



รายงานฉบับสมบูรณ์

โครงการ

การพัฒนาตำรับฟิล์มเคลือบกล้วยไข่จากไคโตซาน
เพื่อยืดอายุการเก็บหลังการเก็บเกี่ยว

โดย รศ.ดร.ศักดิ์ชัย วิทยาอารีย์กุล และคณะ

มกราคม 2552

รายงานฉบับสมบูรณ์

โครงการ

การพัฒนาตำรับฟิล์มเคลือบกล้วยไข่จากไคโตซาน
เพื่อยืดอายุการเก็บหลังการเก็บเกี่ยว

ผู้วิจัย

รศ.ดร.ศักดิ์ชัย วิทยาอารีย์กุล

ดร.อุทัย วิชัย

ผศ.ดร.มยุรี กระจายกลาง

สนับสนุนโดยสำนักงานกองทุนสนับสนุนการวิจัย (สกว.)

สัญญาเลขที่ RDG 5020062

โครงการ “การพัฒนาตำรับฟิล์มเคลือบกล้วยไข่จากไคโตซานเพื่อยืดอายุการเก็บหลังการเก็บเกี่ยว”

บทสรุปย่อสำหรับผู้บริหาร

(Executive Summary)

ปัจจุบันประเทศไทยมีการผลิตสินค้าทางการเกษตรมากมายทั้งเพื่อบริโภคภายในประเทศและเพื่อส่งออก โดยมีรายได้จากการส่งออกสินค้าทางการเกษตรเป็นมูลค่านับหมื่นล้านบาท ผลผลิตทางการเกษตรของไทยมีการสูญเสียเกิดขึ้นได้จากหลายขั้นตอน ขั้นตอนที่สำคัญขั้นตอนหนึ่งคือการเก็บรักษาผลผลิตทางการเกษตรภายหลังการเก็บเกี่ยวที่มีในการลดการสูญเสียและการรักษาคุณภาพของสินค้าทางการเกษตรเหล่านั้น เพื่อให้ได้ผลผลิตที่มีคุณภาพดีและเป็นการสร้างมูลค่าเพิ่ม กล้วยไข่ [Musa (AA group)] ปัจจุบันเป็นสินค้าออกที่ส่งไปยังประเทศสิงคโปร์ ญี่ปุ่น และฮ่องกง กล้วยไข่เป็นพืชเศรษฐกิจที่สำคัญของจังหวัดกำแพงเพชรนำรายได้มาสู่จังหวัด กลายมาเป็นพืชสัญลักษณ์ของจังหวัดกำแพงเพชร แต่กล้วยไข่มีปัญหาคุณภาพผิวดกกระ การตกกระของกล้วยไข่เป็นความผิดปกติทางด้านสรีระวิทยา โดยในระยะเริ่มแรกจุดตกกระจะมีขนาดเล็กสีน้ำตาลกระจายไปยังส่วนต่างๆ ของเปลือกทั่วทั้งผล และจะขยายขนาด เพิ่มจำนวนและความหนาแน่นขึ้นเมื่อกล้วยสุกมากขึ้น จุดตกกระจะขยายขนาดเชื่อมติดกันเกิดเป็นแผลสีน้ำตาลเข้มและดำในที่สุด จึงทำให้ราคาตก คุณภาพของผลิตภัณฑ์ลดลง ไม่เป็นที่ต้องการของตลาดทั้งในและนอกประเทศ

การใช้สารเคลือบผิวเป็นการยืดอายุการเก็บรักษากล้วยด้วยกลไกใช้แผ่นฟิล์มเคลือบที่มีคุณสมบัติเป็นเชื้อเลือกผ่านเช่นเดียวกับวิธีการใส่ถุงพลาสติกโพลีเอทิลีนที่สามารถยืดอายุการเก็บ สารธรรมชาติที่นำมาพัฒนาและประยุกต์ใช้ก็คือไคโตซาน เนื่องจากไคโตซานเป็นสายโพลีแซคคาไรด์ซึ่งสามารถผลิตได้จากเปลือกกุ้งและแกนในของปลาหมึก โดยไคโตซานมีมากในธรรมชาติและราคาถูก ปลอดภัยในการบริโภคโดยไม่ต้องล้างออก ไคโตซานสามารถก่อตัวเป็นแผ่นฟิล์มที่มีคุณสมบัติควบคุม ป้องกันการระเหยของน้ำ และสารอื่นๆ อย่างไรก็ตามไคโตซานมีข้อเสียคือ ความสามารถในการละลายน้อยในน้ำแต่จะละลายได้ดีในสภาวะกรด ดังนั้นการนำไคโตซานที่ละลายในกรดมาทำการเคลือบผิวของผลไม้จะทำให้การเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันที่ผิวของผลไม้เร็วขึ้นและผลไม้จะมีรสและกลิ่นที่อาจทำให้ผลไม้เสียรสชาติไปจากเดิม การศึกษานี้ทำการเตรียมอนุพัทธ์ของไคโตซานที่มีประจุเป็นกลาง ประจุลบ และประจุบวกบนโครงสร้างหลักของไคโตซาน ทำให้ได้อนุพัทธ์ของไคโตซานที่มีผลดีจากไคโตซานและมีการละลายน้ำได้ดี จากนั้นทำการทดลองเลือกอนุพัทธ์ของไคโตซานที่มีประสิทธิภาพการเคลือบบนผลไม้ได้ดีที่สุด การศึกษานี้มีวัตถุประสงค์เพื่อทดลองตั้งตำรับแผ่นฟิล์มจากไคโตซานและอนุพัทธ์ของไคโตซาน พร้อมทั้งประเมินคุณสมบัติที่สำคัญในการเคลือบผลกล้วยไข่ของแผ่นฟิล์ม ได้แก่ การซึมผ่านของไอน้ำ การดูดซับน้ำ การซึมผ่านของอากาศ และความสามารถในการถูกชำระล้าง จากนั้นทดลองวิธีการที่เหมาะสมในการเคลือบฟิล์มลงบนกล้วยไข่เพื่อให้ได้แผ่นฟิล์มที่มีลักษณะเรียบสวย และมีประสิทธิภาพในการยืดอายุการเก็บกล้วยไข่ได้ดี ผลการทดลองพบว่าการใช้ไคโตซานความเข้มข้นร้อยละ 2 ร่วมกับโพรพิลีนไกลคอลร้อยละ 0.25 และทวิน 80 ร้อยละ 0.25 ด้วยการเคลือบเพียงครั้งเดียวเป็นทางเลือกที่ดีที่สุด ซึ่งจะมีต้นทุนเพิ่มขึ้นประมาณ 0.88 บาทต่อกล้วย 1 หวี และการเพิ่มสารสกัดชาเขียวก็เป็นทางเลือกที่มีประโยชน์

สัญญาเลขที่ RDG 5020062

โครงการ “การพัฒนาตำรับฟิล์มเคลือบกล้วยไข่จากไคโตซานเพื่อยืดอายุการเก็บหลังการเก็บเกี่ยว” ร่างสรุปรายงานฉบับสมบูรณ์

บทคัดย่อ

วัตถุประสงค์ของโครงการวิจัยนี้คือการพัฒนาตำรับฟิล์มจากไคโตซานสำหรับยืดอายุการเก็บรักษากล้วยไข่ภายหลังการเก็บเกี่ยว โดยเปรียบเทียบไคโตซานชนิดน้ำหนักโมเลกุลต่ำและปานกลาง โดยใช้โพรพิลีนไกลคอลและทวิน 80 เป็นสารเพิ่มความยืดหยุ่น ประเมินคุณสมบัติทางกายภาพ การดูดซับน้ำ การซึมผ่านของไอน้ำ และความยืดหยุ่นของแผ่นฟิล์ม นอกจากนี้ยังทำการสังเคราะห์อนุพันธ์ของไคโตซานที่ละลายน้ำได้ 3 ชนิด และศึกษาประสิทธิภาพในการยืดอายุการเก็บรักษากล้วยไข่หลังการเก็บเกี่ยวของคาร์บอกซีเมทิลไคโตซานเทียบกับตำรับไคโตซาน ผลการทดลองพบว่าแผ่นฟิล์มที่เตรียมได้จากไคโตซานน้ำหนักโมเลกุลต่ำได้ฟิล์มที่เปราะแตกง่าย ขณะที่ไคโตซานน้ำหนักโมเลกุลปานกลางมีคุณสมบัติรวมที่ดีกว่า ฟิล์มจากไคโตซานน้ำหนักโมเลกุลปานกลางความเข้มข้นร้อยละ 2 โดยน้ำหนักมีการดูดซับน้ำดีกว่าความเข้มข้นร้อยละ 1 โดยน้ำหนัก และไม่เปลี่ยนแปลงอย่างมีนัยสำคัญเมื่อเพิ่มโพรพิลีนไกลคอลหรือทวิน 80 การซึมผ่านของไอน้ำผ่านแผ่นฟิล์มจากไคโตซานความเข้มข้นร้อยละ 1 โดยน้ำหนักสูงกว่าที่ร้อยละ 2 โดยน้ำหนัก และสูงขึ้นเมื่อเพิ่มปริมาณโพรพิลีนไกลคอลและ/หรือทวิน 80 เมื่อเปรียบเทียบวิธีการเคลือบกล้วยไข่ด้วยวิธีการชุบเคลือบและการพ่นเคลือบพบว่าวิธีการชุบเคลือบได้ฟิล์มที่มีการกระจายตัวดี และไคโตซานเข้มข้นร้อยละ 2 ได้ฟิล์มที่กระจายตัวสม่ำเสมอกว่าร้อยละ 1 โดยน้ำหนัก ส่งผลให้มีอายุการเก็บที่นานกว่าโดยพิจารณาจากน้ำหนักที่เปลี่ยนแปลง สีที่เปลี่ยนแปลง และการตกกระ เมื่อเปรียบเทียบตำรับไคโตซาน ตำรับไคโตซานร่วมกับสารสกัดชาเขียว และตำรับคาร์บอกซีเมทิลไคโตซาน พบว่าตำรับไคโตซานความเข้มข้นร้อยละ 2 ร่วมกับโพรพิลีนไกลคอลร้อยละ 0.25 และทวิน 80 ร้อยละ 0.25 สามารถยืดอายุการเก็บได้นานขึ้น 2 วัน การเพิ่มสารสกัดชาเขียวร้อยละ 0.25 ได้ผลใกล้เคียงกันแต่จะช่วยลดการเกิดดำหนิได้ ส่วนการใช้คาร์บอกซีเมทิลไคโตซานร้อยละ 1 และ 3 โดยน้ำหนัก กลับส่งผลให้กล้วยสุกเร็วขึ้นและมีอายุการเก็บเพียง 9 วัน ดังนั้นอาจสรุปได้ว่าการใช้ไคโตซานความเข้มข้นร้อยละ 2 ร่วมกับโพรพิลีนไกลคอลร้อยละ 0.25 และทวิน 80 ร้อยละ 0.25 ด้วยการชุบเคลือบเพียงครั้งเดียวเป็นทางเลือกที่ดีที่สุด ซึ่งจะมีต้นทุนเพิ่มขึ้นประมาณ 0.88 บาทต่อกล้วย 1 หวี และการเพิ่มสารสกัดชาเขียวก็เป็นทางเลือกที่มีประโยชน์

Abstract

The purpose of this research was to develop film coating formulations using chitosan to prolong postharvest shelf-life of Kluai Khai, Musa (AA group). Low and medium molecular weight chitosans were compared for preparing film using polyethylene glycol (PEG) and polysorbate 80 (tween 80) as film plasticizers. The prepared free films were evaluated for their overall physical appearance, water adsorption, water vapor penetration, and stretching ability. Moreover, this research also produced 3 types of chitosan derivatives to improve chitosan solubility. The prolong shelf-life efficacy of carboxymethylchitosan (CMC) was compared with chitosan formulations. The results showed that low molecular weight chitosan produced non-uniform and brittle films, while medium molecular weight chitosan produced film with relatively better overall properties. The evaluation result of the medium molecular weight free film showed that water adsorption of the film prepared from 2% w/v chitosan was higher than that prepared from 1% w/v chitosan and did not significantly change with the addition of PEG or tween 80. The water vapor penetration was found to be higher in the film prepared from 1% w/v chitosan comparing to 2% chitosan and it could be increased with the addition of PEG and/or tween 80. The stretching test showed that 1% w/v chitosan produced film with higher stretching ability than 2% w/v chitosan and the addition of PEG and/or tween 80 improved the stretching ability of the films. These film formulations were tested using dip-coating and spray-coating methods. The results revealed that dip-coating method provided a smoother and much better spreading ability film when using 2% w/v chitosan than 1% w/v chitosan. This resulted in longer postharvest shelf-life, when considered from weight loss, color change and senescence spotting evaluation methods. The results revealed that 2% chitosan formulation with 0.25% PEG and 0.25% tween 80 provided additional 2 days shelf-life, while inclusion of 0.25% green tea extract provided similar results with less overall fruit defect. In contrary, 1% and 3% CMC induced banana fruit ripening and had shelf-life for only 9 days. In conclusion, film formulation containing 2% w/v of medium molecular weight chitosan, 0.25% PEG and 0.25% tween 80 using a single dip-coating method provided the best option with additional 0.88 baht per banana hand and inclusion of green tea extract proved to be a good alternative.

สารบัญ

	หน้า
1 บทสรุปสำหรับผู้บริหาร	i
2 บทคัดย่อภาษาไทย	ii
3 บทคัดย่อภาษาอังกฤษ	iii
บทที่ 1 บทนำ	
1 หลักการและเหตุผล	1
2 วัตถุประสงค์	3
3 ประโยชน์ของโครงการ	3
บทที่ 2 วัสดุอุปกรณ์และวิธีการทดลอง	
สารเคมีที่ใช้ในการวิจัย	4
เครื่องมือที่ใช้ในการวิจัย	4
วิธีการทดลอง	
I การศึกษาวิธีการสังเคราะห์อนุพันธ์ของไคโตซาน	5
1. ศึกษาการสังเคราะห์คาร์บอกซีเมทิลไคโตซาน (Carboxymethylchitosan; CMC)	5
2. ศึกษาการสังเคราะห์ N-[(2-hydroxy-3-trimethylammonium) propyl] chitosan chloride	6
3. ศึกษาการสังเคราะห์ Chitosan N-sulfate	7
4. การศึกษาคุณสมบัติการละลายน้ำของอนุพันธ์ไคโตซาน	7
II การศึกษาการเตรียมแผ่นฟิล์มจากไคโตซานชนิดน้ำหนักโมเลกุลต่ำและ น้ำหนักโมเลกุลปานกลาง	8
1. การเตรียมแผ่นฟิล์มเปล่าจากไคโตซาน	8
2. การศึกษาคุณสมบัติของแผ่นฟิล์มเปล่า	8
III การศึกษาประสิทธิภาพเบื้องต้นของฟิล์มไคโตซานชนิดน้ำหนักโมเลกุล ปานกลางในการยึดอายุการเก็บกล้วยไข่	10
1. ศึกษาวิธีการเคลือบฟิล์มลงบนกล้วยไข่	10
2. ประเมินความสามารถในการยึดอายุการเก็บกล้วยไข่หลังการ เก็บเกี่ยว	12
IV การศึกษาประสิทธิภาพของดาร์บฟิล์มไคโตซานและคาร์บอกซีเมทิลไค โตซานในการยึดอายุการเก็บกล้วยไข่	13
1. การเตรียมพืชทดสอบ	13

	หน้าที่
2. แผนการทดลองและการแบ่งกลุ่มการทดลอง	16
3. สภาพการเก็บรักษา	17
4. การบันทึกข้อมูล	17
5. การเปลี่ยนแปลงทางกายภาพ	17
6. อายุการวางจำหน่าย	20
7. การวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติ	20
V การศึกษาประสิทธิภาพของฟิล์มไคโตซานและคาร์บอกซีเมทิลไคโตซานในการต้านการเจริญของเชื้อรา	21
1. การแยกเชื้อราก่อโรคบนกล้วยไข่	21
2. การทดสอบประสิทธิภาพการยับยั้งเชื้อราบนกล้วยไข่	21
บทที่ 3 ผลการทดลองและอภิปรายผลการทดลอง	
I ผลการสังเคราะห์อนุพันธ์ของไคโตซาน	22
1. ผลการสังเคราะห์คาร์บอกซีเมทิลไคโตซาน (Carboxymethylchitosan; CMC)	22
2. ผลการสังเคราะห์ N-[(2-hydroxy-3-trimethylammonium) propyl] chitosan chloride	26
3. ผลการสังเคราะห์ Chitosan N-sulfate	28
4. ผลการศึกษาคุณสมบัติการละลายน้ำของอนุพันธ์ไคโตซาน	31
II การศึกษาการเตรียมแผ่นฟิล์มจากไคโตซานชนิดน้ำหนักรีดและน้ำหนักรีดปานกลาง	33
1. การเตรียมแผ่นฟิล์มเปล่าจากไคโตซาน	33
2. การศึกษาคุณสมบัติของแผ่นฟิล์มเปล่า	36
III การศึกษาประสิทธิภาพเบื้องต้นของฟิล์มไคโตซานชนิดน้ำหนักรีดปานกลางในการยืดอายุการเก็บกล้วยไข่	40
1. ศึกษาวิธีการเคลือบฟิล์มลงบนกล้วยไข่	40
2. ประเมินความสามารถในการยืดอายุการเก็บกล้วยไข่หลังการเก็บเกี่ยว	41
IV การศึกษาประสิทธิภาพของดาร์บีฟิล์มไคโตซานและคาร์บอกซีเมทิลไคโตซานในการยืดอายุการเก็บกล้วยไข่	44
1. การทดลองที่ 1	44
2. การทดลองที่ 2	53
3. การทดลองที่ 3	61
V การศึกษาประสิทธิภาพของฟิล์มไคโตซานและคาร์บอกซีเมทิลไคโตซานในการต้านการเจริญของเชื้อรา	21

	หน้าที่
1. ผลการแยกเชื้อราก่อโรคบนกล้วยไข่	71
2. ผลการทดสอบประสิทธิภาพการยับยั้งเชื้อราบนก้านข้าวกล้วยไข่	71
 บทที่ 4 สรุปผลการทดลองและข้อเสนอแนะ	101
 เอกสารอ้างอิง	102
 ภาคผนวก ก - รูปและคะแนนการประเมินกล้วยไข่	
 ภาคผนวก ข – รูปผลการประเมินกล้วยไข่	

บทที่ 1

บทนำ

หลักการและเหตุผล

ปัจจุบันประเทศไทยมีการผลิตสินค้าทางการเกษตรมากมายทั้งเพื่อบริโภคภายในประเทศและเพื่อส่งออก โดยมีรายได้จากการส่งออกสินค้าทางการเกษตรเป็นมูลค่านับหมื่นล้านบาท ด้วยเหตุนี้รัฐบาลไทยจึงมีนโยบายในการปรับปรุงสินค้าทางการเกษตรให้มีคุณภาพได้มาตรฐานตามความต้องการของตลาดโลก ทั้งนี้เพื่อให้ประเทศไทยเป็นแหล่งผลิตอาหารและเป็นครัวของโลก ปัจจุบันผลิตผลทางการเกษตรของไทยมีการสูญเสียเกิดขึ้นได้จากหลายขั้นตอน เช่น ขั้นตอนการเก็บเมล็ดพันธุ์ก่อนปลูก ขั้นตอนการปลูก ขั้นตอนการบำรุงรักษาระหว่างการปลูก ขั้นตอนการเก็บผลผลิต ตลอดจนถึงขั้นตอนการเก็บรักษาผลิตผลทางการเกษตรภายหลังการเก็บเกี่ยว วิทยาการหลังการเก็บเกี่ยวเป็นส่วนหนึ่งที่มีความสำคัญอย่างยิ่งต่อการลดการสูญเสียและการรักษาคุณภาพของสินค้าทางการเกษตรเหล่านั้น ทั้งนี้เทคโนโลยีต่างๆ จำเป็นที่จะต้องศึกษาอย่างเป็นระบบและอย่างต่อเนื่อง เพื่อให้ได้ผลิตผลที่มีคุณภาพดีและเป็นการสร้างมูลค่าเพิ่ม ตลอดจนสามารถส่งผลิตผลไปแข่งขันในตลาดต่างประเทศได้

ทางเลือกหนึ่งของการผลิตและบรรจุสินค้าผัก ผลไม้สด ก็คือการใช้สารเคมีถนอมรักษา หรือช่วยชะลอการสุกรวมทั้งช่วยคงคุณภาพของผัก ผลไม้สดหลังการเก็บเกี่ยวด้วย การให้สารเคมีเข้าไปรบกวนการทำงานของเอนไซม์ซึ่งเป็นฮอร์โมนที่กระตุ้นกระบวนการที่ทำให้เกิดการสุกในพืช สารเอนไซม์ถูกนำไปใช้กับสินค้ากล้วย (Winqvist et al., 1990; Palomer et.al., 2005) เพื่อทำให้สามารถจำหน่ายกล้วยในขณะที่มีกลิ่นรส สุกหอมกำลังดี โดยเกษตรกรจะเก็บเกี่ยวกล้วยและทำการขนส่งไปยังปลายทางในขณะที่ผลกล้วยมีสีเขียว หรือยังไม่สุก เพื่อความสะดวกในการขนส่ง หลังจากนั้นจะนำกล้วยไปเก็บในห้องที่มีเอนไซม์อยู่ เมื่อเอนไซม์ระเหยออกสู่อากาศสัมผัสกับผลกล้วยดิบ เอนไซม์ก็จะไปกระตุ้นให้กล้วยเกิดกระบวนการสุกในช่วงเวลาที่เหมาะสม พร้อมทั้งจะจำหน่าย อย่างไรก็ดีตามวิธีการดังกล่าวยังมีข้อจำกัดที่เป็นการเก็บผลผลิตที่ยังไม่สุกเต็มที่เพื่อที่จะเก็บได้นานขึ้น แล้วจึงเร่งให้สุกเมื่อต้องการ แต่สำหรับผลไม้หลายชนิดรวมทั้งกล้วยที่สุกแล้ว จะเกิดการเน่าเสียได้อย่างรวดเร็ว ดังนั้นเพื่อเป็นการส่งเสริมการส่งออกของผลิตผลทางการเกษตรที่มีประสิทธิภาพมากยิ่งขึ้น จึงควรมีวิทยาการหลังการเก็บเกี่ยวใหม่ๆ เข้าช่วยเสริมให้พืชผักผลไม้หลายชนิดอยู่ในสภาพสด และมีอายุการเก็บที่นานขึ้น

กล้วยไข่

กล้วยเป็นพืชเศรษฐกิจที่คนไทยรู้จักกันดีเพราะนอกจากจะสามารถรับประทานได้แล้ว ใบกล้วยหรือใบตองยังมีประโยชน์ในการใช้สอยหลายอย่าง นอกจากนี้กล้วยยังเป็นพืชที่มีต้นทุนในการปลูกต่ำ ดูแลรักษาง่าย และให้ผลผลิตเร็ว และสามารถปลูกและเจริญเติบโตได้ในทุกภาคของประเทศไทย (พานิชย์, 2541) กล้วยไข่ [Musa (AA group) 'Kluai Khai' กลุ่มย่อย Sucrier] ชื่ออื่น กล้วยกระ ชื่อสามัญ Pisang Mas กล้วยไข่ปลูกกันมากเป็นการค้าที่จังหวัดกำแพงเพชร ตาก นครสวรรค์ เพชรบุรี และปลูกทั่วไป ในสวนหลังบ้านในทุกภาคของประเทศไทย เพราะเป็นกล้วยที่มีรสชาติดี และใช้ในเทศกาลสารทไทย ผลรับประทานสด และเป็นเครื่องเคียงของข้าวเม่าคูก และกระยาสารท นอกจากนี้ยังใช้ทำกล้วยเชื่อม ข้าวเม่าทอด และกล้วยบวชชี ปัจจุบันกล้วยไข่เป็นสินค้าออกที่ส่งไปยังประเทศ สิงคโปร์ ญี่ปุ่น และฮ่องกง

(เบญจมาศ, 2545) กล้วยไข่เป็นพืชเศรษฐกิจที่สำคัญของจังหวัดกำแพงเพชรนำรายได้มาสู่จังหวัดเป็นมูลค่าปีละไม่น้อยกว่า 300 ล้านบาทและกลายมาเป็นพืชสัญลักษณ์ของจังหวัดและสร้างชื่อเสียงให้กับจังหวัดกำแพงเพชร (สำนักงานคณะกรรมการวัฒนธรรมแห่งชาติ, 2550) กล้วยไข่ที่ปลูกในจังหวัดกำแพงเพชรได้รับการยอมรับจากผู้บริโภคว่า มีรสหวานเนื้อนุ่มตลอดทั้งผล เนื่องจากแกนในของกล้วยไม่กระด้าง ทำให้เกิดความกลมกลืนกับรสชาติที่หวานของกล้วยไข่ขณะรับประทาน จึงเป็นที่นิยมบริโภคผลไม่ตามฤดูกาลโดยทั่วไป แต่กล้วยไข่มีปัญหาคุณภาพผิวตกกระ (senescent spotting) จึงทำให้ราคาตก คุณภาพของผลิตภัณฑ์ลดลง ไม่เป็นที่ต้องการของตลาดทั้งในและนอกประเทศ

การตกกระของกล้วยไข่เป็นความผิดปกติทางด้านสรีระวิทยา (physiological disorder) โดยในระยะเริ่มแรกจุดตกกระจะมีขนาดเล็กสีน้ำตาลกระจายไปยังส่วนต่างๆ ของเปลือกทั่วทั้งผล และจะขยายขนาด เพิ่มจำนวนและความหนาแน่นขึ้นเมื่อกล้วยสุกมากขึ้น จุดตกกระจะขยายขนาดเชื่อมติดกันเกิดเป็นแผลสีน้ำตาลเข้มและดำในที่สุด โดยพบว่าสาเหตุที่กีดการตกกระมาจากสารพวกฟีนอลในเปลือกผล และกิจกรรมของเอนไซม์บางชนิด คือ phenylalanine ammonium lyase (PAL) and polyphenol oxidase (PPO; catechol oxidase) (สายชล, 2538; Choehoma et al., 2004) จากปัญหาด้านคุณภาพของกล้วยที่มีลักษณะไม่เป็นที่พึงต้องการของผู้บริโภคจึงได้พัฒนาแก้ไขการควบคุมไม่ให้กล้วยไข่ตกกระสามารถทำได้โดยการบรรจุกล้วยไข่ที่สุกในถุงที่มีส่วนประกอบหลักเป็นพลาสติกโพลีเอทิลีน (Jiang et al., 1999) ผลการทดลองพบว่าการเติมสาร 1-เมทิลไซโครโปรเพนลงในพลาสติกโพลีเอทิลีนสามารถยืดอายุการเก็บรักษากล้วยได้นานกว่าการใช้พลาสติกโพลีเอทิลีนเพียงอย่างเดียว และมีการทดลองห่อหุ้มกล้วยไข่ที่อยู่นอกระบบด้วยพลาสติกฟิล์มพีวีซีและพีอีที (DeL Nobile et al., 2007) การเคลือบผิวผลกล้วยไข่ด้วยสารเคลือบผิว (Setha et al., 2003) การใช้สารเคลือบผิวเป็นการยืดอายุการเก็บรักษากล้วยด้วยกลไกใช้แผ่นฟิล์มเคลือบที่มีคุณสมบัติเป็นเชื้อเลือกผ่านเช่นเดียวกับวิธีการใส่ถุงพลาสติกโพลีเอทิลีน ซึ่งเป็นการป้องกันไม่ให้ แก๊ส ไอระเหย และสารถูกละลาย เข้าออกจากอาหาร จึงยืดอายุการเก็บรักษา แต่การเคลือบด้วยสารเคลือบจะมีข้อดีเหนือกว่าการใส่ถุงพลาสติกโพลีเอทิลีนคือลดขั้นตอนการขึ้นรูปเป็นถุง และขั้นตอนการบรรจุกล้วยลงในถุง โดยที่วิธีการเคลือบด้วยสารเคลือบสามารถทำได้โดยการสเปรย์เคลือบหรือการชุบเคลือบ ซึ่งสะดวก และสามารถทำได้ทั้งก่อนและหลังการเก็บเกี่ยว

การใช้สารเคลือบผิว

ปัจจุบันผู้คนใส่ใจดูแลสุขภาพมากขึ้น สารเคลือบผิวที่บริโภคได้จะมีความปลอดภัยต่อผู้บริโภค ซึ่งจะได้มาจากพืช เช่น แป้งชนิดต่างๆ จากธัญพืช พืชบริโภคราก และลำต้นใต้ดิน เป็นต้น นอกจากนั้นน้ำมันพืชบางชนิดก็สามารถนำมาใช้เคลือบผิวผลิตผลได้ เช่น น้ำมันปาล์มโอเลอินกับน้ำ และเนยจืดกับน้ำช่วยยืดอายุการเก็บรักษากล้วยไข่ สารเคลือบผิวที่บริโภคได้จากสัตว์ เช่น เจลาติน และไคโตซาน เป็นต้น (दनัย และนิธิยา, 2546)

โดยสารธรรมชาติที่น่าจะมีการนำมาพัฒนาและประยุกต์ใช้ก็คือไคโตซาน ไคโตซาน มีประจุบวกเป็นสายโพลีแซคคาไรด์ซึ่งสามารถผลิตได้จากเปลือกกุ้งและแกนในของปลาหมึก โดยไคโตซานมีมากในธรรมชาติและราคาถูกปลอดภัยในการบริโภคโดยไม่ต้องล้างออก ไคโตซานสามารถก่อตัวเป็นแผ่นฟิล์มที่มีคุณสมบัติควบคุม ป้องกันการระเหยของน้ำ และสารอื่นๆ สามารถประยุกต์ใช้ประโยชน์ได้หลายประการเช่น เป็นแผ่นฟิล์มปิดรักษาแผล (Wittaya-areekul and Prahsarn, 2006) และเป็นฟิล์มเคลือบเมื่อยาชนิดควบคุมการปลดปล่อย (Macleod et al., 1999; Ofori-Kwakye et al., 2004) จากความสามารถในการก่อตัวเป็นแผ่นฟิล์ม และความสามารถในการทำน้ำที่เป็นเชื้อเลือกผ่านของไคโตซาน และสารต่างๆ จึงสามารถนำแผ่นฟิล์มจากไคโตซานมาพัฒนาเป็นแผ่นฟิล์มสำหรับเคลือบผลไม้ที่สามารถช่วยยืดอายุของผลไม้ทำให้เก็บได้นานยิ่งขึ้น โดยที่ไม่เกิดปัญหาการเน่าใน อันหมายถึงการที่ผลไม้ดูดีเพียงภายนอกแต่ภายในเกิดการเน่าเสียแล้ว ดังนั้นจึงมีการนำไคโตซานมาเคลือบผลไม้หลายชนิด เช่น พืชตระกูลส้ม (Chien et al., 2007) สตรอว์เบอร์รี่ (Hernández-Muñoz et

al., 2006) มะเขือเทศ (Liu et al., 2007) ลิ้นจี่ (Jiang et al., 2005) ลำไย (Jiang et al., 2001) และอื่นๆ เนื่องจากไม่มีพิษ และปลอดภัย เนื่องจากเป็นสารธรรมชาติซึ่งไม่มีผลข้างเคียงกับทั้งสิ่งแวดล้อมและผู้บริโภคถึงแม้จะมีการรับประทานฟิล์มที่เคลือบเข้าไป อย่างไรก็ตามไคโตซานมีข้อเสียคือ ความสามารถในการละลายน้อยในน้ำแต่จะละลายได้ดีในสภาวะกรด เช่น กรดอะซิติก กรดแลคติก และกรดซิตริก ดังนั้นการนำไคโตซานที่ละลายในกรดมาทำการเคลือบผิวของผลไม้จะทำให้การเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันที่ผิวของผลไม้เร็วขึ้นและผลไม้จะมีรสและมิกกลิ่นที่อาจทำให้ผลไม้เสียรสชาติไปจากเดิม ดังนั้นการปรับปรุงแก้ไขความสามารถในการละลายของไคโตซาน ให้สามารถละลายน้ำได้จะทำให้การเคลือบผิวของผลไม้เป็นไปได้ง่าย ปลอดภัย โดยในการศึกษานี้โดยทำการเตรียมอนุพันธ์ของไคโตซานที่มีประจุเป็นกลาง (Zhang et al., 2003; Je and Kim, 2005) ที่มีประจุเป็นลบ (Holme and Perlín, 1997) และที่มีประจุเป็นบวก (Xie et al., 2007) บนโครงสร้างหลักของไคโตซาน ทำให้ได้อนุพันธ์ของไคโตซานที่มีผลดีจากไคโตซานและมีการละลายน้ำได้ดี จากนั้นทำการทดลองเลือกอนุพันธ์ของไคโตซานที่มีประสิทธิภาพการเคลือบบนผลไม้ได้ดีที่สุด การศึกษานี้มีวัตถุประสงค์เพื่อทดลองตั้งตำรับแผ่นฟิล์มจากไคโตซานและอนุพันธ์ของไคโตซาน พร้อมทั้งประเมินคุณสมบัติที่สำคัญในการเคลือบผลกล้วยไข่ของแผ่นฟิล์ม ได้แก่ การซึมผ่านของไอน้ำ การดูดซับน้ำ การซึมผ่านของอากาศ และความสามารถในการถูกชำระล้าง จากนั้นทดลองวิธีการที่เหมาะสมในการเคลือบฟิล์มลงบนกล้วยไข่ให้ได้แผ่นฟิล์มที่มีลักษณะเรียบสวย ไม่เป็นอันตรายเมื่อรับประทาน และมีประสิทธิภาพในการยืดอายุการเก็บกล้วยไข่ได้ดี

วัตถุประสงค์

1. เพื่อศึกษาวิธีการสังเคราะห์ดัดแปลงโครงสร้างไคโตซานให้ได้อนุพันธ์ที่ละลายน้ำได้ดี
2. เพื่อศึกษาการเตรียมฟิล์มจากไคโตซานและอนุพันธ์ของไคโตซาน
3. เพื่อประเมินคุณสมบัติของแผ่นฟิล์มจากไคโตซานและอนุพันธ์ของไคโตซาน
4. เพื่อศึกษาประสิทธิภาพของแผ่นฟิล์มไคโตซานและอนุพันธ์ของไคโตซานในการยืดอายุการเก็บกล้วยไข่

ประโยชน์ของโครงการ

ได้ฟิล์มเคลือบกล้วยไข่จากไคโตซานหรืออนุพันธ์ของไคโตซานที่มีประสิทธิภาพในการยืดอายุการเก็บกล้วยไข่หลังการเก็บเกี่ยว

บทที่ 2

วิธีการทดลอง

สารที่ใช้ในการวิจัย

1. Medium molecular chitosan (MW 250 – 500 kDa), a deacetylation degree of 96%, Aqua Premier Co., Ltd. Chonburi, Thailand
2. Polysorbate (Tween 80), Lot 601858 บริษัท ศรีจันทร์สหโอสถ จำกัด Thailand
3. Magnesium sulfate (MgSO_4)
4. Polyethylene glycol (PEG-400)
5. Sodium Hydroxide (NaOH 0.1 N)
6. Phenolphthalein 1% (w/v)
7. น้ำกลั่น ($\text{d H}_2\text{O}$)

เครื่องมือที่ใช้ในการวิจัย

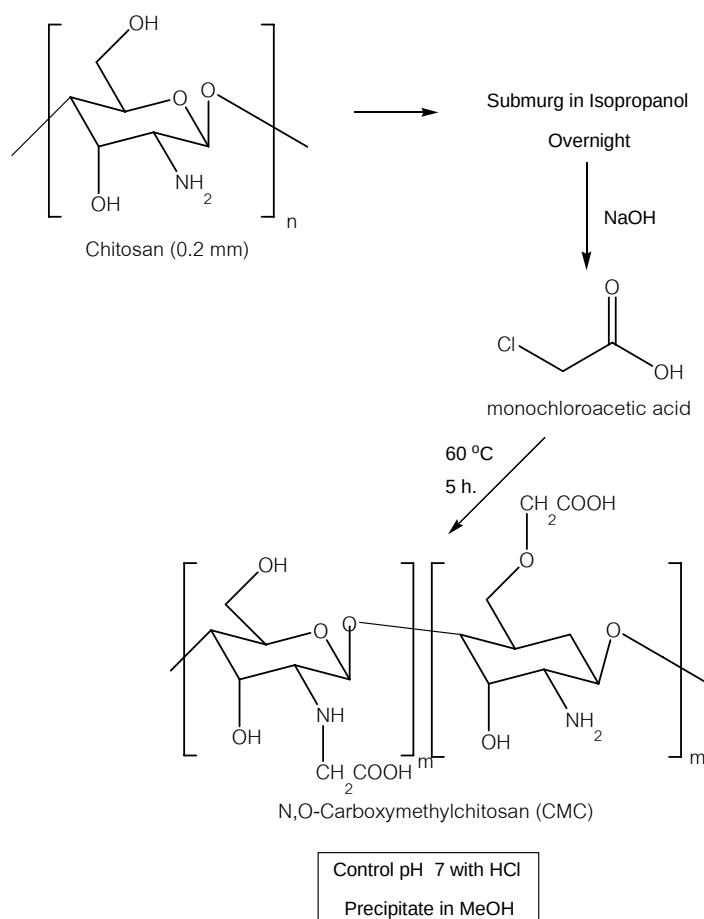
1. บีกเกอร์ขนาด 50, 100, 250, 1000 มิลลิลิตร
2. กระบอกตวงขนาด 10 และ 100 มิลลิลิตร
3. เครื่องชั่งไฟฟ้าชนิด 2 ตำแหน่ง (Sartorius, CP 3202S, Germany)
4. เครื่องชั่งไฟฟ้าชนิด 4 ตำแหน่ง (Sartorius, BS 224S S/N 2150800, Germany)
5. เครื่องวัดการหักเหของแสงแบบอัตโนมัติ (Digital Refractometer, ATAGO, Cat. No. 3810, Japan)
6. เครื่องวัดความเป็นกรด-ด่าง (pH meter, EcoScan pH 5, Eutech instruments, Singapore)
7. เครื่องวัดสี (Hunter's Colorimeter MiniScan XE PLUS model No.45/ O-S, Hunter Associates Laboratory Inc., USA)
8. เครื่องมือวัดความแน่นเนื้อ (Fruits Handness Tester, NOW FHR-1, Nippon Optical Works Co., Ltd., Japan)
9. บิวเรตแบบอัตโนมัติ (Digital Burette III 4750150, Brand, Germany)
10. กล้องถ่ายภาพ (Panasonic Lumix DMC-FX33, Panasonic Siew Sales (Thailand) Co., Ltd., Bangkok)
11. เครื่องปั่นเหวี่ยง (Centrifuge, Sorvall Biofuge Stratos, Model D – 37520, Kendro Laboratory Products, Osterode, Germany)
12. เครื่องวัดอุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์แบบพกพา (Data logger, H8 Family RH/Temp, HOBO, USA)
13. เครื่องปั่นผลไม้

วิธีการทดลอง

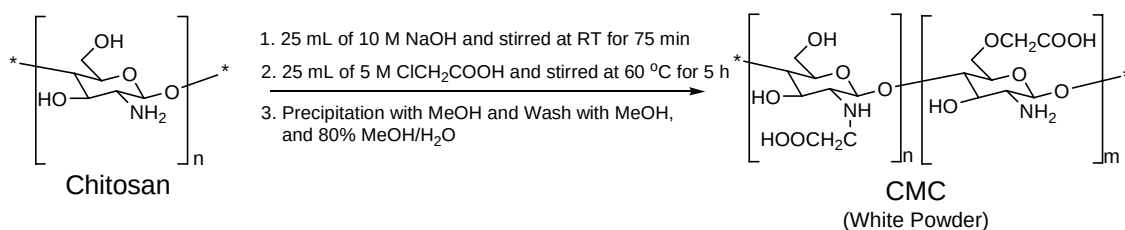
I. การศึกษาวิธีการสังเคราะห์อนุพันธ์ของไคโตซาน

1. ศึกษาการสังเคราะห์คาร์บอกซีเมทิลไคโตซาน (Carboxymethylchitosan; CMC)

สังเคราะห์คาร์บอกซีเมทิลไคโตซานโดยเตรียมบีกเกอร์ที่แห้งและสะอาดขนาด 250 มิลลิลิตร เติมน้ำของสารโพลิเมอร์ไคโตซานจากถุง 10 กรัม ลงในไอโซโพรพานอล 200 มิลลิลิตร เติมน้ำละลาย 10 โมลาร์ โซเดียมไฮดรอกไซด์ (NaOH) 25 มิลลิลิตร โดยทำการแบ่งใส่ 6 ครั้ง ทุกๆ 5 นาที กวนสารละลายที่ได้ ณ อุณหภูมิห้อง เป็นเวลา 90 นาที ด้วยเครื่องกวนแม่เหล็ก (Magnetic stirrer) จากนั้นเติมน้ำละลาย 5 โมลาร์ โมโนคลอโรอะซิติกแอซิด 25 มิลลิลิตร โดยทำการแบ่งใส่ 6 ครั้ง ทุกๆ 10 นาที ทำปฏิกิริยาที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 5 ชั่วโมง สุดท้ายทำการตกตะกอนสารละลายด้วยเมทานอล (MeOH) กรองตะกอนที่เกิดขึ้น ล้างตะกอนด้วยเมทานอล และเมทานอลต่อน้ำกลั่น 8:2 (v/v) ตามลำดับนำไปทำให้แห้งโดยนำไปเข้าตู้อบที่อุณหภูมิ 40 องศาเซลเซียส ได้ผลิตภัณฑ์ของคาร์บอกซีเมทิลไคโตซานเป็นตะกอนสีขาว [คัดแปลงจาก Xi-Guang Chen, Hyun-Jin Park, Carbohydrate Polymers, 2003, 53, 355-359] ดังมีรายละเอียดขั้นตอนการสังเคราะห์ในรูปที่ 1 จากนั้นปรับขั้นตอนให้ง่ายขึ้นและมีปริมาณผลผลิตและลักษณะทางกายภาพที่ดี ดังแสดงในรูปที่ 2



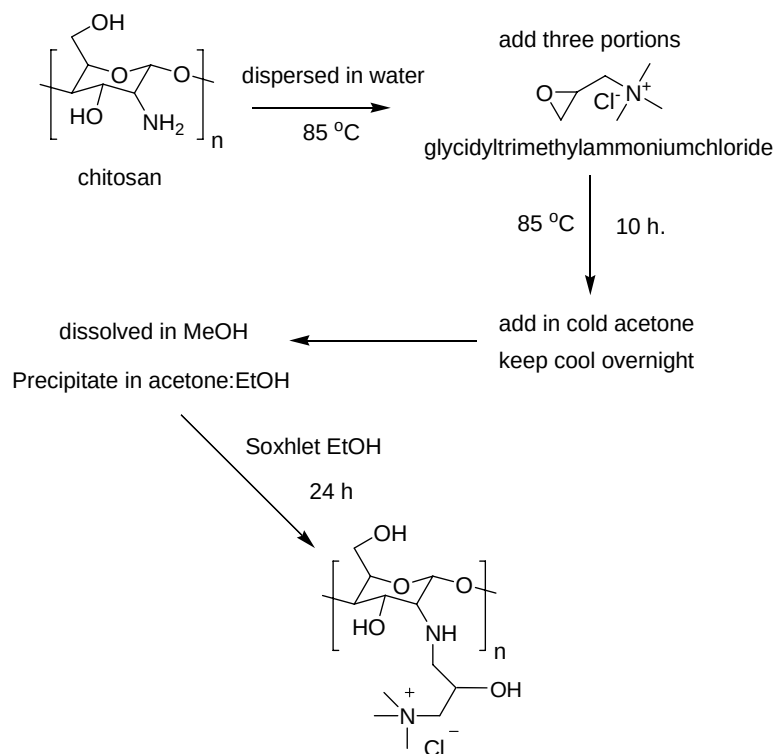
รูปที่ 1 – ขั้นตอนการเตรียมคาร์บอกซีเมทิลไคโตซาน (Chen et al., 2003)



รูปที่ 2 – ขั้นตอนการสังเคราะห์คาร์บอกซีเมทิลไคโตซาน

2. ศึกษาการสังเคราะห์ N-[(2-hydroxy-3-trimethylammonium) propyl] chitosan chloride

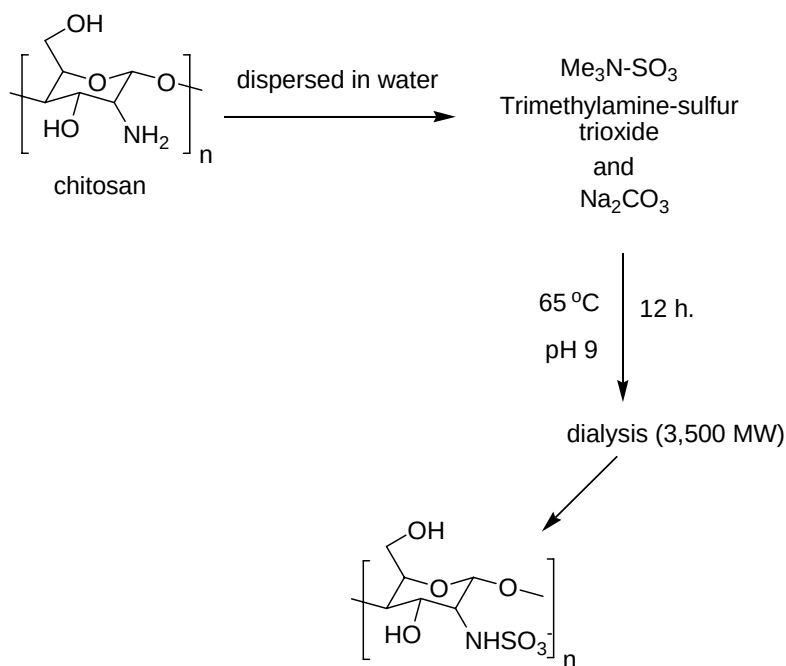
เตรียม N-[(2-hydroxy-3-trimethylammonium)propyl]chitosan chloride (HTCC) โดยใช้ไคโตซานจำนวน 6 กรัม แฉ่งลงในน้ำกลั่นปริมาตร 60 มิลลิลิตร ปั่นกวนที่อุณหภูมิ 85 องศาเซลเซียส จากนั้นค่อยๆ เติม Glycidyl trimethyl ammonium (GTMAC) ปริมาตร 21 มิลลิลิตร โดยแบ่งใส่ 3 ครั้งทุกๆ 2 ชั่วโมง ทำปฏิกิริยาที่อุณหภูมิ 85 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 10 ชั่วโมง จากนั้นเทลงในอะซิโตนเย็นปริมาตร 200 มิลลิลิตร และเก็บไว้ในตู้เย็นเป็นเวลา 1 คืน จากนั้นนำสารละลายมาเติมลงในเมทานอลปริมาตร 100 มิลลิลิตร นำไปตกตะกอนในสารละลายผสมระหว่างอะซิโตนและเอทานอล (อัตราส่วน 4:1, 250 มิลลิลิตร) นำส่วนที่ตกตะกอนมาล้างส่วนที่ไม่ทำปฏิกิริยาออกด้วยเอทานอลร้อน (เทคนิค Soxhlet extraction) เป็นเวลา 24 ชั่วโมง นำไปอบที่อุณหภูมิ 70 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 1 คืน [ดัดแปลงจาก Sang-Hoon Lim, Samuel M Hudson, Carbohydrate Research, 2004, 339, 313-319] ดังแสดงในรูปที่ 3



รูปที่ 3 – ขั้นตอนการเตรียม N-[(2-hydroxy-3-trimethylammonium)propyl]chitosan chloride (Lim et.al., 2004)

3. ศึกษาการสังเคราะห์ Chitosan N-sulfate

เตรียม chitosan sulfate โดยการนำไคโตซานจำนวน 1 กรัม มาทำการปั่นกวนในน้ำกลั่นปริมาตร 100 มิลลิลิตร เป็นเวลา 1 ชั่วโมง จากนั้นเติม Na_2CO_3 ปริมาณ 1.12 กรัม และ $\text{Me}_3\text{N-SO}_3$ 2.58 กรัม ลงไปทำปฏิกิริยากับไคโตซานที่อุณหภูมิ 70 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 12 ชั่วโมง แล้วทำการตกตะกอนในสารละลายอะซิโตนเย็น [ดัดแปลงจาก Kevin R Holme, Arther S Perlin, Carbohydrate Research, 1997, 302, 7-12] ดังแสดงในรูปที่ 4



รูปที่ 4 – ขั้นตอนการเตรียม chitosan sulfate (Holme et.al., 1997)

4. การศึกษาคุณสมบัติการละลายน้ำของอนุพันธ์ไคโตซาน

นำตัวอย่างอนุพันธ์ของไคโตซานมาอบให้แห้ง ที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 48 ชั่วโมง จากนั้นชั่งน้ำหนักที่แน่นอนแล้วจึงนำมาปั่นกวนในน้ำกลั่นเป็นเวลา 48 ชั่วโมง ชั่งน้ำหนักที่แน่นอนของกระดวยกรองเพื่อนำมาใช้กรองส่วนที่ไม่ละลายน้ำ หลังจากนั้นนำกระดวยกรองและตัวอย่างส่วนที่ไม่ละลายไปอบให้แห้ง ที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 48 ชั่วโมง จนแห้งสนิทแล้วจึงนำมาชั่งหาน้ำหนักที่แน่นอนของตัวอย่างที่ไม่ละลายน้ำ

II. การศึกษาการเตรียมแผ่นฟิล์มจากไคโตซานชนิดน้ำหนักโมเลกุลต่ำและน้ำหนักโมเลกุลปานกลาง

ศึกษาเปรียบเทียบความสามารถในการเตรียมเป็นแผ่นฟิล์มของไคโตซานชนิดน้ำหนักโมเลกุลต่ำ (น้ำหนักโมเลกุลต่ำกว่า 250 kDa) และน้ำหนักโมเลกุลปานกลาง (น้ำหนักโมเลกุล 250-500 kDa) 96% Deacetylation จากบริษัท Aqua Premier Co. Ltd. สำหรับไคโตซานน้ำหนักโมเลกุลสูงนั้นมีความหนืดสูงมาก เตรียมเป็นแผ่นฟิล์มได้ยาก จึงไม่นำมาใช้ในการศึกษาครั้งนี้

