รายงานการวิจัย (ปีที่ 1)

ชื่อโครงการ (ภาษาไทย): การพัฒนาฟิล์มบางนาโนเพื่อยืดอายุการเก็บรักษาของมะม่วง

(ภาษาอังกฤษ): Development of nano thin film to prolong the shelf life of mango

คณะผู้วิจัย	สังกัด
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ปราณี โรจน์สิทธิศักดิ์	สถาบันวิจัยโลหะและวัสดุ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.กนกวรรณ เสรีภาพ	คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

มิถุนายน 2557

กิตติกรรมประกาศ

งานวิจัยปีที่ 1 นี้สำเร็จลุลวงได้ด้วยการสนับสนุนทุนวิจัยจากเงินอุดหนุนทั่วไปจากรัฐบาล ประจำปีงบประมาณ 2556 จึงขอขอบพระคุณมา ณ ที่นี้ด้วย

คณะผู้วิจัยขอขอบคุณ สถาบันวิจัยโลหะและวัสดุ และภาควิชาพฤกษศาสตร์ คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ที่ให้การสนับสนุนสถานที่และเครื่องมือสำหรับทำวิจัย และขอขอบคุณเจ้าหน้าที่ทุกท่านที่ให้ความร่วมมือและความสะดวกตลอดการวิจัย

สุดท้ายนี้คณะผู้วิจัยขอขอบคุณ คณะกรรมการพิจารณาทุน คณะกรรมการติดตามและประเมินผลงานวิจัยที่ให้ข้อเสนอแนะต่างๆ ที่ทำให้งานวิจัยนี้มีคุณค่ามากยิ่งขึ้น

คณะผู้วิจัย

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้ (2 ปี) เป็นการศึกษาและพัฒนาสูตรตำรับฟิล์มบางเคลือบผิวระดับนาโนจากวัสดุชีวภาพไคโตซานให้มีความสามารถในการยืดอายุการเก็บรักษามะม่วงพันธุ์น้ำดอกไม้ และศึกษาการเปลี่ยนแปลงลักษณะทางสรีรวิทยาที่สำคัญของมะม่วงพันธุ์น้ำดอกไม้ที่ผ่านการเคลือบผิวก่อนการเก็บรักษาไว้ที่อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส และ 14 องศาเซลเซียส เพื่อหากลไกทางสรีรวิทยาที่มีบทบาทในการช่วยยืดอายุการเก็บรักษามะม่วง โดยในปีที่ 1 เป็นการพัฒนาสูตรตำรับสารเคลือบผิวและตรวจสอบคุณลักษณะสารเคลือบผิวที่พัฒนาขึ้น จากผลการทดลองพบว่า ไคโตซานที่มีน้ำหนักโมเลกุลอยู่ในช่วง 65,000 ถึง 410,000 กรัม/โมล สามารถละลายได้ดี (>98%) ในสารละลายกรดแอซีติกที่ความเข้มข้นอย่างน้อย 0.5% (โดยปริมาตร) และ Tween 80® ช่วยให้ฟิล์มที่เกาะบนผิวของวัสดุที่ไม่ชอบน้ำมีความต่อเนื่อง หากใช้มากเกินไปจะมีปัญหาเกี่ยวกับฟองที่เกิดขึ้น ดังนั้นสูตรตำรับสารเคลือบผิวที่มีส่วนผสมของไคโตซานจำเป็นจะต้องมีส่วนผสมของ Tween 80® เท่ากับ 0.1% (น้ำหนักต่อปริมาตร) ในสารละลายไคโตซานเข้มข้น 1% (น้ำหนักต่อปริมาตร) โดยใช้กรดแอซีติกที่ความเข้มข้น 0.5% (โดยปริมาตร) เป็นตัวทำละลาย และเทคนิคในการเคลือบผิวจะใช้วิธีการจุ่มลงในสูตรตำรับสารเคลือบที่พัฒนาขึ้น

คำสำคัญ: เคลือบผิว; ฟิล์มบางนาโน; อายุการเก็บรักษา; มะม่วง; ไคโตซาน

Abstract

This two year project is to study and develop the formulation of nano thin film solution containing chitosan to prolong the shelf-life of mango 'Namdokmai". The physiology of mango after coating with chitosan solution and stored at 25°C and 14°C was investigated. In the first year project, nano thin film solution containing chitosan was developed and characterized. The results suggested that chitosan with molecular weight of 65,000 - 410,000 g/mol is well dissolved in acetic acid with the concentration of 0.5% (v/v). Tween 80® can enhance the film to stick continuously on the hydrophobic surface of materials. However, overdose of Tween 80® caused foaming in the formulation. In general, nano thin film formulation containing chitosan should be added 0.1% (w/v) Tween 80® in 1% chitosan (w/v). Acetic acid with the concentration of 0.5% (v/v) should be used as a solvent of chitosan and the dipping technique is to be used in this project.

Keywords: Coating; Nano thin film; Shelf life; Mango; Chitosan

สารบัญเรื่อง

		หน้า
	กิตติกรรมประกาศ	ก
	บทคัดย่อ	ข
	สารบัญเรื่อง	ง
	สารบัญตาราง	จ
	สารบัญภาพ	ฉ
1	ความสำคัญและที่มาของปัญหา	1
2	วัตถุประสงค์ของโครงการวิจัย (2 ปี)	2
3	ทฤษฎี สมมุติฐาน และกรอบแนวความคิดของโครงการวิจัย	3
4	การทบทวนวรรณกรรม/สารสนเทศ (information) ที่เกี่ยวข้อง	4
5	ขั้นตอนการดำเนินงานวิจัย	7
	5.1 การพัฒนาสูตรตำรับสารเคลือบผิวที่มีส่วนผสมของไคโตซาน (ปีที่ 1)	7
	5.2 การตรวจสอบคุณภาพของมะม่วงหลังเคลือบผิวด้วยสูตรตำรับไคโตซานที่พัฒนาขึ้น (ปีที่ 2)	9
6	ผลการทดลองและวิจารณ์ผล	10
	6.1 จัดเตรียม/จัดหาวัตถุดิบและวิเคราะห์สมบัติของวัตถุดิบ	10
	6.2 การศึกษาความสามารถในการละลายของไคโตซานในกรดแอซีติกที่ความเข้มข้นต่างๆ	11
	6.3 การศึกษาผลของสารลดแรงตึงผิวต่อสมบัติของฟิล์มไคโตซาน	12
	6.4 การศึกษาผลของโมโนโซเดียมกลูตาเมตในสูตรตำรับสารเคลือบต่อสมบัติของไคโตซานฟิล์ม	16
7	สรุปผลการทดลอง	19
8	เอกสารอ้างอิง	20
9	ผลผลิตที่ได้ในปีที่ 1	23
10	การดำเนินงานในช่วงต่อไป	23
	ภาคผนวก	24
	การพัฒนาและการประยุกต์ฟิล์มบางไคโทซานเพื่อยืดอายุการเก็บรักษาของมะม่วงน้ำดอกไม้	25

สารบัญตาราง

ตารางที่		หน้า
1	สมบัติของไคโตซานแต่ละชนิด	10
2	สมบัติของโมโนโซเดียมกลูตาเมต	11
3	สมบัติของ Tween 80®	11
4	ความสามารถในการละลายไคโตซานทั้ง 3 ชนิดในกรดแอซีติกความเข้มข้นต่างๆ	12
5	ความหนืดของสาระละลายไคโตซานเข้มข้น 1% ที่ละลายในกรดแอซีติกที่ความเข้มข้นต่างๆ	12
6	ผลของสารลดแรงตรึงผิว (Tween 80®) ต่อลักษณะฟิล์มไคโตซานที่มีน้ำหนักโมเลกุลต่างๆ	14
7	ผลของ Tween 80® ต่อความหนืดของสาระละลายไคโตซานเข้มข้น 1% (น้ำหนักต่อปริมาตร) ที่ละลายในกรดแอซีติกที่ความเข้มข้น 0.5%	15
8	ผลของโมโนโซเดียมกลูตาเมตต่อความหนืดของสาระละลายไคโตซานเข้มข้น 1% (น้ำหนักต่อปริมาตร) ที่ละลายในกรดแอซีติกที่ความเข้มข้น 0.5% (โดยปริมาตร) และมีส่วนผสมของ Tween 80® เท่ากับ 0.1% (น้ำหนักต่อปริมาตร)	16
9	ผลของโมโนโซเดียมกลูตาเมตต่อลักษณะฟิล์มไคโตซานที่มีน้ำหนักโมเลกุลต่างๆ	17

สารบัญภาพ

ภาพที่		หน้า
1	ลักษณะฟิล์มบางไคโตซานชนิดต่างๆ ที่มีส่วนผสมของ Tween 80®เท่ากับ 0.1% ที่กำจัดฟองออกจากสูตรตำรับไคโตซานด้วยการตั้งทิ้งไว้ข้ามคืน	15
2	ไคโตซานฟิล์ม: (ก) ไคโตซานฟิล์มที่ไม่มีโมโนโซเดียมกลูตาเมต; (ข) ไคโตซานฟิล์มที่มีส่วนผสมของโมโนโซเดียมกลูตาเมต	17
3	การเก็บรักษามะม่วงที่เคลือบผิวด้วยไคโตซานสูตรตำรับต่างๆ ที่อุณหภูมิ 25°C:	18
	(ก) มะม่วงที่เคลือบผิวด้วยไคโตซาน ณ วันที่ 0	
	(ข) มะม่วงที่เคลือบผิวด้วยไคโตซาน ณ วันที่ 10	
	(ค) มะม่วงที่เคลือบผิวด้วยไคโตซานที่มีส่วนผสมของโมโนโซเดียมกลูตาเมต ณ วันที่ 0	
	(ง) มะม่วงที่เคลือบผิวด้วยไคโตซานที่มีส่วนผสมของโมโนโซเดียมกลูตาเมต ณ วันที่ 10	

1. ความสำคัญและที่มาของปัญหา

ในช่วง 10 ปีที่ผ่านมา พบว่าความต้องการบริโภคผลไม้ไทยในตลาดต่างประเทศมีแนวโน้มเพิ่มสูงขึ้นอย่างต่อเนื่อง ดังจะเห็นได้จากปริมาณการส่งออกผลไม้ของไทยในปี พ.ศ. 2553 มีปริมาณเพิ่มสูงขึ้นจากปี พ.ศ.2543 ประมาณ 13,600,000 ตัน ด้วยเหตุนี้ รัฐบาลจึงมีนโยบายส่งเสริมให้เกษตรกรเร่งทำการเพาะปลูกผลไม้ที่มีศักยภาพในการส่งออกสูง เพื่อตอบสนองความต้องการของตลาดต่างประเทศโดยเฉพาะมะม่วง

มะม่วง เป็นผลไม้เขตร้อนที่มีพื้นที่การเพาะปลูกมากถึง 1 ใน 4 ของประเทศไทย อีกทั้งยังเป็นผลไม้ที่มีศักยภาพในการส่งออกสูง โดยเฉพาะอย่างยิ่ง "มะม่วงสายพันธุ์น้ำดอกไม้" ซึ่งเป็นที่นิยมนำมาบริโภคเมื่อสุกแล้วในตลาดต่างประเทศทั้งเอเชียและยุโรป ได้แก่ มาเลเซีย สิงคโปร์ ญี่ปุ่น ฮ่องกง ไต้หวัน อังกฤษ และแคนาดา เป็นต้น จากข้อมูลสถิติของสำนักงานเศรษฐกิจการเกษตร กระทรวงเกษตรและสหกรณ์พบว่าในปี พ.ศ. 2543 - 2553 ประเทศไทยมีการส่งออกมะม่วงไปยังตลาดต่างประเทศเป็นปริมาณ 8,754,625 - 22,369,083 ตัน หรือคิดเป็นมูลค่าการส่งออกประมาณ 164,880,175 - 505,200,842 บาท

