

รายงานวิจัยฉบับสมบูรณ์
เรื่อง

ผลของการเติมกรดแอสคอร์บิกต่อคุณภาพของ
ฟิล์มบริโภคน้ำได้จากแป้งข้าวเจ้าและแป้งข้าวเจ้าสกัด

หัวหน้าโครงการ
นางอรุณญา มิ่งเมือง

ทุนวิจัยเงินงบประมาณแผ่นดิน
ประจำปีงบประมาณ 2552

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้ได้พัฒนาสูตรสำหรับการผลิตฟิล์มบริโกลได้จากแป้งข้าวเจ้าผสมวุ้น และแป้งข้าวเจ้าสกัดผสมวุ้น ฟิล์มที่ผลิตจากแป้งข้าวเจ้าสกัดมีความสามารถในการต้านทานแรงดึง และเปอร์เซ็นต์การยืดตัวมากกว่าฟิล์มที่ผลิตจากแป้งข้าวเจ้าเล็กน้อย แต่อัตราการซึมผ่านไอน้ำของฟิล์มไม่แตกต่างกัน การเติมกรดแอสคอร์บิกมีผลทำให้สีของฟิล์มเข้มขึ้น และทำให้ความสามารถในการต้านทานแรงดึง และเปอร์เซ็นต์การยืดตัวลดลง เมื่อเทียบกับฟิล์มที่ไม่ได้เติมกรดแอสคอร์บิก แต่ไม่มีผลต่ออัตราการซึมผ่านไอน้ำของฟิล์ม เมื่อทดลองใช้เคลือบเม็ดมะม่วงหิมพานต์ พบว่า ฟิล์มสามารถชะลอการเกิดออกซิเดชันได้ การเติมกรดแอสคอร์บิกปริมาณ 0.5 กรัมต่อสารละลายฟิล์ม 100 กรัม เป็นปริมาณที่เหมาะสมในการผลิตฟิล์มในงานวิจัยนี้ เนื่องจากทำให้ความแข็งแรงและความยืดหยุ่นของฟิล์มลดลงเล็กน้อย ส่วนการใช้ฟิล์มในการเคลือบบนอาหาร พบว่าการเติมกรดแอสคอร์บิก 1.0 กรัม ต่อสารละลายฟิล์ม 100 กรัม ทำให้มีประสิทธิภาพในการป้องกันการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันได้ดีกว่า

Abstract

Formulations for the rice flour/agar (RF) edible film and the rice starch/agar (RS) edible film were developed. Tensile strength and %elongation of the RS films were found to be slightly more than those of the RF films but water vapor transmission rate of the films were not significantly different. Incorporation of ascorbic acid into both RF and RS films reduced film lightness and decreased tensile strength and %elongation compared to plain films. The RF and RS incorporated with ascorbic acid coating significantly retarded lipid oxidation in cashew nut. Incorporation of ascorbic acid at level of 0.5 g per 100 g film solution was found suitable for film production because the films strength and elasticity was just slightly decreased due to the effect of ascorbic acid. For edible coating, incorporation of 1.0 g of ascorbic acid per 100 g film solution was more effective in reduction of lipid oxidation.

ประกาศคุณูปการ

ขอขอบคุณ มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ ในการให้การสนับสนุนทุนวิจัย

ขอขอบคุณคณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ ในการให้อनुเคราะห์สถานที่
ในการดำเนินการวิจัย และอุปกรณ์ เครื่องมือในการดำเนินการวิจัย

ขอขอบคุณบริษัทโรงเส้นหมี่ช่อเฮง จำกัด ในการให้การอนุเคราะห์แบ่งข้าวเจ้าสกัด

ขอขอบคุณเจ้าหน้าที่ประจำห้องปฏิบัติการ ภาควิชาคหกรรมศาสตร์ คณะวิทยาศาสตร์ และ
เจ้าหน้าที่ประจำห้องปฏิบัติการ คณะเทคโนโลยีและนวัตกรรมผลิตภัณฑ์การเกษตร ที่อำนวยความสะดวก และช่วยเหลือระหว่างดำเนินการวิจัย

ผู้ช่วยศาสตราจารย์อรรณูญา มิ่งเมือง

หัวหน้าโครงการ

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อ	
ประกาศคุุณูปการ	
บัญชีตาราง	
บัญชีภาพประกอบ	
บทที่ 1 บทนำ	1
บทที่ 2 เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	3
บทที่ 3 วิธีดำเนินการวิจัย	15
บทที่ 4 ผลการทดลองและอภิปรายผล	20
บทที่ 5 สรุป และข้อเสนอแนะ	43
บรรณานุกรม (Bibliography)	44
ประวัติของผู้วิจัย	46

บัญชีตาราง

	หน้า
ตารางที่ 3.1 ส่วนผสมของสารละลายฟิล์ม	16
ตารางที่ 4.3 อัตราการซึมผ่านของออกซิเจน (OTR, $\text{cm}^3/\text{m}^2 \cdot 24\text{h}$) ของฟิล์มที่ใช้แป้งข้าวเจ้าผสมวุ้น และแป้งข้าวเจ้าสกัดผสมวุ้น (ส่วนผสมของแป้งผสมวุ้น ร้อยละ 4 และกลีเซอรอล ร้อยละ 2)	21
ตารางที่ 4.1 สมบัติของฟิล์มแป้งข้าวเจ้าผสมวุ้น	22
ตารางที่ 4.2 สมบัติของฟิล์มแป้งข้าวเจ้าสกัดผสมวุ้น	23
ตารางที่ 4.4 ผลของการเติมกรดแอสคอร์บิกสมบัติของฟิล์มแป้งข้าวเจ้าผสมวุ้น	25
ตารางที่ 4.5 ผลของการเติมกรดแอสคอร์บิกสมบัติของฟิล์มแป้งข้าวเจ้าสกัดผสมวุ้น	26
ตารางที่ 4.6 อัตราการซึมผ่านของออกซิเจน (OTR, $\text{cm}^3/\text{m}^2 \cdot 24\text{h}$) ของฟิล์มที่เติม (ร้อยละ 0.2) และไม่เติมกรดแอสคอร์บิก	27
ตารางที่ 4.7 ปริมาณการเติมกรดซิตริกต่อ pH ของฟิล์มแป้งข้าวเจ้าและแป้งข้าวเจ้าสกัด	28
ตารางที่ 4.8 ค่าสีในระบบ CIELab ของฟิล์มแป้งข้าวเจ้าผสมวุ้น	30
ตารางที่ 4.9 ค่าสีในระบบ CIELab ของฟิล์มแป้งข้าวเจ้าสกัดผสมวุ้น	31
ตารางที่ 4.10 ค่าเปอร์เซ็นต์ความชื้นของฟิล์มแป้งข้าวเจ้าผสมวุ้น	32
ตารางที่ 4.11 ค่าเปอร์เซ็นต์ความชื้นของฟิล์มแป้งข้าวเจ้าสกัดผสมวุ้น	32
ตารางที่ 4.12 ความหนาของฟิล์มแป้งข้าวเจ้าผสมวุ้น	33
ตารางที่ 4.13 ความหนาของฟิล์มแป้งข้าวเจ้าสกัดผสมวุ้น	33
ตารางที่ 4.14 อัตราการซึมผ่านไอน้ำของฟิล์มแป้งข้าวเจ้าผสมวุ้น	34
ตารางที่ 4.15 อัตราการซึมผ่านไอน้ำของฟิล์มแป้งข้าวเจ้าสกัดผสมวุ้น	35
ตารางที่ 4.16 ความต้านทานแรงดึงของฟิล์มแป้งข้าวเจ้าผสมวุ้น	36
ตารางที่ 4.17 ความต้านทานแรงดึงขาดของฟิล์มแป้งข้าวเจ้าสกัดผสมวุ้น	36
ตารางที่ 4.18 ความสามารถในการยืดของฟิล์มแป้งข้าวเจ้าผสมวุ้น	37
ตารางที่ 4.19 ความสามารถในการยืดของฟิล์มแป้งข้าวเจ้าสกัดผสมวุ้น	38
ตารางที่ 4.20 ปริมาณกรดแอสคอร์บิกของฟิล์มแป้งข้าวเจ้าผสมวุ้น	39
ตารางที่ 4.21 ปริมาณกรดแอสคอร์บิกของฟิล์มแป้งข้าวเจ้าสกัดผสมวุ้น	39
ตารางที่ 4.22 peroxide value ของเม็ดมะม่วงหิมพานต์เคลือบฟิล์มแป้งข้าวเจ้าผสมวุ้น	41
ตารางที่ 4.23 peroxide value ของเม็ดมะม่วงหิมพานต์เคลือบฟิล์มแป้งข้าวเจ้าสกัดผสมวุ้น	42

บัญชีภาพประกอบ

	หน้า
รูปที่ 2.1 โครงสร้างของ L-ascorbic acid และ L-dehydroascorbic acid	11
รูปที่ 2.2 โครงสร้างของกรดซิตริก	13
รูปที่ 4.1 การเกิดจุดสีขาวบนแผ่นฟิล์มที่เติมกรดแอสคอร์บิก 2.0 กรัม	29

บทที่ 1

บทนำ

ประเทศไทยเป็นประเทศที่ผลิตข้าวมากที่สุดประเทศหนึ่งของโลก และมีการส่งออกไปสู่ประเทศต่างๆ เพื่อเลี้ยงประชากรโลก ปีละกว่า 10 ล้านตัน อย่างไรก็ตามเพื่อส่งเสริมอุตสาหกรรมที่เกี่ยวข้องกับข้าว กระทรวงเกษตรและสหกรณ์ โดยสำนักงานเศรษฐกิจการเกษตร ร่วมกับภาคเอกชนที่เกี่ยวข้อง จึงได้ร่วมกันกำหนดยุทธศาสตร์ข้าวไทย ปี 2547-2551 สรุปได้ว่าจะมีการสนับสนุนในส่วนต่างๆ รวมถึงการเพิ่มประสิทธิภาพการผลิตข้าว การเพิ่มมูลค่าข้าว รวมทั้งการวิจัยพัฒนาการแปรรูปผลิตภัณฑ์และผลพลอยได้จากข้าว การพัฒนาบรรจุภัณฑ์ ทั้งนี้ในการสร้างมูลค่าเพิ่มให้กับข้าว จึงต้องการการพัฒนาผลิตภัณฑ์แปรรูปทั้งที่เป็นอาหารและไม่ใช่อาหาร โดยใช้ส่วนต่างๆ ของข้าวให้เกิดประโยชน์สูงสุด

ในการสีข้าวสารจะได้ส่วนต่างๆ นอกเหนือจากข้าวเต็มเมล็ด ได้แก่ ข้าวท่อน ข้าวหัก เป็นต้น ส่วนนี้สามารถนำไปใช้ในการผลิตแป้งข้าวเจ้า ซึ่งสามารถใช้เป็นวัตถุดิบในการผลิตอาหารชนิดต่าง ๆ เช่น เส้นก๋วยเตี๋ยว ขนมจีน ขนมหวาน เป็นต้น ซึ่งในส่วนนี้หากต้องการเพิ่มมูลค่าและความต้องการการใช้แป้งข้าวเจ้า จึงควรมีการนำแป้งนี้ไปใช้ประโยชน์ในการผลิตสินค้าอื่นๆ ให้มากขึ้น การใช้แป้งข้าวเจ้า (rice flour) และแป้งข้าวเจ้าสกัดโปรตีน (rice starch) เป็นวัตถุดิบในการผลิตแผ่นฟิล์มบิโกลได้ จึงน่าจะเป็นหนทางในการเพิ่มมูลค่าของแป้งข้าวเจ้า และข้าวอีกทางหนึ่ง

ฟิล์มหรือสารเคลือบบิโกลได้ (edible film and coating) หมายถึง วัสดุแผ่นบางที่รับประทานได้นำมาใช้กับอาหารด้วยวิธีต่างๆ เช่น การห่อหุ้ม การจุ่ม การแปรง หรือการพ่นฝอย เพื่อวัตถุประสงค์ในการกั้นไม่ให้สารต่างๆ เข้าออกจากอาหารได้ (มณฑาทิพย์ ยุ่นฉลาด, 2535) ในการผลิตฟิล์มหรือสารเคลือบบิโกลได้ สามารถใช้วัตถุดิบได้หลายชนิด ทั้ง โพลีแซคาไรด์ โปรตีน ลิพิด เช่น แป้งมันสำปะหลัง แป้งบุก แป้งข้าวเจ้า สตาร์ช วุ้น เจลาติน โปรตีนจากปลา โปรตีนจากนม ไข่พาราฟิน เป็นต้น ซึ่งสมบัติของฟิล์มหรือสารเคลือบที่ได้ก็จะแตกต่างกันตามวัตถุดิบที่ใช้ โดยทั่วไปสมบัติที่สำคัญของฟิล์มบิโกลได้ในแง่ของการใช้งาน ได้แก่ ความแข็งแรง การละลาย ความสามารถในการกั้นความชื้น ความสามารถในการกั้นออกซิเจน เป็นต้น การใช้ฟิล์มหรือสารเคลือบบิโกลได้ นอกเหนือ จากการกั้นสาร ดังที่กล่าวแล้ว ยังสามารถใช้เป็นตัวพา (carriers) สารที่ใช้เป็นส่วนผสมและวัตถุเจือปนอาหาร เช่น สารให้กลิ่นรส สารให้สี รวมทั้งวัตถุกันเสีย สารต้านอนุมูลอิสระทั้งนี้เพื่อเป็นการเพิ่มหรือคงคุณภาพและเสถียรภาพของอาหารด้วย (Kester and Fennema, 1986)

การศึกษาการใช้แป้งจากแหล่งต่างๆ รวมทั้งการใช้แป้งที่มีการสกัดโปรตีน ในการผลิตฟิล์มหรือสารเคลือบบิโกลได้ มีหลากหลาย รวมทั้งการใช้แป้งข้าวเจ้า และการใช้แป้งข้าวเจ้าร่วมกับสารอื่นๆ เช่น วุ้น แป้งมันสำปะหลัง เพคติน (เกษศิณี ตระกูลทิวากร และคณะ, 2539; สุ

วัฒนา พฤษะศรี, 2539; สมศักดิ์ รักดีวรรณ, 2544; จารุณี ยาห้องาศ, 2543) นอกจากนี้ยังได้มีการศึกษาการใช้สารเคลือบจากแป้งข้าวเจ้าเคลือบเมล็ดข้าวกล้องเพื่อรักษากลิ่นของข้าวกล้องหอมมะลิ (Tulyathan et al, 2007)

การใช้ฟิล์มบริโกลได้เป็นบรรจุภัณฑ์อาหารโดยตรง มีข้อจำกัดเนื่องจากฟิล์มที่ได้มักมีความไวต่อความชื้น และมีความสามารถในการกั้นไอน้ำและแก๊สต่ำ ดังนั้นการนำไปใช้จึงควรใช้ร่วมกับบรรจุภัณฑ์ชั้นนอกที่สามารถกั้นไอน้ำและแก๊สได้ดี แล้วใช้ฟิล์มบริโกลได้ห่อหุ้มอาหารเพื่อแยกส่วน หรือทำหน้าที่เป็นตัวพาสารอื่นจะทำให้สามารถใช้ฟิล์มบริโกลได้อย่างมีประสิทธิภาพยิ่งขึ้น

Janjarasskul และ Krochta (2006) ศึกษาการเติม กรดแอสคอร์บิก ลงในฟิล์มที่ผลิตจากโปรตีนเวย์เพื่อใช้ดูดซับออกซิเจนในบรรจุภัณฑ์อาหาร เพื่อใช้แทนสารดูดซับออกซิเจนที่ใช้ในอุตสาหกรรมอาหาร Min และ Krochta (2006) ใช้สารเคลือบที่ผลิตจากโปรตีนเวย์และเติมกรดแอสคอร์บิก ในการเคลือบถั่วลิสงเพื่อลดการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันของไขมัน ซึ่งพบว่า การเคลือบดังกล่าวสามารถลดการเกิดปฏิกิริยาได้

ดังนั้นผู้วิจัยจึงเห็นว่า น่าจะได้มีการทดลองใช้ฟิล์มบริโกลได้ที่ผลิตจากแป้งข้าวเจ้า หรือแป้งข้าวเจ้าสกัด เป็นตัวพากรดแอสคอร์บิก ซึ่งอาจทำให้ได้สารดูดซับออกซิเจนที่สามารถใช้ในบรรจุภัณฑ์อาหาร โดยไม่เป็นอันตราย ไม่มีปัญหาของขยะเหลือทิ้ง โดยฟิล์มที่จะทดลองผลิตจะเป็นฟิล์มประกอบ (composite films) ที่ใช้วุ้น เป็นส่วนผสมที่จะช่วยในด้านความแข็งแรงของฟิล์ม โดยงานวิจัยนี้จะทำการศึกษาสูตรที่เหมาะสมในการผลิตฟิล์มบริโกลได้จากแป้งข้าวเจ้า หรือแป้งข้าวเจ้าสกัด และวุ้น และศึกษาผลของการเติมกรดแอสคอร์บิก ต่อสมบัติด้านต่างๆ ของฟิล์ม รวมทั้งศึกษาการใช้ฟิล์มบริโกลได้ที่เติมกรดแอสคอร์บิกเพื่อเคลือบเมล็ดมะม่วงหิมพานต์

บทที่ 2

เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.1 फिल्मบริโกลได้ (Edible films)

ฟิล์มบริโกลได้ เป็นวัสดุแผ่นบางที่ผลิตขึ้นเพื่อใช้ในการบรรจุหรือห่อหุ้มอาหาร และสามารถรับประทานพร้อมอาหารได้โดยไม่ต้องทิ้งบรรจุภัณฑ์ หรือสามารถปรุงไปพร้อมกับอาหาร ซึ่งฟิล์มจะกลายเป็นส่วนหนึ่งของอาหาร หรือหากไม่บริโกลก็สามารถลอกออกทิ้งซึ่งก็จะย่อยสลายได้ง่าย การใช้บรรจุภัณฑ์บริโกลได้มีส่วนช่วยในการลดปริมาณขยะจากบรรจุภัณฑ์ ฟิล์มบริโกลได้ยังสามารถใช้เป็นประโยชน์ต่อการจัดเก็บอาหารได้หลากหลาย อาทิ สามารถใช้เพื่อชะลอการถ่ายเทสารระหว่างอาหารที่มีสมบัติต่างกัน เช่น ความชื้น ไขมัน กลิ่น ฯ ฟิล์มอาจใช้เป็นตัวนำสารที่มีคุณค่าทางโภชนาการ เช่น วิตามิน หรือวัตถุเจือปนอาหาร เช่น วัตถุกันเสีย วัตถุกันหืน ทำให้สามารถช่วยชะลอการเสื่อมเสียของอาหารโดยไม่ต้องใส่ลงโดยตรงในอาหาร ฟิล์มสามารถใช้ในการบรรจุแยกผลิตภัณฑ์ขึ้นเล็ก ๆ ได้ง่าย สะดวกต่อการเก็บรักษา บรรจุภัณฑ์ประเภทนี้อาจไม่สามารถใช้แทนพลาสติกได้ แต่สามารถใช้ร่วมกันเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพของบรรจุภัณฑ์อาหาร นอกจากนี้ควรใช้ร่วมกับบรรจุภัณฑ์ชั้นที่ 2 เพื่อป้องกันการปนเปื้อนจากสิ่งแวดล้อม เนื่องจากบรรจุภัณฑ์บริโกลได้เป็นส่วนหนึ่งของอาหารด้วย (Kester and Fennema, 1986)

สมบัติของฟิล์มบริโกลได้ขึ้นอยู่กับชนิดของวัตถุดิบที่ใช้ (โพลีแซคคาไรด์ โปรตีน หรือไขมัน) ซึ่งอาจใช้วัตถุดิบเพียงชนิดเดียว หรือผสมกัน สภาวะในการขึ้นรูปฟิล์ม (การให้ความร้อน pH ความเข้มข้น ความหนา ฯ) การเติมสารพลาสติกไซเซอร์ (plasticizer) (ซอร์บิทอล กลีเซอรอล โพลีเอทิลีนไกลคอล ฯ) ลงในส่วนผสมด้วยเพื่อปรับปรุงคุณสมบัติทางกลของฟิล์ม ให้มีความยืดหยุ่นเพียงพอไม่แตกหักระหว่างการนำไปใช้และการเก็บรักษา รวมทั้งการใช้สารช่วยในการเกิดโครงสร้าง และสภาพแวดล้อม ทั้งอุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์ (Cuq et al., 1996)