1. การเตรียมแผ่นฟิล์มเปล่าจากไคโตซาน

ละลายไคโตซานปริมาณ 1-3 กรัมลงในสารละลายกรดอะซิติกความเข้มข้นร้อยละ 1 โดยน้ำหนัก ปั่นกวนนาน 2 ชั่วโมง จนได้สารละลายใสของไคโตซาน ตั้งสารละลายไคโตซานที่ได้จนฟองอากาศหายไป แล้วเทสารละลายไคโตซาน น้ำหนัก 20 กรัม ลงในจานแก้วพื้นเรียบขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 9 เซนติเมตร นำจานแก้วที่มีสารละลายไคโตซานมาตั้งทิ้งไว้ให้แห้งในตู้อบพื้นระนาบที่อุณหภูมิ 40 องศาเซลเซียส เป็นเวลานาน 48 ชั่วโมง ลอกแผ่นฟิล์มที่ได้ นำไปใช้สำหรับการประเมินคุณสมบัติแผ่นฟิล์มต่อไป

กรณีที่ต้องการเติมสารช่วยปรับคุณสมบัติของแผ่นฟิล์มได้แก่ Polyethylene Glycol 400 (PEG-400) หรือ Tween 80 จะนำสารเหล่านี้ใส่ลงในสารละลายไคโตซานใส คนให้เข้ากัน ตั้งทิ้งไว้ฟองอากาศหมดไป แล้วจึงเทลงในจานแก้วตามที่ระบุข้างต้น โดยสารเหล่านี้นอกจากจะทำหน้าที่เป็นสารช่วยเพิ่มความยืดหยุ่นให้กับแผ่นฟิล์ม ทำให้ฟิล์มสามารถพับงอ กระแทกแตกได้โดยไม่ฉีกขาดแล้ว สารเหล่านี้ยังเป็นสารช่วยลดความมีขรุขระของสารละลายไคโตซาน ทำให้สารละลายสามารถเคลือบติดบนผิวกล้วยที่มีความไม่มีขรุขระได้ดีขึ้นอีกด้วย

ประเมินแรงดึงผิวของสารละลายที่ได้เทียบกับน้ำเปล่าที่อุณหภูมิห้อง (25 องศาเซลเซียส) 72.00 mN/m โดยใช้เครื่อง Du Nouy Tensiometer หาความหนาแน่นของสารละลายที่ได้ด้วย Pycnometer วัดความหนืดของสารละลายด้วย Brookfield Rheometer และประเมินความใสและสีของสารละลายด้วยตาเปล่า หลังจากแผ่นฟิล์มแห้งแล้วสังเกตลักษณะแผ่นฟิล์มที่ได้โดยดูความใส สี ความกรอบ และวัดความหนาของแผ่นฟิล์มที่ลอกได้ด้วย Vernier Caliper เป็นจำนวน 10 จุดเพื่อหาค่าเฉลี่ยและค่าเบี่ยงเบน ซึ่งจะบอกได้ถึงความเรียบสม่ำเสมอของแผ่นฟิล์มที่ได้สำหรับไคโตซานชนิดน้ำหนักโมเลกุลต่ำ

2. การศึกษาคุณสมบัติของแผ่นฟิล์มเปล่า

2.1 ประเมินความสามารถในการดูดซับน้ำของแผ่นฟิล์ม

ประเมินการดูดซับน้ำของแผ่นฟิล์มโดยการตัดแผ่นฟิล์มขนาด 1 ตารางนิ้ว ซึ่งน้ำหนักอย่างละเอียด แล้วนำไปแช่ลงในน้ำกลั่นจนแผ่นฟิล์มดูดซับน้ำเต็มที่ ซึ่งน้ำหนักฟิล์มภายหลังการดูดซับน้ำเพื่อคำนวณหาปริมาณที่น้ำที่ถูกดูดซับ โดยแสดงออกเป็นร้อยละของน้ำหนักที่เพิ่มขึ้นหลังจากการดูดซับน้ำ ดังนี้

$$\% \text{ การดูดซับน้ำ} = \frac{(\text{น้ำหนักฟิล์มหลังการดูดซับน้ำ} - \text{น้ำหนักฟิล์มเริ่มต้น})}{\text{น้ำหนักฟิล์มเริ่มต้น}} \times 100$$

2.2 ประเมินความสามารถในการซึมผ่านของไอน้ำ

ประเมินการซึมผ่านของไอน้ำ โดยการตัดแผ่นฟิล์มปิดลงบนขวด แล้วปิดทับด้วยฝาขวดชนิดสกรูล็อกที่มีขนาดรูเปิดด้านบนมีเส้นผ่าศูนย์กลาง 1 นิ้ว ภายในขวดบรรจุด้วยซิลิกาเจลที่ผ่านการอบไล่ความชื้นเป็นเวลานาน 2 ชั่วโมง ซึ่ง

น้ำหนักขวดบรรจุซิลิกาเจลอย่างละเอียดแล้วนำไปเก็บในโถควบคุมความชื้นที่บรรจุสารละลายอิมัลชันของโซเดียมคลอไรด์ (ความชื้นสัมพัทธ์ร้อยละ 75) โดยนำขวดมาชั่งบันทึกน้ำหนักที่เพิ่มขึ้นทุกๆ 4 ชั่วโมงเป็นเวลานาน 48 ชั่วโมง นำผลที่ได้มาคำนวณเป็นร้อยละการซึมผ่านของไอน้ำ

$$\% \text{ การซึมผ่านของไอน้ำ} = \frac{(\text{น้ำหนักซิลิกาเจลหลังการดูดซับไอน้ำ} - \text{น้ำหนักซิลิกาเจลเริ่มต้น}) \times 100}{\text{น้ำหนักซิลิกาเจลเริ่มต้น}}$$

2.3 ประเมินความสามารถในการยึดของแผ่นฟิล์ม

ประเมินความยืดหยุ่นของแผ่นฟิล์มด้วยเครื่องวัดความยืดหยุ่น Instron โดยการตัดแผ่นฟิล์มขนาดกว้าง 1 เซนติเมตร ยาว 2 เซนติเมตร ติดเข้ากับตัวหนีบบนและล่างของเครื่อง Instron ดึงด้วยแรงขนาดต่างๆ แล้ววัดความยาวที่เพิ่มขึ้นของแผ่นฟิล์มภายหลังการดึงยึดด้วยแรงขนาด 5 นิวตัน ดังแสดงในรูปที่ 5 และคำนวณความสามารถในการยึดดึงสมการต่อไปนี้

$$\% \text{ การยืดของแผ่นฟิล์ม} = \frac{(\text{ความยาวฟิล์มหลังการดึงยึด} - \text{ความยาวฟิล์มเริ่มต้น}) \times 100}{\text{ความยาวฟิล์มเริ่มต้น}}$$



รูปที่ 5 – แสดงการประเมินความยืดของแผ่นฟิล์มด้วยเครื่อง Instron

III. การศึกษาประสิทธิภาพเบื้องต้นของฟิล์มไคโตซานชนิดน้ำหนักโมเลกุลปานกลางในการยืดอายุการเก็บกล้วยไข่

เลือกซื้อกล้วยจากสวนที่ทำการศึกษากการปลูกกล้วยของสำนักงานกองทุนสนับสนุนงานวิจัย (สกว.) ที่จังหวัดนครสวรรค์ โดยเลือกกล้วยที่แก่จัดพร้อมจำหน่ายคัดเลือกกล้วยที่มีขนาดและรูปร่างใกล้เคียงกัน เลือกกล้วยที่ไม่มีตำหนิและไม่มีการติดโรคหรือเชื้อรา ล้างด้วยแมกนีเซียมซัลเฟตความเข้มข้นร้อยละ 0.5 โดยน้ำหนัก เพื่อกำจัดยางที่เกิดขึ้นจากการตัดกล้วย ตัดกล้วยแยกออกเป็นผล แบ่งการทดลองออกเป็น 3 กลุ่มใหญ่ๆ ได้แก่

1. ศึกษาวิธีการเคลือบฟิล์มลงบนกล้วยไข่

- 1.1 กลุ่มควบคุม – แบ่งออกเป็นกลุ่มควบคุมโดยการจุ่มน้ำกลั่นและกลุ่มควบคุมโดยไม่ผ่านกระบวนการใดๆ
- 1.2 กลุ่มชุบเคลือบ – เป็นกลุ่มทดลองที่นำผลกล้วยไปเคลือบไคโตซานฟิล์มดำรับต่างๆ ด้วยวิธีการชุบเคลือบโดยการนำกล้วยแต่ละผลชุบลงในสารละลายไคโตซานดำรับต่างๆ นาน 10 วินาที ดังแสดงในรูปที่ 6 จากนั้นยกขึ้นแขวนให้แผ่นฟิล์มไคโตซานแห้ง รวม 12 ดำรับ (ดำรับละ 5 ผล) ได้แก่

1. 1% Chitosan + 0.1% PEG
2. 1% Chitosan + 0.5% PEG
3. 1% Chitosan + 0.1% Tween 80
4. 1% Chitosan + 0.5% Tween 80
5. 1% Chitosan + 0.25% PEG + 0.25% Tween 80
6. 1% Chitosan + 0.5% PEG + 0.5% Tween 80
7. 2% Chitosan + 0.1% PEG
8. 2% Chitosan + 0.5% PEG
9. 2% Chitosan + 0.1% Tween 80
10. 2% Chitosan + 0.5% Tween 80
11. 2% Chitosan + 0.25% PEG + 0.25% Tween 80
12. 2% Chitosan + 0.5% PEG + 0.5% Tween 80

- 1.3 กลุ่มพ่นเคลือบ – เป็นกลุ่มทดลองที่นำผลกล้วยไปเคลือบไคโตซานฟิล์มดำรับต่างๆ ด้วยวิธีการพ่นเคลือบโดยการฉีดพ่นสารละลายไคโตซานดำรับต่างๆ ฉีดให้ทั่วผลกล้วยผลละ 20 มิลลิลิตร ด้วยหัวฉีดแบบละอองฝอย ดังแสดงในรูปที่ 7 จากนั้นยกขึ้นแขวนให้แผ่นฟิล์มไคโตซานแห้ง รวม 12 ดำรับเช่นเดียวกับการชุบเคลือบ (ดำรับละ 5 ผล)

นำกล้วยจากทั้ง 3 กลุ่มการทดลองแขวนทิ้งให้แห้งที่อุณหภูมิห้อง โดยการแขวนกล้วยในขั้นตอนการผึ่งแห้งและขั้นตอนการเก็บรักษาระหว่างการประเมินเมื่อแผ่นฟิล์มแห้งสนิทแล้ว นำมาประเมินความสามารถในการเกาะติดของฟิล์มบนพื้นผิวของเปลือกกล้วย โดยใช้เกณฑ์การประเมินระบบ Scale ดังต่อไปนี้

Scale 0 - ผิวด้าน ไม่มีการติดของฟิล์ม

Scale 1 - ผิวเป็นมันเพียงเล็กน้อย การติดของฟิล์มเป็นหยดห่างๆ ไม่สม่ำเสมอ

Scale 2 - ผิวเป็นมันเพียงเล็กน้อย การติดของฟิล์มเป็นหยดที่เชื่อมต่อกัน แต่ไม่สม่ำเสมอ

Scale 3 - ผิวเป็นมันปานกลาง การติดของฟิล์มเชื่อมต่อกันค่อนข้างสม่ำเสมอ

Scale 4 - ผิวเป็นมันเกือบทั้งผล การติดของฟิล์มสม่ำเสมอ

Scale 5 - ผิวมันเงาทั้งผล การติดของฟิล์มสม่ำเสมอ

ทำการประเมินกล้วยทั้ง 5 ผล แล้วนำค่าที่ได้คำนวณค่าเฉลี่ยและค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน



รูปที่ 6 – แสดงขั้นตอนการการชุบกล้วยลงในสารละลายไคโตซานที่อุณหภูมิห้อง



รูปที่ 7 – แสดงขั้นตอนการการพ่นสารละลายไคโตซานเคลือบกล้วยที่อุณหภูมิห้อง

2. ประเมินความสามารถในการยืดอายุการเก็บกล้วยไข่หลังการเก็บเกี่ยว

การประเมินความสามารถในการยืดอายุการเก็บกล้วยไข่หลังการเก็บเกี่ยวมีการประเมินทั้งหมด 3 ลักษณะ โดยบันทึกผลการทดลองทุก 2 วันเป็นเวลาติดต่อกันนาน 8 วัน ดังต่อไปนี้

2.1 ประเมินการสูญเสียน้ำหนัก

ชั่งน้ำหนักกล้วยไข่ที่เคลือบแล้วหึ่งให้แห้งแล้วเพื่อนำน้ำหนักเริ่มต้น คิดเป็นน้ำหนักกล้วยเริ่มต้นภายหลังการเก็บเกี่ยว หลังจากนั้นชั่งน้ำหนักกล้วยไข่ทุก 2 วัน จนครบ 8 วัน นำค่าที่ได้มาคำนวณค่าร้อยละของน้ำหนักที่สูญเสียของกล้วยไข่ในระหว่างการเก็บรักษา ดังนี้

$$\% \text{ น้ำหนักที่สูญเสียของกล้วยไข่} = \frac{(\text{น้ำหนักกล้วยหลังจากเคลือบ} - \text{น้ำหนักกล้วยที่วันต่างๆ}) \times 100}{\text{น้ำหนักกล้วยหลังจากเคลือบ}}$$

2.2 ประเมินสีของกล้วยที่เปลี่ยนแปลง

เกณฑ์การประเมินสีของกล้วยไข่พิจารณาโดยระบบ Scale โดยการดัดแปลงระบบ Scale ดังกล่าวจากหนังสือของ จริ่งแท้และคณะฯ (2543) ที่ใช้ในการประเมินการสุกของกล้วยหอมดังแสดงในรูปที่ 8 ดังต่อไปนี้

Scale 1 - เปลือกเขียว ผลแข็ง ไม่มีการสุก

Scale 2 - เริ่มเปลี่ยนสีจากเขียวออกเหลืองเล็กน้อย

Scale 3 - เริ่มเปลี่ยนสีจากเขียวออกเหลืองมากขึ้น เป็นสีเขียวมากกว่า 2/3 ของผล

Scale 4 - เริ่มเปลี่ยนสีเขียวออกเหลืองและมีสีเหลืองมากกว่า 1/2 ของผล

Scale 5 - เปลือกเป็นสีเหลือง แต่ปลายยังเป็นสีเขียว เป็นสีเหลืองมากกว่า 2/3 ของผล

Scale 6 - ทั้งผลมีสีเหลือง (ผลสุก)

Scale 7 - ผิวสีเหลืองและเริ่มมีจุดสีน้ำตาล (สุกเต็มที่ มีกลิ่นหอม)

Scale 8 - ผิวสีเหลืองและเริ่มมีจุดสีน้ำตาลมากขึ้น (สุกมาก) เนื้อเริ่มอ่อนตัวและมีกลิ่นแรง



รูปที่ 8 – แสดงการแบ่งระดับการประเมินสีของกล้วยหอมที่ระดับต่างๆ (จากจริ่งแท้และคณะฯ 2543)

2.3 ประเมินการตกกระของกล้วยไข่

เกณฑ์การประเมินการตกกระของกล้วยไข่พิจารณาโดยระบบ Scale โดยการดัดแปลงระบบ Scale ดังกล่าวจาก Choehom และคณะฯ (2004) ที่ใช้การประเมินการตกกระของกล้วยไข่เป็น 4 Scale แต่ในการทดลองครั้งนี้ได้ดัดแปลงให้มีความละเอียดมากขึ้นเป็น 8 Scale ดังต่อไปนี้

เกณฑ์การประเมินระบบ 8 Scale

Scale 0 - ไม่มีการตกกระเลย

Scale 1 - เริ่มมีการตกกระเป็นจุดเล็กๆ ขนาดไม่เกิน 1 มิลลิเมตร

Scale 2 - เริ่มมีการตกกระเป็นจุดเล็กๆ ขนาดไม่เกิน 1 มิลลิเมตร จำนวนมากขึ้น

Scale 3 - จุดตกกระเริ่มมีขนาดจุดเล็กๆ มารวมตัวมีขนาดใหญ่ขึ้น

Scale 4 - จุดตกกระเริ่มมีขนาดจุดที่ใหญ่ขึ้นเป็นบริเวณน้อยกว่าครึ่งของผล

Scale 5 - จุดตกกระมีขนาดที่ใหญ่ขึ้นและกระจายเป็นบริเวณมากกว่าครึ่งผล

Scale 6 - จุดเล็กๆ รวมตัวกันเป็นปื้นสีดำขนาดใหญ่ไม่เกิน 1 เซนติเมตร

Scale 7 - จุดเล็กๆ รวมตัวกันเป็นปื้นสีดำขนาดใหญ่เกิน 1 เซนติเมตร

Scale 8 - ปื้นสีดำขนาดใหญ่กระจายทั่วผล

IV. การศึกษาประสิทธิภาพของตำรับฟิล์มไคโตซานและคาร์บอกซีเมทิลไคโตซานในการยืดอายุการเก็บกล้วยไข่

จากผลการศึกษาประสิทธิภาพเบื้องต้นของฟิล์มไคโตซานชนิดน้ำหนักร้อยละ 100 ในการยืดอายุการเก็บกล้วยไข่จะได้สูตรตำรับฟิล์มไคโตซานที่มีประสิทธิภาพในการยืดอายุการเก็บกล้วยไข่หลังการเก็บเกี่ยวเบื้องต้น นำสูตรตำรับที่ได้มาทำการทดลองขยายขนาดจากขั้นปฏิบัติการเป็นขั้นที่มีจำนวนผลกล้วยในการทดลองมากขึ้น เพื่อให้ได้ผลการทดลองในสภาพที่ใกล้เคียงการใช้จริงมากที่สุด เทียบกับกลุ่มฟิล์มที่ได้จากคาร์บอกซีเมทิลไคโตซานโดยมีขั้นตอนการศึกษาดังต่อไปนี้

1. การเตรียมพืชทดสอบ

เก็บเกี่ยวผลกล้วยไข่ที่แก่จัด (เขียว 95%) จากแหล่งปลูกของเกษตรกรในโครงการการศึกษาการปลูกกล้วยไข่ของสำนักงานกองทุนสนับสนุนงานวิจัย (สกว.) ในเขตจังหวัดนครสวรรค์ล่วงหน้า 1 วัน (รูปที่ 9) ก่อนขนส่งอย่างระมัดระวังมาที่ห้องปฏิบัติการเทคโนโลยีหลังการเก็บเกี่ยว ภาควิชาวิทยาศาสตร์การเกษตร คณะเกษตรศาสตร์ ทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม มหาวิทยาลัยนเรศวร จากนั้นคัดและแยกผลกล้วยจากหวีให้ได้ผลเดี่ยว คัดขนาดผลให้มีความสม่ำเสมอปราศจากโรคและแมลงทำลาย (รูปที่ 10) จากนั้นล้างผลกล้วยด้วยเมกนีเซียมคลอไรด์ความเข้มข้นร้อยละ 0.5 โดยน้ำหนักเพื่อล้างยางกล้วย ผึ่งให้แห้งพอหมาด (รูปที่ 11) หลังจากนั้นนำผลกล้วยไข่ชุบลงในสารละลายไคโตซานที่ระดับความเข้มข้นต่างๆ (ตามกรรมวิธีการทดลองที่ระบุข้างต้น) นาน 30 วินาที (รูปที่ 12) และผึ่งให้แห้งสนิท ก่อนเก็บรักษาผลกล้วยไข่ที่อุณหภูมิห้อง (28 – 29 องศาเซลเซียส) ความชื้นสัมพัทธ์ร้อยละ 56 - 57 เป็นเวลา 12 วัน (รูปที่ 13) และบันทึกข้อมูลระหว่างเก็บรักษา ระยะเวลาการทดลอง เริ่มจาก วันที่ 31 พฤษภาคม 2551 จนถึง วันที่ 21 สิงหาคม 2551 (ภาคผนวก ก)



รูปที่ 9 – แสดงสวนกล้วยไข่ของคุณคำปิ่น นพพันธ์ เกษตรตำบลตะเียนเลื่อน อำเภอเมือง จังหวัดนครสวรรค์



รูปที่ 10 – แสดงการตัดและแยกผลกล้วยจากหวีให้ได้ผลเดี่ยว แล้วคัดขนาดผลให้มีความสม่ำเสมอ ปราศจากโรคและแมลงทำลาย



รูปที่ 11 – แสดงการล้างทำความสะอาดผลกล้วยไข่ที่นำมาทดลองด้วยน้ำสะอาดจากนั้นล้างผลกล้วยด้วย $MgSO_4$ ความเข้มข้นร้อยละ 0.5 โดยน้ำหนัก เพื่อล้างยางกล้วย ก่อนนำไปฝังให้แห้ง



รูปที่ 12 – แสดงการชุบผลกล้วยไข่ในสารละลายไคโตซานที่ระดับความเข้มข้นต่างๆ เป็นเวลา 30 วินาที



รูปที่ 13 – แสดงการเก็บรักษาผลกล้วยไข่ที่อุณหภูมิห้องเป็นเวลา 12 วัน

2. แผนการทดลองและการแบ่งกลุ่มการทดลอง

เนื่องจากการทดลองใช้กล้วยปริมาณมาก ทำให้ยากแก่การควบคุมและประเมินผลให้ทันเวลา จึงแบ่งการดำเนินงานออกเป็น 3 การทดลอง การทดลองครั้งละ 4 กลุ่ม ดังนี้

การทดลองที่ 1

ศึกษาระดับความเข้มข้นของไคโตซาน ร่วมกับการใช้ PEG -400 และ Tween 80 ที่เหมาะสมต่อการควบคุมคุณภาพของผลกล้วยไข่ ใช้แผนการทดลองแบบสุ่มสมบูรณ์ (Completely Randomized Design; CRD) ทำการทดลอง 3 ซ้ำๆ ละ 10 ผล โดยมีกลุ่มตัวอย่าง 4 กลุ่ม ดังนี้

1. ไม่ใช้ไคโตซาน (Control)
2. ไคโตซานความเข้มข้น 1% (w/v) + PEG-400 ความเข้มข้น 0.5%(w/v)
3. ไคโตซานความเข้มข้น 2% (w/v) + PEG-400 ความเข้มข้น 0.5%(w/v)
4. ไคโตซานความเข้มข้น 2% (w/v) + PEG-400 ความเข้มข้น 0.25%(w/v) + Tween 80 ความเข้มข้น 0.25%

เก็บรักษาผลกล้วยไข่ที่อุณหภูมิห้อง (28 – 29 องศาเซลเซียส) ความชื้นสัมพัทธ์ร้อยละ 56 - 57 เป็นเวลา 12 วัน บันทึกการเปลี่ยนแปลงทางกายภาพและทางเคมีทุก 2 วัน ระหว่างเก็บรักษา จนถึงสิ้นสุดการทดลอง

การทดลองที่ 2

เปรียบเทียบไคโตซานที่มีประสิทธิภาพดีที่สุดจากการทดลองที่ 1 กับการใช้ไคโตซานร่วมกับ Green Tea และการบอกลีเมทิลไคโตซานที่ความเข้มข้น 5% (w/v) ใช้แผนการทดลองแบบ CRD ทำการทดลอง 3 ซ้ำๆ ละ 10 ผล โดยมีกลุ่มตัวอย่าง 4 กลุ่ม ดังนี้

1. ไม่ใช้ไคโตซาน (Control)
2. ไคโตซานความเข้มข้น 2% (w/v) + PEG-400 ความเข้มข้น 0.25%(w/v) + Tween 80 ความเข้มข้น 0.25% (ชุดการทดลองที่ดีที่สุดจากการทดลองที่ 1)
3. ไคโตซานความเข้มข้น 2% (w/v) + PEG-400 ความเข้มข้น 0.25%(w/v) + Tween 80 ความเข้มข้น 0.25% + Green Tea ความเข้มข้น 0.01% (w/v)
4. คาร์บอกซีเมทิลไคโตซาน (CMC) ความเข้มข้น 5% (w/v) + PEG-400 ความเข้มข้น 0.25%(w/v) + Tween 80 ความเข้มข้น 0.25%

เก็บรักษาผลกล้วยไข่ที่อุณหภูมิห้อง (28 – 29 องศาเซลเซียส) ความชื้นสัมพัทธ์ร้อยละ 56 - 57 เป็นเวลา 12 วัน บันทึกการเปลี่ยนแปลงทางกายภาพและทางเคมีทุก 2 วัน ระหว่างเก็บรักษา จนถึงสิ้นสุดการทดลอง

การทดลองที่ 3

เปรียบเทียบไคโตซานที่มีประสิทธิภาพดีที่สุดจากการทดลองที่ 1 ร่วมกับ CMC ที่ความเข้มข้น 1 และ 3% (w/v) ใช้แผนการทดลองแบบ CRD ทำการทดลอง 3 ซ้ำๆ ละ 10 ผล โดยมีกลุ่มตัวอย่าง 4 กลุ่ม ดังนี้

1. ไม่ใช้ไคโตซาน (Control)
2. CMC ความเข้มข้น 1 % (w/v) + PEG-400 ความเข้มข้น 0.25%(w/v) + Tween 80 ความเข้มข้น 0.25%
3. ไคโตซานความเข้มข้น 2% (w/v) + PEG-400 ความเข้มข้น 0.25%(w/v) + Tween 80 ความเข้มข้น 0.25% (เคลือบจำนวน 2 ครั้ง ครั้งละ 30 วินาที เว้นระยะห่างระหว่างการชุบเคลือบ 30 วินาที)
4. CMC ความเข้มข้น 3 % (w/v) + PEG-400 ความเข้มข้น 0.25% (w/v) + Tween 80 ความเข้มข้น 0.25%

เก็บรักษาผลกล้วยไข่ที่อุณหภูมิห้อง (28 – 29 องศาเซลเซียส) ความชื้นสัมพัทธ์ร้อยละ 56 - 57 เป็นเวลา 12 วัน บันทึกการเปลี่ยนแปลงทางกายภาพและทางเคมีทุก 2 วัน ระหว่างเก็บรักษา จนถึงสิ้นสุดการทดลอง

3. สภาพการเก็บรักษา

ในแต่ละการทดลอง ภายหลังกล้วยไข่ที่ผ่านการเคลือบด้วยไคโตซาน จะถูกนำมาเก็บรักษาที่อุณหภูมิห้อง 29.51 ± 0.21 องศาเซลเซียส ความชื้นสัมพัทธ์ร้อยละ (%RH) 56.01 ± 0.96 ในการทดลองที่ 1, อุณหภูมิ 29.07 ± 0.97 องศาเซลเซียส และความชื้นสัมพัทธ์ร้อยละ 57.25 ± 1.73 ในการทดลองที่ 2 และอุณหภูมิ 28.43 ± 0.17 องศาเซลเซียส ความชื้นสัมพัทธ์ร้อยละ 57.22 ± 1.71 ในการทดลองที่ 3 ตามลำดับ เป็นเวลา 12 วันหรือ จนหมดสภาพ ทำการบันทึกข้อมูล ณ วันที่ 0 (วันที่เริ่มทำการทดลอง, day 0), 2, 4, 6, 8, 10 และ 12 วัน ตามลำดับ

4. การบันทึกข้อมูล

ในแต่ละช่วงเวลาของการเก็บรักษา ผลกล้วยไข่แต่ละผล ของแต่ละซ้ำ ในทุกกรรมวิธีการทดลอง (treatment) จะถูกประเมินคุณภาพทางกายภาพและทางเคมี ดังนี้ คือ

5. การเปลี่ยนแปลงทางกายภาพ

5.1 การสูญเสียน้ำหนัก

ชั่งน้ำหนักผลกล้วยไข่ก่อนการเก็บรักษา (W_1) และหลังการเก็บรักษา ทุก 2 วัน (W_2) จนถึงสิ้นสุดการทดลอง และแสดงผลเป็นร้อยละของน้ำหนักที่สูญเสียของผลกล้วยไข่ ดังนี้

$$\% \text{ การสูญเสียน้ำหนัก} = \frac{[\text{นน.กล้วยไข่หลังจากเคลือบ (W}_1\text{)} - \text{นน.กล้วยไข่ ณ วันตรวจสอบ (W}_2\text{)}]}{\text{นน.กล้วยไข่หลังจากเคลือบ (W}_1\text{)}} \times 100$$

5.2 การเน่าเสีย

โดยนับจำนวนผลที่เกิดการเน่าเสีย ทุก 2 วัน ของการเก็บรักษา จนถึงที่สุดการทดลอง และแสดงผลเป็นร้อยละของการเน่าเสีย ดังสมการ

$$\% \text{ การเน่าเสีย} = \frac{[\text{จำนวนผลที่เน่าเสีย}]}{\text{จำนวนผลทั้งหมด}} \times 100$$

5.3 การเกิดตำหนิ

ประเมินการเกิดตำหนิ เช่น รอยแผล การชำ และอื่น ๆ ที่ปรากฏ นอกเหนือจากการตกกระ ให้เป็นคะแนนจาก 1-5 (defect scores) ดังนี้

Scale 1 = ดีมาก (ไม่มีตำหนิ หรือ มีตำหนิไม่เกิน 5% ของพื้นที่เปลือกผล)

Scale 2 = ดี (มีตำหนิ 5-25 % ของพื้นที่เปลือกผล)

Scale 3 = ปานกลาง (มีตำหนิ 30-60 % ของพื้นที่เปลือกผล)

Scale 4 = พอใช้ (มีตำหนิ 60-80% ของพื้นที่เปลือกผล)

Scale 5 = หมดสภาพ (มีตำหนิมากกว่า 80% ของพื้นที่เปลือกผล)

5.4 การตกกระ

ประเมินการตกกระ โดยการให้คะแนนจาก 1-4 (spotting scores; ภาคผนวก ค) ประยุกต์จากรายงานของ Choehom *et al.* (2004) ดังนี้

Scale 1 = สีผิวเหลือง ไม่มีจุด

Scale 2 = สีผิวเหลืองเข้มเล็กน้อย ปรากฏจุดน้ำตาลเล็กๆขนาดเท่าปลายเข็มกระจายอยู่ทั่ว

Scale 3 = จุดกระปรากฏอยู่ที่ผิวเปลือกปริมาณมากขึ้น (ทั่วผล) ขนาดและความกว้าง 0.5-1.0 มิลลิเมตร แต่ละจุดยังกระจายห่างกัน

Scale 4 = ขนาดจุดขยายขนาดมากขึ้นและแผ่ทับซ้อนกันจนขนาดใหญ่เป็นปื้นๆ และมีแนวโน้มเป็นรอยบุ๋ม

5.5 ความแน่นเนื้อ

นำผลกล้วยแต่ละชุดมาวัดค่าความแน่นเนื้อด้วยเครื่องวัดความแน่นเนื้อ (Fruits Hardness Tester) โดยใช้หัวเจาะแบบกรวย (cone type) เส้นผ่าศูนย์กลางฐานขนาด 12 มิลลิเมตร เจาะลงบนพื้นผิวสัมผัสของเนื้อผลกล้วย (โดยเฉือนเปลือกผลออกก่อนการวัดค่า) จนทะลุ อ่านค่าที่ได้ และแสดงผลเป็นหน่วย นิวตัน (N)

5.6 การประเมินสีของเปลือกผลกล้วยไข่

ประเมินการเปลี่ยนแปลงสีผิวของเปลือกผลกล้วย ด้วยประสาทสัมผัส โดยให้คะแนนจาก 1-8 (colour index;) ซึ่งประยุกต์จากรายงานของเบญจมาศ (2538) ดังนี้

- Scale 1 = เปลือกเขียว ผลแห้ง ไม่มีการสุก
- Scale 2 = เริ่มเปลี่ยนสีจากสีเขียวออกเหลืองนิดๆ
- Scale 3 = เริ่มเปลี่ยนสีจากเขียวออกเหลืองมากขึ้นแต่ยังมีสีเขียวมากกว่าสีเหลือง
- Scale 4 = เริ่มเปลี่ยนสีจากเขียวออกเหลืองและมีสีเหลืองมากกว่าสีเขียว
- Scale 5 = เปลือกเป็นสีเหลือง แต่ที่ปลายยังเป็นสีเขียว
- Scale 6 = ทั้งผลมีสีเหลือง (ผลสุก)
- Scale 7 = ผิวสีเหลืองและเริ่มมีจุดสีน้ำตาล (สุกเต็มที่ มีกลิ่นหอม)
- Scale 8 = ผิวสีเหลืองและเริ่มมีจุดสีน้ำตาลมากขึ้น (สุกมากเกินไป, เนื้อเริ่มอ่อนตัว และมีกลิ่นแรง)

นอกจากนี้ วัดการเปลี่ยนแปลงของสีเปลือกผลกล้วย โดยใช้เครื่องมือวัดสี (Colorimeter) แสดงค่าการเปลี่ยนแปลงเป็นค่า L* ตามมาตรฐานของ Commission International de l'Eclairage (C.I.E.) โดย ค่า L* คือ ค่าความสว่างหรือความมืดของสี มีค่าอยู่ระหว่าง 0-100 ถ้า L* มีค่าเข้าใกล้ 0 หมายถึง วัตถุมีสีคล้ำ (dark) หรือดำ เมื่อค่า L* เพิ่มขึ้นสีดำนี้อาจจะลดลง และหากค่า เข้าใกล้ 100 แสดงว่า วัตถุมีความสว่างมากขึ้นจนเป็นสีขาว (white)

5.7 การเปลี่ยนแปลงทางเคมี

ภายหลังจากการบันทึกข้อมูลทางกายภาพ ผลกล้วยไข่ในแต่ละชุด (ประมาณ 80 กรัมของแต่ละซ้ำ) จะถูกนำมาปั่นละเอียดรวมกับน้ำกลั่นในอัตราส่วนที่เหมาะสม ด้วยเครื่องปั่นผลไม้ หลังจากนั้น ปั่นเหวี่ยงเพื่อแยกกากและตะกอนออกจากน้ำคั้น กรองส่วนใสที่ได้ และนำไปตรวจวัดการเปลี่ยนแปลงทางเคมี ดังนี้

5.7.1 ค่าความเป็นกรด-ด่างของน้ำคั้น (pH)

นำน้ำคั้นที่ได้จากผลกล้วยไข่แต่ละชุดมาวัดค่า pH โดยใช้เครื่องมือวัดความเป็นกรด-ด่าง (pH meter)

5.7.2 ปริมาณของแข็งที่ละลายได้ในน้ำ (Soluble Solids Content; SSC)

หยดน้ำคั้นจากผลกล้วย 2-3 หยด ลงบนปริซึมของเครื่องวัดการหักเหของแสงแบบอัตโนมัติ (digital refractometer) และบันทึกค่าที่อ่านได้ แสดงผลเป็นค่าร้อยละปริมาณของแข็งที่ละลายได้ในน้ำ

5.7.3 ปริมาณกรดที่ไทเทรตได้ (Titratable Acidity; TA)

ผลไม้ส่วนใหญ่เมื่อยังอ่อนมักมีรสเปรี้ยว เนื่องจากการสะสมกรดอินทรีย์ต่าง ๆ ในแวคิวโอล (vacuole) เมื่อผลพัฒนาเข้าสู่ความบริบูรณ์ (หรือแก่) ปริมาณกรดจะลดลง ปริมาณนี้สามารถวิเคราะห์ได้ ตามกรรมวิธีของ A.O.A.C. (1990) โดยการไทเทรตน้ำคั้นที่ได้จากผลกล้วยไข่ 10 มิลลิลิตร กับสารละลายด่างมาตรฐานโซเดียมไฮดรอกไซด์ (NaOH) ความเข้มข้น 0.1 N โดยมี phenolphthalein ความเข้มข้น 1% ซึ่งมีพิสัย pH ที่เปลี่ยนสีอยู่ในช่วง 8.2 เป็น indicator จำนวน 1-2 หยด ไทเทรตจนกระทั่งถึงจุดยุติ (end point) คือ เมื่อสารละลายเปลี่ยนเป็นสีชมพูอย่างน้อย 30 วินาที (หรือไทเทรตแล้วอ่านค่า pH ได้ถึง 8.2) คำนวณกรดที่ไทเทรตได้เป็นกรดมาลิก ซึ่งเป็นองค์ประกอบหลักของกรดในผลกล้วย โดยใช้สูตร

$$\% \text{ TA} = \left[\frac{(\text{ความเข้มข้นของ NaOH มาตรฐาน}(N) \times (\text{ปริมาณ NaOH ที่ใช้}(ml)) \times (\text{meq. wt. (malic acid)}))}{\text{ปริมาณน้ำคั้นที่ใช้}(ml)} \right] \times 100$$

โดยที่	ความเข้มข้นของ NaOH มาตรฐาน	= 0.1 N
	meq.wt. (marlic acid)	= 0.067

5.8 การประเมินคุณภาพการยอมรับจากการชิม

หลังจากการบันทึกข้อมูลการเปลี่ยนทางกายภาพและทางเคมี ผลกล้วยบางส่วนจะถูกสุ่มแบ่งมาทดสอบคุณภาพการบริโภค โดยการชิมและใช้ประสาทสัมผัส ซึ่งใช้ผู้ประเมิน 1 คนในการประเมิน และให้คะแนนความพอใจจาก 1-10 ในด้านสีของเปลือกผล ความพอใจด้านกลิ่น ด้านเนื้อสัมผัส และรสชาติ โดยที่ 1 หมายถึง พอใจน้อยที่สุด จนถึง 10 หมายถึง พอใจมากที่สุด ตามลำดับ โดยทดสอบเฉพาะกลุ่มการทดลองที่ 1

6. อายุการวางจำหน่าย

อายุการวางจำหน่าย ประเมินจากสภาพของผลกล้วยไข่ที่ยังมีสภาพดีอยู่ โดยใช้การประเมินจากวันที่กล้วยมีคะแนนสีผิวน้อยกว่าหรือเท่ากับ 7 เป็นเกณฑ์ ซึ่งหมายถึงการหมดสภาพ ไม่เป็นที่ยอมรับของผู้บริโภค

7. การวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติ

วางแผนการทดลองแบบสุ่มสมบูรณ์ (Completely Randomized Design; CRD) ประกอบด้วย 3 ซ้ำๆ ละ 10 ผล วิเคราะห์ความแปรปรวนของข้อมูลด้วย Analysis of Variance (ANOVA) เปรียบเทียบความแตกต่างของค่าเฉลี่ยโดยวิธี Duncan's New Multiple Rang Test (DMRT) ที่ระดับความเชื่อมั่น 95 %

V. การศึกษาประสิทธิภาพของฟิล์มไคโตซานและคาร์บอกซีเมทิลไคโตซานในการต้านการเจริญของเชื้อรา

1. การแยกเชื้อราก่อโรคบนกล้วยไม้

นำกล้วยไม้ 1 หวี วางไว้ที่อุณหภูมิห้อง จนกระทั่งสังเกตเห็นเชื้อราเจริญบริเวณข้อง่าม (เวลาประมาณ 5 วัน) ทำการแยกเชื้อราด้วยการนำหวีกล้วยไม้มาแช่แยกเชื้อตามลักษณะของเชื้อที่เห็นด้วยตาเปล่าโดยดูจากลักษณะภายนอก โดยทำการ cross streak ลงบนผิวหน้าอาหาร potato dextrose agar (PDA) จากนั้นนำจานอาหารที่เชื้อเชื้อไปบ่มที่อุณหภูมิ 30 องศาเซลเซียส เป็นเวลาประมาณ 4-7 วัน เชื้อที่แยกได้นำมาทำการ cross streak ซ้ำจนได้เชื้อบริสุทธิ์

2. การทดสอบประสิทธิภาพการยับยั้งเชื้อราบนกล้วยไม้

ทดสอบประสิทธิภาพของสารเคลือบ 5 ชนิด ได้แก่ ขี้เถ้าเชื้อรา (0.1% carbendazim และ 1% tween 80) กลุ่มไคโตซาน (2% chitosan + 0.25% tween 80 + 0.25% PEG 400) กลุ่มคาร์บอกซีเมทิลไคโตซาน (1% CMC + 0.25% tween 80 + 0.25% PEG 400) กลุ่มกลุ่มไคโตซานและขี้เถ้าเชื้อรา (0.1% carbendazim + 2% chitosan + 0.2% tween 80 + 0.25% PEG 400) และกลุ่มคาร์บอกซีเมทิลไคโตซานร่วมกับขี้เถ้าเชื้อรา (0.1% carbendazim + 1% CMC + 0.25% tween 80 + 0.25% PEG 400) ทำการทดสอบโดยนำกล้วยไม้มาล้างทำความสะอาดด้วยน้ำประปาฟุ้งให้แห้งบนผ้าสะอาด จากนั้นชุบบริเวณข้อง่ามด้วยสารทดสอบ 5 ชนิด เป็นเวลา 1 นาที แล้วผึ่งให้แห้ง 5 นาที แล้วจึงใช้มีดปราศจากเชื้อกรีดบริเวณข้อง่ามให้เป็นแผลประมาณ 1 เซนติเมตร ใช้ cork borer ขนาด 5 มิลลิเมตร เจาะขึ้นรู้นที่มีเชื้อราเจริญอยู่ (เตรียมได้จากการนำเชื้อราที่แยกได้เพาะเลี้ยงลงบนอาหารเลี้ยงเชื้อ PDA บ่มเพาะเชื้อที่ 30 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 7 วัน)

นำขึ้นรู้นที่เพาะเชื้อที่แยกได้ทั้ง 5 ชนิดวางลงบนรอยแผลที่เตรียมไว้ โดยวางเชื้อ 1 เพียงชนิดสำหรับแต่ละกลุ่มตัวอย่าง จากนั้นนำกล้วยไม้ทั้งหมดไปบ่มเชื้อโดยบรรจุใน dessicator ที่บรรจุ น้ำเกลืออิ่มตัวไว้ด้านล่าง ซึ่งมีความชื้นสัมพัทธ์ประมาณร้อยละ 70-75 ที่อุณหภูมิห้อง สังเกตการเจริญของเชื้อราที่ทดสอบภายหลังการบ่มเชื้อในวันที่ 5 สำหรับทุก isolate และวันที่ 10 สำหรับ isolate A3 ทำการทดลอง 2 ซ้ำ แสดงผลเทียบกับการเจริญของเชื้อในกลุ่มควบคุมซึ่งไม่ได้ชุบสารเคลือบ โดยกำหนดให้การเจริญ +++ หมายถึงการเจริญของกลุ่มควบคุม ++ มีการเจริญน้อยกว่ากลุ่มควบคุม + มีการเจริญน้อยกว่ากลุ่มควบคุมมาก และ - ไม่มีการเจริญ

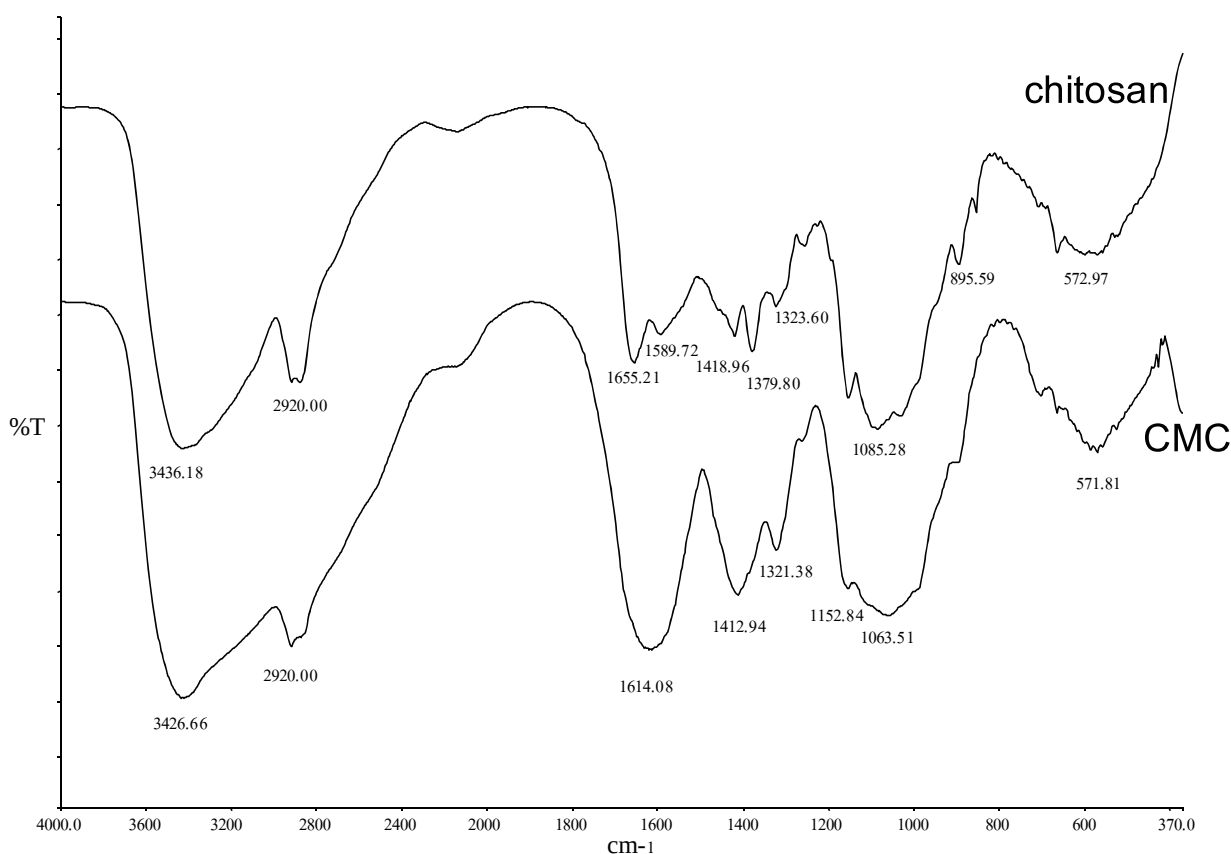
บทที่ 3

ผลการทดลองและอภิปรายผลการทดลอง

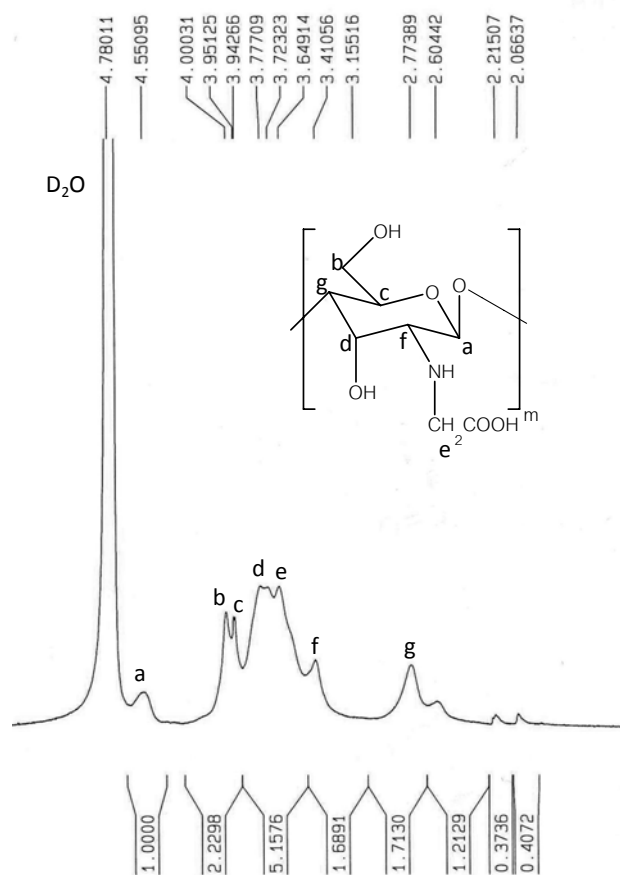
I. ผลการสังเคราะห์อนุพันธ์ของไคโตซาน

1. ผลการสังเคราะห์คาร์บอกซีเมทิลไคโตซาน (Carboxymethylchitosan, CMC)

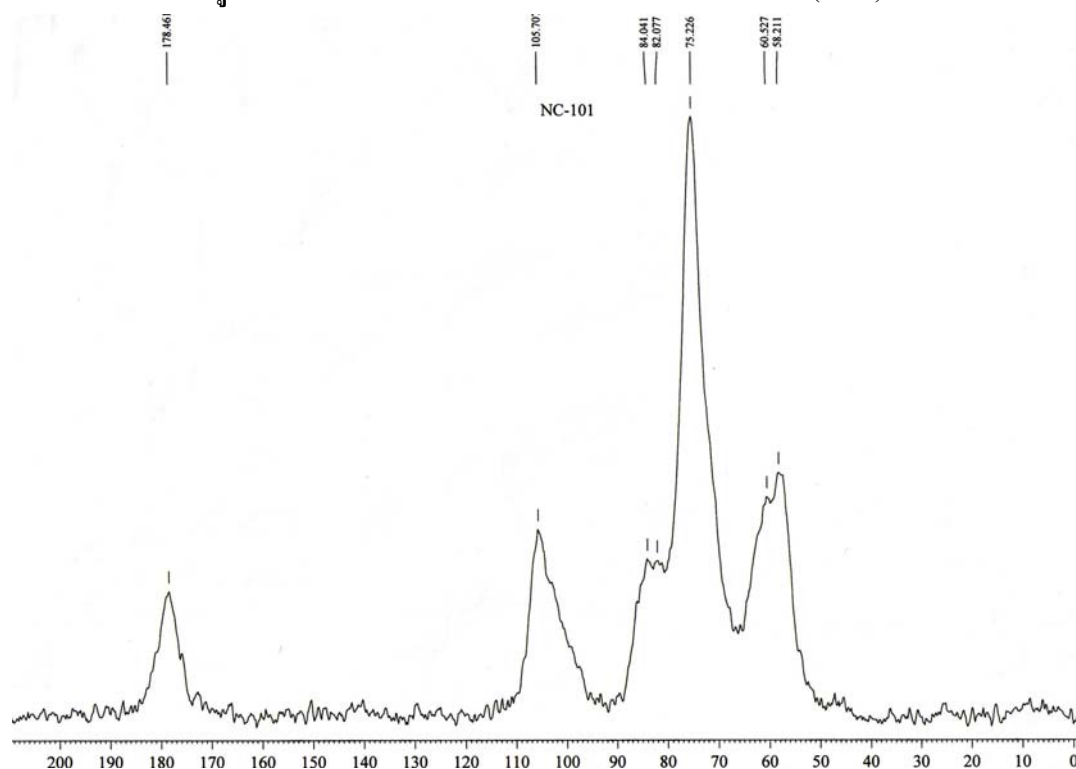
คาร์บอกซีเมทิลไคโตซาน (CMC) ที่เตรียมได้สามารถละลายได้ดีในน้ำ อีกทั้งเมื่อทำการศึกษาหมู่ฟังก์ชันด้วยเทคนิค FTIR ดังแสดงในรูปที่ 14 พบว่าไคโตซานซึ่งยังคงมีหมู่อะซิดที่เหลือจากขั้นตอน deacetylation (ปฏิกิริยากำจัดหมู่อะซิดเพื่อเปลี่ยนไคตินเป็นไคโตซาน) จึงทำให้เห็นพีก C=O stretching ขึ้นที่ประมาณ 1655 cm^{-1} ซึ่งพีกจะมีลักษณะเล็กและแหลม (sharp) แต่เมื่อเตรียมเป็น CMC จะพบว่าพีก C=O stretching จะมีลักษณะใหญ่และกว้าง (broad) (1614 cm^{-1}) ซึ่งเป็นลักษณะเฉพาะของหมู่ carboxylic ทั้งนี้หลักฐานสำคัญในการเตรียม CMC นั้นคือความสามารถในการละลายน้ำ รูปที่ 15 และ 16 แสดงโปรตอน NMR ขึ้นย่นโครงสร้างภายหลังการทำปฏิกิริยา



