

วารสารปริทัศน์

ฟิล์มเคลือบบริโภคได้

ฟิล์มเคลือบบริโภคได้เป็นวัสดุที่มีลักษณะเป็นชั้นบาง ใสเคลือบ หรือห่อหุ้มผลิตภัณฑ์อาหารเพื่อป้องกันการเปลี่ยนแปลงคุณภาพ ฟิล์มดังกล่าวทำหน้าที่คล้ายผิวอีกชั้นหนึ่งของผลิตภัณฑ์ ช่วยชะลอการซึมผ่านของไอน้ำ แก๊สและสารให้กลิ่นรสที่ระเหยได้ อันเป็นผลให้ช่วยยืดอายุการเก็บของอาหารที่เคลือบ (Gennadios และ Weller, 1990) ฟิล์มเคลือบบริโภคได้มีทั้งชนิดฟิล์มเดี่ยวและฟิล์มประกอบ โดยฟิล์มเดี่ยวผลิตจากโปรตีน ทอลิแซ็กคาไรด์และไขมัน ส่วนฟิล์มประกอบผลิตจากโปรตีนร่วมกับไขมัน หรือทอลิแซ็กคาไรด์ร่วมกับไขมัน หรือใช้สารทั้งสามชนิดร่วมกัน (Donhowe และ Femema, 1994)

ฟิล์มเดี่ยว คือ ฟิล์มที่ประกอบด้วยพอลิเมอร์ชีวภาพ (biopolymers) เพียงชนิดเดียว แบ่งเป็น ฟิล์มจากทอลิแซ็กคาไรด์ ฟิล์มจากโปรตีน และฟิล์มจากไขมัน

ฟิล์มจากทอลิแซ็กคาไรด์ (polysaccharide-based films)

ฟิล์มจากทอลิแซ็กคาไรด์ คือ ฟิล์มที่มีทอลิแซ็กคาไรด์เป็นส่วนประกอบหลัก ทอลิแซ็กคาไรด์ที่ใช้ในการผลิตฟิล์มส่วนใหญ่ละลายน้ำได้ เป็นพอลิเมอร์ที่มีสายโซ่ยาว ละลายและกระจายตัวในน้ำ ช่วยปรับปรุงคุณภาพของอาหารด้านความแข็ง (hardness) ความอัดแน่น (compactness) ความหนืด ความเชื่อมแน่นของเนื้อสัมผัส (cohesiveness) การเกิดเจล (gelation) และความรูสึกภายในปาก (Whistler และ Daniel, 1990) ทอลิแซ็กคาไรด์มีความสำคัญในอุตสาหกรรมอาหาร เนื่องจากราคาถูก ไม่เป็นพิษ และมีการใช้กันอย่างแพร่หลาย (Whistler, 1991)

จากการรวบรวมของนักวิทยาศาสตร์ทหอาหารหลายท่าน (Conca และ Yang, 1993; Nisperos-Carriedo, 1994; Krochta และ Mulder-Johnston, 1997) ได้ชนิดของทอลิแซ็กคาไรด์ที่ใช้ในการผลิตฟิล์ม ได้แก่ แอลจีเนต (alginate) เพคติน (pectins) คาร์ราจีแนน (carrageenan) สตาร์ช (starch) สตาร์ชดัดแปร (modified starch) กัม (gum) วัณ (agar) เซลลูโลสดัดแปร (modified cellulose) และ ไคโตซาน (chitosan) ซึ่งองค์การอาหารและยาของสหรัฐอเมริกา (FDA, 1991) จัดเป็นวัตถุเจือปนในอาหาร และทุกชนิดที่กล่าวมาข้น ไคโตซาน ได้รับเครื่องหมาย GRAS (generally regarded as safe substances)

Nisperos-Carriedo (1994) รายงานว่า มีการใช้สารเคลือบจากทอลิแซ็กคาไรด์ในอาหารที่ห่อหุ้มขนมปังทอด เนื่องจากทอลิแซ็กคาไรด์เกิดเจลได้เมื่อได้รับความร้อน จึงช่วยลดการอนน้ำมันในระหว่างทอด ข้อดีของฟิล์มเคลือบจากทอลิแซ็กคาไรด์คือ ฟิล์มเคลือบมีอายุการเก็บรักษาของหักหม้ หรือผลิตภัณฑ์เนื้อสัตว์ ลักษณะเป็นมันเหมือนไขมัน โดยทั่วไปใช้ยืดอายุการเก็บรักษาของหักหม้ หรือผลิตภัณฑ์เนื้อสัตว์

ป้องกันการขจัดน้ำ (dehydration) การเกิดกลิ่นหืน (oxidative rancidity) การเกิดสีน้ำตาลบนผิวของอาหาร ช่วยลดปริมาณออกซิเจนและเพิ่มปริมาณคาร์บอนไดออกไซด์ในสภาวะการเก็บของผักผลไม้ที่ผ่านการเคลือบทำให้อัตราการหายใจ (respiration rate) ของผลิตภัณฑ์ลดลง จึงยืดอายุการเก็บได้ และมีผลคล้ายกับการคัดแปรบรรยากาศ (modified atmospheres) ในการเก็บรักษา นอกจากนี้ฟิล์มเคลือบจากพอลิเอทิลีนไครด์ยังช่วยป้องกันการเสียดสีของผลิตภัณฑ์ที่เกิดจากการขนส่ง การเก็บรักษา และช่วยป้องกันการเสื่อมเสียเนื่องจากจุลินทรีย์

Vale (1953) ผลิตฟิล์มเคลือบบริโภคได้จากโซเดียมคาร์บอกซิเมทิลเซลลูโลส (sodium carboxymethylcellulose, CMC) ที่มีส่วนผสมของ CMC 1% และอัลคิลควอเทอร์นารีอะลูมิเนียมฮาไลด์ (alkyl quaternary aluminium halide) 1% โดยน้ำหนัก ใช้กลีเซอรอล (glycerol) เป็นสารพลาสติกไซเซอร์ (plasticizer) ให้เคลือบบนหัวผักกาด (turnip) ผักที่เคลือบรักษาความสดได้เป็นเวลา 6 สัปดาห์

Jokay, Nelson และ Pawell (1967) ผลิตฟิล์มเคลือบบริโภคได้จากสตาร์ชคัดแปร (hydroxypropylated amylo maize starch) 70% และกลีเซอรอล 12% โดยน้ำหนัก ฟิล์มที่ได้มีอัตราการซึมผ่านของออกซิเจนต่ำมาก กันการซึมผ่านของคาร์บอนไดออกไซด์ได้บางส่วน และเมื่อเคลือบบนผิวของอัลมอนด์ (almond) มีผลในการป้องกันการเกิดกลิ่นหืนได้ดีกว่าตัวอย่างที่ไม่เคลือบ

Murray และ Luft (1973) รายงานว่า การเคลือบขึ้นแอมป์เปิดที่ปกปิดเปลือกด้วยสารละลาย 15DE สตาร์ชไฮโดรไลเซต (starch hydrolysate) เข้มข้น 40% โดยน้ำหนัก มีผลช่วยลดอัตราการซึมผ่านของออกซิเจน ทำให้อัตราการเกิดปฏิกิริยาให้สารสีน้ำตาลลดลง เมื่อเทียบกับตัวอย่างที่ไม่เคลือบ

Elson, Hayes และ Lidster (1985) รายงานผลการใช้สารเคลือบจาก เอ็น,โอ-คาร์บอกซิเมทิลโคโคแซน ซึ่งมีชื่อทางการค้าว่า นูทริเซฟ® (Nutri-Save®) บนผิวแอมป์เปิดและแพร์ พบว่า ทำให้อัตราการหายใจลดลง 50% และการเคลือบมีผลคล้ายการเก็บรักษาโดยการคัดแปรบรรยากาศ (modified atmosphere) การเติมหมู่เมทิลในโคโคแซนทำให้อัตราการซึมของออกซิเจนผ่านฟิล์มเพิ่มขึ้น 2 เท่า เมื่อเทียบกับตัวอย่างโคโคแซนที่ไม่มีการเติมหมู่เมทิล การเติมสารลดแรงตึงผิว 1-2% ในสารเคลือบช่วยเพิ่มความมันเงาให้ผลิตภัณฑ์ ฟิล์มเคลือบมีค่าอัตราการซึมผ่านของไอน้ำเป็น 0.8 มิลลิกรัม/ตารางเซนติเมตร/ชั่วโมง คณะผู้วิจัยระบุว่า โดยทั่วไปอัตราการซึมของแก๊สผ่านฟิล์มขึ้นกับปริมาณความชื้นสัมพัทธ์ของอากาศ ในที่มีความชื้นสัมพัทธ์ต่ำกว่า 70% ฟิล์มเคลือบจะกันการซึมผ่านของออกซิเจนและคาร์บอนไดออกไซด์ได้ดี ส่วนในที่มีความชื้นสัมพัทธ์สูงประมาณ 100% ฟิล์มเคลือบจะมีอัตราการซึมของแก๊สผ่านฟิล์มเพิ่มขึ้น การที่อัตราการซึมผ่านของแก๊สเพิ่มขึ้น คณะผู้วิจัยสันนิษฐานว่า อาจเนื่องจากการดูดซับน้ำของฟิล์ม เป็นผลให้แก๊สที่ละลายน้ำเคลื่อนที่ผ่านได้

ฟิล์มจากโปรตีน (protein-based films)

ฟิล์มจากโปรตีนมีโปรตีนเป็นส่วนประกอบหลัก โปรตีนนอกจากเป็นสารอาหารที่สำคัญแล้ว ยังมีสมบัติด้านหน้าที่ (functional properties) ในผลิตภัณฑ์อาหารอีกด้วย

หน้าที่หลักของโปรตีน ได้แก่ การให้กลิ่นรส และเนื้อสัมผัสกับอาหาร ช่วยให้เกิดเจล ฟอง และเพิ่มความหนืดให้กับอาหาร นอกจากนี้โปรตีนบางชนิดยังมีสมบัติในการเป็นสารอิมัลซิไฟเออร์ ซึ่งช่วยให้เกิดการกระจายตัวของไขมันในน้ำ (Kinsella, 1984)

Gennadios และคณะ (1994) ยกตัวอย่างการประยุกต์ใช้โปรตีนในรูปของฟิล์มเคลือบบริโภคน้ำได้ในการผลิตไส้บรรจุจากคอลลาเจน (collagen) หรือการผลิตแคปซูลจากโปรตีนข้าวโพด (corn zein) และฟองเฝ้าหุ้มที่นิยมบริโภคก็เป็นฟิล์มเคลือบบริโภคน้ำชนิดหนึ่งที่ใช้ห่อหุ้มอาหารได้ ข้อดีของฟิล์มเคลือบบริโภคน้ำจากโปรตีนคือ มีคุณค่าทางโภชนาการสูง ช่วยยืดอายุการเก็บรักษาของผักผลไม้ อาหารทะเล หรือผลิตภัณฑ์เนื้อสัตว์ ป้องกันการขจัดน้ำ การเกิดกลิ่นหืน หรือการดูดซับน้ำมันของผลิตภัณฑ์ผ่านการทอด (Klose, Macchi และ Hanson, 1952; Moorjani และคณะ, 1978; Olson และ Zoss, 1985)

จากการรวบรวมของนักวิทยาศาสตร์ทางอาหารหลายท่าน (Conca และ Yang, 1993; Gennadios และคณะ, 1994; Krochta และ Mulder-Johnston, 1997) ได้ชนิดของโปรตีนที่ใช้ในการผลิตฟิล์มได้แก่ โปรตีนข้าวโพด กวูเต็นข้าวสาลี (wheat gluten) เจลาติน โปรตีนถั่วเหลือง เคซีน และโอวาอัลบูมิน (ovalbumin) จากไข่ขาว Gennadios และคณะ (1994) ให้เหตุผลว่า ฟิล์มจากโปรตีนยึดติดแน่นกับผิวของผลิตภัณฑ์ได้ดี เนื่องจากมีสมบัติการเชื่อมแน่น และการยึดติด