2.2 फिल्मโพลีแซคคาไรด์

โพลีเมอร์แซคคาไรด์มีสมบัติชอบรวมตัวกับน้ำ (hydrophillic) ฟิล์มชนิดนี้จึงไม่เหมาะสมในการใช้เพื่อป้องกันการซึมผ่านความชื้น แต่โพลีแซคคาไรด์บางชนิดที่มีลักษณะเหมือนวุ้น (gelatinous) และมีความชื้นสูง สามารถใช้เคลือบอาหารเพื่อช่วยชะลอการสูญเสียความชื้นของอาหารบางชนิดได้ในเวลาสั้น เช่น ใช้ในการเก็บผลิตภัณฑ์เนื้อ นอกจากนี้ฟิล์มโพลีแซคคาไรด์บางชนิด ช่วยป้องกันการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันของไขมัน (lipid oxidation) และองค์ประกอบอื่นในอาหาร ซึ่งเป็นสาเหตุของการเหม็นหืน โดยฟิล์มโพลีแซคคาไรด์ที่นิยมใช้ในการผลิตฟิล์มหรือสารเคลือบที่รับประทานได้ เช่น สตาร์ช สตาร์ชไฮโดไลเซต (hydrolysate) แอลจีเนท เพคติน คาราจีแนน และอนุพันธ์ของเซลลูโลส เป็นต้น

สมบัติและการใช้งานของฟิล์มชนิดต่างๆ จะแตกต่างกันตามชนิดของโพลีแซคคาไรด์ เช่น ฟิล์มสตาร์ช (starch films) โครงสร้างของสตาร์ชประกอบด้วยอะไมโลส และอะไมโลเพกติน ในปริมาณและอัตราส่วนต่างกันตามชนิดและแหล่งของพืชที่เป็นแหล่งของสตาร์ช ส่วนประกอบที่เรียกว่าอะไมโลสมีลักษณะเป็นโพลีเมอร์เส้นตรง อะไมโลสและสตาร์ชมีสมบัติสามารถเกิดฟิล์มได้ (self supporting film) จึงสามารถใช้เป็นวัตถุดิบในการผลิตฟิล์มบรรจุได้ ลักษณะของฟิล์มสตาร์ชและฟิล์มอะไมโลส ไม่มีสี ไม่มีกลิ่นรส แข็งแรง ยืดหยุ่น เป็นมันวาว มีคุณสมบัติในการต้านไข (grease) ได้มาก และออกซิเจนซึมผ่านฟิล์มได้น้อย การใช้งานฟิล์ม เช่น ทำถุงบรรจุอาหาร กาแฟ ชูปัง ผลิตใส่เทียมสำหรับทำไส้กรอก ใช้เคลือบผลไม้ เช่น ลูกพรุน ลูกกวาดผลไม้ทำให้ไม่เหี่ยวติดกันเป็นก้อน เป็นต้น ฟิล์มแอลจินेट (alginate films) ใช้ในรูปโซเดียมแอลจินेट การเกิดฟิล์มโซเดียมแอลจินेटเกิดจากปฏิกิริยาของแอลจินेटกับแคลเซียมไอออน ที่ได้จากเกลือแคลเซียมคลอไรด์ เจลที่ได้มีลักษณะคล้ายวุ้นเหนียว ฟิล์มและสารเคลือบจากแอลจินेटมีการใช้งานในผลิตภัณฑ์อาหาร เช่น เนื้อสัตว์ที่ยังไม่ผ่านความร้อน ผักและผลไม้ ผลิตภัณฑ์เบเกอรี่ อาหารพองกรอบ และชีส เป็นต้น ฟิล์มเพกติน (pectin films) เพกตินที่ใช้เป็นสารเคลือบเป็นชนิดที่มีจำนวนเมทอกซิลต่ำ (low methoxy pectin) ซึ่งทำให้เกิดเจลขึ้นได้ มักใช้ในลักษณะเคลือบบนผิวอาหาร แต่เนื่องจากฟิล์มเพกตินยอมให้น้ำซึมผ่านได้สูง ดังนั้นมักใช้ร่วมกับฟิล์มลิปิด โดยเคลือบฟิล์มลิปิดทับบนฟิล์มเพกติน

การศึกษาการใช้แป้งข้าวเจ้า ในการผลิตฟิล์มหรือสารเคลือบบรรจุได้ พบว่าฟิล์มที่ได้มีสีขาวขุ่น ยืดหยุ่นพอใช้ และมีความเปราะบาง (เกศณี ตรีกุลทิวากร และคณะ, 2539) จึงได้มีความพยายามในการผสมสารอื่นเพื่อช่วยให้ฟิล์มมีคุณภาพดีขึ้น เช่น การใช้แป้งข้าวเจ้าร่วมกับวุ้น (สุวัฒนา พุกษะศรี, 2539) การใช้แป้งข้าวเจ้าร่วมกับแป้งมันสำปะหลัง (สมศักดิ์ ภักดีวารภรณ์, 2544) การใช้แป้งข้าวเจ้าร่วมกับเพกติน (จารุณี ยาห้องกาศ, 2543) ซึ่งโดยทั่วไปพบว่าแผ่นฟิล์มที่ได้มีสีขาวขุ่นใส มีลักษณะการเป็นฟิล์มที่ดี แต่มีข้อด้อยคือมีความไวต่อความชื้น และอัตราการซึมผ่านของไอน้ำและออกซิเจนสูง ซึ่งทำให้ไม่สามารถใช้โดยมีการสัมผัสกับอากาศโดยตรง ทั้งนี้หากเปรียบเทียบสมบัติของฟิล์มที่ผลิตจากแป้งกับฟิล์มที่ผลิตจากสตาร์ช เช่น ฟิล์มที่ผลิตจากสตาร์ชมันเทศ (มณฑาทิพย์ ยุ่นฉลาด, 2534) พบว่า ฟิล์มจากสตาร์ชจะมีความแข็งแรง และมีความสามารถในการกันแก๊สที่ดีกว่า

2.3 ฟิล์มลิปิด

การใช้ไขมันห่อหุ้มผลิตภัณฑ์อาหารมีการใช้งานมานานแล้ว เช่น ในผลิตภัณฑ์ขนมหวาน (confectionary) การเคลือบช็อกโกแลต การเคลือบผักผลไม้ด้วยไข (wax) เป็นต้น สารประกอบลิพิดหลายชนิดรวมทั้งอะเซทิลโมโนกลีเซอไรด์ (acylate monoglyceride) ไบธรรมชาติ (natural wax) และสารตึงผิว (surfactant) นำมาใช้เป็นสารเคลือบได้โดยทั่วไป การเคลือบอาหารด้วยลิปิดก็

เพื่อป้องกันการถ่ายเทความชื้น แต่การใช้ฟิล์มลิปิดในการเคลือบผลไม้อาจจะให้ประโยชน์อื่นด้วย เช่น ลดการเสียดสีของผิวผลไม้ระหว่างการขนส่งไม่ให้เกิดรอยขีด หรือเคลือบผลแอปเปิ้ลหลังการเก็บเกี่ยวเพื่อป้องกันมิให้เกิดสีน้ำตาล

2.4 ฟิล์มโปรตีน

ฟิล์มโปรตีนมีคุณสมบัติที่ดีในการเป็นตัวกั้น เนื่องจากมีความสามารถในการซึมผ่านของออกซิเจนและคาร์บอนไดออกไซด์ในระดับต่ำ แต่เป็นตัวกั้นไอน้ำที่ไม่ดี เนื่องจากสมบัติที่ชอบน้ำ (hydrophilic property) โปรตีนที่สามารถใช้ในการผลิตฟิล์ม เช่น คอลลาเจน เคซีน เวย์โปรตีน (whey protein) เซอีนของข้าวโพด (corn zein) กลูเตนของข้าวสาลี (wheat gluten) โปรตีนจากถั่วเหลือง (soy protein) และโปรตีนจากถั่วเขียว (mungbean protein)

2.5 พลาสติไซเซอร์

พลาสติไซเซอร์ เป็นสารที่จำเป็นในการผลิตฟิล์ม มีสมบัติสามารถรวมเป็นเนื้อเดียวกับวัตถุดิบที่ใช้ทำฟิล์ม มีหน้าที่ปรับปรุงคุณภาพของฟิล์มให้มีความยืดหยุ่นเพียงพอ ไม่แตกหักระหว่างการนำไปใช้และการเก็บรักษา พลาสติไซเซอร์แบ่งเป็น 2 ประเภท ได้แก่ พลาสติไซเซอร์ภายนอก (external plasticizer) และพลาสติไซเซอร์ภายใน (internal plasticizer) พลาสติไซเซอร์ภายนอก เป็นสารที่เติมลงไปในการสร้างโพลิเมอร์แล้วทำให้เกิดสารประกอบเชิงซ้อนหรือจับกลุ่มโมเลกุลเนื่องจากพลาสติไซเซอร์ไปจับกับโพลิเมอร์ ทำให้แรงระหว่างโมเลกุลของสายโพลิเมอร์ที่อยู่ใกล้กันอ่อนลง เกิดโครงสร้างที่อ่อนตัว ส่วนพลาสติไซเซอร์ภายใน เป็นสารที่เติมลงไปแล้วทำหน้าที่เป็นสารร่วมช่วยในการเกิดโพลิเมอร์ (copolymerization) การใช้พลาสติไซเซอร์ที่เหมาะสมจะช่วยป้องกันไม่ให้เกิดการแยกตัวของสารที่เป็นส่วนประกอบของฟิล์มระหว่างการทำฟิล์มให้แห้ง ฟิล์มที่ได้จะมีลักษณะทางกายภาพที่ดี มีความยืดหยุ่นดี เหมาะสมกับการนำฟิล์มไปประยุกต์ใช้งาน

การเติมพลาสติไซเซอร์ในการเตรียมฟิล์มบรีโกลได้นั้น ใช้วิธีละลายพลาสติไซเซอร์และโพลิเมอร์ในตัวทำละลายพร้อมกัน ระหว่างการละลายมีการกวนผสม ให้ความร้อน แล้วนำไปขึ้นรูปเป็นแผ่นฟิล์ม จากนั้นระเหยตัวทำละลายออก การที่พลาสติไซเซอร์ทำให้แรงระหว่างโมเลกุลของสายโพลิเมอร์ที่อยู่ใกล้กันอ่อนลง เกิดจากอิทธิพลของความร้อนระหว่างการเตรียมสารละลายฟิล์ม ทำให้พลาสติไซเซอร์แทรกเข้าไปอยู่ระหว่างสายโพลิเมอร์ และพันธะไฮโดรเจนหรือแรงอื่นระหว่างโมเลกุลของโพลิเมอร์ถูกหักล้างไป เนื่องจากถูกแรงดึงดูดที่แข็งแรงระหว่างโมเลกุลของโพลิเมอร์กับพลาสติไซเซอร์ทำให้โมเลกุลของโพลิเมอร์ไม่สามารถจับกันเองได้ ส่งผลทำให้ฟิล์มมีความยืดหยุ่นเพิ่มขึ้น ลดความเปราะแตกง่าย การต้านแรงฉีกขาดเพิ่มขึ้น แต่การต้านแรงดึงขาดลดลง นอกจากนี้พลังงานที่ใช้แยกสายโพลิเมอร์ที่อยู่ใกล้กันยังมีความสัมพันธ์กันพลังที่ไป

กระตุ้นการแพร่กระจายของก๊าซและไอให้ผ่านแผ่นฟิล์ม ดังนั้นเมื่อแรงดึงดูดระหว่างสายโซ่ลดลง ทำให้พลังงานดังกล่าวลดลง การซึมผ่านของก๊าซและไอน้ำจึงเพิ่มขึ้น (Cuq et al., 1996)

พอลิออล (polyols) หรือพอลิไฮดรอกซีแอลกอฮอล์ เป็นสารพลาสติกไซเซอร์กลุ่มที่มีการใช้งานมากในการผลิตฟิล์มบริโภคได้ สารพอลิออลเป็นอนุพันธ์ของน้ำตาลซึ่งมีหมู่คีโตนหรือแอลกอฮอล์ถูกแทนที่ด้วยหมู่ไฮดรอกซิล พอลิออลมีเสถียรภาพสูงต่อสารเคมีและความร้อนได้ดีจึงสลายตัวได้ยาก นอกจากนี้มีสมบัติดูดซับและเก็บความชื้นได้ดี ละลายน้ำได้มีรสหวานน้อยกว่าน้ำตาล มีความปลอดภัยสูง จาก JECFA (Joint FAO/WHO Expert Committee on Food Additive) กำหนดปริมาณการบริโภคต่อวัน (ADI) ของพอลิออลเป็น “ not specified “ หมายถึงสามารถใช้ได้ในระดับที่จำเป็นต่อกระบวนการแปรรูปเพื่อให้ได้อาหารที่มีคุณลักษณะตามต้องการ การนำพอลิออลมาใช้เป็นสารพลาสติกไซเซอร์ในฟิล์มบริโภคได้มีหลายชนิด ได้แก่ กลีเซอรอล (glycerol) หรือกลีเซอริน (glycerin) ซอร์บิทอล (sorbitol) และโพลิเอทิลีน ไกลคอล (polyethylene glycol) กลีเซอรอล เป็นของเหลวที่มีความหนืด สามารถผสมเป็นเนื้อเดียวกับน้ำและแอลกอฮอล์ได้ดีมาก เป็นสารทำละลายน้ำมันได้ดีพอสมควร ดูดความชื้นจากอากาศได้ปานกลาง ซอร์บิทอล เป็นสารที่ละลายน้ำได้ดี สารละลายที่ได้มีความหนืดต่ำ ละลายได้น้อยในน้ำมัน และโพลิเอทิลีน ไกลคอล มีลักษณะเป็นผลึกสีขาวหรืออยู่ในรูปของเหลวใส มีความข้นหนืด ละลายน้ำ ได้ ละลายในสารละลายเสื่อมเสียยากเนื่องจากเชื้อราไม่สามารถเจริญได้ ความเป็นพิษต่ำ มีกลิ่น จางๆ ไวต่อการเปลี่ยนแปลงความชื้นเล็กน้อย

2.6 กลไกการเกิดฟิล์ม (Kester and Fennema, 1986)

2.6.1 การเกิดฟิล์มโดยทั่วไป

ฟิล์มบริโภคได้เกิดขึ้นจากการทำให้สารที่สามารถเกิดฟิล์มละลายหรือกระจายตัวแล้วใช้วิธีต่างๆ ในการแยกสารนั้นออกจากตัวทำละลาย เช่น การทำให้ตัวทำละลายระเหยไป การปรับความเป็นกรด-เบส หรือโดยการทำให้สารที่เกิดฟิล์มที่ห่อหุ้มเหลวนั้นแข็งตัว ฟิล์มบริโภคได้มีองค์ประกอบหลัก คือ ตัวทำละลายและสารเจือปนที่เติมลงไปเพื่อปรับปรุงคุณสมบัติของฟิล์ม ในการเตรียมฟิล์มจะมักแรงที่เกี่ยวข้องอยู่ 2 แรง คือ แรงโคฮีชัน (cohesion) และแรงแอดฮีชัน (adhesion)

แรงโคฮีชัน (cohesion) เป็นแรงระหว่างโมเลกุลระหว่างโพลิเมอร์ของด้วยกันเองเกิดขึ้นระหว่างการเกิดฟิล์ม ซึ่งจะทำให้เกิดการเชื่อมกันของผิววัตถุเดียวกันแล้วสร้างพันธะที่แข็งแรง ซึ่งจะช่วยป้องกันหรือต้านทานการแยกออกจากกัน แรงโคฮีชันมีความสัมพันธ์กับน้ำหนักโมเลกุล ความสม่ำเสมอของโครงสร้างสายโซ่ การแผ่กิ่งก้านสาขา และการกระจายของกลุ่มที่มีขั้วบนสายโพลิเมอร์ คือ สายโพลิเมอร์ที่ยาวทำให้เกิดการยึดเกาะกันได้ดี การกระจายของกลุ่มที่มีขั้วอย่างมีระเบียบในสายโพลิเมอร์ จะช่วยให้เกิดพันธะไฮโดรเจนและพันธะไอออนิกระหว่างสายโซ่

ทำให้มีความแข็งแรง ระดับของแรงโคฮีชันมีผลต่อคุณสมบัติต่างๆของฟิล์ม ได้แก่ ความหนาแน่น (density) ความอัดแน่น (compactness) ความโปร่งเป็นรูพรุน (porosity) ความสามารถในการซึมผ่าน (permeability) ความยืดหยุ่น (flexity) และความเปราะ (Vulnerability)

แรงแอดฮีชัน (adhesion) เป็นแรงระหว่างโมเลกุลของโพลิเมอร์กับสารอื่นที่เกี่ยวข้องกับการเตรียมฟิล์ม ทำให้เกิดโครงร่างของฟิล์มได้เช่น แรงระหว่างโมเลกุลของโพลิเมอร์กับพลาสติกไซเซออร์ ซึ่งจะมีผลต่อคุณสมบัติต่างๆ ของฟิล์มเช่นกัน

2.6.2 การเกิดฟิล์มโดยการใช้ความร้อน

สำหรับการเกิดฟิล์มของสตาร์ชนั้น เกิดเนื่องจากการเจลาติไนเซชัน โดยเริ่มจากการให้ความร้อนจนถึงอุณหภูมิ 60-70 องศาเซลเซียส จะทำให้เกิดการจับตัวกันระหว่างโมเลกุลของอะไมโลสกับอะไมโลเพคตินในส่วน โครงสร้างที่เป็นผลึกจะคลายตัวลง เพราะพันธะไฮโดรเจนระหว่างอะไมโลส-อะไมโลเพคติน และอะไมโลเพคติน-อะไมโลเพคติน ถูกทำลาย เกิดการสร้างพันธะไฮโดรเจนใหม่ระหว่างอะไมโลสและอะไมโลเพคตินกับน้ำ ทำให้เม็ดแป้งคูลน้ำและพองตัวได้มากขึ้น จะทำให้ความหนืดลดลง จากนั้นเมื่อลดอุณหภูมิลงอะไมโลสและอะไมโลเพคตินจะเกิดการเรียงตัวใหม่ เรียกว่า การเกิดรีโทรเกรเดชัน (retro gradation) และเกิดเป็นเจลต่อไป โดยปัจจัยที่มีผลต่อระยะเวลาในการเกิดรีโทรเกรเดชันนี้จะขึ้นกับ ชนิดและพันธุ์พืช เนื่องจากการจัดเรียงตัวของอะไมโลสและอะไมโลเพคตินในเม็ดแป้งมีความแตกต่างกัน ยังรวมถึงสัดส่วนระหว่างอะไมโลสและอะไมโลเพคตินด้วย ยิ่งสัดส่วนระหว่างอะไมโลสและอะไมโลเพคตินยิ่งต่ำมาก ระยะเวลาในการเกิดรีโทรเกรเดชันก็จะยิ่งสั้นลง

2.7 วิธีการขึ้นรูปเป็นแผ่นฟิล์ม (Cuq et al., 1996)

1. การขึ้นรูปโดยใช้ตัวทำละลาย (Solvent casting)

เป็นการทำให้เกิดแผ่นฟิล์มด้วยการนำสารละลายผสมของฟิล์มที่เตรียมได้ทาเป็นแผ่นบางลงบนถาด หรือภาชนะเฉพาะที่ใช้ในการเตรียมฟิล์ม โดยใช้อุณหภูมิที่เหมาะสมที่ทำให้แห้งแล้วลอกออกเป็นแผ่นฟิล์มตามต้องการ อาจมีการเคลือบฟิล์มซ้ำด้วยสารที่มีคุณสมบัติ ในด้านการปรับปรุงคุณภาพของฟิล์ม เช่น เคลือบทับด้วยไขมันอีกชั้นหนึ่ง เพื่อช่วยให้ฟิล์มมีคุณสมบัติในการป้องกันการซึมผ่านไอน้ำได้ดีขึ้น เป็นต้น

2. การขึ้นรูปด้วยเอ็กสทรูเดอร์ (Extruder)

เป็นการทำให้เกิดเป็นแผ่นฟิล์มโดยใช้เครื่องมือในการทำฟิล์มขึ้นรูปเป็นแผ่นบางด้วยการผสม ทำแห้ง พร้อมทั้งฉีดพ่นออกมาเป็นแผ่นจากเครื่องเอ็กสทรูเดอร์ คล้ายกับวิธีการผลิตฟิล์มพลาสติกทั่วไป

3. การขึ้นรูปบนลูกกลิ้ง (Celenderling)

เป็นวิธีที่ทำให้เกิดเป็นแผ่นฟิล์มด้วยลูกกลิ้ง โดยผ่านแผ่นฟิล์มเข้าไปยังลูกกลิ้งร้อน เพื่อรีดให้ฟิล์มเรียบและแห้ง ความหนาของฟิล์มที่ได้ขึ้นอยู่กับแรงกดอัดของลูกกลิ้งบนแผ่นฟิล์ม และระยะห่างระหว่าง 2 ลูกกลิ้งที่ฟิล์มผ่านเข้าไป

