แนวคิด ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

เงาะ

ปริมาณการผลิตเงาะ

เงาะเป็นไม้ผลเมืองร้อน มีถิ่นกำเนิดอยู่แถบหมู่เกาะมลายู ได้แก่ มาเลเซีย อินโดนีเซีย ต่อมามีการกระจายพันธุ์ออกไปยังประเทศต่าง ๆ อย่างกว้างขวาง เช่น ฟิลิปปินส์ สิงคโปร์ พม่า ศรีลังกา และไทย อีกทั้งยังมีการแพร่กระจายไปยังประเทศในแถบอเมริกากลางด้วย การกระจายพันธุ์ของเงาะเข้ามาในประเทศไทยนั้นมีหลักฐานว่าได้รับพันธุ์มาจากประเทศมาเลเซีย ซึ่งประเทศไทยนับว่าเป็นแหล่งผลิตเงาะที่สำคัญแห่งหนึ่งของโลก โดยมีแหล่งปลูกที่สำคัญคือ จังหวัดจันทบุรี ตราด ระยอง นครศรีธรรมราช สุราษฎร์ธานี พังงา พัทลุง นราธิวาส น่าน เชียงราย (สมเกียรติ เสริมภักดี. 2547 : 8) จากตาราง 1 แสดงพื้นที่ปลูกและผลผลิตเงาะ รวมทั้งประเทศ และจังหวัดที่สำคัญ ปี 2557 - 2559 ซึ่งพบว่า ปี 2559 ประเทศไทยมีพื้นที่ปลูกเงาะจำนวน 283,709 ไร่ จังหวัดที่มีพื้นที่ปลูกมากที่สุด ได้แก่ จังหวัดจันทบุรี มีพื้นที่ปลูกเงาะจำนวน 76,127 ไร่ รองลงมาคือจังหวัดตราด และจังหวัดนครศรีธรรมราช มีพื้นที่ปลูกจำนวน 50,865 ไร่ และ 33,744 ไร่ ตามลำดับ ปริมาณผลผลิต ประเทศไทยมีปริมาณผลผลิตเงาะรวม 214,474 ตัน จังหวัดที่มีผลผลิตเงาะมากที่สุด ได้แก่ จังหวัดจันทบุรี มีปริมาณผลผลิตเงาะรวม 72,585 ตัน รองลงมาคือจังหวัดตราด และจังหวัดสุราษฎร์ธานี มีปริมาณผลผลิตเงาะรวม 54,382 ตัน และ 31,060 ตามลำดับ

ตาราง 1 พื้นที่ปลูก และผลผลิตเงาะ รวมทั้งประเทศ และจังหวัดที่สำคัญ ปี 2557 - 2559

จังหวัด	พื้นที่ปลูก (ไร่)			ผลผลิต (ตัน)		
	2557	2558	2559	2557	2558	2559
รวมทั้งประเทศ	299,010	292,738	283,709	322,748	313,870	214,474
จันทบุรี	84,629	80,107	76,127	138,520	125,160	72,585
ตราด	49,932	51,429	50,865	76,009	76,853	54,382
นครศรีธรรมราช	34,948	34,228	33,744	19,906	18,459	15,754
สุราษฎร์ธานี	34,188	33,396	32,930	23,722	37,401	31,060
นราธิวาส	27,825	27,231	26,835	11,433	8,834	8,390
ระยอง	9,631	9,558	8,907	14,928	13,950	8,593
น่าน	4,326	6,443	6,695	2,819	3,969	3,548

ลิขสิทธิ์ของมหาวิทยาลัยราชภัฏรำไพพรรณี

ตาราง 1 (ต่อ)

จังหวัด	พื้นที่ปลูก (ไร่)			ผลผลิต (ตัน)		
	2557	2558	2559	2557	2558	2559
เชียงราย	6,148	6,227	5,968	8,296	6,525	2,476
พังงา	5,618	5,487	5,409	2,888	2,650	2,252
พัทลุง	6,368	5,261	5,255	1,673	1,746	1,552

ที่มา : สำนักงานเศรษฐกิจการเกษตร. 2560 : 70

ลักษณะทั่วไปของเงาะ

เงาะมีชื่อวิทยาศาสตร์ว่า *Nephelium lappaccum* Linn. มีชื่อสามัญว่า Rambutan สามารถพบเงาะได้ในภาคตะวันออก ได้แก่ จังหวัดจันทบุรี จังหวัดตราด และจังหวัดระยอง ในภาคใต้ ได้แก่ จังหวัดสุราษฎร์ธานี จังหวัดนครศรีธรรมราช จังหวัดนราธิวาส จังหวัดพัทลุง และจังหวัดพังงา