Donhowe และ Fennema (1994) กล่าวถึง สมบัติของฟิล์มจากโปรตีนไว้ว่า กั้นการซึมผ่านของออกซิเจนและคาร์บอนไดออกไซด์ได้ดีในที่มีความชื้นสัมพัทธ์ต่ำ แต่ในที่มีความชื้นสัมพัทธ์สูง ฟิล์มจะกั้นการซึมผ่านของแก๊สไม่ได้เพราะฟิล์มมีสมบัติชอบน้ำ ทำให้เกิดการดูดซับความชื้น ดังนั้นการปรับปรุงสมบัติของฟิล์มจากโปรตีนจึงมุ่งเน้นปรับปรุงสมบัติด้านการซึมผ่านของไอน้ำให้ดีขึ้น โดยวิธีปรับสภาพโปรตีนที่จุดไอโซอิเล็กทริก (isoelectric) หรือเชื่อมข้ามพันธะในโครงสร้างของโปรตีน

Park (1991) เคลือบผลมะเขือเทศด้วยสารเคลือบจากโปรตีนข้าวโพด ซึ่งเตรียมจากของผสมระหว่างโปรตีนข้าวโพด กลีเซอริน (glycerin) และกรดซิตริก ในเอทานอล (ethanol) 95% ผลิตภัณฑ์ได้เก็บที่ 21 องศาเซลเซียส ได้ 6 วัน เมื่อใช้ฟิล์มเคลือบที่มีความหนา 25 ไมโครเมตร จะช่วยชะลอการเปลี่ยนแปลงและการเสียน้ำหนักของมะเขือเทศ ช่วยรักษาความสดไว้ได้ แต่เมื่อเพิ่มความหนาของฟิล์มเป็น 66 ไมโครเมตร การยอมรับของผู้ทดสอบลดลง และมะเขือเทศเกิดภาวะหมักแบบปราศจากออกซิเจน (anaerobic fermentation)

ฟิล์มจากไขมัน (lipid-based films)

ฟิล์มจากไขมัน คือ ฟิล์มที่มีไขมันเป็นส่วนประกอบหลัก โดยไขมันทำหน้าที่กั้นการซึมผ่านของความชื้น เนื่องจากไขมันมีความไม่ชอบน้ำ (hydrophobicity) สูง Fox (1958) รายงานว่า ฟิล์มจากไขมันส่วนใหญ่จะใช้ในรูปสารเคลือบผิว เนื่องจากไขมันมีโครงสร้างเป็นผลึก

Kester และ Fennema (1986, 1989) รายงานว่า สมบัติในการป้องกันการซึมผ่านของไอน้ำ หรือแก๊สขึ้นกับการเรียงตัวของโครงสร้างผลึกไขมัน ถ้ามีการเรียงตัวอย่างหนาแน่นจะมีสมบัติในการป้องกันดีกว่า โดยน้ำมันจะป้องกันการซึมผ่านของไอน้ำได้น้อยกว่าไขมัน การจัดเรียงตัวของผลึกไขมันจะขึ้นกับการบ่ม (tempering) และการเกิดอัญรูปของผลึก (polymorphic form)

ฟิล์มเคลือบจากไขมันมีข้อจำกัดในการใช้งาน เนื่องจากมีโครงสร้างไม่แข็งแรง เพราะโมเลกุลของไขมันมีการประสานตัวกันน้อย ทำให้หลุดแยกออกจากกันได้ง่าย Hernandez (1994) รายงานว่า เมื่อใช้ไขมันที่มีโครงสร้างเป็นเส้นตรง และมีความเป็นขั้วต่ำผลิตฟิล์ม จะได้ฟิล์มที่มีการเชื่อมแน่นดี และโค้งงอ (flexible) ขณะที่ไขมันที่มีความเป็นขั้วสูง และโครงสร้างมีกิ่งก้านสาขามาก จะเกิดการเชื่อมข้ามของโครงสร้างทำให้การเชื่อมแน่น และการโค้งงอของฟิล์มลดลง

จากการรวบรวมของนักวิทยาศาสตร์ทางอาหารหลายท่าน (Conca และ Yang, 1993; Nisperos-Carriedo, 1994; Hernandez, 1994) ได้ชนิดของไขมันที่ใช้ในการผลิตฟิล์ม ได้แก่ แอซิโดกลีเซอไรด์ (acetoglyceride) แอซิดีเลทเต็ดมอโนกลีเซอไรด์ (acetylated monoglycerides) กรดไขมัน (fatty acid) และไขบริโภคได้ (edible wax) โดยองค์การอาหารและยาของสหรัฐอเมริกา (FDA, 1991) อนุญาตให้ใช้ในรูปสารเคลือบผิว สารพลาสติกไซเซอร์ สารอิมัลซิไฟเออร์ สารหล่อลื่น (lubricants) หรือสารลดการเกิดฟอง ส่วนน้ำมันบริโภคที่มีเครื่องหมาย GRAS ที่ใช้เป็นสารพลาสติกไซเซอร์ หรือสารอิมัลซิไฟเออร์ในการผลิตฟิล์ม จะพิจารณาว่าเป็นอาหารมีขั้วลุดเจอปนในอาหาร ดังนั้นจึงไม่จำเป็นต้องอยู่ในรายการที่ได้รับอนุญาตจากองค์การอาหารและยาของสหรัฐอเมริกา (Baldwin และคณะ, 1997)

Hagenmaier และ Shaw (1991) รายงานว่า นิยมใช้ไขบริโภคได้ในการเคลือบผักผลไม้ เพื่อป้องกันการขจัดน้ำ หรือชะลออัตราการหายใจของพืช แต่การเคลือบไขมันผิวของผลิตภัณฑ์อาหารทำได้ยาก จึงมักใช้ร่วมกับแอซิดีเลทเต็ดมอโนกลีเซอไรด์ เพื่อให้สารเคลือบมีลักษณะอ่อนตัวและโค้งงอได้มากขึ้น โดยแอซิดีเลทเต็ดมอโนกลีเซอไรด์มีสมบัติเป็นสารพลาสติกไซเซอร์ซึ่งช่วยเพิ่มความเหนียว (toughness) และการโค้งงอของฟิล์มจากไขมัน Kester และ Feenema (1986, 1989) อธิบายว่า สารพลาสติกไซเซอร์ทำหน้าที่ลดแรงดึงดูระหว่างโมเลกุลของสายโซ่พอลิเมอร์ที่อยู่ใกล้กัน ทำให้ความทนแรงดึง (tensile strength) ของฟิล์มลดลง ขณะที่การโค้งงอได้ของฟิล์มเพิ่มขึ้น แต่จะทำให้สมบัติด้านการป้องกันการซึมผ่านของแก๊สและไอน้ำลดลง อย่างไรก็ตามมีรายงานว่า การใส่อะซิดีเลทเต็ดมอโนกลีเซอไรด์เป็นสารพลาสติกไซเซอร์ มีผลในการเพิ่มอัตราการซึมผ่านของไอน้ำน้อยกว่าการใช้สารพลาสติกไซเซอร์ชนิดอื่นที่มีความชอบน้ำมากกว่า ชนิดของสารพลาสติกไซเซอร์อื่นที่ใ้้มาก ได้แก่ กรดไขมัน โมโนกลีเซอไรด์ ฟอสโฟลิปิด กลีเซอรอล และพอลิเอทิลีน ไกลคอล

นอกจากนี้การเคลือบฟิล์มจากไขมันบนชั้นเมทริกซ์ที่ช่วยเสริมความแข็งแรง (supporting matrix) ทำให้ฟิล์มที่ได้มีสมบัติกันการซึมผ่านของไอน้ำและแก๊สดีขึ้น (McHugh, 1996; Baldwin และคณะ, 1997)

Baldwin และคณะ (1997) ได้รวบรวมรายงานการใช้ฟิล์มจากไขมันในการเคลือบผักผลไม้ชนิดต่างๆ เพื่อป้องกันการเสียน้ำและการขจัดน้ำในกล้วย มะม่วง มะพร้าว และมะละกอ (Pauli และ Chen, 1989) แอปเปิ้ล (Drake และ Nelson, 1990) มะนาว (Hagenmaier และ Baker, 1994) พืช แดงโม แครอท ผักกาดฝรั่ง ผักทอง ข้าวโพด มะเขือม่วง พริก มะเขือเทศ และแตงกวา (Baldwin, 1994) และฝรั่ง (McGuire และ Hallman, 1995)

นอกจากที่กล่าวมาแล้วยังมีรายงานการใช้ไขจากพาราฟิน (paraffin wax) เคลือบไข่ ทั้งฟองทำให้ช่วยยืดอายุการเก็บของไข่ได้เมื่อเก็บที่อุณหภูมิ 35 องศาเซลเซียส และป้องกันการเสียน้ำหนักเมื่อเทียบกับตัวอย่างที่ไม่เคลือบ (Alvin และคณะ, 1979) การเคลือบอรุ่นแห้งที่เป็นส่วนผสมในอาหาร

เช้าจากรัญชาติ (breakfast cereal) ด้วยไขจากผึ้ง (beeswax) และน้ำมันพืช (vegetable oil) ช่วยป้องกันไม่ให้ความชื้นจากอุณหภูมิชื้นไปยังส่วนผสมอื่น ทำให้ผลิตภัณฑ์คงความกรอบได้ (Kester และ Femama, 1986) การเคลือบกะหล่ำปลีทั้งหัวด้วยเอสเทอร์ของกรดไขมันกับซูโครส (sucrose fatty acids esters) เข้มข้น 0.25 % โดยน้ำหนัก ทำให้อัตราการเกิดสีน้ำตาลของกะหล่ำปลีลดลง เนื่องจากการเคลือบช่วยลดปริมาณแก๊สออกซิเจนที่สัมผัสผิวของผลิตภัณฑ์ (Sakame และคณะ, 1990)

ฟิล์มประกอบ (composite films)

ฟิล์มประกอบ คือ ฟิล์มที่ใช้พอลิแซ็กคาไรด์ร่วมกับไขมัน หรือ โปรตีนร่วมกับไขมัน หรือใช้สารทั้งสามชนิดรวมกัน McHugh (1996) รายงานว่า ฟิล์มประกอบมีสมบัติในการป้องกันการซึมผ่านของไอน้ำ และแก๊สดีกว่าฟิล์มเดี่ยว โดยการทำงานร่วมกันของไฮโดรคอลลอยด์ (hydrocolloid) ซึ่งเป็นโปรตีนหรือพอลิแซ็กคาไรด์ กับไขมัน ส่วนของไฮโดรคอลลอยด์จะช่วยกันการซึมผ่านของออกซิเจนและคาร์บอนไดออกไซด์ ขณะที่ส่วนของไขมันช่วยกันการซึมผ่านของไอน้ำ

McHugh (1996) อธิบายว่า ฟิล์มประกอบอาจอยู่ในรูปของฟิล์มอิมัลชัน (emulsion films) หรือฟิล์มสองชั้น (bilayer films) การเตรียมฟิล์มอิมัลชันทำโดยผสมไฮโดรคอลลอยด์ที่มีสมบัติเป็นสารอิมัลซิไฟเออร์กับไขมันในรูปของอิมัลชัน จากนั้นขึ้นรูปเป็นแผ่นฟิล์ม ไฮโดรคอลลอยด์จะเกิดเป็นโครงสร้างค้ำยัน ขณะที่ไขมันกระจายตัวแทรกตามโครงสร้างค้ำยันนั้น ส่วนการเตรียมในรูปของฟิล์มสองชั้นทำโดยเตรียมฟิล์มชั้นแรกจากไฮโดรคอลลอยด์ ซึ่งเป็นโครงสร้างหลักของฟิล์ม จากนั้นจึงเคลือบทับอีกชั้นด้วยชั้นของไขมัน

Hernandez (1994) รายงานว่า สมบัติการป้องกันการซึมผ่านของไอน้ำ และแก๊สของฟิล์มอิมัลชันขึ้นกับขนาดอนุภาคไขมันของอิมัลชัน ถ้าอนุภาคไขมันมีขนาดเล็กจะกันการซึมผ่านได้ดี นอกจากรีปริมาณของไขมันและไฮโดรคอลลอยด์ในฟิล์มจะมีผลต่อสมบัติในการป้องกันการซึมผ่านของไอน้ำ เพราะการเคลื่อนที่ของไอน้ำผ่านฟิล์มจะเกิดที่โครงสร้างของไฮโดรคอลลอยด์ซึ่งเป็นส่วนที่ชอบน้ำ