รูปที่ 14 - สเปกตรัม FTIR ของ chitosan และคาร์บอกซีเมทิลไคโตซาน (CMC)



รูปที่ 15 - สเปกตรัม ¹H NMR ของคาร์บอกซีเมทิลไคโตซาน (CMC)



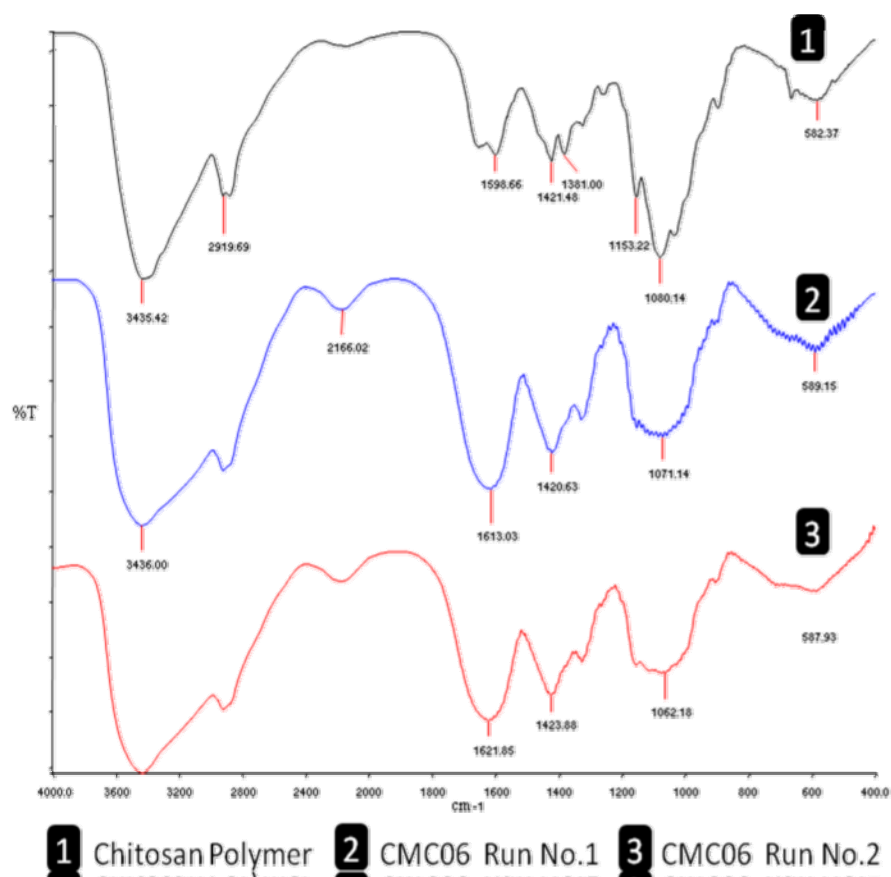
รูปที่ 16 - สเปกตรัม solid ¹³C NMR ของคาร์บอกซีเมทิลไคโตซาน (CMC)

ปรับขั้นตอนและกรรมวิธีการสังเคราะห์คาร์บอกซีเมทิลไคโตซานตามกรรมวิธีที่แสดงในรูปที่ 2 จนกระทั่งได้คาร์บอกซีเมทิลไคโตซานที่มีลักษณะเป็นผงตะกอนสีขาว ดังรูปที่ 17 และเมื่อทำการทดสอบการละลายน้ำเบื้องต้น ในอัตราส่วนคาร์บอกซีเมทิลไคโตซานต่อน้ำ เท่ากับ 0.3 กรัม ต่อ 20 มิลลิลิตร พบว่า มีความสามารถละลายน้ำได้ดี และรวดเร็ว ซึ่งหากขั้นตอนและกระบวนการสังเคราะห์ที่ไม่เหมาะสมจะได้คาร์บอกซีเมทิลไคโตซานที่มีลักษณะจับเป็นก้อน น้ำจะละลายได้ยากเมื่อทดลองความสามารถในการละลาย



รูปที่ 17 – ลักษณะสารผลิตภัณฑ์จากการสังเคราะห์คาร์บอกซีเมทิลไคโตซาน

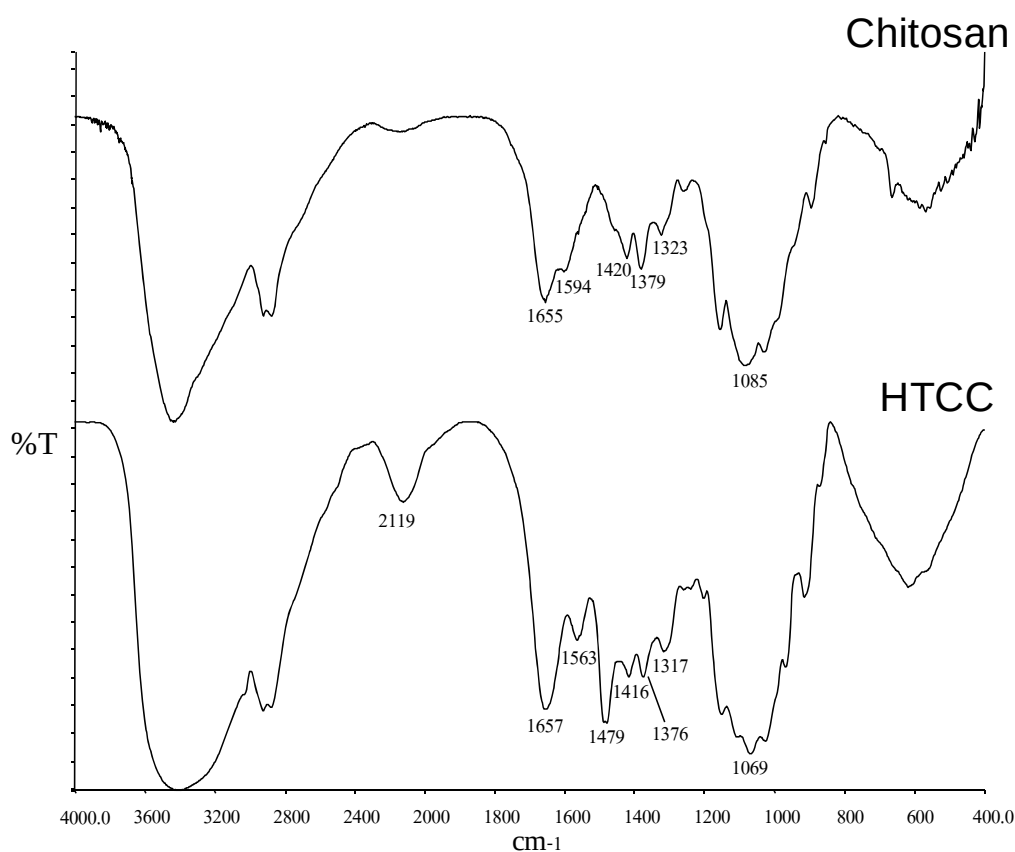
จากผลการวิเคราะห์หมู่ฟังก์ชัน ด้วยเทคนิค FT-IR จะเห็นสัญญาณของหมู่คาร์บอนิล ($C=O$) ที่ค่า $V = 1613\text{ cm}^{-1}$ ดังรูปที่ 18 ซึ่งเป็นคาร์บอกซีเมทิลไคโตซานที่เตรียมได้แต่ละครั้งเทียบกับไคโตซานเริ่มต้น การศึกษาคุณสมบัติการละลายน้ำของสารคาร์บอกซีเมทิลไคโตซานที่สามารถเตรียมได้ ซึ่งมีวิธีการทดลองโดยเตรียมบีกเกอร์ที่แห้งและสะอาดขนาด 100 มิลลิลิตร เติมสารคาร์บอกซีเมทิลไคโตซานที่ผ่านการอบที่อุณหภูมิ 40 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 24 ชั่วโมง นำมาชั่งน้ำหนักที่แน่นอน (0.5 กรัม) ค่อยๆ ใส่น้ำกลั่นจากบิวเรตลงสู่บีกเกอร์ทีละ 0.5 มิลลิลิตร จับเวลา สังเกตการณ์ละลาย พบว่า เมื่อใส่น้ำลงมาในบีกเกอร์ในช่วงปริมาตร 8-9 มิลลิลิตรนั้น คาร์บอกซีเมทิลไคโตซาน สามารถละลายน้ำได้หมด แต่มีลักษณะเป็นสารละลายที่เหนียวหนืดมาก



รูปที่ 18 - FT-IR สเปกตรากของการสังเคราะห์คาร์บอกซีเมทิลไคโตซานเทียบกับไคโตซานเริ่มต้น

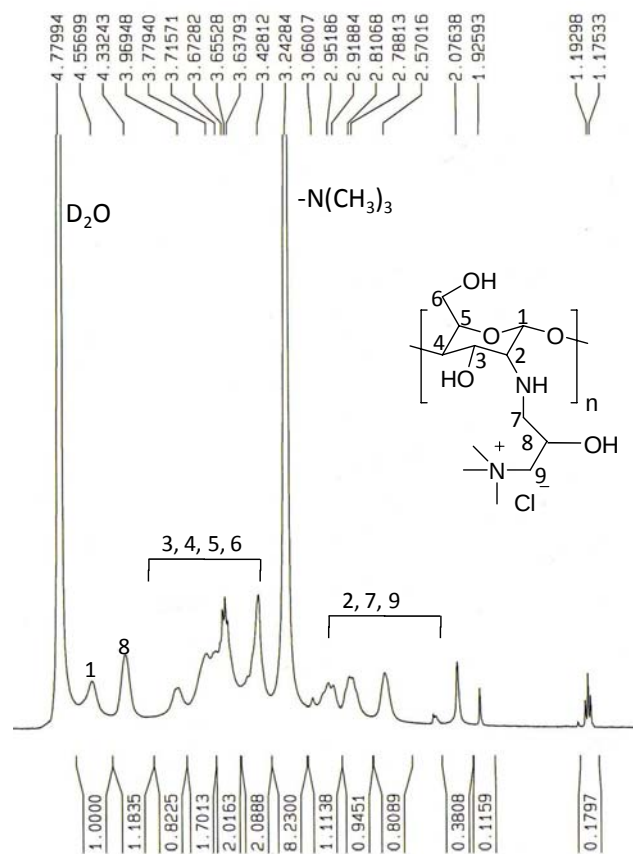
2. ผลการสังเคราะห์ N-[(2-hydroxy-3-trimethylammonium)propyl] chitosan chloride

จากผลการศึกษาหมู่ฟังก์ชันด้วยเทคนิค FTIR รูปที่ 19 พบว่าเมื่อเตรียมไลโดซานให้อยู่ในรูป N-[(2-hydroxy-3-trimethylammonium) propyl]chitosan chloride (HTCC) จะเกิดพีค C-H bending ของ trimethylammonium group ขึ้นที่ 1479 cm^{-1} และเกิดการหายไปของพีค C=O ของ primary amine (1595 cm^{-1}) ซึ่งเป็นการยืนยันการเตรียม HTCC

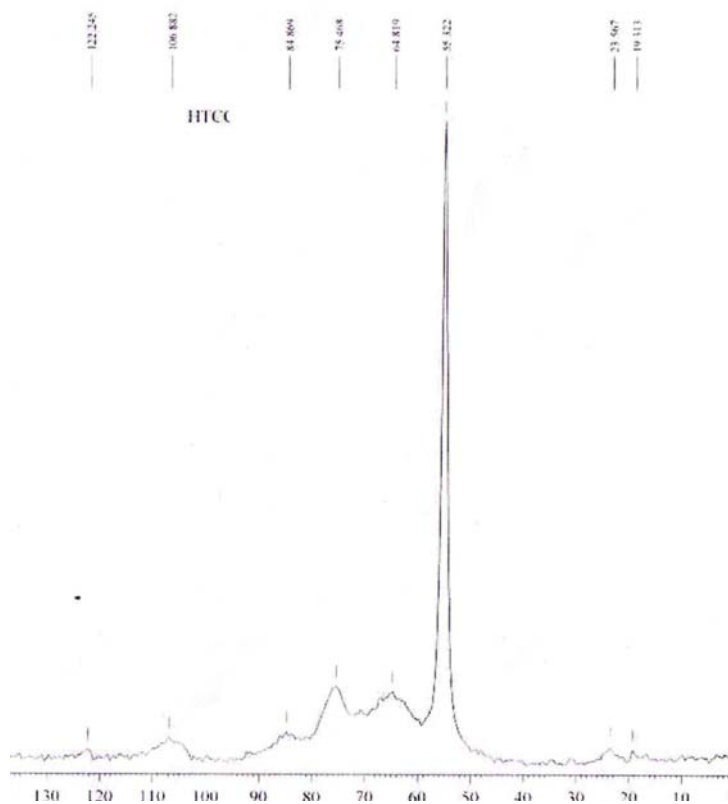


รูปที่ 19 - สเปกตรัม FTIR ของ chitosan และ N-[(2-hydroxy-3-trimethylammonium)propyl] chitosan chloride (HTCC)

นอกจากนี้เมื่อมีการยืนยันโครงสร้างทางเคมีของ HTCC ด้วยเทคนิคโปรตอน NMR รูปที่ 20 และ 21 พบว่ามีสัญญาณของ $\text{N}(\text{CH}_3)_3$ เกิดขึ้นที่ 3.24 ppm โดยสัญญาณดังกล่าวจะมีความเข้มและแหลมอย่างเห็นได้ชัดเจน จึงเป็นการยืนยันการเตรียมว่าได้ HTCC ตามวัตถุประสงค์



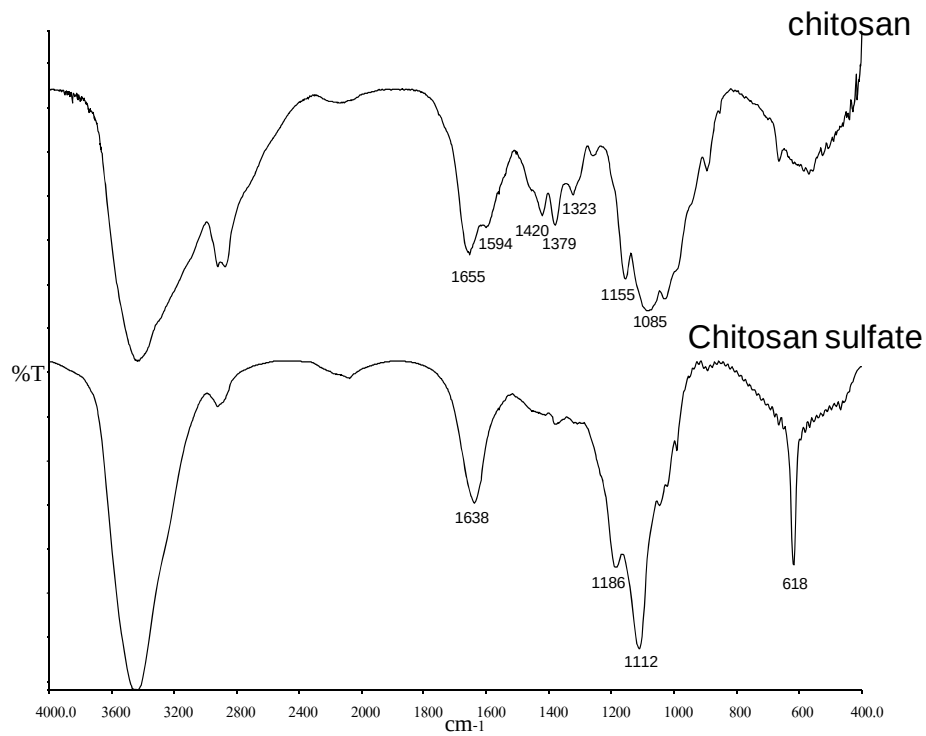
รูปที่ 20 - สเปกตรัม ¹H NMR ของ N-[(2-hydroxy-3-trimethylammonium)propyl]chitosan chloride (HTCC)



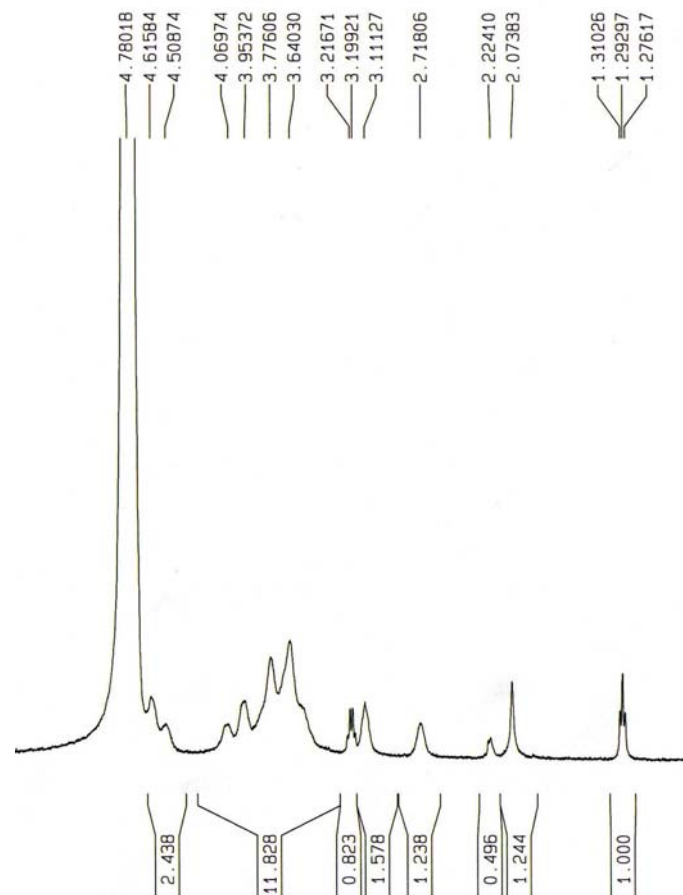
รูปที่ 21 - สเปกตรัม solid ¹³C NMR ของ N-[(2-hydroxy-3-trimethylammonium)propyl]chitosan chloride (HTCC)

3. ผลการสังเคราะห์ Chitosan N-sulfate

จากผลการศึกษาหมู่ฟังก์ชันด้วยเทคนิค FTIR รูปที่ 22 พบว่าเมื่อเตรียมไคโตซานให้อยู่ในรูป chitosan sulfate จะพบพีคของหมู่ sulfate เกิดขึ้นอย่างชัดเจนที่ 1112 cm^{-1} และเกิดการหายไปของพีค C=O ของ primary amine (1594 cm^{-1}) และยืนยันโครงสร้างด้วยโปรตอน NMR ดังแสดงในรูปที่ 23

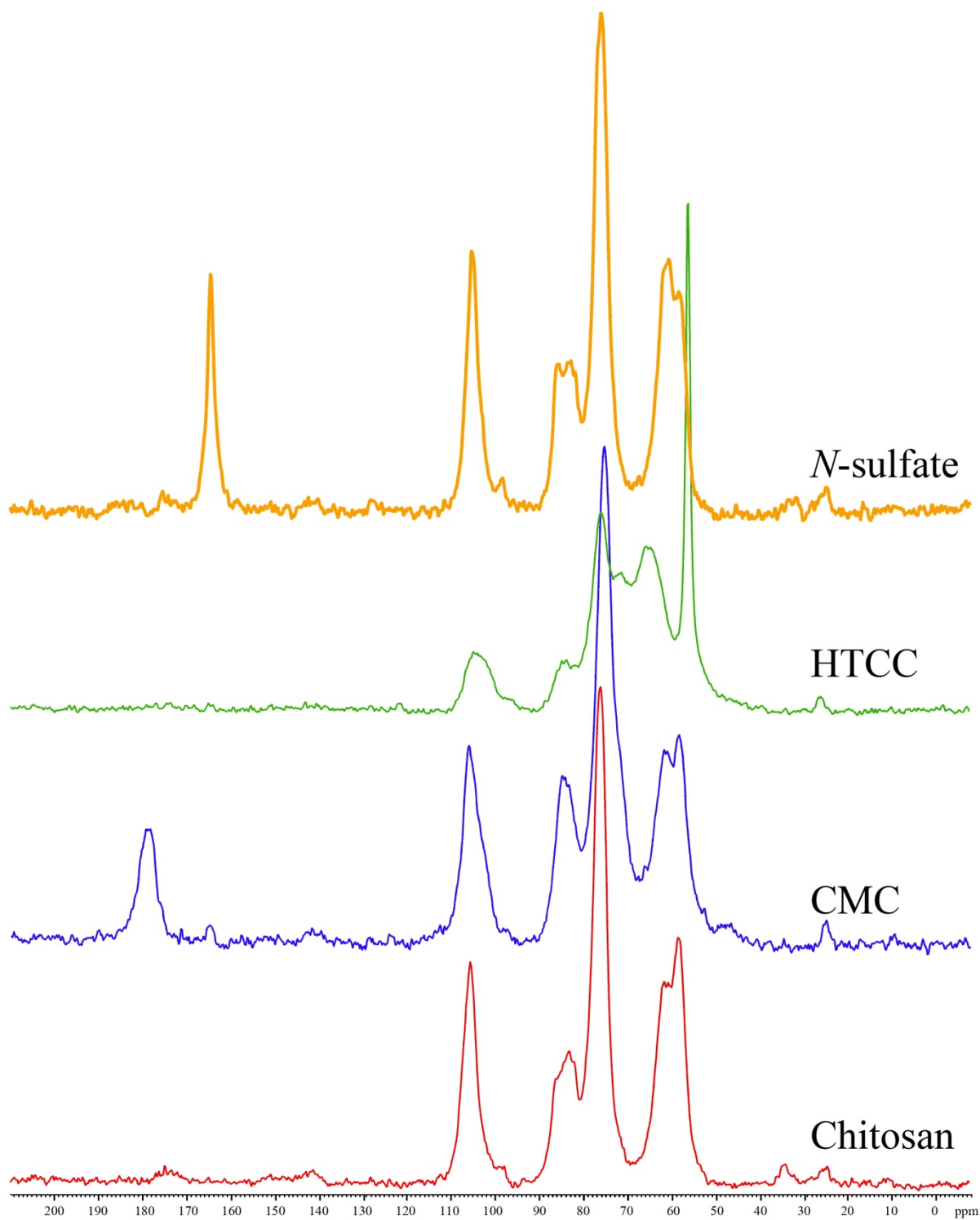


รูปที่ 22 - สเปกตรัม FTIR ของ chitosan และ chitosan sulfate



รูปที่ 23 - สเปกตรัม ^1H NMR ของ chitosan sulfate

รูปที่ 24 แสดง ^{13}C -NMR สเปกตรัมของสารผลิตภัณฑ์ทั้งสามชนิดเปรียบเทียบกับไคโตซาน ทำให้ทราบว่าไคโตซานที่สังเคราะห์ทั้ง 3 ชนิดมีหมู่ฟังก์ชันตามที่ต้องการ ตามที่ได้กล่าวไว้ข้างต้นว่าการเตรียมอนุพันธ์คาร์บอกซิเมทิลไคโตซานสามารถทำได้ง่าย มีราคาถูก และได้อนุพันธ์ที่สามารถละลายในน้ำกลั่นได้ดีที่สุด ซึ่งมีศักยภาพในการนำไปใช้จริงได้มากที่สุด จึงเลือกขยายการผลิตคาร์บอกซิเมทิลไคโตซานให้ได้สารตัวอย่างสำหรับการทดลองเตรียมแผ่นฟิล์ม ประเมินคุณสมบัติแผ่นฟิล์ม และประเมินประสิทธิภาพในการยืดอายุการเก็บรักษากล้วยไข่ต่อไป โดยจะเตรียมคาร์บอกซิเมทิลไคโตซานให้ได้อย่างน้อย 600 กรัม



รูปที่ 24 - ^{13}C -NMR สเปกตรัมของสารผลิตภัณฑ์ทั้งสามชนิดเปรียบเทียบกับไคโตซาน

4. ผลการศึกษาคุณสมบัติการละลายน้ำของอนุพันธ์ไคโตซาน

เมื่อนำสารตัวอย่างทั้ง 3 ชนิด (CMC, HTCC และ Chitosan sulfate) ตัวอย่างละ 0.3 กรัม มาละลายในน้ำกลั่น ปริมาตร 20 มิลลิลิตร เป็นเวลา 48 ชั่วโมง จากการประเมินด้วยตาเปล่าพบว่า CMC และ HTCC มีความสามารถในการละลายที่ดี แต่ยังคงพบอนุภาคนาโนขนาดเล็กกระจายตัวอยู่ในน้ำกลั่น แต่ใน Chitosan sulfate พบว่ามีความสามารถในการละลายที่ดีในระดับต่ำกว่า CMC และ HTCC โดยยังคงมีอนุภาคนาโนบางส่วนที่ไม่ละลายน้ำและรวมตัวตกตะกอนลงมา เมื่อศึกษาโดยการชั่งน้ำหนักตัวอย่างก่อนและหลังการละลายในน้ำกลั่น พบว่า CMC มีความสามารถในการละลายดีที่สุด (93.30 %) ส่วน HTCC และ Chitosan sulfate มีความสามารถในการละลาย 87.63 และ 76.23 % ตามลำดับ

ตารางที่ 1 - แสดงความสามารถของการละลายในน้ำกลั่นของอนุพันธ์ไคโตซาน 3 ชนิด เมื่อใช้อนุพันธ์ไคโตซานจำนวน 0.3000 กรัม ละลายในน้ำกลั่น 20 มิลลิลิตร (n = 3)

ตัวอย่าง	น้ำหนักก่อนละลาย ในน้ำกลั่น (g)	น้ำหนักของส่วนที่ไม่ละลาย ในน้ำกลั่น (g)	ส่วนที่ละลายในน้ำกลั่น (%)
CMC	0.3000	0.0201	93.30
HTCC	0.3000	0.0370	87.63
Chitosan sulfate	0.3000	0.0712	76.23

ศึกษาการสังเคราะห์อนุพันธ์ของไคโตซานทั้ง 3 ชนิด Carboxymethyl chitosan (CMC), N-[(2-hydroxy-3-trimethylammonium) propyl]chitosan chloride และ Chitosan N-sulfate โดยดัดแปลงวิธีการสังเคราะห์จาก Chen et al., 2003, Lim et al., 2004 และ Holme et al., 1997 ตามลำดับ พบว่าอนุพันธ์ทั้ง 3 ชนิด สามารถละลายน้ำได้ดีตามที่ระบุในเอกสารอ้างอิง ทำการทดลองเพิ่มเติมเพื่อเปรียบเทียบความสามารถในการขยายขนาดการสังเคราะห์และเปรียบเทียบต้นทุนในการผลิตอนุพันธ์ทั้ง 3 ชนิด ตารางที่ 2 – ตารางที่ 5 แสดงค่าเปรียบเทียบมูลค่าสารเคมีที่ใช้ต่อหน่วยของอนุพันธ์ไคโตซานทั้ง 3 ชนิด ตามขนาดการผลิตที่ได้ผลการสังเคราะห์ดีที่สุด โดยเลือกใช้ไคโตซานจากกุ้งชนิดน้ำหนักโมเลกุลปานกลาง (MW 125-500 kDa) เป็นสารตั้งต้นในการสังเคราะห์พบว่า Carboxymethyl chitosan (CMC), N-[(2-hydroxy-3-trimethylammonium) propyl]chitosan chloride และ Chitosan N-sulfate มีราคาคำนวณต้นทุนสารเคมีที่ใช้ในการสังเคราะห์เป็นเงิน 3.5, 199 และ 2,204 บาทต่อกรัม ตามลำดับ ดังแสดงราคาเปรียบเทียบในตารางที่ 5 โดยคิดราคาไคโตซานจากกุ้งที่ใช้เป็นสารเริ่มต้น 1 บาทต่อกรัม

ตารางที่ 2 – แสดงค่าการประเมินราคาการสังเคราะห์ Carboxymethyl chitosan (CMC) จำนวน 40 กรัม

	สารเคมี	ราคา (บาท)
1	Chitosan จากกุ้ง 40 กรัม	40.00
2	Sodium hydroxide 40 กรัม	11.40
3	Chloroacetic acid 48 กรัม	23.60
4	Methanol 1 ลิตร	65.00
	รวมเป็นเงิน	140.00 (ราคา 3.5 บาทต่อกรัม)

ตารางที่ 3 - แสดงค่าการประเมินราคาการสังเคราะห์ N-[(2-hydroxy-3-trimethylammonium) propyl] chitosan chloride จำนวน 6 กรัม

	สารเคมี	ราคา (บาท)
1	Chitosan จากกุ้ง 6 กรัม	6.00
2	Glycidyl triethylammonium chloride (GTMAC) 21.3 ลิตร	877.56
3	Acetone 400 มิลลิลิตร	280.00
4	Ethanol 50 มิลลิลิตร	18.75
5	Methanol 200 มิลลิลิตร	13.00
	รวมเป็นเงิน	1195.31 (ราคา 199 บาทต่อกรัม)

ตารางที่ 4 - แสดงค่าการประเมินราคาการสังเคราะห์ Chitosan N-sulfate จำนวน 1 กรัม

	สารเคมี	ราคา (บาท)
1	Chitosan จากกุ้ง 1 กรัม	1.00
2	Sodium carbonate 1.12 กรัม	1.20
3	Triethylamine-sulfur trioxide 2.85 กรัม	2097.60
4	Acetone 150 มิลลิลิตร	105.00
	รวมเป็นเงิน	2204.80 (ราคา 2204 บาทต่อกรัม)

ตารางที่ 5 - แสดงค่าเปรียบเทียบมูลค่าต่อหน่วยของไคโตซานและอนุพันธ์ทั้ง 3 ชนิด

ลำดับ	ชื่อสาร	ค่าการละลายในน้ำกลั่น (ปริมาณน้ำต่อสาร 1 กรัม)	ราคาต่อหน่วย 1 กรัม (บาท)
1	Shrimp Chitosan (MW 125-500 kDa)	ไม่ละลาย	1.00
2	Carboxymethylchitosan (CMC)	93.30	3.50
3	N-[(2-hydroxy-3-trimethylammonium) propyl]chitosan chloride	87.63	199
4	Chitosan N-sulfate	76.23	2,204

จากผลการเปรียบเทียบสรุปได้ว่าการเตรียมอนุพันธ์ไคโตซานชนิดคาร์บอกซีเมทิลไคโตซานสามารถเตรียมได้ง่าย และราคาถูกเมื่อเทียบกับอนุพันธ์ของไคโตซานอีก 2 ชนิดที่เลือกทำการทดลอง นอกจากมีกระบวนการผลิตที่ไม่ซับซ้อน และต้นทุนต่ำแล้วยังมีความสามารถในการละลายน้ำกลั่นได้ดีกว่าอนุพันธ์อื่นทั้ง 2 ชนิด ซึ่งเมื่อเปรียบเทียบกับไคโตซานที่เป็นสารเริ่มต้นที่ไม่สามารถละลายในน้ำกลั่นได้เลย จึงนับได้ว่าเป็นทางเลือกที่ควรนำมาศึกษาหาการผลิตแบบขยายขนาด เพื่อใช้สำหรับการเตรียมแผ่นฟิล์ม ประเมินแผ่นฟิล์ม และประเมินประสิทธิภาพในการยืดอายุการเก็บกล้วยไข่ต่อไป

II. การศึกษาการเตรียมแผ่นฟิล์มจากไคโตซานชนิดน้ำหนักโมเลกุลต่ำ และน้ำหนักโมเลกุลปานกลาง

ผลการศึกษาเปรียบเทียบความสามารถในการเตรียมเป็นแผ่นฟิล์มของไคโตซานชนิดน้ำหนักโมเลกุลต่ำ (น้ำหนักโมเลกุลต่ำกว่า 250 kDa) และน้ำหนักโมเลกุลปานกลาง (น้ำหนักโมเลกุล 250-500 kDa) 96% Deacetylation จากบริษัท Aqua Premier Co. Ltd. สำหรับไคโตซานน้ำหนักโมเลกุลสูงนั้นมีความหนืดสูงมาก เตรียมเป็นแผ่นฟิล์มได้ยาก จึงไม่นำมาใช้ในการศึกษาครั้งนี้

1. การเตรียมแผ่นฟิล์มเปล่าจากไคโตซาน

ตารางที่ 6 แสดงส่วนประกอบของตำรับ ลักษณะของสารละลายที่เตรียมได้ และลักษณะของแผ่นฟิล์มที่เตรียมจากไคโตซานชนิดน้ำหนักโมเลกุลต่ำ พบว่าลักษณะของแผ่นฟิล์มที่ได้ไม่สามารถลอกออกจากจานแก้วให้เป็นแผ่นสวยงามได้ แสดงให้เห็นว่า แผ่นฟิล์มที่เตรียมได้จากไคโตซานน้ำหนักโมเลกุลต่ำ ไม่มีคุณสมบัติของแผ่นฟิล์มที่ดี แผ่นฟิล์มแตก กรอบ หลุดลอกเป็นชิ้นได้ง่าย การทดลองนี้จึงไม่นำไคโตซานชนิดน้ำหนักโมเลกุลต่ำมาพัฒนาและประเมินคุณสมบัติของแผ่นฟิล์มต่อไป

ตารางที่ 7 แสดงส่วนประกอบของตำรับ ลักษณะของสารละลายที่เตรียมได้ และลักษณะของแผ่นฟิล์มที่เตรียมจากไคโตซานชนิดความหนืดปานกลาง พบว่าได้ลักษณะฟิล์มที่ดีสามารถจับตัวเป็นแผ่นฟิล์มได้ดี การเติม PEG-400 หรือ Tween 80 ช่วยลดการแตกกรอบของแผ่นฟิล์มได้ แต่แผ่นฟิล์มที่มี Tween 80 ทำให้ได้สารละลายไคโตซานที่มีลักษณะขุ่น เมื่อเทเป็นแผ่นฟิล์มก็จะได้แผ่นฟิล์มที่ขาวขุ่น ไม่สวยงาม ตำรับที่มีส่วนประกอบของไคโตซานร้อยละ 2 โดยน้ำหนัก ร่วมกับ PEG-400 ร้อยละ 0.5 และ 1 โดยปริมาตร ได้แผ่นฟิล์มที่มีลักษณะสวยงาม แผ่นฟิล์มไม่แตกกรอบ

ตารางที่ 6 – บันทึกส่วนประกอบ ลักษณะของสารละลายและฟิล์มที่เตรียมจากไคโตซานน้ำหนักโมเลกุลปานกลาง

ตำรับ	ส่วนประกอบ			ลักษณะของสารละลาย					ลักษณะของแผ่นฟิล์ม				หมายเหตุ
	Concentrate Chitosan(%w/v)	PEG-400 (%w/v)	Tween 80 (%w/v)	แรงตึงผิว (mN/m)	ความหนาแน่น (g/ml)	ความหนืด (cP)	ความใส	ความขุ่น สีเหลือง	ความใส	ความขุ่น สีเหลือง	ความ กรอบ	ความหนา (mm)	
1	1.00	-	-	43.99±0.39	1.0036	34.1±1.8	ขุ่น+	+	-	-	-	-	ลอกเป็นฟิล์มไม่ได้
2	1.00	0.50	-	43.00±2.90	1.0023	23.5±1.8	ขุ่น+	+	ใส	+	ไม่กรอบ	0.0602±0.0012	มีของเหลวซึม แผ่นฟิล์มติดกัน
3	1.00	1.00	-	43.96±1.83	1.0075	35.2±0.0	ขุ่น+	+	ใส	+	ไม่กรอบ	0.0596±0.0025	มีของเหลวซึม แผ่นฟิล์มติดกัน
4	1.00	-	0.50	40.53±0.56	1.0019	30.9±6.7	ใส	+	ขุ่น+	+	ไม่กรอบ	0.0614±0.0043	สีไม่สม่ำเสมอ มีของเหลวซึม
5	1.00	-	1.00	41.27±0.35	0.9962	32.0±3.2	ขุ่น+	+	ขุ่น+	+	ไม่กรอบ	0.0807±0.0060	สีไม่สม่ำเสมอ มีของเหลวซึม
6	1.00	0.25	0.25	39.73±0.48	0.9946	27.7±1.8	ขุ่น+	+	ขุ่น+	+	ไม่กรอบ	0.0582±0.0065	-
7	1.00	0.50	0.50	40.53±0.20	0.9965	30.9±1.8	ใส	+	ใส	+	ไม่กรอบ	0.0679±0.0080	สีไม่สม่ำเสมอ มีของเหลวซึม
8	2.00	-	-	44.35±0.17	1.0085	149.3±1.8	ขุ่น+	++	-	-	-	-	ลอกเป็นฟิล์มไม่ได้
9	2.00	0.50	-	45.41±2.57	1.0054	176.0±3.2	ขุ่น+	++	ใส	++	ไม่กรอบ	0.0962±0.0056	-
10	2.00	1.0	-	47.40±0.87	1.0067	182.4±0.0	ขุ่น+++	++	ขุ่น+	++	ไม่กรอบ	0.1179±0.0122	-
11	2.00	-	0.50	40.21±0.44	1.0066	157.9±4.9	ขุ่น++	++	ขุ่น+	++	ไม่กรอบ	0.1119±0.0072	สีไม่สม่ำเสมอ มีของเหลวซึม
12	2.00	-	1.00	42.16±0.22	0.9986	139.7±3.7	ขุ่น+	++	ขุ่น	++	ไม่กรอบ	0.1108±0.0023	สีไม่สม่ำเสมอ มีของเหลวซึม
13	2.00	0.25	0.25	39.60±0.39	1.0029	157.9±1.8	ขุ่น+	++	ขุ่น+	++	ไม่กรอบ	0.0881±0.0031	-
14	2.00	0.50	0.50	41.33±0.73	1.0080	182.4±3.2	ขุ่น+	++	ขุ่น+	++	ไม่กรอบ	0.0875±0.0040	สีไม่สม่ำเสมอ มีของเหลวซึม
15	3.00	-	-	47.02±0.58	1.0084	750.9±4.9	ขุ่น+	+++	ใส	+++	ไม่กรอบ	0.1275±0.0059	-

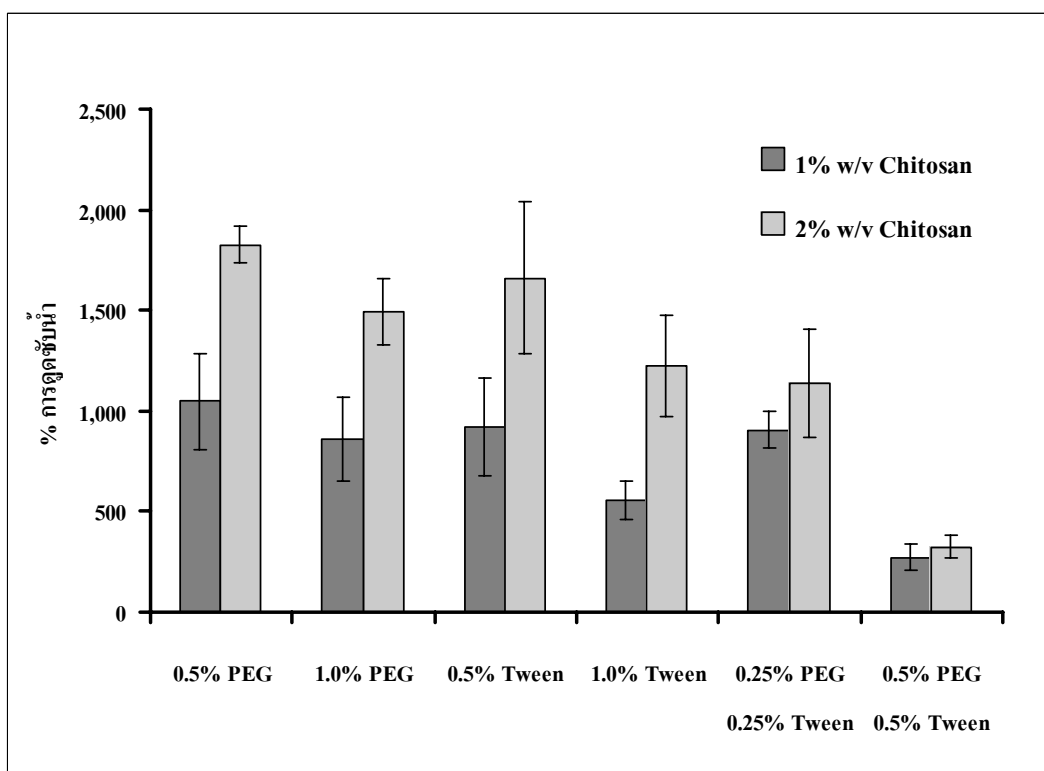
ตารางที่ 7 - บันทึกส่วนประกอบ ลักษณะของสารละลายและฟิล์มที่เตรียมจากไคโตซานน้ำหนักโมเลกุลต่ำ

คำ ร บ	ส่วนประกอบ			ลักษณะของสารละลาย					ลักษณะของแผ่นฟิล์ม				หมายเหตุ
	Concentrate Chitosan(%w/v)	PEG-400 (%w/v)	Tween 80 (%w/v)	แรงตึงผิว (mN/m)	ความหนาแน่น (g/ml)	ความหนืด (cP)	ความใส	ความขุ่น สีเหลือง	ความ ใส	ความขุ่น สีเหลือง	ความกรอบ	ความหนา (mm)	
1	1.00	-	-	44.13±4.13	1.0011	5.33±0.74	ใส	+	ใส	-	กรอบ+++	-	ลอกเป็นฟิล์มไม่ได้
2	1.00	0.50	-	51.31±3.52	1.0018	3.35±0.03	ใส	+	ใส	-	กรอบ+++	-	ลอกเป็นฟิล์มไม่ได้
3	1.00	1.00	-	52.92±1.48	1.0025	3.35±0.03	ใส	++	-	+	กรอบ++++	-	ลอกเป็นฟิล์มไม่ได้
4	1.00	-	0.50	41.26±0.35	1.0018	3.46±0.07	ใส	+	ขุ่น+	+	ไม่กรอบ	0.0582±0.0039	มีของเหลวซึม
5	1.00	-	1.00	40.75±0.11	1.0015	4.21±0.05	ใส	+	ขุ่น+	+	กรอบ++	-	ลอกเป็นฟิล์มไม่ได้
6	1.00	0.25	0.25	41.91±0.22	1.0015	4.24±0.00	ใส	+	ขุ่น+	+	ไม่กรอบ	0.0522±0.0031	-
7	1.00	0.50	0.50	42.07±0.06	1.0017	4.17±0.09	ใส	+++	ขุ่น+	+	ไม่กรอบ	0.0862±0.0093	มีของเหลวซึม แผ่นฟิล์มติดกัน
8	2.00	-	-	46.44±3.97	1.0060	4.65±0.38	ใส	++	ใส	-	กรอบ+++	-	ลอกเป็นฟิล์มไม่ได้
9	2.00	0.50	-	46.87±7.22	1.0069	6.76±0.15	ใส	++	ใส	++	กรอบ++++	-	ลอกเป็นฟิล์มไม่ได้
10	2.00	1.0	-	45.54±1.86	1.0061	6.91±0.28	ใส	++++	ขุ่น+	++	กรอบ++++	-	ลอกเป็นฟิล์มไม่ได้
11	2.00	-	0.50	42.20±0.06	1.0042	6.74±0.18	ใส	++	ขุ่น+	++	ไม่กรอบ	0.0817±0.0021	สีไม่สม่ำเสมอ มีของเหลวซึม
12	2.00	-	1.00	41.65±0.00	1.0059	8.53±0.28	ใส	++	ขุ่น+	++	กรอบ++	-	ลอกเป็นฟิล์มไม่ได้
13	2.00	0.25	0.25	42.29±0.22	0.9985	8.45±0.12	ใส	++	ขุ่น+	++	ไม่กรอบ	0.1064±0.0006	-
14	2.00	0.50	0.50	42.07±0.39	1.0060	8.42±0.36	ใส	++++	ขุ่น+	++	ไม่กรอบ	0.1203±0.0074	-
15	3.00	-	-	47.41±4.56	1.0097	750.9±4.9	ใส	+++	ใส	-	กรอบ+++	-	ลอกเป็นฟิล์มไม่ได้

1. การศึกษาคุณสมบัติของแผ่นฟิล์มเปล่าไคโตซาน

2.1 ประเมินความสามารถในการดูดซับน้ำของแผ่นฟิล์ม

รูปที่ 25 แสดงร้อยละการดูดซับน้ำของแผ่นฟิล์มขนาด 1 ตารางนิ้วเปรียบเทียบระหว่างสูตรที่ความเข้มข้นของไคโตซานร้อยละ 1 และ 2 ตามลำดับ เมื่อใช้สารเพิ่มความยืดหยุ่นเป็น PEG-400 และ Tween 80 ในปริมาณต่างๆ พบว่าที่ความเข้มข้นของไคโตซานร้อยละ 2 โดยน้ำหนัก จะมีความสามารถในการดูดซับน้ำมากกว่าความเข้มข้นของไคโตซานร้อยละ 1 โดยน้ำหนัก ทุกตัวรับ โดยที่การใช้ PEG-400 ร้อยละ 0.5 โดยปริมาตร จะมีการดูดซับน้ำต่ำกว่าร้อยละ 1 โดยปริมาตร เพียงเล็กน้อยอย่างไม่มีความสำคัญทางสถิติ ตัวรับที่ใช้ส่วนผสมของ PEG-400 ร่วมกับ Tween 80 อย่างละร้อยละ 0.5 โดยปริมาตร มีการดูดซับน้ำน้อยที่สุด

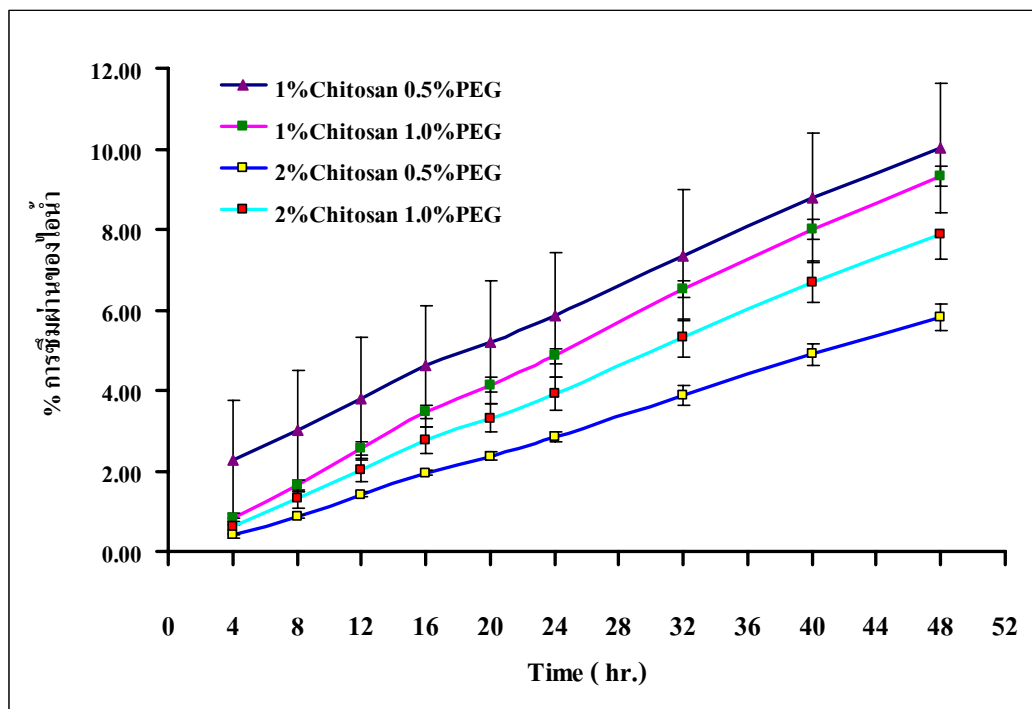


รูปที่ 25 - แสดงร้อยละการดูดซับน้ำของแผ่นฟิล์มขนาด 1 ตารางนิ้วเปรียบเทียบระหว่างสูตรต่างๆ

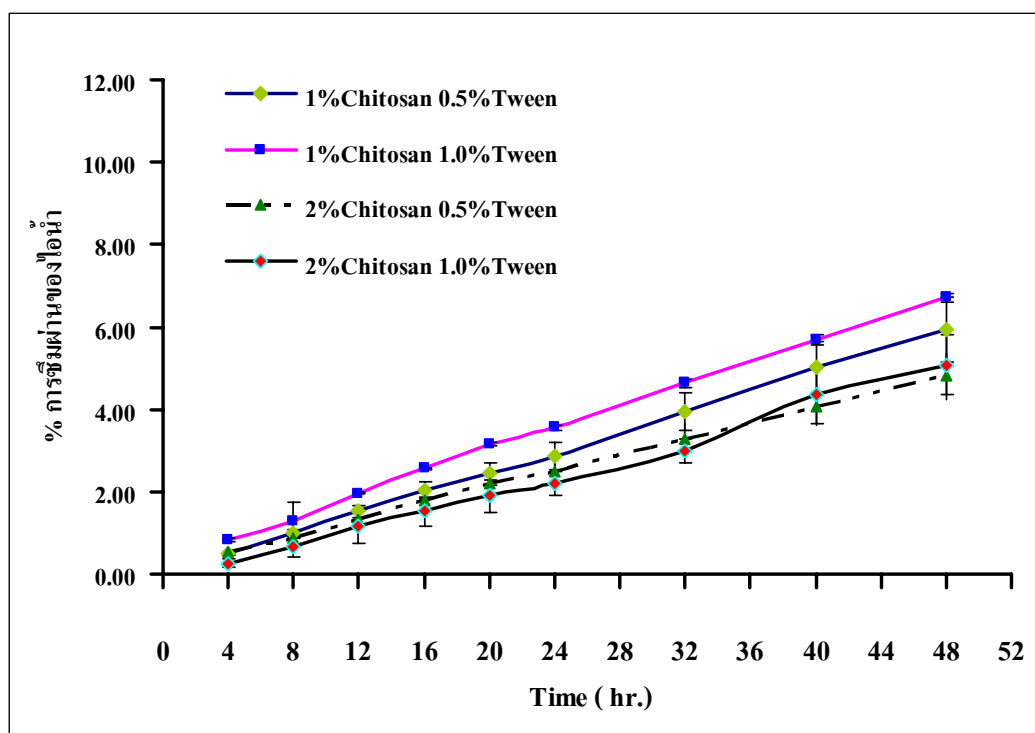
2.2 ประเมินความสามารถในการซึมผ่านของไอน้ำ

