

ตรวจเอกสาร

1. **ฟิล์มบริโภคได้ (Edible Film)**

ปัจจุบันการใช้พลาสติกเป็นบรรจุภัณฑ์ได้เข้ามามีบทบาทและเกี่ยวข้องกับชีวิตประจำวันอย่างมาก ปริมาณพลาสติกที่ใช้แล้วทิ้งมีจำนวนมากขึ้นทุกปี ซึ่งทำให้เกิดการสะสมส่งผลกระทบต่อสภาพแวดล้อม การลดจำนวนพลาสติกที่ใช้บรรจุภัณฑ์หรือห่อหุ้มอาหาร โดยใช้วัสดุที่มีคุณลักษณะคล้ายพลาสติกบรรจุอาหารได้ และมีคุณสมบัติพิเศษคือสามารถละลายน้ำได้ และการรับประทานได้พร้อมกับอาหารนั้นๆ มาใช้แทนพลาสติกเป็นการนำฟิล์มมารับประทานได้มาใช้จะเป็นอีกแนวทางหนึ่งที่จะสามารถลดปริมาณขยะจากพลาสติกได้

ฟิล์มบริโภคได้ (Edible Film) หรือ สารเคลือบบริโภคได้ หมายถึง วัสดุแผ่นบางที่ผู้บริโภคสามารถรับประทานได้ และมีคุณสมบัติที่ดีสำหรับการบริโภค (มณฑาทิพย์ ชุ่นฉลาด, 2534) สามารถนำมาใช้ประโยชน์กับอาหาร โดยวิธีการต่างๆ เช่น การห่อหุ้ม (Enrobing) การจุ่ม (Dipping) การแปรง (Brushing) หรือการพ่นฝอย (Spraying) เพื่อป้องกันการแพร่ผ่านของแก๊ส ไอระเหยจจากการเข้าออกจากอาหารได้ (Kester และ Fennema ,1986) สามารถนำมาใช้เพื่อป้องกันการเสื่อมสภาพของอาหาร ใช้ป้องกันการสูญเสียสารกันเสียและสารกันเหืน และควบคุมอัตราการซึมผ่านของสารกันเสียจากฟิล์มสู่อาหาร หรือยึดอายุการเก็บรักษาอาหาร (มณฑาทิพย์ ชุ่นฉลาด ,2534) การขึ้นรูปฟิล์มสามารถขึ้นรูปในลักษณะของสารเคลือบผิว และแผ่นฟิล์มอิสระ ซึ่งมีลักษณะในการนำมาใช้ในการป้องกันการสูญเสียรสชาติอาหาร ฟิล์มบริโภคได้สามารถแบ่งได้ตามวัสดุที่ใช้ในการทำฟิล์มคือ ไขมัน โปรตีน คาร์โบไฮเดรต และคอมโพสิต คุณสมบัติเด่นของฟิล์มโปรตีนและโพลิแซคคาไรด์ มีความแข็งแรง และการซึมผ่านแก๊สดำ ขณะที่ค่าการซึมผ่านไอน้ำค่อนข้างสูงทั้งนี้ เนื่องจากธรรมชาติของพอลิเมอร์ชนิดนี้ชอบรวมตัวกับน้ำ จึงไม่เหมาะในการนำมาใช้ป้องกันการสูญเสียความชื้นของอาหารจึงมักใช้กับอาหารที่ต้องป้องกันการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชัน ทั้งนี้เนื่องจากคุณสมบัติในการป้องกันการซึมผ่านของแก๊สได้ดี ฟิล์มที่ได้จากไขมันซึมผ่านแก๊สสูง การซึมผ่านไอน้ำต่ำและมีคุณสมบัติทางกลที่ดี ฟิล์มโปรตีนจะมีความแข็งแรงมาก O_2 , CO_2 ซึมผ่านได้น้อย แต่จะซึมผ่านขึ้นได้ง่าย ฟิล์มจากโพลิแซคคาไรด์ โดยธรรมชาติชอบรวมตัวกับน้ำ จึงไม่เหมาะที่นำมาใช้ในการป้องกันความชื้น มักใช้ในการป้องกันปฏิกิริยาออกซิเดชัน ในอาหารที่มีลิปิมากกว่า

1.1 คุณลักษณะของฟิล์มและสารเคลือบที่รับประทานได้ (Gennadios และ Weller ,1990)

คุณลักษณะของฟิล์มบริโกลได้นั้น ขึ้นอยู่กับชนิดและสภาพของผลิตภัณฑ์อาหาร เช่น อาหารที่มีกรดไขมันอิ่มตัวสูงมาก จำเป็นต้องใช้ฟิล์มที่มีการต้านทานการซึมผ่านออกซิเจนสูง เป็นต้น ข้อดีของฟิล์มบริโกลได้มีดังนี้

1. สามารถบริโกลฟิล์มได้พร้อมกับผลิตภัณฑ์ที่บรรจุ อันเป็นจุดเด่นที่เห็นได้ชัดในการลดปัญหามลพิษด้านสิ่งแวดล้อม
2. ในกรณีที่ไม่บริโกลฟิล์ม ฟิล์มที่ทิ้งไปสามารถย่อยสลายทางชีวภาพได้โดยง่าย เป็นการช่วยลดปัญหาด้านมลพิษเช่นกัน
3. เพิ่มคุณภาพทางประสาทสัมผัส ชวนให้นำรับประทานผลิตภัณฑ์มากขึ้น เมื่อใช้ฟิล์มและเข้ากันได้ดีกับสารประกอบที่ให้กลิ่นรสและความหวาน เป็นต้น
4. เสริมคุณค่าทางอาหาร
5. ใช้หุ้มอาหารโดยแยกออกเป็นแต่ละชิ้น เช่น ถั่ว สตรอเบอร์รี่
6. ใช้เป็นแผ่นกั้นอาหารระหว่างอาหารที่มีองค์ประกอบแตกต่างกัน เพื่อป้องกันการเสื่อมสภาพ เนื่องจากการถ่ายเทความชื้นและไขมันในเนื้ออาหารที่แตกต่างกัน เช่น พืชชา พาย
7. ทำหน้าที่เก็บสารป้องกันจุลินทรีย์และสารกันหืน และยังควบคุมอัตราการซึมผ่านของสารกันเสียจากฟิล์มสู่อาหาร
8. สามารถทำฟิล์มให้เป็นเม็ดเคลปซูลบรรจุสารให้กลิ่นรสและสารทำให้ขึ้นฟู (Leavening agent) ได้เพื่อควบคุมการเติมสารที่ใสในอาหารได้อย่างมีประสิทธิภาพ

1.2 ชนิดของฟิล์มบริโกลได้สามารถแบ่งตามชนิดของชีววัสดุได้เป็น 3 ชนิด คือ

1.2.1 ฟิล์มโปรตีน

โดยทั่วไปฟิล์มโปรตีนจะมีคุณสมบัติทางกลและสมบัติทางด้านการซึมผ่านดีกว่าฟิล์มที่เตรียมจากโพลีแซคคาไรด์ที่ผลิตได้จากโปรตีนหลายชนิด เช่น คอลลาเจน เจลาติน โปรตีนข้าวโพด โปรตีนข้าวสาลี โปรตีนถั่วเหลือง (Krochta, 1997)

1.2.2 ฟิล์มลิกนิน

ส่วนใหญ่ฟิล์มลิกนินจะใช้ในการขึ้นรูปแบบการเคลือบ เช่น การเคลือบผักและผลไม้ การเคลือบอาหารคาวลิกนินก็เพื่อป้องกันการถ่ายเทความชื้น ลดการเสียดสีของผิวผลไม้ระหว่างการขนส่ง ป้องกันการเกิดสีน้ำตาลของผลไม้บางชนิด ตัวอย่างฟิล์มลิกนินได้แก่ ฟิล์มไข ความชื้นจะซึมผ่านได้ต่ำมากโดยเฉพาะไขพาราฟินและขี้ผึ้ง ฟิล์มลิกนินอีกชนิดหนึ่งคือ สารตั้งผิว

การเคลือบอาหารด้วยสารตั้งผิวจะช่วยลดค่า Water activity ที่ผิวหน้าและอัตราการระเหยน้ำ สารเคลือบที่ให้ผลดีมากที่สุด คือ แอลกอฮอล์ที่มีกรดไขมันในโมเลกุล (Fatty alcohol) ที่มีคาร์บอน 16-18 ตัว เช่น กลีเซอรอลโมโนพาลมิเตต และกลีเซอรอลโมโนสเตียเรต (Kester and Fennema, 1986)

1.2.3 พอลิโพลีแซคคาไรด์

สามารถใช้โพลีแซคคาไรด์บางชนิด ในการผลิตฟิล์มหรือสารเคลือบบริโภคนได้ เช่น แอลจินेट เพกติน คาราจีแนน สตาร์ช สตาร์ชไฮโดรไลเซต และอนุพันธ์ของเซลลูโลส เนื่องจากธรรมชาติของโพลีเมอร์เหล่านี้มีคุณสมบัติที่ชอบน้ำ (Hydrophilic) จึงไม่เหมาะที่จะนำฟิล์มชนิดนี้มาป้องกันการซึมผ่านความชื้น (Kester and Fennema, 1986) คุณสมบัติที่ควรคำนึงถึงของฟิล์มบริโภคนได้ ได้แก่ ความโปร่งแสงของฟิล์ม ความเรียบของแผ่นฟิล์ม การตอบสนองต่อความชื้นและการละลายน้ำเป็นต้น ฟิล์มที่ได้จะไม่มีสี ไม่มีกลิ่นรส ไม่เป็นพิษ มีความแข็งแรงและยืดหยุ่น เป็นมันวาว มีการซึมผ่านของ O_2 ต่ำ การใช้งาน เช่น การทำถุงบรรจุสำหรับกาแฟ ซุปสำเร็จรูป ใ้กรอกสำหรับผลิตภัณฑ์ใ้กรอก ใช้เคลือบผิวได้ เช่น ลูกพรุน ลูกกวาดผลไม้ ทำให้ไม่เหนียวติดกัน