อย่างไรก็ตามอัตราการขยายตัวในการส่งออกมะม่วงพันธุ์น้ำดอกไม้ไปยังตลาดต่างประเทศยังอยู่ในระดับที่ไม่สูงมากนัก ทั้งนี้เนื่องจากสมบัติบางประการของมะม่วง ซึ่งถือเป็นผลไม้ในเขตร้อน (Climacteric fruit) โดยลักษณะที่สำคัญของผลไม้ประเภทนี้คือ จะมีการเปลี่ยนแปลงทางสรีรวิทยาและทางชีวเคมีภายหลังจากการเก็บเกี่ยวสูง เช่น มีอัตราการหายใจและการผลิตก๊าซเอทิลีนเพิ่มสูงขึ้น อีกทั้งมะม่วงพันธุ์น้ำดอกไม้มีเปลือกที่บางกว่ามะม่วงสายพันธุ์อื่นเมื่อเปรียบเทียบกัน ดังนั้นจึงเกิดการช้ำได้ง่ายในขณะทำการเก็บเกี่ยวหรือในขณะขนส่ง การเก็บรักษาที่อุณหภูมิต่ำยังเป็นสาเหตุที่ทำให้มะม่วงเกิดความเสียหายขึ้นจากภาวะที่เรียกว่า การสะท้านหนาว (chilling injury) อีกด้วย นอกจากนี้ อาการจุดสีน้ำตาล (browning) และการเกิดโรคของมะม่วงจากเชื้อราหรือจุลชีพสายพันธุ์อื่นๆ เหล่านี้ ล้วนทำให้คุณภาพของมะม่วงเสื่อมถอยลงและเป็นสาเหตุหนึ่งที่จำกัดการขยายตัวของอัตราการส่งออกมะม่วงของประเทศไทยในปัจจุบัน ด้วยเหตุนี้การนำเทคโนโลยีเข้ามาปรับปรุงขั้นตอนหรือกระบวนการหลังการเก็บเกี่ยวและการเก็บรักษามะม่วงให้มีประสิทธิภาพที่ดีขึ้นในด้านของการชะลอการสุก การต้านทานต่อเชื้อโรค ลดความเสียหายที่เกิดขึ้นจากภาวะสะท้านหนาวในขณะขนส่ง จึงมีความสำคัญเป็นอย่างมากต่อเกษตรกรและผู้ประกอบการในแง่ของการลดปริมาณการสูญเสียของมะม่วงและช่วยยืดระยะเวลาในการจัดและวางจำหน่ายให้มีระยะเวลานานยิ่งขึ้น อันเป็นหนทางในการช่วยเพิ่มอัตราการส่งออกของมะม่วงไทยให้เพิ่มสูงขึ้นด้วยอีกทางหนึ่ง

วิธีการเก็บรักษามะม่วงภายหลังการเก็บเกี่ยวในปัจจุบัน คือ การเก็บรักษาไว้ที่อุณหภูมิต่ำและการเก็บรักษาไว้ที่อุณหภูมิต่ำร่วมกับการดัดแปลงบรรยากาศ (Modified Atmosphere, MA) โดยวิธีการเก็บรักษาไว้ที่อุณหภูมิต่ำจะไม่สามารถเก็บรักษามะม่วงไว้ได้นานเท่ากับวิธีการเก็บรักษาไว้ที่อุณหภูมิต่ำร่วมกับการดัดแปลงบรรยากาศ โดยการดัดแปลงบรรยากาศนี้จะเป็นวิธีการลดปริมาณการหายใจของมะม่วงลงให้มากที่สุดเพื่อช่วยในการชะลอการสุก โดยการลดปริมาณก๊าซออกซิเจนให้ต่ำลงและเพิ่ม

ปริมาณของก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ให้สูงขึ้นในระดับที่ไม่ก่อให้เกิดอันตรายและความเสียหายแก่มะม่วงที่ทำการเก็บรักษา ซึ่งการเก็บรักษาด้วยวิธีการนี้ยังช่วยชะลอการเสื่อมสภาพของมะม่วงอันเนื่องมากจากก๊าซเอทิลีนที่ถูกผลิตขึ้นมาในขณะการสุกอีกด้วย อีกวิธีการหนึ่งในการเก็บรักษามะม่วงภายหลังการเก็บเกี่ยว คือ การใช้สารเคลือบผิวผลไม้ด้วยแว็กซ์ (wax) ซึ่งมีอยู่ด้วยกันหลายชนิด สารเคลือบผิวดังกล่าวนี้จะช่วยลดการระเหยของน้ำและลดการผ่านเข้าออกของก๊าซ ทั้งยังช่วยลดความเสียหายจากการสะท้านหนาว ลดการเกิดจุดสีน้ำตาลและการแพร่กระจายตัวของจุลชีพที่ทำให้เน่าเสีย อีกทั้งสารเคลือบผิวบางชนิดจะให้ความเงางาม แลดูน่ารับประทาน เป็นที่ดึงดูดใจต่อผู้บริโภค

อย่างไรก็ตามสารเคลือบผิวผลไม้ที่นิยมนำมาใช้ในปัจจุบัน มักเป็นสารเคมีที่สังเคราะห์ขึ้น มีราคาแพงและส่วนใหญ่นำเข้าจากต่างประเทศ นอกจากนี้ประสิทธิภาพในการยืดอายุการเก็บรักษามะม่วงยังไม่เป็นที่น่าพึงพอใจ นอกจากนี้สารเคมีที่เป็นส่วนประกอบของสารเคลือบผิวอาจเป็นอันตรายต่อผู้บริโภค ดังนั้นหากสามารถผลิตสารเคลือบผิวมะม่วงในรูปของฟิล์มบางระดับนาโนจากวัสดุชีวภาพก็จะเป็นการช่วยลดการนำเข้าสารเคลือบผิวจากต่างประเทศ ซึ่งจะเป็นการช่วยลดต้นทุนในการส่งออกมะม่วง ทำให้เกษตรกรและผู้ประกอบการมีรายได้เพิ่มมากขึ้น อีกทั้งยังเป็นการลดความเสี่ยงจากสารเคลือบผิวเคมีซึ่งอาจเป็นพิษต่อผู้บริโภคได้อีกด้วย

ดังนั้นโครงการนี้ (2 ปี) จึงมุ่งเน้นการพัฒนาสูตรตำรับฟิล์มบางเคลือบผิวระดับนาโนจากวัสดุชีวภาพให้มีความสามารถในการยืดอายุการเก็บรักษามะม่วงพันธุ์น้ำดอกไม้ พร้อมทั้งหาสภาวะและวิธีการที่เหมาะสมสำหรับการเคลือบผิวของมะม่วงพันธุ์น้ำดอกไม้ และศึกษาการเปลี่ยนแปลงลักษณะทางสรีรวิทยาที่สำคัญของมะม่วงพันธุ์น้ำดอกไม้ที่ผ่านการเคลือบผิวก่อนการเก็บรักษาไว้ที่อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส และ 14 องศาเซลเซียส เพื่อหากลไกทางสรีรวิทยาที่มีบทบาทในการช่วยยืดอายุการเก็บรักษามะม่วง โดยวิเคราะห์ความสัมพันธ์ระหว่างคุณลักษณะของฟิล์มบาง อายุการเก็บรักษาและการเปลี่ยนแปลงทางสรีรวิทยาบางประการของผลมะม่วง ตลอดจนศึกษาบทบาทของฟิล์มบางในการลดความเสียหายจากอุณหภูมิต่ำระหว่างการเก็บรักษาด้วยการเคลือบผิว ซึ่งข้อมูลที่ได้จากการวิจัยครั้งนี้จะเป็นประโยชน์ต่อทั้งเกษตรกรและผู้ประกอบการส่งออกมะม่วงของประเทศไทยที่จะได้เพิ่มขีดความสามารถและศักยภาพในการส่งออกให้เพิ่มมากยิ่งขึ้น อันเป็นการส่งเสริมและสนับสนุนให้ผลไม้ของไทยได้ส่งออกไปยังตลาดการค้าที่กว้างไกลขึ้นและมีคุณภาพเป็นที่ยอมรับตามนโยบายส่งเสริมของรัฐบาล

2. วัตถุประสงค์ของโครงการวิจัย (2ปี)

2.1 เพื่อพัฒนาสูตรตำรับฟิล์มบางนาโนจากวัสดุชีวภาพที่มีสมบัติเหมาะสมในการเคลือบผิวมะม่วงพันธุ์น้ำดอกไม้ (ปีที่ 1)

2.2 เพื่อยืดอายุการเก็บรักษามะม่วงพันธุ์น้ำดอกไม้ พร้อมทั้งศึกษากลไกทางสรีรวิทยาที่เกิดขึ้นจากการเคลือบผิวด้วยฟิล์มบาง (ปีที่ 2)

3. ทฤษฎี สมมุติฐาน และกรอบแนวความคิดของโครงการวิจัย

มะม่วงสายพันธุ์น้ำดอกไม้ (*Mangifera indica* L. cv. Nam Dokmai) เป็นหนึ่งในกลุ่มของผลไม้เศรษฐกิจที่มีปริมาณความต้องการบริโภคและมีแนวโน้มของอัตราการส่งออกไปยังตลาดการค้าต่างประเทศเพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่องทุกปี (สำนักงานเศรษฐกิจการเกษตร, 2553) อย่างไรก็ตามมะม่วงก็ไม่แตกต่างจากผลไม้เขตร้อนหรือเขตกึ่งอบอุ่นชนิดอื่นๆ กล่าวคือ มีการสุกเกิดขึ้นอย่างรวดเร็วภายหลังจากการเก็บเกี่ยว และมีความไวที่จะเกิดความเสียหายจากการสะท้านหนาว (chilling injury) เมื่อเก็บรักษาไว้ที่อุณหภูมิต่ำ (Lederman et al., 1997) ซึ่งเป็นปัจจัยที่มีผลกระทบต่อการส่งออกมะม่วงไปยังตลาดต่างประเทศ ดังนั้นวิธีการจัดการภายหลังจากการเก็บเกี่ยวและการเตรียมผลผลิตก่อนทำการขนส่งที่เหมาะสมและมีประสิทธิภาพจะสามารถลดโอกาสและความเสียหายที่จะเกิดขึ้นต่อผลผลิตได้ ทำให้เกษตรกรและผู้ประกอบการส่งออกมะม่วงน้ำดอกไม้สามารถเพิ่มปริมาณการส่งออกให้มากเพียงพอที่จะตอบสนองต่อความต้องการบริโภคของตลาดในต่างประเทศได้

หนึ่งในปัจจัยที่มีความสำคัญและเป็นปัญหาอย่างมากในการส่งออกผลไม้ โดยเฉพาะอย่างยิ่งผลไม้เขตร้อนหรือเขตอบอุ่นซึ่งหมายรวมถึงมะม่วงพันธุ์น้ำดอกไม้ด้วย คือ อายุหรือระยะเวลาในการเก็บรักษานั้นมีระยะสั้น (Short shelf life) ทั้งนี้เนื่องจากภายหลังการเก็บเกี่ยวมะม่วงก็ยังคงมีการหายใจอย่างต่อเนื่อง ดังนั้นการยืดอายุการเก็บรักษาทำได้ด้วยการลดอัตราการแลกเปลี่ยนก๊าซที่อยู่รอบผลมะม่วง และการควบคุมปัจจัยบางประการ อาทิ องค์ประกอบของก๊าซ (ออกซิเจน, คาร์บอนไดออกไซด์ และเอทิลีน) ที่อยู่รอบผลมะม่วง ความสามารถในการซึมผ่านของน้ำ อุณหภูมิ ความชื้นสัมพัทธ์ และแสง เป็นต้น โดยวิธีที่ใช้ในการควบคุมปัจจัยเหล่านี้ คือ การการเก็บรักษาไว้ที่อุณหภูมิต่ำหรือใช้ร่วมกันกับวิธีการควบคุมหรือดัดแปลงบรรยากาศ (Lima et al., 2010) ซึ่งเป็นวิธีการทั่วไปและเป็นที่นิยมนำมาใช้เป็นอย่างมากในการยืดอายุการเก็บรักษาของมะม่วงในภาคอุตสาหกรรม อย่างไรก็ตามมะม่วงเป็นผลไม้ที่ไวต่อการเก็บรักษาที่อุณหภูมิต่ำ และทำให้เกิดความเสียหายจากการสะท้านหนาว โดยเครื่องแสดงหรืออาการที่บ่งชี้ถึงความเสียหายจากภาวะดังกล่าว คือ สีของเปลือกจะเปลี่ยนเป็นสีดำ มีจุดหรือรอยไหม้สีน้ำตาลเหมือนสีตก (scald-like discoloration) และมีรอยบุ๋มหรือผลอ่อนนิ่มลง (Lederman et al., 1997) ดังนั้นการเก็บรักษามะม่วงด้วยด้วยวิธีการเก็บรักษาที่อุณหภูมิต่ำจึงยังมีข้อจำกัดที่ยังคงต้องพึงระวังอยู่ด้วยเช่นกัน