Wong-Parlath และ Tillin (1992) ทดลองใช้สารเคลือบจากไซโตซินเคซิเนต แอซิเดทาเต้คโมโนกลีเซอไรด์ และแอลจินเนตทั้งชนิดฟิล์มเดี่ยว และฟิล์มประกอบในการเคลือบชั้นแอปเปิล ผู้ทดลองรายงานว่า การใช้สารเคลือบจากไซโตซินเคซิเนตหรือไซโตซินแอลจินเนต หรือแอซิเดทาเต้คโมโนกลีเซอไรด์อย่างใดอย่างหนึ่งจะช่วยป้องกันการขจัดน้ำของผลิตภัณฑ์ได้ไม่ดีเท่ากับการใช้ฟิล์มอิมัลชัน หรือฟิล์มสองชั้น โดยอัตราส่วนของสารเคลือบชนิดอิมัลชันที่เหมาะสมที่สุดในการทดลองนี้คือ ไซโตซินเคซิเนตคือ แอซิเดทาเต้คโมโนกลีเซอไรด์ต่อแอลจินเนตเท่ากับ 10 : 15 : 0.5 % สารเคลือบที่ได้มีลักษณะเป็นชั้นหนา และเปื่อยเมื่อสัมผัสด้วยมือ ทำให้ไม่สะดวกในการใช้งาน และสารเคลือบจะเป็นชั้นที่เสียน้ำออกไปแทนผลิตภัณฑ์ มากกว่าจะเป็นชั้นที่ป้องกันการซึมผ่านของไอน้ำออกจากชั้นแอปเปิล เมื่อเตรียมฟิล์มสองชั้นโดยเคลือบทับชั้นของแอซิเดทาเต้คโมโนกลีเซอไรด์ลงบนชั้นของไซโตซินเคซิเนตและแอลจินเนตจะลดการขจัดน้ำจากชั้นแอปเปิลได้ดีที่สุดถึง 75 % หลังจากเก็บเป็นเวลา 72 ชั่วโมง ที่อุณหภูมิ 23 องศาเซลเซียส ความชื้นสัมพัทธ์ 50 % ผลิตภัณฑ์อัตราการหายใจลดลงประมาณ 70 % และการซึมผ่านของเอทิลีนลดลงประมาณ 93 % นอกจากนี้ยังช่วยลดปฏิบัติการเกิดสารสีน้ำตาลลงได้ เมื่อเทียบกับตัวอย่างที่ไม่เคลือบ

Avena-Bustillos และคณะ (1993) ผลิตภัณฑ์เม็ดเคลือบจากไซเดียมเคซีเนตร่วมกับกรดสเตียริกใช้เคลือบแครอทที่ปอกเปลือกแล้วและเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส ความชื้นสัมพัทธ์ 70 % พบว่า การเคลือบช่วยลดการเปลี่ยนแปลงสี และการขจัดน้ำของผลิตภัณฑ์ลงได้ จากการหาองค์ประกอบที่เหมาะสมโดยวิธีพื้นผิวการตอบสนอง (response surface) ได้สูตรที่ประกอบด้วยไซเดียมเคซีเนต 1.4-1.6 % โดยน้ำหนัก และกรดสเตียริก 0.1-0.2 % โดยน้ำหนัก จะลดการขจัดน้ำของผลิตภัณฑ์ลงได้ 84 % และป้องกันการเปลี่ยนสี ซึ่งมักเกิดบนผิวของแครอทที่ปอกเปลือกแล้วได้

Stuchell และ Krochta (1994) ผลิตภัณฑ์เคลือบจากโปรตีนหอนมสกัด (whey protein isolated) และน้ำมันมะพร้าวที่มีการเติมไฮโดรเจน เพื่อใช้เคลือบเนื้อปลาคิงแซลมอน (King salmon) แช่แข็ง พบว่า ช่วยลดการสูญเสียความชื้นลง 42-65 % เมื่อเทียบกับตัวอย่างที่ไม่ได้เคลือบ

ความสัมพันธ์โครงสร้าง-สมบัติของสารที่เป็นองค์ประกอบในอาหาร

McHugh (1996) ให้แนวความคิดว่า การพิจารณาเลือกใช้โปรตีน พอลิแซ็กคาไรด์ และไขมัน ร่วมกัน ในการผลิตผลิตภัณฑ์ประกอบต้องพิจารณาถึงความสามารถในการเข้ากันได้ (compatibility) ของสารแต่ละชนิด เพื่อให้ได้ผลิตภัณฑ์ที่มีสมบัติตามต้องการ โดยต้องพิจารณาถึง อันตรกิริยา (interaction) ระหว่างโปรตีนกับพอลิแซ็กคาไรด์ อันตรกิริยาระหว่างโปรตีนกับไขมัน และอันตรกิริยาระหว่างพอลิแซ็กคาไรด์กับไขมัน อันตรกิริยาของสารเหล่านี้จะสัมพันธ์กับแนวทฤษฎีเกี่ยวกับความสัมพันธ์โครงสร้าง-สมบัติ (structure-property relationships) ของสารที่เป็นองค์ประกอบในอาหาร ซึ่งเสนอโดย Tolstoguzov (1996)

Tolstoguzov (1996) รายงานว่า โครงสร้างหลักของอาหารประกอบด้วยแมโครโมเลกุล (macromolecules) 2 ชนิด คือ โปรตีน และพอลิแซ็กคาไรด์ซึ่งเป็นพอลิเมอร์ชีวภาพ มีสมบัติทางเคมี-ฟิสิกส์ (physico-chemical properties) ที่ใกล้เคียงกัน ได้แก่ ความหนืด ปฏิกริยาพื้นผิว (surface activity) เสถียรภาพของโครงสร้าง และการเกิดเจล ส่วนใหญ่โปรตีนที่ใช้ในอาหารมีโครงสร้างเป็นทรงกลม (globular protein) หรือมีโครงสร้างไร้ระเบียบ (unordered structure) เช่น เจลาติน หรือเคซีน ส่วนพอลิแซ็กคาไรด์ที่ใช้ในอาหารจะมีสมบัติเป็นกลาง หรือมีประจุเป็นลบ เช่น ไซเดียมคาร์บอกซีเมทิลเซลลูโลส เพคติน หรือมอลโตเด็กซ์ทริน (Tolstoguzov, 1996)

ในระบบของอาหารมีโครงสร้างการเกิดอันตรกิริยาของพอลิเมอร์ชีวภาพ 4 ระดับคือ ด้ับแมโครโมเลกุล (submacromolecular) แมโครโมเลกุล ซุปเปอร์แมโครโมเลกุล (supramacromolecular) และแมโครสโคปิก (macroscopic) ซึ่งการเกิดอันตรกิริยา หมายถึง การเกิดบริเวณรอยต่อ (junction zone) ภายใน หรือระหว่างโมเลกุล เป็นโครงสร้างระดับต่างๆ จะทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงสมบัติทางการไหล (rheological) และสมบัติทางเคมี-ฟิสิกส์อื่นๆ บริเวณรอยต่อที่เกิดขึ้น จะมีการพันกันของสายโซ่พอลิเมอร์อย่างหนาแน่น และเป็นระเบียบ อาจใช้ขนาดของบริเวณรอยต่อ และความแข็งแรงของแรงภายในโมเลกุล เป็นเกณฑ์บอกระดับชั้นของโครงสร้างอาหาร บริเวณรอยต่อจะเกิดขึ้นภายในโมเลกุลของพอลิเมอร์ หรือเกิดระหว่างแมโครโมเลกุล ตัวอย่างเช่น การเกิดโครงสร้างในอาหารของโปรตีน เมื่อพิจารณาจากโครงสร้างของโปรตีน ซึ่งเป็นทรงกลมที่ไร้ระเบียบ แต่มีลักษณะที่แน่น และคงตัว ดังนั้นสายโซ่พอลิเมอร์

จำนวนประจุบวก และประจุลบที่ใช้ในการเกิดอันตรกิริยาเพื่อให้เกิด โครงสร้างระดับแมโครโมเลกุลจะมีจำกัด แต่ด้วเกิดภายในโมเลกุลของโปรตีนเอง (เป็นการเกิดโครงสร้างระดับตัวแมโครโมเลกุล) สายโซ่โมเลกุลจะมีลักษณะเป็นเส้นตรง เกิดการเคลื่อนที่และโค้งงอได้ ดังนั้นจึงเกิดอันตรกิริยาทำให้บริเวณรอยต่อขยายออกได้ และเกิดภาวะการปรับตำแหน่ง (steric adjustment) ของหมู่ที่มีประจุตรงข้ามกันได้มากกว่าการเกิดอันตรกิริยาระหว่างแมโครโมเลกุล (Tolstoguzov, 1996) ในการเกิดโครงสร้างระดับต่างๆ ของโปรตีน เริ่มจากการเกิดพันธะของหมู่ที่เป็นองค์ประกอบของโปรตีน เช่น พันธะไดซัลไฟด์ พันธะของหมู่ที่ไม่ชอบน้ำ หรือพันธะไฮโดรเจนภายใน โมเลกุล เป็นต้น ซึ่งเป็นการเกิด โครงสร้างของตัวแมโครโมเลกุล ส่วนการเกิด โครงสร้างระดับแมโครโมเลกุลจะเกิดจากอันตรกิริยาที่ทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงขนาด และ โครงสร้างของโปรตีน เช่น การแตกตัว (dissociation) การรวมตัว (association) หรือการรวมกลุ่มก้อน (aggregation) ซึ่งด้วเกิดการรวมตัวกันเป็นคอมพลอยด์จะเป็นการเกิด โครงสร้างระดับซูเปอร์แมโครโมเลกุล และด้วเกิดเป็น โครงสร้างสามมิติ หรือเกิดเจล หรือเกิดอิมัลชัน จะเป็น โครงสร้างระดับแมโครสโคปิก

ด้วกับการผลิตฟิล์มประกอบจะพิจารณาถึงอันตรกิริยาระหว่างโปรตีนกับพอลิแซ็กคาไรด์ โปรตีนกับไขมัน และพอลิแซ็กคาไรด์กับไขมัน ซึ่งใช้นวทฤษฎีของ Tolstoguzov (1996) อธิบายด้วดังนี้

อันตรกิริยาระหว่างโปรตีนกับพอลิแซ็กคาไรด์

Tolstoguzov (1986) อธิบายว่า การเกิดอันตรกิริยาระหว่างโปรตีนกับพอลิแซ็กคาไรด์จะอยู่ในรูปการดึงดูดกัน (attraction) หรือการผลักกัน (repulsion) ถ้าพอลิเมอร์ชีวภาพทั้งสองเกิดการดึงดูดกันจะเกิดเป็นสารเชิงซ้อน (complexes) แต่ด้วเกิดการผลักกันจะเป็นพอลิเมอร์ชีวภาพที่เข้ากันไม่ได้ (incompatibility biopolymer) มีการรายงานเพิ่มเติมโดย Tolstoguzov (1990) ว่าสารเชิงซ้อนที่เกิดจากอันตรกิริยาระหว่างโปรตีนกับพอลิแซ็กคาไรด์จะมีสมบัติทางเคมี-ฟิสิกส์แตกต่างจากพอลิเมอร์ด้วด้ว

Tolstoguzov (1996) ยกตัวอย่างการเกิดสารเชิงซ้อนจากอันตรกิริยาระหว่างพอลิแซ็กคาไรด์ที่มีประจุลบกับโปรตีนที่มีโครงรูปไร้ระเบียบ โดยอันตรกิริยาที่เกิดขึ้นจะเกิดอย่างอิสระ และกระจายอยู่ในบริเวณกลมมวลของแมโครโมเลกุลทั้งสองชนิด โดยบริเวณรอยต่อจะล้อมรอบด้วส่วนที่ชอบน้ำของสายโซ่พอลิเมอร์เดี่ยว ทำให้บริเวณรอยต่อหันด้วที่ไม่ชอบน้ำเข้าภายใน เกิดเป็นส่วนแกนที่ไม่ชอบน้ำ ผู้วิจัยชี้ให้เห็นว่าโครงสร้างขั้นปฐมภูมิของสารเชิงซ้อนจะคล้ายกับโปรตีนที่มีโครงรูปเป็นทรงกลม สายโซ่พอลิเมอร์ส่วนที่ไม่ด้วรวมเข้าในบริเวณรอยต่อจะเป็นด้วกำหนดการละลายด้วในน้ำ ปฏิกริยาที่ขึ้นคว การรวมกลุ่มก้อน และการเกิดเจลของสารเชิงซ้อน