1.3 ฟิล์มบริโภคนได้กับการใช้ประโยชน์

การใช้ฟิล์มบริโภคนได้ในการรักษาคุณภาพและยืดอายุการเก็บรักษาอาหารนั้น มีมานานแล้วโดยสามารถใช้ในรูปแบบการเคลือบ (coating) ซึ่งเป็นการนำสารมาเคลือบผิวของอาหารด้วยวิธีการต่างๆ เช่น การจุ่ม (dipping) การแปรง (brushing) หรือการพ่นฝอย (spraying) เพื่อเลียนแบบสารเคลือบผิวธรรมชาติของผักและผลไม้ (Kester และ Fennema, 1986) เนื่องจากผักและผลไม้เป็นเนื้อเยื่อที่มีชีวิตเมื่อเก็บเกี่ยวแล้ว ยังมีการหายใจและการสูญเสียน้ำ ดังนั้นการเสื่อมเสียจึงเกิดได้ทันทีหลังจากการเก็บเกี่ยว โดยปริมาณการสูญเสียน้ำสูงถึงร้อยละ 50 ของผลผลิตทั่วโลก การเคลือบผิวผักและผลไม้ด้วยฟิล์มบริโภคนได้ จะช่วยยืดอายุหลังจากการเก็บเกี่ยว โดยลดการหายใจ การสูญเสียน้ำหนักและชะลอการสุก เนื่องจากความสามารถในการซึมผ่านของแก๊ส และไอน้ำที่แตกต่างกันของสารเคลือบแต่ละชนิด ทำให้เกิดสภาพของบรรยากาศภายในที่ถูกดัดแปลง คือ มีความเข้มข้นของคาร์บอนไดออกไซด์สูง ส่วนความเข้มข้นของออกซิเจนต่ำ ซึ่งเป็นผลให้อัตราการหายใจต่ำ การสร้างเอทิลิน และการสูญเสียน้ำต่ำลง (Nisperos และ Baldwin, 1966) นอกจากนี้ยังทำให้ผิวของผักและผลไม้เป็นมันเงา และลดการเกิดบาดแผลระหว่างการขนส่งอีกด้วย

สารเคลือบผิวบริโภคนได้ที่นิยมใช้กันมานานแล้ว คือ ไข (wax) และอิมัลชันของไขกับไขมัน น้ำมัน และสารอื่น (สุรพงษ์ 2530; Kester และ Fennema, 1986) ในปี 2536 สายสนม และคณะ ศึกษาการใช้อิมัลชันไขรำข้าว อิมัลชันไขผสมรำข้าวและคาร์นูบา เปรียบเทียบกับอิมัลชันไขคาร์นูบาในการเคลือบผักและผลไม้บางชนิด พบว่าอิมัลชันไขรำข้าวและคาร์นูบาเหมาะสำหรับเคลือบมะม่วง แครอท และมะนาว ส่วนอิมัลชันไขรำข้าวเหมาะสำหรับเคลือบพริกหวาน โดยการ

เคลือบอิมัลชันไขที่มีความเข้มข้นเหมาะสมจะช่วยลดการสูญเสียน้ำหนักและอัตราการหายใจ รักษา สีเขียวของคลอโรฟิลล์และความแน่นเนื้อรวมทั้งชะลอการสุกของผักและผลไม้ที่ทำการทดลอง ทั้งนี้ผลการเคลือบอิมัลชันไขผสมรำข้าวและคาร์นูบาใกล้เคียงกับการเคลือบอิมัลชันไขคาร์นูบา

ส่วนการเคลือบด้วยฟิล์มด้วยโปรตีนนั้น Park และคณะ (1994) ใช้โปรตีน ข้าวโพด (corn zein) เคลือบผิวมะเขือเทศที่สุกแก่เต็มที่ พบว่า ช่วยยืดระยะเวลาการเปลี่ยนแปลงสี การสูญเสียความแน่นเนื้อ และน้ำหนักระหว่างการเก็บได้ สำหรับการใส่ฟิล์มพอลิเอทิลีนไครด์เพื่อการเคลือบ มักมีจุดประสงค์ในด้านการแลกเปลี่ยนแก๊สมากกว่าการป้องกันการสูญเสีย น้ำ ฟิล์มที่ผลิตขึ้นทางการค้ามีชื่อว่า "Prolong" เป็นซูโครสพอลิเอสเทอร์ของกรดไขมันและกลีเซอรีนคาร์บอกซิเมทิลเซลลูโลส ต่อมามีการพัฒนาสูตรให้ดีขึ้น (Baldwin, 1994) หลังจากนั้น Su และ Chang (1995) ศึกษาการใช้พอลิเอทิลีนไครด์ 12 ชนิด เช่น สตาร์ชดัดแปร เดกซ์ทริน และแอลจินเนต เคลือบผิวถั่วที่ผ่านการนึ่งแล้ว พบว่า สารเคลือบบางชนิดสามารถลดการแยกของเมล็ดถั่ว การสูญเสียความแน่นเนื้อและสีได้ นอกจากนี้ Howard และ Dewi (1995) ศึกษาการเคลือบผิวแครอทด้วยฟิล์มจากเซลลูโลส พบว่า ช่วยลดการเปลี่ยนสีและรักษากลิ่นรสของแครอทไว้ได้ดีกว่าตัวอย่างที่ไม่เคลือบผิว

การใช้ฟิล์มบริโภคได้อีกรูปแบบหนึ่ง คือ ผลิตฟิล์มขึ้นมาเป็นแผ่นแล้วใช้กับอาหาร โดยการห่อหุ้ม ใช้เป็นแผ่นกั้นชั้นของอาหารที่มีองค์ประกอบต่างกัน หรือขึ้นรูปเป็นภาชนะบรรจุ Kester และ Fennema (1989) ศึกษาการใช้แผ่นฟิล์มเมทิลเซลลูโลสเคลือบไขผึ้งขวางกั้นการถ่ายเทความชื้นระหว่างชั้นของขนมปังและซอสมะเขือเทศของพืชแล้วห่อด้วยพอลิเอทิลีนนำไปเก็บที่อุณหภูมิ -40 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 9 สัปดาห์ โดยในแต่ละสัปดาห์มีการเก็บตัวอย่างบางส่วนมาเก็บไว้ที่ -6.7 ± 2 องศาเซลเซียส พบว่า การใช้แผ่นฟิล์มเมทิลเซลลูโลสเคลือบไขผึ้งสามารถชะลอการถ่ายเทความชื้นจากซอสมะเขือเทศไปสู่ขนมปังได้ และเมื่อประเมินคุณภาพทางประสาทสัมผัสหลังการอบ ได้แก่ คุณภาพระหว่างชั้น (interface quality) และความแน่นของขนมปัง และความชอบรวมพบว่า ให้คุณภาพทางประสาทสัมผัสได้ดีกว่าที่ไม่ใช้แผ่นฟิล์ม

Rico-Pena และ Torres (1990) ใช้แผ่นฟิล์มที่เตรียมจากเมทิลเซลลูโลสกับกรดพาลมิกในอัตราส่วน 3:1 และแผ่นฟิล์มจากเมทิลเซลลูโลส เพื่อกั้นการถ่ายเทความชื้นระหว่างโคนไอศกรีมกับชั้นของช็อกโกแลตโดยนำตัวอย่างไปเก็บที่อุณหภูมิต่าง ๆ กัน คือ ตัวอย่างที่ใช้แผ่นฟิล์มชนิดแรกนำไปเก็บที่อุณหภูมิ -23.3 องศาเซลเซียส และนำออกมาไว้ที่ -12.2 องศาเซลเซียสเป็นเวลา 1 วัน ในทุกๆ สัปดาห์ ส่วนแผ่นฟิล์มชนิดที่สองเก็บที่อุณหภูมิ -12.2 องศาเซลเซียส พบว่า ตัวอย่างที่ใช้แผ่นฟิล์มชนิดแรกไม่มีการเปลี่ยนแปลงความชื้น เมื่อเก็บไว้เป็นเวลา 10 สัปดาห์ ที่อุณหภูมิ -23.3 องศาเซลเซียส และ 4 สัปดาห์เมื่อมีการเก็บที่ -12.2 องศาเซลเซียส หลังจากนั้นความชื้นจะเพิ่มขึ้นเล็กน้อย ส่วนตัวอย่างที่ใช้แผ่นฟิล์มชนิดที่สอง ความชื้นจะเพิ่มขึ้น

มากกว่า และการใช้แผ่นฟิล์มทั้งสองชนิดจะสามารถรักษาความกรอบของ โคน ไอศกรีมไว้ได้นานกว่าอายุการเก็บปกติ

Nelson และ Fennema (1991) รายงานว่าแผ่นฟิล์มเมทิลเซลลูโลสกันการเคลื่อนที่ของไขมันในผลิตภัณฑ์ซ็อก โกลแลตใส่ถั่วลิสงได้ผลดีพอควร

Herald และคณะ (1996) ศึกษาการใช้ฟิล์มโปรตีนข้าวโพดที่เติมสารกันหืนอิมัลซิไฟเออร์ห่อเนื้อไก่วงวที่อบแล้วเปรียบเทียบกับการห่อด้วยฟิล์มพอลิไวนิลดีนคลอไรด์ (PVDC) แล้วนำไปเก็บรักษาไว้ที่ อุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียส พบว่า เมื่อเวลาผ่านไป 3 วัน ตัวอย่างที่ห่อด้วยฟิล์มโปรตีนข้าวโพดมีปริมาณแซกซาเนลต่ำกว่าตัวอย่างที่ห่อด้วยฟิล์ม PVDC

2. แป้ง

แป้งเป็นพอลิเมอร์ของกลูโคสที่มีองค์ประกอบสองส่วนคือ อะไมโลสและอะไมโลเพคติน อะไมโลสเป็นพอลิเมอร์เชิงเส้นของกลูโคสที่ต่อกันด้วยพันธะ α -1, 4-glycosidic linkages อะไมโลเพคตินพอลิเมอร์เชิงเส้นของกลูโคสที่ต่อกันด้วยพันธะ α -1,4-glycosidic linkages และเชื่อมต่อกันเป็นกิ่งก้านด้วยพันธะ α -1,6-glycosidic linkages แป้งจากแหล่งต่างกัน จะมีอัตราส่วนของอะไมโลสและอะไมโลเพคตินแตกต่างกัน ทำให้คุณสมบัติของแป้งแต่ละชนิดแตกต่างกัน (กล้าณรงค์ ศรีรอด และเกื้อกุล ปิยะจอมขวัญ, 2543) เช่น การดูดซับน้ำ การพองตัวและการละลาย Leach (1965) รายงานถึงปัจจัยที่มีผลต่อการพองตัวและความสามารถในการละลายของแป้ง ประกอบด้วย ชนิดของแป้ง ความแข็งแรงและลักษณะของร่างแหภายในเมล็ดแป้ง สิ่งเจือปนเมล็ดแป้งที่ไม่ใช่คาร์โบไฮเดรตและปริมาณที่อยู่ในสภาวะที่เกิดการพองตัว โดยปัจจัยเหล่านี้จะส่งผลกระทบต่อคุณสมบัติต่างๆ ของแป้ง เช่น ความหนืด อุณหภูมิในการเกิดเจลลาตินไนซ์ การเกิดรีโทรเกรเดชัน และโดยเฉพาะอย่างยิ่งคุณสมบัติของแป้งฟิล์ม ปัจจุบันในอุตสาหกรรมหลายประเภท มีการทำแป้งแห้งเพื่อจุดประสงค์ในการห่อหุ้มกระดาษหรือเส้นใยผ้า (coating) หรือเพื่อใช้เป็นกาว (adhesive) สำหรับนำไปใช้ในอุตสาหกรรมกระดาษหรือสิ่งทอ แป้งฟิล์มจะมีคุณสมบัติเฉพาะคือ ความเป็นพลาสติก ความแข็งแรง การละลายน้ำ การทนต่อความชื้น ความโปร่งใสของฟิล์ม และความเป็นเงามัน (gloss)

