัม/ 100 มล. นั้นสามารถยับยั้งการเกิดสีน้ำตาลในแอปเปิลหั่นชิ้นได้ดี แต่เนื่องจากการทดลองกับเนื้อขนุนตัดแต่ง ใช้ความเข้มข้นของสารละลาย AA เพียง 1 กรัม/ 100 มล. ซึ่งสามารถลดปฏิกิริยาการเกิดสีน้ำตาลได้เพียงระดับหนึ่งเท่านั้น ดังนั้นในการศึกษาในอนาคตอาจเพิ่มความเข้มข้นของสารต่อต้านการเกิดสีน้ำตาลเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพการยับยั้งการเกิดสีน้ำตาล การทำงานของ AA ในการยับยั้งการเกิดสีน้ำตาลเกิดขึ้นโดยรีดิวซ์ควิโนนซึ่งเป็นผลิตภัณฑ์จากปฏิกิริยาออกซิเดชันของฟีนอล ให้กลับไปเป็นสารฟีนอล ซึ่งทำให้สารสีน้ำตาลขึ้นไม่ปรากฏ

ในขณะที่ OA นั้น ถึงแม้ในการทดลองนี้จะใช้ในความเข้มข้นเพียง 0.05% (w/v) แต่สามารถรักษาระดับความสว่างของเนื้อขนุนได้ดีกว่า AA มีการศึกษาใช้ OA ในการยับยั้งการเกิดสีน้ำตาลในผลไม้สดหลายชนิด เช่น การใช้ OA ในเปลือกลิ้นจี่สด (ซึ่งโดยปกติจะเกิดสีน้ำตาลขึ้นที่เปลือกได้ง่าย) พบว่า OA ชะลอการเกิดสีน้ำตาลอย่างมีนัยสำคัญทาง

สถิติเมื่อเปรียบเทียบกับลิ้นจี่ที่ไม่ได้จุ่ม OA โดยสามารถลดการเสื่อมสภาพของ Anthocyanin ลดอัตราการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชัน รักษาระดับ Peroxidase activity ให้อยู่ในระดับต่ำและเพิ่มความสมบูรณ์ให้แก่เซลล์เมมเบรน (Zheng and Tian, 2006) บทบาทสำคัญของ OA คือ การยับยั้งกิจกรรมของ catechol-polyphenol oxidase และมีผลให้เอนไซม์ชนิดนี้ไม่สามารถทำงานได้ตามปกติ

*b** คือค่าบอกความเป็นสีเหลือง (+) จนถึงค่าสีเขียว (-) เป็นตัวชี้วัดสำคัญในการพิจารณาคุณภาพของเนื้อขนุนตัดแต่ง สารเคลือบผิวทั้งสามชนิดมีผลต่อค่า *b** อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P < 0.05$) โดยพบว่าสารเคลือบผิว Carrageenan-based ให้ค่า b* ดีที่สุด ตามด้วยเนื้อขนุนที่เคลือบด้วยสารเคลือบผิว whey protein-based



ภาพที่ 4.4

*b** values ของเนื้อขนุนที่เคลือบด้วยสารเคลือบผิวที่แตกต่างกัน เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 10 องศาเซลเซียส เป็นระยะเวลา 16 วัน

4.4 ความแน่นเนื้อ

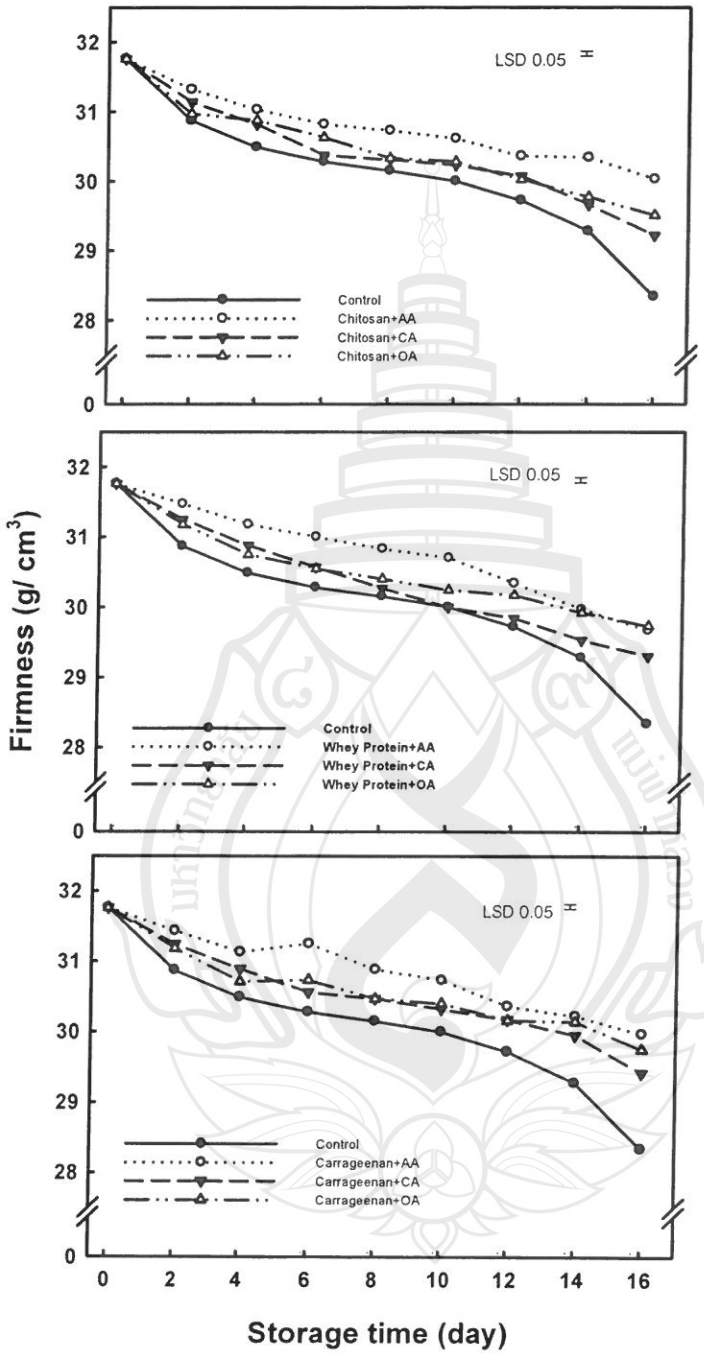
เนื้อขนุนในทุกทรีตเมนต์ให้ค่าความแน่นเนื้อที่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P < 0.05$) โดยพบว่าเนื้อขนุนที่เคลือบด้วยสาร Carrageenan-based มีการสูญเสียความแน่นเนื้อต่ำที่สุด ตามด้วย Chitosan-based Whey protein-based และ Control ตามลำดับ และเนื้อขนุนที่จุ่มด้วย AA ในทุกชนิดของสารเคลือบผิว สูญเสียความแน่นเนื้อต่ำกว่าเนื้อขนุนที่จุ่มใน OA และ CA ตามลำดับ การสูญเสียความแน่นเนื้อเป็นผลจากการสูญเสียน้ำหนักและการเข้าสู่ระยะชราภาพ ในช่วง 12 วันแรกของการทดลอง เนื้อขนุนในทุกทรีตเมนต์มีการสูญเสียความแน่นเนื้อเฉลี่ยเพียง 2 g/ ตารางเซนติเมตร แต่หลังจากวันที่ 12 ความแน่นเนื้อของตัวอย่างในทุก ทรีตเมนต์ลดลงอย่างรวดเร็ว ซึ่งสอดคล้องกับการสูญเสียน้ำหนักระหว่างการเก็บรักษา