สมบัติการละลายน้ำของสารเชิงซ้อนขึ้นกับการมีประจุ โดยส่วนที่ละลายน้ำได้จะมีประจุ ขณะที่ส่วนที่ไม่ละลายจะอยู่ในภาวะที่เป็นกลางหรือไม่มีประจุ เนื่องจากเกิดการสะเทินของประจุอย่างสมบูรณ์ ทำให้เกิดการแยกชั้นของของเหลวที่มีลักษณะคล้ายเจลซึ่งใช้เป็นหลักการหนึ่งในการขึ้นรูปฟิล์ม เมื่อละลายสารพอลิเมอร์ที่เข้ากันไม่ได้ในด้วทำละลายเดียวกันจะไม่เกิดการรวมตัวกันในระดับแมโครโมเลกุลจึงเกิดการแยกภูมิภาค แม้จะใส่พอลิเมอร์ทั้งสองผสมกันในสัดส่วนใดก็ตาม ส่วนพอลิเมอร์ที่เข้ากันได้จะรวมตัวกันและเกิดอันตรกิริยากับด้วทำละลาย (Tolstoguzov, 1996) เมื่อละลายพอลิเมอร์ในน้ำ

พอลิเมอร์จะค้ำน้ำเข้ามาล้อมรอบ โมเลกุลไว้ เรียกว่า ปริมาตรจำกัด (excluded volume) และเมื่อเพิ่มความเข้มข้นของพอลิเมอร์ให้มากขึ้นจนเกิดการแทนที่ช่องว่างภายในสารละลายทั้งหมด และเกิดการซ้อนทับกันของปริมาตรจำกัด จะทำให้สารละลายแยกออกเป็น 2 ภูมิภาค แต่ละภูมิภาคประกอบด้วยพอลิเมอร์ต่างชนิดกัน หรือเกิดความเข้มข้นวิกฤต (critical concentration, C_r) ซึ่งเป็นความเข้มข้นที่ทำให้สารละลายเปลี่ยนจากสารละลายเจือจางเป็นสารละลายกึ่งเจือจาง

Tolstoguzov (1996) ระบุว่า โพรตีนที่มีโครงสร้างเป็นทรงกลม มีความเข้มข้นวิกฤตเท่ากับ 10-30 % ส่วนพอลิแซ็กคาไรด์มีความเข้มข้นวิกฤตเท่ากับ 0.1-3 % ถ้าสารละลายมีความเข้มข้นสูงกว่าความเข้มข้นวิกฤต แมโครโมเลกุลจะรวมตัวเป็นกลุ่มก้อน ปริมาตรจำกัดจะลดลง และเกิดเป็นโครงสร้างตามมิติหรือเจด

การเกิดสารเชิงซ้อนของ โพรตีนกับพอลิแซ็กคาไรด์ในภาวะความเป็นกรดค่าระหว่างจุดไอโซอิเล็กตริกของ โพรตีน และค่าการแตกตัว (pK) ของหมู่คาร์บอกซิลของพอลิแซ็กคาไรด์ที่มีประจุลบ โพรตีนจะมีประจุสุทธิเป็นบวกอยู่ในรูปพอลิแคทไอออน (polycations) ขณะที่หมู่คาร์บอกซิลของพอลิแซ็กคาไรด์อยู่ในรูปพอลิแอนไอออน (polyanion) และเมื่อแรงดึงดูดระหว่างแมโครโมเลกุล เช่น โพรตีนกับพอลิแซ็กคาไรด์ สูงกว่าแรงดึงดูดของโมเลกุลชนิดเดียวกัน เช่น โพรตีนกับโพรตีน หรือ พอลิแซ็กคาไรด์กับพอลิแซ็กคาไรด์ จะเกิดการเชื่อมต่อกันของอนุภาคคอลลอยด์เป็นสารเชิงซ้อน และที่ความเป็นกรดสูงกว่าจุดไอโซอิเล็กตริกของ โพรตีนหรือที่ภาวะเป็นกลาง โพรตีนที่มีประจุบวกกับหมู่คาร์บอกซิลของพอลิแซ็กคาไรด์ที่มีประจุลบจะเกิดการสร้างสารเชิงซ้อนที่ละลายน้ำ Tolstoguzov (1996) ให้แนวคิดว่า การเกิดภาวะที่ไม่เสถียรของคอลลอยด์ไม่ควรเกิดจากอุณหพลวัต (thermodynamic) แต่เกิดจากการเติมพอลิแซ็กคาไรด์ลงในสารละลาย โพรตีน โดยปริมาณพอลิแซ็กคาไรด์ที่เติมเพื่อให้โพรตีนเกิดการรวมตัวเป็นตะกอนขุ่นจะต่ำกว่าปริมาณที่ทำให้เกิดการแยกภูมิภาค เช่น ที่ความเข้มข้นของพอลิเมอร์ต่ำกว่า 0.1 % จะไม่เกิดการรวมตัวกันเป็นตะกอนขุ่น แต่ถ้าความเข้มข้นสูงกว่า 4 % จะเกิดการรวมตัวเป็นตะกอนขุ่น

Tolstoguzov (1996) ระบุว่า เมื่อผสมสารละลายโพรตีนกับพอลิแซ็กคาไรด์ จะได้แบบจำลองระบบ (model system) 4 แบบ โดย 2 ระบบแรกอยู่ในรูปภูมิภาคเดียว ซึ่งเป็นสารละลายของสารเชิงซ้อน หรือสารละลายผสมของพอลิเมอร์ที่มีความเข้มข้นต่ำกว่าจุดที่ทำให้เกิดการแยกภูมิภาคของพอลิเมอร์ทั้งสอง จึงยังคงละลายร่วมกันได้ ซึ่งการแยกภูมิภาคอาจเกิดจากพอลิเมอร์ที่เข้ากันไม่ได้ไม่เกิดการรวมตัวในตัวเองละลายเดียวกัน หรือเกิดจากสารเชิงซ้อนจากอันตรกิริยาของพอลิเมอร์ทั้งสองเป็นสารที่ไม่ละลายน้ำ และการเติมพอลิแซ็กคาไรด์ลงในสารละลายโพรตีนหรืออิมัลชันที่มีโพรตีนเป็นสารอิมัลซิไฟเออร์ จะได้ระบบการรวมตัวเป็นตะกอนขุ่น 2 แบบ อยู่ในรูปการเกิดสารเชิงซ้อนซึ่งพอลิแซ็กคาไรด์เป็นตัวชักนำให้เกิดการเชื่อมต่อนอกอนุภาคที่กระจายตัวในตัวเองละลายให้เกิดตะกอนขุ่น ส่วนการรวมตัวเป็นตะกอนแบบลดน้อยลง (depletion flocculation) เกิดจากการรวมตัวของอนุภาคที่แขวนลอยในตัวเองที่ไม่เปียกน้ำ (non-wettable medium) เช่น การแขวนลอยของ โพรตีนในสารละลายพอลิแซ็กคาไรด์

Tolstoguzov (1996) ให้เหตุผลว่า สารเชิงซ้อนของโปรตีนกับพอลิแซ็กคาไรด์ช่วยเพิ่มความคงตัวของอิมัลชันได้เนื่องจากมีปฏิริยาผิวสัมผัสสูง และมีโครงสร้างเป็นชั้นหนาด้านเขตซึ่งเป็นชั้นที่เกิดการดูดซับกับไขมัน การเกิดสารเชิงซ้อน แสดงว่า มีการเกิดอันตรกิริยาภายในแม่โครโมเลกุลอย่างมากซึ่งจะเป็นการยับยั้งการแข่งขันของโปรตีนที่มีสมบัติแตกต่างกันระหว่างหน้าสัมผัส ทำให้โปรตีนเกิดการคลายตัว ผู้วิจัยระบุว่า ความหนาของชั้นเขตที่เกิดการดูดซับ และแรงผลักกันทางไฟฟ้าสถิตของหยดอิมัลชัน เป็นปัจจัยสำคัญที่ช่วยให้อิมัลชันชนิดน้ำมันในน้ำเกิดความคงตัว นอกจากนี้อันตรกิริยาของโปรตีนกับพอลิแซ็กคาไรด์ที่เข้ากันไม่ได้ จะช่วยเพิ่มความคงตัวของอิมัลชันได้เช่นกัน เนื่องจากการเกิดปริมารจำกัดของพอลิเมอร์ทั้งสอง ซึ่งจะใช้ปริมารในสารละลายร่วมกันไม่ได้ ส่งผลให้สารละลายมีความหนืดเพิ่มขึ้นและช่วยเพิ่มปฏิริยพื้นที่ผิวของโปรตีนให้มากขึ้น (Tolstoguzov, 1991; Tsapkina และคณะ, 1992; Pavlovskaya และคณะ, 1993) การเกิดชั้นหลายชั้นของโปรตีนที่เกิดการดูดซับกับไขมันอาจทำให้เกิดการแยกวัฏภาคของโปรตีนในน้ำซึ่งเป็นตัวกลางของอิมัลชัน หรือพิจารณาว่า เมื่อสัดส่วนปริมารของโปรตีนเพิ่มขึ้นจะเกิดการแยกวัฏภาคของโปรตีนซึ่งเป็นวัฏภาคค่อเนื่องที่ละลายในน้ำ ส่งผลให้อิมัลชันไม่คงตัว (Tolstoguzov, 1996)

อันตรกิริยาระหว่างโปรตีนกับไขมัน

สมบัติสำคัญที่ควรพิจารณาในการเลือกใช้โปรตีนเพื่อผลิตฟิล์มอิมัลชัน ได้แก่ การเป็นสารอิมัลซิไฟเออร์ และการละลายน้ำ อิมัลชันระหว่างโปรตีนกับไขมันเกิดเนื่องจากอนุภาคไขมันเกิดการดูดซับโมเลกุลของโปรตีนบนหน้าสัมผัส เนื่องจากโปรตีนประกอบด้วยส่วนที่ชอบน้ำ และส่วนที่ไม่ชอบน้ำ โดยส่วนที่ไม่ชอบน้ำของโปรตีนจะเข้ากันได้กับไขมัน ขณะที่ส่วนที่ชอบน้ำทำให้โปรตีนกระจายในน้ำซึ่งเป็นตัวกลางทำละลายได้ ส่งผลให้อนุภาคไขมันเกิดการกระจายตัวในน้ำได้

การที่โมเลกุลของไขมัน และโปรตีน เข้ากันได้เพียงบางส่วน ทำให้เกิดการขยายบริเวณเนิน (plateau) บนไอโซเทอร์มที่เกิดการดูดซับบริเวณหน้าสัมผัสของโปรตีนที่มีโครงสร้างเป็นทรงกลมกับไขมัน (Tolstoguzov, 1991) โดยเริ่มเกิดเป็นชั้นเดี่ยวและต่อเนื่องซ้อนกันเป็นหลายชั้น เมื่อพิจารณาโครงสร้างของเคซีนซึ่งเป็นโครงสร้างไว้ระเหยจะพบบริเวณเนินในไอโซเทอร์มซึ่งเป็นที่ที่เกิดการดูดซับกับไขมันได้ ดังนั้นหน่วยย่อยของเคซีนจะรวมตัวและเข้ากันกับโมเลกุลของไขมันได้ การเกิดอิมัลชันโดยอันตรกิริยาระหว่างโปรตีนกับไขมันอาจมีผลทำให้ความเสถียรของโครงสร้างและการชอบน้ำของโปรตีนลดลง เพราะการเกิดอันตรกิริยาจะลดการมีขั้วในโมเลกุลของโปรตีน (Tolstoguzov, 1996)