ผลการทดลองในรูปที่ 26, 27 และ 28 พบว่าตัวรับที่มีไคโตซานร้อยละ 1 โดยน้ำหนัก จะมีการซึมผ่านของไอน้ำได้มากกว่า ตัวรับที่มีไคโตซานร้อยละ 2 โดยน้ำหนัก และการใช้ PEG-400 จะมีแนวโน้มเพิ่มการซึมผ่านของไอน้ำได้ดีกว่าตัวรับที่มี Tween 80 และตัวรับที่มีส่วนผสมของ PEG-400 และ Tween 80 โดยที่ปริมาณการซึมผ่านของไอน้ำผ่านแผ่นฟิล์มแปรผันตรงกับเวลาแบบปฏิกิริยาอันดับศูนย์ เมื่อทำการแทนค่าการซึมผ่านของไอน้ำที่เวลาต่างๆ ของแต่ละสูตรตัวรับลงในสมการจะได้สมการเส้นตรงที่ค่าความชันแสดงถึงความเร็วของปฏิกิริยาอันดับศูนย์ และค่า R^2 แสดงถึงความเหมาะสมของสมการที่มีค่ามากกว่า 0.99 ในทุกสูตรตัวรับ ดังแสดงในตารางที่ 8 ค่าทุกค่าสอดคล้องกับบทสรุปที่ได้กล่าวข้างต้น ได้แก่

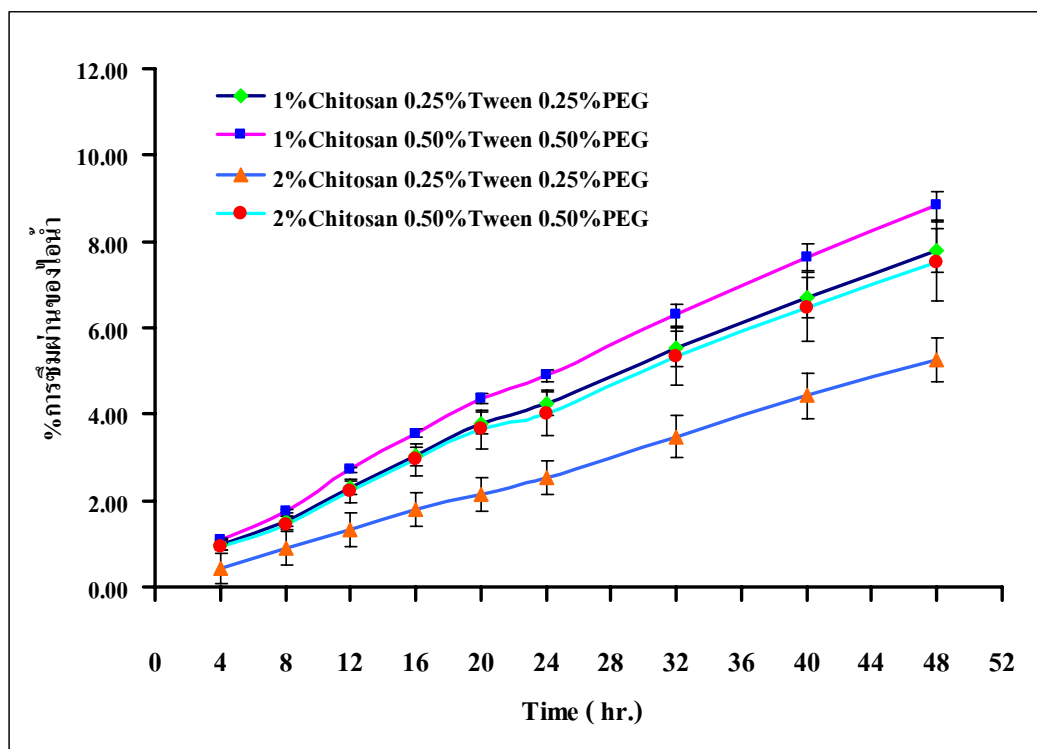
สูตรตำรับที่มีไคโตซานร้อยละ 1 โดยน้ำหนัก มีการซึมผ่านไอน้ำเร็วกว่าตำรับที่มีไคโตซานร้อยละ 2 โดยน้ำหนัก และ PEG-400 สามารถช่วยเพิ่มการซึมผ่านของไอน้ำได้ดังนี้



รูปที่ 26 – แสดงร้อยละการซึมผ่านของไอน้ำของแผ่นฟิล์มขนาดรูเปิดเส้นผ่าศูนย์กลาง 1 นิ้ว ของตำรับไคโตซานร้อยละ 1 และ 2 โดยน้ำหนัก PEG-400 ร้อยละ 0.5 และ 1 โดยปริมาตร



รูปที่ 27 – แสดงร้อยละการซึมผ่านของไอน้ำของแผ่นฟิล์มขนาดรูเปิดเส้นผ่าศูนย์กลาง 1 นิ้ว ของตำรับ ไคโตซานร้อยละ 1 และ 2 โดยน้ำหนัก Tween 80 ร้อยละ 0.5 และ 1 โดยปริมาตร



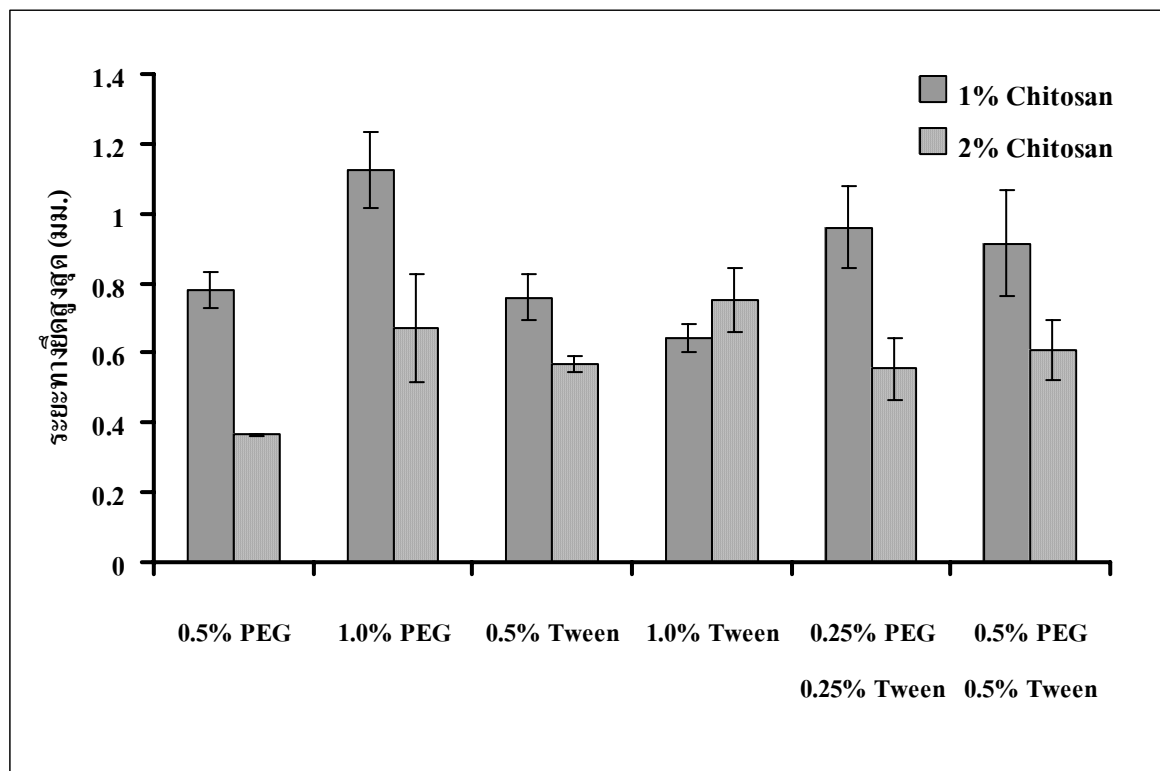
รูปที่ 28 – แสดงร้อยละการซึมผ่านของไอน้ำของแผ่นฟิล์มขนาดรูเปิดเส้นผ่าศูนย์กลาง 1 นิ้ว ของตำรับ ไคโตซานร้อยละ 1 และ 2 โดยน้ำหนัก PEG-400+Tween 80 ร้อยละ 0.5 และ 1 โดยปริมาตร

ตารางที่ 8 – แสดงส่วนประกอบของแผ่นฟิล์ม อัตราเร็วของการซึมผ่านไอน้ำ และ R^2 ของสมการ

ตำรับ	ส่วนประกอบ	K (rate) $\pm$ SD	$R^2 \pm$ SD
1	1%Chitosan 0.5%PEG-400	0.1768 $\pm$ 0.0031	0.9989 $\pm$ 0.0002
2	1%Chitosan 1.0%PEG-400	0.1938 $\pm$ 0.0026	0.9982 $\pm$ 0.0005
3	1%Chitosan 0.5%Tween 80	0.1237 $\pm$ 0.0172	0.9988 $\pm$ 0.0001
4	1%Chitosan 1.0%Tween 80	0.1339 $\pm$ 0.0024	0.9985 $\pm$ 0.0004
5	1%Chitosan 0.25%PEG-400 0.25%Tween 80	0.1562 $\pm$ 0.0123	0.9973 $\pm$ 0.0008
6	1%Chitosan 0.50%PEG-400 0.50%Tween 80	0.1766 $\pm$ 0.0077	0.9956 $\pm$ 0.0006
7	2%Chitosan 0.5%PEG-400	0.1236 $\pm$ 0.0084	0.9995 $\pm$ 0.0000
8	2%Chitosan 1.0%PEG-400	0.1657 $\pm$ 0.0098	0.9993 $\pm$ 0.0002
9	2%Chitosan 0.5%Tween 80	0.0976 $\pm$ 0.0130	0.9985 $\pm$ 0.0003
10	2%Chitosan 1.0%Tween 80	0.1108 $\pm$ 0.0127	0.9934 $\pm$ 0.0069
11	2%Chitosan 0.25%PEG-400 0.25%Tween 80	0.1094 $\pm$ 0.0046	0.9988 $\pm$ 0.0005
12	2%Chitosan 0.50%PEG-400 0.50%Tween 80	0.1516 $\pm$ 0.0189	0.9969 $\pm$ 0.0007

2.3 ประเมินความสามารถในการยึดของแผ่นฟิล์ม

ผลการทดลองพบว่าคาร์บอที่มีไคโตซานร้อยละ 1 โดยน้ำหนัก มีความยืดหยุ่นดีกว่าไคโตซานร้อยละ 2 โดยน้ำหนัก และการเพิ่มปริมาณ PEG-400 จากร้อยละ 0.5 เป็นร้อยละ 1 โดยปริมาณจะช่วยเพิ่มความยืดหยุ่นของฟิล์มได้ดี ในขณะที่การเพิ่ม Tween 80 จากร้อยละ 0.5 เป็นร้อยละ 1 โดยปริมาณนั้นไม่ทำให้ความยืดหยุ่นของฟิล์มดีขึ้น การใช้ PEG-400 ร่วมกับ Tween 80 ให้ผลเพิ่มความยืดหยุ่นไม่ดีเท่ากับการเพิ่ม PEG-400 เพียงอย่างเดียว ดังแสดงในรูปที่ 29



รูปที่ 29 – แสดงผลการดึงยืดของแผ่นฟิล์มขนาดกว้าง 1 x 2 เซนติเมตร เปรียบเทียบระหว่างสูตรต่างๆ

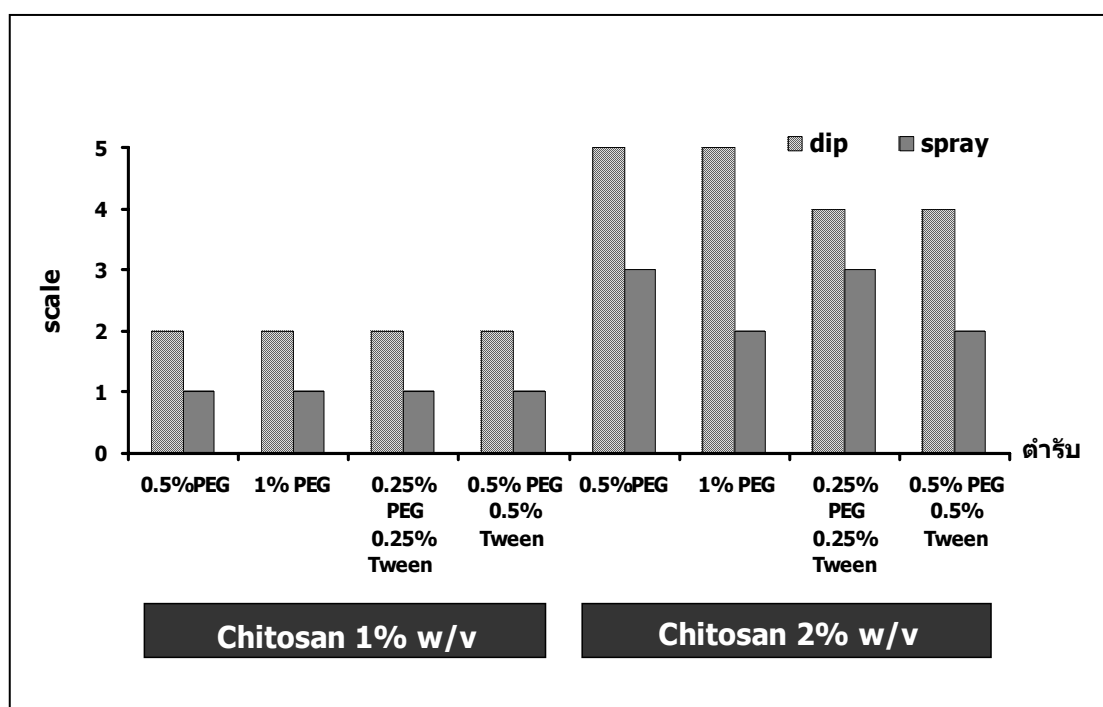
II. การศึกษาประสิทธิภาพเบื้องต้นของฟิล์มไคโตซานชนิดน้ำหนักโมเลกุลปานกลางในการยืดอายุการเก็บกล้วยไข่

การประเมินความสามารถในการยืดอายุการเก็บกล้วยไข่หลังการเก็บเกี่ยวมีการประเมินทั้งหมด 3 ลักษณะ โดยบันทึกผลการทดลองทุก 2 วันเป็นเวลาติดต่อกันนาน 8 วัน ดังต่อไปนี้

1. ศึกษาวิธีการเคลือบฟิล์มลงบนกล้วยไข่

รูปที่ 30 แสดงให้เห็นอย่างชัดเจนว่าการเคลือบด้วยสารละลายไคโตซานความเข้มข้นร้อยละ 1 โดยน้ำหนัก จะได้กล้วยที่มีลักษณะผิวเป็นมันเพียงเล็กน้อย การติดของฟิล์มเป็นหยดที่เชื่อมต่อกัน แต่ไม่สม่ำเสมอ (Scale 2) เมื่อเทียบกับการเคลือบกล้วยด้วยสารละลายไคโตซานความเข้มข้นร้อยละ 2 โดยน้ำหนัก ที่มีการเคลือบติดของฟิล์มบนผิวกล้วยเป็นมันเกือบทั้งผล การติดของฟิล์มสม่ำเสมอ (Scale 4) จนถึงผิวมันเงาทั้งผล การติดของฟิล์มสม่ำเสมอ (Scale 5)

เมื่อเปรียบเทียบวิธีการเคลือบทั้ง 2 แบบ พบว่าการเคลือบชุบเคลือบจะได้ฟิล์มเคลือบที่มีลักษณะดีกว่าการพ่นเคลือบทั้งในกลุ่มที่ใช้ไคโตซานความเข้มข้นร้อยละ 1 และร้อยละ 2 โดยน้ำหนัก และทุกสูตรตำรับ ที่ใช้การชุบเคลือบจะได้ลักษณะของฟิล์มเคลือบที่ดีกว่าการพ่นเคลือบตั้งแต่ 1 Scale ถึง 3 Scale ขึ้นไป นอกจากนี้ยังพบว่าสูตรตำรับที่ประกอบด้วยไคโตซานความเข้มข้นร้อยละ 2 โดยน้ำหนัก ร่วมกับ PEG-400 ความเข้มข้นร้อยละ 0.5 และ 1.0 โดยปริมาตร สามารถเคลือบได้ฟิล์มที่มีลักษณะดีที่สุด คือมีลักษณะเรียบมัน สม่ำเสมอ ทั่วทั้งผลกล้วย



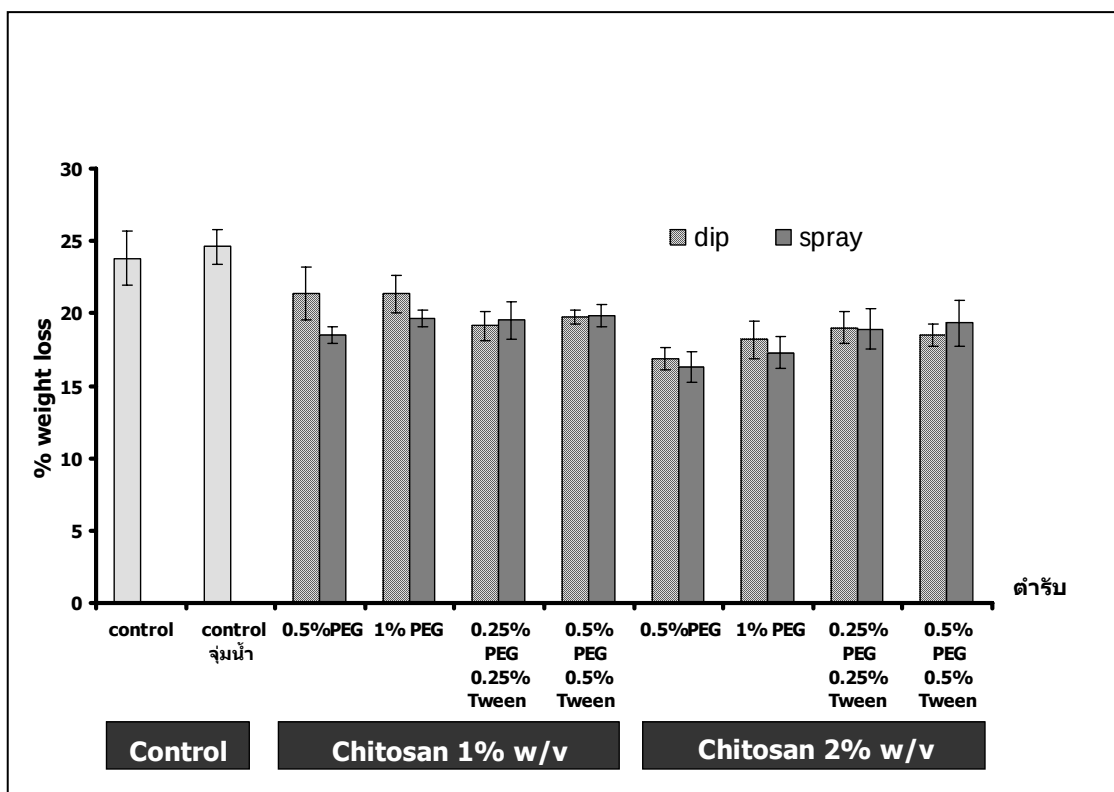
รูปที่ 30 - แสดงผลการประเมินการติดของแผ่นฟิล์มไคโตซานชนิดน้ำหนักโมเลกุลปานกลางที่ความเข้มข้นร้อยละ 1 และ 2 โดยน้ำหนัก ที่มีการเติม PEG 400 และ /หรือ Tween 80 ในความเข้มข้นที่แตกต่างกัน โดยน้ำหนัก ด้วยวิธีการชุบเคลือบและพ่นเคลือบ

2. ประเมินความสามารถในการยึดอายุการเก็บกล้วยไข่หลังการเก็บเกี่ยว

การประเมินความสามารถในการยึดอายุการเก็บกล้วยไข่หลังการเก็บเกี่ยวมีการประเมินทั้งหมด 3 ลักษณะ โดยบันทึกผลการทดลองทุก 2 วันเป็นเวลาติดต่อกันนาน 8 วัน ดังต่อไปนี้

2.1 ประเมินการสูญเสียน้ำหนัก

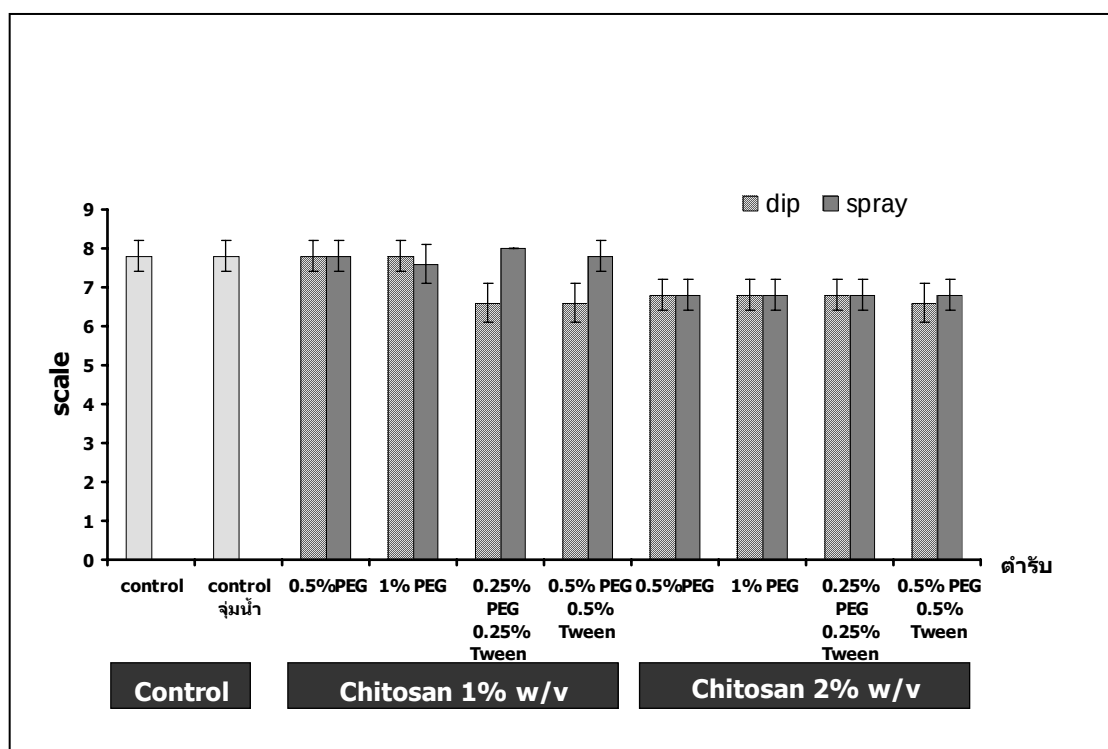
รูปที่ 31 แสดงให้เห็นว่าการเคลือบกล้วยไข่ด้วยสูตรตำรับฟิล์มไคโตซานชนิดน้ำหนักโมเลกุลปานกลางที่มีความเข้มข้นร้อยละ 2 โดยน้ำหนัก มีค่าร้อยละของการสูญเสียน้ำหนักของผลกล้วยไข่น้อยกว่าสูตรตำรับฟิล์มไคโตซานที่มีเข้มข้นร้อยละ 1 โดยน้ำหนัก โดยที่การสูญเสียน้ำหนักต่ำกว่ากลุ่มควบคุมทั้งแบบชุบน้ำและไม่ผ่านกระบวนการใดเลยอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ และเมื่อเปรียบเทียบกลุ่มชุบเคลือบและกลุ่มพ่นเคลือบ พบว่าค่าร้อยละของการสูญเสียน้ำหนักไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ หากพิจารณาเกณฑ์การสูญเสียน้ำหนักจะพบว่าตำรับไคโตซานความเข้มข้นร้อยละ 2 โดยน้ำหนัก ร่วมกับ PEG-400 ความเข้มข้นร้อยละ 0.5 โดยปริมาตร มีการสูญเสียน้ำหนักต่ำที่สุด



รูปที่ 31 - การประเมินการสูญเสียน้ำหนักของผลกล้วยไข่ในวันที่ 6 ซึ่งเคลือบด้วยวิธีการชุบเคลือบและพ่นเคลือบด้วยไคโตซานชนิดน้ำหนักโมเลกุลปานกลางที่มีความเข้มข้นร้อยละ 1 และ 2 โดยน้ำหนัก ที่มีการเติม PEG-400 และ /หรือ Tween 80 ในความเข้มข้นที่แตกต่างกัน

2.2 ประเมินสีของกล้วยที่เปลี่ยนแปลง

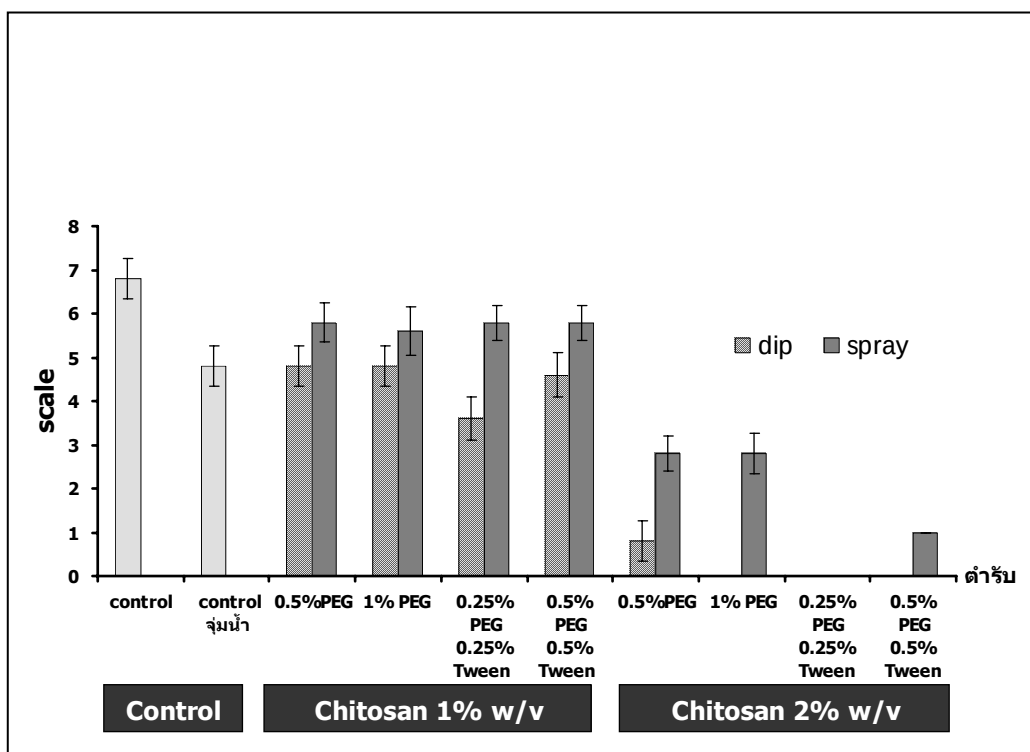
รูปที่ 32 แสดงให้เห็นว่าการเคลือบกล้วยไข่ด้วยสูตรตำรับฟิล์มไคโตซานชนิดน้ำหนักโมเลกุลปานกลางที่มีความเข้มข้นร้อยละ 2 โดยน้ำหนัก มีการเปลี่ยนแปลงของสีเปลือกกล้วยน้อยกว่าสูตรตำรับฟิล์มไคโตซานที่มีความเข้มข้นร้อยละ 1 โดยน้ำหนัก และทั้ง 2 กลุ่มความเข้มข้นมีการเปลี่ยนแปลงของสีน้อยกว่ากลุ่มควบคุมอย่างมีนัยสำคัญ เมื่อเปรียบเทียบกรรมวิธีการเคลือบ พบว่ากลุ่มชุบเคลือบและกลุ่มพ่นเคลือบนั้นไม่มีความแตกต่างของสีอย่างมีนัยสำคัญ



รูปที่ 32 - แสดงผลการประเมินสีของกล้วยไข่ในวันที่ 4 ซึ่งเคลือบด้วยวิธีการชุบเคลือบและพ่นเคลือบด้วยไคโตซานชนิดน้ำหนักโมเลกุลปานกลางที่มีความเข้มข้นร้อยละ 1 และ 2 โดยน้ำหนัก ที่มีการเติม PEG-400 และ /หรือ Tween 80 ในความเข้มข้นที่แตกต่างกันโดยน้ำหนัก

2.3 ประเมินการตกกระของกล้วยไข่

รูปที่ 33 แสดงให้เห็นว่าการเคลือบกล้วยไข่ด้วยสูตรตำรับฟิล์มไคโตซานชนิดน้ำหนักโมเลกุลปานกลางที่มีความเข้มข้นร้อยละ 2 โดยน้ำหนัก มีการตกกระของเปลือกกล้วยน้อยกว่าสูตรตำรับฟิล์มไคโตซานที่มีความเข้มข้นร้อยละ 1 โดยน้ำหนัก และทั้ง 2 กลุ่มความเข้มข้นมีการเปลี่ยนแปลงของสีน้อยกว่ากลุ่มควบคุมที่ไม่ได้ผ่านกระบวนการใดๆ อย่างมีนัยสำคัญ แต่สูตรตำรับฟิล์มไคโตซานที่มีความเข้มข้นร้อยละ 1 โดยน้ำหนักจะไม่ต่างจากกลุ่มควบคุมที่ได้รับการจุ่มในน้ำกลั่น เมื่อเปรียบเทียบกรรมวิธีการเคลือบ พบว่ากลุ่มชุบเคลือบสามารถชะลอการตกกระของกล้วยไข่ได้ดีกว่ากลุ่มพ่นเคลือบอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ โดยที่กลุ่มเคลือบกล้วยไข่ด้วยสูตรตำรับฟิล์มไคโตซานชนิดน้ำหนักโมเลกุลปานกลางที่มีความเข้มข้นร้อยละ 2 โดยน้ำหนัก ร่วมกับ PEG-400 ร้อยละ 0.25 โดยปริมาตรและ Tween 80 ร้อยละ 0.25 โดยปริมาตร สามารถชะลอการตกกระได้ดีที่สุด



รูปที่ 33 - แสดงผลการประเมินการตกกระของกล้วยไข่ในวันที่ 6 ซึ่งเคลือบด้วยวิธีการชุบเคลือบและพ่นเคลือบด้วยไคโตซานที่ความเข้มข้นร้อยละ 1 และ 2 โดยน้ำหนัก ที่มีการเติม PEG-400 และ /หรือ Tween 80 ในความเข้มข้นที่แตกต่างกัน

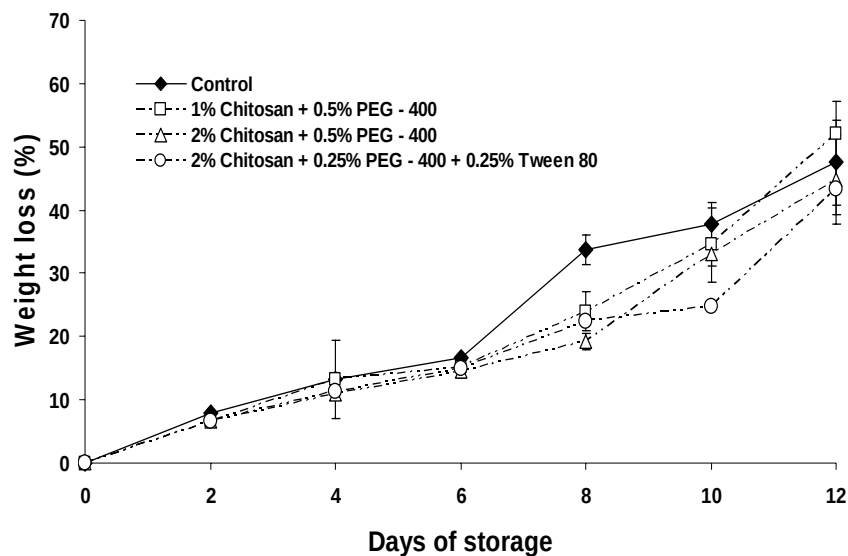
ตำรับไคโตซานความเข้มข้นร้อยละ 2 โดยน้ำหนัก ที่มีการเติม PEG ร่วมกับ Tween 80 ที่ความเข้มข้นร้อยละ 0.25 โดยน้ำหนัก ด้วยวิธีการชุบเคลือบให้ผลยืดอายุการเก็บหลังการเก็บเกี่ยวได้ดีที่สุด โดยมีการเปลี่ยนแปลงสีและการตกกระน้อยที่สุด น้ำหนักของผลกล้วยที่สูญเสียระหว่างการเก็บปานกลาง

III. การศึกษาประสิทธิภาพของตำรับฟิล์มไคโตซานและคาร์บอกซีเมทิลไคโตซานในการยืดอายุการเก็บกล้วยไข่

1. การทดลองที่ 1

1.1 เปอร์เซ็นต์การสูญเสียน้ำหนัก

ไคโตซานทุกความเข้มข้นมีแนวโน้มชะลอการสูญเสียน้ำหนักของผลกล้วยไข่ได้ดีตลอด 10 ของการเก็บรักษาที่อุณหภูมิห้อง และเมื่อปล่อยกล้วยไข่ทิ้งไว้พบว่าในวันที่ 12 ของการเก็บรักษาเปอร์เซ็นต์การสูญเสียน้ำหนักจะเพิ่มขึ้นตามระยะเวลาการเก็บรักษา สอดคล้องกับการเสื่อมสภาพ โดยไคโตซานความเข้มข้น 2%(w/v) + PEG - 400 ความเข้มข้น 0.25%(w/v) + Tween 80 ความเข้มข้น 0.25% มีเปอร์เซ็นต์การสูญเสียน้ำหนักน้อยที่สุด 43% รองลงมา ไคโตซานความเข้มข้น 2%(w/v) + PEG - 400 ความเข้มข้น 0.5%(w/v) มีเปอร์เซ็นต์การสูญเสียน้ำหนัก 44% และชุดควบคุมไม่ใช้ไคโตซานและ ไคโตซานความเข้มข้น 1%(w/v) + PEG - 400 ความเข้มข้น 0.5%(w/v) มีเปอร์เซ็นต์การสูญเสียน้ำหนัก 47 และ 52 % ตามลำดับ แสดงว่าไคโตซานความเข้มข้น 2% (w/v) มีประสิทธิภาพช่วยชะลอการสูญเสียน้ำหนักได้ดีกว่าไคโตซานความเข้มข้น 1%(w/v) และชุดควบคุมไม่ใช้ไคโตซาน (รูปที่ 34 และ ตาราง 9)

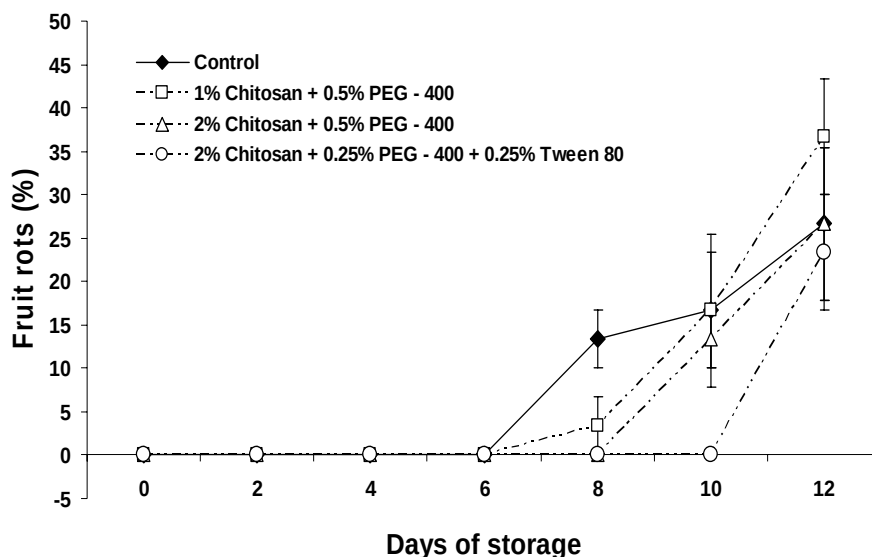


รูปที่ 34 - แสดงเปอร์เซ็นต์การสูญเสียน้ำหนักของกล้วยไข่ภายหลังการใช้ไคโตซานที่ระดับความเข้มข้นต่างๆ นาน 30 วินาที และเก็บรักษาที่อุณหภูมิห้อง ($29.51 \pm 0.21^{\circ}\text{C}$; RH $56.01 \pm 0.96\%$) เป็นเวลา 12 วัน

1.2 เปอร์เซ็นต์การเน่าเสีย

ไคโตซานทุกความเข้มข้นให้ประสิทธิภาพควบคุมการเน่าเสียได้ดีตลอด 6 วันแรกของการเก็บรักษาที่อุณหภูมิห้องเมื่อเปรียบเทียบกับชุดควบคุม แต่จะเริ่มปรากฏการเน่าเสียในวันที่ 8 ของการเก็บรักษา และเน่าเสียมากขึ้นในวันที่ 10 ของการเก็บรักษา พบว่า ไคโตซานความเข้มข้น 2%(w/v) + PEG - 400 ความเข้มข้น 0.25%(w/v) + Tween 80 ความเข้มข้น 0.25% มีประสิทธิภาพควบคุมการเน่าเสียได้ดีที่สุด (การเน่าเสีย 0%) รองลงมา คือ ไคโตซานความเข้มข้น 2%(w/v) + PEG - 400 ความเข้มข้น 0.5%(w/v) มีอัตราการเน่าเสีย 13%, ไคโตซานความเข้มข้น 1%(w/v) + PEG - 400 ความเข้มข้น 0.5%(w/v) และชุดควบคุมไม่ใช้ไคโตซาน มีอัตราการเน่าเสียเท่ากันคือ 16% และพบว่าในวันที่ 12 ของการเก็บรักษา

กล้วยไข่จะมีอัตราการเน่าเสียเพิ่มขึ้นตามระยะเวลาแสดงว่าไคโตซานสามารถควบคุมการเน่าเสียของกล้วยไข่ได้ดีในระยะ 8 – 10 วันแรกของการเก็บรักษาเท่านั้น แต่หลังจากนั้นมีประสิทธิภาพไม่ดีเมื่อเปรียบเทียบกับชุดควบคุมที่ไม่ใช้ไคโตซาน (รูปที่ 35 และ ตาราง 10)



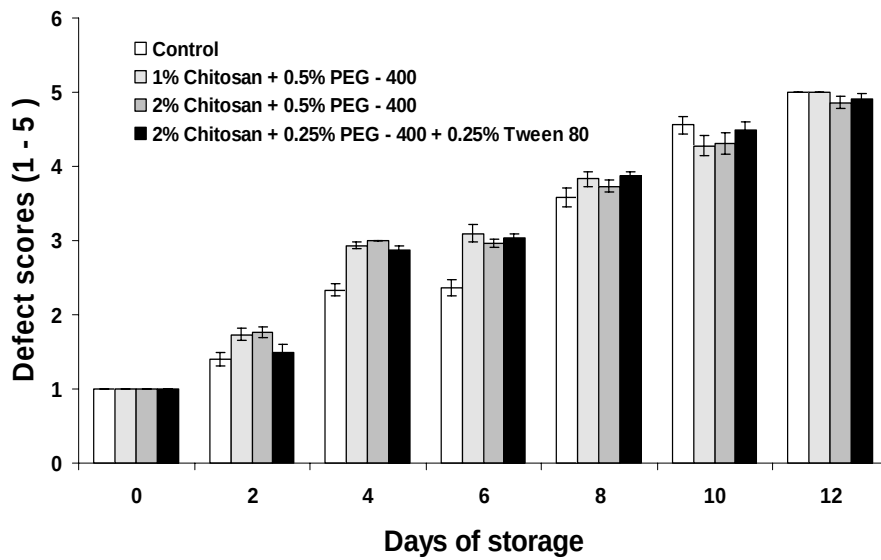
รูปที่ 35 - แสดงเปอร์เซ็นต์การเน่าเสียของกล้วยไข่ภายหลังการใช้ไคโตซานที่ระดับความเข้มข้นต่าง ๆ นาน 30 วินาที และ เก็บรักษาที่อุณหภูมิห้อง ($29.51 \pm 0.21^{\circ}\text{C}$; $\text{RH } 56.01 \pm 0.96\%$) เป็นเวลา 12 วัน

1.3 คะแนนการเกิดตำหนิ

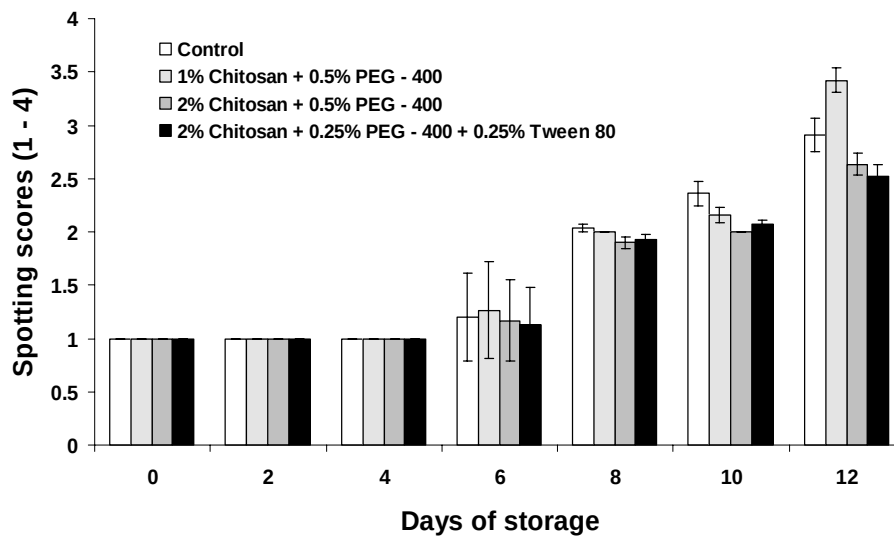
ในวันที่ 2 ของการเก็บรักษาจะเริ่มเกิดตำหนิและจะเพิ่มขึ้นเรื่อยๆ จนถึงที่สุดการทดลองที่อุณหภูมิห้อง แต่ในช่วง 6 วันแรกของการเก็บรักษา พบว่า ค่าเฉลี่ยคะแนนการเกิดตำหนิของชุดควบคุมที่ไม่ใช้ไคโตซานมีค่าต่ำสุดเท่ากับ 1.40 – 2.37 และมีค่าสูงสุดในไคโตซานทุกความเข้มข้น ซึ่งมีค่าอยู่ระหว่าง 1.76 – 3.10 ตามความเข้มข้นของไคโตซานที่ใช้ และหลังจากนั้นเมื่อปล่อยกล้วยไข่ทิ้งไว้จนถึงที่สุดการทดลอง พบว่า ไคโตซานทุกความเข้มข้นมีการเกิดตำหนิที่เพิ่มขึ้นใกล้เคียงกันกับชุดควบคุมที่ไม่ใช้ไคโตซาน (รูปที่ 36 และ ตาราง 11) ตำหนิที่เกิดขึ้นส่วนใหญ่ พบว่า มีผลสืบเนื่องมาจากการบอบช้ำ หรือการมีบาดแผลเล็กน้อยของผลกล้วยไข่ก่อนการทดลอง ภายหลังการเคลือบผลด้วยไคโตซานกลับยังทำให้ผลล้าและปรากฏตำหนิมากขึ้นตามลำดับ

1.4 คะแนนการเกิดอาการตกกระ

การเกิดตกกระยังไม่ปรากฏในช่วง 6 วันแรกของการเก็บรักษาที่อุณหภูมิห้อง แต่จะเริ่มปรากฏในวันที่ 8 ของการเก็บรักษา ซึ่งสอดคล้องกับการสุกของผลกล้วย โดยพบว่าไคโตซานความเข้มข้น 2%(w/v) + PEG – 400 ความเข้มข้น 0.25%(w/v) + Tween 80 ความเข้มข้น 0.25% มีแนวโน้มช่วยชะลอการเกิดตกกระได้ดีที่สุด รองลงมา ไคโตซานความเข้มข้น 2%(w/v) + PEG – 400 ความเข้มข้น 0.5%(w/v) เมื่อเปรียบเทียบกับชุดควบคุมที่ไม่ใช้ไคโตซานและไคโตซานความเข้มข้น 1%(w/v) + PEG – 400 ความเข้มข้น 0.5%(w/v) ตลอดระยะเวลาการเก็บรักษาที่อุณหภูมิห้อง (รูปที่ 37 และ ตาราง 12)



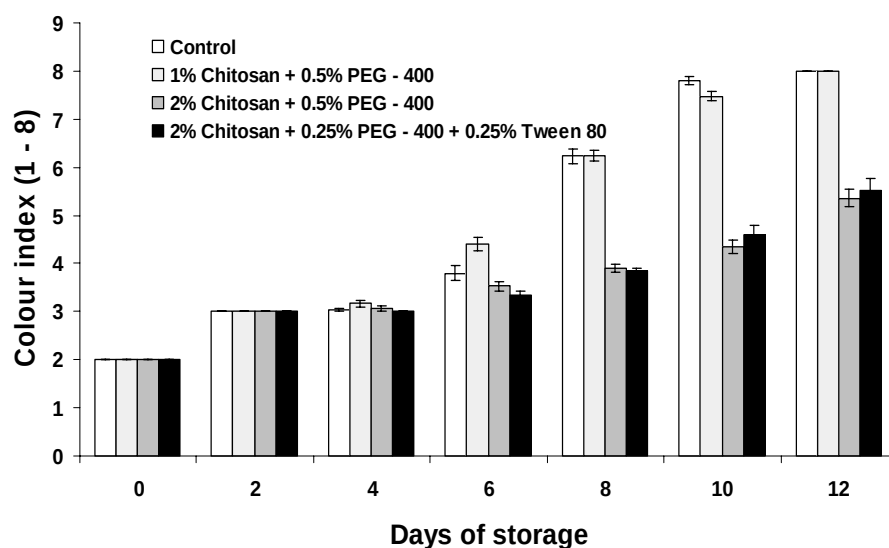
รูปที่ 36 - แสดงคะแนนการเกิดตำหนิของกล้วยไข่ภายหลังการใช้โคไคซานที่ระดับความเข้มข้นต่าง ๆ นาน 30 วินาที และเก็บรักษาที่อุณหภูมิห้อง ($29.51 \pm 0.21^{\circ}\text{C}$; RH $56.01 \pm 0.96\%$) เป็นเวลา 12 วัน



รูปที่ 37 - แสดงคะแนนการเกิดอาการตกกระของกล้วยไข่ภายหลังการใช้โคไคซานที่ระดับความเข้มข้นต่าง ๆ นาน 30 วินาที และเก็บรักษาที่อุณหภูมิห้อง ($29.51 \pm 0.21^{\circ}\text{C}$; RH $56.01 \pm 0.96\%$) เป็นเวลา 12 วัน

1.5 การเปลี่ยนสีของเปลือกผล

สีผิวของเปลือกกล้วยเริ่มเปลี่ยนสีจากเขียวออกเหลืองมากขึ้นในวันที่ 4 ของการเก็บรักษา และหลังจากนั้นพบว่า โคลิโดซานมีแนวโน้มช่วยชะลอการเปลี่ยนสีผิวของเปลือกผลกล้วยได้อย่างเด่นชัด ในช่วงวันที่ 8 ของการเก็บรักษา ไปจนถึงสิ้นสุดการทดลอง โดยเฉพาะในโคลิโดซานความเข้มข้น 2%(w/v) + PEG – 400 ความเข้มข้น 0.25%(w/v) + Tween 80 ความเข้มข้น 0.25% และ โคลิโดซานความเข้มข้น 2%(w/v) + PEG – 400 ความเข้มข้น 0.5%(w/v) ซึ่งพบว่า มีการเปลี่ยนแปลงของสีผิวช้ากว่าชุดควบคุมที่ไม่ใช้โคลิโดซานและโคลิโดซานความเข้มข้น 1%(w/v) + PEG – 400 ความเข้มข้น 0.5%(w/v) อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (รูปที่ 38 และ ตาราง 13) นอกจากนี้ เมื่อสิ้นสุดการทดลอง พบว่า สีผิวของชุดควบคุมที่ไม่ใช้โคลิโดซานและโคลิโดซานความเข้มข้น 1%(w/v) + PEG – 400 ความเข้มข้น 0.5%(w/v) จะมีจุดสีน้ำตาลมากขึ้นแต่สีผิวของโคลิโดซานความเข้มข้น 2%(w/v) + PEG – 400 ความเข้มข้น 0.25%(w/v) + Tween 80 ความเข้มข้น 0.25% และ โคลิโดซานความเข้มข้น 2%(w/v) + PEG – 400 ความเข้มข้น 0.5%(w/v) ยังมีสีเขียวปรากฏอยู่เล็กน้อย

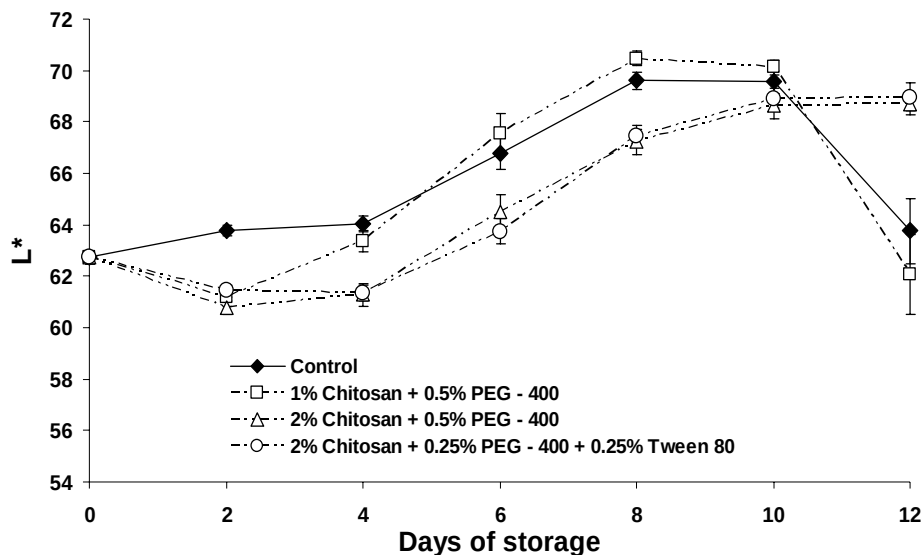


รูปที่ 38 - แสดงคะแนนการเปลี่ยนสีของเปลือกผลกล้วยไ้ภายหลังการใช้โคลิโดซานที่ระดับความเข้มข้นต่าง ๆ นาน 30 วินาที และเก็บรักษาที่อุณหภูมิห้อง ($29.51 \pm 0.21^{\circ}\text{C}$; RH $56.01 \pm 0.96\%$) เป็นเวลา 12 วัน

1.6 ค่าความสว่าง (L^*)