เนื้อขนุนประกอบด้วยเซลล์พาเรงคิมาที่มีขนาดใหญ่ซึ่งประกอบด้วยน้ำและอาหารสะสม มีช่องว่างระหว่างเซลล์เป็นจำนวนมากและมีผนังเซลล์บาง โดยผนังเซลล์ช่วยให้ความแข็งแรงแก่เซลล์และเนื้อเยื่อโดยรวม การสูญเสียความแน่นเนื้อส่วนใหญ่จึงเกิดจากการเสื่อมสภาพของผนังเซลล์และองค์ประกอบต่างๆภายในผนังเซลล์ นอกจากนี้การตัดแต่งเนื้อขนุนเป็นการสร้างบาดแผลและกระตุ้นให้เกิดปฏิกิริยาการเปลี่ยนแปลงต่างๆ นอกจากทำให้ผนังเซลล์บางส่วนถูกทำลายแล้วยังทำให้ส่วนประกอบต่างๆของผนังเซลล์สูญเสียไปด้วย

การเปลี่ยนแปลงทางเคมีของสารประกอบในเซลล์เป็นอีกหนึ่งสาเหตุที่ทำให้เนื้อขนุนมีความอ่อนนุ่มขึ้น โดยปริมาณแป้ง (ไม่ละลายน้ำ) ที่สะสมในเนื้อขนุนจะถูกย่อยสลายให้มีโมเลกุลขนาดเล็กลงจนกลายเป็นน้ำตาลที่สามารถละลายน้ำได้ นอกจากนี้กระบวนการหายใจที่เพิ่มขึ้นส่งผลให้อัตราการสูญเสียน้ำตาลและกรดอินทรีย์เพิ่มขึ้น ความอ่อนแอลงของผนังเซลล์ยังมีผลต่อการยอมให้ผ่านเข้าออกของสารต่างๆระหว่างเซลล์ ทำให้เกิดปฏิกิริยาระหว่างเอนไซม์กับซับสเตรทต่างๆ ได้มากยิ่งขึ้น เช่น การย่อยสลายเพคตินด้วยเอนไซม์ Polygalacturonase (PG) เป็นต้น ด้วยกระบวนการดังกล่าวจึงทำให้เนื้อขนุนมีความอ่อนนุ่มเพิ่มมากขึ้นตั้งแต่วันที่ 0 จนถึงวันที่ 16 ในการทดลอง