สารที่ใช้ทำฟิล์มมีหลายชนิด โดยอาจใช้สารชนิดเดียวกันหรือหลายชนิดรวมกัน โดยนำลักษณะเด่นของสารแต่ละชนิดมาใช้ประโยชน์ ซึ่งประสิทธิภาพของฟิล์มแต่ละชนิดขึ้นอยู่กับกรรมวิธีการผลิตที่ต้องมีการควบคุมเทคนิคและวิธีการผลิตให้เหมาะสม การเพิ่มความร้อนหรืออัตราการระเหยของสารละลายที่ใช้ทำฟิล์มและความเข้มข้นของตัวกลางที่ใช้จะมีผลต่อแรงในการเกาะตัวกันของแผ่นฟิล์ม ซึ่งทำให้เกิดฟิล์มที่มีลักษณะไม่เกาะตัวหรือทำให้เกิดรูพรุนในฟิล์ม นอกจากนี้แรงในการเกาะตัวกันของฟิล์มทั้งแรงโคฮีชันและแรงแอดฮีชัน มีผลต่อคุณภาพของฟิล์ม โดยแรงนี้จะขึ้นอยู่กับโครงสร้างและคุณสมบัติทางเคมีของสารโพลิเมอร์ที่ผลิตได้

2.8 การใช้ประโยชน์ของฟิล์มบริโกลไค (มณฑาทิพย์ ชุ่มฉลาด, 2535)

การใช้ฟิล์มบริโกลไคสามารถนำมาใช้ในรูปแบบของการเคลือบผิวของอาหารด้วยวิธีต่างๆ เช่น การจุ่ม (dipping) การแปรง (brushing) หรือการพ่นฝอย (spraying) และการผลิตเป็นฟิล์ม ฟิล์มบริโกลไคสามารถนำมาใช้ประโยชน์ในหลายด้าน ดังนี้ คือ

1. ตัวกันก๊าซ

คุณสมบัติเป็นตัวกันก๊าซของฟิล์มทำให้สามารถนำฟิล์มที่มีสมบัติกันก๊าซได้ดี มาใช้เป็นภาชนะบรรจุภัณฑ์ในการป้องกันการเกิดออกซิเดชันในอาหาร ในทางตรงกันข้าม ความสามารถในการซึมผ่านของก๊าซที่สูงของฟิล์มบางชนิดเป็นสิ่งที่จำเป็นสำหรับการเคลือบผักและผลไม้สด โดยเฉพาะความสามารถในการผ่านก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ เนื่องจากผักผลไม้เป็นยังคงมีชีวิต เมื่อเก็บเกี่ยวผักผลไม้ ผลผลิตจะมีอัตราการหายใจลดลง มีการสูญเสียน้ำหนัก การชะลอการสุกหรือการชะลอการเสื่อมสภาพของผักผลไม้เนื่องจากความสามารถในการซึมผ่านก๊าซและไอน้ำที่แตกต่างกันของสารเคลือบ ทำให้เกิดสภาพของบรรยากาศภายในมีการดัดแปลงไป โดยมีความเข้มข้นของก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์สูงขึ้น แต่ความเข้มข้นของก๊าซออกซิเจนต่ำลง ซึ่งเป็นผลให้อัตราการหายใจ การสร้างก๊าซเอทิลีน และการสูญเสียน้ำลดลง ดังนั้นการพัฒนาฟิล์มบริโกลไคให้มีคุณสมบัติยอมให้ก๊าซบางชนิดเลือกผ่าน สามารถช่วยควบคุมอัตราการหายใจ และการเจริญเติบโตของจุลินทรีย์

การใช้ไข (wax) เคลือบผิวส้ม พบว่า ไขจะช่วยเพิ่มปริมาณก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์และลดปริมาณของออกซิเจนในผลส้ม เนื่องจากไขมันมีคุณสมบัติในการต้านออกซิเจนได้ดีมากเพราะประกอบด้วยสายที่เป็นเส้นตรงและกรดไขมันอิ่มตัว การเพิ่มขึ้นของหมู่ที่ไม่อิ่มตัวและการลดลงของความยาวของสายคาร์บอน เป็นผลทำให้ความสามารถในการเป็นตัวกันก๊าซออกซิเจนลดลง การใช้ฟิล์มเจลลาตินเคลือบลูกอมและอาหารแห้ง ทำให้สามารถรักษากลิ่นรสของผลิตภัณฑ์ได้

2. ตัวกันความชื้น

ผลิตภัณฑ์อาหารอาจเกิดการเปลี่ยนแปลงคุณภาพทางประสาทสัมผัสและคุณภาพทางจุลินทรีย์ของผลิตภัณฑ์อาหารเพราะมีการแพร่ของความชื้น เนื่องจากความแตกต่างความดันไอน้ำหรือความเข้มข้นขององค์ เช่น ในผลิตภัณฑ์ลูกอม ลูกเกด และผลิตภัณฑ์ที่เคลือบช็อกโกแลต แครกเกอร์ เป็นต้น ลักษณะที่ไม่ต้องการ เป็นผลจากปริมาณความชื้นที่เพิ่มขึ้นหรือลดลง ใช้สารเคลือบจากแป้งข้าวโพดและอัลจิเนตในผลิตภัณฑ์เนื้อ พบว่า สามารถลดการสูญเสียความชื้นร้อยละ 40-48 การใช้ฟิล์มลิดิพิด-เซลลูโลส เพื่อป้องกันการซึมผ่านความชื้นระหว่างการเก็บรักษาผลิตภัณฑ์แช่แข็ง พบว่าแผ่นฟิล์มมีประสิทธิภาพในการป้องกันการซึมผ่านความชื้นในระหว่างการเก็บรักษาเมื่อเปรียบเทียบกับผลิตภัณฑ์แช่แข็งที่ไม่ใช้แผ่นฟิล์ม การใช้สารเคลือบระหว่างโซเดียมเคซิเนตและกรดสเทียริกกับแครอทที่ปอกเปลือกแล้ว พบว่าสารเคลือบจะทำให้เกิดความคงตัวในช่วงระยะการเก็บและช่วยลดการสูญเสียความชื้น

3. ตัวกันไขมันและน้ำมัน

การใช้ฟิล์มเซลลูโลสกับมันฝรั่งทอดและหอมทอด พบว่าฟิล์มเซลลูโลสสามารถต้านทานการดูดซับน้ำมันได้ร้อยละ 10-15 ในขณะที่การศึกษาศักยภาพของฟิล์ม HPMC ที่เคลือบลูกชิ้นไก่ในการรักษาความชื้นและลดปริมาณไขมันในระหว่างการทอด พบว่าลูกชิ้นไก่ที่มีการเคลือบแผ่นฟิล์ม ภายหลังการทอดมีความชื้นเพิ่มขึ้นร้อยละ 16.4 และไขมันลดลงร้อยละ 33.7 เมื่อเปรียบเทียบกับลูกชิ้นที่ไม่มีการเคลือบแผ่นฟิล์ม

4. surface retention agent

การควบคุมการแพร่กระจายของวัตถุเจือปนอาหาร (food additive) เข้าไปภายในส่วนกลางของอาหาร ปรับปรุงความคงทนของอาหารด้านจุลินทรีย์ โดยพื้นที่ผิวที่จุลินทรีย์เจริญเติบโตจะเป็นสาเหตุสำคัญที่ทำให้เกิดการเน่าเสียของผลิตภัณฑ์อาหารหลายชนิด การใช้ฟิล์มบริโกลได้จึงถูกนำมาใช้ในการปรับปรุงคุณภาพทางด้านจุลินทรีย์ในอาหาร โดยการใช้ร่วมกับวิธีอื่นๆ เช่น การแช่เย็น และการดัดแปลงสภาพบรรยากาศ

การใช้ฟิล์มเมทิลเซลลูโลสและกรดปาล์มดิก โดยศึกษาประสิทธิภาพในการควบคุมปริมาณกรดซอร์บิกที่ผิวของผลิตภัณฑ์ในสภาวะต่างๆ ที่ใช้ฟิล์มเมทิลเซลลูโลสและกรดปาล์มดิกกับอาหารที่มี pH 5.0 และ a_w 0.8 สภาวะการเก็บรักษาที่ 24 องศาเซลเซียส อัตราส่วนของเมทิลเซลลูโลสต่อกรดปาล์มดิก เท่ากับ 3:1 พบว่าฟิล์มสามารถลดการแพร่กระจายของกรดซอร์บิกเข้าไปภายในอาหารได้มากกว่าร้อยละ 50 และการเก็บในสภาวะห้องเย็น (5 องศาเซลเซียส) จะสามารถเก็บรักษาผลิตภัณฑ์ได้นานยิ่งขึ้น

2.9 คุณสมบัติของฟิล์ม

ในการผลิตผลิตภัณฑ์ฟิล์มสิ่งที่น่าสนใจในการวัดคุณสมบัติของฟิล์มได้แก่

1. ความหนา (Thickness) ความหนา คือ ระยะตั้งฉากระหว่างผิวหน้าทั้ง 2 ของฟิล์ม มีหน่วยเป็นไมโครเมตรหรือมิลลิเมตร ความหนามีส่วนสัมพันธ์กับคุณสมบัติอื่นๆ เช่น ความต้านทานแรงดึง ความต้านทานการซึมผ่านไอน้ำ และความต้านทานการซึมผ่านของออกซิเจน เป็นต้น (Guillbert, 1986) นิยมใช้เครื่องมือวัดที่มีความละเอียดและแม่นยำสูง เช่น Dial Type Micrometer

2. ความต้านทานแรงดึง (Tensile Strength) ค่าความต้านทานแรงดึง คือ ค่าความเครียดที่ใช้ในการดึงฟิล์มที่ปลายข้างใดข้างหนึ่งของแผ่นทดสอบที่มีความกว้างคงที่จนแผ่นฟิล์มนั้นขาดภายใต้สภาวะการทดสอบที่กำหนด มีหน่วยเป็นนิวตันต่อตารางเมตร ค่านี้ขึ้นอยู่กับความแข็งแรงระหว่างพันธะของสายโซ่โพลิเมอร์มากกว่าความแข็งแรงของสายโซ่โพลิเมอร์ นอกจากนี้การการเติมพลาสติกไซเซอร์ในฟิล์มก็มีผลทำให้ความต้านทานแรงดึงลดลง เมื่อเทียบกับฟิล์มที่ไม่ได้เติมสารพลาสติกไซเซอร์ที่เป็นเช่นนี้ก็เพราะพลาสติกไซเซอร์ที่เติมลงในสารละลายโพลิเมอร์จะไปลดปฏิกิริยาระหว่างโพลิเมอร์กับโพลิเมอร์ แล้วพลาสติกไซเซอร์จับกับโพลิเมอร์ด้วยพันธะทุติยภูมิทำให้ความแข็งแรงระหว่างสายโซ่โมเลกุลลดลง

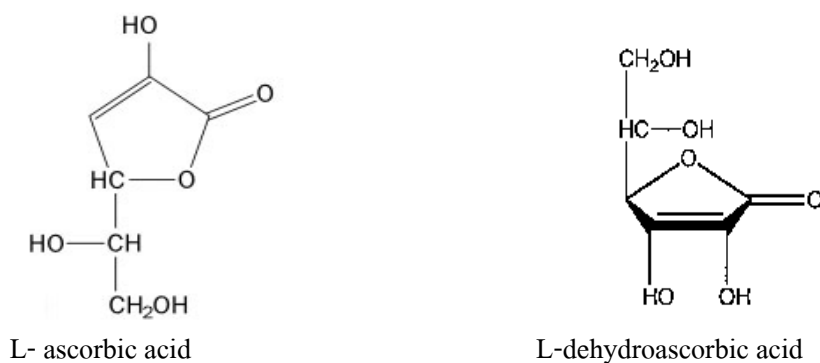
3. ค่าความยืดตัว (% Elongation) ค่าความยืดตัว คือ ร้อยละของระยะทางที่ฟิล์มยืดออกด้วยแรงดึงจนขาดต่อความยาวเดิม ถ้าความยืดของฟิล์มน้อย ฟิล์มจะมีลักษณะเปราะไม่ยืดหยุ่น การเติมพลาสติกไซเซอร์ในฟิล์มนอกจากจะทำให้ค่าความต้านทานแรงดึงของฟิล์มลดลงแล้ว ยังมีผลทำให้ความยืดตัวของฟิล์มเพิ่มขึ้นด้วย เนื่องจากพลาสติกไซเซอร์ทำให้ความแข็งแรงของพันธะระหว่างสายโซ่โมเลกุลลดลง

4. อัตราการซึมผ่านไอน้ำของฟิล์ม (Water vapor transmission) อัตราการซึมผ่านไอน้ำของฟิล์ม คือ ปริมาณไอน้ำที่ซึมผ่านจากผิวหน้าไปยังอีกผิวหน้าหนึ่งต่อหน่วยพื้นที่ผิวฟิล์ม ในระยะเวลาที่กำหนดและภายใต้สภาวะที่ควบคุมอุณหภูมิกับความชื้นสัมพัทธ์มีหน่วยเป็นกรัมต่อตารางเมตรต่อวัน ที่อุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์ในการวิเคราะห์อัตราการซึมผ่านของไอน้ำผ่านฟิล์ม เมื่อคำนวณเปรียบเทียบผลต่างของความดันไอของแต่ละด้านของฟิล์มที่ทดสอบ ซึ่งเรียกค่านี้ว่า water vapor permeance และเมื่อคำนวณค่า water vapor permeance ของฟิล์มที่ทดสอบผ่านความหนาของฟิล์ม จะเรียกค่านี้ว่า ความสามารถในการซึมผ่านไอน้ำผ่านฟิล์ม หรือ water vapor permeability

5. อัตราการซึมผ่านก๊าซของฟิล์ม (Gas transmission rate) อัตราการซึมผ่านของก๊าซผ่านฟิล์มคือ ปริมาณของก๊าซที่ซึมผ่านจากผิวหน้าหนึ่งไปยังอีกผิวหน้าหนึ่งต่อหนึ่งหน่วยพื้นที่ผิวฟิล์มในระยะเวลาที่กำหนด และภายใต้ผลต่างของความดันหนึ่งหน่วย มีหน่วยเป็นลูกบาศก์เซ็นติเมตร/ตารางเมตร•วัน•บรรยากาศ ที่อุณหภูมิในการวิเคราะห์ ค่าที่ได้จากการหาอัตราการซึมผ่านของก๊าซเมื่อคำนวณผ่านความหนาของฟิล์มที่ใช้ทดสอบจะเรียกว่า ความสามารถในการซึมผ่านของก๊าซผ่านฟิล์ม หรือ gas permeability

2.10 กรดแอสคอร์บิก

กรดแอสคอร์บิกหรือวิตามินซี วิตามินชนิดนี้ไม่อาจสังเคราะห์ขึ้นเองในร่างกายคน จำเป็นต้องได้จากอาหาร สูตรเอ็มไพริคัลของ “กรดแอสคอร์บิก” คือ $C_6H_8O_6$ สูตรโครงสร้างของ กรดแอสคอร์บิกและไฮโดรแอสคอร์บิก(dehydroascorbic acid) ซึ่งเกิดโดยการออกซิไดส์กรด แอสคอร์บิกและมีแอกติวิตีเช่นเดียวกับกรดแอสคอร์บิก คือ



รูปที่ 2.1 โครงสร้างของ L-ascorbic acid และ L-dehydroascorbic acid

กรดแอสคอร์บิกมีคุณสมบัติเป็นตัวรีดิวซ์ที่แรง และยังมีคุณสมบัติเป็นกรด ซึ่งเกิดจากหมู่ enediol อยู่ มันเป็นกรดโมโนเบสิก และสามารถทำปฏิกิริยากับด่างได้เกลือ ในสารละลายหมู่ไฮดรอกซิลบน C-3 ไอออนไนซ์ได้ง่าย ($pK_1=4.04$ ที่ $25^{\circ}C$) และสารละลายของกรดอิสระมี pH 2.5 หมู่ไฮดรอกซิลหมู่ที่สองไอออนไนซ์ยาก ($pK_2=11.4$)

กรดแอสคอร์บิกละลายน้ำได้ดีมาก ละลายได้ในแอลกอฮอล์และไม่ละลายในอีเธอร์โดยจะตกผลึกเป็นแผ่นหรือเป็นเข็มแบบโมโนคลินิก (monoclinic needles) หลอมที่ $102^{\circ}C$ พร้อมกับสลายตัว มันหมุนระนาบแสงโพลาไรซ์ไปทางขวา และมี $[\alpha]_D^{20} = +24^{\circ}$ โมเลกุลของกรดแอสคอร์บิกมีอะซิม-เมตริกคาร์บอนอะตอม 2 อะตอม มันจึงมี 4 สเตอริโอไอโซเมอร์ที่เป็นไปได้ แต่ในจำนวนสเตอริโอไอโซเมอร์ทั้งหมด เฉพาะกรด L – ascorbic acid ที่มีแอกติวิตีเป็นวิตามิน กรดไอโซแอสคอร์บิก (Isoascorbic acid) มีแอกติวิตีเล็กน้อย กรดแอสคอร์บิกยังดูดกลืนรังสีอัลตราไวโอเลตได้ปานกลาง

กรดแอสคอร์บิกละลายน้ำได้ดีมาก ดังนั้นจึงสูญเสียไปได้ง่ายจากการชะล้าง การหั่น การปอก หรือการชำของผิวอาหาร อย่างไรก็ตาม การสูญเสียที่สำคัญที่สุดหลังจากอาหารผ่านกระบวนการคือ เกิดการหักเหทางเคมี (chemical degradation) ในอาหารซึ่งมีปริมาณกรดแอสคอร์บิกมาก เช่น ในผลไม้ การสูญเสียมักจะเกิดรวมกับการเกิดสีน้ำตาลที่มีเอนไซม์เกี่ยวข้อง

วิธีทางที่นำไปสู่การแตกหักของกรดแอสคอร์บิกมีมากมายหลายทาง และขึ้นกับสภาวะของแต่ละระบบ ปัจจัยที่มีผลต่อการแตกหักประกอบด้วยอุณหภูมิ ความเข้มข้นของเกลือและน้ำตาล , pH , ออกซิเจน , เอนไซม์ , โลหะที่เป็นตัวเร่ง , กรดอะมิโน , ตัวออกซิไดส์ และตัวรีดิวซ์ ,

ความเข้มข้นเริ่มต้นของกรดแอสคอร์บิก , และอัตราส่วนของกรดแอสคอร์บิกและดีไฮโดรแอสคอร์บิก

เมื่อมีออกซิเจนในระบบ กรดแอสคอร์บิกจะมีการแตกหักเป็นกรดดีไฮโดรแอสคอร์บิก (A) โดยผ่านโมโนแอนไฮออน (HA^-) อัตราเร็วของการแตกหักขึ้นกับความเข้มข้นของโลหะที่เป็นตัวเร่ง (M^{n+}) ในระบบ เมื่อโลหะที่เป็นตัวเร่งคือ Cu^{2+} และ Fe^{3+} อัตราเร็วของการแตกหักจะเพิ่มมากกว่าการออกซิ-ไลส์ที่เกิดขึ้นเอง (โดยไม่มีตัวเร่ง) ดังนั้น แม้จะมีโลหะเหล่านี้เพียงไม่กี่ส่วนในล้าน ก็อาจทำให้เกิดการสูญเสียวิตามินซีมากในผลิตภัณฑ์อาหาร

ภายใต้สภาวะไร้อากาศ(anaerobic conditions) อัตราเร็วของปฏิกิริยาออกซิเดชันจะสูงสุดที่ pH4 แล้วจะลดลงต่ำสุดที่ pH2 และเพิ่มขึ้นอีกเมื่อเป็นกรดมากขึ้น ปฏิกิริยาแตกหักในสภาวะไร้อากาศ จากการนำเสนอแนะของ Kurata and Sakurai คือกรดแอสคอร์บิกทำปฏิกิริยาในรูปของ keto tautomer คือ H_2A -keto tautomer นี้ อยู่ในสมดุลของแอนไฮออนของมัน(HA^- -keto) ซึ่งจะเกิดการแตกแยกของวงแลกโตน ปฏิกิริยาที่ไม่ใช่ตัวเร่งและปฏิกิริยาในสภาวะไร้อากาศ อาจเกิดได้ในสภาวะที่มีอากาศ แต่ปฏิกิริยาที่ใช้ออกซิเจนจะเกิดในสภาวะที่มีอากาศได้มากกว่า

Janjarasskul et al. (2003) ได้ทำการศึกษากาลไคสิ่งกระตุ้นของกรดแอสคอร์บิกที่ผสมกับเวย์โปรตีนโดยเตรียมการทดสอบในที่ที่มี A_w 0.30 , 0.50 , 0.70 และ pH 3.0 , 4.6 , 7.4 พบว่าความสามารถในการจับออกซิเจนของเวย์โปรตีนผสมกรดแอสคอร์บิกจะมีประสิทธิภาพสูงในสภาวะที่มี A_w สูง pH เป็นกลางและมีโลหะเป็นตัวเร่ง