อีกทางเลือกหนึ่งในการเก็บรักษาเพื่อยืดอายุของมะม่วง คือ การเคลือบผิวด้วยสารเคลือบผิวที่ทำหน้าที่เสมือนผนังหรือเยื่อเลือกผ่าน (Semi-permeable barrier) ซึ่งสามารถช่วยในการเก็บรักษาคุณภาพของมะม่วงภายหลังการเก็บเกี่ยวได้ และหากสารเคลือบผิวนั้นสังเคราะห์ขึ้นจากวัสดุธรรมชาติด้วยแล้ว ก็จะเป็นอีกทางเลือกหนึ่งที่มีส่วนช่วยในการลดการทำลายสิ่งแวดล้อมด้วย การเก็บรักษาผลมะม่วงด้วยการเคลือบด้วยสารเคลือบผิวร่วมกับสภาวะดัดแปลงบรรยากาศนั้นจะมีกลไกดักจับก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ที่มีอยู่ภายในผลมะม่วงไว้ด้วยขนาดของรูพรุนที่มีความเหมาะสมและทำหน้าที่ลดอัตราการแลกเปลี่ยนและถ่ายเทก๊าซชนิดอื่น เช่น ออกซิเจน หรือ เอทิลีนลงด้วย (Lima et al., 2010)

ดังนั้นจึงเป็นการลดการสูญเสียน้ำหนักของผลมะม่วงในขณะการขนส่งและการเก็บรักษา นอกจากนี้จากพฤติกรรมการเป็นสิ่งกีดขวางการผ่านเข้าออกก๊าซของสารเคลือบผิวนี้สามารถนำมาประยุกต์ใช้ในการควบคุมอัตราการหายใจและควบคุมการเจริญของจุลชีพที่ทำให้เกิดความเสียหายในผลมะม่วงขึ้นได้ (Hoa and Ducamp, 2008) อีกทั้งการเคลือบผิวผลไม้ด้วยสารเคลือบบางชนิดจะทำให้ผิวของผลไม้มีความมันวาว น่ารับประทาน เป็นที่ดึงดูดใจของผู้บริโภคอีกด้วย

อย่างไรก็ตามสารเคลือบผิวผลไม้ที่นิยมนำมาใช้ในปัจจุบันมักเป็นสารเคมีที่สังเคราะห์ขึ้นและมีราคาแพง ทั้งยังต้องนำเข้าจากต่างประเทศเป็นส่วนใหญ่ นอกจากนี้ประสิทธิภาพในการยืดอายุการเก็บรักษามะม่วงยังไม่เป็นที่น่าพึงพอใจ นอกจากนี้สารเคมีที่เป็นส่วนประกอบของสารเคลือบผิวอาจเป็นอันตรายต่อผู้บริโภค ในปัจจุบันการศึกษาที่เกี่ยวข้องกับการพัฒนาบรรจุภัณฑ์หรือสารเคลือบผิวสำหรับการเก็บรักษามะม่วงมีอยู่เป็นจำนวนมาก แต่การพัฒนาสารเคลือบผิวที่ก่อให้เกิดฟิล์มบางระดับนาโนยังมีอยู่เป็นจำนวนไม่มากนัก ดังนั้นโครงการวิจัยนี้จึงเน้นการศึกษาและพัฒนาสารเคลือบผิวจากวัสดุธรรมชาติที่เป็นมิตรต่อมนุษย์และสิ่งแวดล้อม โดยทำการพัฒนาสูตรตำรับสารเคลือบผิวที่สามารถชะลอการสุกของมะม่วงพันธุ์น้ำดอกไม้ ตลอดจนศึกษากลไกทางสรีรวิทยาหลังการเคลือบผิวที่มีบทบาทในการช่วยยืดอายุการเก็บรักษาผลมะม่วงและหากโครงการนี้สำเร็จตามวัตถุประสงค์ที่ตั้งไว้จะเป็นประโยชน์อย่างมากต่อทั้งเกษตรกรและผู้ประกอบการส่งออกมะม่วงของไทย

4. การทบทวนวรรณกรรม/สารสนเทศ (information) ที่เกี่ยวข้อง

มะม่วง (*Mangifera indica* L.) เป็นผลไม้ที่นิยมบริโภคทั้งในภูมิภาคเอเชียและยุโรป รวมทั้งสหรัฐอเมริกา (Baldwin et al., 1999) ซึ่งมะม่วงของไทยที่มีศักยภาพในการส่งออกมีอยู่หลายสายพันธุ์ แต่สายพันธุ์ที่เป็นที่นิยมบริโภคเมื่อสุก คือ สายพันธุ์น้ำดอกไม้ (*Magnifera indica* L. cv. Nam Dokmai) (อรรถพล, 2552) ทำให้ปริมาณความต้องการมะม่วงไทยในตลาดการค้าต่างประเทศมีอัตราแนวโน้มที่เพิ่มสูงขึ้นอย่างต่อเนื่องทุกปี ดังจะเห็นได้จากข้อมูลรายงานสถิติการส่งออกมะม่วงของไทยไปยังต่างประเทศในปี พ.ศ. 2543-2553 โดยพบว่า มีการส่งออกมะม่วงไทยไปยังตลาดต่างประเทศเป็นปริมาณ 8,754,625 - 22,369,083 ตันหรือคิดเป็นมูลค่าการส่งออกสูงถึง 164,880,175 - 505,200,842 บาท (สำนักงานเศรษฐกิจการเกษตร, 2553) ดังนั้นรัฐบาลจึงได้ดำเนินนโยบายส่งเสริมให้เกษตรกรชาวสวนมะม่วงเร่งผลิตมะม่วงที่มีคุณภาพให้เพียงพอต่อความต้องการของตลาดต่างประเทศ

อย่างไรก็ตามอัตราการส่งออกของมะม่วงไทยไปยังตลาดการค้าในประเทศยังไม่เพิ่มสูงขึ้นเท่าที่ควร ทั้งนี้เนื่องจากมะม่วงเป็นผลไม้ที่มีการหายใจแบบ climacteric และจะเกิดการสุกงอมอย่างรวดเร็วภายหลังจากการเก็บเกี่ยวไม่นานนัก (ประมาณ 3-9 วัน) (Hoa and Ducamp, 2008) อีกทั้งมะม่วงยังมีสภาพไวต่อการติดโรคจากเชื้อราและจุลชีพอื่นๆ และอาจเกิดความเสียหายจากการเก็บรักษาไว้ที่อุณหภูมิต่ำ (ต่ำกว่า 13 องศาเซลเซียส) หรือที่เรียกว่า ภาวะสะท้านหนาว (chilling injury) นอกจากนี้มะม่วงยังสามารถเกิดความเสียหายหรือเน่าเสียเนื่องจากการสุกงอมก่อนเวลาวางจำหน่าย (ripening) และ

จากการสูญเสียปริมาณน้ำที่อยู่ภายในผลทำให้มะม่วงเกิดการอ่อนตัวของผล (softening) เกิดขึ้นด้วย ฉะนั้นการเก็บรักษา การปฏิบัติภายหลังการเก็บเกี่ยวและวิธีการขนส่งที่มีประสิทธิภาพจึงมีความสำคัญเป็นอย่างมาก (Baldwin et al., 1999) ต่อการส่งออกมะม่วงเพื่อการจำหน่าย ด้วยเหตุนี้การชะลอระยะเวลาการสุก การลดการเสียหายที่เกิดขึ้นจากอุณหภูมิต่ำหรือภาวะสะท้านหนาว การป้องกันการติดโรคและปัจจัยอื่นๆ ที่ทำให้เกิดการเสียหายของมะม่วงพันธุ์น้ำดอกไม้ จึงเป็นปัจจัยที่มีความสำคัญยิ่งต่อการพัฒนาคุณภาพของมะม่วงน้ำดอกไม้เพื่อการส่งออก

วิธีการเก็บรักษาและยืดอายุของมะม่วงมีอยู่ด้วยกันหลายวิธี เช่น การเก็บรักษาไว้ที่อุณภูมิต่ำหรือการเก็บรักษาไว้ที่อุณหภูมิต่ำร่วมกับสภาพดัดแปลงบรรยากาศ (Modified atmospheric, MA) (Baldwin et al., 1999) โดยเป็นการลดอัตราการถ่ายเทและ/หรือการผ่านเข้าออกของก๊าซบางชนิด และควบคุมปัจจัยบางประการ เช่น องค์ประกอบของก๊าซบางชนิดที่เกิดขึ้นหรืออยู่โดยรอบ เช่น ออกซิเจน คาร์บอนไดออกไซด์ และเอทิลีน เป็นต้น (Lima et al., 2010) อีกวิธีการหนึ่งในการเก็บรักษาและยืดอายุผลมะม่วง คือ การเคลือบผิวด้วยสารเคลือบผิว (coating) ซึ่งมีอยู่ด้วยกันหลายประเภท ทั้งที่สังเคราะห์ขึ้นมาจากสารเคมีในรูปของ wax เช่น Carnauba wax (Shellhammer and Krochta, 1997) และแบบที่สังเคราะห์ขึ้นมาจากวัสดุธรรมชาติ เช่น ไคโตซาน (Chien et al., 2005; Rhim et al., 2006) และ Polysaccharide-based (Souza et al., 2010) โดยสารเคลือบผิวเหล่านี้จะทำหน้าที่ลดการแลกเปลี่ยนของก๊าซที่ผ่านเข้าออกผลมะม่วง ดังนั้นจึงเป็นการลดการสูญเสียน้ำหนักในขณะการขนส่งและการเก็บรักษา นอกจากนี้จากพฤติกรรมการเป็นสิ่งกีดขวางการผ่านเข้าออกก๊าซของสารเคลือบผิวนี้นับเป็นข้อดีอย่างมากสำหรับการพัฒนาสารเคลือบผิวที่มีลักษณะเป็นเยื่อเลือกผ่านสำหรับก๊าซบางชนิด (gas selective permeability) ซึ่งสามารถนำมาประยุกต์ใช้ในการควบคุมอัตราการหายใจและควบคุมการเจริญของจุลชีพที่ทำให้เกิดความเสียหายในผลมะม่วงขึ้นได้ (Hoa and Ducamp, 2008)

มีรายงานการใช้สารเคลือบผิวเพื่อยืดอายุการเก็บรักษามะม่วงและลดปัจจัยที่ก่อให้เกิดการเสียหายของผลมะม่วงอยู่เป็นจำนวนมาก เช่น Hoa and Ducamp (2008) ทำการเปรียบเทียบประสิทธิภาพในการชะลอการสุกของสารเคลือบผิวหลายชนิดที่เคลือบบนผิวมะม่วงที่มีการเก็บรักษาที่อุณหภูมิห้อง (21-31 องศาเซลเซียส) ความชื้นสัมพัทธ์ (relative humidity) อยู่ที่ร้อยละ 65-75 พบว่า มะม่วงสุกที่เคลือบด้วย carnauba-based สามารถช่วยลดการสูญเสียน้ำหนักของผลมะม่วงได้ ส่วนมะม่วงที่เคลือบด้วย polysaccharide-based พบว่าในขณะเก็บรักษามีการเปลี่ยนแปลงในปัจจัยที่บ่งชี้การสุก (สีเปลือก, pH, TA, Total sugar) เพียงเล็กน้อย และไม่มีผลต่อปริมาณวิตามินซีที่มีอยู่ในผลมะม่วง อีกทั้งยังสามารถเพิ่มระยะเวลาในการเก็บรักษามะม่วงที่อุณหภูมิห้องได้นานขึ้นประมาณ 3 วัน

Souza et al. (2010) ศึกษาการยืดอายุของมะม่วงพันธุ์ Tommy Atkins ที่เคลือบด้วยสารเคลือบ polysaccharide-based ที่ได้จากต้น Policaju (Anacadium occidentale L. tree gum) ภายใต้อุณหภูมิต่ำในการเก็บรักษา (4 องศาเซลเซียส, ความชื้นสัมพัทธ์ร้อยละ 82) เป็นเวลา 28 วัน พบว่ามีการสูญเสียมวลของมะม่วงเพียงเล็กน้อยและไม่มีการเปลี่ยนแปลงอย่างมีนัยสำคัญของน้ำหนักสุทธิ, pH ตลอดระยะเวลา

ที่ทำการศึกษา ดังนั้นการเคลือบผิวมะม่วงด้วยสารเคลือบผิวชนิดนี้สามารถยืดอายุของมะม่วงได้นานถึง 28 วันที่อุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียสในการเก็บรักษา