2.1 แป้งสาकु

สาकुเป็นพืชในตระกูลปาล์ม (Family Palmae) ที่พบมีอยู่ 2 ชนิด คือ ชนิดไม่มีหนามมีชื่อวิทยาศาสตร์ว่า *Metroxylon sagu* Rottb. และมีชนิดมีหนามมีชื่อวิทยาศาสตร์ว่า *Metroxylon rumphii* Mart. สามารถพบทั้งสองชนิดได้ในประเทศไทย แต่พบชนิดที่มีหนามน้อยกว่าและให้แป้งน้อยกว่าชนิดที่ไม่มีหนาม การพบต้นสาकुมีนักประวัติศาสตร์บางคนกล่าวว่า Marcopolo (สวัสต์ลี ยูซิดิต, 2515) พบต้นสาकुที่เกาะสุมาตราในปี ค.ศ. 1298 ซึ่งพอจะสันนิษฐานได้

ว่าต้นสาขามีถิ่นกำเนิดในประเทศมาเลเซีย ต่อมาภายหลังได้ขยายไปในประเทศใกล้เคียงและมีการปลูกมากในประเทศต่างๆ เช่น อินเดีย ศรีลังกา อินโดนีเซีย บรูไน หมู่เกาะนิวกินี และประเทศไทย ประโยชน์ที่ได้จากต้นสาขาส่วนใหญ่เอาไว้ในต้นมาสักดแบ่งเรียกว่า “แป้งสาข” สามารถนำมาประกอบอาหารคาวและหวาน แต่ต่อมาความสำคัญของแป้งสาขลดน้อยลง เนื่องจากมีแป้งมันสำปะหลังมาใช้แทน ลักษณะประจำพันธุ์ ต้นสาขที่เจริญเต็มที่ที่มีความสูงประมาณ 30-40 ฟุต เส้นรอบวงลำต้น 4.2-5 ฟุต เส้นผ่านศูนย์กลางประมาณ 2-3 ฟุต และมีทางใบยาวประมาณ 20 ฟุต ในทางใบหนึ่งๆ จะมีใบย่อยประมาณ 60 คู่ และใบย่อยนี้จะยาวประมาณ 3 ฟุต มีลำต้นยาวคล้ายมะพร้าว สามารถขยายพันธุ์ได้ 2 วิธี คือ การขยายพันธุ์ด้วยเมล็ด และการขยายพันธุ์ด้วยหน่อ สำหรับการขยายด้วยเมล็ด พบว่า ทางใบของต้นสาขจะมีหนามอยู่ทั่วไป และต้องกินเวลานานมากกว่าจะตัดต้นลงมาทำแป้งได้ สำหรับต้นที่ใช้หน่อปลูกจะมีอายุต้นประมาณ 7-8 ปี ก็สามารถตัดมาทำแป้งได้ (สวัสดี ชูชาติ, 2515) โดยปกติต้นสาขเริ่มโค่นทำแป้งได้ เมื่อมีอายุประมาณ 9-10 ปี ความสูงเฉลี่ย 7.5-9 เมตร ซึ่งเป็นระยะที่เรียกว่าระยะตั้งท้อง (Pregnant state) สามารถให้แป้งมากที่สุด โดยการสังเกตจะเห็นว่าที่ยอดเริ่มสร้างดอก ลักษณะของใบจะสั้นลง สีของใบและก้านจะเปลี่ยนไปได้ไม่โค่น ในช่วงนี้ต้นสาขจะออกดอกเจริญเป็นผล หลังจากออกดอกต้นสาขจะกลวงและตายในที่สุด ในระยะที่ต้นสาขกำลังสร้างดอก ปริมาณแป้งในลำต้นจะสูงที่สุด และเมื่อผ่านการเกิดผลไปแล้วปริมาณแป้งจะลดลงอย่างรวดเร็ว (Radley, 1976) เนื่องจากใ้ในของต้นสาขเป็นแหล่งคาร์โบไฮเดรตที่สำคัญ และยังมีส่วนประกอบอื่นๆ ดังแสดงดังตารางที่ 2.1 ดังนั้นจึงสามารถสกัดแป้งจากต้นสาขได้ และยังพบว่าน้ำเสียจากโรงงานผลิตแป้งจากต้นสาขยังคงมีปริมาณแป้งและสารอื่นๆ อยู่สูง ซึ่งอาจจะใช้เป็นวัตถุดิบสำหรับเลี้ยงจุลินทรีย์ได้ สามารถลดปัญหามลภาวะได้อย่างประหยัด

ตารางที่ 2.1 ส่วนประกอบใ้ในของต้นสาข

ส่วนประกอบ	% (คำนวณจากน้ำหนักเปียก)
ความชื้น	22.7
โปรตีน	2.1
(โปรตีนที่ย่อยได้)	(1.4)
ไขมัน	0.2
คาร์โบไฮเดรต	51.0
(คาร์โบไฮเดรตที่ย่อยได้)	(50.5)
เส้นใย	7.8
แร่ธาตุอื่นๆ	16.2

ที่มา : คัดแปลงจาก Sundhagul (1977)

2.1.1 กรรมวิธีการผลิตแป้งจากต้นสาकु

การผลิตแป้งจากต้นสาकुในระดับชาวบ้าน (Radley, 1976: Sundnagul, 1997) สามารถทำได้ง่าย ๆ ดังนี้ เมื่อโค่นต้นสาकुลงมาแล้วจะตัดส่วนใบออก และตัดให้เป็นท่อนๆ เพื่อความสะดวกในการขนส่งไปยังสถานที่ที่จะทำการผลิตแป้ง ต้นสาकुที่โค่นแล้วต้องรีบดำเนินการสกัดแป้งทันที ถ้าทิ้งไว้หลังจากโค่นแล้ว 1 อาทิตย์ใส่ในจะเริ่มเน่า ถ้าทิ้งไว้ถึง 3 อาทิตย์จะเน่าประมาณครึ่งหนึ่ง และถ้าทิ้งไว้นาน 1 เดือนใส่ในก็จะเน่าทั้งหมด ดังนั้นในระหว่างการเตรียมใส่ในสาकुและกระบวนการสกัดแป้งต้องทำด้วยความรวดเร็ว

ต้นสาकुที่ตัดเป็นท่อนแล้วจะนำมาปอกเปลือก โดยปกติเปลือกของต้นสาकुจะหนาประมาณ 1-2 นิ้ว ต้นสาकु 1 ต้นจะได้ใส่ในประมาณ 270-355 กิโลกรัม (Radley, 1976) ส่วนใส่ในก็จะถูกนำเข้าเครื่องข่อยให้เป็นผง นำส่วนที่ข่อยเป็นผงทั้งหมดมาทำการสกัดแป้งออก โดยสามารถทำได้ 2 วิธี คือ กรรมวิธีการผลิตแบบแห้ง (Dry Process) และกรรมวิธีการผลิตแบบเปียก (Wet Process)

2.1.1.1 กรรมวิธีผลิตแบบแห้ง (สวัสดี บุชิต, 2515) นำส่วนของใส่ในของต้นสาकुที่ข่อยเป็นผงแล้วมาขยิบตะแกรงหรือผ้ากรองชนิดหยาบมาก เพื่อให้แป้งตกลงไปในภาชนะรองรับที่มีน้ำอยู่ด้วย ทำซ้ำเช่นนี้จนหมดแป้ง เหลือแต่กากซึ่งสามารถเอาไปใช้เลี้ยงสัตว์ได้ ส่วนแป้งที่ได้นำไปล้างน้ำให้สะอาด แล้วจึงนำขึ้นมาตากแดดให้แห้ง

2.1.1.2 กรรมวิธีผลิตแบบเปียก (Radley, 1976: Sundnagul, 1997) ส่วนของใส่ในต้นสาकुที่ข่อยเป็นผงแล้วสามารถสกัดแป้งออกโดยกรรมวิธีการแบบเปียกโดยการนำน้ำผสมลงไปแล้วทำการคั้น หรือขยี้โดยใช้แรงคนหรือเครื่องจักร กรองผ่านผ้ากรองชนิดหยาบหรือตะแกรงจะได้น้ำแป้งออกมา จากนั้นตั้งทิ้งไว้ให้ตกตะกอน นำส่วนบนรินทิ้งไป ตะกอนที่ได้เป็นแป้ง ถ้ายังสกปรกอยู่ต้องทำการล้างซ้ำอีกหลายๆ ครั้ง สุดท้ายนำตะกอนแป้งที่ได้ทำให้แห้ง โดยปกติกรรมวิธีการผลิตแบบเปียกนี้จะใช้เวลา 2-3 วัน คุณภาพแป้งที่ได้จะขาวสะอาดหรือไม่ขึ้นกับจำนวนครั้งของการล้าง และระยะเวลาที่ใช้ในการสกัดแป้ง (Sundnagul, 1997) แป้งสาकुที่ได้จากกรรมวิธีการผลิตแบบเปียก โดยใช้แรงคนจะไม่สูญเสียโปรตีนมาก แต่ผลผลิตจะต่ำโดยเฉลี่ยจะได้ผลผลิตแป้ง 100-150 กิโลกรัมต่อต้นสาकु 1 ต้น

ตารางที่ 2.2 องค์ประกอบทางเคมีของแป้งสาคู

ส่วนประกอบ	ปริมาณที่พบ (%)
ความชื้น	12-18
โปรตีน	0.1-1.0
ไขมัน	0.1-0.3
เส้นใย	0.1-0.5
เถ้า	0.1-0.8
คาร์โบไฮเดรตและอื่นๆ	78.16

ที่มา : คัดแปลงจาก Radley (1976)

2.2. ข้าว (Rice)

ข้าว (*Oryza sativa*) เป็นพืชล้มลุก ใบเลี้ยงเดี่ยว อยู่ในตระกูล Graminac (อรรควุติ ทัศนสองชั้น, 2530) แบ่งออกเป็น 3 ชนิด ตามลักษณะภายนอกของต้น เมล็ด และจำนวนเมล็ดลีบของข้าวลูกผสมระหว่างข้าวทั้ง 3 ชนิดเป็นหลัก ได้แก่