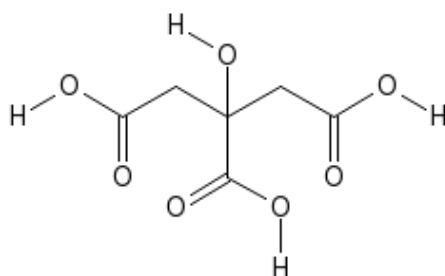
Janjarasskul and Krochta (2005) ได้ทำการศึกษฟิล์มเวย์โปรตีนกับหน้าที่ในการจับออกซิเจนโดยการผสมกับกรดแอสคอร์บิกโดยการผสมกรดแอสคอร์บิกความเข้มข้น 0.05M , 0.1M และ 0.2M ปริมาณ 5%(w/w) ต่อสารละลายฟิล์มที่ประกอบด้วยเวย์โปรตีนต่อกลีเซอรอลที่อัตราส่วน 3:2 และปรับ pH เป็น 3.5 พบว่าการเติมกรดแอสคอร์บิกในฟิล์มเวย์โปรตีนทำให้ความแข็งแรงของฟิล์มลดลง แต่ก็ช่วยเพิ่มประสิทธิภาพในการป้องกันการซึมผ่านออกซิเจนได้

Min and Krochta (2006) ได้ทำการศึกษาการเติมกรดแอสคอร์บิกในฟิล์มเวย์โปรตีนเพื่อควบคุมการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันในถั่วลิสง โดยการเก็บไว้ที่ความชื้นสัมพัทธ์ 21% และอุณหภูมิ 23°C, 35°C และ 50 °C โดยพบว่าการเติมการเติมกรดแอสคอร์บิกมีผลต่อสี ความแข็งแรงของฟิล์ม และคุณสมบัติในการป้องกันการซึมผ่านของออกซิเจน เมื่อเปรียบเทียบระหว่างฟิล์มเวย์โปรตีนผสมกรดแอสคอร์บิกและฟิล์มเวย์โปรตีนที่ไม่ได้ผสมกรดแอสคอร์บิก ฟิล์มเวย์โปรตีนที่ผสมกรดแอสคอร์บิกเปลี่ยนเป็นสีแดงมากกว่าฟิล์มเวย์โปรตีนที่ไม่ได้ผสมกรดแอสคอร์บิก การเติมกรดแอสคอร์บิกลงในฟิล์มเวย์โปรตีนทำให้ความแข็งแรงของฟิล์มลดลง แต่ช่วยลดการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันในพรีนัตได้มากกว่าฟิล์มเวย์โปรตีนที่ไม่ได้ผสมกรดแอสคอร์บิก

Janjarasskul et al. (2007) ได้ทำการศึกษาความเสถียรของกรดแอสคอร์บิกและการเปลี่ยนแปลงสีของฟิล์มเวย์โปรตีนผสมกรดแอสคอร์บิกในระหว่างการเก็บรักษาพบว่า ที่สภาวะ

แวดล้อมการเตรียมที่มี pH 3.5 เมื่อเวลาผ่านไป 84 วันพบว่ามีการดแอสคอร์บิกอยู่มากกว่า 80% เป็นข้อพิสูจน์ให้เห็นถึงความเสถียรของกรดแอสคอร์บิกในฟิล์มเวย์โปรตีนผสมกรดแอสคอร์บิก จากการศึกษาเป็นไปได้ว่าฟิล์มเวย์โปรตีนผสมกรดแอสคอร์บิกสามารถรักษาสารต่อต้านอนุมูลอิสระ และความสามารถในการจับออกซิเจน ดังนั้นในอนาคตอาจสามารถนำมาป้องกันอาหารจากปฏิกิริยาออกซิเดชันได้ นอกจากนั้นยังได้ทำการศึกษากลไกการกระตุ้นของกรดแอสคอร์บิกในการรวมกันกับฟิล์มเวย์โปรตีน พบว่าอัตราการดูดซับออกซิเจนจะมีค่ามากขึ้นเมื่อมีค่า A_w สูง และในสถานะที่มีโลหะ (Cu^{2+}) ที่ pH เป็นกลาง อีกทั้งยังพบว่ามีการมีโลหะ (Cu^{2+}) จะทำให้เกิดการ oxidation ของ แอสคอร์บิกได้มากขึ้น ดังนั้นฟิล์มนี้จึงเหมาะที่จะนำไปใช้ในผลิตภัณฑ์อาหารที่มีความไวต่อปฏิกิริยา oxidation สูง (รัชณี , 2544)

2.11 กรดซิตริก (citric acid)



รูปที่ 2.2 โครงสร้างของกรดซิตริก

กรดซิตริกเป็นกรดอินทรีย์ที่พบมากตามธรรมชาติในพืชและสัตว์ ในมนุษย์จะมีการสร้างกรดซิตริก ในระหว่างการเมตาโบไลต์คาร์โบไฮเดรตและไขมัน หรือในซิตริกแอซิดไซเคิล (Citric acid cycle) ส่วนในพืชจะพบกรดซิตริกมากในพืชตระกูลส้ม ตัวอย่างเช่น พบปริมาณร้อยละ 4-8 ในมะนาว ร้อยละ 1.2-2.1 ในเกรฟฟรุต (grapefruit) นอกจากนั้นก็มีการพบในพืชชนิดอื่นๆ อีกหลายชนิด เช่น สับปะรด สตอเบอรี่ และมะม่วง เป็นต้น

กรดซิตริกเป็นกรดที่มีการใช้ในอุตสาหกรรมอาหารมานานกว่า 100 ปีแล้ว และมีการใช้มากกว่ากรดชนิดอื่นๆ โดยมีการใช้มากถึงร้อยละ 60 ของกรดทั้งหมดที่มีการใช้ในอุตสาหกรรมอาหาร นอกจากนั้นยังมีการใช้กรดซิตริกเป็นมาตรฐาน สำหรับเปรียบเทียบในการศึกษาผลของกรดชนิดต่างๆ ต่อคุณภาพของของผลิตภัณฑ์อาหาร กรดซิตริกมีคุณสมบัติดีกว่ากรดชนิดอื่นๆ คือละลายน้ำได้ดี มีกลิ่นรสเป็นที่ยอมรับของผู้บริโภค เป็นสารจับโลหะที่มีประสิทธิภาพสูง จึงมีการนิยมใช้กรดซิตริกและเกลือของกรดซิตริกในอุตสาหกรรมอาหารกันมาก ในอุตสาหกรรมเครื่องดื่ม ไม่ว่าจะเป็นน้ำผลไม้ น้ำหวานชนิดต่างๆ ทั้งชนิดที่อัดคาร์บอนไดออกไซด์ และไม่อัดคาร์บอนไดออกไซด์ หรือเครื่องดื่มประเภทที่มีแอลกอฮอล์จะมีการใช้กรดซิตริก และเกลือของกรดซิตริก และเกลือของกรดซิตริก ช่วยปรับให้มีกลิ่นรสและความเป็นกรด-ด่างที่พอเหมาะเป็นวัตถุดิบ

เสีย ช่วยยืดอายุการเก็บของผลิตภัณฑ์ ช่วยทำให้สีกลิ่นและรสชาติของเครื่องดื่มมีความคงตัวดีขึ้น เนื่องจากกรดซิตริกและเกลือของกรดซิตริก จะช่วยทำปฏิกิริยากับโลหะที่อาจปนเปื้อนมาในวัตถุดิบ เกิดเป็นสารประกอบเชิงซ้อน ทำให้ปฏิกิริยาที่เกิดขึ้น เนื่องจากโลหะดังกล่าวหยุดชะงัก นอกจากนี้การใช้กรดซิตริกในเครื่องดื่มชนิดที่อัดคาร์บอนไดออกไซด์นั้นกรดชนิดนี้จะช่วยเน้นให้กลิ่นรสของเครื่องดื่มให้ปรากฏเด่นชัดขึ้น ส่วนในผลิตภัณฑ์ไวน์นั้น นอกจากกรดซิตริกจะช่วยปรับความเป็นกรดแล้วยังช่วยป้องกันการเกิดออกซิเดชันด้วย

ส่วนการใช้กรดซิตริกช่วยปรับความเป็นกรด-ด่างให้ต่ำลง ในอุตสาหกรรมผักผลไม้กระป๋องนั้น พบว่าสามารถช่วยลดอุณหภูมิและเวลาที่จะต้องใช้ในการฆ่าเชื้อลง ซึ่งมีประโยชน์มากสำหรับอุตสาหกรรมที่กล่าว เนื่องจากการใช้อุณหภูมิที่สูงและระยะเวลาในการฆ่าเชื้อ จะทำให้ลักษณะเนื้อสัมผัสและกลิ่นรสของผลิตภัณฑ์เสียไป กรดซิตริกที่ใช้ในผลิตภัณฑ์ผักและผลไม้หรือผลิตภัณฑ์ผักผลไม้เยือกแข็งนั้น นอกจากกรดซิตริกจะไปช่วยปรับความเป็นกรด-ด่างแล้วยังช่วยรวมตัวกับโลหะที่ปนเปื้อนมาทำให้เกิดเป็นสารประกอบเชิงซ้อน ทำให้กรดแอสคอร์บิกที่มีอยู่ตามธรรมชาติในผักหรือผลไม้เหล่านั้นคงตัวดีขึ้น ซึ่งจะมีผลต่อเนื่องไปถึงความคงตัวของสี และกลิ่นของผลิตภัณฑ์ทั้งนี้เพราะกรดแอสคอร์บิกจัดเป็นวัตถุกันหืนตามธรรมชาติ และกรดซิตริกที่เติมลงไปนี้ยังไปช่วยทำปฏิกิริยากับด่างที่อาจหลงเหลือมาในช่วงการปลอดเปลือกด้วยด่าง ซึ่งด่างที่หลงเหลือมานี้จะเป็นสาเหตุให้กรดแอสคอร์บิกในผักและผลไม้สลายตัวได้ ส่วนการชะลอสีน้ำตาล(Browning) ที่เกิดขึ้นในกล้วยหรือแอปเปิ้ลแห้งนั้น สามารถทำได้โดยการจุ่มกล้วยหรือแอปเปิ้ลในสารละลายผสมระหว่างกรดซิตริกและกรดอีริทอริก(erythorbic acid)

ในผลิตภัณฑ์ประเภทขนมหวานนั้น การใช้กรดซิตริกจะช่วยเน้นกลิ่นรสของผลไม้ป้องกันการตกผลึกของน้ำตาลและป้องกันการเกิดออกซิเดชันของไขมันและน้ำมันและส่วนประกอบอื่นๆ เช่น ถั่วต่างๆ เป็นต้น

นอกจากนั้นยังมีการศึกษา พบว่ากรดซิตริกเป็นสารเสริมฤทธิ์วัตถุกันหืนที่มีประสิทธิภาพดีมาก สามารถช่วยชะลอการเกิดการหืนของอาหารที่มีไขมันและน้ำมันเป็นส่วนประกอบและป้องกันการเปลี่ยนแปลงของสีและกลิ่นรสในผลไม้กระป๋องและปลากระป๋อง (Gardner, 1966; Gardner, 1972) การจุ่มปลาที่มีไขมันเป็นองค์ประกอบสูงและกึ่งในสารละลายผสมระหว่างกรดซิตริกและกรดแอสคอร์บิกจะช่วยป้องกันการเสียที่มีลักษณะเป็นเมือกเหนียวและมีสีสนิม(rusting) ที่เกิดขึ้นที่ผิวของปลาหรือผิวกุ้ง (สิวาพร , 2546)

บทที่ 3

วิธีดำเนินการวิจัย

3.1 การผลิตฟิล์มบรีโกลจากแป้งข้าวเจ้าและแป้งข้าวเจ้าสกัด

ซึ่งนำส่วนผสมได้แก่ แป้งข้าวเจ้าตราช้างสามเศียร (บริษัท โรงเส้นหมี่ขอเฮง จำกัด) หรือ แป้งข้าวเจ้าสกัด (บริษัท โรงเส้นหมี่ขอเฮง จำกัด) ผงวุ้นตราโบว์ (บริษัท ซี แอล ที อินเตอร์เทรด จำกัด) กลีเซอรอล (CARLO ERBA REAGENTS, CARLD ERBR REAGEN TI s.r.l. monteison Group) และน้ำ ให้ความร้อนน้ำจนอุณหภูมิถึง 40-50 องศาเซลเซียส จึงใส่แป้งข้าวเจ้า (หรือแป้งข้าวเจ้าสกัด) คนตลอดเวลา เมื่ออุณหภูมิถึง 60-65 องศาเซลเซียส จึงใส่ผงวุ้นลงไป คนให้เข้ากันจนอุณหภูมิ 70-75 องศาเซลเซียส ใส่กลีเซอรอล ให้ความร้อนจนอุณหภูมิถึง 80-85 องศาเซลเซียส นำสารละลายมาเทลงบนแผ่นกระจกขนาด 21×30 ตารางเซนติเมตร ที่รองไว้ด้วยแผ่นพลาสติกใส ซึ่งวางอยู่บนหม้อน้ำเดือด (สารละลาย 100 กรัมต่อ plate) นำไปอบในตู้อบลมร้อน (Hot air oven, Memmert model ULP 709)) ที่อุณหภูมิ 50 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 18-20 ชั่วโมง แล้วลอกแผ่นฟิล์มออกจากแผ่นพลาสติกใส เก็บฟิล์มไว้ในถุงซิปล็อก

3.2 การศึกษาอัตราส่วนที่เหมาะสมในการผลิตฟิล์มบรีโกลได้จากแป้งข้าวเจ้า หรือแป้งข้าวเจ้าสกัด ใช้วุ้นเป็นสารช่วยเพิ่มความแข็งแรง

ศึกษาอัตราส่วนที่เหมาะสมในการผลิตฟิล์มบรีโกลได้จากแป้งข้าวเจ้า หรือแป้งข้าวเจ้าสกัด (บริษัท โรงงานเส้นหมี่ขอเฮง จำกัด) ใช้วุ้นเป็นสารช่วยเพิ่มความแข็งแรง โดยใช้อัตราส่วนของปริมาณแป้งข้าวเจ้า หรือแป้งข้าวเจ้าสกัดต่อวุ้น เป็น 1:1 แปรปริมาณส่วนผสมของแป้งข้าวเจ้า (หรือแป้งข้าวเจ้าสกัด) และวุ้น ในสารละลายฟิล์มเป็นร้อยละ 2 ,3 และ 4 โดยใช้กลีเซอรอลเป็นสารพลาสติกไซเซอร์ ซึ่งแปรปริมาณเป็นร้อยละ 1, 2 และ 3 ส่วนผสมของสารละลายฟิล์มที่ใช้ในการทดลองแสดงในตารางที่ 3.1

ตารางที่ 3.1 ส่วนผสมของสารละลายฟิล์ม

สูตรที่	ปริมาณส่วนผสม (กรัม / สารละลายฟิล์ม 100 กรัม)		
	แป้ง + วัล	กลีเซอรอล	น้ำ
1	3	1	96
2	3	2	95
3	3	3	94
4	4	1	95
5	4	2	94
6	4	3	93
7	5	1	94
8	5	2	93
9	5	3	92

ฟิล์มที่ผลิตได้นำมาประเมินคุณสมบัติ ดังนี้

- ความหนา โดยใช้ micrometer (Teclock Corporation SM-123 , Japan)
- เปอร์เซ็นต์ความชื้น โดยใช้เครื่องวิเคราะห์ความชื้น (Mettler Toledo LJ16)
- ปริมาณน้ำอิสระ โดยใช้เครื่องวัดปริมาณน้ำอิสระ (p_{a_w} kit รุ่น Tawkil, USA)
- สี โดยใช้เครื่องวัดสี (BYK Gardner 6831 , Germany)
- ความต้านทานแรงดึง (Tensile Strength) และเปอร์เซ็นต์การยืดตัว (%Elongation at Break) โดยใช้ Texture Analyzer (LLOYD instruments serial No 10926 , Thailand)
- อัตราการซึมผ่านของไอน้ำ (water vapor transmission rate) ใช้ Gravimetric Technique แบบ Desiccant method
- อัตราการซึมผ่านของก๊าซ (gas transmission rate) (เฉพาะตัวอย่างฟิล์มที่สมบัติเหมาะสม) ส่งวิเคราะห์ที่ศูนย์บรรจุหีบห่อไทย สถาบันวิจัยวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งประเทศไทย

3.3 ศึกษาผลของการเติมกรดแอสคอร์บิกต่อสมบัติของฟิล์มบริโกลได้จากแป้งข้าวเจ้า หรือแป้งข้าวเจ้าสกัด

โดยเลือกสูตรที่เหมาะสมจากการทดลองในข้อ 3.2 เพื่อนำมาศึกษาผลของการเติมกรดแอสคอร์บิก การเตรียมฟิล์มในขั้นนี้จะเติมกรดซิตริก เพื่อปรับ pH ฟิล์มของบริโกลได้จากแป้งข้าวเจ้าและแป้งข้าวเจ้าสกัด ให้มี pH 2 และ 3.5 แล้วศึกษาอัตราส่วนการเติมกรดแอสคอร์บิกต่อคุณสมบัติของฟิล์มบริโกลได้จากแป้งข้าวเจ้าและแป้งข้าวเจ้าสกัด นำสารละลายที่ผ่านการปรับ pH มาเติมกรดแอสคอร์บิกลงในฟิล์มบริโกลได้จากแป้งข้าวเจ้าและแป้งข้าวเจ้าสกัด ในปริมาณ 0.5 1 2 และ 3 กรัม โดยมีวิธีการเตรียมฟิล์มบริโกลได้จากแป้งข้าวเจ้าและแป้งข้าวเจ้าสกัดผสมกรดแอสคอร์บิกดังนี้

ชั่งน้ำหนักส่วนผสมได้แก่ แป้งข้าวเจ้าตราช้างสามเศียร (บริษัท โรงเส้นหมี่ขอเอง จำกัด) หรือ แป้งข้าวเจ้าสกัด (บริษัท โรงเส้นหมี่ขอเอง จำกัด) พงวันตราโบว์ (บริษัท ซี แอล ที อินเตอร์เทรด จำกัด) กลีเซอรอล (CARLO ERBA REAGENTS, CARLD ERBR REAGEN TI s.r.l. monteison Group) และน้ำ ให้ความร้อนน้ำจนอุณหภูมิถึง 40-50 องศาเซลเซียส จึงใส่แป้งข้าวเจ้า (หรือแป้งข้าวเจ้าสกัด) คนตลอดเวลา เมื่ออุณหภูมิถึง 60-65 องศาเซลเซียส จึงใส่ผงวันลงไป คนให้เข้ากันจนอุณหภูมิ 70-75 องศาเซลเซียส ใส่กลีเซอรอล ให้ความร้อนจนอุณหภูมิถึง 80-85 องศาเซลเซียส จึงนำสารละลายลงมาจากเตาแล้วเติมกรดซิตริก CARLO ERBA REAGENTS, CARLD ERBR REAGEN TI s.r.l. monteison Group) ลงไปเพื่อทำการปรับ pH เป็น 2 และ 3.5 จากนั้นใส่กรดแอสคอร์บิก (UNION CHEMICAL 1986 CO.,LTD) ในอัตราส่วนต่างๆ นำสารละลายมาเทลงบนแผ่นกระจกขนาด 21×30 ตารางเซนติเมตร ที่รองไว้ด้วยแผ่นพลาสติกใส ซึ่งวางอยู่บนหม้อน้ำเดือด (สารละลาย 100 กรัมต่อ plate) นำไปอบในตู้อบลมร้อน (Hot air oven, Memmert model ULP 709)) ที่อุณหภูมิ 50 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 18-20 ชั่วโมง แล้วลอกแผ่นฟิล์มออกจากแผ่นพลาสติกใส เก็บฟิล์มไว้ในถุงซิปล็อก ฟิล์มที่ผลิตได้นำมาประเมินคุณสมบัติ ดังนี้

- ความหนา โดยใช้ micrometer (Teclock Corporation SM-123 , Japan)
- เปอร์เซ็นต์ความชื้น โดยใช้เครื่องวิเคราะห์ความชื้น (Mettler Toledo LJ16)
- ปริมาณน้ำอิสระ โดยใช้เครื่องวัดปริมาณน้ำอิสระ (pa_w kit รุ่น Tawkil, USA)
- สี โดยใช้เครื่องวัดสี (BYK Gardner 6831 , Germany)
- ความต้านทานแรงดึง (Tensile Strength) และเปอร์เซ็นต์การยืดตัว (%Elongation at Break) โดยใช้ Texture Analyzer (LLOYD instruments serial No 10926) โดยตัดฟิล์มขนาด 0.5 x10 เซนติเมตร ยึดปลายทั้ง 2 ของฟิล์มเข้ากับหัวหนีบ เริ่มทดสอบโดยการเข้าโปรแกรมการทดสอบ Texture เลือกประเภทการทดสอบเป็นรูปแบบฟิล์ม ตั้งค่าขนาดตัวอย่าง (ความกว้าง และความยาว) ตามขนาดตัวอย่างที่นำมาทดลอง ใช้สภาวะทดสอบ ดังนี้ อัตราเร็วใน