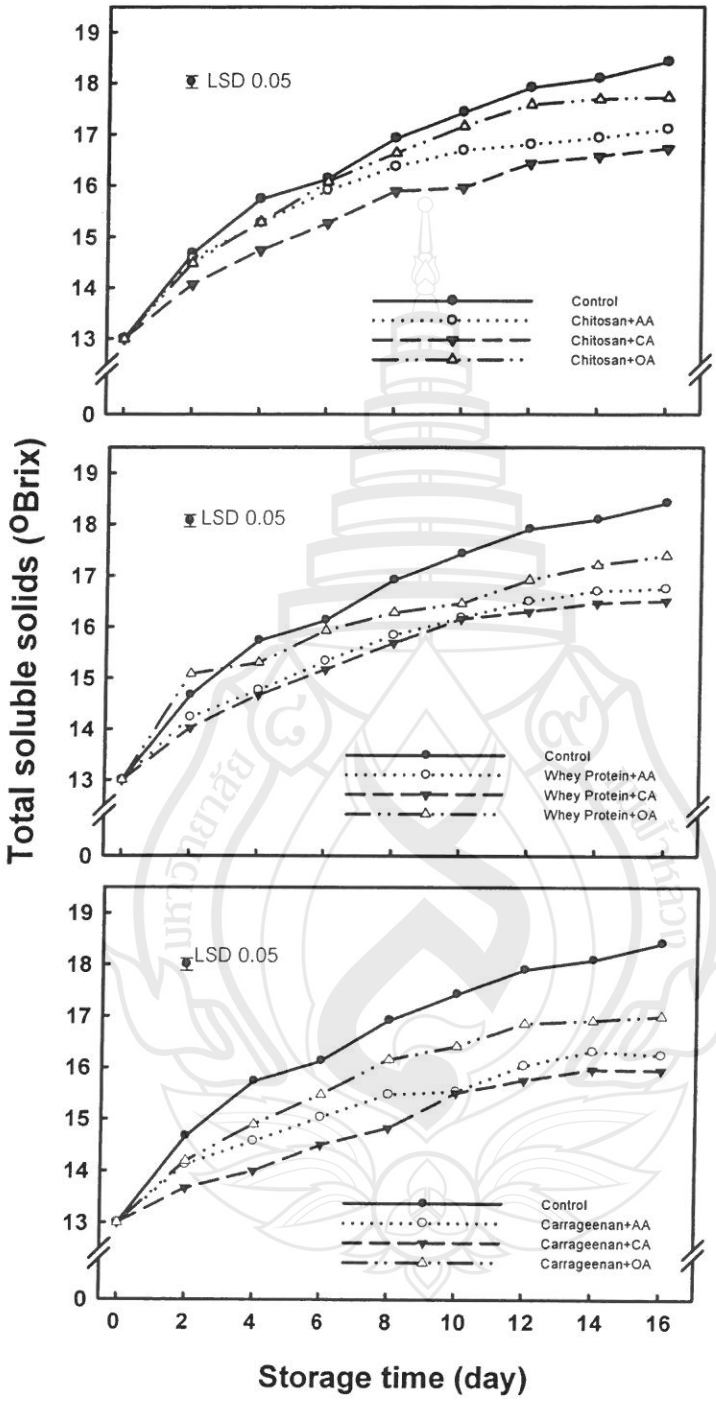
มีการรายงานผลการทดลองเกี่ยวกับการสูญเสียความแน่นเนื้อในผลไม้ตัดแต่งหลายชนิด เช่น Lee et al., 2003 รายงานว่า แอปเปิลสไลด์ที่เคลือบด้วย whey protein-based และ Carrageenan-based มีความแน่นเนื้อสูงกว่าแอปเปิลสไลด์ที่ไม่ได้เคลือบผิว ขณะที่ Ribeiro et al., 2006 พบว่าหลังจากเก็บรักษาสตรอเบอร์รีที่เคลือบด้วย

Carrageenan-based และ Chitosan-based เป็นเวลา 6 วัน ที่ 19 องศาเซลเซียส มีความแน่นเนื้อเปลี่ยนแปลงน้อยกว่ากลุ่มตัวอย่างที่ไม่ได้เคลือบผิว



ภาพที่ 4.5
ความแน่นเนื้อของเนื้อขนุนที่เคลือบด้วยสารเคลือบผิวที่แตกชนิด เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 10 องศาเซลเซียส เป็นระยะเวลา 16 วัน

4.5 ปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำได้



ภาพที่ 4.6

ปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำได้ของเนื้อขนุนที่เคลือบด้วยสารเคลือบผิวที่แตกต่างกัน เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 10 องศาเซลเซียส เป็นระยะเวลา 16 วัน

ปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำ (TSS) ได้ในทุกการทดลองเพิ่มขึ้นจากวันที่ 0 จนถึงวันที่ 16 ของการทดลอง โดยสารเคลือบผิวแต่ละชนิดมีผลต่อ TSS แตกต่างกันอย่างมีนัยทางสถิติ ($P < 0.05$) โดยเนื้อขนุนที่เคลือบผิวด้วยสารเคลือบผิว Carrageenan-based มีการเปลี่ยนแปลงค่า TSS ต่ำที่สุด ตามด้วยเนื้อขนุนที่เคลือบด้วยสารเคลือบผิว Whey protein –based สารเคลือบผิว Chitosan-based และ เนื้อขนุนที่ไม่ได้เคลือบผิว ตามลำดับ

เอนไซม์หลักในการย่อยแป้งเป็นน้ำตาล คือ α- และ β-amylase และ starch phosphorylase โดยกิจกรรมของเอนไซม์ amylase จะเพิ่มสูงขึ้นภายหลังการเก็บเกี่ยว น้ำตาลส่วนใหญ่ที่ได้จากการย่อยสลายแป้งจะถูกนำไปใช้ในการหายใจ โดย Goren et al., 2000 รายงานว่าผลการทดลองในการแช่เนื้อส้มในสารละลายซูโครสหรือฟรักโทสที่มี ^{14}C เป็นองค์ประกอบ พบว่า ^{14}C นี้เปลี่ยนไปอยู่ในรูปของกรดไพรูวิก กรดซิตริก และ CO_2 จึงเป็นการยืนยันได้ว่ามีกี่ใช้น้ำตาลซูโครสและฟรักโทสในการหายใจของผลไม้