Medeiros et al. (2012) ได้ทดลองเคลือบผิวมะม่วงพันธุ์ 'Tommy Atkins' ด้วยฟิล์มบางนาโนของเพคตินสลับกับชั้นฟิล์มบางนาโนของไคโตซาน (ความเข้มข้น 0.2%) จำนวน 5 ชั้น พบว่าสามารถเก็บรักษามะม่วงพันธุ์ดังกล่าวที่อุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียส ได้เป็นเวลา 45 วันโดยไม่มีอาการสะท้านหนาวเกิดขึ้นที่ผลมะม่วง นอกจากนี้ Abbasi et al. (2009) ได้ทดลองเคลือบผิวของผลมะม่วงพันธ์ 'Summer Bahisht Chuansa' โดยการจุ่มผลมะม่วงในสารละลายที่มีส่วนผสมของไคโตซานที่มีน้ำหนักโมเลกุล 51,400 ดาลตัน ความเข้มข้น 1.5% โดยเก็บรักษาผลมะม่วงที่อุณหภูมิ 1 องศาเซลเซียส พบว่าสามารถเก็บรักษาผลมะม่วงได้เป็นเวลา 6 สัปดาห์

ในการศึกษาของ Wang et al. (2007) ได้ทดลองเคลือบผิวมะม่วงพันธุ์ 'Tainong' ในสารละลายที่มีส่วนผสมของไคโตซาน 2% และ tea polyphenol 1% โดยใช้ tween-80® 0.5% เป็นสารลดแรงตึงผิว และทำการเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 15 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 35 วัน พบว่าสามารถยืดอายุการเก็บรักษาผลมะม่วงพันธุ์ดังกล่าวได้ดีกว่าการเคลือบผิวมะม่วงในสาระลายที่มีส่วนผสมของไคโตซานเพียงอย่างเดียว และ Zhu et al. (2008) ได้ทำการทดลองในมะม่วงพันธ์เดียวกันโดยใช้ไคโตซานน้ำหนักโมเลกุล 80,000 ดาลตัน ในการเตรียมสารละลายเพื่อใช้เคลือบผิวมะม่วงพันธุ์ 'Tainong' ที่ความเข้มข้น 0.5%, 1.0% และ 2.0% ตามลำดับ แล้วทำการเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 15 องศาเซลเซียสเป็นเวลา 24 วัน พบว่าสารละลายไคโตซานความเข้มข้น 2.0% สามารถลดอัตราการหายใจ รักษาความแน่นเนื้อ และชะลอการการเปลี่ยนสีของผลมะม่วงพันธ์ 'Tainong' ได้ดีที่สุด

Aguiar et al. (2011) ศึกษาผลของการเคลือบผิวมะม่วงพันธุ์ Tommy Atkins ด้วย galactomannan ภายหลังจากการเก็บเกี่ยว พบว่า การเคลือบผิวด้วย galactomannan สามารถลดการสูญเสียมวลของเนื้อมะม่วงและช่วยชะลอการนิ่มหรืออ่อนตัวลงของผลมะม่วงได้เป็นอย่างดีและสามารถยืดอายุการเก็บรักษาที่อุณหภูมิห้อง (25 องศาเซลเซียส) ได้ยาวนานกว่ามะม่วงที่ไม่ผ่านการเคลือบผิว นอกจากนี้ยังพบว่าการใช้อุณหภูมิต่ำในการเก็บรักษา (14 องศาเซลเซียส) จะเป็นการช่วยเพิ่มประสิทธิภาพของสารเคลือบผิวในการชะลอการเกิดเมทาบอลิซึ่มและการอ่อนตัวลงของมะม่วงได้นานถึง 12 วัน

อย่างไรก็ตามมีงานวิจัยน้อยมากที่ศึกษาถึงกลไกและการพัฒนาสูตรตำรับสารเคลือบผิวจากไคโตซานที่มีน้ำหนักโมเลกุลต่างๆ ที่ก่อให้เกิดฟิล์มบางที่สามารถชะลอการสุกของผลมะม่วง ดังนั้นข้อมูลที่ได้จากการวิจัยในครั้งนี้จึงเป็นประโยชน์ต่อทั้งนักวิจัย เกษตรกร และผู้ประกอบการส่งออกมะม่วงไทยเป็นอย่างมาก

5. ขั้นตอนการดำเนินงานวิจัย

งานวิจัยนี้จะแบ่งออกเป็น 2 ส่วน คือ ส่วนที่ 1 การพัฒนาสูตรตำรับสารเคลือบผิวที่ส่วนผสมของไคโตซาน (ปีที่ 1) และ ส่วนที่ 2 การตรวจสอบคุณภาพของมะม่วงหลังเคลือบผิวด้วยสูตรตำรับไคโตซานที่พัฒนาขึ้น (ปีที่ 2)

5.1 <u>การพัฒนาสูตรตำรับสารเคลือบผิวที่มีส่วนผสมของไคโตซาน</u> (ปีที่ 1)

5.1.1 ค้นคว้าข้อมูล เอกสารที่เกี่ยวข้องกับงานวิจัย

5.1.2 วิเคราะห์สมบัติพื้นฐานของไคโตซานที่นำมาศึกษา ได้แก่ มวลโมเลกุล และ degree of deacetylation (DD) ความชื้น เถ้า และความหนืด

5.1.3 พัฒนาสูตรตำรับสารเคลือบผิวที่มีส่วนผสมของไคโตซาน โดยทำการศึกษาปัจจัยต่างๆ ได้แก่ ปริมาณกรดแอซีติก น้ำหนักโมเลกุลของไคโตซาน ความเข้มข้นของสารลดแรงตึงผิว (tween-80®) และโมโนโซเดียมกลูตาเมต

5.1.3.1 การศึกษาความสามารถในการละลายของไคโตซานในกรดแอซีติกที่ความเข้มข้นต่างๆ

ชั่งไคโตซาน 1 กรัมใส่ลงในขวดรูปชมพู่ขนาด 250 มิลลิลิตร จากนั้นเติมสารละลายกรดแอซีติกความเข้มข้น 0.25%, 0.5%, 0.75% และ 1.0% (โดยปริมาตร) ปริมาตร 100 มิลลิลิตร ทำการเขย่าที่ความเร็ว 150 รอบต่อนาที เป็นเวลา 24 ชั่วโมง และนำสารละลายไคโตซานที่ได้ไปวัดค่าพีเอช (pH) ก่อนนำไปกรองบนกระดาษกรอง GF/C ที่อบแห้งที่อุณหภูมิ 105 องศาเซลเซียสเป็นเวลา 2 ชั่วโมง และชั่งน้ำหนักกระดาษกรองเริ่มต้นแล้ว จากนั้นนำกระดาษกรองที่มีกากไคโตซานไปอบแห้งที่อุณหภูมิข้างต้นเป็นเวลา 24 ชั่วโมง ก่อนนำมาเก็บไว้ในโถเก็บความชื้นเป็นเวลาประมาณ 30 นาทีและนำมาชั่งน้ำหนักแห้งอีกครั้ง (น้ำหนักกระดาษหลังกรอง) ทำการคำนวณความสามารถในการละลายจากสูตรดังนี้

$$\text{ความสามารถในการละลาย} = 100 - \left\{ \left(\frac{\text{น้ำหนักกระดาษหลังกรอง} - \text{น้ำหนักกระดาษเริ่มต้น}}{\text{น้ำหนักไคโตซานเริ่มต้น}} \right) \text{X } 100 \right\}$$

จากนั้นทำการเลือกความเข้มข้นที่น้อยที่สุดของกรดแอซีติกที่สามารถละลายไคโตซานได้มากกว่า 95% มาทำการเตรียมสารละลายไคโตซานความเข้มข้น 1% (น้ำหนักต่อปริมาตร) และทำการวัดความหนืด เปรียบเทียบกับสารละลายไคโตซานที่ความเข้มข้นเท่ากันใน 1% กรดแอซีติก

5.1.3.2 การวิเคราะห์ความหนืดของสารละลายไคโตซาน

นำสารละลายไคโตซานที่ต้องการวิเคราะห์ความหนืดมาบ่มไว้ที่ 25 องศาเซลเซียส เป็นเวลาประมาณ 2-3 ชั่วโมง จากนั้นนำไปใส่ในบีกเกอร์สำหรับใช้วัดความหนืดปริมาตร 200 มิลลิลิตร และนำไปวิเคราะห์ด้วยเครื่อง Brookfield Viscometer, model DV-II+ โดยขนาดเข็มที่ใช้ขึ้นกับความหนืดของสารละลายตัวอย่าง

5.1.3.3 การศึกษาผลของสารลดแรงตึงผิว (Tween 80®) ต่อสมบัติของไคโตซานฟิล์ม

เตรียมสารละลายไคโตซานที่ความเข้มข้น 1% (น้ำหนักต่อปริมาตร) โดยละลายในสารละลายกรดแอซิติกที่ความเข้มข้นที่เหมาะสมที่ได้จากการทดลองข้อ 5.1.3.1 โดยเขย่าที่ความเร็ว 150 รอบต่อนาที เป็นเวลา 24 ชั่วโมง จากนั้นกรองสารละลายไคโตซานด้วยผ้าขาวบางเพื่อกรองสิ่งปนเปื้อนหรือส่วนที่ไม่ละลายออกและทำการเติม Tween 80® ลงในสารละลายไคโตซานที่เตรียมไว้ให้มีความเข้มข้นเท่ากับ 0.1%, 0.2%, 0.3%, 0.4% และ 0.5% (น้ำหนักต่อปริมาตร) โดยสารละลายไคโตซานที่ไม่มีการเติม Tween 80® เป็นชุดควบคุม จากนั้นทำการกวนด้วยเครื่องกวนแม่เหล็กที่ความเร็วประมาณ 960 รอบต่อนาที เป็นเวลา 30 นาที และตั้งทิ้งไว้ประมาณ 30 นาทีเพื่อให้ฟองอากาศหายไป นำกระจกสไลด์ที่ทำความสะอาดโดยแช่ในแอลกอฮอล์ (absolute) เรียบร้อยแล้ว จุ่มลงในสารลายไคโตซานดังกล่าวข้างต้น เป็นเวลา 5 นาที และทำให้แห้งที่อุณหภูมิห้อง จากนั้นนำกระจกสไลด์ที่ได้จุ่มลงในสารละลายสีประจุลบ (acid dye) ความเข้มข้น 5% (น้ำหนักต่อปริมาตร) เป็นเวลา 10 วินาที และทำให้แห้งที่อุณหภูมิห้อง จากนั้นนำกระจกสไลด์ที่ได้ไปตรวจสอบลักษณะของฟิล์มบางไคโตซานที่เคลือบบนกระจกสไลด์ด้วยกล้องจุลทรรศน์

กรณีของการวิเคราะห์ด้วย atomic force microscopy (AFM) จะขึ้นรูปฟิล์มบนกระจกสไลด์แต่ไม่มีการย้อมสี

กรณีของการวิเคราะห์ด้วย X-ray diffraction (XRD) และ thermal gravimetric analysis (TGA) จะขึ้นรูปฟิล์มโดยการเทฟิล์มบนถาดพลาสติก (casting film)

5.1.4 การศึกษาผลของโมโนโซเดียมกลูตาเมตในสูตรตำรับสารเคลือบต่อสมบัติของไคโตซานฟิล์ม

ทำการเตรียมสารละลายไคโตซานเข้มข้น 1% (น้ำหนักต่อปริมาตร) ในกรดแอซีติกที่ความเข้มข้นที่เหมาะสมที่ได้จากการทดลองข้อ 5.1.3.1 และเติม Tween 80® ที่ความเข้มข้นที่เหมาะสมที่ได้จากข้อ 5.1.3 จากนั้นนำมาเติมสารละลายโมโนโซเดียมกลูตาเมตที่มีความเข้มข้น 10%, 20%, 40% (น้ำหนักต่อปริมาตร) โดยให้อัตราส่วนโดยมวลสุดท้ายระหว่างไคโตซานต่อโมโนโซเดียมกลูตาเมต เท่ากับ 1:1, 1:2 และ 1:4 และสารละลายไคโตซานที่ไม่มีการเติมโมโนโซเดียมกลูตาเมตเป็นชุดควบคุม จากนั้นทำการกวนสารละลายดังกล่าวด้วยเครื่องกวนแม่เหล็ก

ที่ความเร็ว 960 รอบต่อนาทีเป็นเวลา 30 นาที และตั้งทิ้งไว้ 1 คืนเพื่อให้ฟองอากาศหายไป จากนั้นนำมาวัดความหนืด และขึ้นรูปฟิล์มบนกระจกสไลด์และถาด (casting) เพื่อศึกษาสมบัติของฟิล์มที่ได้