การวัด 20 มิลลิเมตร/วินาที และ load cell เท่ากับ 25 นิวตัน ทำการวัดทั้งหมด 3 ซ้ำ หาค่าเฉลี่ย

- อัตราการซึมผ่านของไอน้ำ (water vapor transmission rate) ใช้ Gravimetric Technique แบบ Desiccant method และใช้ตู้ควบคุมความชื้นและอุณหภูมิ (SANYO ENVIRONMENTAL CHAMBER MODEL MTH- 4100 , SANYO Electric Co.,Ltd. Japan) โดยดัดแปลงจากวิธี ASTM E96 โดยใช้ถ้วยขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 7 เซนติเมตร ที่ทราบน้ำหนักที่แน่นอน นำมาบรรจุซิลิกาเจล 15 กรัม ปิดผนึกสนิทด้วยฟิล์ม ชั่งน้ำหนักอีกครั้ง จากนั้นนำไปวางในเดซิเคเตอร์ที่ภายในปรับความชื้นสัมพัทธ์ร้อยละ 85 อุณหภูมิที่ 25°C และชั่งน้ำหนักถ้วยที่ปิดผนึกด้วยฟิล์มทุกๆ 30 นาที (เครื่องชั่งทศนิยม 4 ตำแหน่ง) เขียนกราฟระหว่างน้ำหนักซิลิกาเจลกับเวลา โดยคำนวณได้จาก

$$WVT = \frac{w}{t.A} \quad \text{เมื่อ} \quad \frac{w}{t} = \text{slope} \left(\frac{g}{hr} \right), A = \text{พื้นที่ (m}^2\text{)}$$

- อัตราการซึมผ่านของก๊าซ (gas transmission rate) (เฉพาะตัวอย่างฟิล์มที่สมบัติเหมาะสม) ส่องวิเคราะห์ที่ศูนย์บรรจุหีบห่อไทย สถาบันวิจัยวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งประเทศไทย
- ความสามารถในการดูดซับออกซิเจนของฟิล์มในบรรจุภัณฑ์ โดยใช้เครื่องวัดปริมาณออกซิเจน Oxybaby[®] V O₂/CO₂ (Witt-Gasetechnik)
- วิเคราะห์ปริมาณกรดแอสคอร์บิกในฟิล์ม

วิเคราะห์ปริมาณกรดแอสคอร์บิกในฟิล์ม ดัดแปลงจากวิธี AOAC 967.21 โดยการนำฟิล์มแปรงข้าวเจ้าหรือแปรงข้าวเจ้าสกัดมาผสมกรดแอสคอร์บิกที่อัตราส่วนต่างๆ 1 กรัม ตัดเป็นชิ้นเล็กๆ นำมาละลายใน metaphosphoric acid-acetic acid solution (HPO₃-CH₃COOH) 50 ml จากนั้นปิเปตสารละลายที่ได้ มา 2 ml และสารละลาย metaphosphoric acid-acetic acid solution (HPO₃-CH₃COOH) 5 ml มาใส่ในขวดรูปชมพู่ ทำการไทเทรตกับ สารละลาย indophenol จนสีของสารละลายเปลี่ยนเป็นสีชมพู (แสดงว่าถึงจุดยุติ) จดปริมาณของ สารละลาย indophenol ที่ใช้ นำไปคำนวณหาปริมาณกรดแอสคอร์บิกจากสูตร

$$\text{mg of ascorbic acid/g or ml of sample} = C \times V \times (DF/WT)$$

โดย C = ปริมาณของกรดแอสคอร์บิกต่อ 1 ml ของ dye (mg/ml)

V = ปริมาตรของ dye ที่ใช้ในการไทเทรตตัวอย่าง (ml)

DF = dilution factor

WT = น้ำหนักตัวอย่าง (mg)

3.4 ศึกษาการเคลือบฟิล์มบริโกลได้จากแป้งข้าวเจ้าและแป้งข้าวเจ้าสกัดผสมกรดแอสคอร์บิกบน เม็คมะม่วงหิมพานต์

นำเม็คมะม่วงหิมพานต์มาเลียบด้วยไม้และนำไปจุ่มลงในสารละลายฟิล์มในข้อ 3.3 จากนั้นนำเม็คมะม่วงหิมพานต์ที่ผ่านการจุ่มลงสารละลายไปเลียบไว้บนแผ่นโฟม แล้วนำไปอบในตู้อบลมร้อน (Hot air oven) เป็นเวลา 18-20 ชั่วโมง เมื่อครบเวลาตามกำหนด นำเม็คมะม่วงหิมพานต์มาเก็บไว้ที่อุณหภูมิห้อง แล้วประเมินความสามารถของฟิล์มบริโกลได้จากแป้งข้าวเจ้าและแป้งข้าวเจ้าสกัดในการลดการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันในเม็คมะม่วงหิมพานต์ โดยวัดค่า Peroxide Value ด้วยวิธีที่ดัดแปลงจาก AOAC 965.33 โดยการนำตัวอย่างเม็คมะม่วงหิมพานต์ประมาณ 3 กรัม มาทำการบด จากนั้นนำมาสกัดในสารละลายผสมระหว่างกรดอะซิติก 18 กรัม และคลอโรฟอร์ม 12 กรัม เขย่าและตั้งทิ้งไว้ 20 นาที จากนั้นกรองด้วยกระดาษกรองวอชแมนเบอร์ 1 นำสารละลายที่ได้จากการกรองมาเติมสารละลายโพแทสเซียมไอโอไดด์ ตั้งทิ้งไว้ในที่มืดเป็นเวลา 5 นาที นำมาเติมน้ำกลั่น 75 ml และน้ำแข็ง จากนั้นนำมาไทเทรตกับสารละลายมาตรฐานโซเดียมไทโอซัลเฟตจนสารละลายเปลี่ยนจากสีม่วงเป็นสีขาวขุ่น คำนวณหาค่า Peroxide Value ได้จากสูตร

$$P.V.(\text{milliequivalent peroxide / kg sample}) = \frac{S \times N \times 1000}{g \text{ sample}}$$

โดย S = ml $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3$ (blank corrected) N = normality $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3$

3.5 การออกแบบการทดลอง

การศึกษาผลของปัจจัยต่างๆ ออกแบบการทดลองโดยวิธี one-way completely randomized design การวิเคราะห์ทางสถิติเพื่อศึกษาผลของปัจจัยใช้วิธีการวิเคราะห์ความแปรปรวน (Analysis of Variance, ANOVA) การวิเคราะห์เพื่อศึกษาความแตกต่างของค่าเฉลี่ยใช้วิธี Duncan's Multiple Range Test ที่ระดับนัยสำคัญ 0.05

บทที่ 4

ผลการทดลอง และอภิปรายผลการทดลอง

4.1 การศึกษาอัตราส่วนที่เหมาะสมในการผลิตฟิล์มบริโภคได้จากแป้งข้าวเจ้า หรือแป้งข้าวเจ้าสกัด ใช้วุ้นเป็นสารช่วยเพิ่มความแข็งแรง

ศึกษาอัตราส่วนที่เหมาะสมในการผลิตฟิล์มบริโภคได้จากแป้งข้าวเจ้า หรือแป้งข้าวเจ้าสกัด (บริษัท โรงงานเส้นหมี่ขอสงวน จำกัด) ใช้วุ้นเป็นสารช่วยเพิ่มความแข็งแรง โดยใช้อัตราส่วนของปริมาณแป้งข้าวเจ้า หรือแป้งข้าวเจ้าสกัดต่อวุ้น เป็น 1:1 ซึ่งอัตราส่วนนี้ได้จากการทดลองเบื้องต้นเพื่อคัดเลือกอัตราส่วนของแป้งข้าวเจ้าต่อวุ้น (ไม่ได้แสดงข้อมูล) พบว่าจาก 4 อัตราส่วน ได้แก่ แป้งข้าวเจ้า ต่อ วุ้น เป็น 4:0, 3:1, 2:2 , 1:3 และ 0:4 พบว่าฟิล์มที่ใช้อัตราส่วนของแป้งข้าวเจ้าต่อวุ้นในอัตราส่วน 2:2 (ใช้แป้งและวุ้นปริมาณเท่ากัน) มีคุณสมบัติเหมาะสมที่สุด จึงเลือกใช้อัตราส่วนนี้ในการทดลอง

ในการทดลองนี้ได้แปรปริมาณส่วนผสมของแป้งข้าวเจ้า (หรือแป้งข้าวเจ้าสกัด) และวุ้นในสารละลายฟิล์มเป็นร้อยละ 2, 3 และ 4 โดยใช้กลีเซอรอลเป็นสารพลาสติกไซเซอร์ ซึ่งแปรปริมาณเป็นร้อยละ 1, 2 และ 3 ส่วนผสมของสารละลายฟิล์มที่ใช้ในการทดลองแสดงในตารางที่ 3.1 สมบัติของฟิล์มที่ได้แสดงในตารางที่ 4.1 และ 4.2

โดยภาพรวมการแปรอัตราส่วนของแป้งข้าวเจ้าผสมวุ้น และแป้งข้าวเจ้าสกัดผสมวุ้น มีผลเพียงเล็กน้อยต่อสีของฟิล์ม เนื่องจากเมื่อมองด้วยตาเปล่า ฟิล์มทั้งสองชนิดมีลักษณะค่อนข้างใส มีสีขาวหม่นเล็กน้อย ความหนาของฟิล์มขึ้นกับปริมาณส่วนผสมของแป้งที่ใช้ เมื่อใช้ส่วนผสมแป้งมากขึ้น ฟิล์มจะหนาขึ้น ปริมาณความชื้นของฟิล์มมีความแตกต่างกันในช่วงกว้าง คาดว่าอาจเป็นผลจากการควบคุมเวลาในการอบแห้งฟิล์มแต่ละชุด การควบคุมสภาวะการอบฟิล์มให้แห้งจึงน่าจะเป็นส่วนที่ต้องให้ความสำคัญ ปริมาณน้ำอิสระของฟิล์มที่ได้ อยู่ในช่วง 0.50-0.54 และมีความแตกต่างกันเล็กน้อยในแต่ละสูตร ฟิล์มจากสูตรต่างๆ มีค่าอัตราการซึมผ่านของไอน้ำไม่แตกต่างกัน คุณลักษณะของฟิล์มที่แตกต่างกันอย่างชัดเจน ได้แก่ ด้านสมบัติทางกลของฟิล์ม ได้แก่ ความต้านทานแรงดึง และเปอร์เซ็นต์การยืดตัวของฟิล์ม ฟิล์มสูตรที่ใช้ส่วนผสมของแป้งและวุ้นปริมาณมาก จะมีความแข็งแรงในแง่ความต้านทานแรงดึงมากกว่าฟิล์มสูตรที่ใช้ปริมาณส่วนผสมของแป้งและวุ้นปริมาณน้อยกว่า ซึ่งคาดว่าเกิดจากฟิล์มมีความหนาเพิ่มขึ้น แต่เมื่อใช้ส่วนผสมของแป้งและวุ้นปริมาณเท่ากัน แล้วเพิ่มปริมาณกลีเซอรอลจะทำให้ฟิล์มมีความต้านแรงดึงลดลง ส่วนเปอร์เซ็นต์การยืดตัวของฟิล์มมีแนวโน้มที่แตกต่างกัน ส่วนใหญ่ฟิล์มที่มีกลีเซอรอลมากมักจะสามารยยืดตัวได้มากกว่า แต่เมื่อฟิล์มที่ได้หนาอาจทำให้การยืดตัวน้อยลง มีความยืดหยุ่นน้อยลงได้เช่นกัน จากผลการทดลอง พบว่ามีความใกล้เคียงกับการศึกษาของ สุวัฒน์ พฤกษ์ศรี (2539) ซึ่งพบว่า

แผ่นฟิล์มที่ได้มีสีขาวค่อนข้างใส มีลักษณะการเป็นฟิล์มที่ดี แต่มีข้อด้อยคือมีความไวต่อความชื้น และอัตราการซึมผ่านของไอน้ำและออกซิเจนสูง ซึ่งทำให้ไม่สามารถใช้โดยมีการสัมผัสกับอากาศโดยตรง อย่างไรก็ตามฟิล์มแป้งข้าวเจ้าผสมวุ้นมีสมบัติที่ดีกว่าการใช้แป้งข้าวเจ้าเป็นวัตถุดิบเพียงอย่างเดียว เพราะฟิล์มบริโกลได้จากแป้งข้าวเจ้า ที่ไม่มีการเติมวุ้น จะมีสีขาวขุ่น ยืดหยุ่นพอใช้ และมีความเปราะบาง (เกศศิณี ตรีระภูทิวากร และคณะ, 2539) ซึ่งฟิล์มที่ผลิตจากแป้งข้าวเจ้ามีสีขาวขุ่น ยืดหยุ่นพอใช้ และมีความเปราะบาง

สำหรับฟิล์มทั้งชนิดที่ใช้แป้งข้าวเจ้า และแป้งข้าวเจ้าสกัด เลือกใช้สูตรที่ใช้ส่วนผสมของแป้งผสมวุ้น ร้อยละ 4 และกลีเซอรอล ร้อยละ 2 เนื่องจากฟิล์มมีความแข็งแรง และความยืดหยุ่นที่เหมาะสมที่สุด ฟิล์มสูตรที่เลือกนี้จะนำไปวัดค่าอัตราการซึมผ่านของออกซิเจน ดังแสดงในตารางที่ 4.3 และใช้ฟิล์มสูตรดังกล่าวในการศึกษาในขั้นต่อไป

หากเปรียบเทียบสมบัติของฟิล์มที่ผลิตจากแป้งกับฟิล์มที่ผลิตจากสตาร์ช พบว่าฟิล์มที่ผลิตจากแป้งข้าวเจ้าสกัดผสมวุ้น มีค่าความต้านทานแรงดึง และความสามารถในการยืดตัวสูงกว่าฟิล์มที่ผลิตจากแป้งข้าวเจ้าผสมวุ้น และฟิล์มที่ผลิตจากแป้งข้าวเจ้าสกัดผสมวุ้น มีความสามารถในการให้ไอน้ำซึมผ่าน และความสามารถในการให้ก๊าซออกซิเจนผ่านต่ำกว่าฟิล์มที่ผลิตจากแป้งข้าวเจ้าผสมวุ้น ซึ่งเป็นไปในทำนองเดียวกับการศึกษาของ มณฑาทิพย์ ยุ่นฉลาด (2534) ซึ่งศึกษาฟิล์มที่ผลิตจากสตาร์ชมันเทศ พบว่า ฟิล์มจากสตาร์ชจะมีความแข็งแรง และมีความสามารถในการกันแก๊สที่ดีกว่าฟิล์มที่ผลิตจากแป้งมันเทศ

ตารางที่ 4.3 อัตราการซึมผ่านของออกซิเจน (OTR, $\text{cm}^3/\text{m}^2 \cdot 24\text{h}$) ของฟิล์มที่ใช้แป้งข้าวเจ้าผสมวุ้น และแป้งข้าวเจ้าสกัดผสมวุ้น (ส่วนผสมของแป้งผสมวุ้น ร้อยละ 4 และกลีเซอรอล ร้อยละ 2)

ชนิดของฟิล์ม	ความหนา (mm)	OTR
ฟิล์มแป้งข้าวเจ้า	0.116	$37.9^a \pm 0.15$
ฟิล์มแป้งข้าวเจ้าสกัด	0.105	$32.1^b \pm 0.10$

a,b,c,... ตัวอักษรที่แตกต่างกันในคอลัมน์เดียวกัน หมายถึง ค่าเฉลี่ยในแต่ละคอลัมน์มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$)

ตารางที่ 4.1 สมบัติของฟิล์มแป้งข้าวเจ้าผสมวุ้น

สูตรที่	สี			ความหนา (มม.)	ความชื้น (%)	ปริมาณน้ำอิสระ	WVTR ^{ns} (g/hr/m ²)	TS (N/m)	%E
	L	A	b						
1	89.59 ± 0.12 ^{abc}	1.25 ± 0.68 ^b	1.69 ± 0.20 ^{bc}	0.1 ± 0.02 ^d	23.48 ± 1.12 ^{cd}	0.51 ± 0.01 ^b	0.019 ± 0.00	476.8 ± 14.71 ^d	42.67 ± 0.58 ^c
2	89.19 ± 1.05 ^{abc}	0.53 ± 0.08 ^f	0.40 ± 0.10 ^f	0.16 ± 0.02 ^a	19.65 ± 2.06 ^c	0.54 ± 0.03 ^a	0.017 ± 0.001	366.13 ± 11.61 ^{ef}	53 ± 2.0 ^b
3	89.08 ± 0.47 ^{abc}	0.77 ± 0.14 ^{cde}	0.37 ± 0.11 ^f	0.15 ± 0.02 ^{ab}	33.41 ± 1.76 ^a	0.52 ± 0.01 ^b	0.019 ± 0.005	344.37 ± 11.70 ^f	32.4 ± 1.44 ^d
4	90.22 ± 0.96 ^a	1.95 ± 0.16 ^a	1.87 ± 0.10 ^b	0.12 ± 0.007 ^{cd}	16.61 ± 0.27 ^f	0.51 ± 0.01 ^b	0.015 ± 0.005	1058.7 ± 59.34 ^c	34 ± 5.57 ^d
5	88.33 ± 0.49 ^c	0.60 ± 0.08 ^{ef}	1.13 ± 0.05 ⁿ	0.15 ± 0.01 ^{ab}	23.07 ± 2.45 ^d	0.51 ± 0.01 ^b	0.018 ± 0.051	429.1 ± 17.77 ^{de}	46.17 ± 2.47 ^c
6	90.18 ± 0.80 ^a	0.78 ± 0.05 ^{cd}	2.35 ± 0.14 ^a	0.14 ± 0.007 ^{bc}	30.10 ± 2.06 ^b	0.50 ± 0.01 ^b	0.016 ± 0.004	244.97 ± 10.76 ^b	66.97 ± 1.95 ^a
7	88.85 ± 0.69 ^{bc}	0.69 ± 0.03 ^{def}	0.48 ± 0.04 ^{ef}	0.11 ± 0.009 ^{cd}	14.14 ± 0.67 ^f	0.52 ± 0.01 ^b	0.014 ± 0.001	2267.67 ± 72.38 ^a	70.67 ± 2.52 ^a
8	90.00 ± 0.74 ^{ab}	1.20 ± 0.12 ^b	1.52 ± 0.12 ^c	0.13 ± 0.006 ^c	21.43 ± 0.74 ^{de}	0.52 ± 0.05 ^b	0.013 ± 0.003	1313.07 ± 37.40 ^b	68.40 ± 0.05 ^d
9	89.91 ± 0.61 ^{ab}	0.90 ± 0.09 ^c	0.65 ± 0.08 ^c	0.13 ± 0.006 ^c	25.97 ± 0.58 ^c	0.53 ± 0.01 ^{ab}	0.015 ± 0.002	1286.27 ± 64.93 ^c	34.37 ± 1.36 ^d

WVTR: อัตราการซึมผ่านไอน้ำ, TS: ความต้านทานแรงดึง, %E: ร้อยละของการยืดตัว

a,b,c,... ตัวอักษรที่แตกต่างกันในคอลัมน์เดียวกัน หมายถึง ค่าเฉลี่ยในแต่ละคอลัมน์มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$)

ns หมายถึง ค่าเฉลี่ยในแต่ละคอลัมน์ ไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \geq 0.05$)

