

รายงานการวิจัย

ผลไม้เพื่อสุขภาพที่เคลือบเกลือแร่และวิตามินสำหรับผู้สูงอายุ
(Fruit coated mineral supply for healthy aging)

คณะผู้วิจัย

นาย สเตฟอน ดุบาส*

อ.ดร. ลักษณ์า ดุบาส**

*สถาบันวิจัยโลหะและวัสดุ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

**ภาควิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

กิตติกรรมประกาศ

งานวิจัยนี้ได้รับทุนอุดหนุนการวิจัยจากเงินงบประมาณแผ่นดิน ประจำปีงบประมาณ 2552 คณะทำงานขอขอบคุณ สถาบันวิจัยโลหะและวัสดุ และ ภาควิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ที่เอื้อเฟื้อเครื่องมือและสถานที่สำหรับทำวิจัย

บทคัดย่อภาษาไทย

งานวิจัยนี้มุ่งพัฒนาวิธีการเตรียมฟิล์มเคลือบผลิตภัณฑ์ทางการเกษตร ที่มีคุณสมบัติที่รับประทานได้ และสามารถเติมสารอาหารชนิดต่างๆ ลงไป โดยพอลิเมอร์ที่จะนำมาเตรียมเป็นฟิล์มนี้ได้แก่ เจลาติน ไคโตซาน อัลจิเนต ส่วนที่หนึ่ง งานวิจัยนี้แสดงการเตรียมอิมัลชันระบบน้ำมันในน้ำที่เคลือบด้วยพอลิเล็กโตรไลต์สามและสี่ชั้น รวมทั้งการเพิ่มเสถียรภาพต่อการเกิดออกซิเดชันและการเกิดคริมของ โอเมกา-3 อิมัลชัน อิมัลชันเคลือบสามชั้นสามารถเตรียมโดยเคลือบอิมัลชันสองชั้นด้วยอัลจิเนต (พอลิเล็กโตรไลต์ที่มีประจุลบ) อิมัลชันเคลือบสี่ชั้นของ เคซีน-PDADMAC-อัลจิเนต-PDADMAC ในการติดตามอัตราการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันของน้ำมันพุนานี้ด้วยการวัดปริมาณ hydroperoxide โดยอาศัยการเกิดปฏิกิริยากับ ferric thiocyanate โดยเครื่อง UV-Vis จากผลการทดลองพบว่าอิมัลชันซึ่งมีสารพอลิเล็กโตรไลต์หลายชั้นเคลือบบนหยดน้ำมันสามารถเพิ่มเสถียรภาพต่อการเกิดคริม รวมทั้งเสถียรภาพต่อการเกิดออกซิเดชันของน้ำมันได้ โดยความเสถียรต่อการเกิดออกซิเดชันเฉลี่ยมีค่าเพิ่มขึ้นในวันที่ 4 และ 5 เมื่อเปรียบเทียบกับ primary emulsion ในกรณีของอิมัลชันเคลือบสองชั้นและสี่ชั้น สามารถป้องกันอนุมูลอิสระจากตัวออกซิไดซ์ได้ดีเมื่อเปรียบเทียบกับชนิดอื่น ทั้งนี้อาจเนื่องมาจากจำนวนชั้นเคลือบที่มากขึ้นส่งผลให้ชั้นเคลือบมีความหนามากขึ้น รวมทั้งอิทธิพลของประจุบวกที่ล้อมรอบอนุภาคน้ำมันซึ่งผลักกับไอออนของโลหะที่เป็นตัวเร่งปฏิกิริยาได้ นอกจากนี้ได้ศึกษาความเสถียรต่อการเกิดคริมของอิมัลชันเคลือบสอง, สาม และสี่ชั้น พบว่าอิมัลชันเหล่านี้เกิดคริมได้น้อยกว่าอิมัลชันปฐมภูมิถึง 29.8, 45.7 และ 65.4% ตามลำดับ

ส่วนที่สอง ในการศึกษาส่วนนี้ทำการศึกษาการหลุดออกของเฟอร์รัสไอออนจากฟิล์มที่เตรียมจากไบโอพอลิเมอร์กลับลงไปในน้ำ ซึ่งทำการหาปริมาณของเฟอร์รัสไอออนโดยอาศัยการเกิดปฏิกิริยาเชิงซ้อนกับแอมโมเนียไรโอไซยาไนด์ จากผลการทดลองพบว่า การหลุดออกของเฟอร์รัสไอออนจากฟิล์มไคโตซานมีค่าน้อยที่สุดเมื่อเปรียบเทียบกับอัลจิเนต หรือเจลาตินฟิล์ม ทั้งนี้อาจเนื่องจากอัตราการบวมตัวของไคโตซานต่ำกว่าพอลิเมอร์อีกสองชนิด นอกจากนี้ยังได้ศึกษาอิทธิพลของความเข้มข้นต่อการหลุดออกของไอออน พบว่าปริมาณหลุดออกจากฟิล์มที่เตรียมจากสารละลายที่มีความเข้มข้นสูงมีค่าน้อยกว่าจากฟิล์มที่เตรียมจากความเข้มข้นน้อย สำหรับอัลจิเนต และเจลาตินฟิล์ม แต่แนวโน้มนี้นี้ยังไม่สังเกตเห็นในไคโตซานฟิล์ม จากการศึกษาผลของการทำ crosslink ต่อการหลุดออกของเฟอร์รัสไอออนพบว่ายังต้องมีการพัฒนาต่อไปเนื่องจากผลที่ได้แตกต่างกันค่อนข้างน้อย ซึ่งต้องดำเนินการทดลองในระยะเวลาที่นานกว่า 30 นาที

ส่วนที่สาม คณะผู้วิจัยศึกษาผลของฟิล์มไคโตซานต่อการยืดอายุของผลิตภัณฑ์ โดยทำการวัดน้ำหนักที่หายไปของน้ำจากผลไม้ที่เคลือบด้วยฟิล์มไคโตซานเปรียบเทียบกับผลไม้ที่ไม่ได้เคลือบด้วยฟิล์มไคโตซานเป็นเวลา 7 วัน ซึ่งพบว่าไคโตซานฟิล์มที่เตรียมจากสารละลายพอลิเมอร์ 2% โดยน้ำหนัก และผ่านปฏิกิริยา crosslink ด้วย sodium citrate สามารถลดการสูญเสียน้ำได้ 10% นอกจากนี้คณะผู้วิจัยได้พัฒนาวิธีการตัดแปรพื้นผิวของผลไม้โดยปรับให้มีความชอบน้ำมากขึ้นเพื่อให้เหมาะต่อการเคลือบด้วยไคโตซานอีกชั้นหนึ่ง โดยการตัดแปรพื้นผิวนี้ใช้วิธีการทับถมของสารละลายพอลิเล็กโตรไลต์รวมกันเป็นฟิล์มที่เรียกว่า พอลิเล็กโตรลต์มัลติเลเยอร์บนพื้นผิวผลไม้ ค่ามุมสัมผัสเป็นค่าที่ใช้ในการบ่งบอกถึงคุณสมบัติความชอบหรือไม่ชอบน้ำของพื้นผิว จากผลการทดลองพบว่าผลไม้ที่เคลือบด้วยพอลิเล็กโตรลต์มัลติเลเยอร์ที่มีความหนา 8 ชั้น มีพื้นผิวที่มีความชอบน้ำมากขึ้น และสามารถเพิ่มประสิทธิภาพการเคลือบด้วยไคโตซานได้ดี

Abstract

In this year, we have conducted our research on three different aspects. Part I, we developed a preparation method for oil-in-water emulsion coated with tertiary and quaternary polyelectrolyte layers and their improvement on the oxidation and creaming stability of omega-3 oil-in-water emulsions. The tertiary emulsions were prepared by coating secondary emulsion with alginate (polyanionic). Last, the quaternary emulsion coated with casein-PDADMAC-alginate-PDADMAC could be synthesized. Oxidative stability of the tuna oil emulsions was measured by using UV-Vis spectroscopy via ferric thiocyanate method. Physical and oxidative stability of the multilayer emulsions were found to be improved when compared with primary emulsions. Multilayer emulsions could increase the oxidative stability over primary emulsion at day 4 and 5 of storage. This is because the thicker layer of multilayer emulsions and the cationic charge on the droplet of secondary and quaternary emulsion can prevent the droplet from the oxidants. The creaming stability of secondary, tertiary and quaternary emulsion was also increased around 29.78, 45.70 and 65.38% compared to the primary casein emulsion at day 7 of storage. Part II, the leaching of added ferrous ion (Fe^{2+}) in the prepared biopolymer film back into aqueous phase was evaluated based on the complexation with NH_4SCN . We found that the amount of leaching ferrous ions from chitosan film was smallest compared to alginate and gelatin films. This phenomenon is the result of swollen rate of chitosan is slowest. The effect of polymer concentration on the leaching amount was also investigated. The ferrous ions leaching from the higher concentration polymer film were smaller than the one prepared from the lower concentration. This trend was observed from alginate and gelatin films whereas the leaching of ions from chitosan film was independent from polymer concentration. Chitosan film was also crosslinked with sodium citrate to decrease the leaching where we found a slightly different result between non-crosslink and crosslinked polymer films. Part III, the objectives of this part was to investigate whether the bio-coating could act a barrier and prevent the water loss when compare with uncoated fruits. Shelf life was monitored by collecting percent weight loss of coated fruits for 7 days. In comparison with uncoated fruits, the 2%w of crosslinked-chitosan film (Mw 58,000 g/mol) showed the best performance on decreasing the weight loss by 10%. Last, a method for the surface modification of fruit was developed to increase the hydrophilicity of surface. The benefit of changing the surface properties of the coated item is to improve the coating efficiency of chitosan. The method used is based on the deposition of polyelectrolytes solutions on the fruit surface. The hydrophilic property was evaluated by measuring the contact angle values of coated fruit surface. It can be seen that with the deposition of only 4 bilayers of polyelectrolytes, the surface contact angle is hydrophilicity, which could improve the chitosan coating very well.

สารบัญเรื่อง

	หน้า
บทนำ	1
ส่วนที่ 1 การเตรียมมัลติเลเยอร์อิมัลชันและศึกษาอัตราการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชัน	3
1.1 การทดลอง	3
1.1.1 การเตรียม tertiary and quaternary emulsion	3
1.1.2 การวัดการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันของน้ำมันพืชนา	4
1.1.3 ศึกษาความเสถียรของอิมัลชันที่เตรียมได้	4
1.2 ผลการทดลอง	4
1.2.1 การเตรียม tertiary และ quaternary emulsion ระบบเคซีน-PDAD-อัลจินต-PDAD	4
1.2.2 การเตรียม tertiary emulsion ระบบเคซีน-ไคโตซาน-อัลจินต	6
1.2.3 การวัดการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันของน้ำมันพืชนา	7
1.2.4 ศึกษาความเสถียรของอิมัลชันที่เตรียมได้	9
1.3 สรุปผลการทดลอง	11
ส่วนที่ 2 พัฒนาเสถียรภาพของฟิล์มบางที่มีการเติมเกลือแร่ลงไป	12
2.1 การทดลอง	12
2.1.1 ศึกษาอิทธิพลของชนิดและความเข้มข้นของสารละลายพอลิเมอร์ต่อการหลุดออกของ Fe^{2+} ไอออน และเสถียรภาพของฟิล์มต่อน้ำ	12
2.1.2 ศึกษาการเพิ่มเสถียรภาพของฟิล์มโดยอาศัยการเกิด crosslink บนผิวของฟิล์ม	12
2.2 ผลการทดลอง	13
2.2.1 ศึกษาอิทธิพลของชนิดและความเข้มข้นของสารละลายพอลิเมอร์ และระยะเวลาที่ฟิล์มสัมผัสกับ น้ำต่อการหลุดออกของ Fe^{2+} และเสถียรภาพของฟิล์มบางต่อน้ำ	13
2.2.2 ศึกษาการเพิ่มเสถียรภาพของฟิล์มโดยอาศัยการเกิด crosslink บนผิวของฟิล์ม	14
2.3 สรุปผลการทดลอง	15
ส่วนที่ 3 การศึกษาผลของฟิล์มที่เคลือบบนผิวผลไม้ต่อการยืดอายุของผลิตภัณฑ์	16
3.1 วิธีการทดลอง	16
3.1.1 ศึกษาผลของตัวแปรที่ใช้ในการเตรียมฟิล์มไคโตซานต่อการยืดอายุของผลฝรั่ง	16
3.1.2 การตัดแปรพื้นผิวของผลไม้ด้วยฟิล์มบางระดับนาโน	16
3.2 ผลการทดลอง	17
3.2.1 ศึกษาผลของความเข้มข้นของไคโตซาน	17
3.2.2 ผลของน้ำหนักโมเลกุลของไคโตซาน	17
3.2.3 ศึกษาผลของพันธะเชื่อมโยระหว่างไคโตซานกับ sodium citrate	18
3.2.4 การตัดแปรพื้นผิวของผลไม้ด้วยฟิล์มบางระดับนาโน	19
3.3 สรุปผลการทดลอง	21
บรรณานุกรม	22
ประวัติผู้วิจัย	23

สารบัญตาราง

	หน้า
ตารางที่ 1.1 แสดงข้อมูลเปรียบเทียบระหว่าง primary emulsion กับเม็ดคิเลเยอร์อิมัลชันที่เตรียมได้ในระบบเคซีน-PDAD-อัลจิเนต	6
ตารางที่ 1.2 แสดงข้อมูล tertiary emulsion ที่เตรียมในระบบเคซีน-PDAD-อัลจิเนต และเคซีน-โคโคซาน-อัลจิเนต	7
ตารางที่ 2.1 ผลการสังเกตลักษณะทางกายภาพของฟิล์มแต่ละชนิดหลังการสัมผัสน้ำเป็นเวลา 30 นาที	13
ตารางที่ 2.2 ผลการสังเกตลักษณะทางกายภาพของฟิล์มแต่ละชนิดก่อนและหลังการสัมผัสน้ำเป็นเวลา 30 นาที	14