1. อินดิกา (indica) เป็นข้าวที่ปลูกในประเทศต่างๆ ในเขตร้อน เช่น ศรีลังกา จีนตอนใต้ และตอนกลาง อินเดีย อินโดนีเซีย บังคลาเทศ ไทย ฟิลิปปินส์ ให้ผลผลิตค่อนข้างต่ำ คอบสนองค้อปุ๋ยน้อย แต่ปรับตัวเข้ากับสภาพแวดล้อมได้ง่าย
2. จาโปนิกา (japonica) เป็นข้าวที่ปลูกในประเทศจีนตอนเหนือ และตะวันออก ญี่ปุ่น และประเทศอื่นๆ ที่อยู่ในเขตอบอุ่น ให้ผลผลิตสูง คอบสนองค้อปุ๋ยดีมาก
3. จาวานิกา (javanica) เป็นข้าวที่พบในประเทศอินโดนีเซียเท่านั้น มีลักษณะอยู่ระหว่างอินดิกา กับ จาโปนิกา ไม่มีความสำคัญทางเศรษฐกิจ (ประพาส วีระแพทย์, 2531)

2.2.1 การจำแนกชนิดของข้าว

อรรควุติ ทัศนสองชั้น (2530) กล่าวว่ามาตรการในการจำแนกข้าว ขึ้นอยู่กับปัจจัยและสิ่งแวดล้อมหลายประการ ซึ่งในประเทศไทยมีการจำแนกข้าวออกเป็นหลายรูปแบบ ดังนี้

2.2.1.1 จำแนกตามคุณสมบัติทางเคมีภายในเมล็ด

2.2.1.1.1 ข้าวเจ้า (Non-glutinous rice) ประกอบด้วยแป้ง ประมาณร้อยละ 90 ซึ่งแป้งนี้มีส่วนประกอบใหญ่ๆ 2 ส่วนด้วยกัน คือ อะมิโลแพกติน (โพลีเมอร์ของ ดีกลูโคสที่ต่อกันเป็นสาขา) ประมาณร้อยละ 60-90 และอะไมโลส (โพลีเมอร์ของ ดีกลูโคสที่ต่อกันแบบสายตรง) ประมาณร้อยละ 10-30

2.2.1.1.2 ข้าวเหนียว (glutinous rice) ประกอบด้วย อะมิโลแพกตินถึงร้อยละ 95 มีอะไมโลสน้อยมาก บางครั้งพบว่าไม่มีเลย

2.2.1.2 จำแนกตามรูปร่างของเมล็ดข้าวสาร

2.2.1.2.1 ข้าวเมล็ดสั้น (short grain) ความยาวของเมล็ดข้าวไม่เกิน 5.50

มิลลิเมตร

2.2.1.2.2. ข้าวเมล็ดยาวปานกลาง (medium-long) ความยาวเมล็ดตั้งแต่

5.51-6.60 มิลลิเมตร

2.2.1.2.3 ข้าวเมล็ดยาว (long grain) ความยาวของเมล็ดตั้งแต่ 6.61-7.50

มิลลิเมตร

2.2.1.2.4 ข้าวเมล็ดยาวมาก (extra-long grain) ความยาวของเมล็ดตั้งแต่

7.51 มิลลิเมตรขึ้นไป

2.2.1.3 จำแนกข้าวตามปริมาณอะไมโลส (อรรถกวี ทัศนสองชั้น, 2530)

2.2.1.3.1 ข้าวอะไมโลสต่ำ คือข้าวที่มีปริมาณอะไมโลสน้อยกว่าร้อยละ

19 ได้แก่ข้าวขาวดอกมะลิ 105 (มีอะไมโลสร้อยละ 12-16) ข้าว กข15 (มีอะไมโลสร้อยละ 14-17) และข้าว กข21 (มีอะไมโลสร้อยละ 18-20)

2.2.1.3.2 ข้าวอะไมโลสปานกลาง คือ ข้าวที่มีปริมาณอะไมโลสร้อยละ 20-

25 ได้แก่ข้าวนางมณฑล 4 (มีอะไมโลสร้อยละ 19-27) และข้าวขาวปากหม้อ 148 (มีอะไมโลสร้อยละ 24-25)

2.2.1.3.3 ข้าวอะไมโลสปานกลางค่อนข้างสูง คือข้าวที่มีปริมาณอะไมโล

สร้อยละ 25-29 ได้แก่ข้าวแก้วรวง 88 (มีอะไมโลสร้อยละ 25-29) ข้าว ๗7 (มีอะไมโลสร้อยละ 24-29) ข้าว กข23 (มีอะไมโลสร้อยละ 26-29) และข้าว กข27 (มีอะไมโลสร้อยละ 25-29)

2.2.1.3.4 ข้าวอะไมโลสสูง คือ ข้าวที่มีปริมาณอะไมโลสระหว่างร้อยละ

29-34 ได้แก่ ข้าว กข1 (มีอะไมโลสร้อยละ 28-31) ข้าว กข5 (มีอะไมโลสร้อยละ 29) ข้าว กข11 (มีอะไมโลสร้อยละ 29-32) ข้าว กข13 (มีอะไมโลสร้อยละ 30-32) ข้าว กข17 (มีอะไมโลสร้อยละ 32) ข้าว กข19 (มีอะไมโลสร้อยละ 32) ข้าว กข25 (มีอะไมโลสร้อยละ 30-33) และข้าว กข 123 (มีอะไมโลสร้อยละ 28-32)

2.2.2 องค์ประกอบทางเคมีในเมล็ดข้าว

องค์ประกอบทางเคมีในเมล็ดข้าวประกอบด้วยโปรตีน ไขมัน เยื่อใย แร่ธาตุ และคาร์โบไฮเดรต ดังแสดงในตารางที่ 2.3

ตารางที่ 2.3 องค์ประกอบทางเคมีในเมล็ดข้าว

ชนิดองค์ประกอบทางเคมี	ปริมาณ (ร้อยละ)
โปรตีน	9.8
ชนิดของโปรตีน	
-แอลบูมิน	3.0
-โกลบูลิน	5.0
-โพรลามิน	1.5
-กลูเตลิน	85-90
ปริมาณกรดอะมิโน	
-อาร์จินีน	7.7
-ซิสทีนและซิสทีอีน	1.1
-ฮิสติดีน	2.3
-ไอโซลิวซีน	3.9
-ลิวซีน	8.0
-เมทไอนีน	3.7
-เฟนิลอะลานีน	2.4
-ทรีโอนีน	5.2
-ทริปโทเฟน	4.1
-ไทโรซีน	1.4
-วาเลีน	<u>5.2</u>
-อะลานีน	6.0
-กรดแอสพาร์ติก	10.4
-กรดกลูทามิก	20.4
-ไกลซีน	5.0
-โปรลีน	4.8
-เซอีน	5.2
-ไซมัน	0.5
กรดไซมันที่อิมตัว	
-ปาล์มมิติกและสเตียริก	17.6
กรดไซมันที่ไม่อิมตัว	
-ไฮเลอิก	47.6
-ลิโนเลอิก	34.0
-ลิโนเลนิก	0.8
เฮอีย	0.3
แร้ธาตุ	0.6
คาร์โบไฮเครต	88.9

ที่มา : ดัดแปลงจากอรอนงค์ นัยวิกุล (2532)

2.3 แป้งมันสำปะหลัง

แป้งมันสำปะหลัง เป็นผลิตภัณฑ์หนึ่งที่ได้จากมันสำปะหลัง มีโครงสร้างประกอบด้วยอะไมโลส ร้อยละ 17 ของปริมาณแป้งทั้งหมด และอะไมโลเพกตินร้อยละ 83 ของปริมาณแป้งทั้งหมดองค์ประกอบของหัวมันสำปะหลัง แสดงดังตารางที่ 2.4 เม็ดแป้งมีลักษณะกลม และมีรอยตัดที่ด้านใดด้านหนึ่ง ทำให้มีรูปร่างเหมือนกลองหน้าเดียวกันกลม เม็ดแป้งมีขนาดประมาณ 20 μm (5-36 μm) (Heckman, 1997) สำหรับการใช้งานแป้งมันสำปะหลังในปัจจุบัน ถึงแม้ราคาของแป้งจะถูกลงแต่มีการใช้ในประเทสร้อยละ 40 และในจำนวนนี้นำไปใช้ในอุตสาหกรรมอาหารเพียงร้อยละ 27.4 เท่านั้น โดยนำไปใช้ในผลิตภัณฑ์ต่างๆ เช่นอาหารกระป๋อง เครื่องดื่ม ขอสปรุงรส ซุป อาหารเด็ก และขนมหวานสำเร็จรูป เป็นต้น แต่แป้งมันสำปะหลังมีข้อจำกัดในการใช้งาน ดังนี้ คือ แป้งมันสำปะหลังมีความหนืดที่ไม่คงทนต่ออุณหภูมิสูงๆ และการผสมที่รุนแรงในกระบวนการผลิต

ตารางที่ 2.4 องค์ประกอบของหัวมันสำปะหลัง

องค์ประกอบของหัวมันสด	ร้อยละของน้ำหนักหัวมันสด
น้ำ	60.21-75.32
เปลือก	4.08-14.08
เนื้อมัน	25.87-41.88
ไซยาไนด์	2.85-39.27
องค์ประกอบของเนื้อมัน	ร้อยละของน้ำหนักเนื้อมัน
แป้ง	71.9-85.0
โปรตีน	1.57-5.78
เยื่อใย	1.77-3.95
เถ้า	1.20-2.80
ไขมัน	0.06-0.43
คาร์โบไฮเดรต	3.59-8.66

ที่มา: สุพะไชย์ จินดาวุฒิกุล (2544)

ปัจจุบันมีการเพิ่มปริมาณการใช้งานของแป้งมันปะหลัง โดยนำไปใช้ในการผลิตเป็นบรรจุภัณฑ์ที่ย่อยสลายได้ แต่เนื่องจากโครงสร้างโดยทั่วไปของแป้งมีการจัดเรียงตัวที่เป็นระเบียบ ไม่ว่าจะโมเลกุลที่เป็นเส้นตรง หรือส่วนที่เป็นกิ่งก้าน ทำให้มีความผลึกสูง ประกอบด้วยการมีพันธะไฮโดรเจนเป็นแรงยึดเหนี่ยวโมเลกุลของแป้งเข้าด้วยกัน จึงส่งผลให้แป้งไม่อ่อนตัวหรือหลอมเหลวเมื่อได้รับความร้อน ซึ่งเป็นปัญหาในการขึ้นรูป นอกจากนี้ยังทำให้ผลิตภัณฑ์ที่ได้มีสมบัติทางกายภาพไม่เหมาะสมต่อการนำไปใช้งาน เช่น เปราะ แตกร้าวง่าย คุณภาพขึ้นสูง ดังนั้นจึงได้มีการนำแป้งมาปรับปรุงคุณสมบัติโดยเติมสารเคมีที่ช่วยลดพันธะไฮโดรเจน และลดโครงสร้างที่เป็นผลึกสูง หรือเติมสารเติมแต่งอื่นๆ เพื่อเพิ่มสมบัติที่ดีให้แก่แป้ง