5.1.5 ศึกษาและพัฒนาเทคนิคการเคลือบฟิล์มบางบนผิวมะม่วง

5.1.6 ตรวจสอบสมบัติของฟิล์มบางที่เคลือบบนผิวมะม่วง

5.2 <u>การตรวจสอบคุณภาพของมะม่วงหลังเคลือบผิวด้วยสูตรตำรับไคโตซานที่พัฒนาขึ้น</u> (ปีที่ 2)

5.2.1 ศึกษาผลของฟิล์มบางต่ออายุการเก็บรักษาและการเปลี่ยนแปลงทางสรีรวิทยาในมะม่วงน้ำดอกไม้ที่เก็บรักษาที่อุณหภูมิห้อง (25 องศาเซลเซียส) โดยนำมาวัดค่าดังต่อไปนี้

* ร้อยละการเปลี่ยนแปลงของน้ำหนักสด โดยเทียบน้ำหนักในวันที่ 0 เป็นร้อยละ 100
* การหายใจโดยวัดปริมาณก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ที่เกิดขึ้นด้วยเครื่อง Gas chromatography
* การผลิตก๊าซเอทิลีนที่เกิดขึ้นด้วยเครื่อง Gas chromatography
* การเปลี่ยนแปลงของสีเปลือก วัดด้วยเครื่องมือวัดสี
* ความแน่นเนื้อ วัดด้วยเครื่อง firmness tester
* ร้อยละ total soluble solids (TSS) โดยใช้ hand refractometer
* การเปลี่ยนแปลงปริมาณของกรด (tritatable acid, TA)

5.2.2 ศึกษาผลของฟิล์มบางต่ออายุการเก็บรักษาและการเปลี่ยนแปลงทางสรีรวิทยาในมะม่วงน้ำดอกไม้ที่เก็บอุณหภูมิต่ำ (14 องศาเซลเซียส) เป็นเวลา 2 สัปดาห์และ 3 สัปดาห์ก่อนย้ายไปที่อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส เพื่อให้เกิดการพัฒนาการสุก บันทึกผลของการเปลี่ยนแปลงทางสรีรวิทยาเปรียบเทียบกันระหว่างชุดการทดลอง ทุก 7 วัน เมื่อเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 14 องศาเซลเซียส และทุก 2 วัน เมื่อย้ายไปที่อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส โดยนำมาวัดค่า ดังต่อไปนี้

* ร้อยละการเปลี่ยนแปลงของน้ำหนักสด โดยเทียบน้ำหนักในวันที่ 0 เป็นร้อยละ 100
* การหายใจโดยวัดปริมาณก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ที่เกิดขึ้นด้วยเครื่อง Gas chromatography
* การผลิตก๊าซเอทิลีนที่เกิดขึ้นด้วยเครื่อง Gas chromatography
* การเปลี่ยนแปลงของสีเปลือก วัดด้วยเครื่องมือวัดสี
* ความแน่นเนื้อ วัดด้วยเครื่อง firmness tester
* ร้อยละ total soluble solids (TSS) โดยใช้ hand refractometer
* การเปลี่ยนแปลงปริมาณของกรด (tritatable acid, TA)
* การเกิดภาวะสะท้านหนาว (Chilling injury) โดยพิจารณาจากการวัดค่า ion leakage และการให้คะแนนลักษณะภายนอกที่ปรากฏ (Phakawatmongkol et al., 2004)

6. ผลการทดลองและวิจารณ์ผล

6.1 จัดเตรียม/จัดหาวัตถุดิบและวิเคราะห์สมบัติของวัตถุดิบ

วัตถุดิบที่ใช้ในการศึกษา ได้แก่ ไคโตซานที่มีน้ำหนักโมเลกุลแตกต่างกัน 3 ระดับ, โมโนโซเดียมกลูตาเมต และสารลดแรงตึงผิวโดยโครงการนี้เลือกใช้ Tween 80® โดยสมบัติของสารแต่ละตัวแสดงในตารางที่ 1, 2 และ 3 ตามลำดับ

ตารางที่ 1 แสดงสมบัติของไคโตซาน 3 ชนิดที่สั่งซื้อจากบริษัท A.N. (Laboratory) จำกัด ประเทศไทย โดยไคโตซานเหล่านี้สกัดจากเปลือกกุ้งที่มีระดับการกำจัดหมู่อยู่ในช่วง 85-92% ความชื้นประมาณ12.5% และเถ้า ประมาณ 1.6-2.9% โดยแยกตามน้ำหนักโมเลกุล ดังนี้คือ

- ไคโตซานที่มีน้ำหนักโมเลกุลต่ำ หรือ LM-CTS มีน้ำหนักโมเลกุลเท่ากับ 65,000 กรัม/โมล
- ไคโตซานที่มีน้ำหนักโมเลกุลปานกลาง หรือ MM-CTS มีน้ำหนักโมเลกุลเท่ากับ 370,000 กรัม/โมล
- ไคโตซานที่มีน้ำหนักโมเลกุลสูง หรือ HM-CTS มีน้ำหนักโมเลกุลเท่ากับ 410,000 กรัม/โมล

นอกจากนี้ยังพบว่า เมื่อน้ำหนักโมเลกุลมากขึ้นส่งผลให้ความหนืดมากขึ้นตามไปด้วย โดยไคโตซาน LM-CTS มีความหนืด เท่ากับ 7.6 cps. ในขณะที่ไคโตซาน MM-CTS และ HM-CTS มีความหนืด เท่ากับ 26.3 cps และ 38.1 cps ตามลำดับ (ตารางที่ 1)

ตารางที่ 1 สมบัติของไคโตซานแต่ละชนิด

ชนิดของไคโตซาน	แหล่งที่มา	น้ำหนักโมเลกุล (g/mol)	ระดับการกำจัดหมู่อะซิทิล (%)	ความชื้น (%)	เถ้า (%)	ความหนืด* (cps)
ไคโตซาน น้ำหนักโมเลกุลต่ำ (LM-CTS)	เปลือกกุ้ง	65,000	89.8 ± 0.5	12.6 ± 0.1	2.1 ± 0.3	7.6±0.4
ไคโตซาน น้ำหนักโมเลกุลปานกลาง (MM-CTS)	เปลือกกุ้ง	370,000	85.4 ± 0.7	12.6 ± 0.1	2.9 ± 0.4	26.3 ± 0.8
ไคโตซาน น้ำหนักโมเลกุลสูง (HM-CTS)	เปลือกกุ้ง	410,000	92.4 ± 0.22	12.4 ± 0.1	1.6 ± 0.1	38.1±0.4

*หมายเหตุ: *ทดสอบที่ความเข้มข้นของไคโตซานเท่ากับ 1% (w/v) โดยใช้สารละลายกรดแอซีติกความเข้มข้น 1% (v/v) เป็นตัวทำละลาย*

ตารางที่ 2 แสดงสมบัติของโมโนโซเดียมกลูตาเมตที่สั่งซื้อจากบริษัท Sigma-Aldrich ประเทศสวิตเซอร์แลนด์ โดยโมโนโซเดียมกลูตาเมตจะอยู่ในรูปผลึกผงสีขาว และมีน้ำหนักโมเลกุล เท่ากับ 187.13 กรัม/โมล

ตารางที่ 2 สมบัติของโมโนโซเดียมกลูตาเมต

พารามิเตอร์	โมโนโซเดียมกลูตาเมต
สูตรโครงสร้าง	$C_5H_8NNaO_4 \cdot H_2O$
ลักษณะภายนอก	ผลึกผงสีขาว
น้ำหนักโมเลกุล (g/mol)	187.13

ตารางที่ 3 แสดงสมบัติของสารลดแรงตึงผิวที่ใช้ในการศึกษาครั้งนี้ คือ Tween 80® หรือ Polyoxyethylene (20) sorbitan monoleate ซึ่งจัดอยู่ในกลุ่ม non-ionic surfactant โดยสั่งซื้อจากบริษัท Acros ประเทศสหรัฐอเมริกา

Tween 80® มีลักษณะเป็นของเหลวหนืดสีเหลืองใส มีความหนาแน่น ณ อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส อยู่ที่ 1.08 กรัม/ซม^3 มีค่า hydrophilic-lipophilic balance balance (HLB) อยู่ที่ 15 และน้ำหนักโมเลกุล เท่ากับ 1,310 กรัม/โมล

ตารางที่ 3 สมบัติของ Tween 80®

พารามิเตอร์	Tween 80®
สูตรโครงสร้าง	$(C_2H_4O)_{20}(OH)_3(C_{18}H_{33}O_2)_1C_6H_8O$
ลักษณะภายนอก	ของเหลวหนืดสีเหลืองใส
ความหนาแน่น (g/cm^3) ที่ 25°C	1.08
Refractive index (n^{20}_D)	1.471-1.473
Hydrophilic-lipophilic balance (HLB)	15
น้ำหนักโมเลกุล (g/mol)	1,310

6.2 การศึกษาความสามารถในการละลายของไคโตซานในกรดแอซีติกที่ความเข้มข้นต่างๆ

จากตารางที่ 4 พบว่าความสามารถในการละลายของไคโตซานทั้ง 3 ชนิด ขึ้นกับความเข้มข้นของกรดแอซีติก ตัวอย่างเช่น ไคโตซานมีความสามารถในการละลายต่ำเมื่อใช้สารละลายกรดแอซีติกที่ความเข้มข้น 0.25% (โดยปริมาตร) ในขณะที่สามารถละลายได้ดีในกรดแอซีติกที่มีความเข้มข้นอยู่

ในช่วง 0.5 - 1.0% โดยสามารถละลายได้ถึง 98% นอกจากนี้ยังพบว่าเมื่อความเข้มข้นของกรดเพิ่มขึ้นทำให้พีเอชของสารละลายไคโตซานลดลง

ตารางที่ 4 ความสามารถในการละลายไคโตซานทั้ง 3 ชนิดในกรดแอซีติกความเข้มข้นต่างๆ

ชนิดไคโตซาน	ร้อยละการละลายในแต่ละความเข้มข้นของกรดแอซีติก (โดยปริมาตร)							
	0.25%	pH	0.50%	pH	0.75%	pH	1.00%	pH
LM-CTS	66.3 ± 0.9	5.05	98.6 ± 0.4	4.65	99.4 ± 0.6	4.28	98.9 ± 0.1	4.08
MM-CTS	46.8 ± 0.7	5.35	99.1 ± 0.5	4.65	98.9 ± 0.2	4.33	98.7 ± 0.2	4.14
HM-CTS	32.7 ± 0.7	5.01	98.5 ± 0.3	4.76	98.5 ±0.7	4.28	98.6 ± 0.2	4.20

ตารางที่ 5 แสดงความหนืดของสารละลายไคโตซานเข้มข้น 1% (น้ำหนักต่อปริมาตร) ที่ละลายในกรดแอซีติกที่ความเข้มข้น 0.5% และ 1% (โดยปริมาตร) พบว่า เมื่อเพิ่มความเข้มข้นของกรดแอซีติกทำให้ความหนืดของไคโตซานทั้ง 3 ชนิดลดลงตามไปด้วย ทั้งนี้เนื่องจากกรดที่ใช้มีความเข้มข้นมากขึ้นทำให้สายโซ่ของไคโตซานถูกตัดมากขึ้นและส่งผลให้ความหนืดลดลง

ดังนั้นเพื่อลดผลกระทบของกรดแอซีติกต่อผิวของมะม่วงหลังการเคลือบด้วยสูตรตำรับไคโตซานที่มีสารละลายกรดแอซีติกเป็นตัวทำละลาย จึงเลือกใช้สารละลายกรดแอซีติกความเข้มข้น 0.5% เป็นตัวทำละลายของไคโตซานในการทดลอง โดยค่าพีเอชของสารละลายไคโตซานทั้ง 3 ชนิดอยู่ในช่วง 4.65-4.80 ซึ่งสอดคล้องกับการศึกษาของ Srinivasa et al. (2007) ได้ทำการละลายไคโตซานในกรดแอซีติก 0.5% เพื่อใช้ผลิตฟิล์มไคโตซาน

ตารางที่ 5 ความหนืดของสาระละลายไคโตซานเข้มข้น 1% ที่ละลายในกรดแอซีติกที่ความเข้มข้นต่างๆ

ชนิดของไคโตซาน	ความหนืดของสารละลายไคโตซานเข้มข้น 1% (w/v) (cps)	
	ละลายใน 0.5% กรดแอซีติก	ละลายใน 1% กรดแอซีติก
LM-CTS	7.8 ± 0.1	7.6 ± 0.4
MM-CTS	33.0 ± 0.4	26.3 ± 0.8
HM-CTS	45.6 ± 0.6	38.1 ± 0.4