สารบัญภาพ

	หน้า
รูปที่ 1.1 แสดงการเตรียมมัลติเลเยอร์อิมัลชัน	3
รูปที่ 1.2 การกระจายตัวของ tertiary emulsion ที่เคลือบด้วย casein-PDADMAC-alginate ณ pH 6	5
รูปที่ 1.3 การกระจายตัวของขนาดของ quaternary emulsion เคลือบด้วย casein-PDADMAC-alginate-PDADMAC ณ pH 6	5
รูปที่ 1.4 การกระจายตัวของ tertiary emulsion ที่เคลือบด้วย casein-ไคโตซาน-alginate ณ pH 6	6
กราฟที่ 1.1 calibration curve ของ cumene hydroperoxide ซึ่งใช้เป็นสารมาตรฐานในการหาความเข้มข้นของ hydroperoxide	7
กราฟที่ 1.2 แสดงปริมาณ hydroperoxide เมื่อทำการศึกษาเป็นเวลา 7 วัน โดย primary emulsion เคลือบด้วยเคซีน; secondary emulsion เคลือบด้วยชั้น เคซีน-PDAD; tertiary emulsion เคลือบด้วยชั้น เคซีน-PDAD-อัลจิเนต; quaternary emulsion เคลือบด้วยชั้น เคซีน-PDAD-อัลจิเนต-PDAD ณ pH 6	8
กราฟที่ 1.3 แสดงปริมาณ hydroperoxide เมื่อทำการศึกษาเป็นเวลา 7 วัน โดย primary emulsion เคลือบด้วยเคซีน; secondary emulsion เคลือบด้วยชั้น เคซีน-ไคโตซาน; tertiary emulsion เคลือบด้วยชั้น เคซีน-ไคโตซาน-อัลจิเนต	9
กราฟที่ 1.4 ความเสถียรของ primary emulsion (เคซีน emulsifier), secondary emulsion (เคซีน-PDAD) , tertiary emulsion (เคซีน-PDADMAC-alginate) และ quaternary emulsion (เคซีน-PDADMAC-alginate-PDADMAC) ณ pH 6	10
กราฟที่ 1.5 ความเสถียรของ primary emulsion (เคซีน emulsifier), secondary emulsion (เคซีน-ไคโตซาน) และ tertiary emulsion (เคซีน-ไคโตซาน-alginate) ณ pH 6	10
กราฟที่ 2.1 แสดงผลของชนิดและความเข้มข้นของสารละลายพอลิเมอร์ที่ใช้เตรียมฟิล์มบางและระยะเวลา ที่ฟิล์มสัมผัสกับน้ำต่อเปอร์เซ็นต์การหลุดออกของเหล็ก	13
กราฟที่ 2.2 แสดงการเปรียบเทียบค่าเปอร์เซ็นต์การหลุดออกของเหล็กที่ระยะเวลาการสัมผัสน้ำต่างๆของฟิล์มที่เตรียมจากไคโตซานที่ผ่านการ cross link (crosslink) และไม่ผ่านการ cross link (control)	14
กราฟที่ 3.1 แสดงผลของความเข้มข้นของไคโตซาน (2 และ 4% w/v) ที่มีผลต่อการสูญเสียน้ำหนักของผลฝรั่ง	17
กราฟที่ 3.2 แสดงผลของฟิล์มที่เตรียมจากไคโตซานที่มีน้ำหนัก โมเลกุลต่างกันต่อการสูญเสียน้ำหนักของฝรั่ง	18
กราฟที่ 3.3 แสดงผลของการเกิดปฏิกิริยา crosslink กับ percent weight loss โดย blank: ฝรั่งที่ไม่ได้เคลือบด้วยฟิล์มไคโตซาน; no crosslink: ฝรั่งที่เคลือบด้วยฟิล์มไคโตซานแต่ไม่มีการทำ crosslink; cross citrate: ฝรั่งที่เคลือบด้วยฟิล์มไคโตซานที่มีการเติม sodium citrate	18
กราฟที่ 3.4 แสดงการเปลี่ยนแปลงของค่ามุมสัมผัสของหยดน้ำที่หยดบนพื้นผิวผลไม้ ■ฝรั่ง ■แอปเปิ้ล ■ม่วง โดยที่พื้นผิวไม่ผ่านการเคลือบ (bare) และที่ผ่านการเคลือบด้วยฟิล์มรองพื้นที่มีความหนา 2 ชั้น และ 4 ชั้น	19
รูปที่ 3.1 ผลแอปเปิ้ลแดง (a) เคลือบด้วยพอลิเล็กโทรไลต์ จำนวน 8 ชั้นเคลือบ และ (b) แอปเปิ้ลแดงที่ไม่ผ่านการเคลือบ	20
รูปที่ 3.2 ผลฝรั่ง (a) เคลือบด้วยพอลิเล็กโทรไลต์ จำนวน 8 ชั้นเคลือบและ (b) ฝรั่งที่ไม่ผ่านการเคลือบ	20
รูปที่ 3.3 ภาพเปรียบเทียบแสดงผลของจำนวนชั้นของฟิล์มพอลิเล็กโทรไลต์ต่อประสิทธิภาพของการเคลือบผิวผลไม้ด้วยพอลิเมอร์ชีวภาพ	21

บทที่ 1

บทนำ

ในปัจจุบันประชากรป่วยเป็นโรคเรื้อรังต่างๆ¹ ซึ่งมีสาเหตุจากการบริโภคอาหาร² ดังนั้นการรับประทานอาหารที่ถูกต้องเป็นวิธีการหนึ่งที่จะช่วยส่งเสริมและป้องกันการป่วยเป็นโรคเรื้อรังในประชากร อย่างไรก็ตาม แนวทางการดำเนินชีวิตในปัจจุบันมีเอื้อต่อการรับประทานอาหารที่เหมาะสม แนวทางการเพิ่มสารอาหารในอาหารชนิดต่างๆ ได้รับความสนใจมากขึ้นตามลำดับ เช่นการเพิ่มไอโอดีนในเกลือ และบริษัททิปโก้ได้วางจำหน่ายผลิตภัณฑ์น้ำผลไม้สำหรับเด็กที่มีการเติมน้ำมันตับปลาลงไป การเติมสารอาหารลงในชั้นเคลือบผิวผลไม้เป็นอีกแนวทางในการเพิ่มสารอาหารให้แก่สินค้าบริโภค เช่น การเคลือบ xanthan gum ที่มีองค์ประกอบของแคลเซียมอยู่ 5% และวิตามิน E อยู่ 0.2% โดยน้ำหนัก และการเคลือบสตรอเบอร์รี่และราสเบอร์รี่ด้วยไคโตซานที่มีแคลเซียม และวิตามิน E เป็นองค์ประกอบ³

ดังนั้นโครงการวิจัยนี้จึงมุ่งเสริมสร้างสุขภาพของประชากร โดยพัฒนาฟิล์มบางที่เติมเกลือแร่และสารอาหารที่สามารถเคลือบบนผลไม้หรืออาหารทานเล่นได้ โดยฟิล์มนี้ต้องสามารถรับประทานได้ โปร่งแสง เสถียร ง่ายต่อการเตรียม และไม่เปลี่ยนแปลงลักษณะทางกายภาพ และรสชาติของผลิตภัณฑ์เดิม

งานวิจัยในปีที่ 1 และ 2

ในงานวิจัยที่ผ่านมา ทางคณะผู้วิจัยได้ดำเนินการวิจัยไปสองแนวทาง ได้แก่

แนวทางที่ 1: ฟิล์มที่เติมเกลือแร่ลงไป ซึ่งพบว่า

- 1.1 ความเข้มข้นของพอลิเมอร์เจลาติน ไคโตซาน อัลจิเนต ที่เหมาะสมต่อการเตรียมฟิล์ม และการเคลือบบนฝรั่งจากการทดลองพบว่า ความเข้มข้นที่เหมาะสมต่อการเกิดเป็นฟิล์มและระยะเวลาที่ต้องใช้เพื่อให้ฟิล์มแห้ง ได้แก่ 2 และ 4% (w/w) อัลจิเนต ความเข้มข้น 5 และ 10% (w/w) เจลาติน และ 1 และ 2% ไคโตซาน เมื่อเคลือบฟิล์มบนฝรั่งด้วยเจลาตินทั้งสองความเข้มข้นพบว่าให้ฟิล์มที่มีลักษณะเป็นมันวาวและไม่มีการเปลี่ยนสีของฝรั่ง อย่างไรก็ตามเมื่อเคลือบฝรั่งด้วยไคโตซาน พบว่าผลไม้เปลี่ยนสีเป็นสีน้ำตาล ซึ่งเกิดจาก acetic acid ที่เติมลงไปในการละลายไคโตซาน
- 1.2 ฟิล์มที่เติมแคลเซียม สังกะสี เหล็ก แมกนีเซียม
คณะผู้วิจัยสามารถเตรียม (1%) ไคโตซาน (10%) เจลาติน และ (4%) อัลจิเนตฟิล์มที่เติมสารละลายเกลือแร่ชนิดต่างๆ ที่ปริมาณ 10% RDI ได้ โดยฟิล์มมีลักษณะ โปร่งแสง สำหรับอัลจิเนตฟิล์มพบว่าไม่เหมาะสมถ้าต้องการเติมแคลเซียม ไอออนลงในฟิล์มเนื่องจากเกิดเป็นตะกอนขึ้น ทั้งนี้ต้องศึกษาการละลายกลับของไอออนเหล่านี้จากฟิล์ม

แนวทางที่ 2: ฟิล์มที่เติมน้ำมันทูนาที่มีโอเมกา-3 เป็นองค์ประกอบ

- 2.1 คณะผู้วิจัยได้เตรียมมัลติเลเยอร์อิมัลชันของน้ำมันทูนา ขึ้น เพื่อลดการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันของน้ำมันทูนา โดยใช้เคซีนเป็น emulsifier อิมัลชันที่เตรียมได้เรียกว่า primary emulsion ที่มีอัตราส่วนระหว่างน้ำมันทูนาต่อ emulsifying solution เป็น 5/95 โดยน้ำหนัก จากผลการทดลองพบว่าอิมัลชันเตรียมโดยใช้เคซีน 1.5% (w/v) ที่ pH เท่ากับ 6 มีความเสถียรมากที่สุด อิมัลชันที่เตรียมได้มีการกระจายตัวเป็นแบบ polydisperse สำหรับ secondary emulsion ที่เตรียมโดยใช้ 10 mM PDAD และ 0.1% (w/v) ไคโตซาน จากการวัดค่า zeta potential พบว่ามีประจุบวกแสดงว่า PDAD และไคโตซานเคลือบอยู่บน primary emulsion และพบว่าขนาดหยดของ secondary

emulsion ที่เตรียมได้จาก PDAD และโคโตซาน 755 และ 981 nm ตามลำดับ เมื่อศึกษาถึงความเสถียรพบว่า secondary emulsion มีความเสถียรมากกว่า primary emulsion

2.2 Film fabrication

ผู้วิจัย ได้ศึกษาเตรียมฟิล์มที่เติมหยคน้ำมันทูนา ลงในแผ่นฟิล์ม พบปัญหาคือการแตกออกของหยคน้ำมัน จากผลการทดลองพบว่าแผ่นฟิล์มที่เตรียมจากเจลาตินให้ฟิล์มที่เรียบ เป็นมันวาวกว่า และหยคน้ำมันมีการกระจายตัวดี ไม่มีการแตกของหยคน้ำมันที่เติมลงไป

ผลงานวิจัยปีที่ 3

ได้มีการปรับเปลี่ยนจากแผนงานเดิม โดยปรับแผนการดำเนินงานในส่วนที่ศึกษาการปรับเปลี่ยนการหาปริมาณองค์ประกอบของสารอาหารในฟิล์มออก เนื่องจากคณะผู้วิจัยได้ปรึกษากับผู้ประกอบการซึ่งได้แนะนำถึงความต้องการในท้องตลาดที่เกี่ยวข้องกับฟิล์มเคลือบผลไม้โดยเฉพาะ shelf life ดังนั้นในปีนี้ งานวิจัยได้แยกเป็นสามส่วน

ส่วนที่ 1 พัฒนาการเตรียมมัลติเลเยอร์อิมัลชัน เพื่อที่จะลดการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชัน โดยในปีนี้ทำการเตรียม tertiary emulsion ที่มีอัลจินตเป็นชั้นนอกสุด และ quaternary emulsion ที่มี PDAD เป็นชั้นนอกสุด รวมทั้งศึกษาอัตราการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันของมัลติเลเยอร์อิมัลชัน และเสถียรภาพของอิมัลชันที่เตรียมได้