2.4 แป้งข้าวโพด

ข้าวโพดเป็นธัญพืชที่มนุษย์นำมาใช้ประโยชน์เป็นอาหารคนและอาหารสัตว์มานานแล้ว ลักษณะการใช้จะแตกต่างกันกันตามท้องถิ่น ในประเทศแถบละตินอเมริกานิยมใช้เป็นอาหารหลักประเภทแป้ง แต่ประเทศไทยนิยมกินผักสดเป็นอาหารระหว่างมื้อ หรือใช้ประกอบอาหารหวาน อาจแบ่งข้าวโพดได้เป็น ชนิดหัวนุบ ข้าวโพดชนิดหัวแข็ง ข้าวโพดหวาน อาจแบ่งข้าวโพดได้เป็น ข้าวโพดข้าวเหนียว และข้าวโพดป่า ข้าวโพดมีปริมาณคาร์โบไฮเดรตสูง ประมาณร้อยละ 71 แต่มีโปรตีนค่อนข้างต่ำประมาณร้อยละ 9.5 โดยเฉลี่ย ปริมาณน้ำมันเกือบทั้งหมดอยู่ในต้นอ่อนในเมล็ด (germ หรือ embryo) และปริมาณโปรตีนร้อยละ 20 ของเมล็ดอยู่ในต้นอ่อน โปรตีนต้นอ่อนมีคุณค่าทางอาหารสูง ขณะที่โปรตีนส่วนอื่นๆ มักจะขาดกรดอะมิโนที่สำคัญ คือ ไลซีนและทริปโตเฟน เนื่องจากข้าวโพดมีปริมาณแป้งสูง จึงจัดว่าเป็นอาหารที่ให้พลังงาน แป้งข้าวโพดได้จากการสกัดเอาแป้งจากเมล็ดข้าวโพดที่แก่และแห้งแล้ว โดยแยกเอาส่วนคัพพะและเปลือกออก เหลือเอนโดสเปิร์ม ซึ่งเป็นส่วนของเนื้อแป้งไว้ การสกัดนี้ทำได้ทั้งวิธีเปียก และวิธีแห้ง (Dry and Wet Milling) ถึงแม้วิธีการทั้งสองวิธีจะถือหลักในการสกัดเนื้อเพื่อเอาแป้งออกจากเมล็ดให้มากที่สุดเหมือนกัน แต่ทั้งสองวิธียังมีข้อแตกต่างกันที่ประสิทธิภาพในการสกัด และวัตถุประสงค์ในการแปรรูปแป้งข้าวโพดในอุตสาหกรรม

การสกัดแป้งข้าวโพดแบบแห้งมี 2 ระบบ คือ สกัดโดยไม่แยกคัพพะออกจากเอนโดสเปิร์ม ส่วนอีกระบบหนึ่งแยกคัพพะออกจากเอนโดสเปิร์ม แป้งที่ได้มีลักษณะหลายเนื้อ แป้งคังนี้ ชนิดหยาบเรียกว่า คอร์นกริท (corn grit) คอร์นมีล (corn meal) ค่อนข้างละเอียด และชนิดละเอียดเรียกว่า แป้งข้าวโพด (corn flour) แป้งทั้งสามชนิดที่ได้มาจากส่วนต่างๆ กันของเมล็ดข้าวโพด คอร์นกริท ได้จากส่วนที่เป็นแป้งแข็งในเมล็ดข้าวโพด ส่วนคอร์นมีลและแป้งข้าวโพดได้จากส่วนถัดไปจากแป้งแข็งในเมล็ดข้าวโพด เนื่องจากการสกัดแบบนี้ เมล็ดข้าวโพดที่มีลักษณะแข็ง แป้งไม่อาจละเอียด ได้หมด ที่จะให้ละเอียดทั้งหมดทำได้ยาก เพราะทำให้แป้งเสื่อมคุณภาพ

เนื่องจากแรงบดจากโม้ จึงนำเอาการสกัดแบบเปียกเข้าใช้ในกระบวนการสกัดแป้งข้าวโพด (พรพงษ์ สุทธิรักษ์, 2536)

2.4.1 กระบวนการผลิตแป้งข้าวโพด

แป้งข้าวโพดจัดได้ว่าเป็นแป้งที่มีมากที่สุดในโลก ผลิตจากข้าวโพด (corn หรือ maize) มีชื่อวิทยาศาสตร์ว่า *Zea Mays L.* อยู่ในวงศ์ Grammineac มีต้นกำเนิดในทวีปอเมริกาแล้วกระจายไปยังทวีปแอฟริกา อินเดีย ออสเตรเลีย และประเทศในยุโรปที่มีอากาศอบอุ่น ข้าวโพดมีหลายพันธุ์ เช่น หัวแข็ง (dent) หัวบุบ (flint) ปอป (pop) แป้ง (flour) หวาน (sweet) และข้าวเหนียว (waxy) ข้าวโพดมีองค์ประกอบต่างๆแสดงดังตารางที่ 2.5

ตารางที่ 2.5 องค์ประกอบภายในเมล็ดข้าวโพด

องค์ประกอบ (ร้อยละ)	Kerr (1950)	Knight (1969)
ความชื้น	18.5	16.2
แป้ง	55.5	59.4
โปรตีน	8.2	8.2
ไขมัน	3.0	4.0
เยื่อใย	2.4	2.2
เถ้า	1.5	1.2
น้ำตาล	5.1	2.2
ส่วนที่เหลือ	5.8	6.6

ที่มา : กล้าณรงค์ ศรีรอด และ คณะ (2543)

ในการแปรรูปข้าวโพดนั้น ใช้เมล็ดข้าวโพดเป็นวัตถุดิบ ทำการโม่ได้ 2 แบบ คือ โม่แห้ง และโม่เปียก ในการโม่แห้งนั้น สามารถทำความสะอาดได้เพียงการแยกธัญและแยกคัพพะ (germ) ออก ผลิตภัณฑ์ที่ได้จะเป็นฟลาวัวร์ (corn flour) ที่ยังมีโปรตีน เกลือแร่สูง เหมาะสำหรับการประกอบอาหาร ส่วนที่ใช้ในอุตสาหกรรมโดยเฉพาะอุตสาหกรรมเคมี และการผลิตสารให้ความหวาน (glucose/fructose syrup) จะต้องใช้สตาร์ชข้าวโพด (corn starch) เป็นวัตถุดิบ ชั้นแรกในกระบวนการผลิตแป้งข้าวโพด (corn starch) มีดังนี้ การทำความสะอาดเมล็ดข้าวโพด โดยการแยกสิ่งเจือปน เช่น เมล็ดข้าวโพดหัก หรือ ผุ่นผงออก แล้วนำมาแช่น้ำ (steeping) ปกติจะมีการพ่นควันทันแก๊ส (SO_2) ผสมลงในน้ำที่ใช้แช่น้ำ ให้ได้สารละลายกรดซัลฟูริก อุณหภูมิของน้ำแช่ประมาณ 50 องศาเซลเซียส แช่ในสารละลายเป็นเวลา 36-50 ชั่วโมง เพื่อให้เปลือกเมล็ดอ่อนนุ่ม และทำลายโครงสร้างโปรตีนในเอนโดสเปิร์ม หลังจากนั้นปล่อยน้ำที่แช่

ข้าวโพดออกมา จะได้ผลพลอยได้จากกระบวนการผลิต คือ น้ำแช่ข้าวโพด (corn steep liquor) ซึ่งมีโปรตีนและเกลือแร่สูง เมื่อนำไปต้มระเหยน้ำออก ก็จะเป็นวัตถุดิบ นำไปใช้เป็นอาหารเลี้ยงสัตว์ได้ เมล็ดข้าวโพดที่แช่แล้วมีความชื้นประมาณ 50% ถูกส่งต่อไปบดหยาบ เอาเปลือกชั้นนอกออก แล้วผ่านไปยังถังแช่น้ำ (flotation chamber) เพื่อแยกคัพภะออก คัพภะซึ่งมีความล่องจําเพาะต่ำกว่าจะลอยขึ้นสู่ด้านบนของถัง มีใบพัดกวาดออกมา ส่วนที่เหลือจมอยู่ด้านล่างแล้วมีใบพัดกวาดออก ในปัจจุบันใช้ไฮโดรไซโคลอน (hydrocyclone) ซึ่งมีประสิทธิภาพดีกว่าแทน flotation chamber ไฮโดรไซโคลอนมีลักษณะเป็นกรวย ตอนปลายเป็นทรงกระบอก มีความยาว 30 นิ้ว สารแขวนลอยแป้งจะถูกนำเข้ามาทาง tangential inlet ด้านบน เกิดแรงหมุนวน ส่วนที่เป็น fiber และ germ ที่ได้นำมาล้างเพื่อกำจัดส่วนของเอนโดสเปิร์มที่ติดอยู่ แล้วบีบน้ำออกจาก germ โดยใช้ screw press จะเหลือน้ำประมาณ 50% ทำให้แห้งแล้วสกัดน้ำมันออกจาก germ โดยใช้สารละลาย ซึ่งจะได้น้ำมันค่อนข้างต่ำ ประมาณ 1% หรือสกัดน้ำมันโดยใช้ screw press ซึ่งจะได้ oil cake ที่มีน้ำมันประมาณ 6% นำไปใช้ในอุตสาหกรรมอาหารเลี้ยงสัตว์ เมื่อผ่านขั้นตอนการบดหยาบและแยก germ ออกแล้ว ในน้ำแป้งยังมีเยื่อใย แป้ง และโปรตีน นำส่วนนี้ไปบดละเอียด ได้แป้งและกลูเตนที่มีขนาดเล็ก แต่เยื่อใยที่ได้จะมีขนาดใหญ่กว่า จึงสามารถแยกออกได้โดยตะแกรงขนาดต่างๆ เยื่อใยที่แยกได้ นำมาล้าง และกำจัดน้ำออก โดยใช้ screw press นำไปใช้เป็นอาหารเลี้ยงสัตว์ หลังจากนั้นแยกกลูเตนออกจากแป้งโดยใช้เครื่องแยกประสิทธิภาพสูง (separator) จะได้แป้งในรูปสารแขวนลอยเข้มข้นที่มีส่วนของกลูเตนปนอยู่เล็กน้อย แยกกลูเตนออกโดยใช้ไฮโดรไซโคลอน ความยาว 2.5 นิ้ว ในขั้นตอนนี้ใช้น้ำสะอาดเพื่อล้างแป้ง ซึ่งเป็นจุดเดียวในกระบวนการผลิตที่ใช้น้ำสะอาด สารแขวนลอยแป้งที่ได้จะมีความหนาแน่น 22 องศาเบ (39% แป้ง) มีโปรตีน 0.3% นำไปกำจัดน้ำโดยใช้เครื่องเหวี่ยง (dewatering centrifugal) และทำให้แห้ง