McHugh และ Krochta (1994) รายงานว่า โดยทั่วไปฟิล์มอิมัลชันจากโปรตีนและไขมันมีแนวโน้มเกิดการแยกชั้นในระหว่างการทำแห้ง เนื่องจากสมบัติของโปรตีนและไขมันที่รวมตัวกันได้เพียงบางส่วน (nonisotropic nature) ดังนั้นหลังจากทำแห้ง ฟิล์มด้านที่ติดกับแผ่นพลาสติกที่ใช้เป็นแม่แบบสำหรับการขึ้นรูปฟิล์มจะเป็นมันเงาแสดงว่า มีส่วนของโปรตีนมาก ขณะที่ด้านที่สัมผัสกับอากาศมีลักษณะทึบแสดงว่า มีส่วนของไขมันมาก สันนิษฐานได้ว่า เกิดการแยกชั้นเนื่องจากโปรตีนมีความสามารถในการเป็นสารอิมัลซิไฟเออร์จำกัด (Kinsella และ Whitehead, 1989) แต่การแยกชั้นที่เกิดขึ้นจะ

ไม่เป็นฟิล์มสองชั้นอย่างชัดเจน เนื่องจากยังมีอนุภาคของไขมันบางส่วนแทรกตัวอยู่ในโครงสร้างตามมิติของโปรตีน ซึ่งโครงสร้างทั้งหมดที่กล่าวมาอาจต้องดูได้ด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอน

อันตรกิริยาระหว่างพอลิแซ็กคาไรด์กับไขมัน

Anderson, Needs และ Madden (1994) ระบุว่า พอลิแซ็กคาไรด์ส่วนใหญ่ไม่มีสมบัติความไวผิว และไม่เกิดการดูดซับที่หน้าสัมผัสของไขมัน แต่มีพอลิแซ็กคาไรด์บางชนิดที่มีสมบัติความไวผิว เช่น เมทิลเซลลูโลส ไฮดรอกซีโพรพิลเมทิลเซลลูโลส และโพรพิลีนไกลคอล ซึ่งมีประสิทธิภาพเท่ากับโปรตีน หรือสารลดแรงตึงผิว (surfactant) ที่มีโมเลกุลขนาดเล็ก ในการลดแรงตึงผิวของอิมัลชันชนิดน้ำมันในน้ำ นอกจากนี้เมทิลเซลลูโลสและเอทิลไฮดรอกซีเอทิลเซลลูโลส (ethylhydroxyethyl cellulose) จะช่วยลดอัตราการรวมตัวของอนุภาคไขมันในอิมัลชันชนิดน้ำมันในน้ำที่มีการเติมสารอิมัลซิไฟเออร์ได้ โดยอนุภาคไขมันจะเกิดการดูดซับสารเหล่านี้บนผิวของอนุภาคทำให้เกิดอิมัลชันที่คงตัว Nisperos-Carricido (1994) ระบุว่า พอลิแซ็กคาไรด์ที่ใช้ในการผลิตฟิล์มอิมัลชันควรมีสมบัติเป็นสารอิมัลซิไฟเออร์เพื่อให้เกิดการรวมตัวกับไขมันได้ ตัวอย่างของพอลิแซ็กคาไรด์ที่มีสมบัติเป็นสารอิมัลซิไฟเออร์ ได้แก่ ไฮดรอกซีโพรพิลเมทิลเซลลูโลส คาร์บอกซีเมทิลเซลลูโลส เพคติน คาร์ราจีแนน และกัม

McHugh (1996) รายงานว่า พอลิแซ็กคาไรด์จะไม่เกิดอิมัลชันที่แท้จริงกับไขมัน เมื่อเตรียมเป็นฟิล์มเคลือบจะได้ฟิล์มที่มีลักษณะใกล้เคียงกับฟิล์มสองชั้น ซึ่งสมบัติในการป้องกันการซึมผ่านของไอน้ำขึ้นกับขนาดอนุภาคของไขมัน ถ้ามีขนาดเล็กจะกั้นการซึมผ่านของไอน้ำได้ดีเนื่องจากเป็นการเพิ่มพื้นที่หน้าสัมผัสของอนุภาคไขมันกับน้ำ

วิธีการใช้ฟิล์มเคลือบบริโภคได้กับผลิตภัณฑ์อาหาร

Baldwin (1994) ระบุว่า การเคลือบฟิล์มบริโภคได้บนผิวของผลิตภัณฑ์อาหาร โดยทั่วไปจะเคลือบเป็นชั้นบาง และไม่สามารถสังเกตเห็นได้ง่ายด้วยตาเปล่า วิธีการเคลือบฟิล์มทำได้หลายวิธีขึ้นกับชนิดของผลิตภัณฑ์อาหาร และวัตถุประสงค์ที่จะนำไปใช้ Grant และ Burns (1994) รายงานวิธีการใช้ฟิล์มบริโภคได้กับผลิตภัณฑ์อาหาร ได้แก่ การชุบเคลือบ การทำให้เกิดฟอง การพ่นฝอย และการขึ้นรูปแผ่นฟิล์ม

การชุบเคลือบ

การชุบเคลือบเป็นการเคลือบฟิล์มบนผิวของผลิตภัณฑ์อาหาร โดยชุบหรือจุ่มในสารเคลือบส่วนใหญ่ใช้วิธีนี้กับผลิตภัณฑ์ที่มีพื้นผิวไม่สม่ำเสมอ หลังจากการชุบ หรือจุ่มต้องกำจัดสารเคลือบส่วนเกินออก จากนั้นทำให้แห้ง หรือทำให้เกิดการแข็งตัวในกรณีที่สารเคลือบนั้นเป็นไขมัน ผลิตภัณฑ์อาหารที่นิยมเคลือบด้วยวิธีนี้ได้แก่ ผักผลไม้และผลิตภัณฑ์เนื้อสัตว์

นักวิทยาศาสตร์ทางอาหารหลายท่าน (VanDoren, 1944; Newhall และ Grierson, 1956; Long, 1964) รายงานว่า การชุบเคลือบผักผลไม้ในดอง เหมาะสำหรับผลิตภัณฑ์ที่มีปริมาณน้อย ขึ้นคอนการ

ซบ เริ่มจากถังผลิตผลที่ต้องการซบ และทำให้ผิวบริเวณที่ต้องการซบแห้ง จากนั้นจุ่มลงในถังที่บรรจุสารเคลือบซึ่งอาจเป็นเรซิน หรืออิมัลชัน การซบต้องทำให้เปียกอย่างทั่วถึงโดยไม่ต้องคำนึงถึงเวลาในการซบเพื่อให้เกิดการห่อหุ้มที่ดี วิธีนี้จะได้ชั้นฟิล์มเคลือบที่หนา หลังซบถังผลิตผลด้วยสายพานไปเครื่องเป่าแห้งด้วยลมร้อน หรือทำให้แห้งที่อุณหภูมิปกติ การซบในถังขนาดใหญ่ติดต่อกันหลายครั้งจะทำให้เกิดการสะสมของจุลินทรีย์ ดิน และเศษสิ่งสกปรกที่อาจติดมากับผลิตผล จึงต้องมีการติดตั้งอุปกรณ์ที่ช่วยกรองเศษสิ่งสกปรกออกจากสารเคลือบ นอกจากนี้ก่อนการซบเคลือบต้องทำให้ผิวของผลิตผลแห้งสนิทเพื่อป้องกันการเจือจางของสารเคลือบ

การทำให้เกิดฟอง

Hartman และ Isenberg (1956) กับ Long และ Leggo (1959) รายงานวิธีการใช้อิมัลชันเป็นสารเคลือบผิวในรูปฟองซึ่งเตรียมโดยเคมีการที่ทำให้เกิดฟอง หรือโดยการอัดอากาศที่ความดันต่ำกว่า 3.5 กิโลปาสคาล เข้าไปในถังที่บรรจุอิมัลชัน จากนั้นหยดโฟมที่ได้ลงบนผลิตผลที่เคลื่อนที่ที่อุ้งบนลูกกลิ้งหมุน กระจายสารเคลือบให้ทั่วผิวผลิตผลโดยใช้แปรง หรือเครื่องพัดโบกที่ทำด้วยผ้า (cloth flaps) กำจัดสารเคลือบส่วนเกินออกโดยใช้ลูกกลิ้งยางที่ติดตั้งอยู่ใต้ลูกกลิ้งหมุน และวนสารเคลือบกลับมาใช้ใหม่ได้ ผิวของผลิตผลที่เคลือบจะมีลักษณะไม่เรียบ และไม่สม่ำเสมอ เนื่องจากผลิตผลต้องมีการกลิ้งไปมาเพื่อให้โฟมแตกออก และช่วยการกระจายตัวของสารเคลือบ

การพ่นฝอย

การพ่นฝอย เป็นการพ่นสารเคลือบในลักษณะละอองขนาดเล็กลงบนผิวของผลิตภัณฑ์อาหารชั้นเคลือบที่ได้มีลักษณะบาง และมีความสม่ำเสมอมากกว่าการซบเคลือบ แต่การพ่นฝอยจะเคลือบผลิตภัณฑ์ได้เพียงด้านเดียวจึงใช้ในงานที่ต้องการการเคลือบเพียงด้านเดียว เช่น การเคลือบฟิล์มเคลือบบนผิวหน้าของแป้งพืชม้วน เพื่อป้องกันไม่ให้ความชื้นจากรั้วของส่วนที่เป็นหน้าพืชม้วนเข้าไปในส่วนของแป้ง Grant และ Burns (1994) อธิบายว่า การพ่นฝอยเป็นวิธีแบบดั้งเดิมในการเคลือบผักและผลไม้ ในอดีตจะใช้การพ่นฝอยที่ความดันต่ำซึ่งให้สารเคลือบออกมาจำนวนมากจึงมีสารเคลือบส่วนเกินเหลือหลังจากการเคลือบผลิตผล โดยทั่วไปจะมีการกำจัดสารเคลือบส่วนเกินออกและวนนำกลับมาใช้ใหม่ ดังนั้นจะเกิดปัญหาเช่นเดียวกับการซบเคลือบ คือ เกิดการปนเปื้อนของจุลินทรีย์ สิ่งสกปรก และการเจือจางของสารเคลือบ ต่อมามีการพัฒนากระบวนการเป็นการพ่นฝอยที่ความดันสูงระหว่าง 414-553 กิโลปาสคาล วิธีนี้จะใช้สารเคลือบในปริมาณน้อยลงแต่เคลือบได้อย่างทั่วถึง โดยไม่ต้องวนสารเคลือบส่วนเกินที่เหลือกลับมาใช้ใหม่ อย่างไรก็ตามการใช้งานต้องคำนึงถึงขนาดของหัวฉีด (nozzle) โดยถ้าใช้หัวฉีดที่มีขนาดเล็กจะเกิดการอุดตันบ่อย และถ้าใช้หัวฉีดขนาดใหญ่จะมีสารเคลือบออกมามากเกินไป อาจแก้ไขได้โดยใช้ระบบลมในการพ่นฝอย (air-atomizing systems) โดยการบีบอากาศที่ความดันต่ำกว่า 35 กิโลปาสคาลไปที่หัวฉีด และบีบสารเคลือบที่ความดันต่ำกว่า 276 กิโลปาสคาล ซึ่งระบบนี้ช่วยให้การพ่นฝอยมีประสิทธิภาพมากขึ้น โดยไม่ต้องคำนึงถึงขนาดหัวฉีด แต่วิธีดังกล่าวนี้จะสิ้นเปลืองค่าใช้จ่ายสูง

Hernandez (1994) อธิบายว่า ปัญหาที่พบบ่อยในการเคลือบผลไม้ คือ การเกิดฝุ่น (dusting) หรือการเกิดผงแป้ง (powdering) เกิดจากไข่ที่ใช้เทียบความชื้นมากจนเกิดการแข็งตัว หลังการพ่นออกจากหัวฉีดก่อนที่จะตกลงบนผิวของผลิตผลมีสาเหตุจากการเลือกใช้ชนิดของสารเคลือบไม่

เหมาะสม ส่วนการเกิดผงแป้งมีสาเหตุจากเกิดการแยกออกจากกันของสารเคลือบบนพื้นผิวของผลิตภัณฑ์ เนื่องจากใช้วิธีต่าง และตำแหน่งผลิตภัณฑ์ไม่เหมาะสม เมื่อเคลือบไขลงบนพื้นผิวที่สกปรกจะเคลือบไม่ติด หรือติดอย่างไม่สม่ำเสมอ ทำให้ผลิตภัณฑ์มีโอกาสที่จะเกิดการเสียน้ำ