4.6 การยอมรับของผู้บริโภค

วันที่	สารเคลือบผิว	รสหวาน	ความแน่นเนื้อ	กลิ่นผิดปกติ	การยอมรับได้
วันที่ 0	Control	7.80^{b}	8.22^{b}	0.12^{c}	7.69^{ns}
	Chitosan	7.39^{c}	7.98^{c}	0.71^{a}	7.72^{ns}
	Whey Protein	7.92^{a}	7.89^{c}	0.34^{b}	7.65^{ns}
	Carrageenan	7.05^{d}	8.44^{a}	0.10^{c}	7.75^{ns}
วันที่ 4	Control	8.33^{a}	8.00^{a}	0.72^{a}	7.91^{a}
	Chitosan	7.85^{c}	7.41^{c}	0.78^{a}	7.64^{b}
	Whey Protein	8.09^{b}	7.23^{d}	0.42^{b}	7.59^{b}
	Carrageenan	7.56^{d}	7.69^{b}	0.19^{c}	7.65^{b}
วันที่ 8	Control	8.97^{a}	7.3^{a}	1.00^{b}	6.68^{c}
	Chitosan	8.08^{d}	7.04^{b}	1.21^{a}	7.27^{a}
	Whey Protein	8.66^{b}	6.97^{c}	0.69^{c}	7.05^{b}
	Carrageenan	8.17^{c}	7.35^{a}	0.37^{d}	7.23^{a}
วันที่ 12	Control	-	-	-	-
	Chitosan	8.82^{b}	6.86^{b}	1.55^{a}	6.70^{a}

วันที่	สารเคลือบผิว	รสหวาน	ความแน่นเนื้อ	กลิ่นผิดปกติ	การยอมรับได้
วันที่ 16	Whey Protein	9.16 [a]	6.42 [c]	0.96 [b]	6.05 [c]
	Carrageenan	8.75 [b]	7.01 [a]	0.81 [c]	6.43 [b]
	Control	-	-	-	-
	Chitosan	-	-	-	-
	Whey Protein	-	-	-	-
	Carrageenan	-	-	-	-

ตารางที่ 4.1 การวิเคราะห์การยอมรับของผู้บริโภค

(a-d แสดงความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติของผลลัพธ์ในแต่ละคอลัมน์; $P \leq 0.05$ และ ns แสดงความแตกต่างอย่างไม่มีนัยสำคัญทางสถิติของผลลัพธ์ในแต่ละคอลัมน์; $P > 0.05$)

การยอมรับของผู้บริโภคจำนวน 10 คนที่ผ่านการทำความเข้าใจและฝึกปฏิบัติในการทดสอบประสาทสัมผัส (Sensory test) เนื้อขนุนตัดแต่งเคลือบด้วยสาร 3 ชนิด (Chitosan-based, Whey Protein-based, และ Carrageenan-based) ในทุก ๆ 4 วันเป็นระยะเวลา 16 วัน พบว่าการยอมรับโดยรวมของผู้บริโภคให้การยอมรับเนื้อขนุนที่เคลือบด้วย Chitosan-based ตามด้วย Carrageenan-based , Whey protein-based และเนื้อขนุนที่ไม่เคลือบผิวตามลำดับ

บทที่ 5

สรุปผลการวิจัย

การผสมสารเคลือบผิวที่สามารถบริโภคได้ร่วมกับสารต่อต้านการเกิดปฏิกิริยาสีน้ำตาลสามารถยืดอายุการเก็บรักษาเนื้อขนุนตัดแต่งพร้อมบริโภคได้อย่างมีประสิทธิภาพ เป็นระยะเวลา 16 วัน ณ อุณหภูมิ 10 องศาเซลเซียส โดย Chitosan-based, Whey protein-based, และ Carrageenan-based สามารถรักษาระดับค่าความสว่าง (L^*) และชะลอการเปลี่ยนแปลงของค่าสี b^* ระดับความสว่างสูงและค่าความเป็นสีเหลืองสูงของเนื้อขนุนตัดแต่งมีอิทธิพลจากสารต่อต้านการเกิดปฏิกิริยาสีน้ำตาล คือ AA, CA และ OA นอกจากนี้สารเคลือบผิวทั้งสามชนิดยังมีผลต่อการชะลอการสูญเสียน้ำหนัก การชะลออัตราการหายใจ ลดอัตราการสูญเสียความแน่นเนื้อและชะลอการเปลี่ยนแป้งให้กลายเป็นน้ำตาล ซึ่งกระบวนการดังกล่าวมีผลต่อการยืดอายุการเก็บรักษาเนื้อขนุนตัดแต่งให้ยาวนานยิ่งขึ้น นอกจากนี้การเคลือบผิวเนื้อขนุนด้วยสารเคลือบผิวทั้ง 3 ชนิดร่วมกับสารต่อต้านการเกิดปฏิกิริยา AA, CA และ OA ยังเป็นที่ยอมรับของผู้บริโภคเป็นระยะเวลา 12 วัน

บรรณานุกรม

Gennadios, A., Hanna, M.A., and Kurth, L.B. (1997) Application on edible coatings on meat, poultry and seafoods: A review. Lebensm-Wiss. u.-Technol. 30, 337-350.

Jagadeesh, S.L., Reddy, B.S., Swamy, G.S.K., Gorbal, K., Hegde, L., and Raghavan, G.S.V. (2007) Chemical composition of jackfruit (*Artocarpus heterophyllus* Lam.) selections of Western Ghats of India. Food Chemistry. 102, 361-365.

Jaing, Y., Li, J., and Jiang, W. (2005) Effects of chitosan coating on shelf life of cold-stored litchi fruit at ambient temperature. LWT Food Science and Technology. 38, 757-761.

Lee, J.Y., Park, H.J., Lee, C.Y., and Choi, W.Y. (2003) Extending shelf-life of minimally processed apples with edible coatings and antibrowning agents. LWT Food Science and Technology. 36, 323-329.