ตารางที่ 2.6 คุณสมบัติของแป้งข้าวโพด

คุณสมบัติ	แป้งข้าวโพด
ขนาดเม็ดแป้ง	3-26 a
ปริมาณอะไมโลส (%)	28 a
ขนาดของอะไมโลส (Degree of polymerization)	800 a
อุณหภูมิเริ่มเปลี่ยนแปลงความหนืด (Pasting temperature, °C)	79.18 b
ความหนืดสูงสุด (Peak viscosity, RVU)	217.13 b
ความหนืดสุดท้าย (Final viscosity, RVU)	195.21 b
ความหนืดต่ำสุด (Trough viscosity, RVU)	145.67 b
อุณหภูมิเริ่มต้นเกิดเจลาคีโนเซชัน (onset temperature, T_o , °C)	49 c
อุณหภูมิสุดท้ายที่เกิดเจลาคีโนเซชัน (Conclusion temperature, T_c , °C)	67 c

ที่มา: a Ellis และคณะ (1998)

b หน่วยปฏิบัติการเทคโนโลยีแปรรูปมันสำปะหลังและแป้ง

c Eliasson และ G.Hudmundsson (1996)

3. องค์ประกอบของแป้ง

แป้งประกอบด้วยคาร์บอน ไฮโดรเจน และออกซิเจนในอัตราส่วน 6:10:5 ($D_6H_{10}O_5$) เป็นโพลิเมอร์ของหน่วยกลูโคสที่เชื่อมเข้าด้วยกันด้วยพันธะโควาเลนต์ระหว่างอะตอมออกซิเจนที่ติดกับคาร์บอนตำแหน่งที่ 1 ของกลูโคสหนึ่งหน่วย กับอะตอมคาร์บอนตำแหน่งที่ 4 ของกลูโคสหน่วยถัดไป พันธะโควาเลนต์ที่เชื่อมโยงระหว่างกลูโคสเรียกว่า กลูโคไซด์ หรือพันธะกลูโคซิดิก แป้งจึงจัดเป็นคาร์โบไฮเดรตที่เป็นโพลิเมอร์ของอะไมโลส และอะมิโลเพกทิน ซึ่งมีโครงสร้างของโมเลกุลและสมบัติต่างกัน อะไมโลสเกิดจากการเรียงต่อกันเป็นสายตรงของหน่วยกลูโคสที่เชื่อมต่อกันด้วยพันธะ $\alpha D(1 \rightarrow 4)$ glycosidic มีหน่วยกลูโคส (anhydroglucose unit: AGU) ประมาณ 200-2000 หน่วย (Wurzburg, 1972) สามารถดูดความชื้นและกระจายตัวในน้ำได้ดีเมื่อให้ความร้อนแก่สารละลายจนเม็ดแป้งพองตัวเต็มที่ โมเลกุลอะไมโลสจะละลายออกมาจากเม็ดแป้ง มีความหนืดต่ำ เมื่อเย็นตัวลงเกิดจากการคืนตัวของโมเลกุลอะไมโลสรวมตัวกัน อะมิโลเพกทินเป็นโพลิเมอร์ที่มีกิ่งก้านสาขามาก หน่วยกลูโคสเชื่อมต่อกันด้วยพันธะ $\alpha D(1 \rightarrow 4)$ glycosidic และส่วนที่เป็นกิ่งก้านสาขาเชื่อมต่อกันด้วยพันธะ $\alpha D(1 \rightarrow 6)$ glycosidic แต่ละสาขาประกอบด้วย AGU ประมาณ 15-25 หน่วย (Wurzburg, 1972) เนื่องจากอะมิโลเพกทินเป็นโมเลกุลขนาดใหญ่และมีกิ่งก้านสาขามาก ดังนั้นโอกาสที่โมเลกุลจะจับตัวกันเองนั้นน้อยลง เมื่อให้ความร้อนแก่สารละลาย

แป้งที่มีอะมิโลแพกตินสูง แป้งเปือกที่ได้จะไม่มีสีใส และมีความหนืดสูง เมื่ออุณหภูมิลดลง โมเลกุลอยู่ในแบบระเกะระกะจึงรวมตัวกันยากและคืนตัวน้อย (O'Dell, 1989)

3.1 ขนาดและรูปร่างของเม็ดแป้ง

เมื่อตรวจแป้งมันสำปะหลังด้วยกล้องจุลทรรศน์ชนิดธรรมดา และชนิดใช้แสงโพลาไรส์ พบเม็ดแป้งมีขนาดตั้งแต่ 5-25 ไมโครเมตร เฉลี่ยประมาณ 20 ไมโครเมตร (Brautlech, 1953) รูปร่างของเม็ดแป้ง โดยมากเป็นรูปไข่ ปลายข้างหนึ่งตัด ผิวบริเวณที่ตัดเว้าเข้าข้างใน ส่วนใหญ่ปรากฏรอยขุมและวงแหวนบนเม็ดแป้งอย่างชัดเจน และอาจเกิดรอยแตกขึ้นในระหว่างการผลิตแป้ง เนื่องจากการล้าง การแยกแป้ง และการทำให้แห้ง แต่ส่วนใหญ่ผิวบริเวณส่วนตัดจะเรียบ (Fitt, 1984)

3.2 การพองตัวและการละลาย

แป้งจะไม่ละลายน้ำเย็น แต่จะดูดซับน้ำไว้ได้ประมาณร้อยละ 25-30 และพองตัวน้อยมากจนไม่สามารถสังเกตเห็นได้ ทั้งนี้เนื่องจากการจัดเรียงตัวกันระหว่างโมเลกุลของอะมิโลแพกตินและอะมิโลสภายในเม็ดแป้ง โมเลกุลส่วนใหญ่เป็นผลึก (crystalline) อยู่กันหนาแน่น แข็งแรงเป็นไมเซลล์ (micelle) (Leach et al., 1959) ดังนั้น จะป้องกันการกระจายตัวและไม่ละลายในน้ำเย็น ส่วนอสัณฐานซึ่งเป็นส่วนที่เกาะกันอย่างหลวมๆ ไม่เป็นระเบียบระหว่างไมเซลล์ จะมีหมู่ไฮดรอกซิลจำนวนมาก ดังนั้น จึงสามารถเกิดปฏิกิริยาการดูดน้ำได้ข้างแม้ในน้ำเย็น แต่เมื่อน้ำแป้งมีอุณหภูมิสูงขึ้นตั้งแต่ 60 องศาเซลเซียสขึ้นไป ส่วนอสัณฐานจะดูดซับน้ำได้มาก และการจับกันเองของโมเลกุลที่เริ่มคลายตัวออกจากกันจะมีการดูดซับน้ำได้ ทำให้เม็ดแป้งพองตัวเพิ่มขึ้น โมเลกุลส่วนผลึกที่เหลือเกิดสภาพคล้ายร่างแหเรียกว่า micelle network ซึ่งยึดเหนี่ยวกันไว้ทำให้เม็ดแป้งยังคงสภาพได้อยู่ แต่อาจมีโมเลกุลอะมิโลสและอะมิโลแพกตินที่มีขนาดเล็กและเป็นอิสระกระจายตัวออกมาจากเม็ดแป้งทำให้เกิดสภาพการละลายขึ้น เมื่ออุณหภูมิสูงขึ้น โมเลกุลในส่วนของผลึกที่เหลืออยู่จะคลายตัว ทำให้เม็ดแป้งพองตัวเต็มที่และแตกออกในที่สุด เกิดสภาพการละลายมาก (Swinkles, 1985) และเมื่ออุณหภูมิสูงขึ้นการพองตัวจะมากขึ้น เนื่องจากเม็ดแป้งได้รับความร้อน โมเลกุลของเม็ดแป้งแยกตัวออกจากกัน พันธะไฮโดรเจนที่มีอยู่เดิมแยกออกและเกิดพันธะไฮโดรเจนกับน้ำแทนที่ ดังนั้นการพองตัวจะเกิดเร็วหรือช้าจึงขึ้นอยู่กับความหนาแน่นของพันธะไฮโดรเจน

3.3 ช่วงอุณหภูมิเจลลาคิโนเซชัน

เมื่อนำแป้งผสมในน้ำเย็น เม็ดแป้งจะดูดซับน้ำได้ในปริมาณจำกัดปริมาณหนึ่งทำให้แป้งมีความชื้นสูงขึ้นแต่จะไม่พองตัวหรือพองน้อยมาก และสังเกตได้ยากที่อุณหภูมิห้อง ทั้งนี้ เพราะธรรมชาติในเม็ดแป้งมีการจับกันของโมเลกุลอะไมโลสและอะมิโลแพกทินในบริเวณที่เป็นผลึกหนาแน่น และแข็งแรงแต่น้ำอาจซึมเข้าไปในส่วนของโครงสร้างที่เป็นอสัณฐานของเม็ดแป้งซึ่งไม่แข็งแรงได้ นอกจากนี้ ยังมีกลุ่มไฮดรอกซิลอิสระที่สามารถจับกลุ่มกันด้วยพันธะไฮโดรเจนได้บ้าง แต่เมื่อให้ความร้อนกับสารละลายแป้งจนถึงอุณหภูมิประมาณ 60-70 องศาเซลเซียส จะมีผลทำให้การจับกันของโมเลกุลของแป้งบริเวณที่เป็นผลึกคลายตัวลง เกิดปฏิกิริยาการดูดน้ำและเกิดการพองตัวของเม็ดแป้ง สารละลายมีความหนืดและใสขึ้น ช่วงอุณหภูมินี้เรียกว่าช่วงอุณหภูมิเจลลาคิโนเซชัน (gelatinization temperature range) (Leach, 1965)

4. ปัจจัยที่มีผลต่อคุณสมบัติของฟิล์มบรีโกลได้

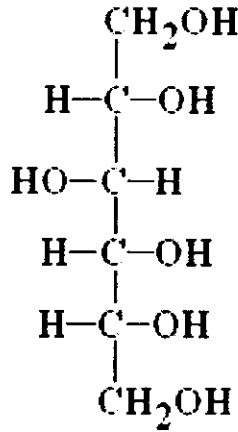
4.1 พลาสติไซเซอร์ (Plasticizer)