ตารางที่ 4.2 สมบัติของฟิล์มแป้งข้าวเจ้าสัปดาห์ที่ 4

สูตรที่	สี			ความหนา (มม.)	ความชื้น (%)	ปริมาณน้ำอิสระ	WVTR ^{ns} (g/hr/m ²)	TS (N/m)	%E
	L	A	b						
1	90.74 ± 0.26 ^c	0.23 ± 0.05 ^{bcd}	0.59 ± 0.59 ^f	0.08 ± 0.008 ^c	23.34 ± 1.05 ^d	0.52 ± 0.01 ^c	0.06 ± 0.01	817.48 ± 52.96 ^c	33.13 ± 2.56 ^c
2	91.69 ± 0.08 ^a	0.19 ± 0.07 ^{cd}	2.05 ± 0.08 ^{ab}	0.090 ± 0.006 ^c	13.3 ± 1.23 ^c	0.55 ± 0.01 ^{ab}	0.04 ± 0.01	405.9 ± 8.07 ^{bc}	92.5 ± 2.1 ^{ab}
3	91.05 ± 0.15 ^b	0.33 ± 0.04 ^b	1.35 ± 0.20 ^{dc}	0.10 ± 0.007 ^{bc}	25.58 ± 0.96 ^d	0.55 ± 0.01 ^a	0.05 ± 0.01	335.3 ± 80.90 ^{bc}	96.07 ± 1.75 ^a
4	91.41 ± 0.21 ^a	0.26 ± 0.07 ^b	1.47 ± 0.20 ^{cde}	0.02 ± 0.006 ^d	12.34 ± 0.32 ^c	0.53 ± 0.01 ^c	0.03 ± 0.004	1062.5 ± 8.63 ^d	53.67 ± 6.81 ^a
5	91.63 ± 0.02 ^a	0.13 ± 0.07 ^d	1.76 ± 0.1 ^{bcd}	0.15 ± 0.05 ^a	24.27 ± 1.23 ^a	0.54 ± 0.01 ^{ab}	0.06 ± 0.01	899.82 ± 66.81 ^c	80.6 ± 3.68 ^b
6	91.46 ± 0.06 ^a	0.45 ± 0.07 ^a	2.37 ± 0.14 ^a	0.13 ± 0.007 ^{ab}	24.66 ± 2.55 ^a	0.53 ± 0.01 ^{bc}	0.05 ± 0.01	856.29 ± 50.77 ^c	92.27 ± 5.02 ^{ab}
7	91.07 ± 0.04 ^b	0.30 ± 0.09 ^b	1.86 ± 0.04 ^{bc}	0.13 ± 0.007 ^{ab}	14.33 ± 1.13 ^c	0.55 ± 0.01 ^{ab}	0.05 ± 0.01	2028.9 ± 122.42 ^a	66.67 ± 12.86 ^c
8	90.72 ± 0.31 ^c	0.22 ± 0.04 ^{cd}	1.28 ± 0.19 ^c	0.15 ± 0.009 ^a	17.02 ± 1.13 ^b	0.53 ± 0.01 ^{bc}	0.04 ± 0.01	1462.6 ± 114.55 ^b	64.67 ± 9.71 ^{cd}
9	90.5 ± 0.05 ^c	0.29 ± 0.07 ^{bc}	1.05 ± 0.03 ^c	0.15 ± 0.007 ^a	23.38 ± 0.62 ^a	0.53 ± 0.01 ^c	0.06 ± 0.01	1285.8 ± 91.84 ^c	86.33 ± 7.37 ^{ab}

WVTR: อัตราการซึมผ่านไอน้ำ, TS: ความต้านทานแรงดึง, %E: ร้อยละของการยืดตัว

a,b,c,... ตัวอักษรที่แตกต่างกันในคอลัมน์เดียวกัน หมายถึง ค่าเฉลี่ยในแต่ละคอลัมน์มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (p < 0.05)

ns หมายถึง ค่าเฉลี่ยในแต่ละคอลัมน์ ไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (p ≥ 0.05)

4.2 ศึกษาผลของการเติมกรดแอสคอร์บิกต่อสมบัติของฟิล์มบริโกลได้จากแป้งข้าวเจ้า หรือแป้งข้าวเจ้าสกัด

4.2.1 ศึกษาผลของการเติมกรดแอสคอร์บิกต่อสมบัติของฟิล์มบริโกลได้จากแป้งข้าวเจ้า หรือแป้งข้าวเจ้าสกัด

โดยเลือกสูตรที่เหมาะสมจากการทดลองในข้อ 3.2 เพื่อนำมาศึกษาผลของการเติมกรดแอสคอร์บิก ในการทดลองครั้งที่ 1 การเตรียมฟิล์มจะเติมกรดซิตริก เพื่อปรับ pH ฟิล์มของบริโกลได้จากแป้งข้าวเจ้าและแป้งข้าวเจ้าสกัด ให้มี pH 3.5 แล้วศึกษาอัตราส่วนการเติมกรดแอสคอร์บิก ต่อคุณสมบัติของฟิล์มบริโกลได้จากแป้งข้าวเจ้าและแป้งข้าวเจ้าสกัด นำสารละลายฟิล์มที่ผ่านการปรับ pH มาเติมกรดแอสคอร์บิกลงในฟิล์มบริโกลได้จากแป้งข้าวเจ้าและแป้งข้าวเจ้าสกัด ใน ปริมาณ 0 0.1 0.2 0.3 0.4 กรัม

ตารางที่ 4.4 ผลของการเติมกรดแอสคอร์บิกสมบัติของฟิล์มแป้งข้าวเจ้าผสมวุ้น

สูตรที่	สี่			ความหนา ^{ns} (มม.)	ความชื้น ^u (%)	ปริมาณน้ำ อิสระ ^{ns}	TS (N/m)	%E
	L	A	b					
0	88.33 ^a ± 0.49	0.60 ^b ± 0.08	1.13 ^c ± 0.05	0.150 ± 0.010	23.07 ^b ± 2.450	0.51 ± 0.01	429.1 ^c ± 17.77	46.17 ^d ± 2.47
0.1	83.25 ^b ± 1.84	2.09 ^a ± 0.46	7.79 ^b ± 1.47	0.151 ± 0.025	16.58 ^c ± 0.399	0.51 ± 0.01	768.4 ^b ± 18.82	63.67 ^c ± 6.66
0.2	83.75 ^b ± 0.11	2.13 ^a ± 0.17	7.00 ^b ± 0.30	0.128 ± 0.007	31.51 ^a ± 0.405	0.51 ± 0.01	977.7 ^a ± 31.49	85.60 ^b ± 2.91
0.4	82.67 ^b ± 0.44	2.60 ^a ± 0.32	11.56 ^a ± 1.13	0.140 ± 0.007	22.25 ^b ± 0.093	0.51 ± 0.01	986.2 ^a ± 34.46	93.13 ^a ± 6.37

TS: ความต้านทานแรงดึง, %E: ร้อยละของการยืดตัว

a,b,c,... ตัวอักษรที่แตกต่างกันในคอลัมน์เดียวกัน หมายถึง ค่าเฉลี่ยในแต่ละคอลัมน์มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$)

ns หมายถึง ค่าเฉลี่ยในแต่ละคอลัมน์ ไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \geq 0.05$)

ตารางที่ 4.5 ผลของการเติมกรดแอสคอร์บิกสมบัติของฟิล์มแป้งข้าวเจ้าสกัดผสมวุ้น

ปริมาณกรด แอสคอร์บิก	สี			ความหนา (มม.)	ความชื้น (%)	ปริมาณน้ำอิสระ ^{ns}	TS (N/m)	%E
	L ^{ns}	a ^{ns}	b					
0	91.63 ± 0.02	0.13 ± 0.07	1.76 ^b ± 0.1	0.15 ± 0.05	24.27 ^a ± 1.23	0.54 ± 0.01	834.8 ^a ± 17.3	80.6 ^a ± 3.68
0.1	89.38 ± 0.08	1.46 ± 0.07	-1.85 ^b ± 0.08	0.16 ± 0.007	12.63 ^b ± 0.42	0.46 ± 0.01	106.8 ^c ± 5.8	82.5 ^a ± 1.91
0.2	88.63 ± 0.15	1.52 ± 0.04	-2.58 ^{ab} ± 0.20	0.16 ± 0.014	15.88 ^b ± 1.04	0.46 ± 0.01	124.2 ^c ± 4.3	75.67 ^a ± 2.58
0.4	87.92 ± 0.21	1.83 ± 0.07b	-3.07 ^a ± 0.20	0.17 ± 0.006	14.44 ^b ± 0.16	0.46 ± 0.01	367.0 ^b ± 18.3	37.9 ^b ± 2.35

TS: ความต้านทานแรงดึง, %E: ร้อยละของการยืดตัว

a,b,c,... ตัวอักษรที่แตกต่างกันในคอลัมน์เดียวกัน หมายถึง ค่าเฉลี่ยในแต่ละคอลัมน์มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$)

ns หมายถึง ค่าเฉลี่ยในแต่ละคอลัมน์ ไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \geq 0.05$)

จากศึกษาผลของการเติมกรดแอสคอร์บิก ในการทดลองเบื้องต้น โดยแปรปริมาณกรดแอสคอร์บิกเป็น ร้อยละ 0.1, 0.2 และ 0.4 พบว่า ฟิล์มแป้งข้าวเจ้าที่เติมกรดแอสคอร์บิก จะมีผลอย่างมากต่อสีของฟิล์ม จะเห็นว่า ค่า L ลดลง แสดงว่า ฟิล์มมีสีคล้ำลง ในขณะที่มีสีแดง และเหลืองเข้มขึ้น (ค่า a และ b) เพิ่มขึ้น ค่าความต้านทานแรงดึงและการยืดตัวของฟิล์มเพิ่มขึ้น แสดงว่า กรดแอสคอร์บิกมีผลทำให้ความแข็งแรงและความยืดหยุ่นของฟิล์มเพิ่มขึ้น ส่วนผลของการเติมกรดแอสคอร์บิกต่อสีของฟิล์มจากแป้งข้าวเจ้าสกัด มีผลในลักษณะเดียวกัน กล่าวคือ ทำให้สีของฟิล์มคล้ำขึ้น ตามปริมาณกรดที่เติมลงในส่วนผสมในการผลิตฟิล์ม แต่ผลของการเติมกรดแอสคอร์บิกต่อสมบัติทางกลของฟิล์มจากแป้งข้าวเจ้าสกัด แตกต่างจากผลที่เกิดกับฟิล์มแป้งข้าวเจ้า เนื่องจากเมื่อเพิ่มปริมาณกรดตั้งแต่ ร้อยละ 0.2 ทำให้ฟิล์มมีการยืดตัวน้อยลง และความสามารถในการต้านทานแรงดึงลดลงอย่างมีนัยสำคัญ ($p < 0.05$) นอกจากนี้การศึกษาในขั้นตอนนี้ได้นำฟิล์มทั้งฟิล์มแป้งข้าวเจ้า และฟิล์มแป้งข้าวเจ้าสกัดที่เติมกรดแอสคอร์บิก ร้อยละ 0.2 ซึ่งพบว่าฟิล์มมีคุณสมบัติแตกต่างจากเดิมไม่มากนักไปวัดอัตราการซึมผ่านของไอน้ำ ผลการทดลอง ดังตาราง 4.6 และพบว่ากรดแอสคอร์บิกมีผลทำให้อัตราการซึมผ่านของออกซิเจนของฟิล์มทั้งสองชนิดมีค่าลดลง

ตารางที่ 4.6 อัตราการซึมผ่านของออกซิเจน (OTR, $\text{cm}^3/\text{m}^2 \text{ 24h}$) ของฟิล์มที่เติม (ร้อยละ 0.2) และไม่เติมกรดแอสคอร์บิก

ชนิดของฟิล์ม	ความหนา (mm)	OTR
ฟิล์มแป้งข้าวเจ้า	0.116	$37.9^a \pm 0.15$
ฟิล์มแป้งข้าวเจ้า เติมกรดแอสคอร์บิก	0.097	$33.2^b \pm 0.15$
ฟิล์มแป้งข้าวเจ้าสกัด	0.105	$32.1^b \pm 0.10$
ฟิล์มแป้งข้าวเจ้าสกัด เติมกรดแอสคอร์บิก	0.103	$22.6^c \pm 0.10$

a,b,c,... ตัวอักษรที่แตกต่างกันในคอลัมน์เดียวกัน หมายถึง ค่าเฉลี่ยในแต่ละคอลัมน์มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$)

ns หมายถึง ค่าเฉลี่ยในแต่ละคอลัมน์ ไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \geq 0.05$)

จากการนำฟิล์มทุกตัวอย่าง ไปวัดการดูดซับออกซิเจน โดยใช้ตัวอย่างฟิล์มขนาด 5×7 ซม.² ใส่ในถุง (metalized film) ปิดผนึก วัดปริมาณออกซิเจนภายในถุงหลังเก็บไว้ 1 ชั่วโมง และ 24 ชั่วโมง พบว่า ฟิล์มบริโกลได้ทุกตัวอย่างทั้งที่ใส่ และไม่ใส่กรดแอสคอร์บิก ไม่สามารถทำให้ปริมาณออกซิเจนในถุงลดลงได้แม้แต่ตัวอย่างเดียว ซึ่งแสดงถึงฟิล์มที่ผลิตในขั้นนี้ไม่มีประสิทธิภาพในการดูดซับออกซิเจน จึงได้ทำการทดลองเพิ่มเติมในขั้นตอนต่างๆ ดังต่อไปนี้

4.2.2 ศึกษา pH และกรดแอสคอร์บิกที่เหมาะสมในการเติมลงในฟิล์มแป้งข้าวเจ้าและฟิล์มแป้งข้าวเจ้าสกัด

4.2.2.1 pH ของฟิล์มแป้งข้าวเจ้าและฟิล์มแป้งข้าวเจ้าสกัด

การศึกษาปรับ pH ของสารละลายฟิล์มโดยเติมกรดซิตริก (Citric Acid) ทำให้ค่า pH ของสารละลายฟิล์มมีค่าเท่ากับ pH 2 และ pH 3.5 เพื่อให้สารละลายฟิล์มมีค่า pH ต่ำกว่าค่า pKa ของกรดแอสคอร์บิก (Ascorbic Acid) ซึ่งค่า pKa ของกรดแอสคอร์บิกเท่ากับ 4.0 – 4.2 ซึ่งสามารถป้องกันการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันของกรดแอสคอร์บิกระหว่างการเก็บรักษาแผ่นฟิล์มได้ (Janjarasskul et al., 2006) จากการทดลองพบว่า ฟิล์มแป้งข้าวเจ้าและแป้งข้าวเจ้าสกัดที่ pH 2 ฟิล์มมีลักษณะเหนียว ลอกจากพิมพ์ลำบาก เกิดการฉีกขาดได้ง่าย ซึ่งเป็นลักษณะที่ไม่เหมาะสมกับการประยุกต์ใช้งาน ดังนั้นจึงเลือกการปรับ pH ของสารละลายฟิล์มให้มีค่าเท่ากับ pH 3.5 เพื่อนำไปทำการทดลองและวิเคราะห์ผลต่อไป

ตารางที่ 4.7 ปริมาณการเติมกรดซิตริกต่อ pH ของฟิล์มแป้งข้าวเจ้าและแป้งข้าวเจ้าสกัด

ปริมาณกรดซิตริก (g) ต่อ สารละลายฟิล์ม 100 ml	pH	
	สารละลายฟิล์มแป้งข้าวเจ้า	สารละลายฟิล์มแป้งข้าวเจ้าสกัด
0.0	7.40±0.02	7.66±0.02
0.1	3.06±0.02	3.18±0.01
0.2	2.80±0.02	2.827±0.02
1.0	2.20±0.02	2.29±0.01
2.0	2.06±0.03	2.00±0.01

4.2.2.2 อัตราส่วนของกรดแอสคอร์บิกที่เหมาะสมในการเติมลงในฟิล์มแป้งข้าวเจ้า และฟิล์มแป้งข้าวเจ้าสกัด

ทำการศึกษาการเติมกรดแอสคอร์บิกในปริมาณเพิ่มขึ้นจากการทดลองขั้นแรก โดยศึกษาการเติมใน ปริมาณ 0.5, 1.0, 2.0 และ 3.0 กรัมต่อสารละลายฟิล์ม 100 กรัม ลงในสารละลายฟิล์มที่มี pH 3.5 และนำไปขึ้นรูปเป็นแผ่นฟิล์ม พบว่า ฟิล์มที่เติมกรดแอสคอร์บิก 2.0 และ 3.0 กรัม เมื่อเก็บฟิล์มไว้เป็นเวลา 1 อาทิตย์ สังเกตเห็นจุดสีขาวบนแผ่นฟิล์ม ดังรูปที่ 3 ซึ่งเป็นลักษณะปรากฏที่ไม่เหมาะสม ดังนั้นจึงเลือกศึกษาการเติมกรดแอสคอร์บิกปริมาณ 0.5 และ 1.0 กรัม ลงในสารละลายฟิล์มที่มีค่า pH 3.5 เพื่อนำไปทำการทดลองและวิเคราะห์ผลต่อไป



รูปที่ 4.1 การเกิดจุดสีขาวบนแผ่นฟิล์มที่เติมกรดแอสคอร์บิก 2.0 กรัม

ผลของปริมาณกรดแอสคอร์บิกต่อค่าสีของฟิล์มแป้งข้าวเจ้าและฟิล์มแป้งข้าวเจ้าสกัด

การวิเคราะห์ค่าสีใช้ระบบ CIELab โดยค่า a^* บ่งบอกคุณสมบัติของสีบนแกนตั้งแต่สีน้ำเงิน (-) ถึงสีแดง (+), b^* บ่งบอกคุณสมบัติของสีบนแกนตั้งแต่สีน้ำเงิน (-) ถึงสีเหลือง (+) และ L บ่งบอกถึงความเปลี่ยนแปลงจากสีดำ (0) ถึงสีขาว (100) จากผลการทดลองพบว่า ฟิล์มแป้งข้าวเจ้าที่เติมกรดแอสคอร์บิก (AA 0.5, AA 1.0) มีค่า L ลดลง และค่า a , b เพิ่มขึ้นเมื่อเทียบกับฟิล์มแป้งข้าวเจ้า (control) และฟิล์มแป้งข้าวเจ้าที่มีการปรับ pH 3.5 (AA -) อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ดังตารางที่ 4.8 ส่วนฟิล์มแป้งข้าวเจ้าสกัดที่เติมกรดแอสคอร์บิก (AA 0.5, AA 1.0) มีค่า L , a ลดลง และค่า b เพิ่มขึ้นเมื่อเทียบกับฟิล์มแป้งข้าวเจ้าสกัด (control) และฟิล์มแป้งข้าวเจ้าสกัดที่มีการปรับ pH 3.5 (AA -) ดังแสดงในตารางที่ 4.9

เมื่อสังเกตค่าจากพารามิเตอร์ L , a และ b แสดงแนวโน้มค่าสีของฟิล์มทั้ง 2 ชนิด เมื่อเติมกรดแอสคอร์บิกทำให้มีสีเหลืองเพิ่มขึ้น แต่ความสว่างจะลดลง เนื่องจากการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันของกรดแอสคอร์บิก ทำให้เกิดสีน้ำตาลเพิ่มมากขึ้น (อมรรัตน์และลัดดา, 2545) และยังพบอีกว่าฟิล์มแป้งข้าวเจ้าจะมีสีแดงเพิ่มขึ้นในทางกลับกันฟิล์มแป้งข้าวเจ้าสกัดกลับมีสีแดงลดลง ทั้งนี้เนื่องมาจากฟิล์มแป้งข้าวเจ้าเกิดปฏิกิริยา Maillard browning ระหว่าง dehydroascorbic acid ที่เกิดจากการออกซิเดชันของกรดแอสคอร์บิก กับ โปรตีนในแป้งข้าวเจ้าทำให้เกิดสีแดงเกิดขึ้น (Min and Krochta, 2007)

ตารางที่ 4.8 ค่าสีในระบบ CIELab ของฟิล์มแป้งข้าวเจ้าผสมวุ้น

ค่าสี	ตัวอย่าง			
	Control	AA0	AA0.5	AA1.0
L	$88.13^b \pm 0.02$	$88.36^b \pm 0.12$	$77.99^a \pm 0.60$	$78.35^a \pm 0.19$
a	$-0.35^a \pm 0.03$	$-0.16^a \pm 0.06$	$1.30^b \pm 0.39$	$1.20^b \pm 0.12$
b	$-1.26^a \pm 0.14$	$-2.48^a \pm 0.18$	$26.44^b \pm 02.23$	$29.81^c \pm 0.03$

Control : ฟิล์มไม่ปรับ pH และไม่เติมกรดแอสคอร์บิก

AA 0 : ฟิล์มปรับ pH และไม่เติมกรดแอสคอร์บิก

AA 0.5 : ฟิล์มปรับ pH และเติมกรดแอสคอร์บิก 0.5 กรัมต่อสารละลายฟิล์ม 100 กรัม

AA1.0 : ฟิล์มปรับ pH และเติมกรดแอสคอร์บิก 1.0 กรัมต่อสารละลายฟิล์ม 100 กรัม

a,b,c,... ตัวอักษรที่แตกต่างกันในแถวเดียวกัน หมายถึง ค่าเฉลี่ยในแต่ละแถวมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$)