Perez-Gago, M.B., del Rio, M.A., and Serra, M. (2005) Effect of whey protein-beeswax edible composite coating on color change of fresh-cut persimmons cv. 'Rojo Brillante'. Acta Hort 682, 1917-1924.

Pérez-Cago, M.B., del Río, M.A., Serra, M. Effect of whey protein-beewax edible composite coating on color change of fresh-cut persimmons cv. ´Rojo Brillante´

Piga, A., Aquino, M., Emonti, G., and Farris, G.A. (2000) Influence of storage temperature on shelf-life of minimally processed cactus pear fruits. Lebensm.-Wiss. U.-Technol. 33, 15-20.

Plotto, A., Goodner, K.L., Baldwin, E.A., Bai, J., and Rattanapanone, N. (2004) Effect of polysaccharides coatings on quality of fresh cut mangoes (Mangifera Indica). Proceedings of Florida State Horticultural Society. 117, 382-388.

Ribeiro, C., Vicente, A.A., Teixeira, J.A., and Miranda, C. (2007) Postharvest biology and technology. 2006.11.015 (in press)

Son, S.M., Moon, K.D., and Lee, C.Y. (2000) Kinetic study of oxalic acid inhibition on enzymatic browning. J. Agric. Food Chem. 48, 2071-2074.

Voon, Y.Y., Sheikh Abdul Hamid, N., Rusul, G., Osman, A., and Quek, S.Y. (2006) Physicochemical, microbial and sensory changes of minimally processed durian (*Durio zibethinus* cv. D24) during storage at 4 and 28 °C. Postharvest biology and technology. 42, 168-175.

You, Y.L., Jiang , Y.M., Song, L.L., Liu, H., Duan, X.W., Xia, Q.H., Li, X.B., and Sun, J. 2006. Browning inhibition and shelf life extension of fresh-cut Chinese water chestnut by short N_2 treatements. Acta Hort 712, 671-676.

กรมวิชาการเกษตร. 2549. ข้อมูลเนื้อที่เพาะปลูกไม้ผล. [online document]. (http://production.doae.go.th). Accessed 5 มีนาคม 2549.

Beaulieu, J.C., and Gorny, J.R. Fresh-cut fruits. [online document] (www.usda.org) Accessed: 20 November 2005.

Nutrition Data. (2006) Nutrition facts and analysis for jackfruit (raw). [online document]. (www.nutritiondata.com/facts-C00001-01c20V8.html). Accessed 20 February 2006.

ภาคผนวก ก

แบบทดสอบการยอมรับของผู้บริโภค

แบบทดสอบการยอมรับของผู้บริโภค

ชื่อ-สกุลผู้ทดสอบ .....

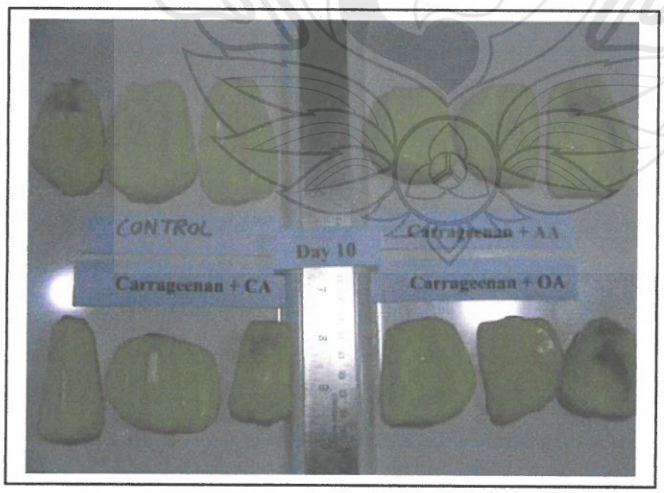
วันที่ทำการทดสอบ.....

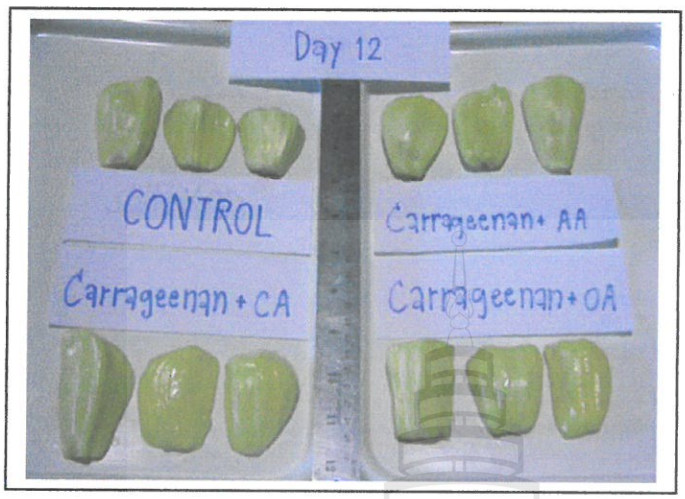
สาร เคลือบผิว	ความหวาน น้อย(0)----มาก(10)	ความแน่นเนื้อ น้อย(0)----มาก(10)	กลิ่นผิดปกติ น้อย(0)----มาก(10)	การยอมรับ น้อย(0)----มาก(10)
ชนิดที่ 1				
ชนิดที่ 2				
ชนิดที่ 3				
ชนิดที่ 4				
ชนิดที่ 5				
ชนิดที่ 6				
ชนิดที่ 7				
ชนิดที่ 8				
ชนิดที่ 9				