6.3 การศึกษาผลของสารลดแรงตึงผิวต่อสมบัติของฟิล์มไคโตซาน

จากการศึกษาเบื้องต้นโดยการเคลือบผิวมะม่วงด้วยสารละลายไคโตซานเข้มข้น 1% (น้ำหนักต่อปริมาตร) ที่ละลายในกรดแอซีติกที่ความเข้มข้น 0.5% พบว่าฟิล์มที่เคลือบอยู่บนผิวมะม่วงนั้นไม่มีความต่อเนื่อง ดังนั้นเพื่อลดปัญหาดังกล่าวจึงจำเป็นจะต้องเติมสารเติมแต่งเพื่อให้ฟิล์มมีความต่อเนื่อง

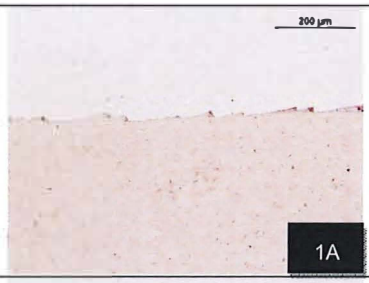
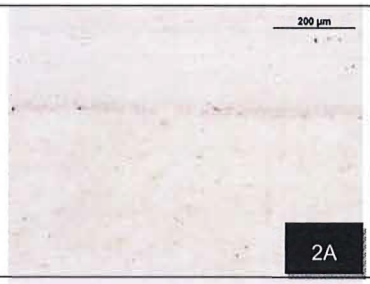
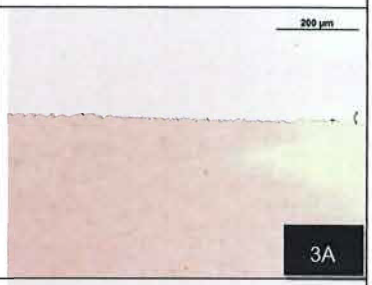
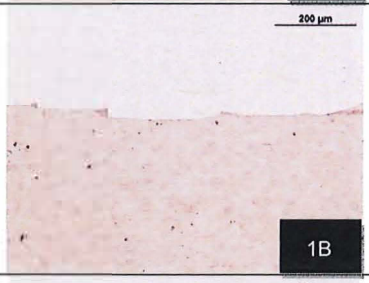
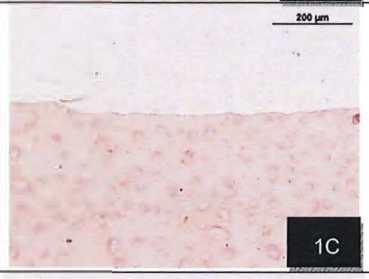
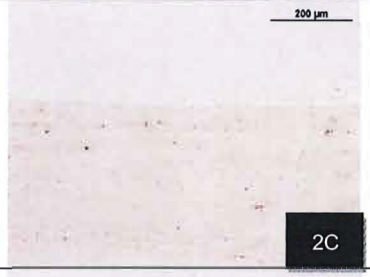
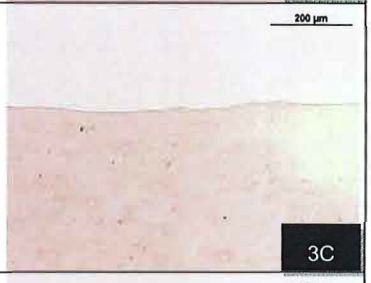
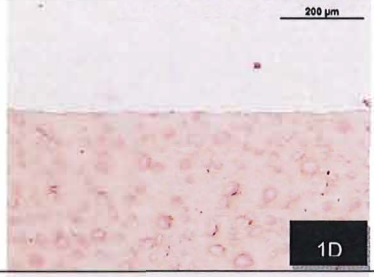
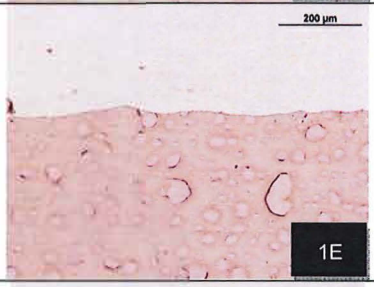
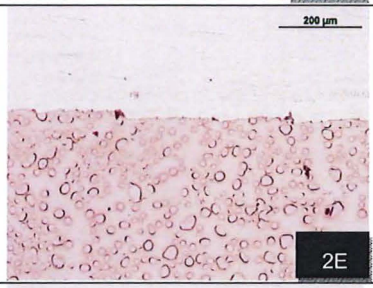
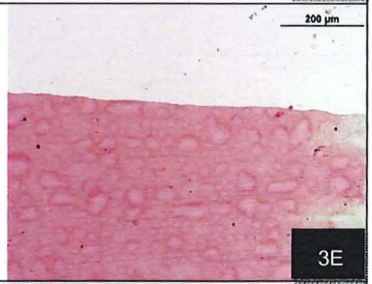
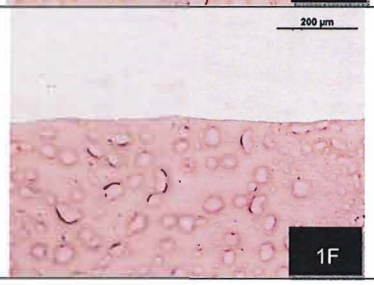
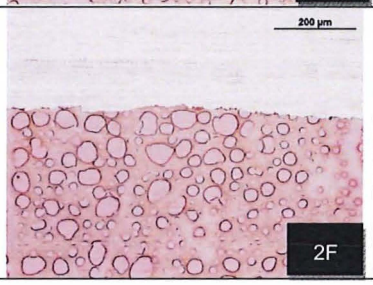
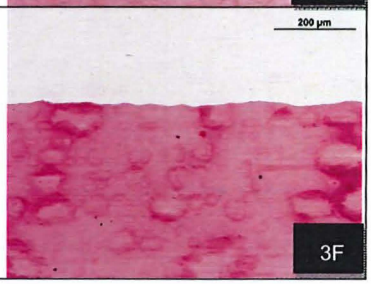
อาทิ glycerol, polyethylene glycol (PEG) และ Tween 80® เป็นต้น ซึ่งในที่นี้เลือก Tween 80® ทั้งนี้เนื่องจากสามารถช่วยให้ฟิล์มมีความต่อเนื่องได้แม้ใช้ในปริมาณที่น้อยเมื่อเทียบกับสารเติมแต่งตัวอื่นๆ นอกจากนี้ Tween 80® ยังมีความปลอดภัยและใช้มากในอุตสาหกรรมอาหาร ยา และเครื่องสำอาง

การศึกษาผลของ Tween 80® ต่อลักษณะของฟิล์มบางไคโตซานนั้นทำการศึกษาโดยการเคลือบฟิล์มบางไคโตซานบนกระจกสไลด์แทนผิวของมะม่วงและทำการย้อมด้วยสีย้อมประจุลบเพื่อให้ง่ายต่อการสังเกตภายใต้กล้องจุลทรรศน์ จากผลการทดลองที่แสดงในตารางที่ 6 พบว่า กระจกสไลด์มีความชอบน้ำมากกว่าผิวของมะม่วงทำให้สารละลายไคโตซานที่ไม่ได้เติม Tween 80® (ชุดควบคุม) สามารถติดบนผิวของสไลด์ได้ (ภาพที่ 1A-3A) โดยเฉพาะไคโตซานที่มีน้ำหนักโมเลกุลสูง (HM-CTS) และไคโตซานที่มีน้ำหนักโมเลกุลปานกลาง (MM-CTS) จะเห็นฟิล์มบางได้ชัดกว่าไคโตซานที่มีน้ำหนักโมเลกุลต่ำ (LM-CTS) หรืออีกนัยหนึ่งคือฟิล์มที่ได้จากไคโตซานที่มีน้ำหนักโมเลกุลสูงกว่าจะมีความหนากว่าฟิล์มที่ได้จากไคโตซานที่มีน้ำหนักโมเลกุลต่ำกว่า

เมื่อเติม Tween 80® ลงในสารละลายไคโตซานทั้งสามชนิดในปริมาณต่างๆ ทำให้เนื้อฟิล์มไคโตซานทั้ง 3 ชนิดมีสีเข้มมาก ดังแสดงในภาพที่ 1B-3F ในขณะที่ฟิล์มบางไคโตซานที่ไม่ได้เติม Tween 80® (ชุดควบคุม) มีสีจางที่สุด (ภาพ 1A-3A) ทั้งนี้อาจเนื่องมาจากไคโตซานฟิล์มเป็นฟิล์มประจุบวกสามารถจับกับสีที่มีประจุลบได้ดีและเมื่อเติม Tween 80® จะทำให้จับสีได้ดียิ่งขึ้นทำให้เห็นภาพชัดขึ้น หรืออีกนัยหนึ่งคือ Tween 80® สามารถช่วยในการจับกับสารอื่นๆ ที่ต้องการเติมลงไปในสูตรตำรับไคโตซานเพื่อให้มีสมบัติบางประการที่ดีขึ้น อาทิ ยืดอายุการเก็บรักษา ยังยั้งการเจริญเติบโตของเชื้อจุลินทรีย์ เป็นต้น นอกจากนี้การเติม Tween 80® ยังช่วยให้ไคโตซานฟิล์มสามารถติดบนผิวของมะม่วงได้ดีขึ้นและมีความต่อเนื่องของฟิล์มมากขึ้น (ข้อมูลจากการศึกษาเบื้องต้น) ในขณะที่สารละลายไคโตซานที่ไม่มีส่วนผสมของ Tween 80® ไม่สามารถสร้างฟิล์มที่ต่อเนื่องบนผิวของมะม่วงได้ อย่างไรก็ตามการเติม Tween 80® ในปริมาณที่มากขึ้นส่งผลให้เกิดฟองอากาศมากขึ้นตามไปด้วย ทำให้ฟิล์มที่ได้ไม่สม่ำเสมอเนื่องจากมีฟองอากาศแทรกอยู่ในเนื้อฟิล์มซึ่งเป็นสิ่งที่ไม่ต้องการ (ภาพที่ 1B-3F)

นอกจากนี้ยังพบว่าสารละลายไคโตซานที่มีน้ำหนักโมเลกุลสูงกว่าจะมีความหนืดมากกว่า ทำให้ฟองอากาศที่เกิดขึ้นเนื่องจากการกวนมีขนาดใหญ่และเสถียรกว่า ทำให้ต้องใช้เวลาในการสลายฟองนานกว่าสารละลายไคโตซานที่มีน้ำหนักโมเลกุลที่ต่ำกว่า

ตารางที่ 6 ผลของสารลดแรงตรึงผิว (Tween 80®) ต่อลักษณะฟิล์มไคโตซานที่มีน้ำหนักโมเลกุลต่างๆ

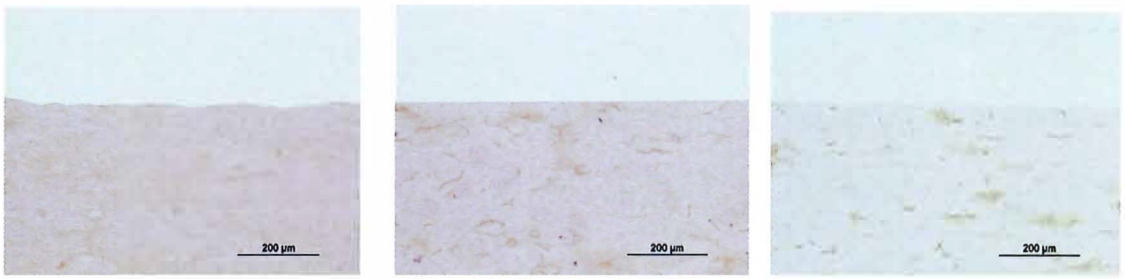
ปริมาณ Tween 80® (%, w/v)	ไคโตซานฟิล์ม		
	LM-CTS	MM-CTS	HM-CTS
0 (control)			
0.1			
0.2			
0.3			
0.4			
0.5			

จากข้อมูลที่ได้ข้างต้น คณะผู้วิจัยจึงทำการเลือกใช้ Tween 80® ความเข้มข้น 0.1% (น้ำหนักต่อปริมาตร) ในสูตรตำรับและทำการวิเคราะห์ความหนืดเปรียบเทียบกับสูตรตำรับที่ไม่ได้เติม Tween 80® พบว่า ความหนืดของสูตรตำรับที่เติมและไม่เติม Tween 80® ให้ผลใกล้เคียงกัน (ตารางที่ 7) ดังนั้นจึงอาจสรุปได้ว่า การเติม Tween 80® ความเข้มข้น 0.1% (น้ำหนักต่อปริมาตร) ไม่มีผลต่อความหนืดของสูตรตำรับ