โคลิโดซานมีผลต่อการเปลี่ยนแปลงค่า L^* โดยพบว่า ชุดควบคุมที่ไม่ใช้โคลิโดซานและโคลิโดซานความเข้มข้น 1%(w/v) + PEG – 400 ความเข้มข้น 0.5%(w/v) ให้ค่า L^* ที่สูง แสดงว่าวัตถุมีความสว่างมากกว่าเมื่อเปรียบเทียบกับโคลิโดซานความเข้มข้น 2%(w/v) + PEG – 400 ความเข้มข้น 0.25%(w/v) + Tween 80 ความเข้มข้น 0.25% และ โคลิโดซานความเข้มข้น 2%(w/v) + PEG – 400 ความเข้มข้น 0.5%(w/v) ตลอด 10 วันของการเก็บรักษาที่อุณหภูมิห้อง แต่หลังจากนั้น ในวันที่ 12 ของการเก็บรักษา พบว่า ชุดควบคุมที่ไม่ใช้โคลิโดซาน และโคลิโดซานความเข้มข้น 1%(w/v) + PEG – 400 ความเข้มข้น 0.5%(w/v) มีค่า L^* ต่ำมาก (รูปที่ 39 และ ตาราง 14) และต่ำกว่าโคลิโดซานความเข้มข้น 2%(w/v) + PEG – 400 ความเข้มข้น 0.25%(w/v) + Tween 80 ความเข้มข้น 0.25% และ โคลิโดซานความเข้มข้น 2%(w/v) + PEG – 400 ความเข้มข้น

0.5%(w/v) เนื่องจากวัตถุดิบสีคล้ำมากขึ้น ซึ่งสอดคล้องกับการเกิดดำหนิ ผลกล้วยมีการเน่าเสียและเสื่อมสภาพมากกว่า จึงมีสีคล้ำ



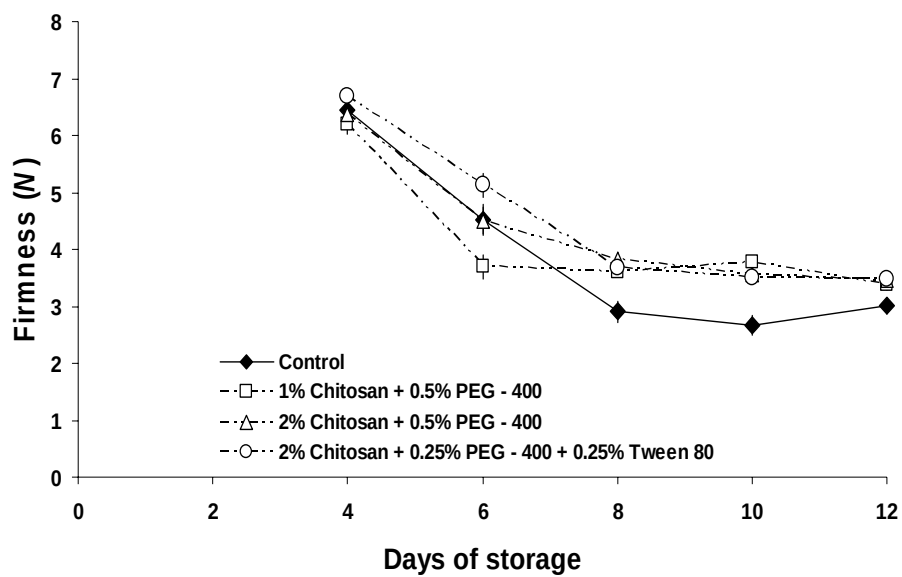
รูปที่ 39 - แสดงค่าความสว่าง (L*) ของกล้วยไข่ภายหลังการใช้ไคโตซานที่ระดับความเข้มข้นต่าง ๆ นาน 30 วินาที และเก็บรักษาที่อุณหภูมิห้อง ($29.51 \pm 0.21^{\circ}\text{C}$; RH $56.01 \pm 0.96\%$) เป็นเวลา 12 วัน

1.7 ความแน่นเนื้อ

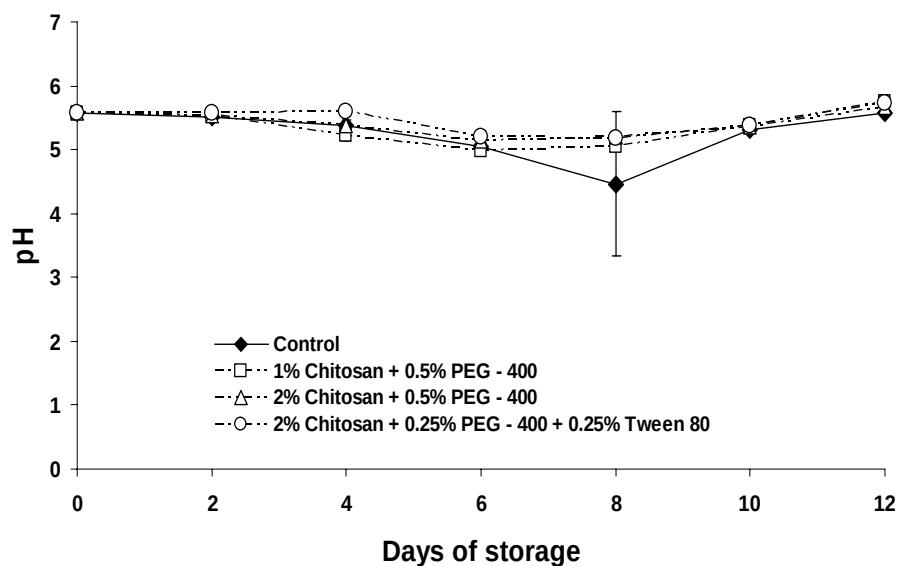
ในช่วง 2 วันแรกของการเก็บรักษา พบว่า ค่าความแน่นเนื้อของผลกล้วยไข่ไม่มีความแตกต่างกันมากนัก (ข้อมูลไม่ได้แสดงเนื่องจากหวัหวัคมีความผิดพลาดเล็กน้อย) แต่หลังจากนั้น พบว่า ไคโตซานทุกความเข้มข้นช่วยชะลอการอ่อนตัวของผลกล้วยไข่ได้ดีกว่าชุดควบคุมที่ไม่ใช้ไคโตซาน (ความแน่นเนื้อสูง หมายถึง เนื้อผลกล้วยไข่ยังไม่อ่อนนุ่ม หรือ ยังไม่สุก นั่นเอง) ซึ่งจะเห็นเด่นชัด หลังวันที่ 6 ของการเก็บรักษา ไคโตซานความเข้มข้น 2%(w/v) + PEG - 400 ความเข้มข้น 0.25%(w/v) + Tween 80 ความเข้มข้น 0.25% ช่วยชะลอการอ่อนตัวของผลกล้วยไข่ได้ดีที่สุด รองลงมาไคโตซานความเข้มข้น 2%(w/v) + PEG - 400 ความเข้มข้น 0.5%(w/v) และไคโตซานที่ความเข้มข้น 1% (w/v) + PEG - 400 ความเข้มข้น 0.5%(w/v) เมื่อเปรียบเทียบกับชุดควบคุม (รูปที่ 40 และ ตาราง 15) นอกจากนี้ เมื่อสิ้นสุดการทดลอง ผลกล้วยไข่ยังคงความสดได้ดีในชุดไคโตซานที่ความเข้มข้น 2%(w/v)

1.8 ค่า pH

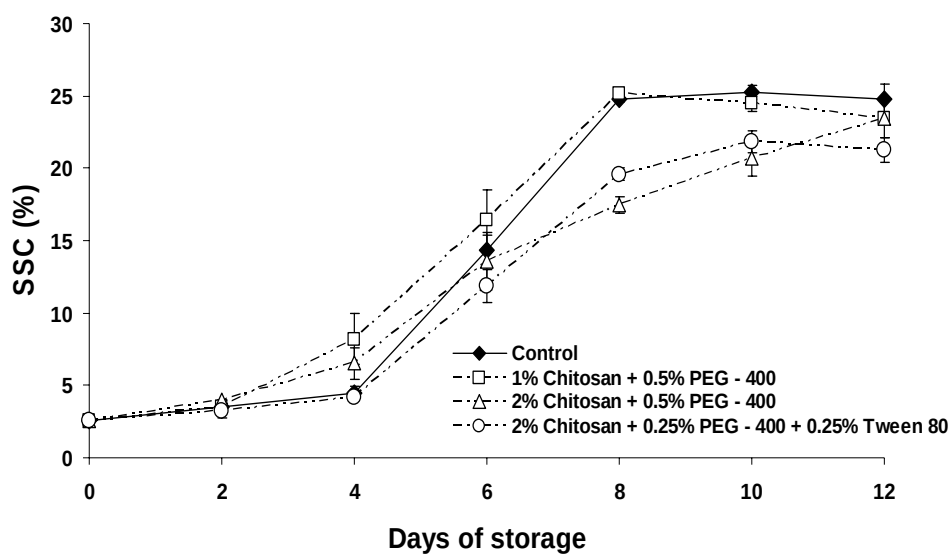
ค่า pH ในแต่ละทริตเมนต์มีการเปลี่ยนแปลงเล็กน้อยตลอดการทดลอง ซึ่ง พบค่า pH เริ่มต้น ประมาณ 5.58 และลดลงเล็กน้อยในช่วง 6 วันแรกของการเก็บรักษา โดยเฉพาะในชุดควบคุม ส่วนชุดการทดลองที่ใช้ไคโตซาน ค่า pH เพิ่มขึ้นเล็กน้อยจนสิ้นสุดการทดลอง (รูปที่ 41 และ ตาราง 16)



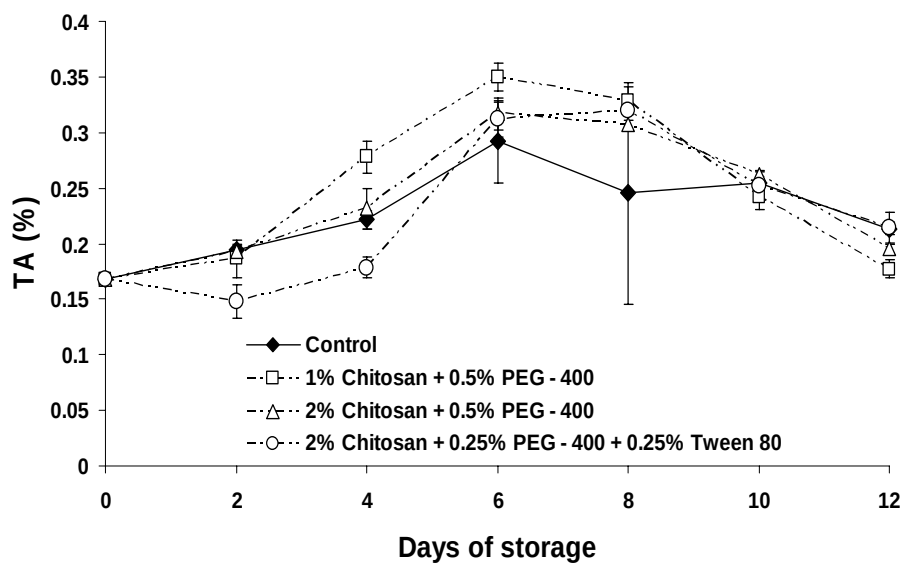
รูปที่ 40 - แสดงค่าความแน่นเนื้อของกล้วยไข่ภายหลังการใช้ไคโตซานที่ระดับความเข้มข้นต่าง ๆ นาน 30 วินาที และเก็บรักษาที่อุณหภูมิห้อง ($29.51 \pm 0.21^{\circ}\text{C}$; RH $56.01 \pm 0.96\%$) เป็นเวลา 12 วัน



รูปที่ 41 - แสดงค่าเฉลี่ย pH ของน้ำคั้นจากผลกล้วยไข่ภายหลังการใช้ไคโตซานที่ระดับความเข้มข้นต่าง ๆ นาน 30 วินาที และเก็บรักษาที่อุณหภูมิห้อง ($29.51 \pm 0.21^{\circ}\text{C}$; RH $56.01 \pm 0.96\%$) เป็นเวลา 12 วัน



รูปที่ 42 - แสดงปริมาณของแข็งที่ละลายได้ในน้ำ (Soluble Solids Content; SSC) ของผลกล้วยไข่ภายหลังการใช้ไคโตซานที่ระดับความเข้มข้นต่าง ๆ นาน 30 วินาที และเก็บรักษาที่อุณหภูมิห้อง ($29.51 \pm 0.21^{\circ}\text{C}$; RH $56.01 \pm 0.96\%$) เป็นเวลา 12 วัน



รูปที่ 43 - แสดงปริมาณกรดที่ไทเทรตได้ (Titratable Acidity ; TA) จากน้ำคั้นของผลกล้วยไข่ภายหลังการใช้ไคโตซานที่ระดับความเข้มข้นต่าง ๆ นาน 30 วินาที และเก็บรักษาที่อุณหภูมิห้อง ($29.51 \pm 0.21^{\circ}\text{C}$; RH $56.01 \pm 0.96\%$) เป็นเวลา 12 วัน

1.9 ปริมาณของแข็งที่ละลายได้ในน้ำ (SSC)

วันแรกของการเก็บรักษามีค่า SSC เท่ากับ 2.53% และเพิ่มมากขึ้นตามระยะเวลาการเก็บรักษาที่อุณหภูมิห้อง ซึ่งเป็นไปตามลักษณะการสุกของผลกล้วย อย่างไรก็ตาม ภายหลังจากวันที่ 6 ของการเก็บรักษา ไอโอดีนความเข้มข้น 2%(w/v) + PEG – 400 ความเข้มข้น 0.25%(w/v) + Tween 80 ความเข้มข้น 0.25% และ ไอโอดีนความเข้มข้น 2%(w/v) + PEG – 400 ความเข้มข้น 0.5%(w/v) เนื่องจากมีแนวโน้มชะลอการสุกของผลกล้วยได้ดี จึงพบว่า ปริมาณ SSC ค่อนข้างต่ำกว่าทรีตเมนต์อื่นๆ อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (รูปที่ 42 และ ตาราง 17)

1.10 ปริมาณกรดที่ไทเทรตได้ (TA)

ค่า TA มีการเปลี่ยนแปลงเล็กน้อย โดย มีค่าเริ่มต้นก่อนเก็บรักษา เท่ากับ 0.17% และหลังจากนั้น ค่าเพิ่มขึ้นเล็กน้อย ในทุกชุดการทดลอง และเปลี่ยนแปลงไม่มากนักจนถึงสิ้นสุดการทดลอง (รูปที่ 43 และ ตาราง 18)

1.11 การประเมินทางประสาทสัมผัส โดยให้คะแนนความพอใจด้าน สี กลิ่น เนื้อสัมผัส และรสชาติ โดยรวม

คุณภาพในการบริโภคซึ่งประเมินทางประสาทสัมผัส และให้เป็นคะแนนความพอใจของสี จาก 1-10 โดยที่ 1=พอใจน้อยที่สุด และ 10=พอใจมากที่สุด พบว่า วันที่ 6 และ 8 ของการเก็บรักษาชุดควบคุมที่ไม่ใช้ไอโอดีนและไอโอดีนความเข้มข้น 1%(w/v) + PEG – 400 ความเข้มข้น 0.5%(w/v) สีผิวของเปลือกกล้วยมีสีเหลืองเหมาะต่อการบริโภคมากกว่า เมื่อเปรียบเทียบกับไอโอดีนความเข้มข้น 2%(w/v) + PEG – 400 ความเข้มข้น 0.25%(w/v) + Tween 80 ความเข้มข้น 0.25% และ ไอโอดีนความเข้มข้น 2%(w/v) + PEG – 400 ความเข้มข้น 0.5%(w/v) ยังมีสีเขียวปรากฏอยู่ แต่ ไอโอดีนความเข้มข้น 2%(w/v) + PEG – 400 ความเข้มข้น 0.25%(w/v) + Tween 80 ความเข้มข้น 0.25% และ ไอโอดีนความเข้มข้น 2%(w/v) + PEG – 400 ความเข้มข้น 0.5%(w/v) มีสีผิวของเปลือกกล้วยที่เหมาะสมต่อการบริโภคที่สุดในวันที่ 12 วันของการเก็บรักษา เมื่อเปรียบเทียบกับชุดควบคุมที่ไม่ใช้ไอโอดีนและไอโอดีนความเข้มข้น 1%(w/v) + PEG – 400 ความเข้มข้น 0.5%(w/v) ที่เริ่มเปลี่ยนเป็นจุดสีน้ำตาล (ตาราง 19)

คะแนนความพอใจด้านกลิ่น พบว่า ชุดควบคุมที่ไม่ใช้ไอโอดีนและไอโอดีนความเข้มข้น 1%(w/v) + PEG – 400 ความเข้มข้น 0.5%(w/v) มีกลิ่นหอมเหมาะต่อการบริโภค มากกว่า (เนื่องจากผลกล้วยเข้าสู่กระบวนการสุกเร็วกว่า) เมื่อเปรียบเทียบกับไอโอดีนความเข้มข้น 2%(w/v) + PEG – 400 ความเข้มข้น 0.25%(w/v) + Tween 80 ความเข้มข้น 0.25% และ ไอโอดีนความเข้มข้น 2%(w/v) + PEG – 400 ความเข้มข้น 0.5%(w/v) ที่ยังไม่ปรากฏกลิ่นหอม ตลอด 12 วันของการเก็บรักษาที่อุณหภูมิห้อง (ตาราง 19) แสดงให้เห็นว่า ชุดการทดลองที่ใช้ไอโอดีนเข้มข้น 2% (w/v) มีแนวโน้มชะลอการสุกของผลกล้วย

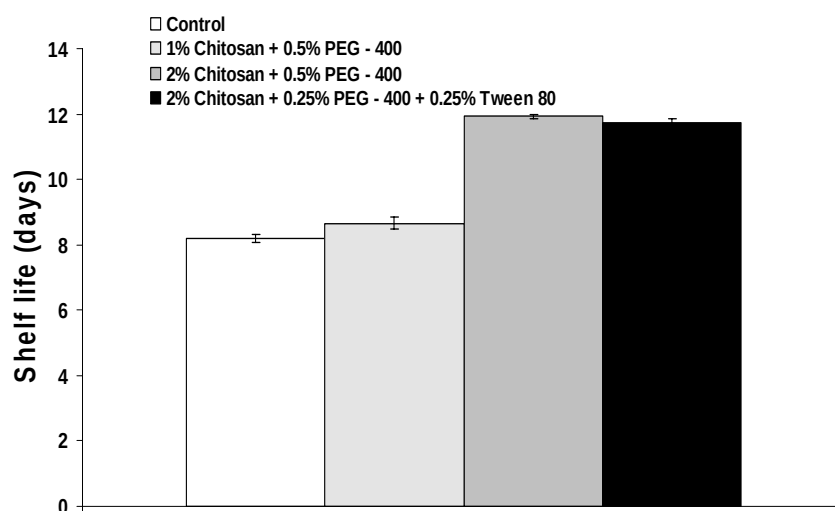
คะแนนความพอใจด้านเนื้อสัมผัส พบว่า ชุดควบคุมที่ไม่ใช้ไอโอดีนและไอโอดีนความเข้มข้น 1%(w/v) + PEG – 400 ความเข้มข้น 0.5%(w/v) มีเนื้อผิวที่อ่อนนุ่มเหมาะต่อการบริโภคมากกว่า เช่นเดียวกับการเปลี่ยนแปลงด้านกลิ่นและสี เมื่อเปรียบเทียบกับไอโอดีนความเข้มข้น 2%(w/v) + PEG – 400 ความเข้มข้น 0.25%(w/v) + Tween 80 ความเข้มข้น 0.25% และ ไอโอดีนความเข้มข้น 2%(w/v) + PEG – 400 ความเข้มข้น 0.5%(w/v) ที่มีเนื้อผิวที่แข็งอยู่ ตลอด 10 วันของการเก็บรักษาที่อุณหภูมิห้อง แต่เมื่อสิ้นสุดการทดลอง พบว่า เนื้อผลกล้วยทุกชุดการทดลองอ่อนนุ่มไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ (ตาราง 19)

คะแนนความพอใจด้านรสชาติ โดยรวม พบว่า ชุดควบคุมที่ไม่ใช้ไอโอดีนและไอโอดีนความเข้มข้น 1%(w/v) + PEG – 400 ความเข้มข้น 0.5%(w/v) มีรสชาติที่หอมหวานเหมาะต่อการบริโภคมากที่สุด ในช่วงวันที่ 8 ของการเก็บรักษาที่อุณหภูมิห้อง และโดยรวมมีรสชาติที่ดีกว่า เมื่อเปรียบเทียบกับไอโอดีนความเข้มข้น 2%(w/v) + PEG – 400 ความเข้มข้น

0.25%(w/v) + Tween 80 ความเข้มข้น 0.25% และ ไคโตซานความเข้มข้น 2%(w/v) + PEG – 400 ความเข้มข้น 0.5%(w/v) ที่ไม่ปรากฏรสชาติ และมีรสฝาดอยู่ตลอด 10 วันของการเก็บรักษาที่อุณหภูมิห้อง (สอดคล้องกับการเข้าสู่กระบวนการสุกของกล้วยที่ช้ากว่าชุดควบคุม) แต่ เมื่อสิ้นสุดการทดลอง พบว่า คะแนนความพอใจในรสชาติของผลกล้วยทุกชุดการทดลองลดลง และไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ (ตาราง 19)

1.12 อายุการวางจำหน่าย

ไคโตซานความเข้มข้น 2%(w/v) + PEG – 400 ความเข้มข้น 0.5%(w/v) ให้อายุการวางจำหน่ายของผลกล้วยไชนานกว่าทรีตเมนต์อื่นๆ รองลงมา คือ ไคโตซานความเข้มข้น 2%(w/v) + PEG – 400 ความเข้มข้น 0.25%(w/v) + Tween 80 ความเข้มข้น 0.25% โดยมีอายุการวางจำหน่าย 11.93 และ 11.73 วัน ตามลำดับ เมื่อเปรียบเทียบกับ ชุดควบคุมที่ไม่ใช้ไคโตซานและไคโตซานความเข้มข้น 1%(w/v) + PEG – 400 ความเข้มข้น 0.5%(w/v) พบว่า ให้อายุการวางจำหน่าย 8.2 และ 8.67 วัน ตามลำดับ (รูปที่ 44 และ ตาราง 20)

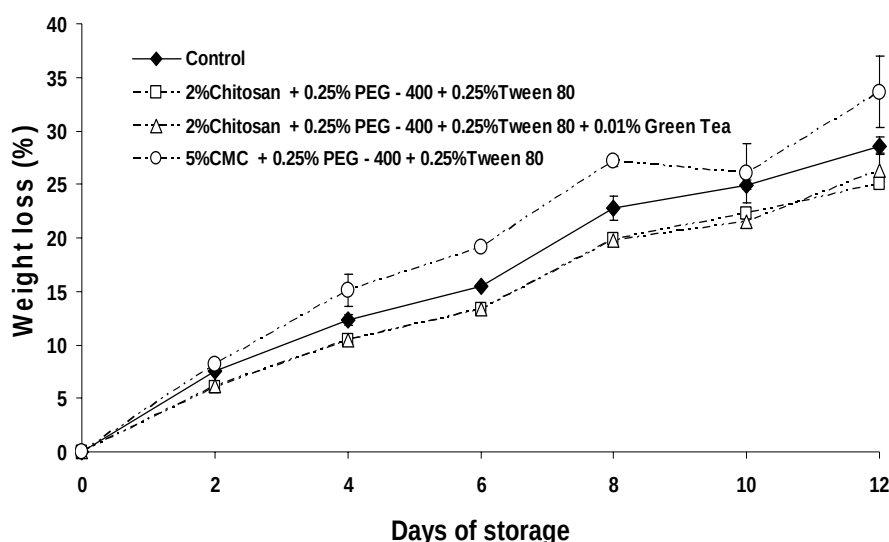


รูปที่ 44 - แสดงอายุการวางจำหน่ายของกล้วยไชนภายหลังการใช้ไคโตซานที่ระดับความเข้มข้นต่างๆ นาน 30 วินาที และเก็บรักษาที่อุณหภูมิห้อง ($29.51 \pm 0.21^{\circ}\text{C}$; RH $56.01 \pm 0.96\%$) จนหมดสภาพ, เกณฑ์การประเมิน ณ วันที่คะแนนสีของเปลือกผลน้อยกว่าหรือเท่ากับ 7 (มีสีน้ำตาล เนื้อนุ่ม มีกลิ่นแรง หมดสภาพ) (ตารางที่ 1.5) หมายถึง หมดสภาพ ไม่เป็นที่ต้องการของผู้บริโภค เป็นเกณฑ์ในการประเมินอายุการวางจำหน่าย

2. การทดลองที่ 2

2.1 เพอร์เซ็นต์การสูญเสียน้ำหนัก

ไคโตซานที่ระดับความเข้มข้น 2% (w/v) ทั้งที่ผสมและไม่ผสมชาเขียว สามารถช่วยชะลอการสูญเสียน้ำหนักของผลกล้วยไข่ได้ดีตลอด 12 วันของการเก็บรักษาที่อุณหภูมิห้องในการทดลองที่ 2 นี้ เมื่อเปรียบเทียบกับชุดควบคุมที่ไม่ใช้ไคโตซานตลอดการทดลอง อย่างไรก็ตามจะเห็นได้เด่นชัด ในช่วง 10 วันแรกของการเก็บรักษา และ ณ วันที่ 10 นี้ พบว่า ไคโตซานความเข้มข้น 2% (w/v) + PEG – 400 ความเข้มข้น 0.25 % (w/v) + Tween 80 ความเข้มข้น 0.25 % + Green Tea ความเข้มข้น 0.01 (w/v) มีเปอร์เซ็นต์การสูญเสียน้ำหนักน้อยที่สุด เท่ากับ 19.79% รองลงมาคือ ไคโตซานความเข้มข้น 2% (w/v) + PEG – 400 ความเข้มข้น 0.25 % (w/v) + Tween 80 ความเข้มข้น 0.25 % มีเปอร์เซ็นต์การสูญเสียน้ำหนักเท่ากับ 19.93% เปรียบเทียบกับ ชุดควบคุมที่ไม่ใช้ไคโตซานมีเปอร์เซ็นต์การสูญเสียน้ำหนักมากถึง 22.76% และมากที่สุดอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ถึง 27.15% ในการบอสมิเทิลไคโตซานความเข้มข้น 5% (w/v) + PEG – 400 ความเข้มข้น 0.25 % (w/v) + Tween 80 ความเข้มข้น 0.25 % (ซึ่งสอดคล้องกับสภาพภายนอกของผลที่เหี่ยว มีสีคล้ำและหมดสภาพ ดังแสดงในภาพที่ 7) อย่างไรก็ตาม เมื่อสิ้นสุดการทดลอง ทุกชุดการทดลองมีการสูญเสียน้ำหนักเพิ่มขึ้นตามลำดับ (รูปที่ 45 และ ตาราง 21)



รูปที่ 45 – แสดงเปอร์เซ็นต์การสูญเสียน้ำหนักของกล้วยไข่ภายหลังการใช้ไคโตซานและคาร์บอกซีเมทิลไคโตซานนาน 30 วินาที และเก็บรักษาที่อุณหภูมิห้อง ($29.07 \pm 0.97^{\circ}\text{C}$; RH $57.25 \pm 1.73\%$) เป็นเวลา 12 วัน

2.2 เพอร์เซ็นต์การเน่าเสีย

การเน่าเสียเริ่มปรากฏในวันที่ 8 ของการเก็บรักษา และไคโตซานทุกความเข้มข้น มีแนวโน้มควบคุมการเน่าเสียได้ดี เฉพาะ 8 วันแรกของการเก็บรักษาที่อุณหภูมิห้อง เมื่อเปรียบเทียบกับชุดควบคุมที่ไม่ใช้ไคโตซานในการทดลองที่ 2 นี้ อย่างไรก็ตาม ภายหลังจากวันที่ 8 พบว่า คาร์บอกซีเมทิลไคโตซานระดับความเข้มข้น 5% (w/v) + PEG – 400 ความเข้มข้น 0.25 % (w/v) + Tween 80 ความเข้มข้น 0.25 % ปรากฏการเน่าเสียสูงมากอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ และมากที่สุด ถึง 36.67% เมื่อสิ้นสุดการทดลอง (รูปที่ 46 และ ตาราง 22)

2.3 คะแนนการเกิดตำหนิ

การเกิดตำหนิปรากฏมากขึ้น ตามระยะเวลาของการเก็บรักษาในทุกชุดการทดลอง และปรากฏชัดในวันที่ 10 ของการเก็บรักษา ไคโตซานที่ระดับความเข้มข้น 2% (w/v) โดยเฉพาะสูตรที่ผสมชาเขียว (คะแนนการเกิดตำหนิ เท่ากับ 3.62 ค่าที่สุทธอย่งมีนัยสำคัญทางสถิติ) มีแนวโน้มช่วยเพิ่มประสิทธิภาพในการลดการเกิดตำหนิจากสูตรที่ไม่ได้ผสมชาเขียว (คะแนนการเกิดตำหนิ เท่ากับ 3.75) เมื่อเปรียบเทียบกับชุดควบคุม คะแนน การเกิดตำหนิ เท่ากับ 3.97 และ สูงที่สุดอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ โดย คะแนนการเกิดตำหนิ เท่ากับ 4.46 ในชุดคาร์บอกซีเมทิลไคโตซานที่ระดับความเข้มข้น 5% (w/v) + PEG – 400 ความเข้มข้น 0.25 % (w/v) + Tween 80 ความเข้มข้น 0.25 % ซึ่งสอดคล้องกับการเน่าเสียที่เกิดขึ้น บ่งบอกถึงการหมดสภาพ(ภาพที่ 7) อย่างไรก็ตาม ถึงแม้การเกิดตำหนิ เพิ่มขึ้น ตามลำดับ เมื่อสิ้นสุดการทดลอง แต่ชุดไคโตซานที่ 2% ทั้งที่ใช้และไม่ใช้ชาเขียว ยังให้คะแนนการเกิดตำหนิ ต่ำกว่า ชุดควบคุม และชุดไคโตซานที่ 5% อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (รูปที่ 47 และ ตาราง 23)

2.4 คะแนนการเกิดตกกระ

ไคโตซานทุกระดับความเข้มข้นสามารถช่วยชะลอการเกิดอาการตกกระได้ดีตลอดระยะเวลาการเก็บรักษาที่อุณหภูมิห้อง โดยเฉพาะคาร์บอกซีเมทิลไคโตซานที่ระดับความเข้มข้น 5% (w/v) + PEG – 400 ความเข้มข้น 0.25 % (w/v) + Tween 80 ความเข้มข้น 0.25% มีแนวโน้มช่วยชะลอการเกิดตกกระได้ดีที่สุด รองลงมาคือ ไคโตซานที่ระดับความเข้มข้น 2% (w/v) (w/v) + PEG – 400 ความเข้มข้น 0.25 % (w/v) + Tween 80 ความเข้มข้น 0.25 % + Green Tea ความเข้มข้น 0.01 (w/v) และไคโตซานที่ระดับความเข้มข้น 2% (w/v) + PEG – 400 ความเข้มข้น 0.25 % (w/v) + Tween 80 ความเข้มข้น 0.25% + Green Tea ความเข้มข้น 0.01 (w/v) ตามลำดับ เมื่อเปรียบเทียบกับชุดควบคุมไม่ใช้ไคโตซาน (รูปที่ 48 และ ตาราง 24)

2.5 การเปลี่ยนสีของเปลือกผล

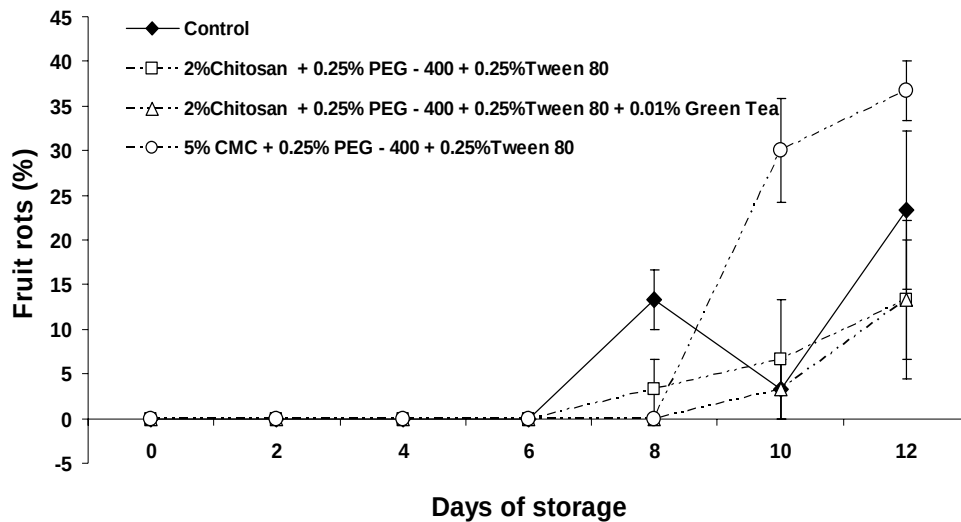
กล้วยไข่ทุกชุดการทดลอง เริ่มมีการเปลี่ยนสีจากเขียวออกเหลืองมากขึ้นในวันที่ 4 ของการเก็บรักษาที่อุณหภูมิห้อง หลังจากนั้น พบว่า ไคโตซานทุกชุดการทดลองยังสามารถชะลอการเปลี่ยนสีของเปลือกผลได้ดี ซึ่งเห็นเด่นชัดในคาร์บอกซีเมทิลไคโตซานที่ระดับความเข้มข้น 5% (w/v) + PEG – 400 ความเข้มข้น 0.25 % (w/v) + Tween 80 ความเข้มข้น 0.25% ในช่วง 8 – 12 วันของการเก็บรักษา โดยมีการเปลี่ยนแปลงสีของเปลือกผลกล้วยไข่ช้ากว่าทรีตเมนต์อื่นๆ อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ รองลงมา คือ ชุดไคโตซาน 2% ที่ผสมชาเขียว และไม่ผสมชาเขียว และชุดควบคุม ตามลำดับ (รูปที่ 49 และ ตาราง 25) อย่างไรก็ตาม เมื่อสิ้นสุดการทดลอง พบว่า สีผิวของเปลือกผลทุกทรีตเมนต์ปรากฏจุดสีน้ำตาลมากขึ้น และมีมากที่สุดที่ชุดควบคุมที่ไม่ใช้ไคโตซาน แต่ในทรีตเมนต์ที่ใช้ไคโตซาน 5% (w/v) + PEG – 400 ความเข้มข้น 0.25 % (w/v) + Tween 80 ความเข้มข้น 0.25% ยังมีสีเขียวปรากฏอยู่

2.6 ค่าความสว่าง (L*)

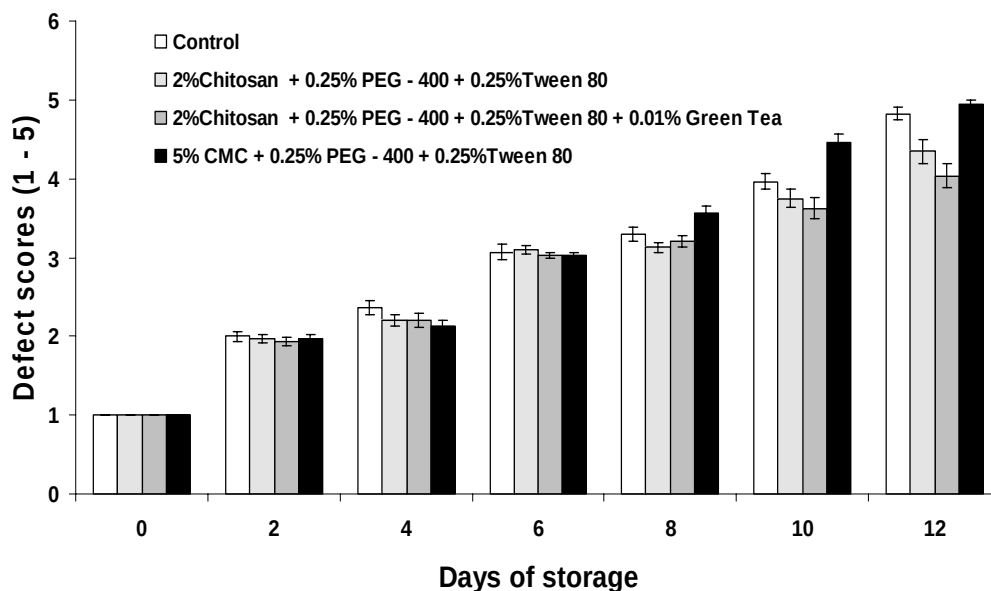
การเปลี่ยนแปลงค่าความสว่าง หรือ ค่า L* บ่งบอก ถึงวัตถุมีสีคล้ำมากหรือน้อย ถ้าค่าความสว่างสูง คือ เข้าใกล้ 100 แสดงว่าวัตถุมีความสว่างมากจนใกล้สีขาว และในทางตรงกันข้าม ถ้าวัตถุมีความสว่างน้อยหรือมีสีคล้ำมาก ค่าความสว่างจะยิ่งเข้าใกล้ 0 เป็นต้น

ในการทดลองที่ 2 นี้ การเปลี่ยนแปลงของค่าความสว่างไม่แตกต่างจากการทดลองที่ 1 มากนัก เพียงแต่ จะเห็นชัดว่า การใช้ไคโตซานทุกชุดการทดลองให้ค่าความสว่างต่ำกว่าชุดควบคุมเล็กน้อยตลอดการทดลอง คือมีสีคล้ำเล็กน้อย ยกเว้นการใช้คาร์บอกซีเมทิลไคโตซานที่ระดับความเข้มข้น 5% (w/v) + PEG – 400 ความเข้มข้น 0.25 % (w/v) + Tween 80 ความ

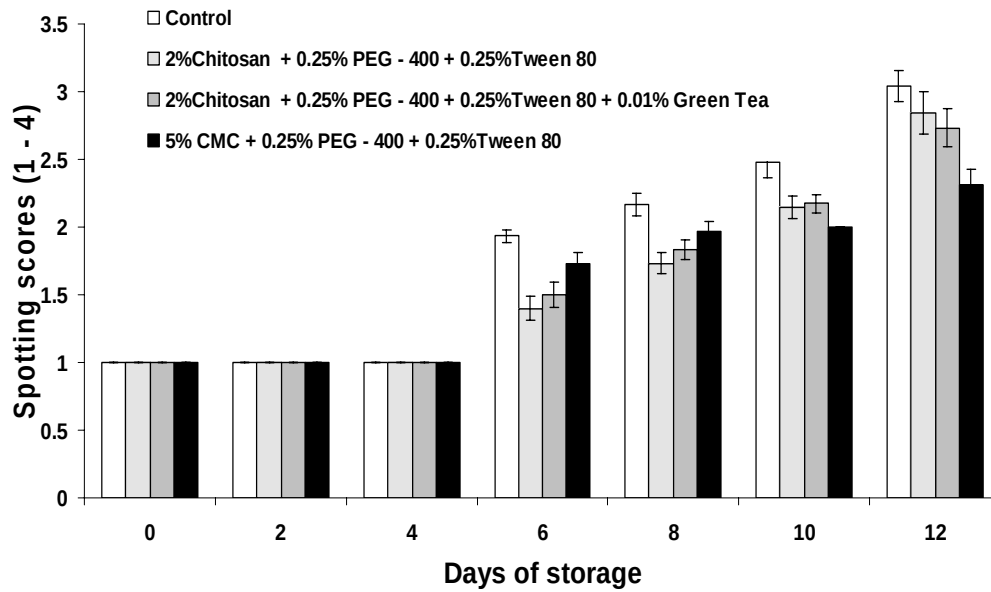
เข้มข้น 0.25% กลับให้ค่าความสว่างของเปลือกผลกล้วยไข่ ต่ำมาก และต่ำที่สุดอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ตลอดระยะเวลาของการเก็บรักษาที่อุณหภูมิห้อง (รูปที่ 50 และ ตาราง 26) แสดงให้เห็นว่า ชุดการทดลองนี้ปรากฏสีคล้ำมาก และสอดคล้องกับการเกิดดำหนิ



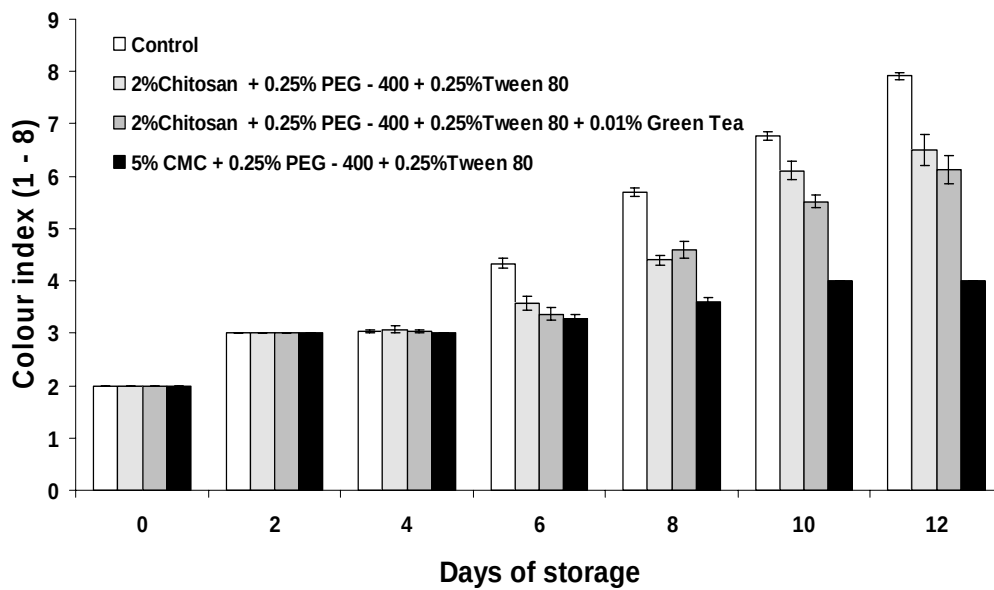
รูปที่ 46 - แสดงเปอร์เซ็นต์การเน่าเสียของกล้วยไข่ภายหลังการใช้ไคโตซานและคาร์บอกซีเมทิลไคโตซานนาน 30 วินาที และเก็บรักษาที่อุณหภูมิห้อง ($29.07 \pm 0.97^{\circ}\text{C}$; RH $57.25 \pm 1.73\%$) เป็นเวลา 12 วัน



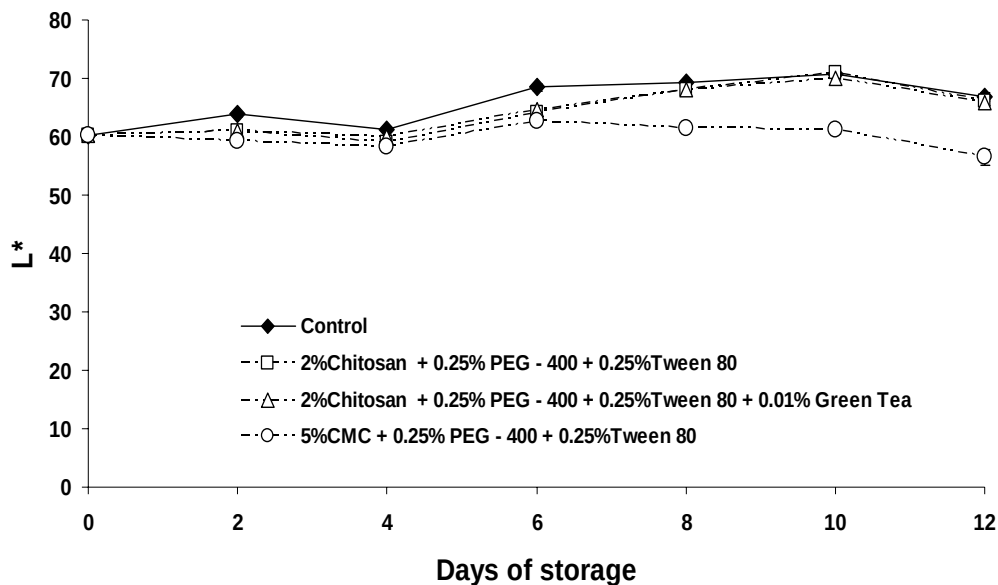
รูปที่ 47 - แสดงคะแนนการเกิดดำหนิของเปลือกผลกล้วยไข่ภายหลังการใช้ไคโตซานและคาร์บอกซีเมทิลไคโตซานนาน 30 วินาที และเก็บรักษาที่อุณหภูมิห้อง ($29.07 \pm 0.97^{\circ}\text{C}$; RH $57.25 \pm 1.73\%$) เป็นเวลา 12 วัน



รูปที่ 48 - แสดงคะแนนการเกิดตกกระของกล้วยไข่ภายหลังการใช้ไคโตซานและคาร์บอกซีเมทิลไคโตซานนาน 30 วินาที และเก็บรักษาที่อุณหภูมิห้อง ($29.07 \pm 0.97^{\circ}\text{C}$; RH $57.25 \pm 1.73\%$) เป็นเวลา 12 วัน



รูปที่ 49 - แสดงคะแนนการเปลี่ยนสีของเปลือกผลกล้วยไข่ภายหลังการใช้ไคโตซานและคาร์บอกซีเมทิลไคโตซานนาน 30 วินาที และเก็บรักษาที่อุณหภูมิห้อง ($29.07 \pm 0.97^{\circ}\text{C}$; RH $57.25 \pm 1.73\%$) เป็นเวลา 12 วัน



รูปที่ 50 - แสดงค่า L* ของเปลือกผลกล้วยไข่ภายหลังการใช้ไคโตซานและคาร์บอกซีเมทิลไคโตซานนาน 30 วินาที และเก็บรักษาที่อุณหภูมิห้อง ($29.07 \pm 0.97^{\circ}\text{C}$; RH $57.25 \pm 1.73\%$) เป็นเวลา 12 วัน

2.7 ความแน่นเนื้อ

ไคโตซานทุกชุดการทดลองสามารถชะลอการอ่อนตัวของเนื้อผลกล้วยไข่ได้ดีตลอด 10 วันของการเก็บรักษาที่อุณหภูมิห้อง ซึ่งให้ผลเช่นเดียวกันกับการทดลองที่ 1 แสดงให้เห็นว่า ไคโตซานมีแนวโน้มชะลอการสุกของผลกล้วยไข่โดยรวม เมื่อเปรียบเทียบกับชุดควบคุมที่ไม่ใช้ไคโตซาน อย่างไรก็ตาม ในการทดลองที่ 2 นี้ จะเห็นเด่นชัดว่า เมื่อเพิ่มความเข้มข้นของคาร์บอกซีเมทิลไคโตซาน เป็น 5% (w/v) + PEG - 400 ความเข้มข้น 0.25 % (w/v) + Tween 80 ความเข้มข้น 0.25% ส่งผลเพิ่มประสิทธิภาพการชะลอการสุกของผลกล้วยไข่ได้ดีมาก พบว่า ชะลอการอ่อนตัวของเนื้อผลกล้วยไข่ได้ดีที่สุด ซึ่งให้ค่าความแน่นเนื้อสูงที่สุด และสูงอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ตลอดการทดลอง (รูปที่ 51 และ ตาราง 27)

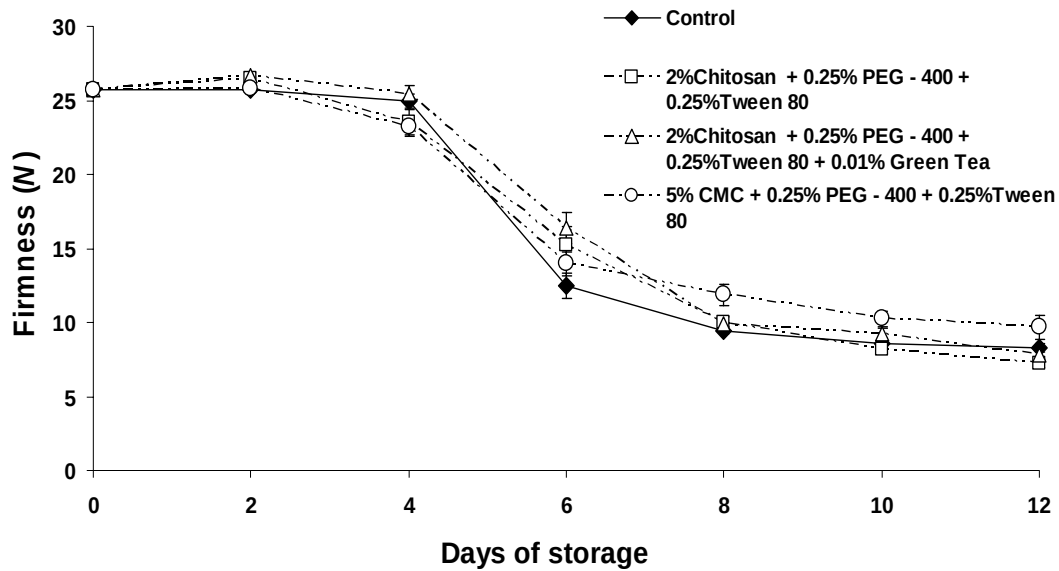
2.8 ค่า pH

เมื่อผลไม้เข้าสู่กระบวนการสุก ค่า pH ของน้ำคั้น อาจมีการเปลี่ยนแปลงบ้างเล็กน้อยตามธรรมชาติ จากการทดลองที่ 2 นี้ ค่า pH ในแต่ละชุดการทดลองมีการเปลี่ยนแปลงน้อยมาก หรือ อาจกล่าวได้ว่า ไคโตซานไม่ได้มีอิทธิพลโดยตรงต่อการเปลี่ยนแปลงของค่า pH แต่อย่างไร พบการเปลี่ยนแปลงอยู่ระหว่าง 5.53 – 5.97 เมื่อสิ้นสุดการทดลอง (รูปที่ 52 และ ตาราง 28) แต่ ไคโตซานอาจมีผลทางอ้อม โดยมีผลในการชะลอการสุก จึงส่งผลให้เกิดการเปลี่ยนแปลงทางเคมีไปบ้างตามระยะของการสุก ตามลำดับ