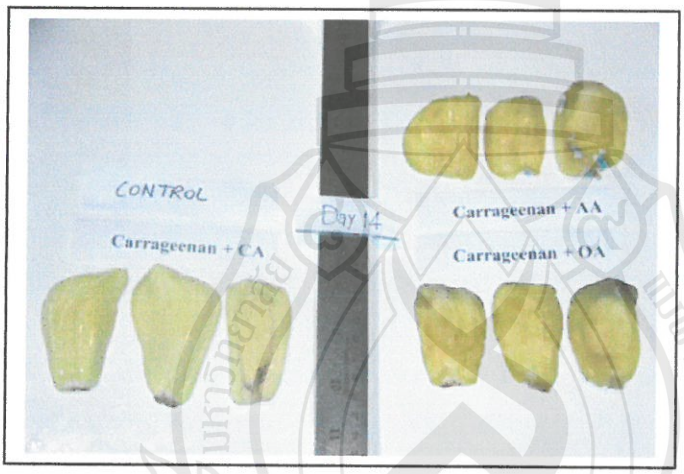
ภาคผนวก ข

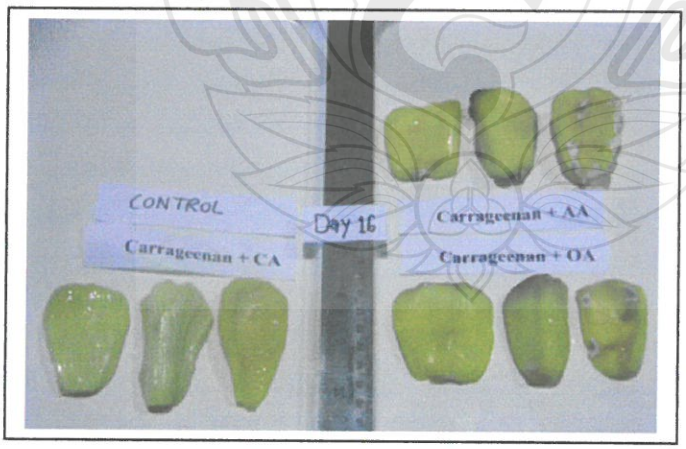
รูปภาพแสดงการเปลี่ยนแปลงของเนื้อขนุนระหว่างการเก็บรักษา