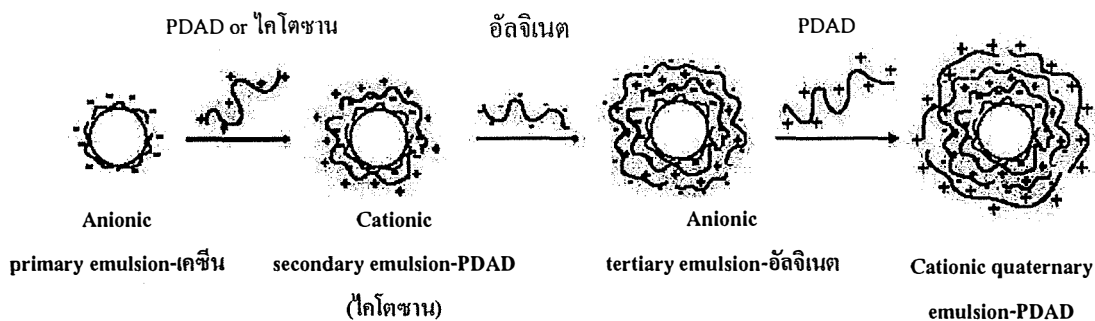
ส่วนที่ 2 พัฒนาเสถียรภาพของฟิล์มบางที่มีการเติมเกลือแร่ลงไป

ส่วนที่ 3 ศึกษาผลของการเคลือบด้วยฟิล์มบางต่อการยืดอายุของผลิตภัณฑ์

ส่วนที่ 1

การเตรียมมัลติเลเยอร์อิมัลชันและศึกษาอัตราการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชัน

ในปีนี้ทางผู้วิจัยได้พัฒนาวิธีการเตรียมอิมัลชันที่เคลือบ 3 และ 4 ชั้น นอกจากนี้ยังศึกษาถึงประสิทธิภาพในการลดของอัตราการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชัน รูปที่ 1.1 แสดงการเตรียมมัลติเลเยอร์อิมัลชัน



รูปที่ 1.1 แสดงการเตรียมมัลติเลเยอร์อิมัลชัน

1.1 วิธีการทดลอง

1.1.1 การเตรียม tertiary and quaternary emulsion

จากรายงานปีที่ 2 คณะผู้วิจัยสามารถเตรียม secondary emulsion ที่มี polydiallyldimethylammonium chloride (PDADMAC) หรือโคโคซานล้อมรอบบน primary emulsion ของน้ำมันหมู่น้ำที่มีเคซีนเป็นอิมัลซิฟายเออร์ ซึ่ง primary emulsion นี้เตรียมจากการ homogenize สารผสมระหว่างน้ำมันและสารละลายอิมัลซิฟายเออร์ ในอัตราส่วนน้ำมัน 5% ต่อสารละลายอิมัลซิฟายเออร์ (pH 6) 95% โดยน้ำหนัก โดยใช้เครื่อง homogenizer (Polytron PT3100)

ในปีนี้คณะผู้วิจัยเตรียม tertiary emulsion โดยทำการเคลือบ secondary emulsion ด้วยอัลจินเตตซึ่งเป็นพอลิอิเล็กโทรไลต์ที่มีประจุลบ ณ pH 6 โดยเติม secondary emulsion ลงในสารละลายอัลจินเตตในขณะที่ทำการ homogenize อย่างช้าๆ เป็นเวลา 2 นาที ที่จำนวนรอบ 20,000 rpm จำนวน 1 รอบ และในการเตรียม quaternary emulsion ทางคณะผู้วิจัยใช้ PDADMAC โดยเตรียมใช้วิธีเดียวกัน

ในการเตรียมมัลติเลเยอร์อิมัลชันนั้น จำเป็นต้องศึกษาปริมาณ ณ จุดสมมูล (equivalent point) ระหว่างพอลิเมอร์ที่ใช้ในการเตรียม tertiary emulsion กับ secondary emulsion และ quaternary emulsion กับ tertiary emulsion ก่อน

1.1.1.1 ศึกษาหาปริมาณ ณ จุดสมมูล (equivalent point) สำหรับการเตรียม tertiary และ quaternary emulsion

Tertiary emulsion

- เติม secondary emulsion ที่มี PDAD ล้อมรอบลงในสารละลายของอัลจินตความเข้มข้น 1 % w/v ที่ pH 6 ทำการ homogenize สารผสม โดยอัตราส่วนที่ทำการศึกษาได้แก่ 0.10-1.60 (secondary emulsion: alginate)

สำหรับกรณีของ secondary emulsion ที่มี chitosan ล้อมรอบจะใช้สารละลายของอัลจินตความเข้มข้น 0.1 % w/v แทน

- วัด %transmission โดยใช้เครื่อง UV-Visible spectrophotometer ที่ความยาวคลื่น 550 nm
- ทำการสร้างกราฟระหว่างปริมาตรของ secondary emulsion กับ %transmission

สำหรับ quaternary emulsion ดำเนินการทดลองเช่นเดียวกับข้างต้น โดยใช้ PDADMAC (cationic polymer) และ tertiary emulsion ที่เคลือบด้วย casein-PDADMAC-alginate

1.1.1.2 การศึกษาขนาดของอนุภาคและค่า zeta potential ของ tertiary และ quaternary emulsion

ขนาดของอนุภาคและค่า zeta potential ทำการศึกษาโดยใช้เครื่อง nanosizer โดยทำการวัดตัวอย่างละ 2 ครั้ง ทำทั้งสิ้น 3 ตัวอย่าง ซึ่งเตรียม emulsion ณ equivalence point ที่ได้จากการทดลอง 1.1.1.1 โดยทำการเจือจางอิมัลชันด้วยสารละลายโซเดียมอะซีเตตบัฟเฟอร์ ที่ pH 6 ในอัตราส่วน 1 ต่อ 50 ก่อนทำการวัด

1.1.2 การวัดการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันของน้ำมันทูนา

- สกัด emulsion ด้วย isooctane/2-propanol (3:1, v/v)
- ปิเปตชันตัวทำละลายอินทรีย์นี้ 200 μ L เติมลงใน 2.8 mL ของ methanol/1-butanol (2:1, v/v) ตามด้วย 15 μ L ของ 3.94 M ammonium thiocyanate และ 15 μ L ของ ferrous iron solution
- วัดปริมาณสารประกอบเชิงซ้อน $[Fe(SCN)]^{2+}$ ที่เกิดขึ้น ด้วยเครื่อง UV-Vis Spectrophotometer ที่ความยาวคลื่น 510 nm
- ในการวัดปริมาณดังกล่าวทำการทำเตรียมทั้งสิ้น 3 ตัวอย่างในแต่ละความเข้มข้น โดยทำการวัดค่าการดูดกลืนแสงตัวอย่างละ 2 ครั้ง ทำการเก็บข้อมูลทุกวัน เป็นเวลา 7 วัน

1.1.3 ศึกษาความเสถียรของอิมัลชันที่เตรียมได้

การเปลี่ยนแปลงของค่า % transmission ต่อระยะเวลาในการเก็บอิมัลชัน เป็นค่าที่บ่งบอกถึงความเสถียรของอิมัลชันที่เตรียมได้ โดยทำการวัดที่ 550 nm โดยใช้เครื่อง UV-Vis Spectrophotometer⁴⁶ ในการทดลองนี้ทำการศึกษาทุกวันเป็นระยะเวลา 7 วัน

1.2 ผลการทดลอง

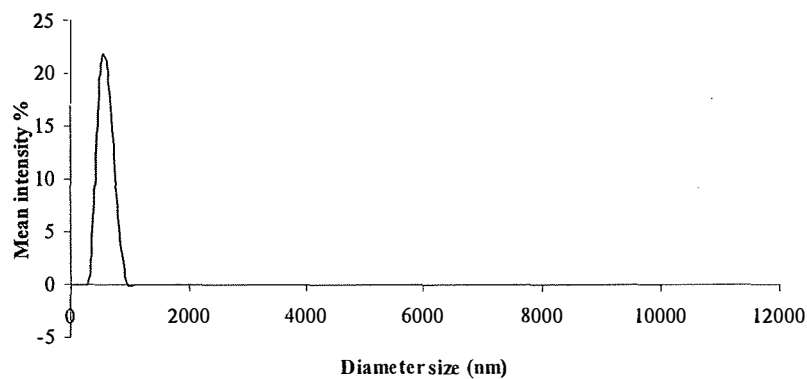
1.2.1 การเตรียม tertiary และ quaternary emulsion ระบบเคซีน-PDAD-อัลจินต-PDAD

ในการศึกษานี้ tertiary emulsion ที่มีเคซีน-PDADMAC-อัลจินตล้อมรอบ สามารถเตรียมได้โดยใช้อัลจินตซึ่งเป็นพอลิอิเล็กโทรไลต์ที่มีประจุลบ ขึ้นต้นผู้วิจัยได้ศึกษาอัตราส่วนโดยน้ำหนักระหว่างอัลจินตต่อ secondary emulsion ที่มี PDADMAC ล้อมรอบ พบว่ามีอัตราส่วนโดยน้ำหนักเท่ากับ 0.24 และในการเตรียม quaternary emulsion นั้นใช้ PDADMAC เป็น cationic polyelectrolyte ซึ่งจะ ได้ชั้นเคลือบที่ประกอบด้วยเคซีน-

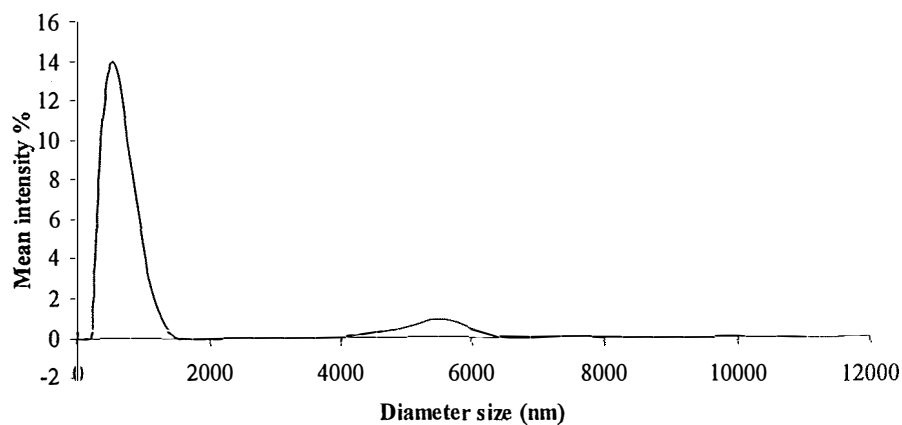
PDADMAC-อัลจิเนต-PDADMAC โดยพบว่าอัตราส่วน โดยน้ำหนักระหว่าง tertiary emulsion และ PDADMAC เท่ากับ 0.77

ขนาดของ tertiary emulsion ที่เตรียมได้มีการกระจายตัวดังรูปที่ 1 โดยมีขนาดโดยเฉลี่ยของอนุภาค (ที่ 90% population) อยู่ที่ 589.5 (± 74.1) nm และเมื่อทำการวัดค่า zeta potential พบว่ามีค่าเป็นประจุลบ แสดงว่ามีอัลจิเนตเคลือบล้อมรอบอยู่ และมีค่าประจุเท่ากับ -24.2 mV เมื่อเปรียบเทียบกับขนาดของ tertiary emulsion ที่เตรียมได้พบว่ามีขนาดใกล้เคียงกับ secondary emulsion เนื่องจากชั้นเคลือบที่เตรียมนี้มีความหนาอยู่ในระดับนาโนเมตรเท่านั้น

ขนาดของ quaternary emulsion ที่เตรียมได้มีการกระจายตัวดังรูปที่ 1.2 โดยมีขนาดโดยเฉลี่ยของอนุภาค (ที่ 90% population) อยู่ที่ 569.0 (± 32.7) nm และเมื่อทำการวัดค่า zeta potential พบว่ามีค่าเป็นประจุบวก ซึ่งบ่งชี้ว่า PDADMAC สามารถเคลือบล้อมรอบ tertiary emulsion ได้และมีค่าประจุเท่ากับ 30.8 mV ซึ่งจากผลการทดลองจะพบว่าขนาดของ tertiary และ quaternary emulsion นั้นมีขนาดใกล้เคียงกันถึงแม้ว่าจะมีจำนวนชั้นที่ต่างกัน เนื่องจาก polyelectrolyte multilayer นั้นจะมีขนาดในระดับนาโนเมตร เท่านั้น



รูปที่ 1.1 การกระจายตัวของ tertiary emulsion ที่เคลือบด้วย casein-PDADMAC-alginate ณ pH 6



รูปที่ 1.2 การกระจายตัวของขนาดของ quaternary emulsion เคลือบด้วย casein-PDADMAC-alginate-PDADMAC ณ pH 6

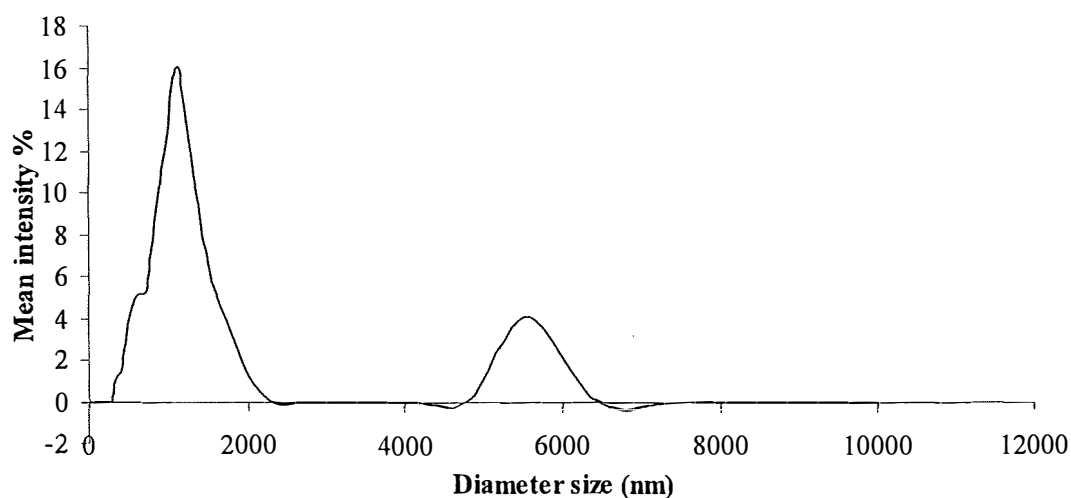
ตารางที่ 1.1 แสดงข้อมูลเปรียบเทียบระหว่าง primary emulsion กับมัลติเลเยอร์อิมัลชันที่เตรียมได้ในระบบเคซีน-PDAD-อัลจิเนต