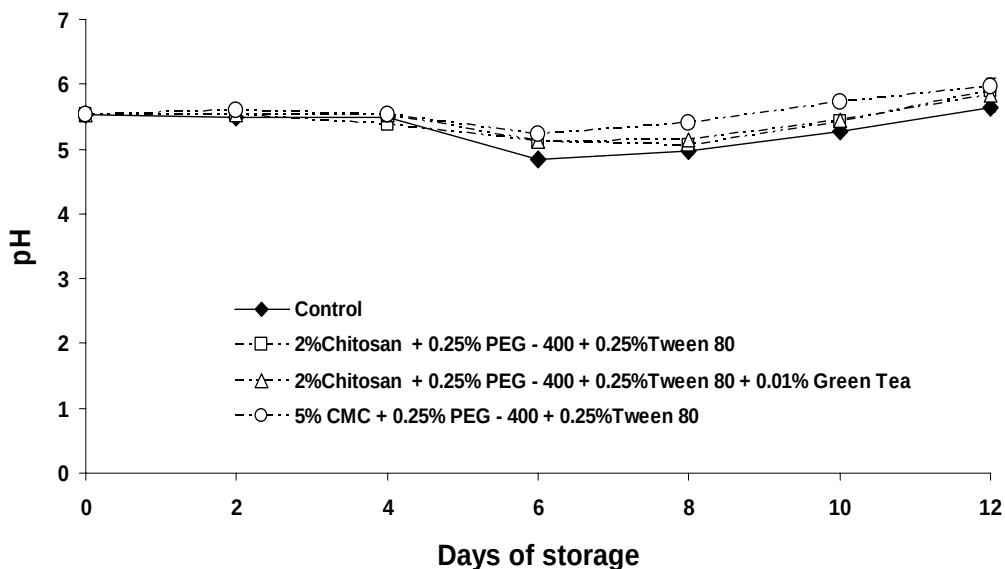
2.9 ค่าเฉลี่ยของแข็งที่ละลายได้ในน้ำ (SSC)

ค่า SSC ของน้ำคั้นผลกล้วยไข่มีแนวโน้มเพิ่มขึ้นเมื่อระยะเวลาในการเก็บรักษานานขึ้น สอดคล้องกับผลไม้เมื่อเริ่มสุก โดยพบว่าผลกล้วยไข่ที่ใช้ไคโตซานทุกระดับความเข้มข้นมีการเปลี่ยนแปลงปริมาณค่า SSC ต่ำกว่าชุดควบคุมที่ไม่ใช้ไคโตซานอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ โดยเฉพาะในวันที่ 8 ของการเก็บรักษาที่อุณหภูมิห้อง อย่างไรก็ตามเมื่อสิ้นสุดการทดลอง คาร์บอกซีเมทิลไคโตซานที่ระดับความเข้มข้น 5% ให้ค่า SSC ต่ำมากอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ เมื่อเปรียบเทียบกับ

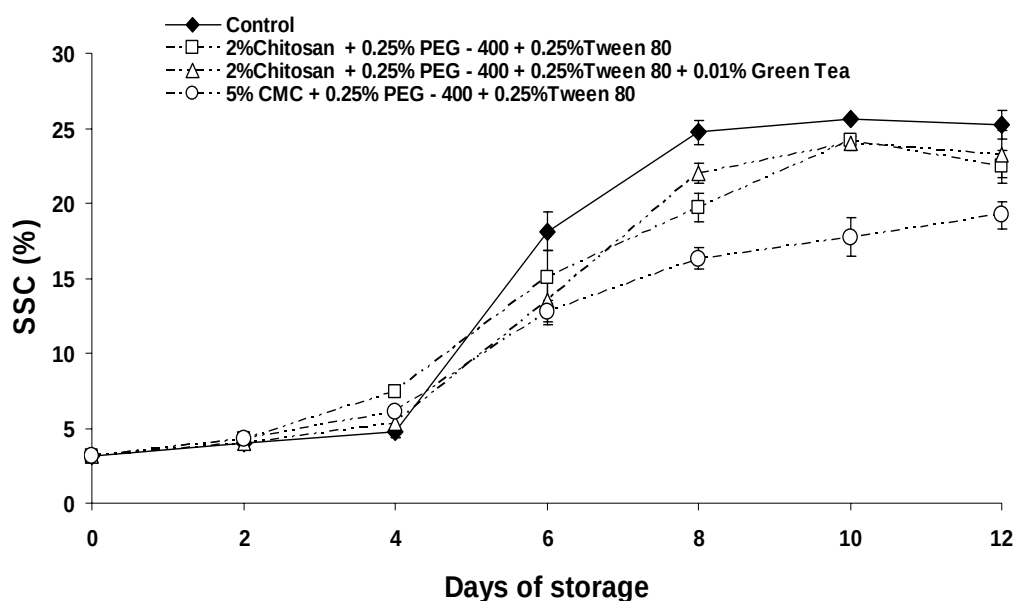
ชุดการทดลองอื่นๆ (รูปที่ 53 และ ตาราง 29) แสดงให้เห็นว่ากระบวนการสุกถูกทำให้เกิดช้าลง และอาจมีความผิดปกติในกระบวนการสุกของผลกล้วยไข่ในชุดการทดลองนี้ (สอดคล้องกับการทดสอบโดยการชิม พบว่า เนื้อสัมผัสมีการเปลี่ยนแปลงไม่สม่ำเสมอ และปรากฏกลิ่นที่ผิดปกติ; ข้อมูลไม่ได้แสดง)



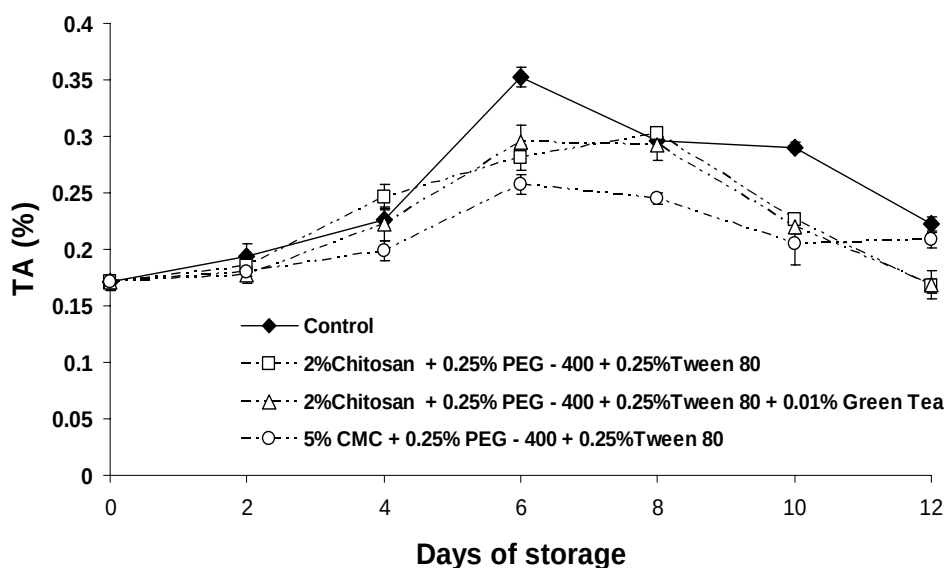
รูปที่ 51 - แสดงค่าความแน่นเนื้อของกล้วยไข่ภายหลังการใช้ไคโตซานและคาร์บอกซีเมทิลไคโตซานนาน 30 วินาที และเก็บรักษาที่อุณหภูมิห้อง ($29.07 \pm 0.97^{\circ}\text{C}$; $\text{RH } 57.25 \pm 1.73\%$) เป็นเวลา 12 วัน



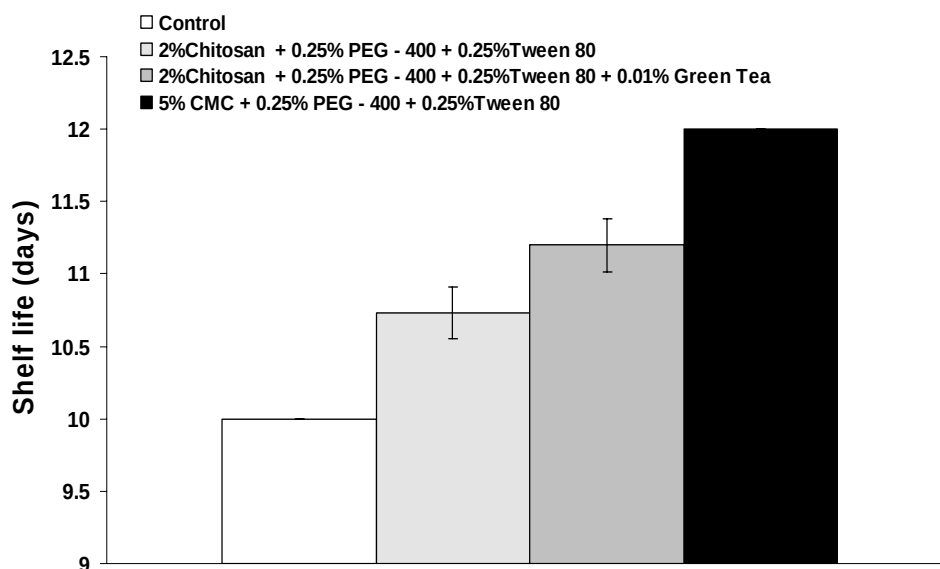
รูปที่ 52 - แสดงค่าเฉลี่ย pH ของน้ำคั้นจากผลกล้วยไข่ภายหลังการใช้ไคโตซานและคาร์บอกซีเมทิลไคโตซานนาน 30 วินาที และเก็บรักษาที่อุณหภูมิห้อง ($29.07 \pm 0.97^{\circ}\text{C}$; $\text{RH } 57.25 \pm 1.73\%$) เป็นเวลา 12 วัน



รูปที่ 53 - แสดงปริมาณของแข็งที่ละลายได้ในน้ำ (Soluble Solids Content; SSC) ของกล้วยไข่ภายหลังการใช้ไคโตซานและคาร์บอกซีเมทิลไคโตซานนาน 30 วินาที และเก็บรักษาที่อุณหภูมิห้อง ($29.07 \pm 0.97^{\circ}\text{C}$; RH $57.25 \pm 1.73\%$) เป็นเวลา 12 วัน



รูปที่ 54 - แสดงปริมาณกรดที่ไทเทรตได้ (Titratable Acidity; TA) ของน้ำคั้นจากผลกล้วยไข่ภายหลังการใช้ไคโตซานและคาร์บอกซีเมทิลไคโตซานนาน 30 วินาที และเก็บรักษาที่อุณหภูมิห้อง ($29.07 \pm 0.97^{\circ}\text{C}$; RH $57.25 \pm 1.73\%$) เป็นเวลา 12 วัน



รูปที่ 55 - แสดงอายุการวางจำหน่ายของกล้วยไข่ภายหลังการใช้ไคโตซานและคาร์บอกซีเมทิลไคโตซานนาน 30 วินาที และ เก็บรักษาที่อุณหภูมิห้อง ($29.07 \pm 0.97^{\circ}\text{C}$; RH $57.25 \pm 1.73\%$) จนหมดสภาพ, เกณฑ์การประเมิน ณ วันที่คะแนนสีของ เปลือกผลน้อยกว่าหรือเท่ากับ 7 (มีสีน้ำตาล เนื้อนิ่ม มีกลิ่นแรง หมดสภาพ) (ตารางที่ 2.5) หมายถึง หมดสภาพ ไม่เป็นที่ ต้องการของผู้บริโภค เป็นเกณฑ์ในการประเมินอายุการวางจำหน่าย (หมายเหตุ: ไคโตซาน 5% w/v ให้อายุการวางจำหน่าย สูงสุด แต่เกิดการเน่าเสียและตำหนิสูงมากจึงไม่แนะนำให้ใช้)

2.10 ค่าเฉลี่ยปริมาณกรดที่ไทเทรตได้ (TA)

ค่า TA ในทุกชุดการทดลองมีค่าเพิ่มขึ้น เมื่อผลไม้เริ่มสุก และเพิ่มสูงขึ้น ตามการเปลี่ยนแปลงในกระบวนการสุกนี้ และ จะเห็นได้ชัดว่า ทุกชุดการทดลองที่ใช้ไคโตซาน มีการเปลี่ยนแปลงของค่า TA ในอัตราที่ต่ำกว่าชุดควบคุม อย่างมี นัยสำคัญทางสถิติ ในช่วง 6-8 วันของการเก็บรักษา แต่ เมื่อสิ้นสุดการทดลอง ทุกชุดการทดลอง มีค่า TA ไม่แตกต่างกัน ค่า อยู่ระหว่าง 0.17-0.21% (รูปที่ 54 และ ตาราง 30)

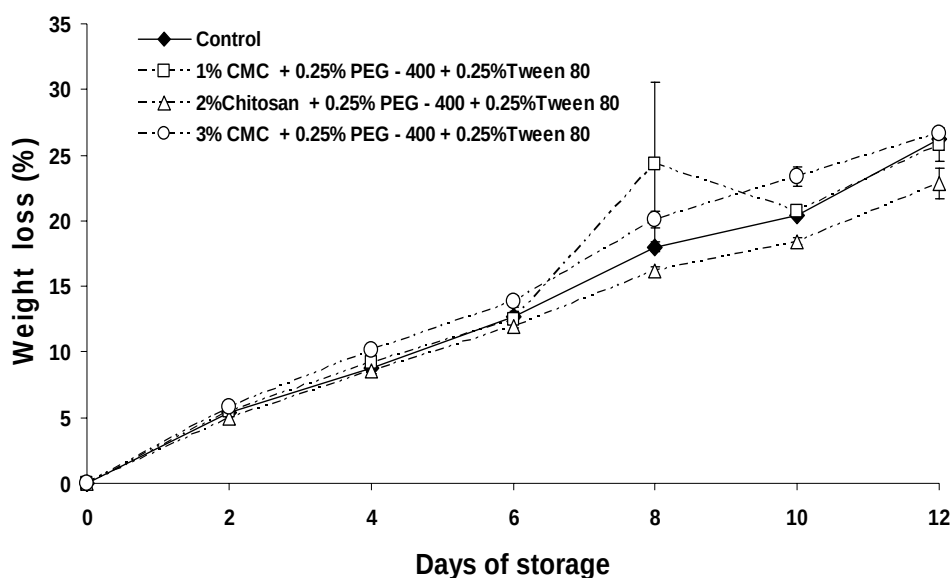
2.11 อายุการวางจำหน่าย

ไคโตซาน สามารถช่วยยืดอายุการจำหน่ายผลกล้วยไข่ ได้นานกว่าชุดควบคุม 1-2 วัน เมื่อใช้การเปลี่ยนแปลงของ สีเปลือกผลเป็นเกณฑ์ในการตัดสิน โดย ชุดควบคุม ให้อายุการวางจำหน่ายประมาณ 10 วัน ไคโตซานที่ระดับความเข้มข้น 5% (w/v) + PEG – 400 ความเข้มข้น 0.25 % (w/v) + Tween 80 ความเข้มข้น 0.25% ที่มีอายุการวางจำหน่ายของกล้วยไข่ได้ นานที่สุด เท่ากับ 12 วัน รองลงมาคือไคโตซานที่ระดับความเข้มข้น 2% (w/v) + PEG – 400 ความเข้มข้น 0.25 % (w/v) + Tween 80 ความเข้มข้น 0.25% + Green Tea ความเข้มข้น 0.01 (w/v)และไคโตซานความเข้มข้น 2% (w/v) + PEG – 400 ความเข้มข้น 0.25 % (w/v) + Tween 80 ความเข้มข้น 0.25% โดยมีอายุการวางจำหน่าย เท่ากับ 11.2 และ 10.73 วัน ตามลำดับ (รูปที่ 55 และ ตาราง 31) อย่างไรก็ตาม พบการเน่าเสียสูงมาก 30-40% ในชุดคาร์บอกซีเมทิลไคโตซานที่ 5% (w/v) + 0.25 % (w/v) PEG – 400 + 0.25% Tween 80 เมื่อสิ้นสุดการทดลอง จึงไม่แนะนำให้ สูตรนี้ในการนำไปประยุกต์ใช้ใน เชิงการค้า

3. การทดลองที่ 3

3.1 เพอร์เซ็นต์การสูญเสียน้ำหนัก

การสูญเสียน้ำหนักของผลกล้วยไข่ทุกทรีตเมนต์มีการเพิ่มขึ้นในแต่ละวันจนกระทั่งสิ้นสุดการทดลอง โดยพบว่า ทรีตเมนต์ที่มีการใช้ไคโตซานความเข้มข้น 2% (w/v) + PEG - 400 ความเข้มข้น 0.25% (w/v) + Tween 80 ความเข้มข้น 0.25% มีเปอร์เซ็นต์การสูญเสียน้ำหนักน้อยกว่าทรีตเมนต์อื่นๆอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ซึ่งเห็นได้เด่นชัดในวันที่ 10 ของการเก็บรักษา โดยไคโตซานความเข้มข้น 2% (w/v) + PEG - 400 ความเข้มข้น 0.25% (w/v) + Tween 80 ความเข้มข้น 0.25% มีเปอร์เซ็นต์การสูญเสียน้ำหนักเท่ากับ 18.44% รองลงมาคือ ชุดควบคุมไม่ใช้ไคโตซาน CMC ความเข้มข้น 1 % (w/v) + PEG - 400 ความเข้มข้น 0.25% (w/v) + Tween 80 ความเข้มข้น 0.25% และ CMC ความเข้มข้น 3 % (w/v) + PEG - 400 ความเข้มข้น 0.25% (w/v) + Tween 80 ความเข้มข้น 0.25% โดยมีเปอร์เซ็นต์การสูญเสียน้ำหนักเท่ากับ 20.45% 20.75% และ 23.38% ตามลำดับ (รูปที่ 56 และ ตาราง 32) แสดงให้เห็นว่า การพัฒนาสูตรไคโตซานในรูปแบบของ CMC ทุกความเข้มข้น ไม่ได้ช่วยเพิ่มประสิทธิภาพในการชะลอการสูญเสียน้ำหนักแต่อย่างใด กลับทำให้มีการสูญเสียมากกว่าชุดควบคุมในแต่ละช่วงเวลาของการเก็บรักษา

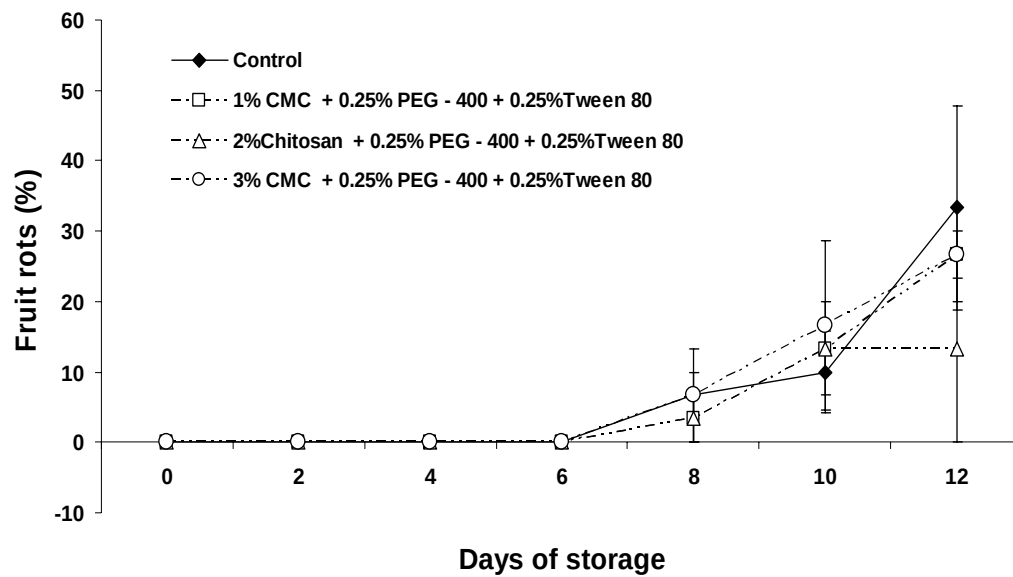


รูปที่ 56 – แสดงเปอร์เซ็นต์การสูญเสียน้ำหนักของกล้วยไข่ภายหลังการใช้ไคโตซานที่ระดับความเข้มข้นต่างๆ นาน 30 วินาที และเก็บรักษาที่อุณหภูมิห้อง (28.43 ± 0.17 °C; RH $57.22 \pm 1.71\%$) เป็นเวลา 12 วัน

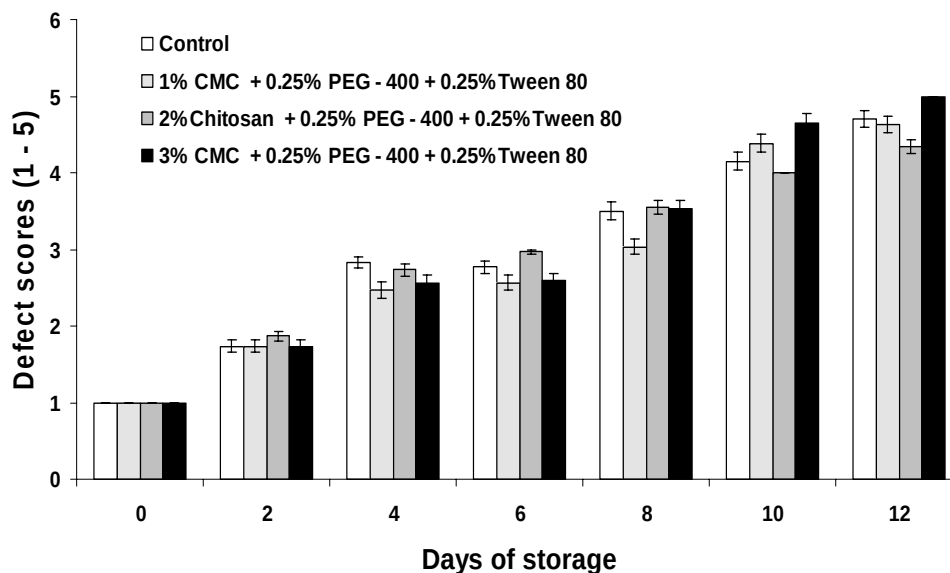
3.2 เพอร์เซ็นต์การเน่าเสีย

เริ่มปรากฏการเน่าเสียในวันที่ 8 ของการเก็บรักษา และพบว่าการใช้ไคโตซานที่ระดับความเข้มข้น 2% (w/v) + PEG - 400 ความเข้มข้น 0.25% (w/v) + Tween 80 ความเข้มข้น 0.25% ยังคงสามารถควบคุมการเน่าเสียได้ดีเมื่อเปรียบเทียบกับชุดควบคุมที่ไม่ใช้ไคโตซาน และเปรียบเทียบกับ ชุด CMC ความเข้มข้น 1 % (w/v) + PEG - 400 ความเข้มข้น 0.25% (w/v) + Tween 80 ความเข้มข้น 0.25% และ CMC ความเข้มข้น 3 % (w/v) + PEG - 400 ความเข้มข้น 0.25% (w/v) + Tween 80 ความเข้มข้น 0.25% อย่างไรก็ตาม เมื่อระยะเวลาการเก็บรักษานานขึ้น การเน่าเสียเพิ่มสูงขึ้นและเมื่อสิ้นสุดการทดลอง มีค่า

สูงสุด เท่ากับ 33.33% ในชุดควบคุม ถึง ค่าต่ำสุดในชุด ไคโตซาน ที่ 2% (w/v) เท่ากับ 13.33% ตามลำดับ (รูปที่ 57 และ ตาราง 33)



รูปที่ 57 - แสดงเปอร์เซ็นต์การเน่าเสียของกล้วยไข่ภายหลังการใช้ไคโตซานที่ระดับความเข้มข้นต่าง ๆ นาน 30 วินาที และ เก็บรักษาที่อุณหภูมิห้อง ($28.43 \pm 0.17^{\circ}\text{C}$; RH $57.22 \pm 1.71\%$) เป็นเวลา 12 วัน



รูปที่ 58 - แสดงคะแนนการเกิดตำหนิของกล้วยไข่ภายหลังการใช้ไคโตซานที่ระดับความเข้มข้นต่าง ๆ นาน 30 วินาที และ เก็บรักษาที่อุณหภูมิห้อง ($28.43 \pm 0.17^{\circ}\text{C}$; RH $57.22 \pm 1.71\%$) เป็นเวลา 12 วัน

3.3 คะแนนการเกิดตำหนิ

การเกิดตำหนิไม่พบความแตกต่างกันในช่วง 2 วันแรกของการเก็บรักษาที่อุณหภูมิห้อง และหลังจากนั้นทุกชุดการทดลอง มีคะแนนการเกิดตำหนิที่เพิ่มขึ้น และจะเริ่มแตกต่างหลังจากวันที่ 4 ของการเก็บรักษา โดยเฉพาะ CMC 1 % (w/v) + PEG - 400 ความเข้มข้น 0.25% (w/v) + Tween 80 ความเข้มข้น 0.25% มีคะแนนการเกิดตำหนิน้อยที่สุดอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ในช่วง 4 – 8 วันแรกของการเก็บรักษาที่อุณหภูมิห้อง แต่หลังจากนั้น พบว่า ในวันที่ 10 – 12 ของการเก็บรักษา ไคโตซานที่ระดับความเข้มข้น 2% (w/v) + PEG - 400 ความเข้มข้น 0.25% (w/v) + Tween 80 ความเข้มข้น 0.25% มีคะแนนการเกิดตำหนิน้อยที่สุดอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ แสดงให้เห็นว่าสามารถชะลอการเกิดตำหนิได้ดีที่สุด เมื่อสิ้นสุดการทดลอง(รูปที่ 58 และ ตาราง 34)

3.4 คะแนนการตกกระ

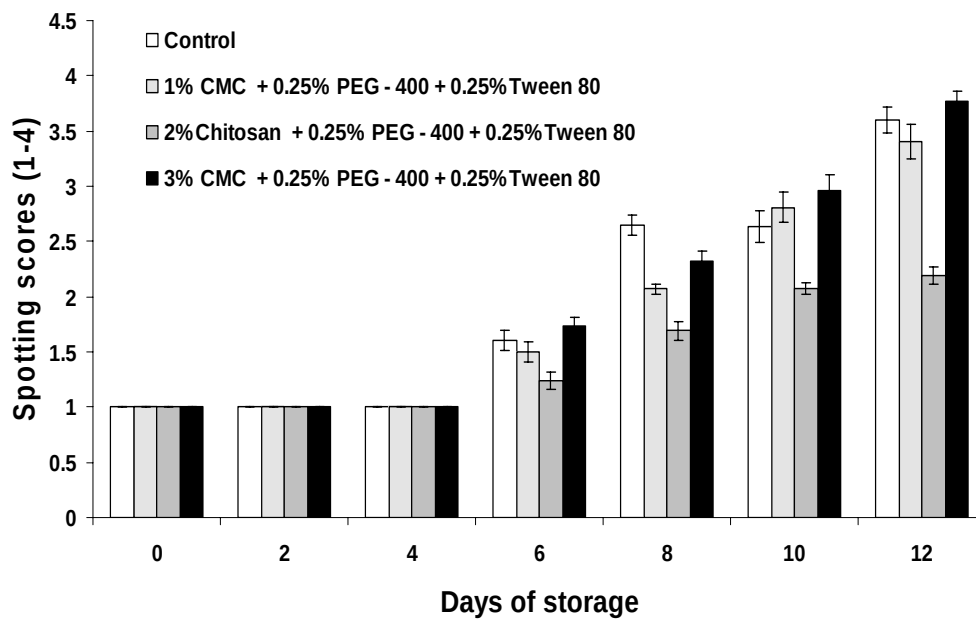
ไม่ปรากฏการเกิดตกกระของผลกล้วยไข่ในช่วง 4 วันแรกของการเก็บรักษาที่อุณหภูมิห้อง แต่อาการเริ่มปรากฏเมื่อผลกล้วยไข่เริ่มสุกหรือผลกล้วยไข่เปลี่ยนเป็นสีเหลืองทั้งผลในวันที่ 6 ของการเก็บรักษา โดยจุดตกกระค่อยๆเพิ่มขนาด และมีจำนวนจุดตกกระเพิ่มมากขึ้นเรื่อยๆ จนมีสีของจุดเห็นได้ชัดเจนและสามารถเชื่อมเป็นแผ่นติดกัน โดยเฉพาะในชุดควบคุม และ CMC 3% (w/v) พบ คะแนนการตกกระสูงขึ้น เมื่อเก็บรักษานานขึ้น อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ส่วน ไคโตซานที่ระดับความเข้มข้น 2% (w/v) + PEG - 400 ความเข้มข้น 0.25% (w/v) + Tween 80 ความเข้มข้น 0.25% ยังแสดงประสิทธิภาพที่ดี ต่อ การชะลอการเกิดอาการตกกระของผลกล้วยไข่ เมื่อเปรียบเทียบกับชุดการทดลองอื่น ๆ ตลอดจนการเก็บรักษา คะแนนการเกิดอาการตกกระน้อยที่สุดอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ เท่ากับ 2.19 เมื่อสิ้นสุดการทดลอง (รูปที่ 59 และ ตาราง 35)

3.5 การเปลี่ยนสีของเปลือกผล

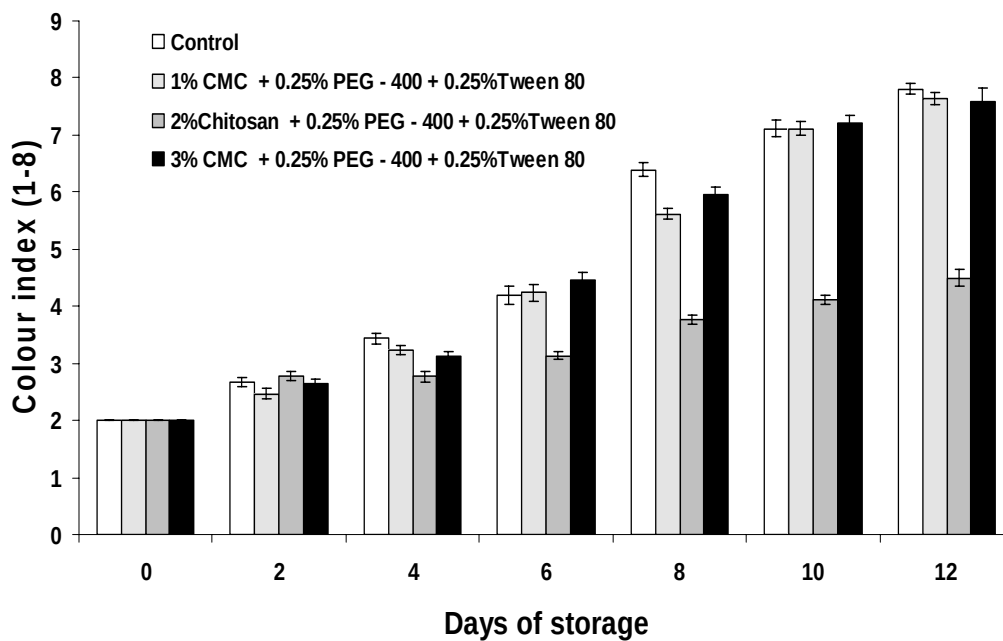
สีของผลกล้วยไข่เริ่มมีสีเหลืองมากขึ้นในวันที่ 2 ของการเก็บรักษาที่อุณหภูมิห้องแต่หลังจากนี้พบว่า ไคโตซานที่ระดับความเข้มข้น 2% (w/v) + PEG - 400 ความเข้มข้น 0.25% (w/v) + Tween 80 ความเข้มข้น 0.25% มีแนวโน้มช่วยชะลอการเปลี่ยนสีของเปลือกผลกล้วยไข่ได้ดีที่สุด ซึ่งเห็นเด่นชัดในวันที่ 4 – 12 ของการเก็บรักษาที่อุณหภูมิห้อง โดยมีการเปลี่ยนสีของเปลือกผลกล้วยไข่ช้ากว่าทรีตเมนต์อื่นๆ อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ และเมื่อสิ้นสุดการทดลอง พบว่า สีของเปลือกผลกล้วยไข่ทุกทรีตเมนต์มีจุดสีน้ำตาลมากขึ้น (สีเขียวหายไป สีคล้ำ และดำหนิเพิ่มมากขึ้น) และค่อนข้างสูงมากในชุดควบคุมที่ไม่ใช่ไคโตซาน และ CMC ความเข้มข้น 1 % (w/v) + PEG - 400 ความเข้มข้น 0.25% (w/v) + Tween 80 ความเข้มข้น 0.25% และ CMC ความเข้มข้น 3 % (w/v) + PEG - 400 ความเข้มข้น 0.25% (w/v) + Tween 80 ความเข้มข้น 0.25% ตามลำดับ แต่ไคโตซานที่ระดับความเข้มข้น 2% (w/v) + PEG - 400 ความเข้มข้น 0.25% (w/v) + Tween 80 ความเข้มข้น 0.25% ยังมีสีเขียวปรากฏอยู่ (รูปที่ 60 และ ตาราง 36)

3.6 ค่าความสว่าง (L*)

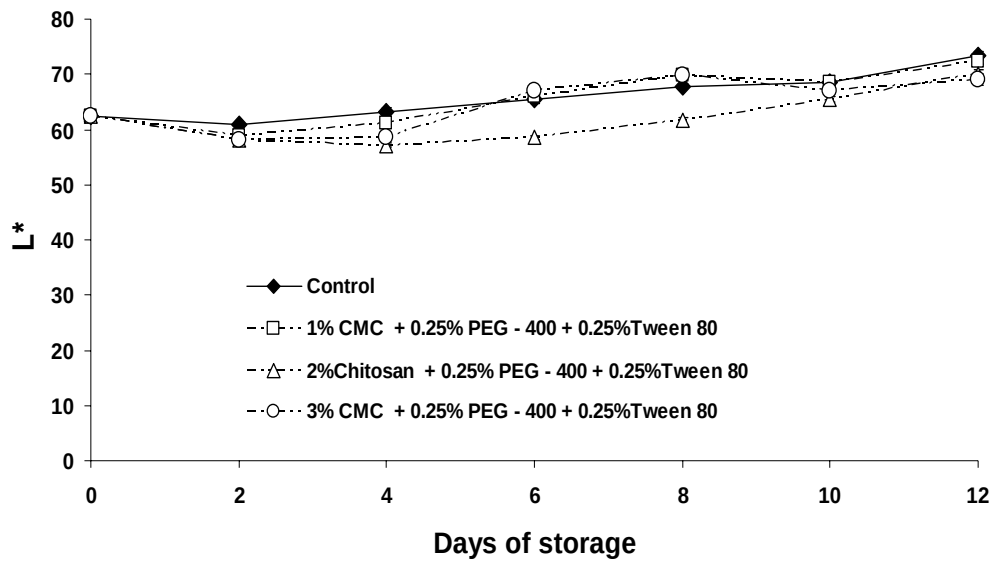
ค่า L* มีแนวโน้มเพิ่มขึ้นจากวันที่ 2 ของการเก็บรักษาที่อุณหภูมิห้อง โดย พบว่าไคโตซานที่ระดับความเข้มข้น 2% (w/v) + PEG - 400 ความเข้มข้น 0.25% (w/v) + Tween 80 ความเข้มข้น 0.25% มีการเปลี่ยนแปลงของค่าความสว่างน้อยตลอดการทดลอง และมีแนวโน้มต่ำกว่า ชุดควบคุม ตลอดการทดลอง อย่างไรก็ตาม เมื่อสิ้นสุดการทดลอง ไคโตซาน CMC 3 % (w/v) + PEG - 400 ความเข้มข้น 0.25% (w/v) + Tween 80 ความเข้มข้น 0.25% กลับให้ ค่า L* น้อยที่สุด อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ บ่งบอก วัตถุมีสีคล้ำมากที่สุด ซึ่งสอดคล้องกับการเกิดตำหนิ (รูปที่ 61 และ ตาราง 37)



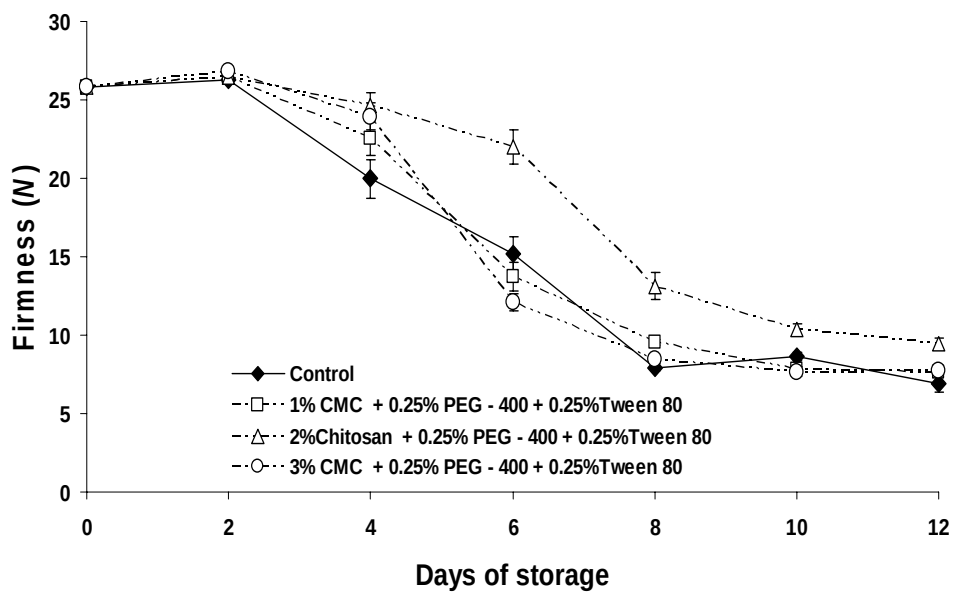
รูปที่ 59 – แสดงคะแนนการเกิดตกกระของกล้วยไข่ภายหลังการใช้ไคโตซานที่ระดับความเข้มข้นต่างๆ นาน 30 วินาที และเก็บรักษาที่อุณหภูมิห้อง ($28.43 \pm 0.17^{\circ}\text{C}$; RH $57.22 \pm 1.71\%$) เป็นเวลา 12 วัน



รูปที่ 60 - แสดงคะแนนการเปลี่ยนสีของเปลือกผลกล้วยไข่ภายหลังการใช้ไคโตซานที่ระดับความเข้มข้นต่างๆ นาน 30 วินาที และเก็บรักษาที่อุณหภูมิห้อง ($28.43 \pm 0.17^{\circ}\text{C}$; RH $57.22 \pm 1.71\%$) เป็นเวลา 12 วัน



รูปที่ 61 - แสดงค่าความสว่าง (L*) ของกล้วยไข่ภายหลังการใช้ไคโตซานที่ระดับความเข้มข้นต่างๆ นาน 30 วินาที และเก็บรักษาที่อุณหภูมิห้อง (28.43 ± 0.17 °C; RH $57.22 \pm 1.71\%$) เป็นเวลา 12 วัน



รูปที่ 62 - แสดงค่าความแน่นเนื้อของกล้วยไข่ภายหลังการใช้ไคโตซานที่ระดับความเข้มข้นต่างๆ นาน 30 วินาที และเก็บรักษาที่อุณหภูมิห้อง (28.43 ± 0.17 °C; RH $57.22 \pm 1.71\%$) เป็นเวลา 12 วัน

3.7 ความแน่นเนื้อ

ความแน่นเนื้อของผลกล้วยไข่ไม่พบความแตกต่าง ในช่วง 2 วันแรกของการเก็บรักษาที่อุณหภูมิห้อง หลังจากนั้น จากวันที่ 4 ไปจนถึงสิ้นสุดการทดลอง พบว่า ไคโตซานที่ระดับความเข้มข้น 2% (w/v) + PEG - 400 ความเข้มข้น 0.25% (w/v) + Tween 80 ความเข้มข้น 0.25% สามารถชะลอการอ่อนตัวของเนื้อผลกล้วยไข่ได้ดีที่สุด ซึ่งให้ค่าความแน่นเนื้อสูงกว่าชุดการทดลองอื่น ๆ อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (รูปที่ 62 และ ตาราง 38)

3.8 ค่า pH

ผลกล้วยไข่ มีค่า pH เริ่มต้น เท่ากับ 5.6 ก่อนการเก็บรักษา และค่าลดลงตามระยะของการสุกในแต่ละชุดของการทดลอง หลังจากนั้น ค่ากลับเพิ่มขึ้น จนถึงสิ้นสุด การทดลอง โดยมี ค่า pH สูงสุด ไม่เกิน 5.7 เท่านั้น ค่า pH ที่เปลี่ยนแปลงไป ไม่มากนัก ในทุกชุดของการทดลอง (รูปที่ 63 และ ตาราง 39)

3.9 ปริมาณของแข็งที่ละลายได้ในน้ำ (SSC)

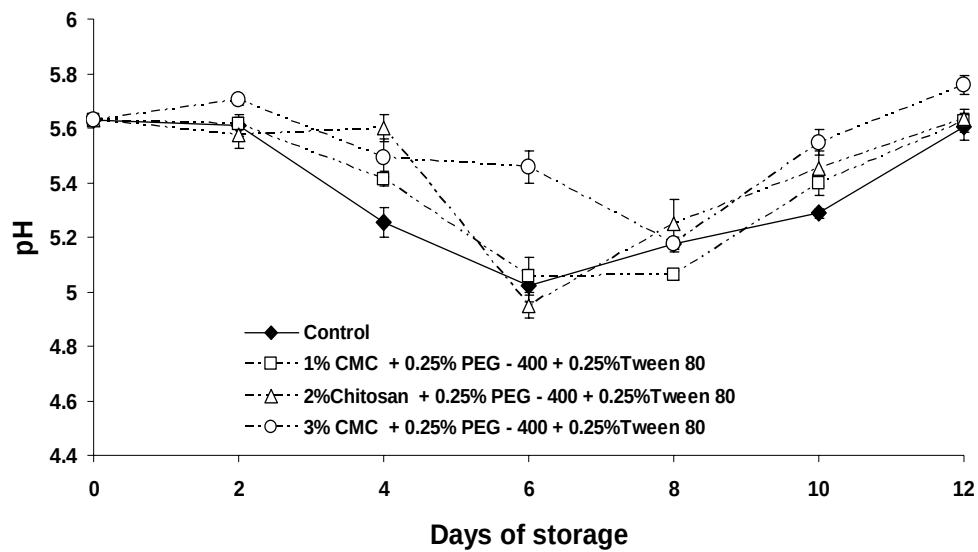
ปริมาณค่า SSC มีแนวโน้มเพิ่มขึ้นเมื่อระยะเวลาในการเก็บรักษานานขึ้น โดยทุกทรีตเมนต์มีการเปลี่ยนแปลงค่า SSC ใกล้เคียงกัน แต่การเพิ่มขึ้น ค่อนข้างมากหลังจากวันที่ 6 ของการเก็บรักษา สอดคล้องกับการสุกของผลกล้วย ซึ่งไคโตซานที่ระดับความเข้มข้น 2% (w/v) + PEG - 400 ความเข้มข้น 0.25% (w/v) + Tween 80 ความเข้มข้น 0.25% มีค่าการเปลี่ยนแปลงค่า SSC ต่ำกว่าชุดการทดลองอื่นๆ อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ตลอดระยะเวลาการเก็บรักษาที่อุณหภูมิห้อง (รูปที่ 64 และ ตาราง 40)

3.10 ปริมาณกรดที่ไทเทรตได้ (TA)

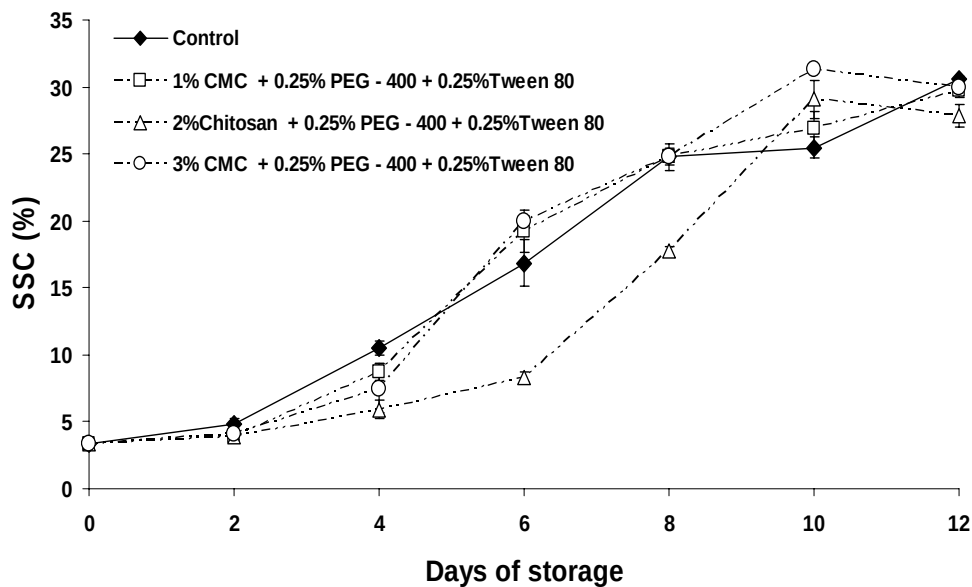
ค่า TA ในแต่ละชุดการทดลองมีการเปลี่ยนแปลงเล็กน้อย โดยมีค่าการเปลี่ยนแปลงอยู่ระหว่าง 0.14 – 0.34 ตลอดระยะเวลาการเก็บรักษาที่อุณหภูมิห้อง อย่างไรก็ตาม ค่า TA ทุกชุดการทดลอง เพิ่มขึ้นเล็กน้อย ในช่วง 2 -6 วันของการเก็บรักษา หลังจากนั้น ค่า TA ค่อย ๆ ลดลง ตามลำดับ โดยรวม ค่า TA ในชุดที่ใช้ไคโตซาน ค่อนข้าง มีค่าต่ำกว่าชุดควบคุมตลอดการเก็บรักษา (รูปที่ 65 และ ตาราง 41)

3.11 อายุการวางจำหน่าย

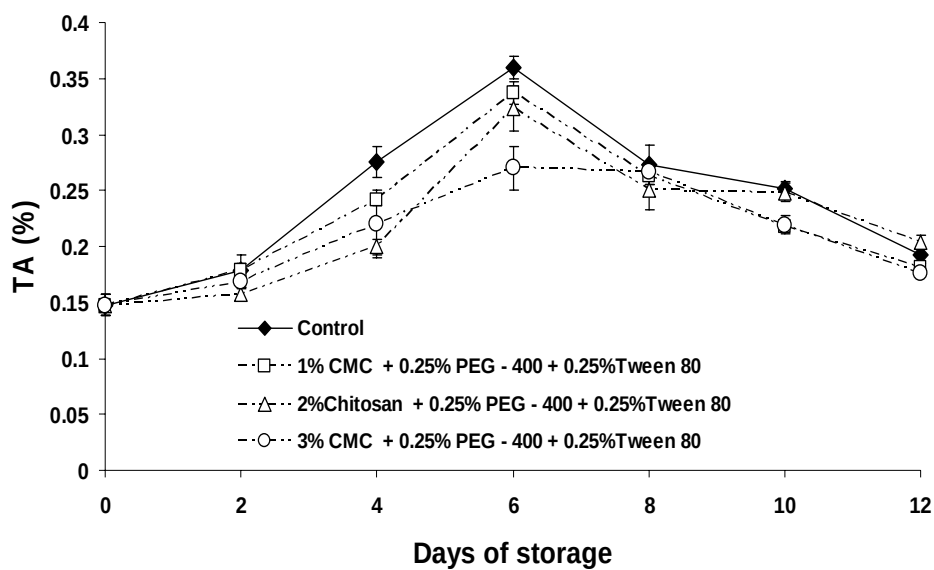
จากการพัฒนาสูตรไคโตซานในแต่ละรูปแบบ ไคโตซานที่ระดับความเข้มข้น 2% (w/v) + PEG - 400 ความเข้มข้น 0.25% (w/v) + Tween 80 ความเข้มข้น 0.25% ยังคงแสดงประสิทธิภาพที่ดีที่สุดต่อการควบคุมคุณภาพ และส่งผลช่วยยืดอายุการวางจำหน่ายผลกล้วยไข่ได้ดีที่สุด จาก 9 วันในชุดควบคุม ไปเป็น 12 วัน และนานกว่าชุดไคโตซานอื่น ๆ อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (รูปที่ 66 และ ตาราง 42)



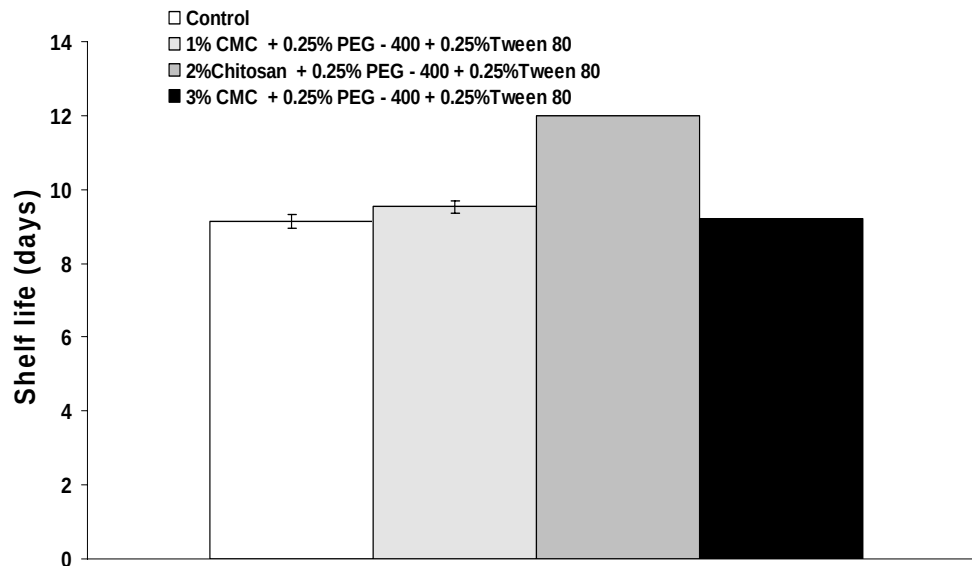
รูปที่ 63 - แสดงค่าเฉลี่ย pH ของน้ำคั้นจากผลกล้วยไข่ภายหลังการใช้ไคโตซานที่ระดับความเข้มข้นต่างๆ นาน 30 วินาที และเก็บรักษาที่อุณหภูมิห้อง (28.43 ± 0.17 °C; RH $57.22 \pm 1.71\%$) เป็นเวลา 12 วัน



รูปที่ 64 - แสดงปริมาณของแข็งที่ละลายได้ในน้ำ (Soluble Solids Content; SSC) ของกล้วยไข่ภายหลังการใช้ไคโตซานที่ระดับความเข้มข้นต่างๆ นาน 30 วินาที และเก็บรักษาที่อุณหภูมิห้อง (28.43 ± 0.17 °C; RH $57.22 \pm 1.71\%$) เป็นเวลา 12 วัน



รูปที่ 65 - แสดงปริมาณกรดที่ไทเทรตได้ (Titratable Acidity; TA) ของกล้วยไข่ภายหลังการใช้โคโตซานที่ระดับความเข้มข้นต่าง ๆ นาน 30 วินาที และเก็บรักษาที่อุณหภูมิห้อง ($28.43 \pm 0.17^{\circ}\text{C}$; RH $57.22 \pm 1.71\%$) เป็นเวลา 12 วัน