เนื้อขนุนที่เคลือบด้วยสารเคลือบผิว Carrageenan-based

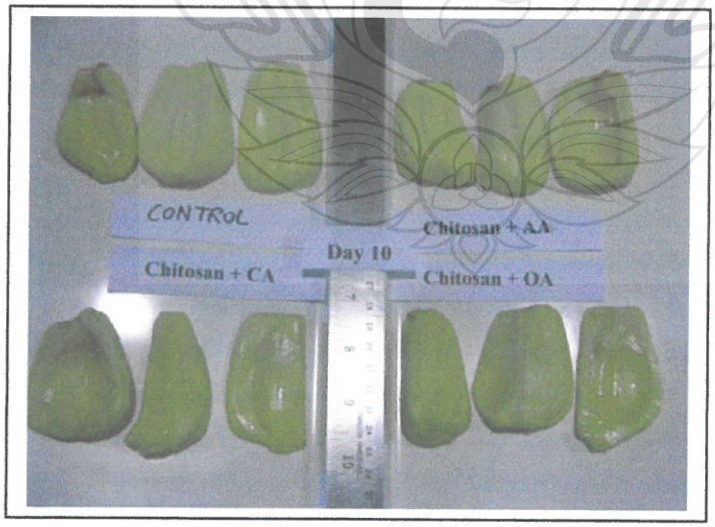


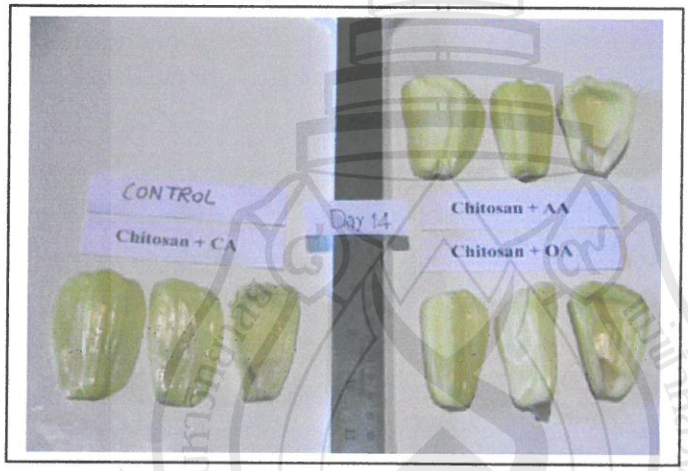

Day 12
CONTROL
Carrageenan + AA
Carrageenan + CA
Carrageenan + OA


CONTROL
Carrageenan + CA
Day 14
Carrageenan + AA
Carrageenan + OA

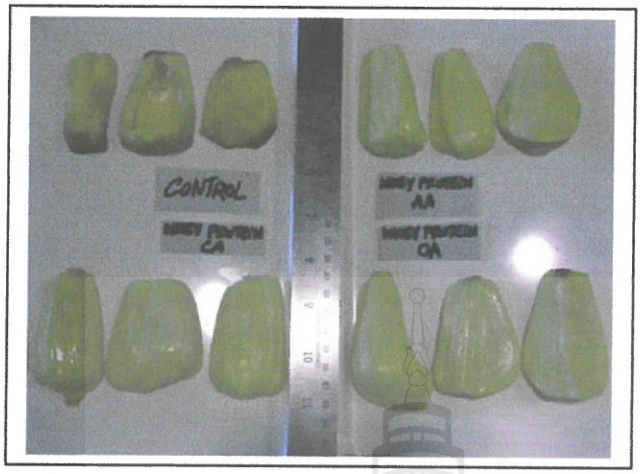

CONTROL
Carrageenan + CA
Day 16
Carrageenan + AA
Carrageenan + OA

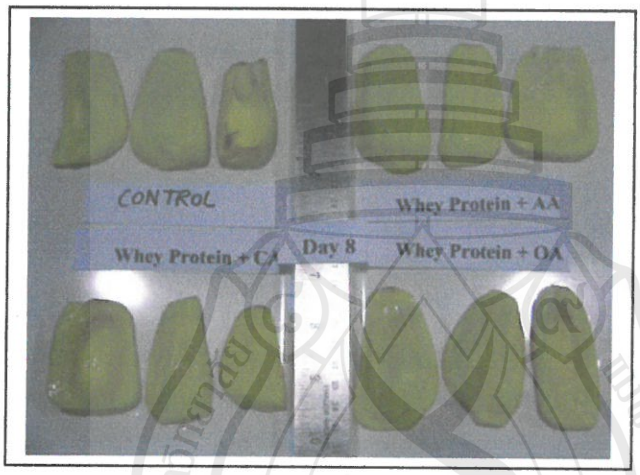
เนื้อขนุนที่เคลือบด้วยสารเคลือบผิว Chitosan-based

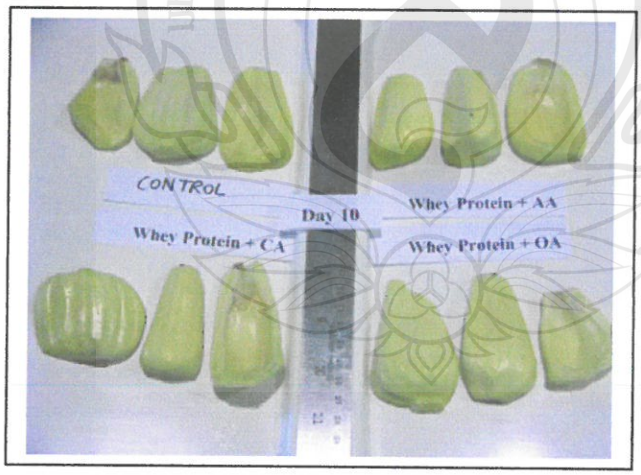


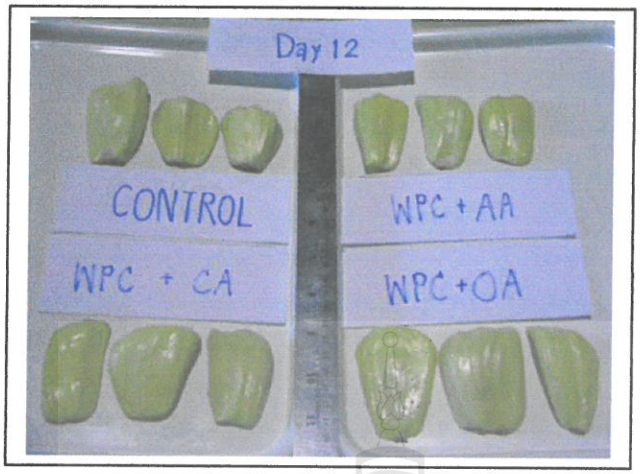


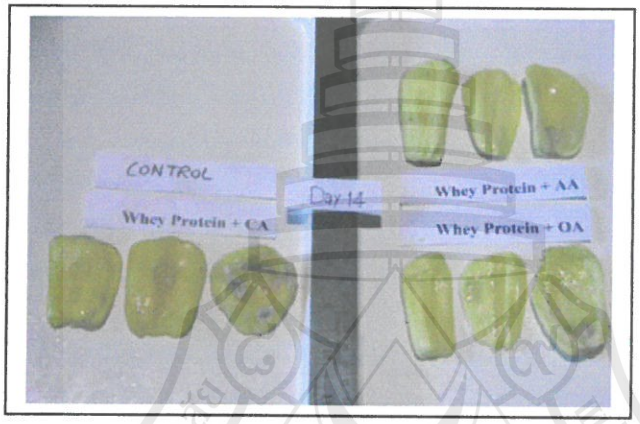
เนื้อขนุนที่เคลือบด้วยสารเคลือบผิว Whey Protein-based