อิมัลชัน	ขนาดของอิมัลชันเฉลี่ย* (nm)	Zeta potential (mV)
Primary emulsion (เคซีน)	422.4 (\pm 48.8)	-13.0 (\pm 0.5)
Secondary emulsion (เคซีน-PDAD)	565.6 (\pm 30.6)	30.3 (\pm 2.2)
Tertiary emulsion (เคซีน- PDAD-อัลจิเนต)	589.5 (\pm 74.1)	-24.2 (\pm 1.3)
Quaternary emulsion (เคซีน- PDAD-อัลจิเนต-PDAD)	569.0 (\pm 32.7)	30.8 (\pm 1.6)

* ค่าเฉลี่ยของ 90% population

1.2.2 การเตรียม tertiary emulsion ระบบเคซีน-โคโคซาน-อัลจิเนต

ในการศึกษาครั้งนี้ คณะผู้วิจัยสามารถเตรียม tertiary emulsion ที่มีเคซีน-โคโคซาน-อัลจิเนต ที่ pH 6 โดยมีอัตราส่วน โดยน้ำหนักระหว่าง secondary emulsion และ อัลจิเนตเท่ากับ 0.33 โดย tertiary emulsion ที่เตรียมได้มีการกระจายตัวเป็นแบบ polydisperse ที่มีขนาดอิมัลชัน (ที่ 90% population) เท่ากับ 1092.7 nm (\pm 65.7) ดังแสดงในกราฟที่ 1.3 และการกระจายตัวของอนุภาคที่เตรียม โดยมีโคโคซานเป็น secondary emulsion มีการกระจายตัวมากกว่าระบบที่เป็น PDAD และพบว่าค่า zeta potential (-31.6 mV (\pm 1.4)) มีค่าเป็นลบซึ่งแสดงให้เห็นว่าอัลจิเนตได้เคลือบบน tertiary emulsion ดังแสดงในตารางที่ 1.2 ซึ่งจะเห็นได้ว่า tertiary emulsion ที่มีโคโคซานเป็นหนึ่งในองค์ประกอบของชั้นเคลือบมีขนาดอนุภาคใหญ่กว่าระบบที่ใช้ PDAD ซึ่งเนื่องมาจาก secondary emulsion ที่ใหญ่กว่า



รูปที่ 1.4 การกระจายตัวของ tertiary emulsion ที่เคลือบด้วย casein-โคโคซาน-alginate ณ pH 6

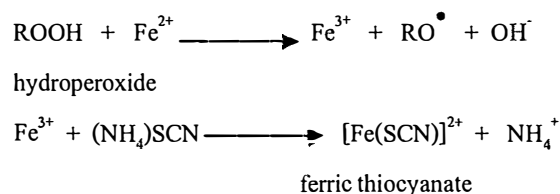
ตารางที่ 1.2 แสดงข้อมูล tertiary emulsion ที่เตรียมในระบบเคซีน-PDAD-อัลจิเนต และเคซีน-โค โดซาน-อัลจิเนต

Tertiary emulsion	อัตราส่วนโดยน้ำหนัก (secondary emulsion: อัลจิเนต)	ขนาดของอิมัลชัน เฉลี่ย* (nm)	Zeta potential (mV)
Tertiary emulsion (เคซีน-PDAD-อัลจิเนต)	0.24	589.5 (±74.1)	-24.2 (±1.3)
Tertiary emulsion (เคซีน-โค โดซาน-อัลจิเนต)	0.33	1092.7 (±65.7)	-31.6 (±1.4)

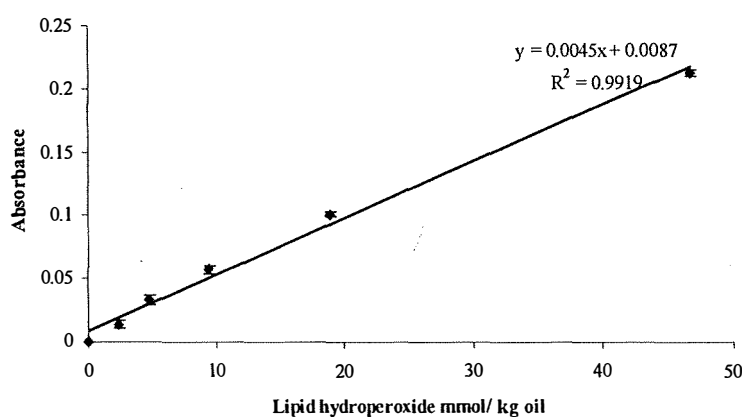
* ค่าเฉลี่ยของ 90% population

1.2.3 การวัดการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันของน้ำมันทูนา

ในการวัดการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันนั้น ผู้วิจัยเลือกวิเคราะห์ปริมาณ hydroperoxide (ROOH) ซึ่งเป็นผลิตภัณฑ์หนึ่งที่เกิดขึ้นเมื่อน้ำมันเกิดออกซิเดชัน ปริมาณ hydroperoxide (ROOH) สามารถวัดได้โดยทำปฏิกิริยากับ ferric thiocyanate ดังสมการ



ปริมาณ hydroperoxide ที่เกิดขึ้นนั้น สามารถหาได้จาก calibration curve ที่เตรียมจาก cumene hydroperoxide ดังกราฟที่ 3 ซึ่งจะเห็นว่ามีความเป็นเส้นตรงในช่วงความเข้มข้นที่ใช้ศึกษา โดยมีค่า linear regression เท่ากับ 0.9919.



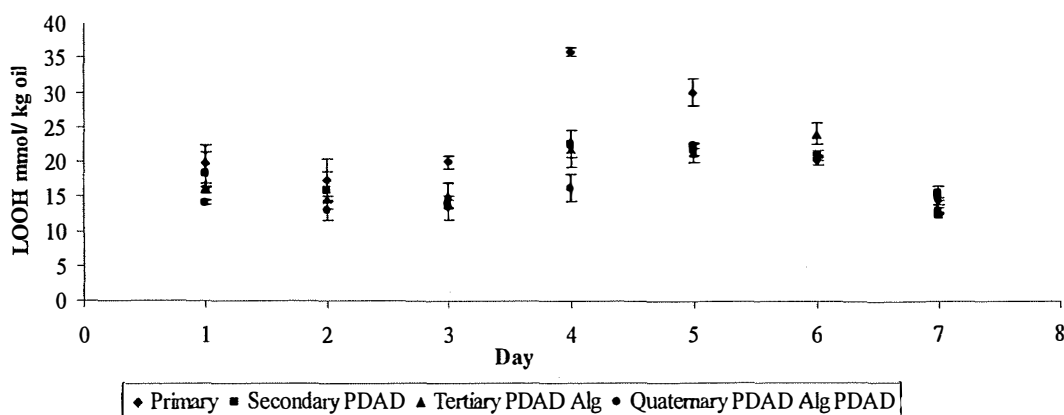
กราฟที่ 1.1 calibration curve ของ cumene hydroperoxide ซึ่งใช้เป็นสารมาตรฐานในการหาความเข้มข้นของ hydroperoxide

1.2.2.1 อิมัลชันระบบ เคซีน-PDAD-อัลจิเนต-PDAD

ในการศึกษาครั้งนี้ทำการวัดปริมาณ hydroperoxide ของ primary และมัลติเลเยอร์อิมัลชันโดยทำการวัดทุกวันเป็นเวลา 7 วัน ได้ผลการทดลองดังกราฟที่ 1.2 โดยที่ค่า hydroperoxide ที่วัดได้จะสามารถบ่งบอกถึงอัตราการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันของน้ำมันทูนาได้ เมื่อพิจารณา primary emulsion ในสามวันแรกของการทดลอง พบว่าอัตราการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันไม่มีการเปลี่ยนแปลงมากนัก และมีค่าเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็วในวันที่สี่ หลังจากนั้นปริมาณ hydroperoxide ลดลงทั้งนี้เนื่องจากการสลายตัวของ hydroperoxide ไปเป็นอัลดีไฮด์ ซึ่งสอดคล้องกับการศึกษาที่ได้มีการรายงานถึงแนวโน้มการลดลงของ hydroperoxide เมื่อเวลาผ่านไป⁶⁸

เมื่อพิจารณา secondary และ tertiary emulsion พบแนวโน้มเดียวกันคืออัตราการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันของน้ำมันทูนามีค่าสูงสุดในวันที่สี่ และเมื่อเปรียบเทียบปริมาณ hydroperoxide ที่เกิดขึ้นระหว่างอิมัลชันสองชนิดนี้ ถึงแม้ว่า secondary emulsion มีประจุชั้นนอกสุดเป็นบวกซึ่งควรมีแรงผลักกับไอออนของ โลหะซึ่งเป็นตัวเร่งสำหรับปฏิกิริยาออกซิเดชันได้ แต่จะเห็นได้ว่า hydroperoxide ที่เกิดขึ้นไม่มีความแตกต่างกันอย่างชัดเจน ซึ่งอาจเนื่องมาจากเมื่อเคลือบอิมัลชันด้วยจำนวนชั้นที่มากขึ้นส่งผลให้มีความหนามากขึ้น ทำให้เป็นการยากขึ้นสำหรับออกซิเจน หรือไอออนของโลหะจะเคลื่อนที่เข้าไปเร่งปฏิกิริยากับน้ำมันทูนาได้ ทั้งนี้ผลการทดลองสำหรับ quaternary emulsion ไม่ชัดเจน จึงไม่สามารถสรุปแนวโน้มได้ ต้องทำการศึกษาใหม่

เมื่อเปรียบเทียบระหว่าง primary emulsion และมัลติเลเยอร์อิมัลชัน พบว่าปริมาณสูงสุดของ hydroperoxide ที่เกิดขึ้นจากระบบที่เป็นมัลติเลเยอร์อิมัลชันมีค่าน้อยกว่า primary emulsion ประมาณ 38% ซึ่งแสดงให้เห็นว่ามัลติเลเยอร์อิมัลชันสามารถช่วยลดการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันของน้ำมันทูนาได้

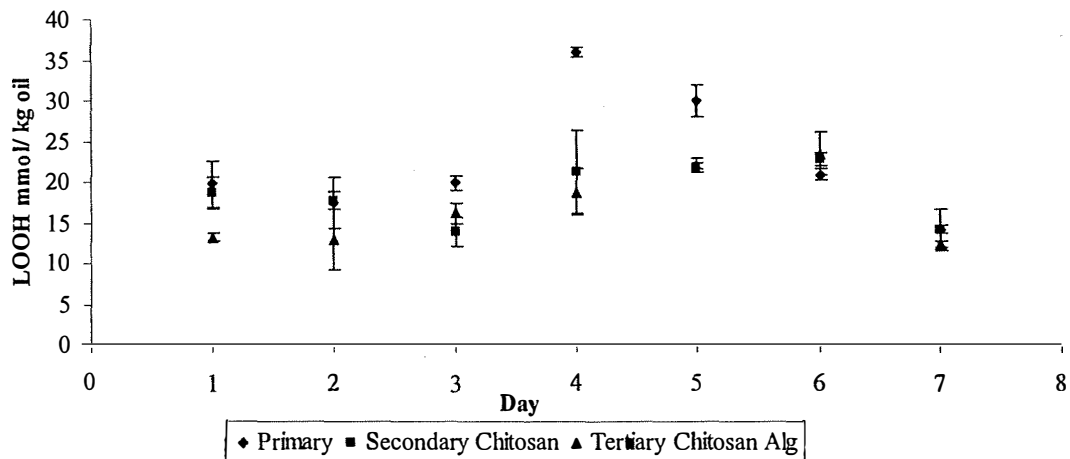


กราฟที่ 1.2 แสดงปริมาณ hydroperoxide เมื่อทำการศึกษาเป็นเวลา 7 วัน โดย primary emulsion เคลือบด้วยเคซีน; secondary emulsion เคลือบด้วยชั้น เคซีน-PDAD; tertiary emulsion เคลือบด้วยชั้น เคซีน-PDAD-อัลจิเนต; quaternary emulsion เคลือบด้วยชั้น เคซีน-PDAD-อัลจิเนต-PDAD ณ pH 6

1.2.2.2 อิมัลชันระบบ เคซีน-PDAD-อัลจิเนต

จากกราฟที่ 1.3 พบว่าปริมาณ hydroperoxide ที่เกิดจาก primary emulsion มีค่ามากกว่าเมื่อเปรียบเทียบกับระบบที่เป็นมัลติเลเยอร์อิมัลชัน แสดงให้เห็นว่ามัลติเลเยอร์ที่เคลือบบนอิมัลชันสามารถ

ช่วยลดการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันของน้ำมันหุนาได้อย่างไรก็ตามเมื่อพิจารณาอิทธิพลของจำนวนชั้นเคลือบที่มากขึ้นต่อการเกิดปฏิกิริยานั้นพบว่าไม่ชัดเจน