การขึ้นรูปแผ่นฟิล์ม

การขึ้นรูปฟิล์มเป็นแผ่นใช้วิธีเกี่ยวกับการขึ้นรูปฟิล์มพลาสติก ด้วยเครื่องจักรอัดโนมิด โดยส่วนใหญ่ทำบนวัสดุที่มีผิวเรียบและสม่ำเสมอ โดยเทสารเคลือบแล้วแผ่ให้กระจายทั่วพื้นที่ ปรับความหนาของฟิล์ม จากนั้นทำให้แห้งจะได้แผ่นฟิล์มบริโกลได้ซึ่งใช้ห่อหุ้มอาหาร Donhowe และ Fennema (1994) เสนอวิธีการขึ้นรูปฟิล์มเคลือบบริโกลไว้ 3 วิธี ได้แก่ โคนแอคเซอร์เวชัน (coacervation) การแยกตัวทำละลายออก และการทำให้แข็งตัว

โคนแอคเซอร์เวชัน เป็นการแยกทอติเมอร์ที่ใช้ทำฟิล์มออกจากสารละลาย โดยการให้ความร้อน การปรับความเป็นกรดต่าง การเติมตัวทำละลาย หรือการเปลี่ยนประจุบนทอติเมอร์ (Bankan, 1973; Deasy, 1984) แบ่งออกได้เป็น 2 วิธี คือ โคนแอคเซอร์เวชันแบบธรรมดาจะเป็นการแยกทอติเมอร์เดี่ยว และโคนแอคเซอร์เวชันแบบเชิงซ้อนเป็นการแยกแมโคร โคนแอคเซอร์เวชันแบบธรรมดาจะแยกทอติเมอร์เดี่ยว 2 ชนิดที่มีประจุตรงข้ามกัน ทำให้เกิดการไม่ละลายร่วมกันโดยการปรับประจุสุทธิให้เป็นกลาง (Glicksman, 1982) หรืออาจแบ่งชนิดของโคนแอคเซอร์เวชันตามชนิดของการแยกตัวคือ ส่วนที่ละลายในน้ำ และส่วนที่ไม่ละลายในน้ำ โดยทอติเมอร์ที่ชอบน้ำจะแยกออกในส่วนที่ละลายในน้ำ ส่วนทอติเมอร์ที่ไม่ชอบน้ำจะแยกออกในส่วนที่ไม่ละลายน้ำ (Dzieczak, 1988)

การแยกตัวทำละลายออก ในกรณีที่สารเคลือบอยู่ในรูปสารแขวนลอยในตัวทำละลายต้องแยกตัวทำละลายออก โดยใช้วิธีการระเหยแห้ง อัตราเร็วและอุณหภูมิที่ใช้ในการระเหยแห้งขึ้นกับสมบัติทางกลของทอติเมอร์ที่เป็นส่วนประกอบ และการจัดเรียงตัวของทอติเมอร์เป็นโครงสร้างของฟิล์ม มีการรายงานว่า การทำแห้งที่อุณหภูมิประมาณ 25 องศาเซลเซียสจะได้ฟิล์มที่มีสมบัติในการป้องกันการซึมผ่านของแก๊ส และไอน้ำดีกว่าการทำแห้งที่อุณหภูมิสูง ทั้งนี้เนื่องจากการเรียงตัวของทอติเมอร์เพื่อให้เกิดโครงสร้างฟิล์มอย่างเป็นระเบียบมากกว่า (Reading และ Spring, 1984; Greener, 1992)

การทำให้แข็งตัว อาศัยหลักการให้ความเย็นแก่ฟิล์มจากไขมัน อัตราการหล่อเย็นที่ใช้มีความสำคัญต่อสมบัติการป้องกันการซึมผ่านของไอน้ำ และแก๊สของฟิล์ม เนื่องจากมีผลต่อการจัดเรียงตัวของอัญรูปไขมัน (polymorphic state) ถ้าอัตราการหล่อเย็นต่ำจะทำให้เกิดการเรียงตัวของผลึกไขมันอย่างเป็นระเบียบ และสม่ำเสมอ ส่งผลให้มีสมบัติในการป้องกันการซึมผ่านดี หลังจากการทำให้แข็งตัวครบ (tempering) ฟิล์มที่ได้ เพื่อเพิ่มสมบัติการป้องกันการซึมผ่านของฟิล์มให้ดีขึ้น (Landmann และ คณะ, 1960; Kester และ Fennema, 1989)

สมบัติทางกายภาพของฟิล์มบริโกลได้

Gennadios และคณะ (1994) กล่าวว่า สมบัติทางกายภาพที่สำคัญของฟิล์มบริโกลได้ ได้แก่ ความทนแรงดึง และความยืดตัว (elongation) โดยความทนแรงดึงเป็นค่าความเค้นสูงสุดของตัวอย่างฟิล์มที่เกิดขึ้นขณะทดสอบด้วยการดึงให้ขาดออกจากกัน ส่วนความยืดตัวแสดงถึงความสามารถของตัวอย่างในการยืดตัวออกเมื่อได้รับแรงดึง โดยสารพลาสติกไซเซอร์ที่เดิมเป็นส่วนประกอบในฟิล์มจะมีผลทำให้ความทนแรงดึงต่ำลง ขณะที่ความยืดตัวสูงขึ้น

Guilbert (1986) ได้ให้นิยามของสมบัติทางกายภาพของฟิล์มด้านความหนา ความทนแรงดึง และความยืดตัว ไว้ดังนี้

ความหนา คือ ระยะตั้งฉากระหว่างผิวหน้าทั้งสองของวัสดุ มีหน่วยเป็น มิลลิเมตรหรือมิล (mil) โดยความหนา 0.025 มิลลิเมตรมีค่าเท่ากับ 1 มิล ซึ่งความหนามักมีความสัมพันธ์กับความทนแรงดึงและความยืดตัว ถ้าวัสดุมีความหนาเพิ่มขึ้นมักมีความทนแรงดึง และความยืดตัวเพิ่มขึ้น

ความทนแรงดึง คือ ค่าความเครียดที่ใช้ในการดึงวัสดุที่ปลายข้างใดข้างหนึ่งจนเกิดการขาดออกจากกันภายใต้ภาวะที่กำหนด มีหน่วยเป็น เมกะปาสกาล (MPa) ความทนแรงดึงแสดงถึงความแข็งแรงของพอลิเมอร์ เนื่องจากการดึงให้ขาดจากกัน เป็นการทำลายอันตรกิริยาระหว่างพอลิเมอร์กับพอลิเมอร์ที่มีอยู่ในวัสดุนั้น อาจเป็นอันตรกิริยาระหว่างโปรตีนกับโปรตีน โปรตีนกับพอลิแซ็กคาไรด์ หรือพอลิแซ็กคาไรด์กับพอลิแซ็กคาไรด์

ความยืดตัว คือ ร้อยละของระยะทางที่วัสดุยืดออกด้วยแรงดึงจนเกิดการขาดออกจากกันต่อความยาวเดิมอาจแสดงถึง ระยะห่างระหว่างบริเวณรอยต่อภายในโครงสร้างของพอลิเมอร์ซึ่งบริเวณรอยต่อเป็นจุดที่สายโซ่พอลิเมอร์มีการพันกันอย่างเป็นระเบียบและหนาแน่น ถ้าระยะห่างระหว่างบริเวณรอยต่อสั้น ความยืดตัวจะมีค่าน้อย และถ้าระยะห่างมากความยืดตัวจะมีค่ามาก

สมบัติของพอลิเมอร์ชีวภาพที่ใช้ผลิตฟิล์มเคลือบบริโกลได้ในงานวิจัยนี้

พอลิเมอร์ชีวภาพที่ใช้ในงานวิจัยนี้ได้แก่ เคซีน โซเดียมคาร์บอกซีเมทิลเซลลูโลส และ แอซีติเลทเต็ดมอโนกลีเซอไรด์

เคซีน

เคซีนเป็นโปรตีนหลักในน้ำนมมีประมาณ 80 % ของโปรตีนนมทั้งหมด (Dalgleish, 1989) หรือมีประมาณ 2.5-3.2 % ในน้ำนม (Brunner, 1977) โปรตีนส่วนใหญ่ของเคซีนเป็นฟอสโฟโปรตีน (phosphoprotein) ซึ่งตกตะกอนที่ความเป็นกรดต่าง 4.6 อุณหภูมิ 20 องศาเซลเซียส โมเลกุลของเคซีนมีลักษณะเปิดและเป็นขดแบบสุ่ม (random coil) มีการเชื่อมข้ามด้วยพันธะไดซัลไฟด์ Dalgleish (1989) แบ่งส่วนประกอบหลักของ เคซีนเป็น 4 ชนิด คือ แอลฟาแคซีน 1-เคซีน (α_1 -casein) แอลฟาแคซีน 2-เคซีน (α_2 -casein) เบต้า-เคซีน (β -casein) แคลฟา-เคซีน (κ -casein) และมีแกรมมา-เคซีน (γ -casein) ในปริมาณเล็กน้อย

โครงสร้างของแอลฟา-เคซีนอยู่ในรูปของ แอลฟา-เฮลิคัล (α -helical) และ เบต้า-ชีต (β -sheet) แอลฟาเอต 1-เคซีน และแอลฟาเอต 2-เคซีน มีน้ำหนักโมเลกุล 23,500 และมีจุดไอโซอิเล็กทริกที่ความเป็นกรดค่า 5.1 มีส่วนที่ชอบน้ำมากกว่าเบต้า-เคซีน จึงละลายน้ำได้ดีกว่า และไวต่อการทำปฏิกิริยากับ แคลเซียมมากกว่าเบต้า-เคซีน (Brunner, 1977; Dalgleish, 1989) จากสมบัติที่กล่าวมา Gennadios และคณะ (1994) ให้สมมุติฐานว่า ฟิสิกส์เคลือบจากแอลฟา-เคซีน ควรจะมีสมบัติโค้งงอได้ เนื่องจากโครงสร้างของแอลฟา-เคซีนเป็นขดแบบสุ่มโดยการเชื่อมต่อของพันธะไฮโดรเจนภายในโมเลกุล ฟิสิกส์ที่ได้ควรมีสมบัติป้องกันการซึมผ่านของแก๊สได้ดี แต่กันการซึมผ่านของไอน้ำได้น้อย เนื่องจากมีความชอบน้ำสูง

เบต้า-เคซีนมีประมาณ 30-35 % ของปริมาณเคซีนทั้งหมด มีน้ำหนักโมเลกุล 2,400 และมีจุดไอโซอิเล็กทริกที่ความเป็นกรดค่า 5.3 (Brunner, 1977) โครงสร้างของเบต้า-เคซีนที่ส่วนปลายทางด้านไนโตรเจน (N-terminal) แสดงสมบัติเป็นแอมฟิฟิลิก (amphiphilic) โดยมีทั้งส่วนชอบน้ำและส่วนไม่ชอบน้ำในสัดส่วนไม่เท่ากัน โดยมีส่วนไม่ชอบน้ำมากกว่า ดังนั้นเบต้า-เคซีนจึงแสดงสมบัติเป็นสารลดแรงตึงผิว เบต้า-เคซีนจะเชื่อมต่อกันเป็นพอลิเมอร์ได้ในภาวะที่เป็นกลางและมีอุณหภูมิสูง (Dalgleish, 1989) Gennadios และคณะ (1994) ให้ความเห็นว่า แผ่นฟิล์มจากเบต้า-เคซีน ควรจะมีสมบัติป้องกันการซึมผ่านของไอน้ำได้ดี