รูปที่ 66 - แสดงอายุการวางจำหน่ายของผลกล้วยไข่ภายหลังการใช้โคโตซานที่ระดับความเข้มข้นต่าง ๆ นาน 30 วินาที และเก็บรักษาที่อุณหภูมิห้อง ($28.43 \pm 0.17^{\circ}\text{C}$; RH $57.22 \pm 1.71\%$) จนหมดสภาพ, เกณฑ์การประเมิน ณ วันที่คะแนนสีของเปลือกผลน้อยกว่าหรือเท่ากับ 7 (มีสีน้ำตาล เนื้อนุ่ม มีกลิ่นแรง หมดสภาพ) (ตารางที่ 3.5) หมายถึง หมดสภาพ ไม่เป็นที่ต้องการของผู้บริโภค เป็นเกณฑ์ในการประเมินอายุการวางจำหน่าย

สรุปผลการยืดอายุการเก็บภายหลังการเก็บเกี่ยว

การทดลองที่ 1

การใช้สารเคลือบผิวไคโตซานความที่ระดับเข้มข้น 2% (w/v) ทั้งที่ใช้และไม่ใช้ Tween 80 ให้อายุการวางจำหน่ายนานที่สุด เท่ากับ 11.93 และ 11.73 ตามลำดับ โดยสามารถช่วยชะลอการสูญเสียน้ำหนัก รักษาสีเขียวของเปลือกผล ความแน่นเนื้อได้ดีกว่า ชุดควบคุม และ ชุดไคโตซานที่ระดับความเข้มข้น 1% (w/v) อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ นอกจากนี้ ยังช่วยชะลอการเกิดอาการตกกระของผลกล้วยไข่ได้ในช่วงวันที่ 8 ของการเก็บรักษา จนสิ้นสุดการทดลอง และการใช้ไคโตซานความที่ระดับเข้มข้น 2% (w/v) + PEG-400 ความเข้มข้น 0.25% (w/v) + Tween 80 ความเข้มข้น 0.25% ยังมีประสิทธิภาพในการควบคุมอัตราการเน่าเสียได้ดี (ประมาณ 10 วัน) เมื่อเปรียบเทียบกับที่ไม่ได้ใช้ไคโตซาน

ไคโตซาน โดยรวม ไม่มีผลโดยตรง ต่อ การเปลี่ยนแปลง ค่า pH ค่า SSC และ ค่า TA แต่ ผลจากการชะลอกระบวนการสุกของผลกล้วยไข่ เนื่องจากการทำงานของไคโตซาน จึงทำให้มีการเปลี่ยนแปลงไปบ้างตามระยะการสุกของผลกล้วยไข่ในแต่ละชุดของการทดลอง นอกจากนี้ไคโตซานมีแนวโน้ม กระตุ้นให้เกิดดำหนิได้ โดยเฉพาะ เมื่อกล้วยไข่มีบาดแผลหรือรอยขีดก่อนการเก็บรักษา

การทดลองที่ 2

จากการพัฒนาเพิ่มขึ้น ไคโตซานยังสามารถแสดงประสิทธิภาพที่ดีในการชะลอการเสื่อมสภาพของผลกล้วยไข่ โดยเฉพาะไคโตซานที่ระดับความเข้มข้น 2% (w/v) + PEG – 400 ความเข้มข้น 0.25 % (w/v) + Tween 80 ความเข้มข้น 0.25 % + Green Tea ความเข้มข้น 0.01 (w/v) และไคโตซานที่ระดับความเข้มข้น 2% (w/v) + PEG – 400 ความเข้มข้น 0.25 % (w/v) + Tween 80 ความเข้มข้น 0.25 % มีแนวโน้มในการชะลอการเสื่อมสภาพของผลกล้วยไข่ได้ดี โดยประเมินจาก การชะลอการสูญเสียน้ำหนัก ชะลอการเน่าเสีย รวมทั้ง ชะลอการเกิดดำหนิ (การเพิ่ม ขาเขียว เป็นการเพิ่มประสิทธิภาพในการลดการเกิดดำหนิ)

กล้วยไข่ที่เคลือบด้วยคาร์บอกซีเมทิลไคโตซานที่ระดับความเข้มข้น 5% (w/v) + PEG – 400 ความเข้มข้น 0.25 % (w/v) + Tween 80 ความเข้มข้น 0.25 % มีประสิทธิภาพ รักษาสีเขียวของเปลือกผลได้นานกว่า และ ผลกล้วยไข่คงความแน่นเนื้อได้ดีมาก และช่วยชะลอการเกิดอาการตกกระ ส่งผลให้มีอายุการวางจำหน่ายสูงสุด 12 วัน การเปลี่ยนแปลงคุณภาพภายในเพิ่มขึ้นอย่างช้าๆ คุณภาพการบริโภค ขึ้นอยู่กับระยะเวลาของการสุก แต่ ปรากฏการเน่าเสียและดำหนิสูงมาก ภายหลังจากเก็บรักษานานขึ้น จึงไม่แนะนำให้ใช้ คาร์บอกซีเมทิลไคโตซานที่ระดับความเข้มข้น 5% (w/v)

การทดลองที่ 3

ไคโตซานที่ระดับความเข้มข้น 2% (w/v) + PEG - 400 ความเข้มข้น 0.25% (w/v) + Tween 80 ความเข้มข้น 0.25% (เคลือบ 2 ครั้ง) ยังคงประสิทธิภาพ ในการชะลอการเสื่อมสภาพของผลกล้วยไข่ได้ดี ให้อายุการวางจำหน่ายสูงสุด 12 วัน โดยมีผลชะลอการสุก ชะลอการสูญเสียน้ำหนัก ชะลอการอ่อนตัวของเนื้อผลกล้วยไข่ ชะลอการเปลี่ยนสีผิวของเปลือกผล ชะลอการเกิดตกกระของผลกล้วยไข่ ชะลอการเปลี่ยนแปลงคุณภาพภายในผล รวมทั้งควบคุมการเน่าเสียของผลกล้วยไข่ ได้ดีระดับหนึ่ง (ให้ผลสอดคล้อง กับ การทดลองที่ 1 และ 2) อย่างไรก็ตาม การเคลือบผล 2 ครั้ง มีแนวโน้มเพิ่มประสิทธิภาพ แต่ โดยรวม คุณภาพในการบริโภค ต่ำกว่า การทดลองที่ 1 ที่เคลือบเพียง 1 ครั้ง (ปรากฏ กลิ่นที่ผิดปกติ และ เนื้อสัมผัสไม่สม่ำเสมอ, ข้อมูลไม่ได้แสดง)

แต่ ผลกล้วยไข่ที่เคลือบด้วย CMC ความเข้มข้น 1 % (w/v) + PEG - 400 ความเข้มข้น 0.25% (w/v) + Tween 80 ความเข้มข้น 0.25% และ CMC ความเข้มข้น 3 % (w/v) + PEG - 400 ความเข้มข้น 0.25% (w/v) + Tween 80 ความเข้มข้น 0.25% มีแนวโน้มกระตุ้นให้เกิดการสุกเร็วขึ้น ส่งผลให้เกิดตำหนิมาก เกิดอาการตกกระมาก ตามลำดับ อายุการวางจำหน่ายไม่เกิน 9 วัน จึงไม่เหมาะสมในการนำไปใช้

ดังนั้น การใช้ไคโตซานที่ระดับความเข้มข้น 2 % (w/v) + PEG - 400 ความเข้มข้น 0.25 % (w/v) + Tween 80 ความเข้มข้น 0.25 % และเคลือบเพียง 1 ครั้ง น่าจะเป็นทางเลือกที่ดีที่สุดใน การนำไปประยุกต์ใช้ในเชิงการค้า หรือ ถ้าจะผสมชาเขียว ร่วมกับ ไคโตซานที่ความเข้มข้น 2 % (w/v) ดังแสดงในการทดลองที่ 2 ก็สามารเป็นทางเลือกอีกทางหนึ่งที่ น่าจะมีประโยชน์

เมื่อทำการทดลองหาปริมาณน้ำยาเคลือบไคโตซานที่ใช้ในการเคลือบต่อผลโดยใช้สูตรตำรับ 2% Chitosan + 0.25% PEG-400 + 0.25% Tween 80 เคลือบด้วยการชุบเคลือบเป็นเวลานาน 30 วินาทีแล้วยกขึ้น ปล่อยให้ให้น้ำยาเคลือบ ส่วนเกินหยดออก พบว่า 2.21 ± 0.16 กรัมต่อผลกล้วย หากคิดเป็นกล้วย 20 ผลต่อหวี จะใช้น้ำยาเคลือบไคโตซานความเข้มข้นร้อยละ 2 โดยน้ำหนัก ปริมาณ 44 กรัมต่อหวี (คิดราคาไคโตซานกรัมละ 1 บาท) ดังนั้นต้นทุนที่เพิ่มขึ้นคิดเป็นเงิน 0.88 บาทต่อหวี ส่วนคาร์บอกซีเมทิลไคโตซานความเข้มข้นร้อยละ 1, 3 และ 5 โดยน้ำหนัก จะมีต้นทุนเพิ่มขึ้น 1.5, 4.6 และ 7.7 บาทต่อหวี ตามลำดับ เห็นได้ว่าการใช้ไคโตซานความเข้มข้นร้อยละ 2 โดยน้ำหนัก มีประสิทธิภาพดีและราคาถูกที่สุด สามารถนำไปใช้ประโยชน์ได้

IV. การศึกษาประสิทธิภาพของฟิล์มไคโตซานและคาร์บอกซีเมทิลไคโตซานในการต้านการเจริญของเชื้อรา

1. การแยกเชื้อราก่อโรคบนกล้วยไม้

เมื่อนำเชื้อที่ได้มาจำแนกชนิดของเชื้อราในเบื้องต้น โดยดูลักษณะต่างๆ ของโคโลนีของเชื้อที่เลี้ยงในจานเพาะเชื้อด้วยตาเปล่า ได้แก่ ลักษณะผิวหน้าและสีของโคโลนี และการสร้างรงควัตถุ ลักษณะเส้นใย และการสร้างสปอร์ ลักษณะผิวหน้าของโคโลนี และการสร้างรงควัตถุ จากนั้นทำการศึกษาลักษณะเส้นใยและสปอร์ภายใต้กล้องจุลทรรศน์ด้วยการย้อมด้วย lactophenol cotton blue จากการแยกเชื้อกล้วยไม้ในเบื้องต้นสามารถแยกเชื้อออกมาได้ทั้งหมด 5 ชนิด ได้แก่ A1: *Aspergillus niger*, A2: *Fusarium sp.*, A3: *Mucor sp.*, A4: Non-spore forming fungus และ A5: Non-spore forming fungus ตามรายละเอียด ดังแสดงในตารางที่ 43

2. การทดสอบประสิทธิภาพการยับยั้งเชื้อราบนก้านกล้วยไม้

ผลการทดสอบ (ตารางที่ 44 และ 45) พบว่าสารเคลือบกลุ่มไคโตซานและยาฆ่าเชื้อรา (Carbendazim) สามารถยับยั้งการเจริญของเชื้อราปนเปื้อน (contaminant fungi) กลุ่มที่พบว่ามีสปอร์ (A1 และ A2) ได้ ส่วนประสิทธิภาพต่อเชื้อรา *Mucor sp.* ซึ่งอยู่ในกลุ่ม Zygomycota ที่เจริญได้เร็ว พบว่าทั้งสารเคลือบกลุ่มไคโตซานและยาฆ่าเชื้อราสามารถยับยั้งการเจริญของเชื้อนี้ได้น้อยกว่า A1 และ A2 ส่วนเชื้อราที่ตรวจไม่พบการสร้างสปอร์ (A4 และ A5) นั้น พบว่าไวต่อยาต้านเชื้อราและสารที่นำมาเคลือบซึ่งมีประสิทธิภาพในการยับยั้งการเจริญของเชื้อในกลุ่มนี้ดีที่สุด สรุปได้ว่าการใช้ไคโตซานหรือคาร์บอกซีเมทิลไคโตซานเพียงอย่างเดียวไม่สามารถยับยั้งการเกิดเชื้อราได้ แต่การใช้ไคโตซานหรือคาร์บอกซีเมทิลไคโตซานร่วมกับยาต้านเชื้อรา (Carbendazim) สามารถยับยั้งเชื้อรา A1: *Aspergillus niger* ได้ดีกว่าการใช้ยาต้านเชื้อราเดี่ยวๆ แต่จะไม่ต่างกันสำหรับเชื้อราชนิดอื่น

ตารางที่ 9 - แสดงเปอร์เซ็นต์การสูญเสียน้ำหนักของกล้วยไข่ภายหลังการใช้ไคโตซานที่ระดับความเข้มข้นต่าง ๆ นาน 30 วินาทีและเก็บรักษาที่อุณหภูมิห้อง ($29.51 \pm 0.21^{\circ}\text{C}$; RH $56.01 \pm 0.96\%$) เป็นเวลา 12 วัน

กรรมวิธีการทดลอง	เปอร์เซ็นต์การสูญเสียน้ำหนัก (%)						
	ระยะเวลาการเก็บรักษา (วัน)						
	0	2	4	6	8	10	12
Control	0.000a ^{1/}	7.862b	13.176a	16.622a	33.750b	37.701a	47.497a
1% (w/v) Chitosan + 0.5 % (w/v) PEG – 400	0.000a	6.542a	13.215a	15.070a	24.004a	34.480a	52.155a
2% (w/v) Chitosan + 0.5 % (w/v) PEG – 400	0.000a	6.513a	10.907a	14.450a	19.151a	33.092a	44.797a
2% (w/v) Chitosan + 0.25 % (w/v) PEG – 400 + 0.25% Tween 80	0.000a	6.566a	11.371a	14.982a	22.373a	24.698a	43.326a
ค่าสถิติ	ns	***	ns	ns	**	ns	ns

^{1/} ค่าเฉลี่ยตามด้วยอักษรเหมือนกันในแนวดังนี้ไม่มีมีความแตกต่างทางสถิติ ตามวิธีการวิเคราะห์แบบ Duncan's new multiple range test ที่ระดับความเชื่อมั่น 95%

ตารางที่ 10 - แสดงเปอร์เซ็นต์การเน่าเสียของกล้วยไข่ภายหลังการใช้ไคโตซานที่ระดับความเข้มข้นต่าง ๆ นาน 30 วินาทีและเก็บรักษาที่อุณหภูมิห้อง ($29.51 \pm 0.21^{\circ}\text{C}$; RH $56.01 \pm 0.96\%$) เป็นเวลา 12 วัน

กรรมวิธีการทดลอง	เปอร์เซ็นต์การเน่าเสีย (%)						
	ระยะเวลาการเก็บรักษา (วัน)						
	0	2	4	6	8	10	12
Control	0.000a ^{1/}	0.000a	0.000a	0.000a	13.333b	16.667a	26.667a
1% (w/v) Chitosan + 0.5 % (w/v) PEG – 400	0.000a	0.000a	0.000a	0.000a	3.333a	16.667a	36.667a
2% (w/v) Chitosan + 0.5 % (w/v) PEG – 400	0.000a	0.000a	0.000a	0.000a	0.000a	13.333a	26.667a
2% (w/v) Chitosan + 0.25 % (w/v) PEG – 400 + 0.25% Tween 80	0.000a	0.000a	0.000a	0.000a	0.000a	0.000a	23.333a
ค่าสถิติ	ns	ns	ns	ns	*	ns	ns

^{1/} ค่าเฉลี่ยตามด้วยอักษรเหมือนกันในแนวดังนี้ไม่มีมีความแตกต่างทางสถิติ ตามวิธีการวิเคราะห์แบบ Duncan's new multiple range test ที่ระดับความเชื่อมั่น 95%

ตารางที่ 11 - แสดงคะแนนการเกิดตำหนิของกล้วยไข่ภายหลังการใช้ไคโตซานที่ระดับความเข้มข้นต่าง ๆ นาน 30 วินาทีและเก็บรักษา ที่อุณหภูมิห้อง ($29.51 \pm 0.21^{\circ}\text{C}$; RH $56.01 \pm 0.96\%$) เป็นเวลา 12 วัน

กรรมวิธีการทดลอง	การเกิดตำหนิ ($1-5$) ^{1/}						
	ระยะเวลาการเก็บรักษา (วัน)						
	0	2	4	6	8	10	12
Control	1.000a ^{2/}	1.400a	2.333a	2.367a	3.577a	4.560a	5.000a
1% (w/v) Chitosan + 0.5 % (w/v) PEG – 400	1.000a	1.733bc	2.933b	3.100b	3.828a	4.280a	5.000a
2% (w/v) Chitosan + 0.5 % (w/v) PEG – 400	1.000a	1.767c	3.000b	2.967b	3.733a	4.308a	4.864a
2% (w/v) Chitosan + 0.25 % (w/v) PEG – 400 + 0.25% Tween 80	1.000a	1.500ab	2.867b	3.033b	3.867a	4.500a	4.913a
ค่าสถิติ	ns	**	***	***	ns	ns	ns

^{1/} คะแนนการเกิดตำหนิ(1-5) 1=ดีมาก(ตำหนิไม่เกิน 5% ของผล), 2=ดี (มีตำหนิ5-25%), 3=ปานกลาง(มีตำหนิ 30-60%), 4=พอใช้ (มีตำหนิ 60-80%) 5=หมดสภาพ(เกิดตำหนิมากกว่า80%)

^{2/} ค่าเฉลี่ยตามด้วยอักษรเหมือนกันในแนวดังนี้ไม่มีมีความแตกต่างทางสถิติ ตามวิธีการวิเคราะห์แบบ Duncan's new multiple range test ที่ระดับความเชื่อมั่น 95%

ตารางที่ 12 - แสดงคะแนนการตกกระของกล้วยไข่ภายหลังการใช้ไคโตซานที่ระดับความเข้มข้นต่าง ๆ นาน 30 วินาทีและเก็บรักษาที่อุณหภูมิห้อง ($29.51 \pm 0.21^{\circ}\text{C}$; RH $56.01 \pm 0.96\%$) เป็นเวลา 12 วัน

กรรมวิธีการทดลอง	การตกกระ ($1-4$) ^{1/}						
	ระยะเวลาการเก็บรักษา (วัน)						
	0	2	4	6	8	10	12
Control	1.000a ^{2/}	1.000a	1.000a	1.000a	2.039a	2.360b	2.909b
1% (w/v) Chitosan + 0.5 % (w/v) PEG – 400	1.000a	1.000a	1.000a	1.000a	2.000a	2.160a	3.421c
2% (w/v) Chitosan + 0.5 % (w/v) PEG – 400	1.000a	1.000a	1.000a	1.000a	1.900a	2.000a	2.636ab
2% (w/v) Chitosan + 0.25 % (w/v) PEG – 400 + 0.25% Tween 80	1.000a	1.000a	1.000a	1.000a	1.933a	2.067a	2.522a
ค่าสถิติ	ns	ns	ns	ns	ns	**	***

^{1/} คะแนนการตกกระ (1-4) 1=สีผิวเหลืองไม่มีจุด, 2=มีจุดเล็กๆเหมือนรอยเข็ม สีผิวเหลืองเข้มเล็กน้อย, 3=จุดกระปรากฏที่ผิวเปลือกปริมาณมาก (ทั่วผล) 0.5-1mm, 4=ขนาดจุดขยายขนาดมากขึ้นและแผ่ซ้อนทับกันขนาดเป็นปื้นใหญ่และมีแนวโน้มเป็นรอยปุ่ม, ^{2/} ค่าเฉลี่ยตามด้วยอักษรเหมือนกันในแนวดังนี้ไม่มีมีความแตกต่างทางสถิติ ตามวิธีการวิเคราะห์แบบ Duncan's new multiple range test ที่ระดับความเชื่อมั่น 95%

ตารางที่ 13 - แสดงคะแนนการเปลี่ยนสีของเปลือกผลกล้วยไข่ภายหลังการใช้ไคโตซานที่ระดับความเข้มข้นต่างๆ นาน 30 วินาทีและเก็บรักษาที่อุณหภูมิห้อง ($29.51 \pm 0.21^{\circ}\text{C}$; RH $56.01 \pm 0.96\%$) เป็นเวลา 12 วัน

กรรมวิธีการทดลอง	การเปลี่ยนสีของเปลือกผลกล้วยไข่ (1-8) ^{1/}						
	ระยะเวลาการเก็บรักษา (วัน)						
	0	2	4	6	8	10	12
Control	2.000a ^{2/}	3.000a	3.033a	3.800b	6.231b	7.800b	8.000b
1% (w/v) Chitosan + 0.5 % (w/v) PEG – 400	2.000a	3.000a	3.167a	4.400c	6.241b	7.480b	8.000b
2% (w/v) Chitosan + 0.5 % (w/v) PEG – 400	2.000a	3.000a	3.067a	3.533ab	3.900a	4.346a	5.364a
2% (w/v) Chitosan + 0.25 % (w/v) PEG – 400 + 0.25% Tween 80	2.000a	3.000a	3.000a	3.333a	3.833a	4.600a	5.522a
ค่าสถิติ	ns	ns	ns	***	***	***	***

^{1/} คะแนนการเปลี่ยนสีของเปลือกผลกล้วยไข่ 1=เปลือกสีเขียว ผลแข็ง ไม่มีการสุก, 2=เริ่มเปลี่ยนสีจากเขียวออกเหลือง, 3=เริ่มเปลี่ยนสีจากเขียวออกเหลืองมากขึ้นแต่ยังมีสีเขียวมากกว่าสีเหลือง, 4=เริ่มเปลี่ยนสีจากเขียวออกเหลืองและมีสีเหลืองมากกว่าสีเขียว, 5=เปลือกเป็นสีเหลืองแต่ที่ปลายยังเป็นสีเขียว, 6=ทั้งผลมีสีเหลือง(ผลสุก), 7=ผิวสีเหลืองและเริ่มมีจุดสีน้ำตาล(สุกเต็มที่ มีกลิ่นหอม), 8=ผิวสีเหลืองและเริ่มมีจุดสีน้ำตาลมากขึ้น (สุกมากเกินไป เนื้อเริ่มอ่อนตัวและมีกลิ่นแรง)

^{2/} ค่าเฉลี่ยตามด้วยอักษรเหมือนกันในแนวตั้งไม่มีความแตกต่างทางสถิติ ตามวิธีการวิเคราะห์แบบ Duncan's new multiple range test ที่ระดับความเชื่อมั่น 95%

ตารางที่ 14 - แสดงค่าความสว่าง (L*) ของกล้วยไข่ภายหลังการใช้ไคโตซานที่ระดับความเข้มข้นต่างๆ นาน 30 วินาทีและเก็บรักษาที่อุณหภูมิห้อง ($29.51 \pm 0.21^{\circ}\text{C}$; RH $56.01 \pm 0.96\%$) เป็นเวลา 12 วัน

กรรมวิธีการทดลอง	ค่าความสว่าง (L*) ^{1/}						
	ระยะเวลาการเก็บรักษา (วัน)						
	0	2	4	6	8	10	12
Control	62.7263a ^{2/}	63.790b	64.036b	66.782b	69.619b	69.550a	63.751a
1% (w/v) Chitosan + 0.5 % (w/v) PEG – 400	62.726a	61.173a	63.355b	67.561b	70.461b	70.118a	62.067a
2% (w/v) Chitosan + 0.5 % (w/v) PEG – 400	62.726a	60.790a	61.268a	64.500a	67.222a	68.621a	68.682b
2% (w/v) Chitosan + 0.25 % (w/v) PEG – 400 + 0.25% Tween 80	62.726a	61.425a	61.352a	63.748a	67.455a	68.917a	68.960b
ค่าสถิติ	ns	***	***	***	***	ns	***

^{1/} ค่า L* เป็นค่าความสว่าง ซึ่งมีค่า 0-100 (0เท่ากับสีดำและ100เท่ากับสีขาว)

^{2/} ค่าเฉลี่ยตามด้วยอักษรเหมือนกันในแนวดังนี้ไม่มีมีความแตกต่างทางสถิติ ตามวิธีการวิเคราะห์แบบ Duncan's new multiple range test ที่ระดับความเชื่อมั่น 95%

ตารางที่ 15 - แสดงค่าความแน่นเนื้อของกล้วยไข่ภายหลังการใช้ไคโตซานที่ระดับความเข้มข้นต่างๆ นาน 30 วินาทีและเก็บรักษาที่อุณหภูมิห้อง ($29.51 \pm 0.21^{\circ}\text{C}$; RH $56.01 \pm 0.96\%$) เป็นเวลา 12 วัน

กรรมวิธีการทดลอง	ความแน่นเนื้อ (นิวตัน)						
	ระยะเวลาการเก็บรักษา (วัน)						
	0	2	4	6	8	10	12
Control	129.653a ^{1/}	125.143a	6.4370ab	4.5302b	2.9069a	2.6661a	3.0060a
1% (w/v) Chitosan + 0.5 % (w/v) PEG – 400	129.653a	126.142a	6.1943a	3.6923a	3.6164b	3.7790b	3.3712b
2% (w/v) Chitosan + 0.5 % (w/v) PEG – 400	129.653a	121.066a	6.3705ab	4.5013b	3.8310b	3.5503b	3.4512b
2% (w/v) Chitosan + 0.25 % (w/v) PEG – 400 + 0.25% Tween 80	129.653a	120.068a	6.6999b	5.1311b	3.6894b	3.5103b	3.4745b
ค่าสถิติ	ns	ns	*	***	***	***	*

^{1/} ค่าเฉลี่ยตามด้วยอักษรเหมือนกันในแนวดังนี้ไม่มีมีความแตกต่างทางสถิติ ตามวิธีการวิเคราะห์แบบ Duncan's new multiple range test ที่ระดับความเชื่อมั่น 95%

ตารางที่ 16 - แสดงค่าเฉลี่ย pH ของน้ำคั้นจากผลกล้วยไข่ภายหลังการใช้ไคโตซานที่ระดับความเข้มข้นต่างๆ นาน 30 วินาทีและเก็บรักษาที่อุณหภูมิห้อง ($29.51 \pm 0.21^{\circ}\text{C}$; RH $56.01 \pm 0.96\%$) เป็นเวลา 12 วัน

กรรมวิธีการทดลอง	ค่า pH						
	ระยะเวลาการเก็บรักษา (วัน)						
	0	2	4	6	8	10	12
Control	5.583a ^{1/}	5.500a	5.380a	5.047a	4.457a	5.307a	5.580a
1% (w/v) Chitosan + 0.5 % (w/v) PEG – 400	5.583a	5.540a	5.217a	4.987a	5.057a	5.383a	5.760b
2% (w/v) Chitosan + 0.5 % (w/v) PEG – 400	5.583a	5.530a	5.383a	5.137a	5.197a	5.357a	5.670ab
2% (w/v) Chitosan + 0.25 % (w/v) PEG – 400 + 0.25% Tween 80	5.583a	5.583a	5.587b	5.200a	5.173a	5.387a	5.723b
ค่าสถิติ	ns	ns	*	ns	ns	ns	*

^{1/} ค่าเฉลี่ยตามด้วยอักษรเหมือนกันในแนวดิ่งไม่มีความแตกต่างทางสถิติ ตามวิธีการวิเคราะห์แบบ Duncan's new multiple range test ที่ระดับความเชื่อมั่น 95%

ตารางที่ 17 - แสดงค่าเฉลี่ยปริมาณของแข็งที่ละลายได้ในน้ำ (soluble solids content; SSC) ของน้ำคั้นจากผลกล้วยไข่ภายหลังการใช้ไคโตซานที่ระดับความเข้มข้นต่างๆ นาน 30 วินาทีและเก็บรักษาที่อุณหภูมิห้อง ($29.51 \pm 0.21^{\circ}\text{C}$; RH $56.01 \pm 0.96\%$) เป็นเวลา 12 วัน

กรรมวิธีการทดลอง	SSC (%)						
	ระยะเวลาการเก็บรักษา (วัน)						
	0	2	4	6	8	10	12
Control	2.533a ^{1/}	3.533a	4.467a	14.333a	24.800c	25.267c	24.800a
1% (w/v) Chitosan + 0.5 % (w/v) PEG – 400	2.533a	3.467a	8.200a	16.400a	25.133c	24.467bc	23.467a
2% (w/v) Chitosan + 0.5 % (w/v) PEG – 400	2.533a	4.000a	6.533a	13.600a	17.467a	20.667a	23.467a
2% (w/v) Chitosan + 0.25 % (w/v) PEG – 400 + 0.25% Tween 80	2.533a	3.200a	4.200a	11.867a	19.600b	21.867ab	21.267a
ค่าสถิติ	ns	ns	ns	ns	***	*	ns

^{1/} ค่าเฉลี่ยตามด้วยอักษรเหมือนกันในแนวดิ่งไม่มีความแตกต่างทางสถิติ ตามวิธีการวิเคราะห์แบบ Duncan's new multiple range test ที่ระดับความเชื่อมั่น 95%

ตารางที่ 18 - แสดงค่าเฉลี่ยปริมาณกรดที่ไทเทรตได้ (TA) จากน้ำคั้นของผลกล้วยไข่ภายหลังการใช้ไคโตซานที่ระดับความเข้มข้นต่างๆ นาน 30 วินาทีและเก็บรักษาที่อุณหภูมิห้อง ($29.51 \pm 0.21^{\circ}\text{C}$; RH $56.01 \pm 0.96\%$) เป็นเวลา 12 วัน

กรรมวิธีการทดลอง	TA (%)						
	ระยะเวลาการเก็บรักษา (วัน)						
	0	2	4	6	8	10	12
Control	0.1679a ^{1/}	0.1943a	0.2215ab	0.2917a	0.2452a	0.2546a	0.2135b
1% (w/v) Chitosan + 0.5 % (w/v) PEG – 400	0.1679a	0.1863a	0.2778c	0.3497a	0.3287a	0.2416a	0.1769a
2% (w/v) Chitosan + 0.5 % (w/v) PEG – 400	0.1679a	0.1925a	0.2314b	0.3167a	0.3069a	0.2622a	0.1952ab
2% (w/v) Chitosan + 0.25 % (w/v) PEG – 400 + 0.25% Tween 80	0.1679a	0.1478a	0.1787a	0.3118a	0.3198a	0.2524a	0.2144b
ค่าสถิติ	ns	ns	**	ns	ns	ns	*

^{1/} ค่าเฉลี่ยตามด้วยอักษรเหมือนกันในแนวดังนี้ไม่มีความแตกต่างทางสถิติ ตามวิธีการวิเคราะห์แบบ Duncan's new multiple range test ที่ระดับความเชื่อมั่น 95%

ตารางที่ 19 - แสดงคะแนนความพอใจในคุณลักษณะด้านสี กลิ่น เนื้อสัมผัสและรสชาติโดยรวม ซึ่งประเมินโดยการใช้ประสามสัมผัสและชิมผลกล้วยไข่ภายหลังการใช้โคโตซานที่ระดับความเข้มข้นต่าง ๆ นาน 30 วินาทีและเก็บรักษาที่อุณหภูมิห้อง ($29.51 \pm 0.21^{\circ}\text{C}$; RH $56.01 \pm 0.96\%$) ในแต่ละช่วงเวลาของการเก็บรักษา จนถึงสิ้นสุดการทดลอง

คุณลักษณะด้าน	กรรมวิธีการทดลอง	คะแนนความพอใจ ($1 - 10$) ^{1/}						
		ระยะเวลาการเก็บรักษา (วัน)						
		0	2	4	6	8	10	12
สี	Control	- ^{2/}	-	-	3.967c ^{3/}	6.577b	5.880a	4.6364a
	1% (w/v) Chitosan + 0.5 % (w/v) PEG – 400	-	-	-	5.200d	6.724b	6.080a	4.5789a
	2% (w/v) Chitosan + 0.5 % (w/v) PEG – 400	-	-	-	3.133b	5.267a	5.920a	5.3636b
	2% (w/v) Chitosan + 0.25 % (w/v) PEG – 400 + 0.25% Tween 80	-	-	-	2.533a	5.367a	5.967a	5.3913b
	ค่าสถิติ	-	-	-	***	***	ns	***
กลิ่น	Control	- ^{2/}	-	-	3.8000c ^{3/}	6.538b	6.680b	5.7273b
	1% (w/v) Chitosan + 0.5 % (w/v) PEG – 400	-	-	-	4.8667d	6.517b	6.600b	5.5789b
	2% (w/v) Chitosan + 0.5 % (w/v) PEG – 400	-	-	-	2.9000b	5.367a	5.680a	5.1364a
	2% (w/v) Chitosan + 0.25 % (w/v) PEG – 400 + 0.25% Tween 80	-	-	-	2.3000a	5.633a	5.600a	5.1739a
	ค่าสถิติ	-	-	-	***	***	***	***
เนื้อสัมผัส	Control	- ^{2/}	-	-	3.5000b ^{3/}	7.115b	6.120b	4.545a
	1% (w/v) Chitosan + 0.5 % (w/v) PEG – 400	-	-	-	4.4667c	6.897b	6.200b	4.474a
	2% (w/v) Chitosan + 0.5 % (w/v) PEG – 400	-	-	-	2.9000a	4.967a	5.440a	4.636a
	2% (w/v) Chitosan + 0.25 % (w/v) PEG – 400 + 0.25% Tween 80	-	-	-	2.5000a	5.100a	5.233a	4.696a
	ค่าสถิติ	-	-	-	***	***	***	ns
รสชาติ	Control	- ^{2/}	-	-	3.4667b ^{3/}	7.192b	6.240b	4.500a
	1% (w/v) Chitosan + 0.5 % (w/v) PEG – 400	-	-	-	4.3667c	7.207b	6.320b	4.368a
	2% (w/v) Chitosan + 0.5 % (w/v) PEG – 400	-	-	-	2.3667a	5.167a	5.240a	4.682a
	2% (w/v) Chitosan + 0.25 % (w/v) PEG – 400 + 0.25% Tween 80	-	-	-	2.0667a	4.767a	5.133a	4.739a
	ค่าสถิติ	-	-	-	***	***	***	ns

^{1/} การประเมินทางประสาทสัมผัส โดยให้คะแนนความพอใจในเรื่องของสี เนื้อสัมผัส กลิ่น รวมทั้งรสชาติ โดยรวม จาก 1-10 โดยที่ 1= พอน้อยที่สุด และ 10=พอนมากที่สุด

^{2/} ไม่มีการบันทึกข้อมูลในช่วง 4 วันแรกของการเก็บรักษา เนื่องจากผลกล้วยยังไม่เหมาะต่อการบริโภค

^{3/} ค่าเฉลี่ยตามด้วยอักษรเหมือนกันในแนวดิ่ง (แยกคุณลักษณะแต่ละด้าน) ไม่มีความแตกต่างทางสถิติ ตามวิธีการวิเคราะห์แบบ Duncan's new multiple range test ที่ระดับความเชื่อมั่น 95%

ตารางที่ 20 - แสดงอายุการวางจำหน่ายของผลกล้วยไ้ภายหลังการใช้ไคโตซานที่ระดับความเข้มข้นต่างๆ นาน 30 วินาทีและเก็บรักษาที่อุณหภูมิห้อง ($29.51 \pm 0.21^{\circ}\text{C}$; RH $56.01 \pm 0.96\%$) เป็นเวลา 12 วัน

กรรมวิธีการทดลอง	อายุการวางจำหน่าย ^{1/} (วัน)
Control	08.20a ^{2/}
1% (w/v) Chitosan + 0.5 % (w/v) PEG – 400	08.67b
2% (w/v) Chitosan + 0.5 % (w/v) PEG – 400	11.93c
2% (w/v) Chitosan + 0.25 % (w/v) PEG – 400 + 0.25% Tween 80	11.73c
ค่าสถิติ	***

^{1/} เกณฑ์การประเมิน ณ วันที่คะแนนสีของเปลือกผลน้อยกว่าหรือเท่ากับ 7 (มีสีน้ำตาล เนื้อนุ่ม มีกลิ่นแรง หมดสภาพ) (ตาราง 1.5) หมายถึง หมดสภาพ ไม่เป็นที่ต้องการของผู้บริโภค เป็นเกณฑ์ในการประเมินอายุการวางจำหน่าย

^{2/} ค่าเฉลี่ยตามด้วยอักษรเหมือนกันในแนวดิ่ง ไม่มีความแตกต่างทางสถิติ ตามวิธีการวิเคราะห์แบบ Duncan's new multiple range test ที่ระดับความเชื่อมั่น 95%

ตารางที่ 21 - แสดงเปอร์เซ็นต์การสูญเสียน้ำหนักของกล้วยไข่ภายหลังการใช้โคโตซานที่ระดับความเข้มข้นต่าง ๆ นาน 30 วินาทีและเก็บรักษาที่อุณหภูมิห้อง ($29.07 \pm 0.97^{\circ}\text{C}$; RH $57.25 \pm 1.73\%$) เป็นเวลา 12 วัน

กรรมวิธีการทดลอง	เปอร์เซ็นต์การสูญเสียน้ำหนัก (%)						
	ระยะเวลาการเก็บรักษา (วัน)						
	0	2	4	6	8	10	12
Control	0.000a ^{1/}	7.507b	12.348a	15.492b	22.756b	24.957a	28.585ab
2% (w/v) Chitosan + 0.25 % (w/v) PEG – 400 + 0.25% Tween 80	0.000a	5.980a	10.432a	13.394a	19.927a	22.217a	25.004a
2% (w/v) Chitosan + 0.25 % (w/v) PEG – 400 + 0.25% Tween 80 + 0.01% (w/v) Green Tea	0.000a	6.117a	10.382a	13.292a	19.792a	21.535a	26.332a
5% (w/v) Chitosan + 0.25 % (w/v) PEG – 400 + 0.25% Tween 80	0.000a	8.166c	15.073b	19.152c	27.147c	26.093a	33.640c
ค่าสถิติ	ns	***	*	***	***	ns	***

^{1/} ค่าเฉลี่ยตามด้วยอักษรเหมือนกันในแนวดังนี้ไม่มีความแตกต่างทางสถิติ ตามวิธีการวิเคราะห์แบบ Duncan's new multiple range test ที่ระดับความเชื่อมั่น 95%

ตารางที่ 22 - แสดงเปอร์เซ็นต์การเน่าเสียของกล้วยไข่ภายหลังการใช้ไคโตซานที่ระดับความเข้มข้นต่าง ๆ นาน 30 วินาทีและเก็บรักษาที่อุณหภูมิห้อง ($29.07 \pm 0.97^{\circ}\text{C}$; RH $57.25 \pm 1.73\%$) เป็นเวลา 12 วัน

กรรมวิธีการทดลอง	เปอร์เซ็นต์การเน่าเสีย (%)						
	ระยะเวลาการเก็บรักษา (วัน)						
	0	2	4	6	8	10	12
Control	0.000a ^{1/}	0.000a	0.000a	0.000a	13.333b	3.333a	23.333a
2% (w/v) Chitosan + 0.25 % (w/v) PEG – 400 + 0.25% Tween 80	0.000a	0.000a	0.000a	0.000a	3.333a	6.667a	13.333a
2% (w/v) Chitosan + 0.25 % (w/v) PEG – 400 + 0.25% Tween 80 + 0.01% (w/v) Green Tea	0.000a	0.000a	0.000a	0.000a	0.000a	3.333a	13.333a
5% (w/v) Chitosan + 0.25 % (w/v) PEG – 400 + 0.25% Tween 80	0.000a	0.000a	0.000a	0.000a	0.000a	30.00b	36.667a
ค่าสถิติ	ns	ns	ns	ns	*	*	ns

^{1/} ค่าเฉลี่ยตามตัวอักษรเหมือนกันในแนวดัง ไม่มีความแตกต่างทางสถิติ ตามวิธีการวิเคราะห์แบบ Duncan's new multiple range test ที่ระดับความเชื่อมั่น 95%

ตารางที่ 23 - แสดงคะแนนการเกิดตำหนิของกล้วยไข่ภายหลังการใช้ไคโตซานที่ระดับความเข้มข้นต่าง ๆ นาน 30 วินาทีและเก็บรักษา ที่อุณหภูมิห้อง ($29.07 \pm 0.97^{\circ}\text{C}$; RH $57.25 \pm 1.73\%$) เป็นเวลา 12 วัน

กรรมวิธีการทดลอง	การเกิดตำหนิ ($1 - 5$) ^{1/}						
	ระยะเวลาการเก็บรักษา (วัน)						
	0	2	4	6	8	10	12
Control	1.000a ^{2/}	2.000a	2.367a	3.067a	3.300a	3.965b	4.826b
2% (w/v) Chitosan + 0.25 % (w/v) PEG – 400 + 0.25% Tween 80	1.000a	1.967a	2.200a	3.100a	3.133a	3.750ab	4.346a
2% (w/v) Chitosan + 0.25 % (w/v) PEG – 400 + 0.25% Tween 80 + 0.01% (w/v) Green Tea	1.000a	1.933a	2.200a	3.033a	3.200a	3.621a	4.039a
5% (w/v) Chitosan + 0.25 % (w/v) PEG – 400 + 0.25% Tween 80	1.000a	1.967a	2.133a	3.033a	3.567b	4.464c	4.947b
ค่าสถิติ	ns	ns	ns	ns	***	***	***

^{1/}คะแนนการเกิดตำหนิ(1-5) 1=ดีมาก(ตำหนิไม่เกิน 5% ของผล), 2=ดี (มีตำหนิ5-25%), 3=ปานกลาง(มีตำหนิ 30-60%), 4=พอใช้ (มีตำหนิ 60-80%) 5=หมดสภาพ(เกิดตำหนิมากกว่า80%)

^{2/} ค่าเฉลี่ยตามด้วยอักษรเหมือนกันในแนวตั้งไม่มีความแตกต่างทางสถิติ ตามวิธีการวิเคราะห์แบบ Duncan's new multiple range test ที่ระดับความเชื่อมั่น 95%

ตารางที่ 24 - แสดงคะแนนการเกิดอาการตกกระของกล้วยไข่ภายหลังการใช้โคโคซานที่ระดับความเข้มข้นต่าง ๆ นาน 30 วินาทีและเก็บรักษาที่อุณหภูมิห้อง ($29.07 \pm 0.97^{\circ}\text{C}$; RH 57.25 $\pm$ 1.73%) เป็นเวลา 12 วัน

กรรมวิธีการทดลอง	การตกกระ (1 – 4) ^{1/}						
	ระยะเวลาการเก็บรักษา (วัน)						
	0	2	4	6	8	10	12
Control	1.000a ^{2/}	1.000a	1.000a	1.933b	2.167c	2.483b	3.044b
2% (w/v) Chitosan + 0.25 % (w/v) PEG – 400 + 0.25% Tween 80	1.000a	1.000a	1.000a	1.400a	1.733a	2.143a	2.846b
2% (w/v) Chitosan + 0.25 % (w/v) PEG – 400 + 0.25% Tween 80 + 0.01% (w/v) Green Tea	1.000a	1.000a	1.000a	1.500a	1.833ab	2.172a	2.731b
5% (w/v) Chitosan + 0.25 % (w/v) PEG – 400 + 0.25% Tween 80	1.000a	1.000a	1.000a	1.733b	1.967bc	2.000a	2.316a
ค่าสถิติ	ns	ns	ns	***	***	***	**

^{1/} คะแนนการเกิดตกกระ (1-4) 1=สีผิวเหลืองไม่มีจุด, 2=มีจุดเล็กๆเหมือนรอยเข็ม สีผิวเหลืองเข้มเล็กน้อย, 3=จุดกระปรากฏที่ผิวเปลือกปริมาณมาก (ทั่วผล) 0.5-1mm, 4=ขนาดจุดขยายขนาดมากขึ้นและแผ่ซ้อนทับกันขนาดเป็นปื้นใหญ่และมีแนวโน้มเป็นรอยบุ๋ม

^{2/} ค่าเฉลี่ยตามด้วยอักษรเหมือนกันในแนวตั้ง ไม่มีความแตกต่างทางสถิติ ตามวิธีการวิเคราะห์แบบ Duncan's new multiple range test ที่ระดับความเชื่อมั่น 95%

ตารางที่ 25 - แสดงคะแนนการเปลี่ยนสีของเปลือกผลกล้วยไข่ภายหลังการใช้ไคโตซานที่ระดับความเข้มข้นต่างๆ นาน 30 วินาทีและเก็บรักษาที่อุณหภูมิห้อง ($29.07 \pm 0.97^{\circ}\text{C}$; RH 57.25 $\pm$ 1.73%) เป็นเวลา 12 วัน

กรรมวิธีการทดลอง	การเปลี่ยนสีของเปลือกผลกล้วยไข่ (1-8) ^{1/}						
	ระยะเวลาการเก็บรักษา (วัน)						
	0	2	4	6	8	10	12
Control	2.000a ^{2/}	3.000a	3.033a	4.333b	5.700c	6.759d	7.913c
2% (w/v) Chitosan + 0.25 % (w/v) PEG – 400 + 0.25% Tween 80	2.000a	3.000a	3.067a	3.567a	4.400b	6.107c	6.500b
2% (w/v) Chitosan + 0.25 % (w/v) PEG – 400 + 0.25% Tween 80 + 0.01% (w/v) Green Tea	2.000a	3.000a	3.033a	3.367a	4.600b	5.517b	6.115b
5% (w/v) Chitosan + 0.25 % (w/v) PEG – 400 + 0.25% Tween 80	2.000a	3.000a	3.000a	3.267a	3.600a	4.000a	4.000a
ค่าสถิติ	ns	ns	ns	***	***	***	***

^{1/} คะแนนการเปลี่ยนสีของกล้วยไข่ (1-8) โดยที่ 1=เปลือกสีเขียว ผลแข็ง ไม่มีการสุก, 2=เริ่มเปลี่ยนสีจากเขียวออกเหลืองนิดๆ, 3=เริ่มเปลี่ยนสีจากเขียวออกเหลืองมากขึ้นแต่ยังมีสีเขียวมากกว่าสีเหลือง, 4=เริ่มเปลี่ยนสีจากเขียวออกเหลืองและมีสีเหลืองมากกว่าสีเขียว, 5=เปลือกเป็นสีเหลืองแต่ที่ปลายยังเป็นสีเขียว, 6=ทั้งผลมีสีเหลือง(ผลสุก), 7=ผิวสีเหลืองและเริ่มมีจุดสีน้ำตาล(สุกเต็มที่ มีกลิ่นหอม), 8=ผิวสีเหลืองและเริ่มมีจุดสีน้ำตาลมากขึ้น (สุกมากเกินไป เนื้อเริ่มอ่อนตัวและมีกลิ่นแรง)

^{2/} ค่าเฉลี่ยตามด้วยอักษรเหมือนกันในแนวดัง ไม่มีความแตกต่างทางสถิติ ตามวิธีการวิเคราะห์แบบ Duncan's new multiple range test ที่ระดับความเชื่อมั่น 95%

ตารางที่ 26 - แสดงค่าความสว่าง (L*) ของเปลือกผลกล้วยไข่ภายหลังการใช้ไคโตซานที่ระดับความเข้มข้นต่างๆ นาน 30 วินาทีและเก็บรักษาที่อุณหภูมิห้อง ($29.07 \pm 0.97^{\circ}\text{C}$; RH $57.25 \pm 1.73\%$) เป็นเวลา 12 วัน

กรรมวิธีการทดลอง	ค่าความสว่าง (L*) ^{1/}						
	ระยะเวลาการเก็บรักษา (วัน)						
	0	2	4	6	8	10	12
Control	60.193a ^{2/}	63.783c	61.297c	68.490b	69.217b	70.761b	66.772b
2% (w/v) Chitosan + 0.25 % (w/v) PEG – 400 + 0.25% Tween 80	60.193a	61.047b	58.994a	64.076a	68.140b	70.945b	66.053b
2% (w/v) Chitosan + 0.25 % (w/v) PEG – 400 + 0.25% Tween 80 + 0.01% (w/v) Green Tea	60.193a	60.863b	59.999b	64.555a	67.999b	70.077b	65.929b
5% (w/v) Chitosan + 0.25 % (w/v) PEG – 400 + 0.25% Tween 80	60.193a	59.160a	58.224a	62.743a	61.530a	61.300a	56.468a
ค่าสถิติ	ns	***	***	***	***	***	***

^{1/} ค่า L* เป็นค่าความสว่าง ซึ่งมีค่า 0-100 (0 เท่ากับสีดำ และ 100 เท่ากับสีขาว)

^{2/} ค่าเฉลี่ยตามด้วยอักษรเหมือนกันในแนวดังนี้ไม่มีความแตกต่างทางสถิติ ตามวิธีการวิเคราะห์แบบ Duncan's new multiple range test ที่ ระดับความเชื่อมั่น 95%

ตารางที่ 27 - แสดงค่าความแน่นเนื้อของผลกล้วยไข่ภายหลังการใช้ไคโตซานที่ระดับความเข้มข้นต่าง ๆ นาน 30 วินาทีและเก็บรักษาที่อุณหภูมิห้อง ($29.07 \pm 0.97^{\circ}\text{C}$; RH $57.25 \pm 1.73\%$) เป็นเวลา 12 วัน

กรรมวิธีการทดลอง	ความแน่นเนื้อ (นิวตัน)						
	ระยะเวลาการเก็บรักษา (วัน)						
	0	2	4	6	8	10	12
Control	25.670a ^{1/}	25.684a	24.919a	12.452a	9.462a	8.563a	8.291a
2% (w/v) Chitosan + 0.25 % (w/v) PEG – 400 + 0.25% Tween 80	25.670a	26.450b	23.518a	15.269ab	10.040a	8.234a	7.217a
2% (w/v) Chitosan + 0.25 % (w/v) PEG – 400 + 0.25% Tween 80 + 0.01% (w/v) Green Tea	25.670a	26.696b	25.410a	16.396b	9.910a	9.280ab	7.851a
5% (w/v) Chitosan + 0.25 % (w/v) PEG – 400 + 0.25% Tween 80	25.670a	25.829a	23.228a	13.957ab	11.860b	10.277b	9.694b
ค่าสถิติ	ns	***	ns	*	**	***	***

^{1/} ค่าเฉลี่ยตามด้วยอักษรเหมือนกันในแนวดังนี้ไม่มีมีความแตกต่างทางสถิติ ตามวิธีการวิเคราะห์แบบ Duncan's new multiple range test ที่ระดับความเชื่อมั่น 95%

ตารางที่ 28 - แสดงค่าเฉลี่ย pH ของน้ำคั้นจากผลกล้วยไข่ภายหลังการใช้ไคโตซานที่ระดับความเข้มข้นต่าง ๆ นาน 30 วินาทีและเก็บรักษาที่อุณหภูมิห้อง ($29.07 \pm 0.97^{\circ}\text{C}$; RH $57.25 \pm 1.73\%$) เป็นเวลา 12 วัน