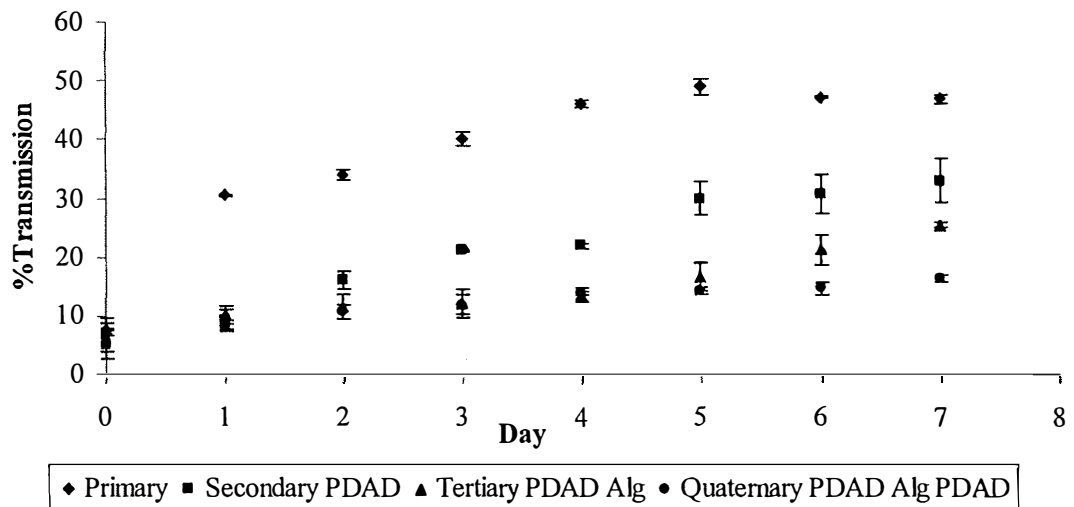


กราฟที่ 1.3 แสดงปริมาณ hydroperoxide เมื่อทำการศึกษาเป็นเวลา 7 วัน โดย primary emulsion เคลือบด้วยเคซีน; secondary emulsion เคลือบด้วยชั้น เคซีน-โคโตซาน; tertiary emulsion เคลือบด้วยชั้น เคซีน-โคโตซาน-อัลจินเนต

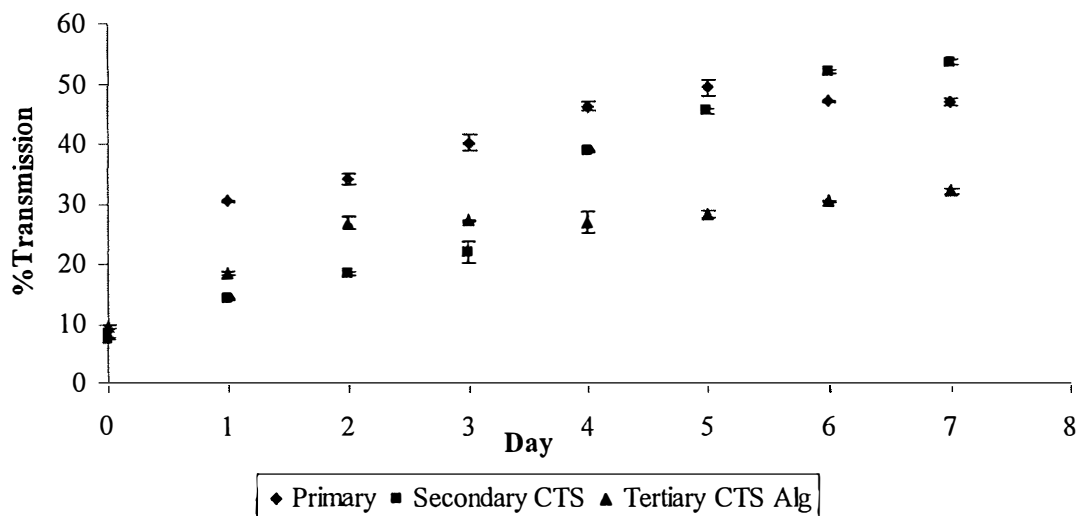
1.2.3 ศึกษาความเสถียรของอิมัลชันที่เตรียมได้

จากการศึกษาความเสถียรของมัลติเลเยอร์อิมัลชันที่เตรียมจาก เคซีน-โคโตซาน-อัลจินเนต-PDAD ได้ผลการทดลองดังกราฟที่ 1.2 ซึ่งเมื่อพิจารณาสามารถสรุปได้ว่า มัลติเลเยอร์อิมัลชันที่เตรียมได้มีความเสถียรมากกว่า primary emulsion เมื่อเปรียบเทียบระยะเวลาการเก็บที่เท่ากัน และเมื่อเปรียบเทียบมัลติเลเยอร์ที่มีจำนวนชั้นต่างกันจะเห็นได้ว่า เมื่อจำนวนชั้นมากขึ้นความเสถียรก็เพิ่มขึ้นเช่นกัน ซึ่งสามารถเห็นผลได้ชัดเจนมากขึ้นในวันที่หกและเจ็ดของการทดลอง

ในวันที่เจ็ดค่า %transmission ของ primary, secondary, tertiary, และ quaternary emulsion มีค่า 46.91, 32.94, 25.47 และ 16.24 ตามลำดับ ซึ่งเมื่อเปรียบเทียบกับ primary emulsion การเตรียมเป็นมัลติเลเยอร์อิมัลชันสามารถเพิ่มความเสถียรได้ถึง 30, 46 and 65% สำหรับ primary, secondary, tertiary, และ quaternary emulsion ตามลำดับ ซึ่งอาจเป็นผลมาจากฟิล์มมีความหนาแน่นมากขึ้นดังนั้นลดความแตกต่างของความหนาแน่นระหว่างเฟสน้ำมันและ emulsifying solution ซึ่งป้องกันการแยกตัวของน้ำมัน



กราฟที่ 1.4 ความเสถียรของ primary emulsion (เคซีน emulsifier), secondary emulsion (เคซีน-PDAD), tertiary emulsion (เคซีน-PDADMAC-alginate) และ quaternary emulsion (เคซีน-PDADMAC-alginate-PDADMAC) ณ pH 6



กราฟที่ 1.5 ความเสถียรของ primary emulsion (เคซีน emulsifier), secondary emulsion (เคซีน-ไคโตซาน) และ tertiary emulsion (เคซีน-ไคโตซาน-alginate) ณ pH 6

ในกรณีใช้เคซีนในการเตรียม secondary emulsion นั้นพบผลการทดลองแนวโน้มเดียวกัน คือเมื่อจำนวนชั้นเคลือบเพิ่มขึ้น อิมัลชันมีความเสถียรมากขึ้น ค่า %transmission หลังจากดำเนินการทดลอง 7 วัน พบว่า tertiary emulsion ที่เคลือบด้วยเคซีน ไคโตซานและอัลจิเนต สามารถเพิ่มความเสถียรได้ 32% เมื่อเปรียบเทียบกับ primary emulsion เมื่อทำการเปรียบเทียบระหว่างระบบที่เตรียม secondary emulsion ใช้ไคโตซาน และ PDAD พบว่า secondary emulsion ในระบบของไคโตซานมีความเสถียรน้อยกว่าซึ่งอาจเนื่องจากความหนาแน่นของประจุบนไคโตซานมีค่าน้อยกว่าเมื่อเปรียบเทียบกับ PDAD จึงมีแรงผลักระหว่างหยดอิมัลชันที่น้อยกว่า

1.3 สรุปผลการทดลอง

ในปีนี้นักวิจัยสามารถเตรียม tertiary emulsion ที่มีชั้นเคซีน-PDAD- อัลจิเนต และที่มีชั้น เคซีน-chitosan-อัลจิเนต ได้ซึ่งพบว่าขนาดของ tertiary emulsion ที่มีโคโคซานเป็นองค์ประกอบในฟิล์มเท่ากับ $1092.7 (\pm 65.7)$ nm ซึ่งมีขนาดใหญ่กว่าที่เตรียม โดยใช้ PDAD (589.5 nm) มัลติเลเยอร์อิมัลชันที่เตรียมได้สามารถลดอัตราการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันเนื่องจากชั้นเคลือบที่หนาขึ้น เมื่อเปรียบเทียบกับ primary emulsion[8] และชั้นนอกสุดของมัลติเลเยอร์อิมัลชันมีประจุเป็นบวก (secondary emulsion) จะสามารถลดการเกิดปฏิกิริยาการเกิดออกซิเดชัน ได้ดีกว่าเมื่อชั้นนอกสุดมีประจุลบ (tertiary emulsion) ซึ่งเป็นผลมาจากการผลักกันระหว่างประจุบนพื้นผิวของมัลติเลเยอร์อิมัลชันกับแคทไอออนที่เป็นตัวเร่งของปฏิกิริยา ถึงแม้ว่าจะมีความหนาของฟิล์มมากกว่า⁶⁻⁷ สำหรับ quaternary emulsion ที่เคลือบด้วย PDAD-อัลจิเนต-PDAD นั้นสามารถลดการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันได้เนื่องจากประจุชั้นนอกที่เป็นบวกและมีความหนาของฟิล์มที่มากขึ้น เมื่อพิจารณาความเสถียรสามารถสรุปได้ว่า มัลติเลเยอร์อิมัลชันมีความเสถียรมากกว่า primary emulsion เมื่อศึกษาความเสถียรต่อการเกิดคริมของอิมัลชันเคลือบสอง, สาม และสี่ชั้น พบว่าอิมัลชันเหล่านี้เกิดคริม ได้น้อยกว่าอิมัลชันปฐมภูมิถึง 29.8, 45.7 และ 65.4% ตามลำดับ

ส่วนที่ 2

พัฒนาเสถียรภาพของฟิล์มบางที่มีการเติมเกลือแร่ลงไป

ในปีนี้ผู้วิจัยศึกษาปริมาณการหลุดออกของเกลือแร่ที่เติมลงไปในฟิล์ม และวิธีการป้องกันการหลุดออกของเกลือแร่ที่ใส่เข้าไปในฟิล์มโดยอาศัยการเกิด crosslink ระหว่างโมเลกุลพอลิเมอร์กับไอออน โดยเลือกศึกษาเฟอร์รัสไอออนเป็นสารเริ่มต้นเนื่องจากสามารถติดตามได้ง่ายกว่าเกลือแร่ชนิดอื่นๆ โดยอาศัยการเกิดสารประกอบเชิงซ้อนสีแดงของ $[Fe(SCN)]^{2+}$

2.1 วิธีการทดลอง

2.1.1 ศึกษาอิทธิพลของชนิดและความเข้มข้นของสารละลายพอลิเมอร์ต่อการหลุดออกของ Fe^{2+} ไอออน และเสถียรภาพของฟิล์มต่อน้ำ

- เตรียมสารละลายเจลาติน (5% และ 10% w/w) ไคโตซาน (1% และ 2% w/w) และอัลจิเนต (2% และ 4% w/w)
- ผสมสารละลายพอลิเมอร์แต่ละชนิด ในแต่ละความเข้มข้นกับสารละลาย 0.0537 M ferric ammonium citrate ในอัตราส่วน 5 g ต่อ 0.1 mL (พอลิเมอร์ต่อเหล็ก)
- เทสารละลายผสม 2 g ใส่ในงานเพาะเชื้อ ที่งไว้ให้สารละลายผสมแห้งเป็นฟิล์ม (2 ชุดการทดลอง ต่อ 1 ภาวะ)
- เติมน้ำกลั่น 10 mL ลงในงานเพาะเชื้อข้างต้น ทำการดูดเก็บสารละลาย 1 mL ที่เวลา 5, 10, 15, 20, 25 และ 30 นาทีหลังการเติมน้ำกลั่น นำสารละลายตัวอย่างมาเติมด้วยสารละลาย 0.1 M HCl และ 0.1 M NH_4SCN อย่างละ 1 mL ตามลำดับ
- วิเคราะห์ปริมาณของเหล็กด้วยวิธีการวัดค่าการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 470 nm

2.1.2 ศึกษาการเพิ่มเสถียรภาพของฟิล์ม โดยอาศัยการเกิด crosslink บนผิวของฟิล์ม

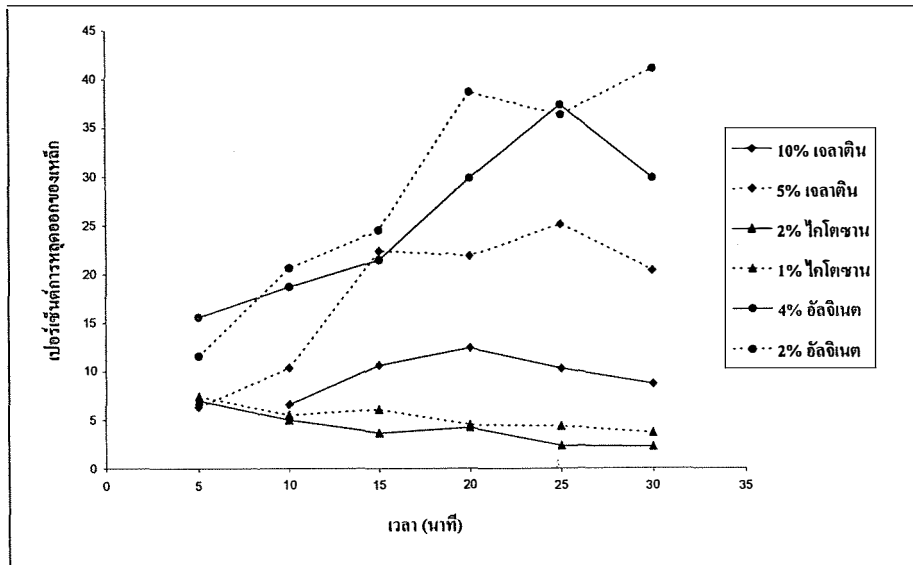
งานวิจัยในส่วนนี้จะศึกษาการเกิด crosslink ของไคโตซาน ส่วนเจลาตินจะไม่ทำการศึกษาเพราะในปัจจุบันยังไม่มีรีเอเจนต์ที่เหมาะสมในทางอาหารสำหรับใช้ในการเกิด crosslink