ลักษณะทั่วไปของเงาะ มีลำต้นตั้งตรง สูงประมาณ 14 - 25 เมตร ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางลำต้นประมาณ 40 - 60 เซนติเมตร (สมเกียรติ เสริมภักดี. 2547 : 8) มีการแตกกิ่งก้านสาขาย่อยจำนวนมาก เปลือกสีเทาอมน้ำตาลเข้ม กิ่งมีขนาดเล็กสีน้ำตาลอมแดงคล้ำ มีรอยเหี่ยวละเอียดรอบ ๆ ต้น (นฤมล มานิพพาน. 2549 : 18) ดังภาพประกอบ 1

ใบเงาะเป็นใบรวม ใบยาวประมาณ 10 - 15 เซนติเมตร กว้างประมาณ 5 - 8 เซนติเมตร ใบมีลักษณะคล้ายโล่ (สมเกียรติ เสริมภักดี. 2547 : 8) มีจำนวนใบย่อยประมาณ 2 - 4 คู่ ก้านใบมีขนาดใหญ่ ลักษณะกลมสีน้ำตาลอมแดง ฐานก้านใบหนา ในใบอ่อนจะมีขน รูปร่างเป็นรูปไข่หัวกลับ ฐานแหลม ปลายมน ขอบใบเรียบ สีเขียวอมเหลือง มีเส้นกลางใบขนาดใหญ่ สามารถมองเห็นทั้งหน้าใบและหลังใบได้อย่างชัดเจนจำนวนประมาณ 6 - 15 คู่ (นฤมล มานิพพาน. 2549 : 19) ดังภาพประกอบ 2

ดอกของเงาะเกิดเป็นช่อบริเวณปลายกิ่งและตามซอกใบ ลักษณะช่อดอกตั้งตรงและแตกแขนงเป็นกลุ่มย่อย ๆ มีสีนวลอ่อน ๆ ในแต่ละต้นจะมีช่อหลายประเภททั้งดอกสมบูรณ์เพศและดอกไม่สมบูรณ์เพศ (นฤมล มานิพพาน. 2549 : 19) ดังภาพประกอบ 3

ผลของเงาะจะเกิดรวมกันอยู่เป็นช่อติดอยู่บนก้านช่อดอก ผลเงาะมีลักษณะค่อนข้างกลมรี มีสีต่างกัน เช่น แดง ชมพู เหลือง เหลืองปนแดง ผลมีขนาดไม่ใหญ่มากนัก คือ มีความยาวประมาณ 3.5 - 8 เซนติเมตร กว้างประมาณ 2 - 5 เซนติเมตร บริเวณรอบ ๆ ผล จะมีขนยาวบ้างสั้นบ้าง ขนยาว

ลิขสิทธิ์ของมหาวิทยาลัยราชภัฏรำไพพรรณี

ประมาณ 0.5 - 1.8 เซนติเมตร ขนมีสีเดียวกันกับสีผิวผล เปลือกหนาพอสมควรดังภาพประกอบ 4 เนื้อในจะอ่อนนุ่ม สีขาวใสหรืออมเหลืองอ่อน มีกลิ่นเฉพาะตัว รสหวาน หวานอมเปรี้ยว หรือเปรี้ยวอมหวานแตกต่างกันไปตามสายพันธุ์ (สมเกียรติ เสริมภักดี. 2547 : 10) ดังภาพประกอบ 5

เมล็ดเงาะมีลักษณะแบน ยาว รี มีสีน้ำตาลอ่อน บางพันธุ์เมล็ดติดแน่นกับเนื้อ แต่บางพันธุ์เมล็ดล่อน (นฤมล มานิพพาน. 2549 : 19) ดังภาพประกอบ 6

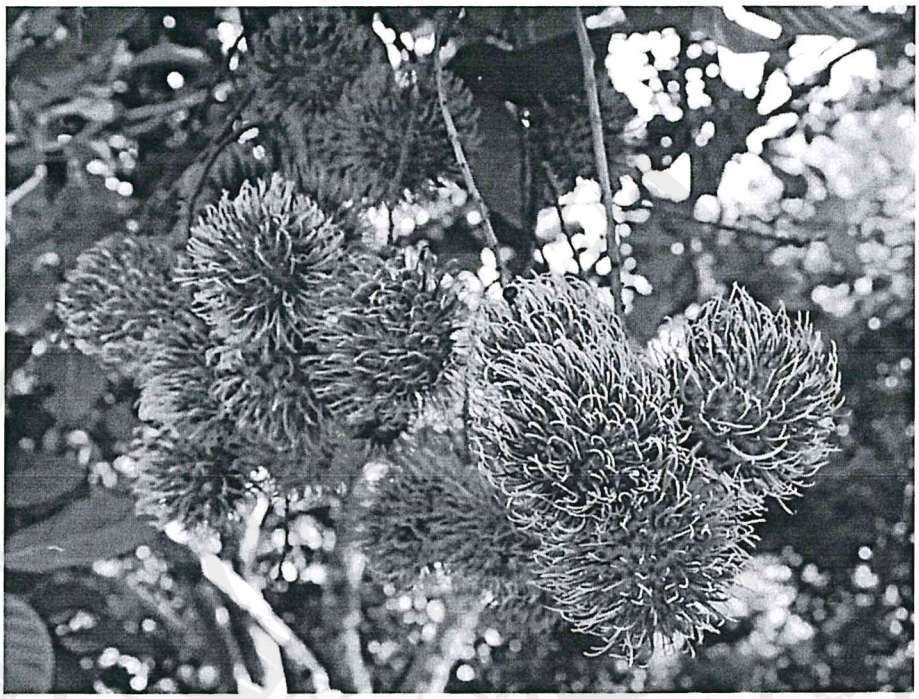
ภาพประกอบ 1 ลักษณะของต้นเงาะ
ที่มา : พณิตา สุโข. 2557 : 7