พลาสติไซเซอร์ (Plasticizer) ตามความหมายของ IUPAC หมายถึงสารที่เข้าไปอยู่ร่วมกับพลาสติก หรือ อีลาสโตเมอร์ (Elastomer) เพื่อช่วยเพิ่มความยืดหยุ่น ความคงทนต่อการใช้งาน และการยึดตัว แบ่งออกเป็น 2 ประเภท คือ พลาสติไซเซอร์ภายใน (Internal Plasticizer) เป็นพลาสติไซเซอร์ ที่เติมลงไปแล้วเป็นส่วนหนึ่งของพอลิเมอร์ด้วยและทำหน้าที่เป็นสารร่วมในการเกิดพอลิเมอร์ (Copolymerization) พันธะระหว่างโมเลกุลของพลาสติไซเซอร์ และพอลิเมอร์เป็นแบบโควาเลนซ์ที่ไม่แตกง่ายและพลาสติไซเซอร์ภายนอก (External Plasticizer) เป็นสารที่เติมลงไปโครงสร้างพอลิเมอร์ แรงยึดเหนี่ยวระหว่างโมเลกุลของสายพอลิเมอร์ที่อยู่ใกล้กันอ่อนลง เกิดโครงสร้างที่อ่อนตัว (Bauer และคณะ, 1981; Banker, 1986) พลาสติไซเซอร์ที่ดีต้องรวมเป็นเนื้อเดียวกับพอลิเมอร์ที่ใช้ทำฟิล์ม (Compatibility) ไม่มีสี มีจุดเดือดสูง ระเหยยาก ไม่เป็นพิษ ไม่ติดไฟ และทนต่อความร้อน (Sachrarow , 1976) หากพลาสติไซเซอร์ที่ใช้มีคุณสมบัติที่เหมาะสมจะช่วยป้องกันมิให้เกิดการแยกตัวระหว่างการทำแห้งฟิล์ม พลาสติไซเซอร์ที่นำมาใช้กับฟิล์มบรีโกลได้มีหลายประเภท ได้แก่ โมโนโค และโอลิโกแซ็กคาไรด์ พอลิแอลกอฮอล์ ลิพิด และอนุพันธ์ของลิพิด (Guilbert, 1986)

พอลิแอลกอฮอล์ (Polyols) หรือพอลิไฮดรอกซีแอลกอฮอล์ เป็นอนุพันธ์ของน้ำตาลซึ่งมีหมู่คีโตนหรือแอลดีไฮด์ (-CHO) ถูกแทนที่ด้วยหมู่ไฮดรอกซิล (-OH) พอลิแอลกอฮอล์มีคุณสมบัติคงทนต่อสารเคมีและความร้อนได้ดี ไม่สลายตัวง่าย ดูดซับและเก็บความชื้นได้ดี ละลายน้ำ มีรสหวานน้อยกว่าน้ำตาล จึงสามารถใช้กับผู้บริโภคที่เป็นโรคเบาหวานได้ การนำพอลิแอลกอฮอล์มาใช้เป็นพลาสติไซเซอร์ในฟิล์มบรีโกลได้มีหลายชนิด ที่สำคัญได้แก่

คุณหญิงหลง อรรถกระวีสุนทร

4.1.1 ซอร์บิทอล (Sorbitol) เป็นพอลิออลที่พบมากที่สุดสามารถหาได้ในธรรมชาติ เป็นพอลิออลที่มีคาร์บอน 6 อะตอม น้ำหนักโมเลกุล 182.17 มีโครงสร้างโมเลกุลดังนี้



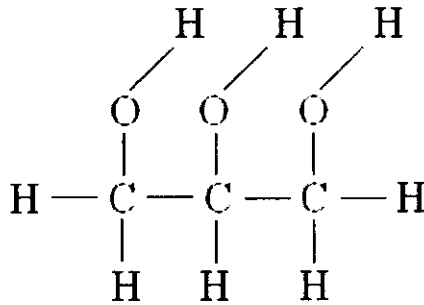
รูปที่ 2.1 โครงสร้างโมเลกุลของซอร์บิทอล

ที่มา: Le Bot และ Gouy (1995)

ซอร์บิทอลจะพบมากในผัก และผลไม้หลายชนิด เช่น แอปเปิ้ล แพร์ เชอร์รี่ เป็นต้น ในทางการค้าจะผลิตจาก D-Sorbitol จากการเร่งปฏิกิริยาเคมีไฮโดรเจนของ D-Glucose ที่ได้จากการย่อยสสารซ์ที่มีความบริสุทธิ์สูงด้วยเอนไซม์ ซอร์บิทอล เป็นผลึกสีขาวอยู่ในรูปของ γ -ซอร์บิทอล ซึ่งคงตัว (Gonze และ Rapaille, 1992) มีรสหวานน้อยกว่าน้ำตาลครึ่งหนึ่ง ละลายน้ำได้ดีสารละลายที่ได้มีความหนืดต่ำ เป็นสารทำละลายน้ำมันที่ไม่ดี เมื่อใช้ความเข้มข้นร้อยละ 3-60 สามารถรักษาความชื้นและคงลักษณะของความยืดหยุ่นไว้ได้ (Le Bot และ Gouy, 1995)

4.1.2. พอลิเอทิลีนไกลคอล (polyethylene glycon) มีสูตรทั่วไปคือ $\text{H}(\text{OCH}_2\text{CH}_2)_n\text{OH}$ โดยที่ n มีค่ามากกว่าหรือเท่ากับ 4 ปกติแล้วจะบอกค่าน้ำหนักโมเลกุลเฉลี่ยด้วย เช่น พอลิเอทิลีนไกลคอล-400 พอลิเอทิลีนไกลคอล มีลักษณะเป็นผลึกสีขาว หรืออยู่ในรูปของเหลวใส มีความความชื้นหนืด ละลายน้ำได้ให้สารละลายใส เสื่อมเสียวาก เนื่องจากเชื้อราไม่สามารถเจริญได้ มีความเป็นพิษต่ำ สำหรับพอลิเอทิลีนไกลคอล-400 มีค่า n อยู่ระหว่าง 8.2-9.1 น้ำหนักโมเลกุลเฉลี่ย 380-420 อยู่ในรูปของเหลวข้นหนืด มีกลิ่นจางๆ วัตถุประสงค์การเปลี่ยนแปลงความชื้นเล็กน้อย (Windholz, 1976) มีการศึกษาการใช้พอลิเอทิลีนไกลคอลเป็นพลาสติกไซเซอร์ในฟิล์มบริโกลได้เช่นเดียวกับพอลิออลชนิดอื่นๆ (Park และคณะ, 1993; McHugh และคณะ, 1994)

4.1.3. กลีเซอรอล (Glycerol) หรือกลีเซอริน (Glycerine) เป็นพอลิแอลกอฮอล์ที่มีคาร์บอน 3 คอม มีสูตรโมเลกุล $C_3H_8O_3$ โครงสร้างโมเลกุลดังภาพ มีน้ำหนักโมเลกุล 92 เป็นผลพลอยได้ในการผลิต สบู่และกรดไขมัน มีคุณสมบัติเป็นของเหลวที่มีความหนืด รสหวาน 0.6 เท่าของน้ำตาลผสมเป็น เนื้อเดียวกับน้ำและแอลกอฮอล์ได้ดีมาก เป็นสารทำละลายน้ำมันได้ดีพอสมควร ดูดความชื้นจาก อากาศได้ปานกลาง (Windholz, 1976) พิล์มบริโกลได้หลายชนิดใช้กลีเซอรอลเป็นพลาสติกไซเซอร์ (Mark และคณะ, 1966; มณฑาทิพย์, 2534; Mahmoud และ Saovello, 1992; Gontard และคณะ, 1993; Park และคณะ, 1993; McHugh และคณะ, 1994)



รูปที่ 2.2 โครงสร้างโมเลกุลของกลีเซอรอล

ที่มา: Windholz (1976)

4.1.4 บทบาทของพลาสติกไซเซอร์ในฟิล์มบริโกลได้

การเติมพลาสติกไซเซอร์ในระหว่างการเตรียมฟิล์มบริโกลได้นั้นใช้วิธีการละลาย โดยทั้งพลาสติกไซเซอร์และพอลิเมอร์ละลายในตัวทำละลายชนิดเดียวกัน ระหว่างการละลายมีการ กวนผสมพร้อมทั้งให้ความร้อนที่อุณหภูมิและเวลาเหมาะสมจึงนำไปขึ้นรูปเป็นแผ่นฟิล์ม จากนั้น ระเหยตัวทำละลายออกในสภาวะที่ไม่รุนแรง การใช้พลาสติกไซเซอร์ลักษณะแบบนี้เป็นแบบ ภายนอก (external) คือเมื่อเติมพลาสติกไซเซอร์ลงไปแล้วจะไปจับตัวกับพอลิเมอร์ด้วยพันธะเวเลนซีทุติยภูมิ (secondary valency) (McIlan, 1961) เกิดพันธะมีขั้วหรือพันธะไฮโดรเจนอย่างหลวมๆ ทำให้แรงระหว่างโมเลกุลของสายพอลิเมอร์ที่อยู่ใกล้กันอ่อนลงซึ่งเกิดจากสาเหตุ 2 ประการ คือ อิทธิพลของความร้อนระหว่างการเตรียมสารละลายฟิล์มทำให้พลาสติกไซเซอร์สามารถแทรกเข้าไป อยู่ระหว่างสายพอลิเมอร์ง่ายขึ้น และพันธะไฮโดรเจนหรือแรงอื่นๆระหว่างโมเลกุลของพอลิเมอร์ ถูกหักล้างไป เนื่องจากเกิดแรงดึงดูดที่แข็งแรงระหว่างพอลิเมอร์กับพลาสติกไซเซอร์ทำให้โมเลกุล ของพอลิเมอร์ไม่สามารถจับกันตัวเอง (Beerler และ Finney, 1983) ส่งผลให้ฟิล์มที่ได้มีความ ยืดหยุ่นเพิ่มขึ้น แต่การต้านของแรงดึงขาด (Tensile strength:TS) ลดลง นอกจากนี้พลังงานที่ใช้แยก สายโซ่พอลิเมอร์ที่อยู่ใกล้กันยังมีความสัมพันธ์กับพลังงานที่ไปกระตุ้นการแพร่กระจายของแก๊ส

และไอผ่านแผ่นฟิล์ม (energy of activation for diffusion = E_d) ดังนั้นเมื่อแรงดึงดูระหว่างสายโซ่ลดลงทำให้ค่า E_d ลดลง การซึมผ่านของแก๊ส และไอน้ำผ่านแผ่นฟิล์มจึงเพิ่มขึ้น (Banker, 1966)

Mark และ คณะ (1966) ศึกษาการเตรียมฟิล์มจาก amylo maize starch ซึ่งมีปริมาณอะไมโลส ร้อยละ 71 และทำการขึ้นรูปบนแผ่นกระจกเคลือบซิลิโคนแล้วนำไปทำแห้งโดยใช้ลมร้อน พบว่าฟิล์มที่ได้ทั้งที่มีการใช้กลีเซอรอลร้อยละ 16 โดยน้ำหนักและฟิล์มที่ไม่ใช้กลีเซอรอลไม่พบความแตกต่างของค่าการซึมผ่านของแก๊สออกซิเจน เมื่อทดสอบที่อุณหภูมิ 5 และ 25 องศาเซลเซียสในช่วงความชื้นสัมพัทธ์ต่ำกว่าร้อยละ 100