- เตรียมสารละลายไคโตซาน (1% และ 2% w/w)
- ผสมสารละลายพอลิเมอร์ในแต่ละความเข้มข้นด้วยสารละลาย 0.0537 M ferric ammonium citrate ในอัตราส่วน 5 g ต่อ 0.1 mL (น้ำหนักพอลิเมอร์ต่อปริมาตรของ ferric ion)
- แบ่งสารละลายผสม 2 g ใส่ในงานเพาะเชื้อ ที่งไว้ให้สารละลายผสมแห้งเป็นฟิล์ม (2 ชุดการทดลอง ต่อ 1 ภาวะ)
- เติมสารละลาย 0.1 M sodium citrate ลงในงานเพาะเชื้อที่มีฟิล์มที่เตรียมไว้ในแต่ละแผ่น
- เติมน้ำกลั่น 10 mL ลงบนฟิล์มที่แห้งแล้ว ทำการดูดเก็บสารละลาย 1 mL ที่เวลา 5, 10, 15, 20, 25 และ 30 นาทีหลังการเติมน้ำกลั่น นำสารละลายตัวอย่างมาเติมด้วยสารละลาย 0.1 M HCl และ 0.1 M NH_4SCN อย่างละ 1 mL ตามลำดับ
- นำสารละลายไปวิเคราะห์ปริมาณของเหล็กด้วยวิธีการวัดค่าการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 470 nm

2.2 ผลการทดลอง

2.2.1 ศึกษาอิทธิพลของชนิดและความเข้มข้นของสารละลายพอลิเมอร์ และระยะเวลาที่ฟิล์มสัมผัสกับ น้ำต่อการหลุดออกของ Fe^{2+} และเสถียรภาพของฟิล์มบางต่อน้ำ

ในการศึกษาครั้งนี้เตรียมฟิล์มเจลาติน ไคโตซาน และอัลจินต ที่เติมเหล็กลงไป แล้วทำการทดสอบปริมาณเหล็กที่หลุดออกจากฟิล์มด้วยสารละลาย NH_4SCN ซึ่งสามารถคำนวณเปอร์เซ็นต์การหลุดออกของเหล็กได้ดังกราฟที่ 1 และลักษณะทางกายภาพของฟิล์มหลังการสัมผัสน้ำเป็นเวลา 30 นาทีแสดงดังตารางที่ 1



กราฟที่ 2.1 แสดงผลของชนิดและความเข้มข้นของสารละลายพอลิเมอร์ที่ใช้เตรียมฟิล์มบางและระยะเวลาที่ฟิล์มสัมผัสกับน้ำต่อเปอร์เซ็นต์การหลุดออกของเหล็ก

ตารางที่ 2.1 ผลการสังเกตลักษณะทางกายภาพของฟิล์มแต่ละชนิดหลังการสัมผัสน้ำเป็นเวลา 30 นาที

ชนิดพอลิเมอร์	ความเข้มข้น (% w/v)	ลักษณะทางกายภาพของฟิล์มหลังการสัมผัสน้ำเป็นเวลา 30 นาที
เจลาติน	10	ฟิล์มละลายน้ำ
	5	ฟิล์มละลายน้ำบางส่วน
ไคโตซาน	2	ฟิล์มบวมคล้ายวุ้นใส
	1	ฟิล์มบวมคล้ายวุ้นใส
อัลจินต	4	ฟิล์มละลายน้ำได้มาก
	2	ฟิล์มละลายน้ำได้มาก

จากกราฟที่ 2.1 เมื่อพิจารณาที่เวลาเดียวกันพบว่า ชนิดของพอลิเมอร์ที่ใช้เตรียมฟิล์มมีผลต่อเปอร์เซ็นต์การหลุดออกของเหล็ก ในที่นี้เปอร์เซ็นต์การหลุดออกของเหล็กจากฟิล์มที่เตรียมจาก อัลจินต > เจลาติน > ไคโตซาน ซึ่งผลการทดลองนี้สอดคล้องกับเสถียรภาพของฟิล์มหลังการสัมผัสน้ำ จากตารางที่ 2.1 พบว่าความสามารถ

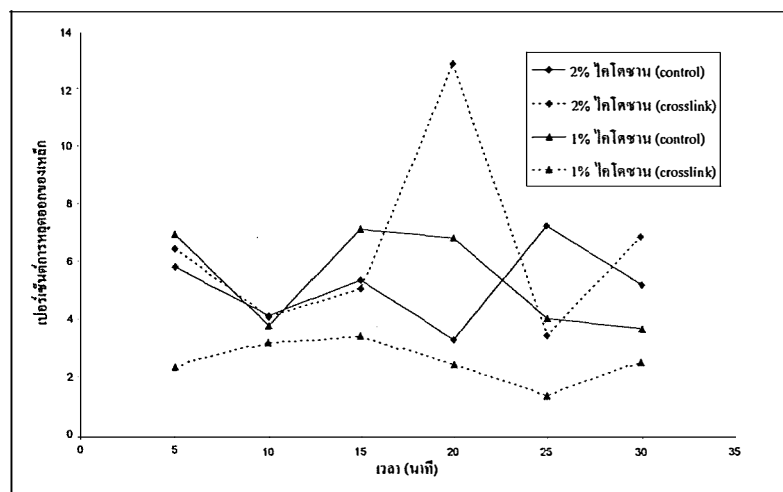
ในการละลายน้ำของฟิล์มที่เตรียมจาก อัลจินเต > เจลาติน > ไคโตซาน กล่าวคือฟิล์มที่มีเสถียรภาพต่ำหรือสามารถละลายน้ำได้มากส่งผลให้เฟอร์ลไอออนละลายกลับออกมาได้มาก

เมื่อพิจารณาพอลิเมอร์ชนิดเดียวกันและที่เวลาเดียวกันพบว่า ความเข้มข้นของสารละลายพอลิเมอร์ที่ใช้เตรียมฟิล์มมีผลต่อเปอร์เซ็นต์การหลุดออกของเหล็ก โดยพบว่าฟิล์มที่เตรียมจากสารละลายเจลาติน และอัลจินเต ที่ความเข้มข้นสูงจะให้ค่าเปอร์เซ็นต์การหลุดออกของเหล็กต่ำกว่าฟิล์มที่เตรียมที่ความเข้มข้นต่ำ ในกรณีของฟิล์มที่เตรียมจาก ไคโตซานพบว่าผลการทดลองไม่แตกต่างกัน เนื่องจากไคโตซานมีความสามารถในการละลายน้ำไม่ดีถึงแม้ว่าจะสัมผัสกับน้ำเป็นเวลา 30 นาที

จากผลการทดลองในส่วนนี้สามารถสรุปได้ว่า เสถียรภาพหรือความสามารถในการละลายน้ำของพอลิเมอร์ที่ใช้เตรียมฟิล์มเป็นตัวแปรสำคัญต่อการหลุดออกของเหล็ก ดังนั้นผู้วิจัยจึงมุ่งหาแนวทางในการเพิ่มเสถียรภาพของฟิล์มเพื่อลดการหลุดออกของเหล็ก รวมถึงเกลือแร่ชนิดอื่นๆ ให้มากที่สุดต่อไป

2.2.2. ศึกษาการเพิ่มเสถียรภาพของฟิล์มโดยอาศัยการเกิด crosslink บนผิวของฟิล์ม

จากผลการทดลองข้างต้นจะเห็นได้ว่าเกลือแร่ที่เติมลงไปสามารถหลุดออกได้ ดังนั้นจึงได้ทำการ cross link ไคโตซานฟิล์มด้วย sodium citrate ดำเนินการทดลองดังข้างต้น ได้ผลการทดลองดังกราฟที่ 2.2



กราฟที่ 2.2 แสดงการเปรียบเทียบค่าเปอร์เซ็นต์การหลุดออกของเหล็กที่ระยะเวลาการสัมผัสน้ำต่างๆ ของฟิล์มที่เตรียมจาก ไคโตซานที่ผ่านการ cross link (crosslink) และไม่ผ่านการ cross link (control)

ตารางที่ 2.2 ผลการสังเกตลักษณะทางกายภาพของฟิล์มแต่ละชนิดก่อนและหลังการสัมผัสน้ำเป็นเวลา 30 นาที

ความเข้มข้นของสารละลายไคโตซานที่ใช้ (% w/w)		ลักษณะทางกายภาพของฟิล์ม	
		ก่อนสัมผัสน้ำ	หลังสัมผัสน้ำ 30 นาที
2	control	มัวเล็กน้อย	ฟิล์มบวมคล้ายวุ้นใส
	crosslink	ค่อนข้างมัว	ฟิล์มยังคงสภาพเป็นแผ่น
1	control	มัวเล็กน้อย	ฟิล์มบวมคล้ายวุ้นใส
	crosslink	ค่อนข้างมัว	ฟิล์มยังคงสภาพเป็นแผ่น

จากกราฟที่ 2.2 สรุปได้ว่าการเกิด crosslink ระหว่างไคโตซานกับ citrate ion ไม่ส่งผลต่อเปอร์เซ็นต์การหลุดออกของเหล็กเมื่อเทียบกับในกรณีที่ไม่เกิด crosslink แต่การเกิด crosslink ส่งผลต่อเสถียรภาพของฟิล์มดังตารางที่ 2.2 กล่าวคือ การเกิด crosslink ทำให้ฟิล์มมีโครงสร้างที่แข็งแรงขึ้นจึงยังคงสภาพเป็นแผ่นฟิล์มได้โดยไม่เกิดการบวม แม้ผ่านการสัมผัสน้ำเป็นเวลา 30 นาที ซึ่งต้องทำการทดสอบเพิ่มเติมโดยเพิ่มเวลาในการจุ่มฟิล์มในน้ำเพื่อตรวจสอบให้ชัดเจนมากขึ้น

2.3 สรุปผลการทดลอง

ในงานวิจัยส่วนนี้ได้พัฒนาฟิล์มที่ป้องกันการหลุดออกของเฟอร์ไรต์ไอออนพบว่าไคโตซานฟิล์มมีการหลุดออกของไอออนน้อยที่สุดเนื่องจากเกิดการละลายกลับได้น้อยที่สุด และความเข้มข้นที่เหมาะสมได้แก่ 1 และ 2% และเมื่อทำให้เกิดปฏิกิริยา crosslink ในฟิล์มพอลิเมอร์มีแนวโน้มในการลดการหลุดออกได้ แต่ต้องทำการศึกษาต่อไปโดยขยายเวลาในการทดลองให้มากขึ้น

ส่วนที่ 3

การศึกษาผลของฟิล์มที่เคลือบบนผิวผลไม้ต่อการยืดอายุของผลิตภัณฑ์

ในงานวิจัยส่วนนี้ คณะผู้วิจัยศึกษาผลของการเคลือบพื้นผิวผลไม้ด้วยพอลิเมอร์ชีวภาพต่ออายุการเก็บรักษา จุดประสงค์ของงานวิจัยส่วนนี้คือ ศึกษาสมบัติของผลไม้ที่เคลือบด้วยสารละลายพอลิเมอร์ชีวภาพที่มีต่อการกักเก็บน้ำเมื่อเทียบกับผลไม้ที่ไม่ได้เคลือบด้วยสารละลายพอลิเมอร์ชีวภาพ

ผลไม้ที่ใช้ในการศึกษาค้างนี้ประกอบด้วย ฝรั่ง แอปเปิ้ลเขียว มะเขือเทศ แอปเปิ้ลแดง และมะม่วง เคลือบด้วยพอลิเมอร์ทางชีวภาพ สารละลายพอลิเมอร์ชีวภาพที่ใช้คือ โคลโคซาน ซึ่งพบมากในอุตสาหกรรมกึ่งไทย โคลโคซานมีสมบัติที่สามารถเตรียมเป็นแผ่นฟิล์มได้ และฟิล์มที่เตรียมได้พบว่าน้ำและความชื้นสามารถซึมผ่านได้ ในการศึกษาค้างนี้ ทำการศึกษาถึงผลของตัวแปรต่างๆ ต่ออายุของผลิตภัณฑ์นั้น โดยติดตามจากน้ำหนักของผลไม้ที่เปลี่ยนแปลงในระยะเวลาที่ดำเนินการทดลอง ตัวแปรที่ทำการศึกษาได้แก่ ผลของความเข้มข้น และน้ำหนักโมเลกุลของโคลโคซาน และผลของพันธะเชื่อมโยงระหว่างโคลโคซานกับ sodium citrate นอกจากนี้คณะผู้วิจัยได้ทำการพัฒนาวิธีการตัดแปรพื้นผิวของผลไม้ให้มีความชอบน้ำเพื่อให้สามารถเคลือบด้วยโคลโคซานได้ดีขึ้น ทั้งนี้ผลงานวิจัยส่วนนี้ได้อยู่ในขั้นตอนการขอจดสิทธิบัตรกับทางมหาวิทยาลัยแล้ว ดังนั้นคณะผู้วิจัยจึงมีความจำเป็นในการส่งมอบข้อมูลที่สำคัญจึงมิได้เขียนไว้ในรายงานนี้