ตารางที่ 4.9 ค่าสีในระบบ CIELab ของฟิล์มแป้งข้าวเจ้าสัปดาห์ผสมวัน

ค่าสี	ตัวอย่าง			
	Control	AA0	AA0.5	AA1.0
L	$87.93^c \pm 0.31$	$88.25^c \pm 0.13$	$80.34^a \pm 0.56$	$81.59^b \pm 0.37$
a	$-0.18^b \pm 0.06$	$-0.27^b \pm 0.05$	$-0.41^b \pm 0.46$	$-1.49^a \pm 0.28$
b	$-2.38^a \pm 0.28$	$-2.82^a \pm 0.08$	$27.40^b \pm 1.57$	$26.02^b \pm 1.45$

Control : ฟิล์มไม่ปรับ pH และไม่เติมกรดแอสคอร์บิก

AA 0 : ฟิล์มปรับ pH และไม่เติมกรดแอสคอร์บิก

AA 0.5 : ฟิล์มปรับ pH และเติมกรดแอสคอร์บิก 0.5 กรัมต่อสารละลายฟิล์ม 100 กรัม

AA1.0 : ฟิล์มปรับ pH และเติมกรดแอสคอร์บิก 1.0 กรัมต่อสารละลายฟิล์ม 100 กรัม

a,b,c,... ตัวอักษรที่แตกต่างกันในแถวเดียวกัน หมายถึง ค่าเฉลี่ยในแต่ละแถวมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$)

ผลของปริมาณกรดแอสคอร์บิกต่อความชื้นของฟิล์มแป้งข้าวเจ้าและฟิล์มแป้งข้าวเจ้าสัปดาห์

จากผลการทดลองพบว่า เปอร์เซ็นต์ความชื้นของฟิล์มประมาณ 10 – 15 เปอร์เซ็นต์ และฟิล์มแป้งข้าวเจ้า (control) มีค่าเปอร์เซ็นต์ความชื้นไม่แตกต่างกับฟิล์มแป้งข้าวเจ้าเติมกรดแอสคอร์บิก (AA 0.5, AA 1.0) ดังแสดงในตารางที่ 4.10 ส่วนฟิล์มแป้งข้าวเจ้าสัปดาห์ (control) มีค่าเปอร์เซ็นต์ความชื้นแตกต่างกับแป้งข้าวเจ้าสัปดาห์เติมกรดแอสคอร์บิก (AA 0.5, AA 1.0) เล็กน้อย ดังแสดงในตารางที่ 4.11 การเปลี่ยนแปลงของปริมาณความชื้นอาจเกิดขึ้นเนื่องจากกรดแอสคอร์บิกเป็นอนุพันธ์ของน้ำตาลเฮกโซส และสังเคราะห์มาจากน้ำตาลกลูโคส เมื่อเกิดการออกซิเดชัน อาจเกิดการเปลี่ยนแปลงโครงสร้างกลับไปเป็นน้ำตาล ซึ่งน้ำตาลมีคุณสมบัติ ในการดูดความชื้น ดังนั้นฟิล์มเมื่อเติมกรดแอสคอร์บิกจึงมีเปอร์เซ็นต์ความชื้นเพิ่มขึ้น (นิธิยา, 2549)

ตารางที่ 4.10 ค่าเปอร์เซ็นต์ความชื้นของฟิล์มแป้งข้าวเจ้าผสมวุ้น

ตัวอย่าง	ค่าความชื้น (%) ^{ns}
Control	14.70±0.63
AA0	12.47±3.03
AA0.5	13.51±1.25
AA1.0	14.01±0.74

Control : ฟิล์มไม่ปรับ pH และไม่เติมกรดแอสคอร์บิก

AA 0 : ฟิล์มปรับ pH และไม่เติมกรดแอสคอร์บิก

AA 0.5 : ฟิล์มปรับ pH และเติมกรดแอสคอร์บิก 0.5 กรัมต่อสารละลายฟิล์ม 100 กรัม

AA1.0 : ฟิล์มปรับ pH และเติมกรดแอสคอร์บิก 1.0 กรัมต่อสารละลายฟิล์ม 100 กรัม

ns หมายถึง ค่าเฉลี่ยในแต่ละคอลัมน์ ไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \geq 0.05$)

ตารางที่ 4.11 ค่าเปอร์เซ็นต์ความชื้นของฟิล์มแป้งข้าวเจ้าสกัดผสมวุ้น

ตัวอย่าง	ความชื้น (%) ^{ns}
Control	12.77 ^{ab} ± 2.26
AA 0	10.89 ^a ± 0.94
AA 0.5	12.59 ^{ab} ± 0.78
AA 1.0	14.02 ^b ± 0.26

Control : ฟิล์มไม่ปรับ pH และไม่เติมกรดแอสคอร์บิก

AA 0 : ฟิล์มปรับ pH และไม่เติมกรดแอสคอร์บิก

AA 0.5 : ฟิล์มปรับ pH และเติมกรดแอสคอร์บิก 0.5 กรัมต่อสารละลายฟิล์ม 100 กรัม

AA1.0 : ฟิล์มปรับ pH และเติมกรดแอสคอร์บิก 1.0 กรัมต่อสารละลายฟิล์ม 100 กรัม

ns หมายถึง ค่าเฉลี่ยในแต่ละคอลัมน์ ไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \geq 0.05$)

ผลของปริมาณกรดแอสคอร์บิกต่อความหนาของฟิล์มแป้งข้าวเจ้าและฟิล์มแป้งข้าวเจ้าสกัด

ฟิล์มตัวอย่างต่างๆ มีความหนาเพิ่มขึ้นเล็กน้อยเมื่อมีการเติมกรดแอสคอร์บิกเพิ่มขึ้น ทั้งนี้ น่าจะเกิดจากการเพิ่มขึ้นของส่วนประกอบของฟิล์ม ดังแสดงในตารางที่ 4.12 และ 4.13

ตารางที่ 4.12 ความหนาของฟิล์มแป้งข้าวเจ้าผสมวุ้น

ตัวอย่าง	ความหนา (mm)
Control	$0.123^a \pm 0.003$
AA0	$0.123^a \pm 0.002$
AA0.5	$0.126^a \pm 0.002$
AA1.0	$0.135^b \pm 0.003$

Control : ฟิล์มไม่ปรับ pH และไม่เติมกรดแอสคอร์บิก

AA 0 : ฟิล์มปรับ pH และไม่เติมกรดแอสคอร์บิก

AA 0.5 : ฟิล์มปรับ pH และเติมกรดแอสคอร์บิก 0.5 กรัมต่อสารละลายฟิล์ม 100 กรัม

AA1.0 : ฟิล์มปรับ pH และเติมกรดแอสคอร์บิก 1.0 กรัมต่อสารละลายฟิล์ม 100 กรัม

ตารางที่ 4.13 ความหนาของฟิล์มแป้งข้าวเจ้าสกัดผสมวุ้น

ตัวอย่าง	ความหนา (mm)
Control	$0.113^a \pm 0.004$
AA 0	$0.116^{ab} \pm 0.002$
AA 0.5	$0.120^b \pm 0.001$
AA 1.0	$0.127^c \pm 0.002$

Control : ฟิล์มไม่ปรับ pH และไม่เติมกรดแอสคอร์บิก

AA 0 : ฟิล์มปรับ pH และไม่เติมกรดแอสคอร์บิก

AA 0.5 : ฟิล์มปรับ pH และเติมกรดแอสคอร์บิก 0.5 กรัมต่อสารละลายฟิล์ม 100 กรัม

AA1.0 : ฟิล์มปรับ pH และเติมกรดแอสคอร์บิก 1.0 กรัมต่อสารละลายฟิล์ม 100 กรัม

a,b,c,... ตัวอักษรที่แตกต่างกันในคอลัมน์เดียวกัน หมายถึง ค่าเฉลี่ยในแต่ละคอลัมน์มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$)

ผลของปริมาณกรดแอสคอร์บิกต่ออัตราการซึมผ่านไอน้ำของฟิล์มแป้งข้าวเจ้าและฟิล์มแป้งข้าวเจ้าสกัด

อัตราการซึมผ่านไอน้ำของฟิล์มแป้งข้าวเจ้าและฟิล์มแป้งข้าวเจ้าสกัด พบว่ามีค่าอยู่ในช่วง 50 – 60 g/hr.m² โดยค่าอัตราการซึมผ่านไอน้ำของฟิล์มตัวอย่างต่างๆ ไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ แสดงว่าการเติมกรดแอสคอร์บิกไม่มีผลในการเปลี่ยนแปลงของอัตราการซึมผ่านของไอน้ำของฟิล์มบริโภคนได้ อย่างไรก็ตามเป็นที่น่าสังเกตว่าอัตราการซึมผ่านไอน้ำของฟิล์มแป้งข้าวเจ้าผสมวุ้นที่มีการเติมกรดซิตริกเพื่อปรับ pH โดยไม่ได้เติมกรดแอสคอร์บิกมีค่าอัตราการซึมผ่านของไอน้ำต่ำกว่าของฟิล์มตัวอย่างอื่นๆ แต่โดยรวมแล้วฟิล์มที่ผลิตได้ยังคงมีลักษณะที่มีค่าอัตราการซึมผ่านของไอน้ำค่อนข้างสูง ซึ่งฉนวนหุ้ม ยูนิลลาด (2535) อธิบายว่าฟิล์มจากโพลิแซ็กคาไรด์ ตามธรรมชาติของโพลิเมอร์เหล่านี้ชอบรวมตัวกับน้ำ (Hydrophilic) จึงไม่เหมาะที่จะนำฟิล์มเหล่านี้มาใช้ป้องกันการซึมผ่านความชื้น เนื่องจากมีความสามารถในการกักน้ำต่ำ

ตารางที่ 4.14 อัตราการซึมผ่านไอน้ำของฟิล์มแป้งข้าวเจ้าผสมวุ้น

ตัวอย่าง	อัตราการซึมผ่านไอน้ำ(g/hr.m ²) ^{ns}
Control	57.56 ± 6.06
AA0	50.72 ± 2.59
AA0.5	55.58 ± 2.07
AA1.0	54.49 ± 4.90

Control : ฟิล์มไม่ปรับ pH และไม่เติมกรดแอสคอร์บิก

AA 0 : ฟิล์มปรับ pH และไม่เติมกรดแอสคอร์บิก

AA 0.5 : ฟิล์มปรับ pH และเติมกรดแอสคอร์บิก 0.5 กรัมต่อสารละลายฟิล์ม 100 กรัม

AA1.0 : ฟิล์มปรับ pH และเติมกรดแอสคอร์บิก 1.0 กรัมต่อสารละลายฟิล์ม 100 กรัม

ns หมายถึง ค่าเฉลี่ยในแต่ละคอลัมน์ ไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (p ≥ 0.05)

ตารางที่ 4.15 อัตราการซึมผ่านไอน้ำของฟิล์มแป้งข้าวเจ้าสกัดผสมวุ้น

ตัวอย่าง	อัตราการซึมผ่านไอน้ำ (g/hr.m^2) ^{ns}
Control	51.80 $\pm$ 4.87
AA 0	53.10 $\pm$ 6.10
AA 0.5	55.15 $\pm$ 4.76
AA 1.0	55.00 $\pm$ 6.26

Control : ฟิล์มไม่ปรับ pH และไม่เติมกรดแอสคอร์บิก

AA 0 : ฟิล์มปรับ pH และไม่เติมกรดแอสคอร์บิก

AA 0.5 : ฟิล์มปรับ pH และเติมกรดแอสคอร์บิก 0.5 กรัมต่อสารละลายฟิล์ม 100 กรัม

AA1.0 : ฟิล์มปรับ pH และเติมกรดแอสคอร์บิก 1.0 กรัมต่อสารละลายฟิล์ม 100 กรัม

ns หมายถึง ค่าเฉลี่ยในแต่ละคอลัมน์ ไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \geq 0.05$)

ผลของปริมาณกรดแอสคอร์บิกต่อความต้านทานแรงดึงของฟิล์มแป้งข้าวเจ้าและฟิล์มแป้งข้าวเจ้าสกัด

ผลของปริมาณกรดแอสคอร์บิกต่อความต้านทานแรงดึงของฟิล์มแป้งข้าวเจ้าและฟิล์มแป้งข้าวเจ้าสกัด แสดงในตารางที่ 4.16 และ 4.17 พบว่า การเติมกรดแอสคอร์บิกทำให้ความต้านทานแรงดึงของฟิล์มทั้งฟิล์มที่ทำจากข้าวเจ้า และแป้งข้าวเจ้าสกัดมีค่าลดลง ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยของ Janjarasskul and Krochta (2005) ได้ทำการศึกษาฟิล์มเวย์โปรตีนกับหน้าที่ในการจับกับออกซิเจน โดยการผสมกับกรดแอสคอร์บิก พบว่าเมื่อเติมกรดแอสคอร์บิกในฟิล์มเวย์โปรตีนทำให้ความแข็งแรงของฟิล์มลดลง ซึ่งอาจเป็นไปได้ว่ากรดแอสคอร์บิกซึ่งมีสมบัติเป็น reducing agent ทำให้โครงสร้างของแป้งมีความแข็งแรงลดลง แต่จากผลการทดลองทั้งในแป้งข้าวเจ้า และแป้งข้าวเจ้าสกัด พบว่า การเติมกรดซิตริกเพื่อปรับ pH ทำให้ความสามารถในการต้านทานแรงดึงของฟิล์มมีค่ามากขึ้น

ตารางที่ 4.16 ความต้านทานแรงดึงของฟิล์มแป้งข้าวเจ้าผสมวุ้น

ตัวอย่าง	ความต้านทานแรงดึงขาด (N/m)
Control	$851.87^c \pm 100.78$
AA0	$1217.19^d \pm 169.05$
AA0.5	$624.69^b \pm 116.76$
AA1.0	$395.24^a \pm 26.93$

Control : ฟิล์มไม่ปรับ pH และไม่เติมกรดแอสคอร์บิก

AA 0 : ฟิล์มปรับ pH และไม่เติมกรดแอสคอร์บิก

AA 0.5 : ฟิล์มปรับ pH และเติมกรดแอสคอร์บิก 0.5 กรัมต่อสารละลายฟิล์ม 100 กรัม

AA1.0 : ฟิล์มปรับ pH และเติมกรดแอสคอร์บิก 1.0 กรัมต่อสารละลายฟิล์ม 100 กรัม

a,b,c,... ตัวอักษรที่แตกต่างกันในคอลัมน์เดียวกัน หมายถึง ค่าเฉลี่ยในแต่ละคอลัมน์มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$)

ตารางที่ 4.17 ความต้านทานแรงดึงขาดของฟิล์มแป้งข้าวเจ้าสักดผสมวุ้น

ตัวอย่าง	ความต้านทานแรงดึงขาด (N/m)
Control	$873.27^c \pm 48.86$
AA 0	$1084.80^d \pm 90.75$
AA 0.5	$644.27^b \pm 44.92$
AA 1.0	$414.59^a \pm 20.90$

Control : ฟิล์มไม่ปรับ pH และไม่เติมกรดแอสคอร์บิก

AA 0 : ฟิล์มปรับ pH และไม่เติมกรดแอสคอร์บิก

AA 0.5 : ฟิล์มปรับ pH และเติมกรดแอสคอร์บิก 0.5 กรัมต่อสารละลายฟิล์ม 100 กรัม

AA1.0 : ฟิล์มปรับ pH และเติมกรดแอสคอร์บิก 1.0 กรัมต่อสารละลายฟิล์ม 100 กรัม

a,b,c,... ตัวอักษรที่แตกต่างกันในแถวเดียวกัน หมายถึง ค่าเฉลี่ยในแต่ละคอลัมน์มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$)

ผลของปริมาณกรดแอสคอร์บิกต่อความสามารถในการยืดของฟิล์มแป้งข้าวเจ้าและฟิล์มแป้งข้าวเจ้าสกัด

การเติมกรดซิตริกเพื่อปรับ pH ของฟิล์มไม่มีผลต่อความสามารถในการยืดของฟิล์มทั้งสองชนิด แต่การเติมกรดแอสคอร์บิกมีผลทำให้สามารถในการยืดของฟิล์มแป้งข้าวเจ้าและฟิล์มแป้งข้าวลดลง ดังแสดงในตารางที่ 4.18 และ 4.19 ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยของ Min and Krochta (2007) ได้ทำการศึกษาการเติมกรดแอสคอร์บิกลงในฟิล์มเวย์โปรตีนเพื่อควบคุมปฏิกิริยาออกซิเดชัน พบว่าเมื่อเติมกรดแอสคอร์บิก ลงในฟิล์มเวย์โปรตีน ทำให้ความสามารถในการยืดของฟิล์มลดลง แต่อย่างไรก็ตามความสามารถในการยืดอาจไม่มีความสำคัญเมื่อใช้เคลือบบนอาหาร เนื่องจากใช้โครงสร้างของอาหารเป็นโครงร่างค้ำจุนฟิล์ม ซึ่งความแข็งแรงของฟิล์มก็จะมีความสำคัญน้อยลง

ตารางที่ 4.18 ความสามารถในการยืดของฟิล์มแป้งข้าวเจ้าผสมวุ้น

ตัวอย่าง	ความสามารถในการยืด(% Elongation)
Control	32.64 ^c ± 8.43
AA0	34.42 ^c ± 4.54
AA0.5	17.04 ^b ± 2.42
AA1.0	10.20 ^a ± 0.52

Control : ฟิล์มไม่ปรับ pH และไม่เติมกรดแอสคอร์บิก

AA 0 : ฟิล์มปรับ pH และไม่เติมกรดแอสคอร์บิก

AA 0.5 : ฟิล์มปรับ pH และเติมกรดแอสคอร์บิก 0.5 กรัมต่อสารละลายฟิล์ม 100 กรัม

AA1.0 : ฟิล์มปรับ pH และเติมกรดแอสคอร์บิก 1.0 กรัมต่อสารละลายฟิล์ม 100 กรัม

a,b,c,... ตัวอักษรที่แตกต่างกันในแถวเดียวกัน หมายถึง ค่าเฉลี่ยในแต่ละคอลัมน์มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$)

ตารางที่ 4.19 ความสามารถในการยืดของฟิล์มแป้งข้าวเจ้าสัปดาห์ผสมวุ้น

ตัวอย่าง	ความสามารถในการยืด(% elongation)
Control	33.97 ^b ± 4.44
AA 0	33.54 ^b ± 2.01
AA 0.5	17.18 ^a ± 0.60
AA 1.0	14.72 ^a ± 2.92

Control : ฟิล์มไม่ปรับ pH และไม่เติมกรดแอสคอร์บิก

AA 0 : ฟิล์มปรับ pH และไม่เติมกรดแอสคอร์บิก

AA 0.5 : ฟิล์มปรับ pH และเติมกรดแอสคอร์บิก 0.5 กรัมต่อสารละลายฟิล์ม 100 กรัม

AA1.0 : ฟิล์มปรับ pH และเติมกรดแอสคอร์บิก 1.0 กรัมต่อสารละลายฟิล์ม 100 กรัม

a,b,c,... ตัวอักษรที่แตกต่างกันในคอลัมน์เดียวกัน หมายถึง ค่าเฉลี่ยในแต่ละคอลัมน์มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$)

ปริมาณกรดแอสคอร์บิกในฟิล์มแป้งข้าวเจ้าและฟิล์มแป้งข้าวเจ้าสัปดาห์

เนื่องด้วยกระบวนการเตรียมฟิล์มในงานวิจัยนี้ ต้องผ่านกระบวนการให้ความร้อน และอบแห้งฟิล์มเป็นเวลานาน จึงคาดว่ามีผลทำให้เกิดการสูญเสียปริมาณกรดแอสคอร์บิกอย่างมาก การวิเคราะห์ปริมาณกรดแอสคอร์บิก พบว่ามีการสูญเสียปริมาณกรดแอสคอร์บิกอย่างมากเมื่อเทียบกับปริมาณที่เติมลงในแผ่นฟิล์ม ดังแสดงในตารางที่ 4.20 และ 4.21 โดยมีกรดแอสคอร์บิกคงอยู่เพียงประมาณ 45% ในตัวอย่างฟิล์มที่เติมกรดแอสคอร์บิก 0.5 กรัมต่อสารละลายฟิล์ม 100 กรัม และมีกรดแอสคอร์บิกคงอยู่เพียงประมาณ 30% ในตัวอย่างฟิล์มที่เติมกรดแอสคอร์บิก 1 กรัมต่อสารละลายฟิล์ม 100 กรัม ปริมาณกรดแอสคอร์บิกที่เหลืออยู่ในแผ่นฟิล์มมีปริมาณลดลงเมื่อเปรียบเทียบกับปริมาณของกรดแอสคอร์บิกเริ่มต้นที่เติมลงไปในการละลาย ทั้งนี้อาจเนื่องมาจากการเกิดออกซิเดชันเมื่อสัมผัสกับอากาศ แสง ความร้อน ในระหว่างกระบวนการผลิตและการเก็บรักษาฟิล์ม (นิธิยา, 2549)