ตารางที่ 7 ผลของ Tween 80® ต่อความหนืดของสาระละลายไคโตซานเข้มข้น 1% (น้ำหนักต่อปริมาตร) ที่ละลายในกรดแอซีติกที่ความเข้มข้น 0.5%

ชนิดของไคโตซาน	ความหนืดของสารละลายไคโตซานเข้มข้น 1% (w/v) (cps)	
	ไม่เติม Tween 80®	เติม Tween 80®
LM-CTS	7.6 ± 0.4	8.9 ± 0.6
MM-CTS	26.3 ± 0.8	28.7 ± 0.2
HM-CTS	38.1 ± 0.4	37.9 ± 0.6

Zhong et al. (2011) ทำการกำจัดฟองออกจากสูตรตำรับไคโตซานที่มีส่วนผสมของแป้ง kudzu และกลีเซอรอลโดยใช้ระบบสุญญากาศ ซึ่งเป็นวิธีที่ทำได้รวดเร็ว แต่ต้นทุนในการกำจัดฟองค่อนข้างสูง ดังนั้นงานวิจัยนี้จึงเลือกที่จะกำจัดฟองด้วยการตั้งทิ้งไว้ข้ามคืนเพื่อเป็นการลดต้นทุนในการกำจัดฟองซึ่งสอดคล้องกับการทดลองของ Abugoch et al. (2011) โดยลักษณะของฟิล์มบางไคโตซานที่เคลือบบนผิวของกระจกสไลด์นั้นเรียบและไม่สามารถเห็นฟองอากาศภายใต้กล้องจุลทรรศน์ ดังแสดงในภาพที่ 1



HM-CTS film MM-CTS film LM-CTS film

ภาพที่ 1 ลักษณะฟิล์มบางไคโตซานชนิดต่างๆ ที่มีส่วนผสมของ Tween 80®เท่ากับ 0.1% ที่กำจัดฟองออกจากสูตรตำรับไคโตซานด้วยการตั้งทิ้งไว้ข้ามคืน

ดังนั้นจึงอาจสรุปเบื้องต้นได้ว่าสูตรตำรับไคโตซานที่ใช้ในการเคลือบบนผิวมะม่วงเพื่อให้ได้ฟิล์มที่มีความต่อเนื่องจำเป็นต้องเติม Tween 80® ลงในสารละลายไคโตซาน แต่เพื่อลดปัญหาการเกิดฟองและง่ายต่อการเตรียมสูตรตำรับสารละลายไคโตซานจึงเลือกเติม Tween 80® ที่ความเข้มข้น 0.1% (น้ำหนักต่อปริมาตร) และกำจัดฟองโดยการตั้งทิ้งไว้ข้ามคืน

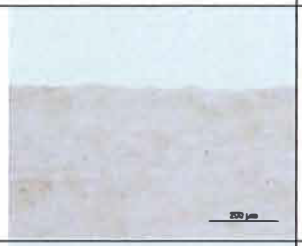
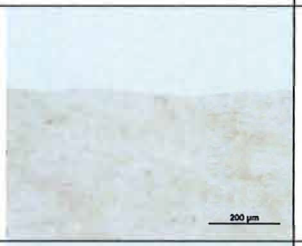
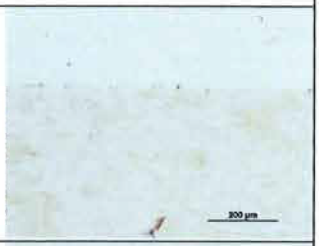
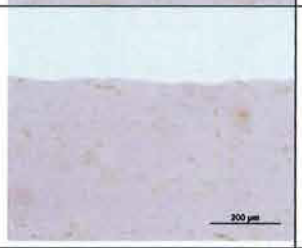
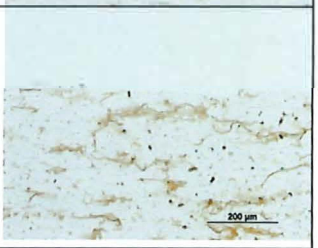
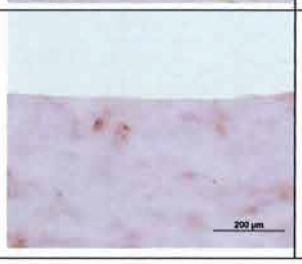
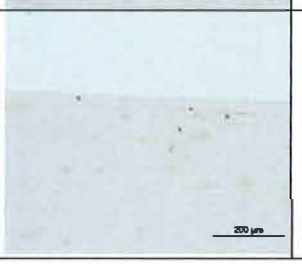
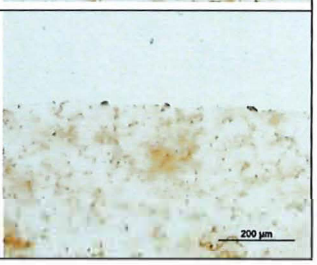
6.4 การศึกษาผลของโมโนโซเดียมกลูตาเมตในสูตรตำรับสารเคลือบต่อสมบัติของไคโตซานฟิล์ม

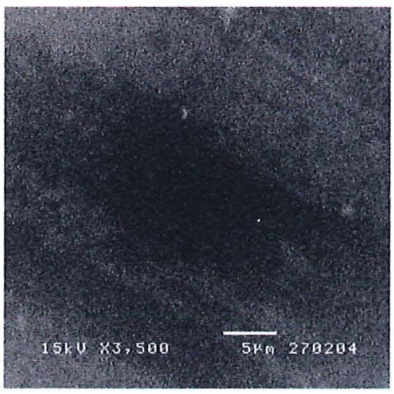
หลังจากการเตรียมสูตรตำรับสารเคลือบผิวที่ประกอบด้วย ไคโตซานเข้มข้น 1% (น้ำหนักโดยปริมาตร) โดยละลายใน 0.5% (โดยปริมาตร) กรดแอซีติก และมีสารลดแรงตึงผิว Tween 80® เข้มข้น 0.1% จากนั้นเติมสารละลายโมโนโซเดียมกลูตาเมตลงไปจนมีอัตราส่วนโดยมวลระหว่างไคโตซานต่อโมโนโซเดียมกลูตาเมต เท่ากับ 1:1, 1:2 และ 1:4 และทำการกวนอย่างต่อเนื่องที่ความเร็วรอบ 960 รอบต่อนาที เป็นเวลา 30 นาทีและตั้งทิ้งไว้ 1 คืนเพื่อกำจัดฟอง จากนั้นนำมาวัดความหนืดดังแสดงในตารางที่ 8 พบว่า เมื่อมีการเติมโมโนโซเดียมกลูตาเมตลงไปในสูตรตำรับในมากขึ้นจนถึงอัตราส่วนระหว่างไคโตซานต่อโมโนโซเดียมกลูตาเมตเท่ากับ 1: 2 ส่งผลให้ความหนืดลดลง และคงที่เมื่อเติมโมโนโซเดียมกลูตาเมตลงในสูตรตำรับมากขึ้น และเมื่อนำสารละลายดังกล่าวมาเคลือบบนแผ่นสไลด์และการขึ้นรูปฟิล์มพบว่าเมื่อโมโนโซเดียมกลูตาเมตมากขึ้นจะมีผลึกของโมโนโซเดียมกลูตาเมตกระจายอยู่ทั่วฟิล์มมากขึ้นตามไปด้วย ดังจะเห็นได้จากตารางที่ 9 และเมื่อพิจารณาด้วยกล้องจุลทรรศน์แบบส่องกราด (ภาพที่ 2) พบว่า เมื่อเติมโมโนโซเดียมกลูตาเมตในสูตรตำรับจะทำให้ฟิล์มไคโตซานมีพื้นผิวขรุขระและมีผลึกของโมโนโซเดียมกลูตาเมตกระจายตัวอยู่ทั่วทั้งฟิล์ม โดยตั้งสมมุติฐานว่าฟิล์มที่มีส่วนผสมของโมโนโซเดียมกลูตาเมตน่าจะสามารถยืดอายุการเก็บรักษามะม่วงได้ดีกว่าไคโตซานเพียงอย่างเดียว

ตารางที่ 8 ผลของโมโนโซเดียมกลูตาเมตต่อความหนืดของสาระละลายไคโตซานเข้มข้น 1% (น้ำหนักต่อปริมาตร) ที่ละลายในกรดแอซีติกที่ความเข้มข้น 0.5% (โดยปริมาตร) และมีส่วนผสมของ Tween 80® เท่ากับ 0.1% (น้ำหนักต่อปริมาตร)

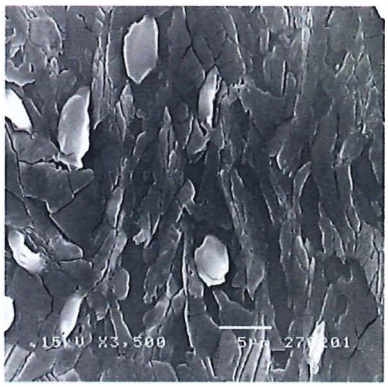
ชนิดของไคโตซาน	ความหนืดของสารละลายไคโตซานเข้มข้น 1% (w/v) (cps)			
	CTS:MSG = 1:0	CTS:MSG = 1:1	CTS:MSG = 1:2	CTS:MSG = 1:4
LM-CTS	8.9 ± 0.6	7.5 ± 0.5	7.0 ± 0.1	7.0 ±0.2
MM-CTS	28.7 ± 0.2	23.9 ± 0.3	20.6 ± 0.6	20.4 ± 0.1
HM-CTS	37.9 ± 0.6	37.0 ± 0.3	27.5 ± 0.5	32.8 ± 0.2

ตารางที่ 9 ผลของโมโนโซเดียมกลูตาเมตต่อลักษณะฟิล์มไคโตซานที่มีน้ำหนักโมเลกุลต่างๆ

อัตราส่วนโดยมวลระหว่างไคโตซานต่อโมโนโซเดียมกลูตาเมต	HM-CTS	MM-CTS	LM-CTS
1:0			
1:1			
1:2			
1:4			



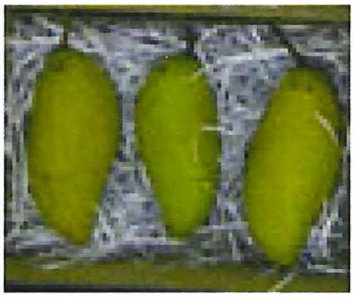
(ก)



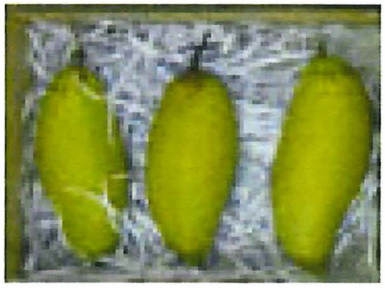
(ข)

ภาพที่ 2 ไคโตซานฟิล์ม: (ก) ไคโตซานฟิล์มที่ไม่มีโมโนโซเดียมกลูตาเมต;
(ข) ไคโตซานฟิล์มที่มีส่วนผสมของโมโนโซเดียมกลูตาเมต

จากการศึกษาเบื้องต้นพบว่า ไคโตซานฟิล์มสามารถยืดอายุการเก็บรักษามะม่วงน้ำดอกไม้ (ภาพที่ 3) แต่เมื่อเติมโมโนโซเดียมกลูตาเมตในสูตรตำรับจะเป็นการกระตุ้นให้เกิดโรคแอนแทรคโนสบนผิวของมะม่วง

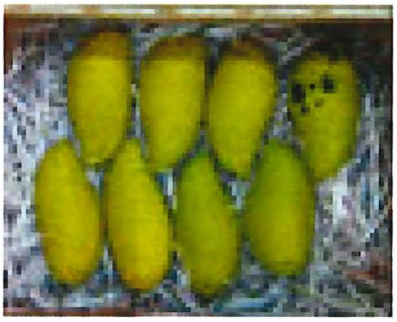


(ก)



(ข)

(ค)



(ง)

ภาพที่ 3 การเก็บรักษามะม่วงที่เคลือบผิวด้วยไคโตซานสูตรตำรับต่างๆ ที่อุณหภูมิ 25°C:

(ก) มะม่วงที่เคลือบผิวด้วยไคโตซาน ณ วันที่ 0

(ข) มะม่วงที่เคลือบผิวด้วยไคโตซาน ณ วันที่ 10

(ค) มะม่วงที่เคลือบผิวด้วยไคโตซานที่มีส่วนผสมของโมโนโซเดียมกลูตาเมต ณ วันที่ 0

(ง) มะม่วงที่เคลือบผิวด้วยไคโตซานที่มีส่วนผสมของโมโนโซเดียมกลูตาเมต ณ วันที่ 10

7. สรุปผลการทดลอง

ไคโตซานทั้ง 3 ชนิด (HM-CTS, MM-CTS และ LM-CTS) สามารถละลายได้ดี (>98%) ในสารละลายกรดแอซีติกที่ความเข้มข้นอย่างน้อย 0.5% (โดยปริมาตร) และ Tween 80® ช่วยให้ฟิล์มที่เกาะบนผิวของวัสดุที่ไม่ชอบน้ำมีความต่อเนื่อง หากใช้มากเกินไปจะมีปัญหาเกี่ยวกับฟองที่เกิดขึ้น ดังนั้นสูตรตำรับสารละลายไคโตซานเบื้องต้นสำหรับใช้ในการเคลือบผิวมะม่วงในการศึกษาขั้นต่อไป จำเป็นจะต้องมีส่วนผสมของ Tween 80® เท่ากับ 0.1% (น้ำหนักต่อปริมาตร) ในสารละลายไคโตซานเข้มข้น 1% (น้ำหนักต่อปริมาตร) โดยใช้กรดแอซีติกที่ความเข้มข้น 0.5% (โดยปริมาตร) เป็นตัวทำละลาย

8. เอกสารอ้างอิง

ภาษาไทย

สำนักงานเศรษฐกิจการเกษตร. 2553. สถิติการส่งออกมะม่วงสดของประเทศไทยไปยังต่างประเทศในปี 2543-2553. (http://www.oae.go.th/oae_report/export_import/export_result.php)

อรรถพล ภูษณะพงษ์. 2552. การพัฒนาสารเคลือบบริโภคได้เพื่อยืดอายุมะม่วงตัดแต่ง. *วิทยานิพนธ์ปริญญามหาบัณฑิต*. มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์. กรุงเทพฯ

ภาษาอังกฤษ

Abbasi N.A., Iqbul Z., Maqbool M., Hafiz I.A. 2009. Postharvest quality of mango (*Mangifera indica* L.) fruit as affected by chitosan coating. *Pakistan Journal of Botany*. 41(1): 343-357.

Abugoch L.E., Tapia C., Villamán M.C., Yazdani-Pedram M., Díaz-Dosque M. 2011. Characterization of quinoa protein-chitosan blend edible films. *Food Hydrocolloids*. 25: 879-886.

Aguiar R.P., Miranda M.R.A., Lima A.M.P., Mosca J.L., Moreira R.A., Enéas-Filho. 2011. Effect of a galactomannan coating on mango postharvest physicochemical quality parameters and physiology. *Fruits*. 66(4): 269-278.

Baldwin E.A., Burns J.K., Kazokas W., Brecht J.K., Hagenmaier R.D., Bender R.J., Pesis E. 1999. Effect of two edible coatings with different permeability characteristics on mango (*Mangifera indica* L.) ripening during storage. *Postharvest Biology and Technology*. 17(3): 215-226.

Chien P.J., Sheu F., Yang F.H. 2005. Effects of edible chitosan coating on quality and shelf life of sliced mango fruit. *Journal of Food Engineering*. 78: 225-229.

Hoa T.T., Ducamp M.N. 2008. Effects of different coatings on biochemical changes of 'cat Hoa loc' mangoes in storage. *Postharvest Biology and Technology*. 48: 150-152.

Lederman I.E., Zauberman G., Weksler A., Rot I., Fuchs Y. 1997. Ethylene-forming capacity during cold storage and chilling injury development in 'Keitt' mango fruit. *Postharvest Biology and Technology.* 10: 107-112

Lima M.A., Cerqueira A.M., Souza W.S.B., Carlos M.E., Jose A.S., Renato A.T., Vicente A.A. 2010. New edible coatings composed of galactomannans and collagen blends to improve the postharvest quality of fruits-Influence on fruits gas transfer rate. *Journal of Food Engineering.* 97:101-109.

Medeiros B.G.S., Pinheiro A.C., Carneiro-da-Cunha M. G., Vicente A.A. 2012. Development and characterization of a nanomultilayer coating of pectin and chitosan-evaluation of its gas barrier properties and application on 'Tommy Atkins' mangoes. *Journal of Food Engineering.* 110: 457-464.

Phakawatmongkol W., Ketsa S., Doorn W.G. 2004. Variation in fruit chilling injury among mango cultivars. *Postharvest Biology and Technology.* 32: 15-118

Rhim W.J., Hong S.K., Park H.M., Perry K.W.Ng. 2006. Preparation and characterization of chitosan-Based nanocomposite films with antimicrobial Activity. *Journal Agriculture and Food Chemistry.* 54: 5814-5822

Shellhammer T.H., Krochta, J.M. 1997. Whey protein emulsion film performance as affected by lipid type and amount. *Journal of Food Science.* 62(2): 390-394.

Srinivasa P.C., Ravi R., Tharanathan R.N. 2007. Effect of Storage Conditions on Tensile Properties of Eco-Friendly Chitosan Films by Response Surface Methodology. *Journal of Food Engineering.* 80: 184-189.

Souza P.M., Cerqueira A.M., Souza W.S.B., Teixeira A.J., Porto L.F.A., Vicente A.A., Carneiro G.M. 2010. Polysaccharide from *Anacadium Occidental* L. tree gum (Policaju) as a coating for Tommy Atkins mangoes. *Chemical Papers.* 64 (4): 475-481

Wang J., Wang B., Jiang W., Zhao, Y. 2007. Quality and shelf life of mango (*Mangifera indica* L. cv. 'Tainong') coated by using chitosan and polyphenols. *Food Science and Technology International*, 13: 317-322.

Zhong Y., Song X., Li Y. 2011. Antimicrobial, physical and mechanical properties of kudzu starch–chitosan composite films as a function of acid solvent types. *Carbohydrate Polymers*. 84: 335-342.

Zhu X., Wang Q., Cao J., Jiang W. 2008. Effect of chitosan coating on postharvest quality of mango (*Mangifera indica* L. cv. 'Tainong') fruits. *Journal of Food Processing and Preservation*. 32: 770-784.

9. ผลผลิตที่ได้ในปีที่ 1

- ได้องค์ความรู้ในการเคลือบผิวมะม่วงเพื่อการยืดอายุการเก็บรักษา

- บทความ 1 เรื่อง (การพัฒนาและการประยุกต์ฟิล์มบางไคโทซานเพื่อยืดอายุการเก็บรักษาของมะม่วงน้ำดอกไม้) นำเสนอภาคบรรยายโดย ภานุพงศ์ อำไพชัยโชค (นิสิตระดับปริญญาโท) ในงาน "การประชุมวิชาการวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีเพื่อเยาวชน ครั้งที่ 9" ระหว่างวันที่ 30 พฤษภาคม - 1 มิถุนายน พ.ศ. 2557 ณ ศูนย์นิทรรศการและการประชุมไบเทค บางนา กรุงเทพฯ (ดูรายละเอียดในภาคผนวก)

10. การดำเนินงานในช่วงต่อไป

- ตรวจสอบสมบัติของสูตรตำรับสารเคลือบผิวมะม่วง (ต่อเนื่อง)

- ศึกษาผลของฟิล์มบางต่ออายุการเก็บรักษาและการเปลี่ยนแปลงทางสรีรวิทยาในมะม่วงน้ำดอกไม้ที่เก็บรักษาที่อุณหภูมิห้อง (25 องศาเซลเซียส)

- ศึกษาผลของฟิล์มบางต่ออายุการเก็บรักษาและการเปลี่ยนแปลงทางสรีรวิทยาในมะม่วงน้ำดอกไม้ที่เก็บอุณหภูมิต่ำ (14 องศาเซลเซียส)

ภาคผนวก

การพัฒนาและการประยุกต์ฟิล์มบางไคโทซานเพื่อยืดอายุการเก็บรักษาของมะม่วงน้ำดอกไม้

ภานุพงศ์ อำไพชัยโชค[1] กนกวรรณ เสรีภาพ[1] และ ปราณี โรจน์สิทธิศักดิ์[2]

[1]ภาควิชาพฤกษศาสตร์ คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย จ. กรุงเทพฯ 10330

[2]สถาบันวิจัยโลหะและวัสดุ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย จ. กรุงเทพฯ 10330

Email address: cubotanik@hotmail.com โทรศัพท์ 0-81276-5350

บทคัดย่อ: สารละลายไคโทซานถูกเตรียมจากไคโทซานที่มีน้ำหนักโมเลกุลต่างกัน 3 ชนิด ได้แก่ 65,000 ดาลตัน, 370,000 ดาลตัน และ 410,000 ดาลตัน โดยไคโทซานเข้มข้น 1.0% ละลายในสารละลายกรดแอซิติก 0.5% และเติม tween-80® 0.1% เพื่อเป็นสารลดแรงตึงผิว จุ่มผลมะม่วงน้ำดอกไม้ลงในสารละลายไคโทซานเป็นเวลา 5 นาที โดยให้ผลมะม่วงที่จุ่มในสารละลายกรดแอซิติก 0.5% ที่ผสม tween-80® 0.1% เป็นชุดควบคุม แล้วเก็บรักษาผลมะม่วงที่อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 10 วัน พบว่าผลมะม่วงที่เคลือบผิวด้วยสารละลายไคโทซานที่เตรียมจากไคโทซานน้ำหนักโมเลกุล 370,000 ดาลตัน และ 410,000 ดาลตัน มีการการสูญเสียน้ำหนักสดน้อยกว่า สีเปลือกที่มีความเขียวมากกว่า และมีปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำน้อยว่าผลมะม่วงที่จุ่มในสารละลายไคโทซานน้ำหนักโมเลกุล 65,000 ดาลตันและชุดควบคุม นอกจากนี้อายุการเก็บรักษาผลมะม่วงน้ำดอกไม้สามารถยืดระยะเวลาต่อไปได้อีกจนถึงวันที่ 20 ของการทดลอง จากผลการศึกษาในครั้งนี้เป็นประโยชน์สำหรับการศึกษาค้นคว้าต่อยอดและสามารถนำไปประยุกต์ใช้ในเชิงการค้าได้ต่อไปในอนาคต

คำสำคัญ: ไคโทซาน, มะม่วงน้ำดอกไม้, การเคลือบผิวผลไม้

การประชุมวิชาการวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีเพื่อเยาวชน ครั้งที่ 9 ระหว่างวันที่ 30 พฤษภาคม - 1 มิถุนายน พ.ศ. 2557 ณ ศูนย์นิทรรศการและการประชุมไบเทค บางนา กรุงเทพฯ (เสนอผลงานภาคบรรยาย)

Development and Application of Chitosan Thin Film to Prolong Shelf Life of 'NAM DOK MAI' Mango

Panupong Ampaichaichok[1] Kanokwan Seraypheap[1] and Pranee Rojsitthisak[2]
[1]Department of Botany, Faculty of Science, Chulalongkorn University, Bangkok, Thailand

[2]Metallurgy and Materials Science Research Institute, Chulalongkorn University, Bangkok, Thailand
Email address: cubotanik@hotmail.com Tel. 0-81276-5350

Abstract: Chitosan solutions were prepared from 3 different molecular weight chitosans e.g. 65,000 Dalton, 370,000 Dalton and 410,000 Dalton. 1.0% chitosan was dissolved in 0.5% acetic acid solution added 0.1% tween-80® as surfactant. 'Nam Dok Mai' mango fruits were dipped in chitosan solution for 5 minutes, and mango fruits dipped in 0.5% acetic acid solution mixed with 0.5% tween-80® were for control. Then, mango fruits were stored at 25 °C for 10 days. The result showed that mango fruits coated with chitosan solution prepared from 370,000 Dalton and 410,000 Dalton chitosan had lower fresh weight loss, more green peel color and lower total soluble solid contents than those of 65,000 Dalton and control fruits. Moreover, the shelf life of 'Nam Dok Mai' mango fruits coated with 370,000 Dalton and 410,000 Dalton was extended to day 20 of the experiment. This study is useful for further study and can be applied for commercial scale in the future.

Keywords: chitosan, 'Nam Dok Mai' mango, fruit coatings

การประชุมวิชาการวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีเพื่อเยาวชน ครั้งที่ 9 ระหว่างวันที่ 30 พฤษภาคม - 1 มิถุนายน พ.ศ. 2557 ณ ศูนย์นิทรรศการและการประชุมไบเทค บางนา กรุงเทพฯ (เสนอผลงานภาคบรรยาย)