3.1 วิธีการทดลอง

3.1.1 ศึกษาผลของตัวแปรที่ใช้ในการเตรียมฟิล์มโคลโคซานต่อการยืดอายุของผลฝรั่ง

ในขั้นต้นนำผลไม้สดที่มาจากตลาดในประเทศไทย ล้างทำความสะอาดด้วยสบู่และน้ำเปล่าให้สะอาด และผึ่งให้แห้ง จากนั้นทำการจุ่มผลไม้ลงในสารละลายพอลิเมอร์โคลโคซานในภาวะการทดลองต่างๆ เป็นเวลา 5 นาที ปลดปล่อยให้แห้ง ชั่งน้ำหนักทุกวัน ทำการติดตามผลเป็นเวลา 7 วัน ทำซ้ำจำนวน 3 ตัวอย่าง และเปรียบเทียบกับฝรั่งที่ไม่ได้เคลือบด้วยโคลโคซานฟิล์ม

3.1.1.1 ผลของความเข้มข้นต่อการยืดอายุของผลิตภัณฑ์

คณะผู้วิจัยเลือกใช้ 2% และ 4% (w/v) โคลโคซาน เนื่องจากที่ความเข้มข้นต่ำกว่านี้ ฟิล์มที่เตรียมได้ไม่สามารถเคลือบพื้นผิวของผลไม้ได้ทั่วถึง และเมื่อใช้ความเข้มข้นมากกว่า 4% พบว่าใช้เวลานานในการทำให้แห้ง

3.1.1.2 ผลของน้ำหนักโมเลกุลต่อการยืดอายุของผลิตภัณฑ์

ในการศึกษาค้างนี้ใช้โคลโคซานที่มี molecular weight เท่ากับ 57,000, 100,000 และ 800,000 g/mol

3.1.1.3 ผลของการเกิดปฏิกิริยา cross link ต่อการยืดอายุของผลิตภัณฑ์

ในการศึกษานี้ใช้ molecular weight ของโคลโคซานเท่ากับ 57000 ความเข้มข้น 2% โดยใช้ sodium citrate ความเข้มข้น 1% เป็นสาร crosslink reagent

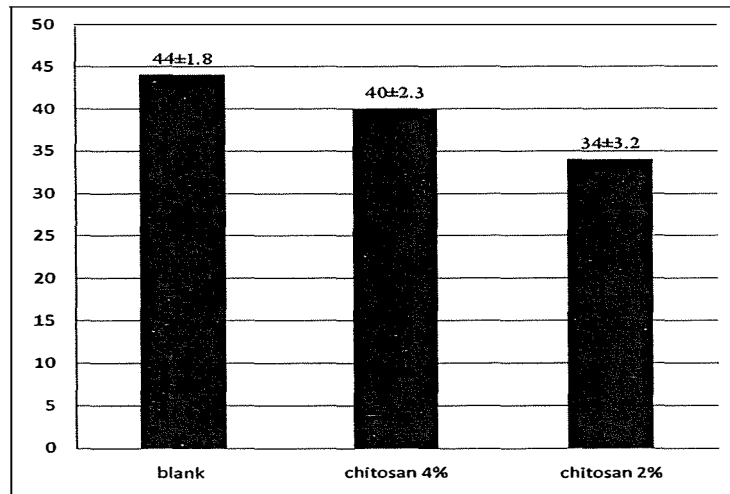
3.1.2 การตัดแปรพื้นผิวของผลไม้ด้วยฟิล์มบางระดับนาโน

ทำการเตรียมผลไม้เช่นเดียวกับการทดลองใน 3.1.1 ทำการเคลือบผิวผลไม้ด้วยสารละลายพอลิเอ็กไทโรไลต์ด้วยการจุ่มลงในสารละลายพอลิเอ็กไทโรไลต์เป็นเวลา 5 นาที แล้วนำผลไม้ดังกล่าวล้างด้วยน้ำกลั่น ซึ่ง

จากขั้นตอนข้างต้นจะนับเป็น 1 ชั้น และดำเนินการทดลองซ้ำเพื่อเคลือบผิวด้วยผลไม้ด้วยพอลิเอ็กโทโรไลต์อีกชั้นหนึ่ง ทำซ้ำกันหลายๆ ครั้งจะได้ฟิล์มบางหลายชั้นเคลือบอยู่บนผิวของผลไม้ที่ต้องการ

3.2 ผลการทดลอง

3.2.1 ศึกษาผลของความเข้มข้นของไคโตซาน



กราฟที่ 3.1 แสดงผลของความเข้มข้นของไคโตซาน (2 และ 4% w/v) ที่มีผลต่อการสูญเสียน้ำหนักของผลฝรั่ง

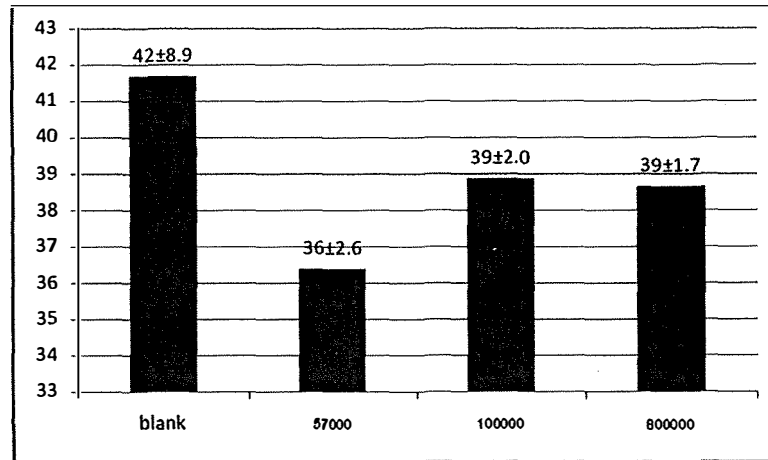
ในการศึกษาครั้งนี้ คณะผู้วิจัยรายงานค่า percent weight loss เป็นค่าที่บ่งบอกถึงการสูญเสียน้ำ ซึ่งถ้าผลิตภัณฑ์เสียน้ำมากจะทำให้ผลิตภัณฑ์นั้นมีอายุสั้นเร็วกว่าผลิตภัณฑ์ที่มีอัตราการสูญเสียน้ำน้อยกว่า โดยค่า percent weight loss สามารถคำนวณจากสมการข้างล่าง

$$\text{percent weight loss} = (\text{น้ำหนักของผลไม้ก่อน} - \text{น้ำหนักของผลไม้หลัง}) \times 100 / \text{น้ำหนักของผลไม้ก่อน}$$

จากกราฟที่ 3.1 พบว่าการเคลือบด้วยไคโตซานที่ความเข้มข้นสูงๆ ไม่ใช่สถานะที่เหมาะสมเนื่องจากการสูญเสียน้ำมากกว่าเมื่อเตรียมฟิล์มโดยใช้ 2% ไคโตซาน และเมื่อทำการตรวจสอบลักษณะพื้นผิวของผลไม้ด้วยกล้องจุลทรรศน์พบว่า ฟิล์มเคลือบที่เตรียมด้วยไคโตซาน 4% เกิดรอยแตกซึ่งคาดว่าเกิดจากฟิล์มแห้งในอัตราที่ไม่เท่ากันทั้งแผ่น ซึ่งเป็นผลมาจากสารละลายมีความหนืดมากเกินไป นอกจากนี้จะเห็นได้ว่าการสูญเสียน้ำหนักของผลไม้ที่เคลือบด้วยไคโตซาน 2% มีค่าน้อยกว่าประมาณ 10% เมื่อเทียบกับผลไม้ที่ไม่ได้เคลือบ

3.2.2 ผลของน้ำหนักโมเลกุลของไคโตซาน

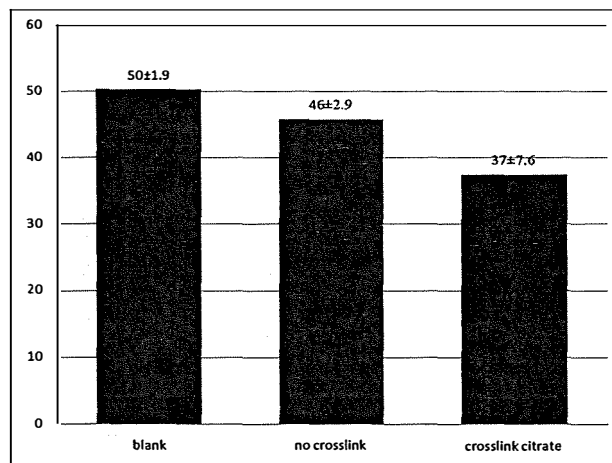
น้ำหนักโมเลกุลของไคโตซานที่แตกต่างกันมีผลต่อความหนืดของสารละลายซึ่งมีผลโดยตรงต่อสมบัติของฟิล์มไคโตซาน จากการศึกษาพบว่าผลไม้ที่เคลือบด้วยฟิล์มไคโตซานที่มีน้ำหนักโมเลกุลน้อยที่สุดสามารถลดการสูญเสียน้ำหนักได้ดีที่สุด



กราฟที่ 3.2 แสดงผลของฟิล์มที่เตรียมจาก โคลโตซานที่มีน้ำหนัก โมเลกุลต่างกันต่อการสูญเสียน้ำหนักของฝรั่ง (4% โคลโตซาน)

3.2.3 ศึกษาผลของพันธะเชื่อมโยงระหว่างโคลโตซานกับ sodium citrate

คณะผู้วิจัยได้ศึกษาผลของการทำ crosslink ของโคลโตซาน โดยสารเคมีที่สามารถเกิดปฏิกิริยากับโคลโตซานได้แก่ tri polyphosphate, sodium citrate และ sodium sulfate ซึ่งในอุตสาหกรรมอาหารนิยมใช้ sodium citrate ในการเชื่อมพันธะกับโคลโตซาน ดังนั้นในการศึกษารุ่นนี้จึงเลือกใช้ sodium citrate

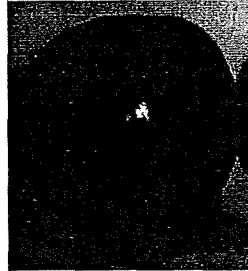


กราฟที่ 3.3 แสดงผลของการเกิดปฏิกิริยา crosslink กับ percent weight loss โดย blank: ฝรั่งที่ไม่ได้เคลือบด้วยฟิล์มโคลโตซาน; no crosslink: ฝรั่งที่เคลือบด้วยฟิล์มโคลโตซานแต่ไม่มีการทำ crosslink; cross citrate: ฝรั่งที่เคลือบด้วยฟิล์มโคลโตซานที่มีการเติม sodium citrate

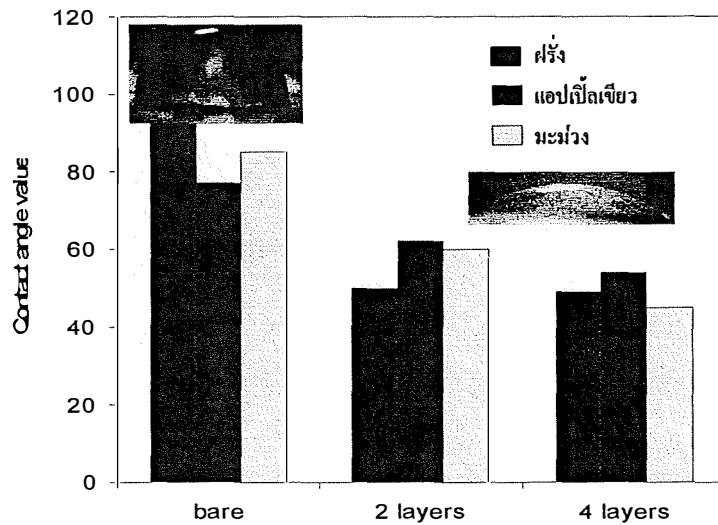
จากกราฟที่ 3.3 เห็นได้ว่าการสูญเสียของฟิล์มโคลโตซานที่เกิดปฏิกิริยา crosslink ด้วย sodium citrate (37%±7) มีค่าน้อยกว่าผลไม้ที่เคลือบด้วยโคลโตซานที่ไม่ได้ทำการ crosslink (46%±3) และผลไม้ที่ไม่เคลือบ (50%±2) แต่อย่างไรก็ตามไม่เห็นความแตกต่างที่ชัดเจนซึ่งอาจจะต้องขยายเวลาในการดำเนินการทดลองที่ยาวขึ้น

3.2.4 การตัดแปรพื้นผิวของผลไม้ด้วยฟิล์มบางระดับนาโน

คณะผู้วิจัยมุ่งศึกษาวิธีการเพิ่มอายุของผลิตภัณฑ์ให้มากขึ้น จึงได้พัฒนาวิธีการตัดแปรพื้นผิวของผลไม้ ก่อนที่จะเคลือบด้วยไคโตซาน เนื่องจากคณะผู้วิจัยได้ศึกษาถึงคุณภาพการเคลือบของฟิล์มไคโตซานที่เคลือบบนผิวผลไม้ โดยการจุ่มลงในสารละลายไคโตซานที่มีสีขมอยู่ ซึ่งจากรูปที่ 3.1 จะเห็นได้ถึงความไม่สม่ำเสมอของฟิล์มเคลือบที่เตรียมจากไคโตซานบนผิวผลไม้ซึ่งไม่สามารถสังเกตได้ด้วยตาเปล่า เนื่องจากฟิล์มมีความโปร่งแสงและมีความหนาเพียง 100 ไมครอน ซึ่งปัญหานี้คาดว่าเกิดจากพื้นผิวของผลไม้ไม่มีคุณสมบัติที่ไม่ชอบน้ำ (hydrophobic) ดังนั้นไคโตซานที่จึงไม่สามารถเคลือบบนผิวของผลไม้ได้ทั่วถึง ซึ่งอาจจะมีผลต่อคุณสมบัติของฟิล์มที่ต้องการพัฒนาขึ้น