Park และคณะ (1993) ศึกษาผลของชนิดและความเข้มข้นของพลาสติกไซเซออร์ต่อฟิล์มเมทิลเซลลูโลส และฟิล์มไฮดรอกซีโพรพิลเมทิลเซลลูโลสใช้พลาสติกไซเซออร์ 3 ชนิด ได้แก่ พอลิเอทิลีนไกลคอล พรพิลีนไกลคอล และกลีเซอริน ที่มีความเข้มข้น 4 ระดับ คือ 0.17, 0.33, 0.50 และ 0.66 มิลลิลิตร พลาสติกไซเซออร์ต่อกรัมเซลลูโลสและควบคุมความหนาของแผ่นฟิล์มพบว่า เมื่อใช้ความเข้มข้นพลาสติกไซเซออร์เพิ่มขึ้น ค่าการต้านทานแรงดึงขาดของฟิล์มทั้งสองชนิดลดลง และการเพิ่มความเข้มข้นของพอลิเอทิลีนไกลคอลมีผลต่อการเพิ่มความยืดหยุ่นของฟิล์มมากกว่าพลาสติกไซเซออร์อีกสองชนิด ส่วนค่าคุณสมบัติในการขวางกั้นพบว่า เมื่อเพิ่มความเข้มข้นของโพรพิลีนไกลคอล ค่าการซึมผ่านของไอน้ำ และแก๊สออกซิเจนของฟิล์มทั้งสองชนิดเพิ่มขึ้น ส่วนความเข้มข้นของพอลิเอทิลีนไกลคอลไม่มีผลต่อค่าทั้งสองนี้ โดยพบว่า เมื่อใช้ความเข้มข้นจนถึง 0.33 มิลลิลิตรพลาสติกไซเซออร์ต่อกรัมเซลลูโลส ค่าการซึมผ่านของไอน้ำของฟิล์มทั้งสองชนิดเพิ่มขึ้น แต่เมื่อใช้ความเข้มข้นมากกว่านี้ค่าจะลดลง นอกจากนี้ยังพบว่าความเข้มข้นของกลีเซอรินไม่มีผลต่อค่าการซึมผ่านของออกซิเจนของฟิล์มทั้งสองชนิด

เกศศณี และคณะ (2539) ศึกษาคุณลักษณะของแผ่นฟิล์มที่ทำจากแป้งข้าวเจ้าหรือแป้งมันสำปะหลังผสมกลีเซอรอล หรือกลีเซอรินโมโนสเทียเรตในปริมาณร้อยละ 0.2, 5 และ 10 ซึ่งผ่านการดัดแปรโดยกระบวนการเอกซ์ทรูชัน พบว่า ปริมาณกลีเซอรอลที่เพิ่มขึ้นทำให้แผ่นฟิล์มมีความเรียบขึ้น แต่มีความคงทนต่อการแตกหักน้อยลง การผสมกลีเซอรินโมโนสเทียเรตในปริมาณร้อยละ 5 และ 10 ไม่ทำให้แผ่นฟิล์มมีคุณลักษณะที่ดีขึ้น ฟิล์มจากแป้งมันสำปะหลังผสมกลีเซอรอลมีลักษณะใสและยืดหยุ่นดี ส่วนฟิล์มจากแป้งข้าวเจ้าผสมกลีเซอรอลมีสีขาวขุ่น ยืดหยุ่นน้อยกว่า

4.2 ผลของความหนาต่อคุณสมบัติของฟิล์มบริโภคได้

นอกจากชนิดของพอลิเมอร์ การเตรียมฟิล์ม ชนิดและปริมาณของพลาสติกไซเซออร์ที่ใช้จะมีผลต่อคุณสมบัติของฟิล์มบริโภคได้แล้ว คุณสมบัติของฟิล์มยังขึ้นอยู่กับความหนาที่สัมพันธ์ของแผ่นฟิล์มอีกด้วย (Hagenmaire และ Shaw, 1990) ความหนาจะมีผลต่อความแข็งแรง

ในการยึดเกาะกันของฟิล์ม โดยความแข็งแรงของฟิล์มจะมีค่าคงที่แม้ว่าความหนาจะเพิ่มขึ้น มีงานวิจัยเกี่ยวกับผลของความหนามที่มีต่อคุณสมบัติต่างๆของฟิล์มดังนี้

Hagenmaire และ Shaw (1990) ศึกษาถึงความสามารถในการซึมผ่านของไอน้ำผ่านฟิล์มที่เตรียมจากกรดไขมันและไฮดรอกซีโพรพิลเซลลูโลสซึ่งมีความหนาแตกต่างกันพบว่า ฟิล์มที่มีความหนา 15.24-38.1 ไมโครเมตร มีความสามารถในการซึมผ่านของไอน้ำผ่านฟิล์มต่างกันน้อยมาก คือ มีค่าอยู่ในช่วง 3.56 ± 1.02 ถึง 5.08 ± 2.79 กรัม ไมโครเมตรต่อตารางเมตรต่อวันต่อมิลลิเมตรปรอท แต่ฟิล์มที่มีความหนา 3.81 ไมโครเมตรมีค่านี้สูงถึง 20 เท่า คือมีค่าเป็น 88.9 ± 35.56 กรัมไมโครเมตรต่อตารางเมตรต่อวันต่อมิลลิเมตรปรอท เนื่องจากฟิล์มที่บางมากเกิดการยึดตัวได้มากกว่าฟิล์มหนาในระหว่างการลอกออกจากวัสดุที่ใช้ในการขึ้นรูป

Nelson และ Fennema (1991) ทดลองใช้ฟิล์มเมทิลเซลลูโลสในการป้องกันการถ่ายเทไขมันในผลิตภัณฑ์ขนมหวานพบว่า เมื่อใช้ฟิล์มเมทิลเซลลูโลสที่มีความหนาดังกล่าวตั้งแต่ 5.08-40.64 ไมโครเมตร พบว่า เมื่อมีความหนาของฟิล์มลดลงค่าความสามารถในการซึมผ่านของน้ำมันถั่วลิสงเฉลี่ยและค่าความแปรปรวนเพิ่มขึ้น เนื่องจากความไม่สมบูรณ์ (imperfections) ของฟิล์มมากขึ้น และเมื่อฟิล์มหนาขึ้น จำนวนรูในฟิล์มจะลดลง นอกจากนี้เมื่อดูด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนชนิดกราดลำแสงพบว่า ฟิล์มที่มีความหนามากผิวฟิล์มยังมีผลต่อการยอมรับทางประสาทสัมผัสอีกด้วย

Martin-Polo และคณะ (1992) ทดสอบอิทธิพลของความหนาของฟิล์มต่ออัตราการซึมผ่านของไอน้ำ (water vapor transmission rate, WVTR) และค่าการซึมผ่านของไอน้ำ (water vapor permeability, WVP) โดยเตรียมฟิล์มจากการจุ่ม (dipping) เซลโลเฟนหรือกระดาษกรองที่มีเส้นผ่านศูนย์กลาง 3.5 เซนติเมตร ลงในไขพาราฟินหลอมเหลว หรือน้ำมันพาราฟินเป็นเวลา 30 วินาที ส่วนค่าการซึมผ่านไอน้ำมีค่าคงที่ ส่วนฟิล์มจากน้ำมันพาราฟิน เมื่อความหนาของฟิล์มน้อยกว่า 80 ไมโครเมตร ค่าอัตราการซึมผ่านของไอน้ำเพิ่มขึ้น แต่เมื่อความหนาเป็น 80-140 ไมโครเมตร ค่าอัตราการซึมผ่านของไอน้ำและค่าการซึมผ่านของไอน้ำค่อนข้างคงที่ ซึ่งอธิบายได้ว่าเมื่อฟิล์มบางลงกว่า 80 ไมโครเมตรชั้นของน้ำมันพาราฟินไม่สม่ำเสมอ จึงเกิดการซึมผ่านของไอน้ำง่ายขึ้น

Mahmoud และ Savello (1992) ศึกษาเกี่ยวกับคุณสมบัติทางกลและคุณสมบัติการซึมผ่านของไอน้ำของฟิล์มโพรตีนเวย์และรายงานว่ ความหนาของฟิล์มมีผลต่อความแข็งแรงของฟิล์มและการส่งผ่านของไอน้ำผ่านฟิล์ม โดยความหนาของฟิล์มจะควบคุมได้ด้วยความเข้มข้นของโพรตีนเวย์ในสารละลายและพื้นที่ในการขึ้นรูป

Park และคณะ (1993) พบว่าเมื่อความหนาของฟิล์มเมธิลเซลลูโลสเพิ่มขึ้นจาก 45.72-106.68 ไมโครเมตร ส่งผลให้ค่าการต้านทานแรงดึงขาด และค่าความสามารถในการซึมผ่านไอน้ำลดลง ขณะที่ค่าการซึมผ่านแก๊สออกซิเจนคงที่ ส่วนร้อยละของการบีดตัวเมื่อขาดเพิ่มขึ้นเล็กน้อย

McHugh และคณะ (1994) รายงานผลของความหนาต่อความสามารถในการซึมผ่านของไอน้ำผ่านฟิล์มบริโกลไดซ์ชนิดมีขี้ผึ้ง (Hydrophillic edible film) พบว่า กราฟความสัมพันธ์ระหว่างความหนาของฟิล์มโซเดียมเคซีเนด กับความสามารถในการซึมผ่านของไอน้ำเป็นเส้นตรงที่มีความชันเป็นบวก เนื่องจากเมื่อฟิล์มมีความหนาเพิ่มขึ้นความทนต่อการเคลื่อนย้ายมวลสารผ่านแผ่นฟิล์มมีมากขึ้น ดังนั้นความสมดุลของความดันไอย่อยได้ผิวฟิล์มจึงมีค่าเพิ่มขึ้น ทำให้ค่าความชื้นสัมพัทธ์ได้ผิวฟิล์มมีค่าเพิ่มขึ้น ส่งผลให้ค่าการซึมผ่านของไอน้ำเพิ่มขึ้นด้วย

Cuq และคณะ (1996) ศึกษาอิทธิพลของความหนาที่มีต่อคุณสมบัติทางหน้าที่ของฟิล์มจากไมโอไฟบริลลาโปรตีนของปลา พบว่า ความหนาไม่มีอิทธิพลต่อความขุ่นของฟิล์มร้อยละของการละลายน้ำได้ การบีดตัวที่จุดขาด และสัมประสิทธิ์การคลายตัว แต่ความหนาที่เพิ่มขึ้นเป็นสัดส่วนโดยตรงกับแรงที่จุดขาดของฟิล์ม