แคปไซนมีประมาณ 15 % ของปริมาณเคซีนทั้งหมด มีน้ำหนักโมเลกุล 19,000 มีจุดไอโซอิเล็กทริกที่ความเป็นกรดค่า 3.7-4.2 ไม่ไวในการทำปฏิกิริยากับแคลเซียม ถ้าอยู่ในภาวะที่มีแคลเซียมจะเกิดการรวมตัวของแคปไซน เบต้า-เคซีน และแอลฟา-เคซีน ได้ไมเซลล์ (micelles) ที่ทนความร้อน (Brunner, 1977) แคปไซนเกิดพอลิเมอร์ได้โดยการเชื่อมต่อของพันธะไดซัลไฟด์ และมีสมบัติเป็นแอมฟิฟิลิก เนื่องจากส่วนปลายด้านไนโตรเจนประกอบด้วยส่วนที่ไม่มีประจุ ขณะที่ส่วนปลายคาร์บอน (C-terminal) เป็นส่วนที่มีประจุ ทำให้มีสมบัติเป็นสารลดแรงตึงผิว ความไม่ชอบน้ำของแคปไซนน้อยกว่าเบต้า-เคซีน แต่มากกว่าแอลฟา-เคซีน (Dalgleish, 1989) เมื่อใช้เอนไซม์ เรนิน (rennin) ย่อยเคซีนที่ตำแหน่งฟิสิกส์อะลาไน 105-เมไทโอนีน 106 จะได้ส่วนปลายคาร์บอนของไกลโคเปปไทด์ (glycopeptide) ที่ละลายน้ำและส่วนปลายไนโตรเจนของพารา-แคปไซน (para-K-casein) ที่ไม่ละลายน้ำ การเกิดพารา-แคปไซนทำให้เกิดตะกอนไมเซลล์ของเคซีน Gennadios และคณะ (1994) แนะนำว่า ถ้าอาศัยปฏิกิริยานี้ในการขึ้นรูปฟิล์มจะได้ฟิล์มเคลือบที่มีสมบัติป้องกันการซึมผ่านของไอน้ำดีปานกลาง

เคซีนในน้ำนมอยู่ในรูปคอลลอยด์ ประมาณ 80-90 % โดยไมเซลล์มีขนาดประมาณ 10-250 นาโนเมตร (Brunner, 1977) แคปไซนที่อยู่บนผิวของไมเซลล์จะแสดงประจุลบซึ่งมีผลต่อความเสถียรของเคซีน เมื่อเติมแคลเซียมฟอสเฟต หรือแคลเซียมซิเตรทลงในเบต้า- หรือแอลฟา-เคซีนจะเกิดไมเซลล์ โดยแคลเซียมออกไซด์เป็นตัวลดแรงผลักรันของประจุของหมู่ฟอสเฟตของเคซีน (Kinsella, 1984) แคลเซียมฟอสเฟตจะทำหน้าที่เป็นโครงสร้าง และช่วยเพิ่มความคงตัวของ ไมเซลล์ (Dalgleish, 1989)

การแยกเคซีนออกจากพวมนม (whey) ทำได้โดยการทำให้ตกตะกอนที่จุดไอโซอิเล็กทริก โดยปรับความเป็นกรดค่าที่ 4.6 อุณหภูมิ 20-30 องศาเซลเซียส ตกตะกอนเคซีนที่เกิดขึ้นโดยการหมุนเหวี่ยงเพื่อแยกส่วนที่เป็นของเหลวออก (McKenzic, 1971)

ในทางการค้านิยมใช้เคซีนมากกว่าเคซิน เนื่องจากเคซีนละลายน้ำยาก และมีราคาแพง การผลิตเคซีนทางการค้าทำโดยการปรับความเป็นกรดต่ำของหางนมที่ 6.7 ด้วยสารละลายด่างเพื่อตกตะกอนเคซีน เคซีนจะจับตัวเป็นก้อน (curd) จากนั้นพาสเจอร์ไรซ์และทำให้แห้งโดยการปั่นฝอยจะได้เคซีนที่ละลายน้ำได้ ที่ความเป็นกรดต่ำสูงกว่า 5.5 สารละลายด่างที่ใช้ ได้แก่ แคลเซียม หรือโซเดียมไฮดรอกไซด์ ถ้าใช้แคลเซียมไฮดรอกไซด์จะได้แคลเซียมเคซีน และถ้าใช้โซเดียมไฮดรอกไซด์จะได้โซเดียมเคซีน ซึ่งสารละลายโซเดียมเคซีนจะทนความร้อนและละลายน้ำได้ดีกว่าแคลเซียมเคซีน (Kinsella, 1984) นิยมใช้เคซีน หรือเคซีนในผลิตภัณฑ์อาหารกันอย่างแพร่หลาย เนื่องจากมีคุณค่าทางโภชนาการสูง ละลายน้ำได้ และเป็นสารอิมัลซิไฟเออร์ (Gennadios และคณะ, 1994)

การผลิตฟิล์มจากเคซีนส่วนใหญ่เตรียมในรูปของสารละลายในน้ำ เนื่องจากโครงสร้างของเคซีนเป็นขดแบบคู่ที่เชื่อมต่อกันด้วยไฮโดรเจนกับ โมเลกุลของน้ำได้ ฟิล์มจากเคซีนมีลักษณะโปร่งแสง ไม่มีกลิ่นรส และโค้งงอได้ (Gennadios และคณะ, 1994)

โซเดียมคาร์บอกซีเมทิลเซลลูโลส

Fedderson และ Thorp (1993) รายงานว่า โซเดียมคาร์บอกซีเมทิลเซลลูโลส หรือเซลลูโลสแกม เป็นเซลลูโลสอีเทอร์ที่มีประจุลบ(anion cellulose ether) ผลิต โดยการทำให้เซลลูโลสมีฤทธิ์เป็นด่าง (alkali cellulose) จากการแช่เซลลูโลสในสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ จากนั้นทำปฏิกิริยากับโซเดียมอะซิเตต (sodium monochloro acetate) ภายในโมเลกุลของเซลลูโลสประกอบด้วย ดี-กลูโคไพราโนซิล (D-glucopyranosyl) ซึ่งแต่ละหน่วยมีหมู่ไฮดรอกซิล (-OH) ที่เกิดการแทนที่ 3 หมู่ ดังนั้นในปฏิกิริยาจะเกิดหมู่โซเดียมคาร์บอกซีเมทิลได้ 3 หมู่ ซึ่งการแทนที่นี้จะแสดงด้วยค่าระดับการแทนที่ (Degree of substitution, DS) ถ้าเกิดการแทนที่ทั้ง 3 หมู่ จะมีค่า DS 3 สารที่มีค่า DS สูง จะละลายน้ำ และทนกรด โดยทั่วไป CMC ที่มีค่า DS 0.3 หรือต่ำกว่าจะไม่ละลายในน้ำ แต่จะละลายในด่าง CMC ที่ละลายน้ำได้มีค่า DS 0.4 หรือมากกว่า และที่นิยมใช้ในผลิตภัณฑ์อาหารมีค่า DS 0.7 (Keller, 1984) CMC ละลายในน้ำเย็น แต่จะละลายเร็วขึ้นในน้ำร้อน ไม่ละลายในตัวทำละลายอินทรีย์ แต่จะละลายในสารละลายผสม เช่น น้ำกับเอทานอล หรือน้ำกับเอซิโตน ในการละลาย CMC ควรทำให้เกิดการกระจายตัวอย่างรวดเร็วเพื่อป้องกันการจับตัวเป็นก้อน โดยอาจใช้เครื่องผสมที่มีระบบปั่น (vortex) หรือเครื่องผสมที่มีน้ำไหลวนด้วยความเร็วสูง (water-jet eductor) ควรเติม CMC อย่างช้าๆ อาจใช้ตะแกรงช่วยแยกอนุภาคของ CMC เพื่อลดการจับตัวเป็นก้อน หรือโดยการผสม CMC กับของเหลวที่ไม่ทำให้เกิดการพองตัว ได้แก่ เอทานอล โกลลอล กลีเซอรอล น้ำมัน หรือน้ำเชื่อมข้าวโพดที่มีความเข้มข้นสูง ก่อนที่จะละลายในน้ำ และการละลายในน้ำไม่ควรใช้การผสมที่มีแรงเฉือนสูง เพราะจะทำให้สายโซ่โมเลกุลของ CMC เกิดการแตกหัก ส่งผลให้ความหนืดสุดท้ายของสารละลายลดลง

ปัจจุบันนิยมใช้ CMC เป็นสารให้ความหนืด สารเพิ่มความคงตัว สารแขวนลอย สารช่วยให้เกิดเจล และสารช่วยปรับปรุงสมบัติการไหลของสารละลาย เนื่องจากเมื่อละลาย CMC ในน้ำแม้ที่ความเข้มข้นต่ำมากๆ ก็จะทำให้ความหนืดของสารละลายเพิ่มขึ้นอย่างชัดเจน (Sanderson, 1981) Fedderson และ Thorp (1993) รายงานว่า สารละลาย CMC มีพฤติกรรมการไหลแบบซูโดพลาสติก

(pseudoplasticity) เป็นรูปแบบหนึ่งของของไหลชนิดนอน-นิวโตเนียน (non-Newtonian) เมื่อพิจารณาความหนืดปรากฏของสารละลายเมื่อมีแรงมากระทำ จะเกิดการเปลี่ยนแปลงตามเวลา สารละลายที่มีสมบัติเป็นซูโดพลาสติกนั้นเมื่อเพิ่มอัตราแรงเฉือนจะทำให้ความหนืดปรากฏลดลงเนื่องจากโครงสร้างโมเลกุลของ CMC เป็นสายโซ่ยาว เมื่อมีแรงเฉือนมากระทำโมเลกุลจะเกิดการจัดเรียงตัวใหม่ตามแนวเดียวกับแรงที่มากระทำ เป็นผลให้ความหนืดปรากฏลดลง เมื่อเขียนกราฟความสัมพันธ์ระหว่างความหนืดปรากฏ และอัตราแรงเฉือน จะได้กราฟที่เป็นเส้นโค้งลงซึ่งแสดงสมบัติของซูโดพลาสติก ส่วนเส้นตรงที่ขนานแกน X จะแสดงสมบัติของนิวโตเนียน ซึ่งอธิบายได้ว่า ของไหลชนิดนิวโตเนียนมีค่าความหนืดปรากฏไม่เปลี่ยนแปลงตามเวลา หรืออัตราแรงเฉือนที่ให้

สารละลาย CMC เกิดเจลได้ โดยการเติมอะลูมิเนียมซัลเฟต อะลูมิเนียมอะซิเตท หรือเฟอริกฟอสเฟต ซึ่งสารเหล่านี้จะเกิดการเชื่อมข้ามระหว่างโมเลกุลของ CMC อย่างเป็นระเบียบ เกิดเป็นโครงสร้างสามมิติหรือเจล ความแข็ง (stiffness) ของเจลขึ้นกับจำนวนการเกิดพันธะเชื่อมข้าม ความเข้มข้นของ CMC สัดส่วนของประจุบวกของโลหะกับประจุลบของคาร์บอกซิเลต ความยาวสายโซ่ของ CMC และความเป็นกรดต่าง

สารละลาย CMC มีความเสถียรที่ความเป็นกรดต่าง 7-9 ที่ความเป็นกรดต่างมากกว่า 10 ความหนืดของสารละลายจะลดลงเล็กน้อย และที่ความเป็นกรดต่างต่ำกว่า 4 การละลายของ CMC จะลดลง เนื่องจากเกิดกรดคาร์บอกซิเมทิลเซลลูโลสอิสระ ดังนั้นถ้าต้องการเตรียมสารละลาย CMC ในภาวะที่เป็นกรด ควรละลาย CMC ในน้ำที่มีสภาพเป็นกลางก่อน แล้วจึงเติมกรดเพราะถ้าละลาย CMC ในสารละลายกรดร่วมกับการให้ความร้อน กรดจะย่อย CMC ให้มีโมเลกุลเล็กกลงทำให้ความหนืดลดลง (Feddersen และ Thorp, 1993)