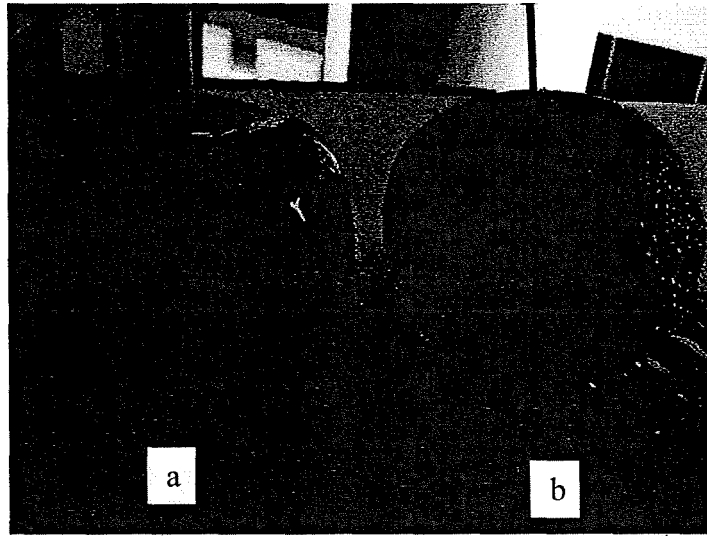


ดังนั้นในการวิจัยส่วนนี้จึงศึกษาวิธีการปรับปรุงคุณสมบัติความไม่ชอบน้ำของพื้นผิวของผลไม้ให้มีค่าน้อยลง โดยใช้เทคนิคการเคลือบผิวของผลไม้ด้วยสารพอลิเอ็กโทโรไลต์ เมื่อจุ่มผลไม้ลงในสารละลายพอลิเอ็กโทโรไลต์ พอลิเอ็กโทโรไลต์นี้จะไปเคลือบเป็นฟิล์มอยู่บนผิวของผลไม้ ซึ่งเพิ่มคุณสมบัติความชอบน้ำของพื้นผิวผลไม้ โดยดูได้จากมุมสัมผัสของหยดน้ำที่ลดลง และเมื่อเพิ่มจำนวนรอบของการจุ่มให้มากขึ้น ถือว่าเป็นการเพิ่มจำนวนชั้นของพอลิเอ็กโทโรไลต์ ส่งผลให้คุณสมบัติความชอบน้ำเพิ่มขึ้นเรื่อยๆ ตามจำนวนชั้นที่มากขึ้น

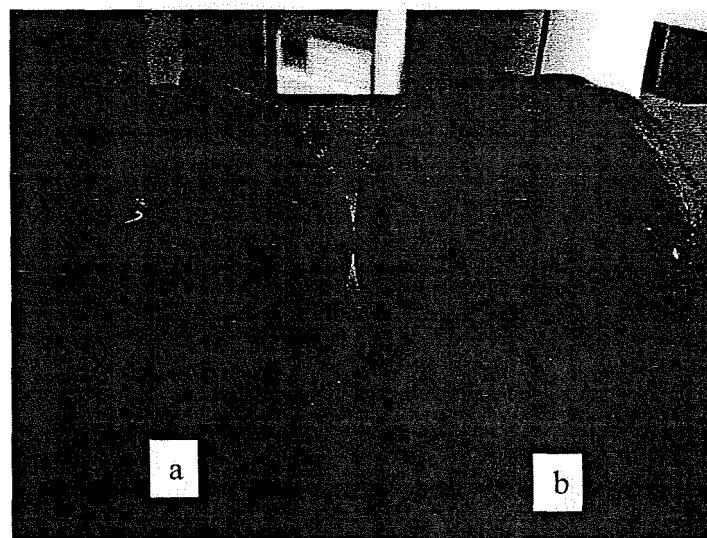


จากรูปที่ 3.1 จะเห็นได้ว่าเมื่อทำการพ่นน้ำบนผิวแอปเปิ้ลทั้งสองตัวอย่าง จะเห็นได้ว่าพื้นผิวของแอปเปิ้ลที่ไม่ผ่านการเคลือบนั้น มีหยดน้ำเล็กๆ เกาะบนผิวผลไม้ได้อย่างชัดเจน ซึ่งเป็นผลมาจากคุณสมบัติความไม่ชอบ

น้ำของผิวแอปเปิ้ล เมื่อเปรียบเทียบกับแอปเปิ้ลที่ผ่านการเคลือบด้วยฟิล์มพอลิเอทิลีน ไทโกลด์ที่มีความหนา 8 ชั้น พบว่าพื้นผิวแอปเปิ้ลมีความชอบน้ำมากขึ้นจึงสามารถเกิดอันตรกิริยาที่ติดกับน้ำที่พ่นลงไปได้ จึงไม่เกิดเป็นหยดน้ำ โดยผลการทดลองเช่นเดียวกันสามารถเห็นได้จากผลฝรั่ง (รูปที่ 3.2) เช่นเดียวกัน

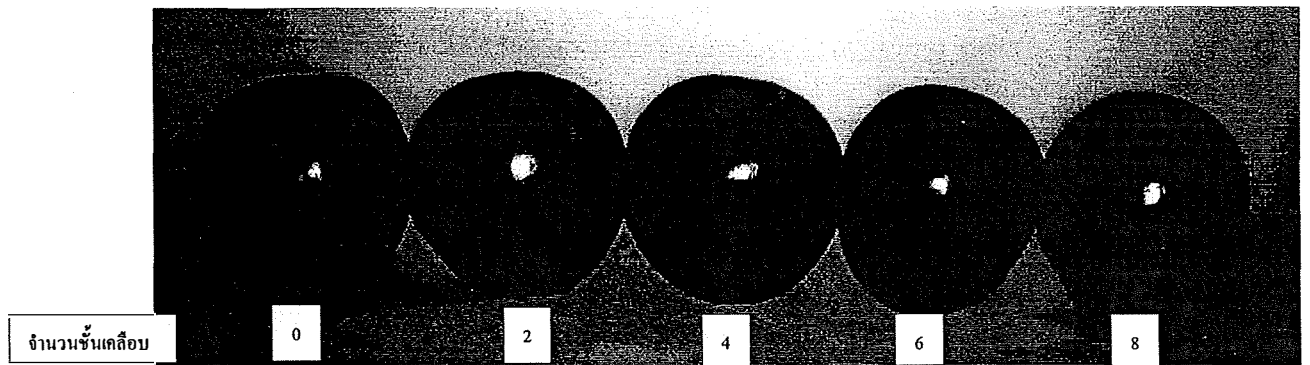


รูปที่ 3.1 ผลแอปเปิ้ลแดง (a) เคลือบด้วยพอลิเอทิลีน ไทโกลด์ จำนวน 8 ชั้นเคลือบ และ (b) แอปเปิ้ลแดงที่ไม่ผ่านการเคลือบ



รูปที่ 3.2 ผลฝรั่ง (a) เคลือบด้วยพอลิเอทิลีน ไทโกลด์ จำนวน 8 ชั้นเคลือบ และ (b) ฝรั่งที่ไม่ผ่านการเคลือบ

การทดสอบประสิทธิภาพการเคลือบของพอลิเมอร์ชีวภาพบนผลไม้ ได้แสดงไว้ในรูปที่ 3.3 ซึ่งเห็นได้ว่าแอปเปิ้ลที่มีได้ผ่านการเคลือบด้วยฟิล์มพอลิเอทิลีน ไทโกลด์ (จำนวนชั้นเคลือบเท่ากับ 0) ไคโตซานไม่สามารถเคลือบได้ทั่วถึง ซึ่งแตกต่างจากการเคลือบของพอลิเมอร์ชีวภาพบนผลไม้ที่ผ่านการเคลือบผิวด้วยฟิล์มดังกล่าว ก่อน ซึ่งพบว่าสามารถเคลือบได้ทั่วถึงและมีประสิทธิภาพดีขึ้น เมื่อทำการเคลือบพอลิเมอร์ชีวภาพบนผลไม้ที่ผ่านการตัดแปรด้วยการเคลือบฟิล์มพอลิเอทิลีน ไทโกลด์ที่มีความหนา 2, 4, 6, 8 ชั้นตามลำดับ พบว่าพอลิเมอร์ชีวภาพนี้สามารถเคลือบได้ดีขึ้นตามลำดับ



รูปที่ 3.3 ภาพเปรียบเทียบแสดงผลของจำนวนชั้นของฟิล์มพอลิเอทิลีน ไทโกลด์ต่อประสิทธิภาพของการเคลือบผิวผลไม้ด้วยพอลิเมอร์ชีวภาพ

3.3 สรุปผลการทดลอง

ในงานวิจัยส่วนนี้ทำการพัฒนาฟิล์มที่เตรียมจากไบโอพอลิเมอร์และมีคุณสมบัติในการยืดอายุของผลไม้ได้ โดยทำการติดตามซังน้ำหนักของน้ำที่ลดลงเปรียบเทียบกับผลไม้ที่ไม่ได้เคลือบฟิล์ม ในการศึกษาปีนี้เลือกเตรียมฟิล์มไคโตซาน จากการศึกษาพบว่า ความเข้มข้นน้อย (2%) ซึ่งเตรียมจากไคโตซานที่มีน้ำหนักโมเลกุลน้อยที่สุด (58,000 g/mol) สามารถลดการสูญเสียน้ำหนักได้ 10% และผลของการเกิดปฏิกิริยา crosslink ด้วย sodium citrate ต่อการยืดอายุของผลิตภัณฑ์นั้นยังไม่ค่อยชัดเจน ต้องทำการทดลองในระยะเวลาที่นานขึ้น

นอกจากนี้คณะผู้วิจัย ได้พัฒนาวิธีการตัดแปรพื้นผิวของผลไม้จากพื้นผิวที่มีความชอบน้ำต่ำเป็นพื้นผิวที่มีความชอบน้ำมากขึ้น ซึ่งส่งผลให้ไคโตซานสามารถเคลือบเป็นฟิล์มได้ทั่วถึงขึ้น ทำโดยเคลือบพื้นผิวผลไม้ด้วยสารละลายพอลิเอทิลีน ไทโกลด์เป็นชั้นๆ ทำการตรวจสอบคุณสมบัติความชอบน้ำของพื้นผิวที่เปลี่ยนไปโดยวัดค่ามุมสัมผัสของน้ำบนพื้นผิวที่ตัดแปร พบว่าเมื่อเคลือบพื้นผิวผลไม้ด้วยจำนวน 8 ชั้น พื้นผิวผลไม้มีความชอบน้ำดี ซึ่งผลการทดลองส่วนนี้กำลังดำเนินการขอสิทธิบัตร

บรรณานุกรม

1. <http://data.schq.mi.th/~medo/update2.html>
2. สุจิตรา ผลประไพ, มาลี เขาวทอง, ศิริบงกช ดวงดาว. การศึกษาภาวะโภชนาการผู้สูงอายุ รายงานการวิจัย. กองโภชนาการ กระทรวงสาธารณสุข, 2533
3. S. Park, Y. Zhao "Incorporation of a high concentration of mineral or vitamin into chitosan-based films" *J. Agric. Food chem.*, **52** (2004) 1933-1939.
4. Aoki, T.; Decker, E. A.; and McClements, D. J. Influence of environmental stresses on stability of o/w emulsions containing droplets stabilized by multilayered membranes produced by a layer-by-layer electrostatic deposition technique. *Food Hydrocolloids* **19** (2005): 209-220.
5. Ogawa, S.; Decker, E. A.; and McClements, D. J. Production and characterization of o/w emulsions containing cationic droplets stabilized by lecithin-chitosan-pectin multilayered membranes. *Journal of Agricultural and Food Chemistry* **52** (2004): 3595-3600.
6. Ogawa, S.; Decker, E. A.; and McClements, D. J. Production and characterization of o/w emulsions containing cationic droplets stabilized by lecithin-chitosan-pectin multilayered membranes. *Journal of Agricultural and Food Chemistry* **52** (2004): 3595-3600.
7. Ogawa, S.; Decker, E. A.; and McClements, D. J. Production and characterization of o/w emulsions containing cationic droplets stabilized by lecithin-chitosan-pectin multilayered membranes. *Journal of Agricultural and Food Chemistry* **52** (2004): 3595-3600.
8. Ogawa, S.; Decker, E. A.; and McClements, D. J. Production and characterization of o/w emulsions containing cationic droplets stabilized by lecithin-chitosan-pectin multilayered membranes. *Journal of Agricultural and Food Chemistry* **52** (2004): 3595-3600.
9. Guzey, D.; and McClements, D. J. Influence of environmental stresses on o/w emulsions stabilized by β -lactoglobulin-pectin-chitosan membranes produced by electrostatic layer-by-layer deposition technique, *FOBIJ* (2006): 30-40.

ประวัตินักวิจัย

1. ดร. สเตฟาน ดูบาส (Dr. Stephan T. Dubas)

ตำแหน่งปัจจุบัน อาจารย์

หน่วยงานที่อยู่ติดต่อ

สถาบันวิจัยโลหะและวัสดุ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ปทุมวัน กทม. 10330

โทรศัพท์ 0-2218-4234 E-mail : Stephan.d@chula.ac.th

2. ดร.ลักษณา ดูบาส (ลักษณา) (Dr. Luxsana Dubas)

ตำแหน่งปัจจุบัน อาจารย์

หน่วยงานที่อยู่ติดต่อ

ภาควิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ปทุมวัน กทม. 10330

โทรศัพท์ 0-2218-7611 โทรสาร 02 254 1309 E-mail: Luxsana.l@chula.ac.th