กรรมวิธีการทดลอง	ค่า pH						
	ระยะเวลาการเก็บรักษา (วัน)						
	0	2	4	6	8	10	12
Control	5.530a ^{1/}	5.487a	5.483a	4.850a	4.970a	5.263a	5.630a
2% (w/v) Chitosan + 0.25 % (w/v) PEG – 400 + 0.25% Tween 80	5.530a	5.540ab	5.387a	5.110b	5.057ab	5.423b	5.897b
2% (w/v) Chitosan + 0.25 % (w/v) PEG – 400 + 0.25% Tween 80 + 0.01% (w/v) Green Tea	5.530a	5.540ab	5.537a	5.113b	5.143b	5.440b	5.827ab
5% (w/v) Chitosan + 0.25 % (w/v) PEG – 400 + 0.25% Tween 80	5.530a	5.590c	5.533a	5.223b	5.410c	5.733c	5.973b
ค่าสถิติ	ns	*	ns	**	***	***	*

^{1/} ค่าเฉลี่ยตามด้วยอักษรเหมือนกันในแนวดังนี้ไม่มีมีความแตกต่างทางสถิติ ตามวิธีการวิเคราะห์แบบ Duncan's new multiple range test ที่ระดับความเชื่อมั่น 95%

ตารางที่ 29 - แสดงค่าเฉลี่ยปริมาณของแข็งที่ละลายได้ในน้ำ (soluble solids content; SSC) ของผลกล้วยไข่ภายหลังการใช้ไคโตซานที่ระดับความเข้มข้นต่างๆ นาน 30 วินาทีและเก็บรักษาที่อุณหภูมิห้อง ($29.07 \pm 0.97^{\circ}\text{C}$; RH $57.25 \pm 1.73\%$) เป็นเวลา 12 วัน

กรรมวิธีการทดลอง	SSC (%)						
	ระยะเวลาการเก็บรักษา (วัน)						
	0	2	4	6	8	10	12
Control	3.133a ^{1/}	4.000a	4.733a	18.133a	24.733c	25.667b	25.267b
2% (w/v) Chitosan + 0.25 % (w/v) PEG – 400 + 0.25% Tween 80	3.133a	4.333a	7.400b	15.067a	19.733b	24.200b	22.467ab
2% (w/v) Chitosan + 0.25 % (w/v) PEG – 400 + 0.25% Tween 80 + 0.01%(w/v) Green Tea	3.133a	4.000a	5.333a	13.533a	22.000b	24.000b	23.267b
5% (w/v) Chitosan + 0.25 % (w/v) PEG – 400 + 0.25% Tween 80	3.133a	4.267a	6.133ab	12.733a	16.333a	17.733a	19.200a
ค่าสถิติ	ns	ns	*	ns	***	***	*

^{1/} ค่าเฉลี่ยตามด้วยอักษรเหมือนกันในแนวดังนี้ไม่มีมีความแตกต่างทางสถิติ ตามวิธีการวิเคราะห์แบบ Duncan's new multiple range test ที่ระดับความเชื่อมั่น 95%

ตารางที่ 30 - แสดงค่าเฉลี่ยปริมาณกรดทิไทเทรตได้ของกล้วยไข่ภายหลังการใช้ไคโตซานที่ระดับความเข้มข้นต่างๆ นาน 30 วินาทีและเก็บรักษาที่อุณหภูมิห้อง ($29.07 \pm 0.97^{\circ}\text{C}$; RH $57.25 \pm 1.73\%$) เป็นเวลา 12 วัน

กรรมวิธีการทดลอง	TA (%)						
	ระยะเวลาการเก็บรักษา (วัน)						
	0	2	4	6	8	10	12
Control	0.1706a ^{1/}	0.1939a	0.2265a	0.3524c	0.3216b	0.2394a	0.1872a
2% (w/v) Chitosan + 0.25 % (w/v) PEG – 400 + 0.25% Tween 80	0.1706a	0.1854a	0.2461a	0.2810ab	0.3019b	0.2265a	0.1671a
2% (w/v) Chitosan + 0.25 % (w/v) PEG – 400 + 0.25% Tween 80 + 0.01%(w/v) Green Tea	0.1706a	0.1769a	0.2220a	0.2952b	0.2930b	0.2198a	0.1688a
5% (w/v) Chitosan + 0.25 % (w/v) PEG – 400 + 0.25% Tween 80	0.1706a	0.1805a	0.1988a	0.2577a	0.2448a	0.2055a	0.2081a
ค่าสถิติ	ns	ns	ns	***	**	ns	ns

^{1/} ค่าเฉลี่ยตามด้วยอักษรเหมือนกันในแนวดังนี้ไม่มีมีความแตกต่างทางสถิติ ตามวิธีการวิเคราะห์แบบ Duncan's new multiple range test ที่ระดับความเชื่อมั่น 95%

ตารางที่ 31 -แสดงอายุการวางจำหน่ายของกล้วยไข่ภายหลังการใช้ไคโตซานที่ระดับความเข้มข้นต่างๆ นาน 30 วินาทีและเก็บรักษาที่อุณหภูมิห้อง ($29.07 \pm 0.97^{\circ}\text{C}$; RH $57.25 \pm 1.73\%$) จนหมดสภาพ

กรรมวิธีการทดลอง	อายุการวางจำหน่าย ^{1/} (วัน)
Control	10.00a ^{2/}
2% (w/v) Chitosan + 0.25 % (w/v) PEG – 400 + 0.25% Tween 80	10.73a
2% (w/v) Chitosan + 0.25 % (w/v) PEG – 400 + 0.25% Tween 80 + 0.01%(w/v) Green Tea	11.20b
5% (w/v) Chitosan + 0.25 % (w/v) PEG – 400 + 0.25% Tween 80	12.00b
ค่าสถิติ	**

^{1/} เกณฑ์การประเมิน ณ วันที่คะแนนสีของเปลือกผลกล้วยไข่ น้อยกว่าหรือเท่ากับ 7 (มีสีน้ำตาล เนื้อมีกลิ่นแรง หมดสภาพ) (จากตาราง 2.5) หมายถึง หมดสภาพ ไม่เป็นที่ต้องการของผู้บริโภค เป็นเกณฑ์ในการประเมินอายุการวางจำหน่าย

^{2/} ค่าเฉลี่ยตามด้วยอักษรเหมือนกันในแนวดังนี้ไม่มี ความแตกต่างทางสถิติ ตามวิธีการวิเคราะห์แบบ Duncan's new multiple range test ที่ระดับความเชื่อมั่น 95%

ตารางที่ 32 - แสดงเปอร์เซ็นต์การสูญเสียน้ำหนักของผลกล้วยไข่ภายหลังการใช้ไคโตซานที่ระดับความเข้มข้นต่าง ๆ นาน 30 วินาทีและเก็บรักษาที่อุณหภูมิห้อง ($28.43 \pm 0.17^{\circ}\text{C}$; RH $57.22 \pm 1.71\%$) เป็นเวลา 12 วัน

กรรมวิธีการทดลอง	เปอร์เซ็นต์การสูญเสียน้ำหนัก (%)						
	ระยะเวลาการเก็บรักษา (วัน)						
	0	2	4	6	8	10	12
Control	0.000a ^{1/}	5.375a	8.801ab	12.718a	18.028a	20.453b	26.211a
1% (w/v) CMC + 0.25 % (w/v) PEG – 400 + 0.25% Tween 80	0.000a	5.548a	9.212b	12.500a	24.306a	20.754b	25.757a
2% (w/v) Chitosan + 0.25 % (w/v) PEG – 400 + 0.25% Tween 80	0.000a	4.954a	8.538a	11.966a	16.185a	18.437a	22.797a
3% (w/v) CMC + 0.25 % (w/v) PEG – 400 + 0.25% Tween 80	0.000a	5.863a	10.117c	13.851a	20.097a	23.374c	26.627a
ค่าสถิติ	ns	ns	**	ns	ns	***	ns

^{1/} ค่าเฉลี่ยตามด้วยอักษรเหมือนกันในแนวดิ่ง ไม่มีความแตกต่างทางสถิติ ตามวิธีการวิเคราะห์แบบ Duncan's new multiple range test ที่ระดับความเชื่อมั่น 95%

ตารางที่ 33 - แสดงเปอร์เซ็นต์การเน่าเสียของผลกล้วยไข่ภายหลังการใช้ไคโตซานที่ระดับความเข้มข้นต่าง ๆ นาน 30 วินาทีและเก็บรักษาที่อุณหภูมิห้อง ($28.43 \pm 0.17^{\circ}\text{C}$; RH $57.22 \pm 1.71\%$) เป็นเวลา 12 วัน

กรรมวิธีการทดลอง	เปอร์เซ็นต์การเน่าเสีย (%)						
	ระยะเวลาการเก็บรักษา (วัน)						
	0	2	4	6	8	10	12
Control	0.000a ^{1/}	0.000a	0.000a	0.000a	6.667a	10.000a	33.333a
1% (w/v) CMC + 0.25 % (w/v) PEG – 400 + 0.25% Tween 80	0.000a	0.000a	0.000a	0.000a	3.333a	13.333a	26.667a
2% (w/v) Chitosan + 0.25 % (w/v) PEG – 400 + 0.25% Tween 80	0.000a	0.000a	0.000a	0.000a	3.333a	13.333a	13.333a
3% (w/v) CMC + 0.25 % (w/v) PEG – 400 + 0.25% Tween 80	0.000a	0.000a	0.000a	0.000a	6.667a	16.667a	26.667a
ค่าสถิติ	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns

^{1/} ค่าเฉลี่ยตามด้วยอักษรเหมือนกันในแนวดิ่ง ไม่มีความแตกต่างทางสถิติ ตามวิธีการวิเคราะห์แบบ Duncan's new multiple range test ที่ระดับความเชื่อมั่น 95%

ตารางที่ 34 - แสดงคะแนนการเกิดตำหนิของกล้วยไข่ภายหลังการใช้โคโตซานที่ระดับความเข้มข้นต่าง ๆ นาน 30 วินาทีและเก็บรักษา ที่อุณหภูมิห้อง ($28.43 \pm 0.17^{\circ}\text{C}$; $\text{RH } 57.22 \pm 1.71\%$) เป็นเวลา 12 วัน

กรรมวิธีการทดลอง	คะแนนการเกิดตำหนิ ($1 - 5$) ^{1/}						
	ระยะเวลาการเก็บรักษา (วัน)						
	0	2	4	6	8	10	12
Control	1.000a ^{2/}	1.733a	2.833b	2.767 ab	3.500b	4.148ab	4.700b
1% (w/v) CMC + 0.25 % (w/v) PEG – 400 + 0.25% Tween 80	1.000a	1.733a	2.467a	2.567a	3.035a	4.385bc	4.636b
2% (w/v) Chitosan + 0.25 % (w/v) PEG – 400 + 0.25% Tween 80	1.000a	1.867a	2.733ab	2.967b	3.552b	4.000a	4.346a
3% (w/v) CMC + 0.25 % (w/v) PEG – 400 + 0.25% Tween 80	1.000a	1.733a	2.567ab	2.600a	3.536b	4.640c	5.000c
ค่าสถิติ	ns	ns	*	***	***	***	***

^{1/}คะแนนการเกิดตำหนิ(1-5) 1=ดีมาก(ตำหนิไม่เกิน 5% ของผล), 2=ดี (มีตำหนิ5-25%), 3=ปานกลาง(มีตำหนิ 30-60%), 4=พอใช้ (มีตำหนิ 60-80%) 5=หมดสภาพ(เกิดตำหนิมากกว่า80%)

^{2/} ค่าเฉลี่ยตามด้วยอักษรเหมือนกันในแนวตั้งไม่มีความแตกต่างทางสถิติ ตามวิธีการวิเคราะห์แบบ Duncan's new multiple range test ที่ระดับความเชื่อมั่น 95%

ตารางที่ 35 - แสดงคะแนนการเกิดอาการตกกระของกล้วยไข่ภายหลังการใช้ไคโตซานที่ระดับความเข้มข้นต่าง ๆ นาน 30 วินาทีและเก็บรักษาที่อุณหภูมิห้อง ($28.43 \pm 0.17^{\circ}\text{C}$; RH $57.22 \pm 1.71\%$) เป็นเวลา 12 วัน

กรรมวิธีการทดลอง	คะแนนการตกกระ $(1 - 4)^{1/}$						
	ระยะเวลาการเก็บรักษา (วัน)						
	0	2	4	6	8	10	12
Control	1.000a ^{2/}	1.000a	1.000a	1.600b	2.643d	2.630b	3.600bc
1% (w/v) CMC + 0.25 % (w/v) PEG – 400 + 0.25% Tween 80	1.000a	1.000a	1.000a	1.500b	2.069b	2.808b	3.409b
2% (w/v) Chitosan + 0.25 % (w/v) PEG – 400 + 0.25% Tween 80	1.000a	1.000a	1.000a	1.233a	1.690a	2.070a	2.192a
3% (w/v) CMC + 0.25 % (w/v) PEG – 400 + 0.25% Tween 80	1.000a	1.000a	1.000a	1.733b	2.321c	2.960b	3.773c
ค่าสถิติ	ns	ns	ns	***	***	***	***

^{1/} คะแนนการเกิดตกกระ(1-4) 1=สีผิวเหลืองไม่มีจุด, 2=มีจุดเล็กๆเหมือนรอยเข็ม สีผิวเหลืองเข้มเล็กน้อย, 3=จุดกระปรากฏที่ผิวเปลือกปริมาณมาก(ทั่วผล)0.5-1mm, 4=ขนาดจุดขยายขนาดมากขึ้นและแผ่ซ้อนทับกันขนาดเป็นปื้นใหญ่ๆและมีแนวโน้มเป็นรอยนูน

^{2/} ค่าเฉลี่ยตามด้วยอักษรเหมือนกันในแนวตั้งไม่มีความแตกต่างทางสถิติ ตามวิธีการวิเคราะห์แบบ Duncan's new multiple range test ที่ระดับความเชื่อมั่น 95%

ตารางที่ 36 - แสดงคะแนนการเปลี่ยนสีของเปลือกผลกล้วยไข่ภายหลังการใช้ไคโตซานที่ระดับความเข้มข้นต่างๆ นาน 30 วินาทีและเก็บรักษาที่อุณหภูมิห้อง (28.43 ± 0.17 °C; RH $57.22 \pm 1.71\%$) เป็นเวลา 12 วัน

กรรมวิธีการทดลอง	การเปลี่ยนสีของเปลือกผลกล้วยไข่ (1-8) ^{1/}						
	ระยะเวลาการเก็บรักษา (วัน)						
	0	2	4	6	8	10	12
Control	2.000a ^{2/}	2.667a	3.433c	4.200b	6.393d	7.111b	7.800b
1% (w/v) CMC + 0.25 % (w/v) PEG – 400 + 0.25% Tween 80	2.000a	2.467a	3.233bc	4.233b	5.621b	7.115b	7.636b
2% (w/v) Chitosan + 0.25 % (w/v) PEG – 400 + 0.25% Tween 80	2.000a	2.767a	2.767a	3.133a	3.759a	4.115a	4.500a
3% (w/v) CMC + 0.25 % (w/v) PEG – 400 + 0.25% Tween 80	2.000a	2.633a	3.133b	4.467b	5.964c	7.200b	7.591b
ค่าสถิติ	ns	ns	***	***	***	***	***

^{1/} คะแนนการเปลี่ยนสีของกล้วยไข่ 1=เปลือกสีเขียว ผลแข็ง ไม่มีการสุก, 2=เริ่มเปลี่ยนสีจากเขียวออกเหลือง, 3=เริ่มเปลี่ยนสีจากเขียวออกเหลืองมากขึ้นแต่ยังมีสีเขียวมากกว่าสีเหลือง, 4=เริ่มเปลี่ยนสีจากเขียวออกเหลืองและมีสีเหลืองมากกว่าสีเขียว, 5=เปลือกเป็นสีเหลืองแต่ที่ปลายยังเป็นสีเขียว, 6=ทั้งผลมีสีเหลือง(ผลสุก), 7=ผิวสีเหลืองและเริ่มมีจุดสีน้ำตาล (สุกเต็มที่ มีกลิ่นหอม), 8=ผิวสีเหลืองและเริ่มมีจุดสีน้ำตาลมากขึ้น (สุกมากเกินไป เนื้อเริ่มอ่อนตัวและมีกลิ่นแรง)

^{2/} ค่าเฉลี่ยตามด้วยอักษรเหมือนกันในแนวตั้ง ไม่มีความแตกต่างทางสถิติ ตามวิธีการวิเคราะห์แบบ Duncan's new multiple range test ที่ระดับความเชื่อมั่น 95%

ตารางที่ 37 - แสดงค่าความสว่าง (L*) ของเปลือกผลกล้วยไข่ภายหลังการใช้โคโคซานที่ระดับความเข้มข้นต่างๆ นาน 30 วินาทีและเก็บรักษาที่อุณหภูมิห้อง ($28.43 \pm 0.17^{\circ}\text{C}$; RH $57.22 \pm 1.71\%$) เป็นเวลา 12 วัน

กรรมวิธีการทดลอง	ค่าความสว่าง (L*) ^{1/}						
	ระยะเวลาการเก็บรักษา (วัน)						
	0	2	4	6	8	10	12
Control	62.507a ^{1/}	60.897b	63.254c	65.529b	67.839b	68.584b	73.326b
1% (w/v) CMC + 0.25 % (w/v) PEG – 400 + 0.25% Tween 80	62.507a	58.851a	61.266b	65.967b	69.929c	68.469b	72.346b
2% (w/v) Chitosan + 0.25 % (w/v) PEG – 400 + 0.25% Tween 80	62.507a	58.038a	57.163a	58.483a	61.531a	65.423a	70.000a
3% (w/v) CMC + 0.25 % (w/v) PEG – 400 + 0.25% Tween 80	62.507a	58.021a	58.492a	66.956b	69.902c	67.007ab	68.986a
ค่าสถิติ	ns	***	***	***	***	***	***

^{1/} ค่า L* เป็นค่าความสว่าง ซึ่งมีค่า 0-100 (0เท่ากับสีดำและ100เท่ากับสีขาว)

^{2/} ค่าเฉลี่ยตามด้วยอักษรเหมือนกันในแนวดิ่งไม่มีความแตกต่างทางสถิติ ตามวิธีการวิเคราะห์แบบ Duncan's new multiple range test ที่ระดับความเชื่อมั่น 95%

ตารางที่ 38 - แสดงค่าความแน่นเนื้อของกล้วยไข่ภายหลังการใช้โคโคซานที่ระดับความเข้มข้นต่างๆ นาน 30 วินาทีและเก็บรักษาที่อุณหภูมิห้อง ($28.43 \pm 0.17^{\circ}\text{C}$; RH $57.22 \pm 1.71\%$) เป็นเวลา 12 วัน

กรรมวิธีการทดลอง	ความแน่นเนื้อ (นิวตัน)						
	ระยะเวลาการเก็บรักษา (วัน)						
	0	2	4	6	8	10	12
Control	25.829 ^{1/}	26.233a	19.964a	15.182b	7.925a	8.635c	6.869a
1% (w/v) CMC + 0.25 % (w/v) PEG – 400 + 0.25% Tween 80	25.829	26.479a	22.564ab	13.709ab	9.519b	7.851a	7.623a
2% (w/v) Chitosan + 0.25 % (w/v) PEG – 400 + 0.25% Tween 80	25.829	26.450a	24.601b	22.015c	13.121c	10.367b	9.493b
3% (w/v) CMC + 0.25 % (w/v) PEG – 400 + 0.25% Tween 80	25.829	26.797a	23.951b	12.091a	8.466ab	7.662a	7.702a
ค่าสถิติ	ns	ns	**	***	***	***	***

^{1/} ค่าเฉลี่ยตามด้วยอักษรเหมือนกันในแนวดิ่งไม่มีความแตกต่างทางสถิติ ตามวิธีการวิเคราะห์แบบ Duncan's new multiple range test ที่ระดับความเชื่อมั่น 95%

ตารางที่ 39 - แสดงค่าเฉลี่ย pH ของน้ำคั้นจากผลกล้วยไข่ภายหลังการใช้ไคโตซานที่ระดับความเข้มข้นต่างๆ นาน 30 วินาทีและเก็บรักษาที่อุณหภูมิห้อง($28.43 \pm 0.17^{\circ}\text{C}$; RH $57.22 \pm 1.71\%$) เป็นเวลา 12 วัน

กรรมวิธีการทดลอง	ค่า pH						
	ระยะเวลาการเก็บรักษา (วัน)						
	0	2	4	6	8	10	12
Control	5.630a ^{1/}	5.610a	5.253a	5.023a	5.173a	5.287a	5.603a
Control	5.630a	5.617a	5.413ab	5.057a	5.060a	5.397ab	5.627a
1% (w/v) CMC + 0.25 % (w/v) PEG – 400 + 0.25% Tween 80	5.630a	5.573a	5.600c	4.950a	5.250a	5.453b	5.633a
2% (w/v) Chitosan + 0.25 % (w/v) PEG – 400 + 0.25% Tween 80	5.630a	5.703a	5.490bc	5.457b	5.173a	5.547b	5.760a
3% (w/v) CMC + 0.25 % (w/v) PEG – 400 + 0.25% Tween 80	ns	ns	**	***	ns	*	ns

^{1/} ค่าเฉลี่ยตามด้วยอักษรเหมือนกันในแนวดังนี้ไม่มีความแตกต่างทางสถิติ ตามวิธีการวิเคราะห์แบบ Duncan's new multiple range test ที่ระดับความเชื่อมั่น 95%

ตารางที่ 40 - แสดงค่าเฉลี่ยปริมาณของแข็งที่ละลายได้ในน้ำ (soluble solids content; SSC) ของผลกล้วยไข่ภายหลังการใช้โคโคซานที่ระดับความเข้มข้นต่างๆ นาน 30 วินาทีและเก็บรักษาที่อุณหภูมิห้อง ($28.43 \pm 0.17^{\circ}\text{C}$; RH $57.22 \pm 1.71\%$) เป็นเวลา 12 วัน

กรรมวิธีการทดลอง	SSC (%)						
	ระยะเวลาการเก็บรักษา (วัน)						
	0	2	4	6	8	10	12
Control	3.333a ^{1/}	4.800a	10.467a	16.867b	24.800b	25.467a	30.600b
1% (w/v) CMC + 0.25 % (w/v) PEG – 400 + 0.25% Tween 80	3.333a	3.933a	8.733a	19.267b	24.800b	26.867a	29.733b
2% (w/v) Chitosan + 0.25 % (w/v) PEG – 400 + 0.25% Tween 80	3.333a	3.867a	5.933a	8.333a	17.733a	29.067ab	27.867a
3% (w/v) CMC + 0.25 % (w/v) PEG – 400 + 0.25% Tween 80	3.333a	4.067a	7.467a	20.000b	24.800b	31.333b	30.000b
ค่าสถิติ	ns	ns	ns	***	***	*	*

^{1/} ค่าเฉลี่ยตามด้วยอักษรเหมือนกันในแนวดังนี้ไม่มี ความแตกต่างทางสถิติ ตามวิธีการวิเคราะห์แบบ Duncan's new multiple range test ที่ระดับความเชื่อมั่น 95%

ตารางที่ 41 - แสดงค่าเฉลี่ยปริมาณกรดที่ไทรเตรทได้ของกล้วยไข่ภายหลังการใช้โคโคซานที่ระดับความเข้มข้นต่างๆ นาน 30 วินาทีและเก็บรักษาที่อุณหภูมิห้อง ($28.43 \pm 0.17^{\circ}\text{C}$; RH $57.22 \pm 1.71\%$) เป็นเวลา 12 วัน

กรรมวิธีการทดลอง	TA (%)						
	ระยะเวลาการเก็บรักษา (วัน)						
	0	2	4	6	8	10	12
Control	0.147a ^{1/}	0.178a	0.276a	0.359b	0.273a	0.252b	0.193bc
1% (w/v) CMC + 0.25 % (w/v) PEG – 400 + 0.25% Tween 80	0.147a	0.178a	0.241a	0.337ab	0.263a	0.218a	0.181ab
2% (w/v) Chitosan + 0.25 % (w/v) PEG – 400 + 0.25% Tween 80	0.147a	0.157a	0.199a	0.323a	0.250a	0.248b	0.204c
3% (w/v) CMC + 0.25 % (w/v) PEG – 400 + 0.25% Tween 80	0.147a	0.168a	0.221a	0.270ab	0.267a	0.219a	0.175a
ค่าสถิติ	ns	ns	ns	*	ns	*	*

^{1/} ค่าเฉลี่ยตามด้วยอักษรเหมือนกันในแนวดังนี้ไม่มี ความแตกต่างทางสถิติ ตามวิธีการวิเคราะห์แบบ Duncan's new multiple range test ที่ระดับความเชื่อมั่น 95%

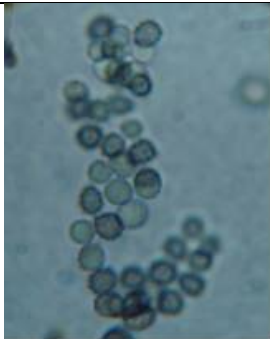
ตารางที่ 42 - แสดงอายุการวางจำหน่ายของผลกล้วยไข่ภายหลังการใช้ไคโตซานที่ระดับความเข้มข้นต่างๆ นาน 30 วินาทีและเก็บรักษาที่อุณหภูมิห้อง ($28.43 \pm 0.17^{\circ}\text{C}$; RH $57.22 \pm 1.71\%$)
 จนหมดสภาพ

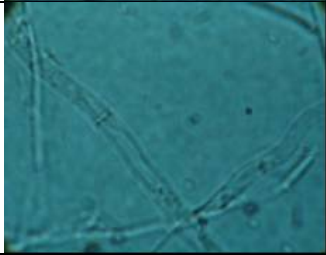
กรรมวิธีการทดลอง	อายุการวางจำหน่าย ^{1/} (วัน)
Control	09.13a ^{2/}
1% (w/v) CMC + 0.25 % (w/v) PEG – 400 + 0.25% Tween 80	09.53a
2% (w/v) Chitosan + 0.25 % (w/v) PEG – 400 + 0.25% Tween 80	12.00b
3% (w/v) CMC + 0.25 % (w/v) PEG – 400 + 0.25% Tween 80	09.20a
ค่าสถิติ	***

^{1/} เกณฑ์การประเมิน ณ วันที่คะแนนสีของเปลือกผลน้อยกว่าหรือเท่ากับ 7 (มีสีน้ำตาล เนื้อนุ่ม มีกลิ่นแรง หมดสภาพ) (จากตาราง 3.5) หมายถึง หมดสภาพ ไม่เป็นที่ต้องการของผู้บริโภค เป็นเกณฑ์ในการประเมินอายุการวางจำหน่าย

^{2/} ค่าเฉลี่ยตามด้วยอักษรเหมือนกันในแนวตั้งไม่มีความแตกต่างทางสถิติ ตามวิธีการวิเคราะห์แบบ Duncan's new multiple range test ที่ระดับความเชื่อมั่น 95%

ตารางที่ 43 - ลักษณะของเชื้อราที่แยกได้จากข้าวกล้องงอก

Isolate	ลักษณะบนกล้วยไข่	Macroscopic study	Microscopic study	ภาพถ่ายภายใต้กล้องจุลทรรศน์	Tentative organisms
A1	เส้นใยสีขาวสร้างสปอร์สีดำ	ผิวหน้าโคโลนีละเอียดคล้ายเม็ดแป้ง โคโลนีสีเหลืองแกมเขียว มีเส้นใยสีขาวฟูสร้างสปอร์สีดำ	Single-celled spores สปอร์สีดำ รูปร่างกลมเรียงต่อเป็นสายยาว		<i>Aspergillus niger</i>
A2	เส้นใยสีขาว-ส้ม โคโลนีมีสีส้มเป็นแฉก	ผิวหน้าโคโลนีฟูคล้ายขนสัตว์ โคโลนีสีส้ม มีเส้นใยสีขาว สร้างสปอร์ สร้างรงควัตถุสีส้มแดง	Multicelled spores สปอร์สีรูปร่างรี		<i>Fusarium</i> sp.

Isolate	ลักษณะบนกล้วยไข่	Macroscopic study	Microscopic study	ภาพถ่ายภายใต้กล้องจุลทรรศน์	Tentative organisms
A3	เส้นใยมีสีครีม ฟู	ผิวหน้าโคโลนีเนียนเรียบ คล้ายหนังสัตว์ โคโลนีสี เหลือง	ไม่สร้างสปอร์ เส้นใยปองเป็น กระจเปาะ ไม่มีผนังกัน ไม่มีราก		<i>Mucor</i> sp.
A4	เส้นใยสีขาว	โคโลนีสีเหลือง ไม่สร้าง สปอร์ ผิวหน้าฟูเหมือนขน สัตว์	ไม่สร้างสปอร์ เส้นใยไม่มีผนังกัน มีราก		Non-spore forming fungus
A5	เส้นใยสีเหลือง ฟูมาก	โคโลนีสีเหลือง เมื่อแกะ ด้านหลังโคโลนีเปลี่ยนเป็น สีดำ ผิวหน้าฟูเหมือนขน สัตว์ ไม่สร้างสปอร์	ไม่สร้างสปอร์ เส้นใยไม่มีผนังกัน มีราก		Non-spore forming fungus

ตารางที่ 44 – ประสิทธิภาพของสารเคลือบต่างๆ ในการยับยั้งการเจริญของเชื้อราที่แยกได้จากข้าวกล้องสุก

การเจริญของ เชื้อรา	สารเคลือบ					
	Chitosan	CMC	Carbendazim	Chitosan + Carbendazim	CMC + Carbendazim	Control
A1	+++	+++	+	-	-	+++
A2	+++	+++	+	-	+	+++
A3	+++	++	++	++	++	+++
A4	+++	++	-	-	-	+++
A5	+++	++	-	-	-	+++

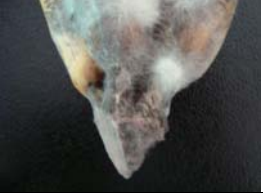
+++ หมายถึง การเจริญเท่ากับกลุ่มควบคุม

++ หมายถึง มีการเจริญน้อยกว่ากลุ่มควบคุม

+ หมายถึง มีการเจริญน้อยกว่ากลุ่มควบคุมมาก

- หมายถึง ไม่มีการเจริญ

ตารางที่ 45 – แสดงภาพประสิทธิภาพของสารเคลือบต่างๆในการยับยั้งการเจริญของเชื้อราที่แยกได้จากข้าวกล้องงอก

การเจริญของเชื้อราที่ใช้ทดสอบ	สารเคลือบ					
	Chitosan	CMC	Carbendazim	Chitosan + Carbendazim	CMC + carbendazim	Control
A1						
A2						
A3						
A4						
A5						

บทที่ 4

สรุปผลการทดลองและข้อเสนอแนะ

1. การสังเคราะห์อนุพันธ์ของไคโตซาน 3 ชนิด พบว่าคาร์บอกซีเมทิลไคโตซาน (Carboxymethylchitosan, CMC) มีคุณสมบัติในการละลายน้ำได้ดีและราคาถูกที่สุดจากไคโตซานราคา 1 บาทต่อกรัม เป็นคาร์บอกซีเมทิลไคโตซานราคา 3.5 บาทต่อกรัม สำหรับ N-[(2-hydroxy-3-trimethylammonium) propyl] chitosan chloride และ Chitosan N-sulfate มีราคาค้นทุนสารเคมีที่ใช้ในการสังเคราะห์เป็นเงิน 199 และ 2,204 บาทต่อกรัม ตามลำดับ อาจไม่คุ้มค่าในการนำไปใช้เคลือบกล้วยไข่
2. ไคโตซานชนิดน้ำหนักร้อยละ 250-500 กิโลกรัม (250-500 กิโลกรัม) สามารถเตรียมเป็นแผ่นฟิล์มที่มีคุณสมบัติตามต้องการได้ดี โดยที่ชนิดน้ำหนักร้อยละสูงจะได้สารละลายที่หนืดมากจนเตรียมแผ่นฟิล์มไม่ได้ และชนิดน้ำหนักร้อยละต่ำจะได้ฟิล์มที่เปราะ แตกง่าย ไม่สามารถก่อตัวเป็นผนังฟิล์มป้องกันกล้วยไข่ที่ดี
3. คาร์บอกซีเมทิลไคโตซานชนิดน้ำหนักร้อยละ 250-500 กิโลกรัม ความเข้มข้นร้อยละ 2 โดยน้ำหนัก ที่มีการเติม PEG ร่วมกับทวิน 80 ที่ความเข้มข้นร้อยละ 0.25 โดยน้ำหนัก ด้วยวิธีการชุบเคลือบเพียงครั้งเดียวให้ผลยึดอายุการเก็บหลังการเก็บเกี่ยวได้ดีที่สุด โดยมีการเปลี่ยนแปลงสีและการตกกระน้อยที่สุด น่าจะเป็นทางเลือกที่ดีที่สุดในกรณีการนำไปประยุกต์ใช้ในการเชิงการค้า โดยมีต้นทุนเพิ่มขึ้นประมาณ 0.88 บาทต่อหวี หรือจะผสมสารสกัดชาเขียวความเข้มข้นร้อยละ 0.25 เป็นทางเลือกอีกทางหนึ่งที่น่าจะมีประโยชน์ในการลดการเกิดตำหนิบนกล้วย
4. กล้วยไข่ที่เคลือบด้วยคาร์บอกซีเมทิลไคโตซานความเข้มข้นร้อยละ 1 หรือ 3 ร่วมกับ PEG-400 ร้อยละ 0.25 และทวิน 80 ร้อยละ 0.25 มีแนวโน้มกระตุ้นให้เกิดการสุกเร็วขึ้น ส่งผลให้เกิดตำหนิมาก เกิดอาการตกกระมากตามลำดับ อายุการวางจำหน่ายไม่เกิน 9 วัน จึงไม่เหมาะสมในการนำไปใช้
5. การใช้ไคโตซานหรือคาร์บอกซีเมทิลไคโตซานเพียงอย่างเดียวไม่สามารถยับยั้งการเกิดเชื้อราบนก้านกล้วยไข่ได้ แต่การใช้ไคโตซานหรือคาร์บอกซีเมทิลไคโตซานร่วมกับยาต้านเชื้อรา (Carbendazim) สามารถยับยั้งเชื้อรา *Aspergillus niger* ได้ดีกว่าการใช้ยาต้านเชื้อราเดี่ยวๆ แต่จะไม่ต่างกันสำหรับเชื้อราชนิดอื่นๆ ดังนั้นการเคลือบฟิล์มจึงสามารถผสมน้ำยาฆ่าเชื้อราลงในชั้นตอนเดียว นอกจากไม่ลดประสิทธิภาพของยาฆ่าเชื้อราแล้วยังเพิ่มประสิทธิภาพในการฆ่าเชื้อบางชนิดอีกด้วย

เอกสารอ้างอิง

1. กำแพงเพชร ผักและผลไม้ กล้วยไข่ [homepage on the Internet]. กรุงเทพฯ: สำนักงานคณะกรรมการวัฒนธรรมแห่งชาติ; date unknown [revised 2006 Nov 13; cited 2007 May 11]. Available from: <http://www.kanchanapisek.or.th/kp8/kpp/kpp501.html>.
2. ดนัย บุญเกียรติ และ นิธิยา รัตนานนท์. ผลของอิมัลชันเคลือบผิวที่บริโภคได้ต่อคุณภาพของผลกล้วยไข่และมะม่วงพันธุ์มหาชนก. ว. วิทยาศาสตร์เกษตร มกราคม-มิถุนายน 2546; ปีที่ 34: ฉบับที่ 1-3 (พิเศษ): 292-294.
3. จริ่งแท้ ศิริพานิช และธีรนุต ร่มโพธิ์ศักดิ์. 2543. การจัดการหลังการเก็บเกี่ยวกล้วยไข่และผลไม้. โรงพิมพ์ศูนย์ส่งเสริมและฝึกอบรมการเกษตรแห่งชาติ กำแพงแสน. 89 หน้า.
4. พานิชย์ ชาญปัญญา. กล้วยในเมืองไทย. กรุงเทพฯ: สำนักพิมพ์มติชน. 2541. หน้า118.
5. เบญจมาศ ศิลาชัย. กล้วย. กรุงเทพฯ: มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์. 2545. หน้า 62-3,254.
6. สายชล เกตุษา. งานวิจัยเรื่อง: การศึกษากลไกและการควบคุมการตกกระของกล้วยไข่สุก. กรุงเทพฯ: ภาควิชาพืชสวน คณะเกษตร มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์; 2538.
7. A.O.A.C. 1990. Official Methods of Analysis. Association of Official Analytical Chemist. Arlington, Virginia. 1298 p.
8. Choehom R, Ketsa S, Doorn WG. Senescent spotting of banana peel is inhibited by modified atmosphere packaging. Postharvest Biol Technol 2004; 31:167–75.
9. Chien PJ, Sheu F, Lin HR. Coating citrus (Murcott tangor) fruit with low molecular weight chitosan increases postharvest quality and shelf life. Food Chemistry 2007; 100: 1160-64.
10. Del Nobile MA, Licciardello F, Scrocco C, Muratore G, Zappa M. Design of plastic packages for minimally processed fruits. Journal of Food Engineering 2007; 79 (1): 217-224.
11. Hernández-Muñoz P, Almenar E, Ocio MJ, Gavara R. Effect of calcium dips and chitosan coatings on postharvest life of strawberries (Fragaria ananassa). Postharvest Biology and Technology 2006; 39 (3): 247-253.

12. Holme KR, Perlin AS. Chitosan N-sulfate. A water-soluble polyelectrolyte. *Carbohydrate Research* 1997; 302 (1-2): 7-12.
13. Je J, Kim S. Water-soluble chitosan derivatives as a BACE1 inhibitor. *Bioorganic and Medicinal Chemistry* 2005; 13 (23): 6551-6555.
14. Jiang Y, Li Y. Effects of chitosan coating on postharvest life and quality of longan fruit. *Food Chemistry* 2001; 73 (2): 139-143.
15. Jiang Y, Joyce DC, Macnish AJ. Extension of the shelf life of banana fruit by 1-methylcyclopropene in combination with polyethylene bags. *Postharvest Biology and Technology* 1999; 16 (2): 187-193.
16. Jiang Y, Li J, Jiang W. Effects of chitosan coating on shelf life of cold-stored litchi fruit at ambient temperature. *LWT - Food Science and Technology* 2005; 38 (7): 757-761.
17. Kevin R. Holme, Arthur S. Perlin. Chitosan N-sulfate. A water-soluble polyelectrolyte, *Carbohydrate Research* 302 (1-2), 1997, 7-12.
18. Liu J, Tian S, Meng X, Xu Y. Effects of chitosan on control of postharvest diseases and physiological responses of tomato fruit. *Postharvest Biology and Technology* 2007; 44 (3): 300-306.
19. Macleod GS, Collett JS, Fell JT. The potential use of mixed films of pectin, chitosan and HPMC for bimodal drug release. *Journal of Controlled Release* 1999; 58 (3): 303-310.
20. Ofori-Kwakye K, Fell JT, Sharma HL, Smith A. Gamma scintigraphic evaluation of film-coated tablets intended for colonic or biphasic release. *International Journal of Pharmaceutics* 2004; 270 (1-2): 307-313.
21. Palomer X, Roig-Villanova I, Grima-Calvo D, Vendrell M. Effects of nitrous oxide (N₂O) treatment on the postharvest ripening of banana fruit. *Postharvest Biology and Technology* 2005; 36 (2): 167-175.
22. Rujira Choehom, Saichol Ketsa, Wouter G. van DoornKetsa, S. Senescent spotting of banana peel is inhibited by modified atmosphere packaging, *Postharvest Biology and Technology*, 31 (2), 2004, 167-175.
23. Sang-Hoon Lim, Samuel M. Hudson. Synthesis and antimicrobial activity of a water-soluble chitosan derivative with a fiber-reactive group, *Carbohydrate Research* 339 (2), 2004, 313-319.

24. Setha S, Kanlayanarat S, Gemma H. Effect of various molecular weights of chitosan coating on the ripening of Cavendish banana. Proceedings of the APEC symposium on postharvest handling systems Bangkok, Thailand, September 1-3, 2003. p. 395.

25. Winquist F, Lundström I, Bergkvist H. Ethylene production from fruits measured by a simple field-effect structure and compared with a gas chromatographic method. *Analytica Chimica Acta* 1990; 231: 93-100.

26. Wittaya-arekul, S., and Prahsarn, C. Development and In Vitro Evaluation of Chitosan-Polysaccharides Composite Wound Dressings, *International Journal of Pharmaceutics* 2006; 313 (1-2): 123-128.

27. Xie Y, Liu X, Chen Q. Synthesis and characterization of water-soluble chitosan derivate and its antibacterial activity. *Carbohydrate Polymer* 2007; 69 (1): 142-147.

28. Zhang C, Ping Q, Zhang H, Shen J. Synthesis and characterization of water-soluble O-succinyl-chitosan. *European Polymer Journal* 2003; 39 (8): 1629-1634. Pickett J, Wadhams L, Woodcock C. Developing sustainable pest control from chemical ecology. *Agric., Ecosyst. Environ* 1997;64:149-56.

ภาคผนวก

ภาคผนวก ก-1. แสดงสภาพแวดล้อมของการเก็บรักษาออกมะลิที่อุณหภูมิห้องและความชื้นสัมพัทธ์

ทดลอง ที่	อุณหภูมิ ($^{\circ}\text{C}$)			ความชื้นสัมพัทธ์ (RH; %)			ระยะเวลาการศึกษา
	ต่ำสุด	สูงสุด	เฉลี่ย	ต่ำสุด	สูงสุด	เฉลี่ย	
1	27.77 $\pm$ 0.37	31.18 $\pm$ 0.22	29.51 $\pm$ 0.21	43.71 $\pm$ 1.87	62.79 $\pm$ 1.36	56.01 $\pm$ 0.96	31 พ.ค. 2551 – 12 มิ.ย. 2551
2	27.59 $\pm$ 0.49	30.56 $\pm$ 0.22	29.07 $\pm$ 0.97	46.97 $\pm$ 2.47	67.53 $\pm$ 1.88	57.25 $\pm$ 1.73	05 ก.ค. 2551 – 17 ก.ค. 2551
3	27.07 $\pm$ 0.24	29.79 $\pm$ 0.23	28.43 $\pm$ 0.17	47.27 $\pm$ 2.82	67.16 $\pm$ 1.01	57.22 $\pm$ 1.71	09 ส.ค. 2551 – 21 ส.ค. 2551



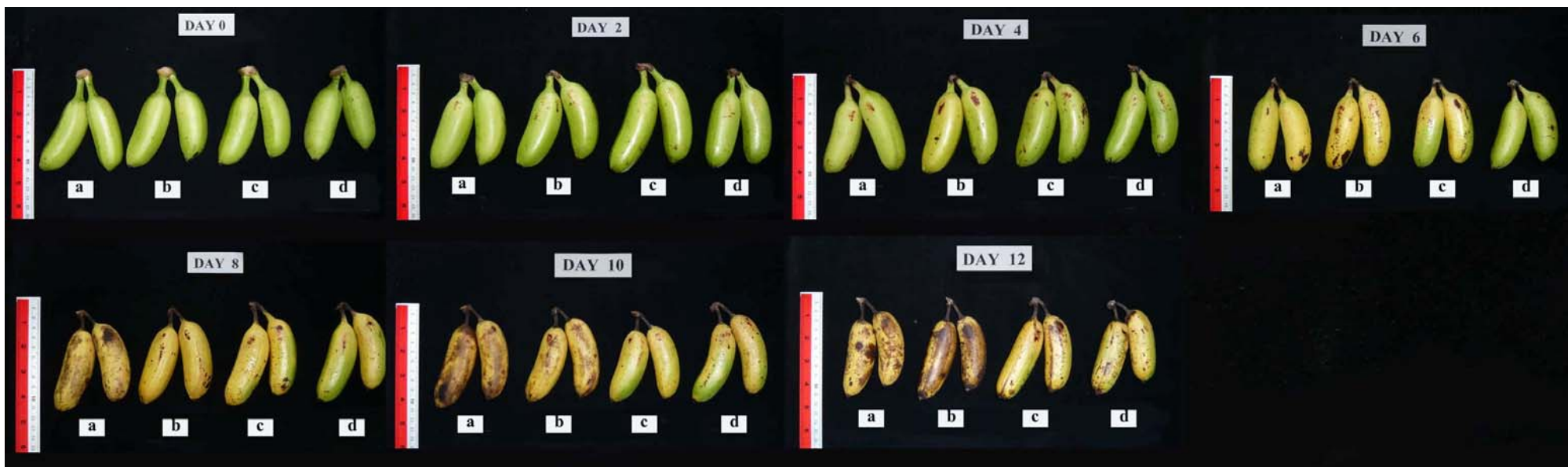
ภาคผนวก ก-2. แสดงคะแนนการเกิดตำหนิ (1-5) โดยที่ 1 หมายถึง ดีมาก (ไม่มีตำหนิ หรือ มีตำหนิไม่เกิน 5% ของพื้นที่เปลือกผล), 2 หมายถึง ดี (มีตำหนิ 5-25 % ของพื้นที่เปลือกผล), 3 หมายถึง ปานกลาง (มีตำหนิ 30-60 % ของพื้นที่เปลือกผล), 4 หมายถึง พอใช้ (มีตำหนิ 60-80% ของพื้นที่เปลือกผล), 5 หมายถึง หมดสภาพ (มีตำหนิมากกว่า 80% ของพื้นที่เปลือกผล)



ภาพผนวก ก-3. แสดงคะแนนการเกิดดกกระ (1-4) โดยที่ 1 หมายถึง สีผิวเหลืองไม่มีจุด, 2 หมายถึง สีผิวเหลืองเข้มเล็กน้อย ปรากฏจุดน้ำตาลเล็กๆขนาดเท่าปลายเข็มกระจายอยู่ทั่ว, 3 หมายถึง จุดกระปรากฏอยู่ที่ผิวเปลือกปริมาณมากขึ้น (ทั่วผล) ขนาดและความกว้าง 0.5-1.0 mm แต่ละจุดยังกระจายห่างกัน, 4 หมายถึง ขนาดจุดขยายขนาดมากขึ้นและแผ่ทับซ้อนกันจน ขนาดใหญ่เป็นปื้นๆ และมีแนวโน้มเป็นรอยนุ่ม



ภาคผนวก ก-4. แสดงคะแนนการเปลี่ยนแปลงสีผิวของเปลือกผลกล้วย (1-8) โดยที่ 1 หมายถึง เปลือกเขียว ผลแห้ง ไม่มีการสุก, 2 หมายถึง เริ่มเปลี่ยนสีจากสีเขียวออกเหลือง, 3 หมายถึง เริ่มเปลี่ยนสีจากเขียวออกเหลืองมากขึ้นแต่ยังมีสีเขียวมากกว่าสีเหลือง, 4 หมายถึง เริ่มเปลี่ยนสีจากเขียวออกเหลืองและมีสีเหลืองมากกว่าสีเขียว, 5 หมายถึง เปลือกเป็นสีเหลืองแต่ที่ปลายยังเป็นสีเขียว, 6 หมายถึง ทั้งผลมีสีเหลือง (ผลสุก), 7 หมายถึง ผิวสีเหลืองและเริ่มมีจุดสีน้ำตาล (สุกเต็มที่ มีกลิ่นหอม), 8 หมายถึง ผิวสีเหลืองและเริ่มมีจุดสีน้ำตาลมากขึ้น (สุกมากเกินไป, เนื้อเริ่มอ่อนตัว และมีกลิ่นแรง)



ภาคผนวก ข-1. แสดงสภาพภายนอกของกล้วยไข่ภายหลังใช้ไคโตซานที่ระดับความเข้มข้นต่าง ๆ นาน 30 วินาทีโดยที่ (a) หูดควบคุมไม่ใช่ไคโตซาน (b) ไคโตซานความเข้มข้น 1% (w/v) +PEG – 400 ความเข้มข้น 0.5 % (w/v) (c) ไคโตซานความเข้มข้น 2 % (w/v) +PEG – 400 ความเข้มข้น 0.5 % (w/v) และ (d) ไคโตซานความเข้มข้น 2% (w/v) +PEG – 400 ความเข้มข้น 0.25 % (w/v) + Tween 80 ความเข้มข้น 0.25% (w/v) และเก็บรักษาที่อุณหภูมิห้อง (29.51 ± 0.2 °C) เป็นเวลา 0, 2, 4, 6, 8, 10 และ 12 วัน ตามลำดับ



ภาคผนวก ข-2. แสดงสภาพภายนอกของกล้วยไข่ภายหลังใช้ไคโตซานที่ระดับความเข้มข้นต่าง ๆ นาน 30 วินาที โดยที่ (a) ชุดควบคุมไม่ใช้ไคโตซาน (b) ไคโตซานความเข้มข้น 2% (w/v) + PEG – 400 ความเข้มข้น 0.25 % (w/v) + Tween 80 ความเข้มข้น 0.25% (c) ไคโตซานความเข้มข้น 2 % (w/v) + PEG – 400 ความเข้มข้น 0.25 % (w/v) + Tween 80 ความเข้มข้น 0.25% + Green Tea ความเข้มข้น 0.01% (w/v) (d) คาร์บอกซีเมทิลไคโตซานความเข้มข้น 5 % (w/v) + PEG – 400 ความเข้มข้น 0.25 % (w/v) + Tween 80 ความเข้มข้น 0.25% และเก็บรักษาที่อุณหภูมิห้อง ($29.22 \pm 0.02^{\circ}\text{C}$) เป็นเวลา 0, 2, 4, 6, 8, 10 และ 12 วัน ตามลำดับ

หมายเหตุ: จากภาพจะเห็นชัดว่า 5% ไคโตซาน ส่งผลชะลอการเปลี่ยนแปลงสีผลได้ดีมาก แต่ ผลจะเหี่ยวมากเช่นกัน ทั้งๆ ที่ ยังคงความแน่นเนื้อได้ดีมาก แต่ เน่าเสียสูงและมีตำหนิ



ภาคผนวก ข-3. แสดงสภาพภายนอกของกล้วยไข่ภายหลังใช้ไคโตซานที่ระดับความเข้มข้นต่าง ๆ นาน 30 วินาทีโดยที่ (a) ชูดควบคุมไม่ใช้ไคโตซาน (b) CMC ความเข้มข้น 1% (w/v) + PEG – 400 ความเข้มข้น 0.25 % (w/v) + Tween 80 ความเข้มข้น 0.25% (c) ไคโตซานความเข้มข้น 2 % (w/v) + PEG – 400 ความเข้มข้น 0.25 % (w/v) + Tween 80 ความเข้มข้น 0.25% (d) CMC ความเข้มข้น 3 % (w/v) + PEG – 400 ความเข้มข้น 0.25 % (w/v) + Tween 80 ความเข้มข้น 0.25% และเก็บรักษาที่อุณหภูมิห้อง ($28.46 \pm 0.016^{\circ}\text{C}$) เป็นเวลา 0, 2, 4, 6, 8, 10 และ 12 วัน ตามลำดับ