การใช้ CMC ร่วมกับส่วนผสมอื่น เช่น โปรตีน น้ำตาล เกลือ สคาร์ชและไฮโดรคอลลอยด์ชนิดอื่น CMC จะมีผลในการช่วยการละลายของโปรตีน ช่วยให้สารละลายคงตัวที่จุดไอโซอิเล็กทริก และทำให้ความหนืดเพิ่มขึ้น (Keller, 1984) ถ้าต้องการใช้ CMC ร่วมกับน้ำตาล ควรละลาย CMC ก่อนเติมน้ำตาลจะทำให้ความหนืดเพิ่มมากขึ้น เนื่องจากการเกิดพันธะไฮโดรเจนระหว่างโมเลกุลของน้ำตาลกับ CMC แต่ถ้านำ CMC ลงในสารละลายน้ำตาลโดยตรง น้ำตาลจะขัดขวางการพันกันของสายโซ่โมเลกุลของ CMC ดังนั้นความหนืดของสารละลายจึงไม่เพิ่มขึ้น นอกจากนี้ CMC จะช่วยยับยั้งการตกผลึกของน้ำตาลได้ (Feddersen และ Thorp, 1993) การเก็บรักษา CMC ผง ควรทำโดยบรรจุในภาชนะปิดสนิทที่สะอาด เก็บในที่แห้ง เมื่อเตรียมสารละลาย CMC ละปริมาณเชื้อจุลินทรีย์ โดยการให้ความร้อนที่อุณหภูมิ 80 องศาเซลเซียส นาน 30 นาที หรือ 100 องศาเซลเซียส นาน 1 นาที จะเก็บรักษาได้โดยความหนืดไม่เปลี่ยนแปลง แต่ถ้ามีการปนเปื้อนของจุลินทรีย์ในสารละลาย CMC เพียงเล็กน้อย เอนไซม์เซลลูเลส (cellulase) ที่จุลินทรีย์สร้างขึ้นจะทำให้ความหนืดลดลง การทำลายเอนไซม์เซลลูเลส โดยการปรับความเป็นกรดต่างเป็น 9-10 ร่วมกับการให้ความร้อนที่อุณหภูมิ 50 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 15 นาที (Feddersen และ Thorp, 1993)

ฟิล์มจาก CMC มีความแข็งแรง และกันน้ำมันได้ เป็นสมบัติสำคัญในการพิจารณาใช้งาน สารพลาสติกไซเซอร์ที่ใช้ในการสร้างฟิล์ม ได้แก่ เอทานอลามีน (ethanolamine) กลีเซอรอล ทอลีโกลคอลล หรือโพธิทินโกลคอลล Gennadios และคณะ (1994) ได้รวบรวมตัวอย่างการใช้ CMC เคลือบผลิตภัณฑ์อาหารไว้ดังนี้ คือ ใช้เคลือบชิ้นขึ้นฉ่ายฝรั่งก่อนการบรรจุกระป๋อง ช่วยรักษารูปทรง และความแน่นกรอบของชิ้นฉ่ายฝรั่ง (Mason, 1969) ใช้สารเคลือบ CMC ที่มีการเติมแคลเซียมซอร์เบตเคลือบเนยแข็ง และไส้กรอก เพื่อป้องกันการเจริญของเชื้อรา (Luck, 1968) ใช้ในรูปฟิล์มประกอบร่วมกับเอสเทอร์ของกรดไขมันซูโครทกลีโอบฟักและผลไม้สด เพื่อป้องกันการขจัดน้ำ และยืดอายุการเก็บของผลิตภัณฑ์ด้วยการคัดแปรบรรยากาศ (Lowings และ Cutts, 1982)

แอซิติกเลทเต้คมอ โนกลีเซอไรด์

แอซิติกเลทเต้คมอ โนกลีเซอไรด์ผลิตจากปฏิกิริยาการเติมหมู่แอซิทิล(acetylation) ลงในสารมอโนกลีเซอไรด์ด้วยกรดแอซิติกโดยไม่มีตัวเร่งปฏิกิริยา (Zielinski, 1997) แอซิติกเลทเต้คมอ โนกลีเซอไรด์ มีสมบัติช่วยป้องกันการเกิดกลิ่นหืน เป็นสารให้ความคงตัว สารหล่อลื่น และสารที่ใช้ผลิตฟิล์มบริโภคได้ การใช้งานในผลิตภัณฑ์อาหารส่วนใหญ่ ใช้กับผลิตภัณฑ์ขนมอบ โดยจะช่วยกักเก็บฟองอากาศในการตีครีม และช่วยให้ผลิตภัณฑ์มีความคงตัว ใช้เคลือบผลิตภัณฑ์เนื้อสัตว์ ถั่ว และผลไม้ เพื่อช่วยยืดระยะเวลาปรากฏ และเนื้อสัมผัสดีขึ้น ยืดอายุการเก็บของผลิตภัณฑ์ที่เคลือบ การใช้งานทำโดยการชุบเคลือบ หรือการพ่นฝอยลงบนผลิตภัณฑ์ นอกจากนี้แอซิติกเลทเต้คมอ โนกลีเซอไรด์ยังมีสมบัติเป็นพลาสติกไซเซอร์ช่วยเพิ่มการโค้งงอได้ของฟิล์มบริโภคได้ (Kester และ Fennema, 1986) แอซิติกเลทเต้คมอ โนกลีเซอไรด์ใช้ในผลิตภัณฑ์อาหารได้โดยไม่มีข้อกำหนดปริมาณการใช้ตามข้อกำหนดขององค์การอาหารและยาของสหรัฐอเมริกา (FDA, 1991)

การเก็บรักษาเพื่อป้องกันการเสื่อมคุณภาพผลิตภัณฑ์ปลาแห้ง

ผลิตภัณฑ์ปลาแห้งเป็นผลิตภัณฑ์อาหารขบเคี้ยวที่มีคุณค่าทางโภชนาการสูง ผลิตจากซุริมิ ซึ่งเป็นเนื้อปลาสดแช่แข็ง จากการสำรวจผลิตภัณฑ์ที่วางจำหน่ายในประเทศ พบว่า ประกอบด้วยไขมันเนื้อปลา 75-76% แป้งมันสำปะหลัง 13% และเครื่องปรุงรส 11-12% อายุการเก็บของผลิตภัณฑ์ประมาณ 3-6 เดือน การเสื่อมคุณภาพของผลิตภัณฑ์ที่สังเกตได้คือ เนื้อสัมผัสแห้งและกระด้างมากขึ้นและเกิดกลิ่นอับ ไม่พบรายงานที่เกี่ยวกับการผลิตและการเก็บรักษาผลิตภัณฑ์ปลาแห้ง เนื่องจากส่วนประกอบหลักของผลิตภัณฑ์คือ เนื้อปลา ดังนั้นการเสื่อมคุณภาพของผลิตภัณฑ์อธิบายได้โดยใช้หลักการเคียวกับการเสื่อมคุณภาพของเนื้อปลา Suzuki (1981) รายงานว่า เนื้อปลาประกอบด้วยโปรตีน 15-24% ไขมัน 0.1-22% คาร์โบไฮเดรต 1-3% สารประกอบอนินทรีย์ 0.8-2% และน้ำ 66-84 % ซึ่งไขมันในเนื้อปลาอยู่ในรูปลิโปโปรตีน (lipoprotein) หรือฟอสโฟลิปิดที่มีกรดไขมันชนิดไม่อิ่มตัว เช่น โอ โคลิแซแทนคอะอีโนอิก

(eicosapentaenoic, Ω^3 , 20:5) และ โคโคสะเฮกซะโนอิก (docosahexanoic, Ω^3 , 20:6) ที่มีพันธะคู่มาก ดังนั้นจะเกิดการออกซิเดชันให้สารที่มีกลิ่นหืนได้ง่าย แต่ในเนื้อปลาจะมีสารป้องกันการเกิดกลิ่นหืนคือ โทโคฟีรอล (tocopherol) และรงควัตถุแคโรทีนอยด์ (carotenoid) ซึ่งจะช่วยลดการเกิดออกซิเดชันของกรดไขมันชนิดไม่อิ่มตัวได้ มีนักวิทยาศาสตร์ทางอาหารหลายท่าน (Olcott, 1962; Watt, 1962; Shabidi และ Brooker, 1988) กล่าวถึงการเกิดออกซิเดชันของไขมันว่า เกิดจากการออกซิเดชันของกรดไขมันไม่อิ่มตัวให้แรดิคัล (radical) อิสระซึ่งจะเป็นสารตั้งต้นของปฏิกิริยาลูกโซ่ของการเกิดออกซิเดชัน ทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงกลิ่นรสของอาหาร Olcott (1962) กับ Khayat และ Schwall (1983) รายงานว่าเนื้อปลาจะเกิดการออกซิเดชันของไขมันมากกว่าเนื้อสัตว์ประเภทอื่น เนื่องจากมีกรดไขมันไม่อิ่มตัวและการปนเปื้อนของโลหะสูง

Matsushita (1990) รายงานว่า การเกิดออกซิเดชันของไขมันจะเกิดขึ้นเมื่ออาหารสัมผัสกับอากาศ มีผลทำให้กลิ่นรสและสีของอาหารเกิดการเปลี่ยนแปลง ดังนั้นการเก็บรักษาอาหารไม่ให้สัมผัสกับอากาศจะเป็นการป้องกันการเกิดออกซิเดชันของไขมันได้ โดยการบรรจุในภาชนะที่ปิดสนิทซึ่งมีสมบัติในการป้องกันการซึมผ่านของแก๊สออกซิเจน หรือใช้ร่วมกับแก๊สไนโตรเจน หรือสารที่ดูดซับแก๊สออกซิเจนได้ ซึ่งต้องเลือกใช้ให้เหมาะสมกับผลิตภัณฑ์อาหาร นอกจากนี้ต้องคำนึงถึงปัจจัยที่มีผลต่อการเกิดออกซิเดชันของไขมัน เพื่อใช้ในการพิจารณาเลือกภาวะที่เหมาะสมในการเก็บรักษาผลิตภัณฑ์ได้ ปัจจัยดังกล่าวได้แก่ ปริมาณกรดไขมันไม่อิ่มตัว อุณหภูมิในการเก็บรักษา แสง โลหะที่เจือปนในอาหาร พื้นที่สัมผัสกับอากาศ เอนไซม์ไลโปออกซิจีเนส และปริมาณความชื้นในผลิตภัณฑ์อาหาร ถ้าผลิตภัณฑ์อาหารประกอบด้วยกรดไขมันชนิดไม่อิ่มตัวสูง อัตราการเกิดออกซิเดชันของไขมันจะสูงด้วยเช่นกัน โดยทั่วไปปฏิกิริยาเคมีจะเกิดได้เร็วเมื่อมีอุณหภูมิสูงขึ้น ดังนั้นการเก็บรักษาผลิตภัณฑ์ที่อุณหภูมิต่ำจะช่วยป้องกันการเกิดออกซิเดชันของไขมันได้ อย่างไรก็ตามมีรายงานว่าการเกิดออกซิเดชันของไขมันจะเกิดได้ที่อุณหภูมิต่ำ ควรเก็บรักษาผลิตภัณฑ์ให้ห่างจากแสงมากที่สุด เนื่องจากแสงเป็นปัจจัยสำคัญที่เร่งการเกิดออกซิเดชัน นอกจากนั้นปริมาณโลหะที่เจือปนในอาหารมีผลต่อการเกิดออกซิเดชันของไขมัน โดยมีรายงานว่า โลหะจะเร่งการเกิดปฏิกิริยาของสารไฮโดรเปอร์ออกไซด์กับสารอื่น ในอาหารพวกซีเรียลจะพบเอนไซม์ไลโปออกซิจีเนสซึ่งเร่งการเกิดออกซิเดชันของไขมันได้ และถ้าผลิตภัณฑ์มีการสัมผัสกับอากาศที่ซึมผ่านเข้าไปในภาชนะบรรจุ เมื่อเก็บรักษาเป็นเวลานานขึ้น จะเกิดการเปลี่ยนแปลงเนื่องจากออกซิเดชันของไขมันได้เช่นกัน เช่น การเก็บรักษาน้ำมันในขวดพลาสติกเมื่ออายุการเก็บนานขึ้น น้ำมันจะเกิดการเปลี่ยนแปลงเนื่องจากการเกิดออกซิเดชันของไขมัน ทั้งนี้เนื่องจากว่าพลาสติกยอมให้อากาศซึมผ่านได้บางส่วน ปริมาณความชื้นหรือค่า A_w ของผลิตภัณฑ์อาหารมีผลต่อการเกิดออกซิเดชันของไขมัน โดยถ้าผลิตภัณฑ์มีปริมาณความชื้นสูงการเกิดออกซิเดชันจะลดลง เนื่องจากปริมาณน้ำจะช่วยกันไขมันไม่ให้สัมผัสกับออกซิเจนได้ ส่วนผลิตภัณฑ์อาหารที่มีความชื้นปานกลางหรือมีค่า A_w ในช่วง 0.6-0.85 อัตราการเกิดออกซิเดชันของไขมันจะเพิ่มตามค่า A_w ที่สูงขึ้น