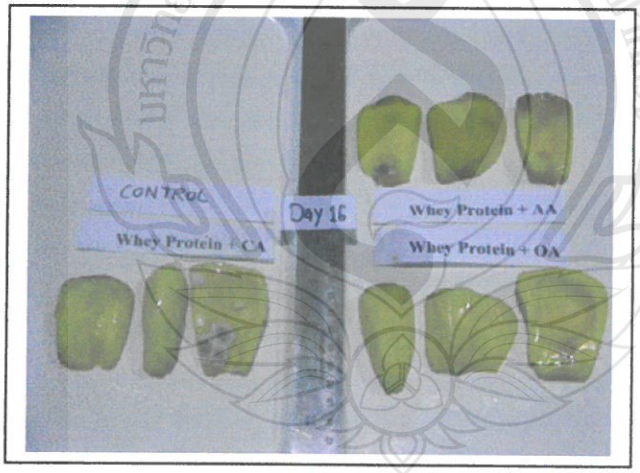

CONTROL
AA
CA
OA


CONTROL
Whey Protein + AA
Whey Protein + CA
Day 8
Whey Protein + OA


CONTROL
Day 10
Whey Protein + AA
Whey Protein + CA
Whey Protein + OA


Day 12
CONTROL
WPC + AA
WPC + CA
WPC+OA


CONTROL
Whey Protein + CA
Day 14
Whey Protein + AA
Whey Protein + OA


CONTROL
Whey Protein + CA
Day 16
Whey Protein + AA
Whey Protein + OA

ประวัติผู้วิจัย

1. **ชื่อ** นางสาวเนตรา สมบูรณ์แก้ว

Miss Nettra Somboonkaew

2. **รหัสประจำตัวนักวิจัยแห่งชาติ** –

3. **ตำแหน่งปัจจุบัน** อาจารย์

4. **หน่วยงานที่สังกัด** สำนักวิชาอุตสาหกรรมเกษตร

มหาวิทยาลัยแม่ฟ้าหลวง

ตำบลท่าสุด อำเภอเมืองเชียงราย

จังหวัดเชียงราย 57100

โทรศัพท์ 0-5391-6738

โทรสาร 0-5391-6739

5. **ประวัติการศึกษา**

ปีที่จบการศึกษา	วุฒิการศึกษา	ชื่อปริญญา	สาขาวิชา	สถาบัน
2541	ปริญญาตรี	วิทยาศาสตรบัณฑิต (วท.บ.)	เทคโนโลยีชนบท	มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์
2544	ปริญญาโท	Master of Science (M.Sc.)	Postharvest Technology	Essex University สหราชอาณาจักร

6. **ประวัติการทำงาน**

กุมภาพันธ์ 2545 – พฤษภาคม 2546 ผู้ประสานงานธุรกิจ
บจก. โกลเด้นเอ็กโซติกส์
เขตดอนเมือง กรุงเทพมหานคร

พฤษภาคม 2546 – ปัจจุบัน อาจารย์ประจำสำนักวิชาอุตสาหกรรมเกษตร
มหาวิทยาลัยแม่ฟ้าหลวง

7. **ประวัติงานวิจัย** -

ประวัติผู้วิจัย

1.ชื่อ นางสาวนิรมล สันติภาพวิวัฒนา

Miss. Niramon Suntipabvivattana

2.รหัสประจำตัวนักวิจัยแห่งชาติ -

3.ตำแหน่งปัจจุบัน อาจารย์

4.หน่วยงานที่สังกัด สำนักวิชาอุตสาหกรรมเกษตร

มหาวิทยาลัยแม่ฟ้าหลวง ตำบลท่าสุด อำเภอเมือง

จังหวัดเชียงราย 57100

โทรศัพท์ 0-5391-6738

5.ประวัติการศึกษา

ปีที่จบการศึกษา ประเทศ	ระดับปริญญา	ชื่อปริญญา	สาขาวิชา	สถาบัน
2539 ไทย	ปริญญาตรี	วท.บ (เกษตรศาสตร์)	พืชไร่	สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
2545 ไทย	ปริญญาโท	วท.ม (เทคโนโลยีหลังการเก็บเกี่ยว)	เทคโนโลยี-หลังการเก็บเกี่ยว	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี

6. ประวัติการทำงาน

สิงหาคม 2539-เมษายน 2542 พนักงานวิเคราะห์น้ำส้มสายชู
บริษัทไพโรจน์ (ทั่งซังฮะ) จำกัด
ต. บางปู อ.เมือง จ.สมุทรปราการ

พฤษภาคม 2546-ปัจจุบัน อาจารย์
สำนักวิชาอุตสาหกรรมเกษตร
มหาวิทยาลัยแม่ฟ้าหลวง

7. ประวัติงานวิจัย

2001	"Effects of High Temperature Drying on Physical Properties of Waxy Rice using Fluidised bed Dryer" University of New South Wales, Sydney, AUSTRALIA
2001	"Studies on Physical and Physicochemical Properties Changes during Storage at Different Temperatures of Waxy Rice" University of New South Wales, Sydney, AUSTRALIA
2002	"Effects of 1-Methylcyclopropene on Vase Life of *Dendrobium* 'Walter Oumae'4N" King Mongkut's University of Technology Thonburi, Bangkok, THAILAND
2002	"Effects of Sodium Benzoate, Cycloheximide and 1-Methylcyclopropene on Vase Life of *Dendrobium* 'Walter Oumae'4N" King Mongkut's University of Technology Thonburi, Bangkok, THAILAND
2004	"Quality of Frozen-Concentrated Pineapple". Mae Fah Luang University, Chiangrai, THAILAND

8. ผลงานตีพิมพ์

1. Suntipabvivattana, N., Niyomlao, W. and Kanlayanarat, S., 2002, Effects of 1-Methylcyclopropene on Vase Life of *Dendrobium* 'Walter Oumae' 4N. The 17th World Orchid Conference and Show. 24th April-2nd May 2002, Shah Alam, Malaysia.
2. Suntipabvivattana, N. and Kanlayanarat, S., 2003, Effects of Sodium Benzoate on Vase Life of *Dendrobium* 'Walter Oumae' 4N. APEC Symposium on Postharvest Handling Systems. September, 1-2, 2003, Bangkok, Thailand.
3. Suntipabvivattana, N. and Kanlayanarat, S., 2003, Effects of Sodium Benzoate, 1-Methylcyclopropene and Silver Nitrate on Vase Life of *Dendrobium* 'Walter Oumae'4N. APEC Symposium on Postharvest Handling Systems. September, 1-2, 2003, Bangkok, Thailand.

4. Suntipabvivattana, N. and Somboonkaew, N., 2005. "Chitosan Coating on Shelf Life of Pineapple cv 'Poo-lae'", Proceeding of APEC Symposium on Assuring Quality and Safety of Fresh Produce, Thailand