ตารางที่ 4.20 ปริมาณกรดแอสคอร์บิกของฟิล์มแป้งข้าวเจ้าผสมวุ้น

ตัวอย่าง	ปริมาณกรดแอสคอร์บิก	
	mg ascorbic acid /g film	% retention
AA0.5	11.77 ± 0.04	44.75 ± 0.15
AA1.0	16.79 ± 0.03	31.92 ± 0.06

AA 0.5 : ฟิล์มปรับ pH และเติมกรดแอสคอร์บิก 0.5 กรัมต่อสารละลายฟิล์ม 100 กรัม

AA1.0 : ฟิล์มปรับ pH และเติมกรดแอสคอร์บิก 1.0 กรัมต่อสารละลายฟิล์ม 100 กรัม

ตารางที่ 4.21 ปริมาณกรดแอสคอร์บิกของฟิล์มแป้งข้าวเจ้าสกัดผสมวุ้น

ตัวอย่าง	ปริมาณกรดแอสคอร์บิก	
	mg ascorbic acid /g film	% retention
AA 0.5	12.10 ± 0.09	46.01 ± 0.01
AA 1.0	16.44 ± 0.03	31.25 ± 0.01

AA 0.5 : ฟิล์มปรับ pH และเติมกรดแอสคอร์บิก 0.5 กรัมต่อสารละลายฟิล์ม 100 กรัม

AA1.0 : ฟิล์มปรับ pH และเติมกรดแอสคอร์บิก 1.0 กรัมต่อสารละลายฟิล์ม 100 กรัม

4.3 ศึกษาการเคลือบฟิล์มบรีโกลได้จากแป้งข้าวเจ้าและแป้งข้าวเจ้าสกัดผสมกรดแอสคอร์บิกบนเม็ดมะม่วงหิมพานต์

เนื่องด้วยการวัดความสามารถในการดูดออกซิเจนของฟิล์มทุกตัวอย่าง พบว่า ความสามารถในการดูดออกซิเจนในบรรจุภัณฑ์มีค่าต่ำมาก ในราว 0.1 % ภายหลัง 24 ชั่วโมง จึงสรุปว่า ฟิล์มไม่สามารถนำไปใช้งานในลักษณะที่ใช้เป็นสารดูดออกซิเจนได้ จึงได้ทำการศึกษาการเคลือบฟิล์มบรีโกลได้จากแป้งข้าวเจ้าและแป้งข้าวเจ้าสกัดผสมกรดแอสคอร์บิกบนเม็ดมะม่วงหิมพานต์ และประเมินความสามารถของฟิล์มบรีโกลได้จากแป้งข้าวเจ้าและแป้งข้าวเจ้าสกัดในการชะลอการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันในเม็ดมะม่วงหิมพานต์ โดยวัด Peroxide Value ของเม็ดมะม่วงหิมพานต์ ผลการทดลองแสดงในตารางที่ 4.22 และ 4.23

Peroxide เป็นเป็นผลิตภัณฑ์แรกของการเกิดออกซิเดชัน หากค่า Peroxide สูงแสดงว่าผลิตภัณฑ์เกิดการออกซิเดชันมาก จากผลการทดลองพบว่า หลังจากการเก็บที่อุณหภูมิห้องเป็นเวลา 3 เดือน เม็ดมะม่วงหิมพานต์ที่ไม่มีการเคลือบฟิล์มเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันมากกว่าตัวอย่างเม็ดมะม่วงหิมพานต์ที่เคลือบฟิล์มทุกตัวอย่าง เม็ดมะม่วงหิมพานต์ที่เคลือบด้วยฟิล์มแป้งข้าวเจ้าผสมวุ้นและฟิล์มแป้งข้าวเจ้าสกัดผสมวุ้นที่เติมกรดแอสคอร์บิกปริมาณ 1.0 กรัมต่อสารละลายฟิล์ม 100 กรัม สามารถชะลอการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันของไขมันในเม็ดมะม่วงหิมพานต์ได้มากที่สุด รองลงมาได้แก่ตัวอย่างที่เคลือบด้วยฟิล์มแป้งข้าวเจ้าผสมวุ้นและฟิล์มแป้งข้าวเจ้าสกัดผสมวุ้นที่เติมกรดแอสคอร์บิกปริมาณ 0.5 กรัมต่อสารละลายฟิล์ม 100 กรัม การเคลือบเม็ดมะม่วงหิมพานต์ด้วยฟิล์มบรีโกลได้ที่ไม่ได้ปรับ pH และไม่เติมกรดแอสคอร์บิกมีผลชะลอการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันของไขมันในเม็ดมะม่วงหิมพานต์ได้ด้วย แต่การเติมกรดซิตริกเพื่อปรับ pH ของสารละลายฟิล์มโดยที่ไม่ได้เติมกรดแอสคอร์บิกทำให้ความสามารถในการชะลอการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันของไขมันในเม็ดมะม่วงหิมพานต์ลดลงเมื่อเทียบกับการเคลือบด้วยฟิล์มบรีโกลได้ที่ไม่ได้ปรับ pH และไม่เติมกรดแอสคอร์บิก แนวโน้มของความสามารถในการชะลอการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันของไขมันในเม็ดมะม่วงหิมพานต์เป็นไปในทิศทางเดียวกันทั้งฟิล์มบรีโกลได้ที่เตรียมโดยใช้แป้งข้าวเจ้าและแป้งข้าวเจ้าสกัด

ผลการทดลองนี้เป็นไปในลักษณะเดียวกับการวิจัยของ Min and Krochta (2007) ซึ่งเติมกรดแอสคอร์บิกลงในฟิล์มบรีโกลได้จากโปรตีนเวย์ และใช้ในการชะลอการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันของถั่วลิสงคั่ว ซึ่งได้อธิบายว่า การเติมกรดแอสคอร์บิกลงในสารละลายฟิล์มทำให้ความสามารถในการกักเก็บออกซิเจนของฟิล์มเพิ่มขึ้น การผ่านของก๊าซออกซิเจนไปสู่ถั่วลิสงจึงลดลง อีกทั้งกรดแอสคอร์บิกมีสมบัติเป็น antioxidizing agent จึงสามารถลดอัตราการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันของไขมันได้ดี

Janjarasskul et al. (2007) อธิบายกลไกการทำงานของกรดแอสคอร์บิกในการจับออกซิเจน (oxygen scavenging) ในฟิล์มบริโกลไค์ที่ทำจากโพรตีนเวย์ว่า การเพิ่มขึ้นของค่าปริมาณน้ำอิสระของฟิล์มขณะที่เคลือบอยู่บนอาหารจะเป็นปัจจัยที่ทำให้เกิดการควบคุมการแพร่ของกรดแอสคอร์บิกลงสู่ผิวของอาหารจึงเป็นปัจจัยที่ควบคุมการจับออกซิเจนของกรดแอสคอร์บิกในระบบด้วย การใช้ฟิล์มเคลือบลงบนตัวอย่างที่มี pH ต่ำ ทำให้อัตราการจับออกซิเจนช้ากว่า เมื่อเคลือบลงบนอาหารที่มี pH เป็นกลาง ซึ่งอธิบายว่าเนื่องจากที่ pH ต่ำ มีปริมาณของ ascorbate monoanion ซึ่งไวต่อออกซิเจนในปริมาณน้อย

ตารางที่ 4.22 peroxide value ของเม็คมะม่วงหิมพานต์เคลือบฟิล์มแป้งข้าวเจ้าผสมวุ้น

ตัวอย่าง	ค่าเปอร์ออกไซด์ (milliequivalent peroxide/kg sample)	
	1 เดือน	3 เดือน
ไม่เคลือบ	-	$3.53^c \pm 0.25$
Control	$1.99^c \pm 0.08$	$2.01^c \pm 0.07$
AA-	$2.74^d \pm 0.01$	$2.75^d \pm 0.18$
AA0.5	$1.60^b \pm 0.18$	$1.83^b \pm 0.14$
AA1.0	$1.16^a \pm 0.10$	$1.36^a \pm 0.10$

ไม่เคลือบ: เม็คมะม่วงหิมพานต์ไม่เคลือบฟิล์ม

Control : เม็คมะม่วงหิมพานต์เคลือบฟิล์มไม่ปรับ pH และไม่เติมกรดแอสคอร์บิก

AA 0 : เม็คมะม่วงหิมพานต์เคลือบฟิล์มปรับ pH และไม่เติมกรดแอสคอร์บิก

AA 0.5 : เม็คมะม่วงหิมพานต์เคลือบฟิล์มปรับ pH และเติมกรดแอสคอร์บิก 0.5 กรัมต่อสารละลายฟิล์ม 100 กรัม

AA1.0 : เม็คมะม่วงหิมพานต์เคลือบฟิล์มปรับ pH และเติมกรดแอสคอร์บิก 1.0 กรัมต่อสารละลายฟิล์ม 100 กรัม

a,b,c,... ตัวอักษรที่แตกต่างกันในคอลัมน์เดียวกัน หมายถึง ค่าเฉลี่ยในแต่ละคอลัมน์มีความแตกต่างกันอย่างมี

นัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$)

ตารางที่ 4.23 peroxide value ของเม็คมะม่วงหิมพานต์เคลือบฟิล์มแป้งข้าวเจ้าสัปดาห์ที่ 1

ตัวอย่าง	ค่าเปอร์ออกไซด์ (milliequivalent peroxide/kg sample)	
	1 เดือน	3 เดือน
ไม่เคลือบ	-	$3.53^c \pm 0.25$
Control	$2.06^c \pm 0.17$	$2.12^c \pm 0.16$
AA -	$2.67^d \pm 0.08$	$2.79^d \pm 0.21$
AA 0.5	$1.57^b \pm 0.07$	$1.65^b \pm 0.05$
AA 1.0	$1.02^a \pm 0.10$	$1.32^a \pm 0.14$

ไม่เคลือบ: เม็คมะม่วงหิมพานต์ไม่เคลือบฟิล์ม

Control : เม็คมะม่วงหิมพานต์เคลือบฟิล์มไม่ปรับ pH และไม่เติมกรดแอสคอร์บิก

AA 0 : เม็คมะม่วงหิมพานต์เคลือบฟิล์มปรับ pH และไม่เติมกรดแอสคอร์บิก

AA 0.5 : เม็คมะม่วงหิมพานต์เคลือบฟิล์มปรับ pH และเติมกรดแอสคอร์บิก 0.5 กรัมต่อสารละลายฟิล์ม 100 กรัม

AA1.0 : เม็คมะม่วงหิมพานต์เคลือบฟิล์มปรับ pH และเติมกรดแอสคอร์บิก 1.0 กรัมต่อสารละลายฟิล์ม 100 กรัม

a,b,c,... ตัวอักษรที่แตกต่างกันในคอลัมน์เดียวกัน หมายถึง ค่าเฉลี่ยในแต่ละคอลัมน์มีความแตกต่างกันอย่างมี

นัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$)

บทที่ 5

สรุปผลการทดลอง และข้อเสนอแนะ

สำหรับฟิล์มทั้งชนิดที่ใช้แป้งข้าวเจ้า และแป้งข้าวเจ้าสกัด เลือกใช้สูตรที่ใช้ส่วนผสมของ แป้งผสมวุ้น ร้อยละ 4 และกลีเซอรอล ร้อยละ 2 เนื่องจากฟิล์มมีความแข็งแรง และความยืดหยุ่นที่เหมาะสมที่สุด ฟิล์มสูตรที่เลือกนี้จะนำไปใช้ในการศึกษาผลของการเติมกรดแอสคอร์บิก ปริมาณของกรดแอสคอร์บิกที่เติมลงในฟิล์มแป้งข้าวเจ้าและฟิล์มแป้งข้าวเจ้าสกัดมีผลต่อสมบัติของฟิล์มบริโกลได้โดยเฉพาะอย่างยิ่งทำให้สีของฟิล์มเข้มขึ้น แต่ทำให้ความสามารถในการต้านทานแรงดึง และความสามารถในการยืดลดลง แต่ไม่มีผลต่ออัตราการซึมผ่านไอน้ำของฟิล์ม ฟิล์มบริโกลได้ที่เติมกรดแอสคอร์บิกไม่เหมาะสมในการใช้เป็นวัสดุห่อออกซิเจนในบรรจุภัณฑ์ แต่เมื่อทดลองใช้เคลือบเม็คมะม่วงหิมพานต์ พบว่า ฟิล์มสามารถชะลอการเกิดออกซิเดชันได้ การเติมกรดแอสคอร์บิก ปริมาณ 0.5 กรัมต่อสารละลายฟิล์ม 100 กรัม เป็นปริมาณที่เหมาะสมในการผลิตฟิล์มในงานวิจัยนี้ เนื่องจากทำให้ความแข็งแรงและความยืดหยุ่นของฟิล์มลดลงเล็กน้อย ส่วนการใช้ฟิล์มในการเคลือบบนอาหาร พบว่าการเติมกรดแอสคอร์บิก 1.0 กรัม ต่อสารละลายฟิล์ม 100 กรัม ยังสามารถใช้ได้ดี เนื่องจากประสิทธิภาพในการป้องกันการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันได้ดีกว่า และความแข็งแรงของฟิล์มไม่มีผลกระทบเมื่อใช้เคลือบบนอาหาร

การพัฒนากระบวนการผลิตฟิล์มยังควรมีการศึกษาเพิ่มเติม เพื่อให้สามารถรักษาปริมาณกรดแอสคอร์บิกได้มากขึ้น ซึ่งจะนำไปสู่การเพิ่มของประสิทธิภาพในการลดการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันได้ การเลือกใช้บรรจุภัณฑ์ที่เหมาะสมในการบรรจุอาหารที่เคลือบด้วยฟิล์มบริโกลได้ที่เติมกรดแอสคอร์บิกจะช่วยเสริมความสามารถในการชะลอการเสื่อมเสียของอาหารที่เกิดจากการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันของไขมันให้มีประสิทธิภาพยิ่งขึ้น เพื่อลดการใช้วัสดุห่อออกซิเจนในบรรจุภัณฑ์ที่จะเกิดเป็นวัสดุเหลือทิ้งได้

บรรณานุกรม

- เกศศิณี ตระกูลทิวากร, วิชา สุโรจนะเมธากุล, ประชา บุญญศิริกุล และสมยศ จรรยาวิลาศ. 2539. การทำฟิล์มที่รับประทานได้จากแป้งข้าวเจ้าและแป้งมันสำปะหลัง. วารสารอาหาร. 26(4): 249-262.
- จารุณี ยาห้องกาศ. 2543. การผลิตคาร์โบไฮเดรตฟิล์มที่รับประทานได้จากแป้งข้าวเจ้าและเพคติน. วิทยานิพนธ์วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิทยาศาสตร์การอาหาร บัณฑิตวิทยาลัย, สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง.
- นิธิยา รัตนปณนท. 2549. เคมีอาหาร. พิมพ์ครั้งที่ 2. กรุงเทพฯ: สำนักพิมพ์โอเดียนสโตร์.
- มณฑาทิพย์ ชุ่นฉลาด. 2534. การเตรียมฟิล์มอะมิโลสจากสตาร์ชมันเทศที่แยกส่วนแล้ว. วิทยานิพนธ์วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิทยาศาสตร์การอาหาร บัณฑิตวิทยาลัย, มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.
- มณฑาทิพย์ ชุ่นฉลาด. 2535. ฟิล์มและสารเคลือบที่รับประทานได้. วารสารอาหาร. 22(1): 1-6.
- มณฑาทิพย์ ชุ่นฉลาด. 2539. กรดแอสคอร์บิก และกรดอิทโรบิก/แอนติออกซิแดนซ์. อาหาร 26(1):7-13.
- ศิวพร ศิวเวช. วัตถุดิบอาหาร เล่ม 1. 2546. พิมพ์ครั้งที่ 1. กรุงเทพฯ: โรงพิมพ์ศูนย์ส่งเสริมและฝึกอบรมการเกษตรแห่งชาติ มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์; 2546.
- สมศักดิ์ รักดีวารณ. 2544. การผลิตฟิล์มที่รับประทานได้จากแป้งข้าวเจ้าและแป้งมันสำปะหลัง. วิทยานิพนธ์วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิทยาศาสตร์การอาหาร บัณฑิตวิทยาลัย, สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง.
- สุวัฒนา พฤกษ์ศรี. 2539. การผลิตฟิล์มบริโภครูปได้จากแป้งข้าวเจ้าและการประยุกต์ใช้. ปัญหาพิเศษ. คณะอุตสาหกรรมเกษตร มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์.
- อมรรัตน์ จงสวัสดิ์วรกุล และ ลัดดา เหมาะสุวรรณ. 2545. Evidence-based maillard reaction: focusing on parenteral nutrition. วารสารโภชนาบำบัด. 13(1): 3-11.
- AOAC Official Method 965.33.1995. AOAC Official Methods of Analysis vol.2. Virginia::Wilson Boulevard.
- AOAC Official Method 967.21.1995. AOAC Official Methods of Analysis vol.2. Virginia::Wilson Boulevard.
- Cuq, B., Gontard, N., Cuq, J. and Guilbert, S. 1996. Functional properties of myofibrillar protein-based biopackaging as affected by film thickness. **J Food Sci.** 61(3): 580-584.
- Guilbert, S., Gontard, N. and Leon, G.M. 1996. Prolongation of the shelf-life of perishable Food products using biodegradable films and coatings. **LWT.** 29: 10-17.

- Janjarasskul, T., and Krochta, J. M. 2006. Whey protein isolate films/coatings with oxygen scavenging function by incorporation of ascorbic acid. IFT Poster Presentation.
- Janjarasskul, T., Min, s. and Krochta, J. M. 2007. Ascorbic acid stability and color change in whey protein film during storage. IFT Poster Presentation.
- Janjarasskul, T., Min, s. and Krochta, J. M. 2008. Triggering Mechanisms for Ascorbic Acid-Incorporated Whey Protein Films. IFT Poster Presentation.
- Kester, J.J. and Fennema, O.R. 1986. Edible films and coating: a review. **Food Technol.** 40: 47-59
- Kitts, D.D. 1997. An evaluation of the multiple effects of the antioxidant vitamins. *Trends in Food Sci. and Tech.* 8: 198-203.
- Le on, P. G. and Rojas, A. M. 2007. Gellan gum films as carriers of L(+)-ascorbic acid. *Food Res. Inter.* 40: 565-575.
- Min, S. and Krochta, J. M. 2006. Ascorbic acid-containing whey protein films-coating for control of peanut oxidation. IFT Poster Presentation: 054C-02.
- Min, S. and Krochta, J. M. 2007. Ascorbic acid-Containing whey protein film coatings for control of oxidation. *J. Agric. Food Chem.* 55: 2964-2969.
- Rojas-Graili, M.A., Avena-Bustillos, R.J., Friedman, M., Henika, P.R., Martin-Belloso, and McHugh, T.H. 2006. Mechanical, barrier, and antimicrobial properties of apple puree edible films containing plant essential oils. **J.Agric.Food.Chem.** 54(24): 9262-9267.
- Tulyathan, V., Srisupattarawanich, N., and Suwanakul, A. 2007. Effect of rice flour coating on 2-acetyl-1-pyrroline and n-hexanal in brown rice cv. Jao Hom Supanburi during storage. *Postharvest Biol.Technol.*, doi:10.1016/postharvbio.2007.07.013.

ประวัติผู้วิจัย

1. ชื่อ - นามสกุล (ภาษาไทย) นางอรุณญา มิ่งเมือง
ชื่อ - นามสกุล (ภาษาอังกฤษ) Mrs. Arunya Mingmuang
2. เลขหมายบัตรประจำตัวประชาชน 3 1006 00115 96 1
3. ตำแหน่งปัจจุบัน ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ระดับ 8
4. หน่วยงานที่อยู่ที่สามารถติดต่อได้สะดวก พร้อมหมายเลขโทรศัพท์ โทรสาร และ e-mail
สาขาวิทยาศาสตร์การอาหาร และ โภชนาการ
คณะเทคโนโลยีและนวัตกรรมผลิตภัณฑ์การเกษตร มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ
เขตวัฒนา กรุงเทพมหานคร 10110
โทรศัพท์ 02-664-1000 ต่อ 8706 โทรสาร 02-258-4000
E-mail: arunya@swu.ac.th

5. ประวัติการศึกษา

ปีจบการศึกษา	ระดับปริญญา	อักษรย่อปริญญา	สาขา	ชื่อสถาบัน	ประเทศ
2530	ตรี	วท.บ	เทคโนโลยีทางอาหารฯ	จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย	ไทย
2534	โท	วท.ม.	เทคโนโลยีทางอาหาร	จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย	ไทย
2544	เอก	Ph.D	Food Technology	Clemson University	สหรัฐอเมริกา