ลิขสิทธิ์ของมหาวิทยาลัยราชภัฏรำไพพรรณี

ภาพประกอบ 2 ลักษณะของใบเงาะ

ภาพประกอบ 3 ลักษณะของดอกเงาะ

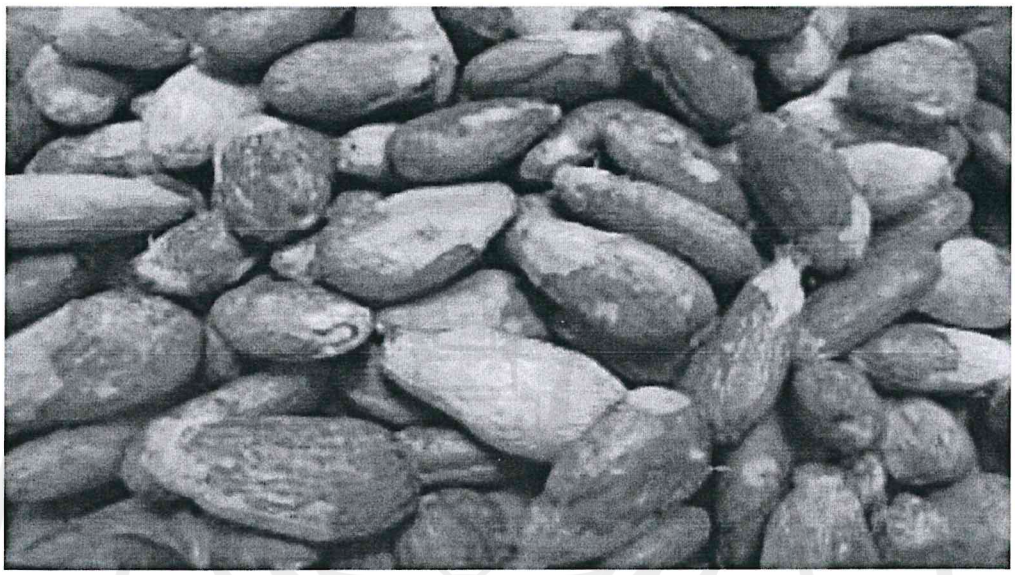
ลิขสิทธิ์ของมหาวิทยาลัยราชภัฏรำไพพรรณี



ภาพประกอบ 4 ลักษณะของผลเงาะ
ที่มา : พณิตา สุโข. 2556 : 7

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยราชภัฏรำไพพรรณี

ภาพประกอบ 5 ลักษณะของเนื้อเงาะ
ที่มา : พณิตา สุโข. 2556 : 8



ภาพประกอบ 6 ลักษณะของเมล็ดเงาะ
ที่มา : วิมลศรี พรรธนประเทศ และคณะ. 2555 : 518

เงาะเป็นผลไม้เขตร้อนประเภทไม่เกิดการสุกหลังการเก็บเกี่ยวจากต้น (Non Climacteric) มีอายุหลังการเก็บเกี่ยวสั้นเช่นเดียวกับผลไม้เขตร้อนหลายชนิด โดยมีอายุการเก็บรักษาหลังการเก็บเกี่ยวประมาณ 3 - 4 วัน และมีลักษณะการเสื่อมเสีย คือ เปลือกจะแห้งเปลี่ยนเป็นสีน้ำตาลและดำ เนื้อผลเละและมีน้ำไหลเยิ้ม การเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 12 - 13 องศาเซลเซียส ความชื้นสัมพัทธ์ร้อยละ 90 - 95 สามารถยืดอายุการเก็บรักษาได้ประมาณ 2 - 3 สัปดาห์ (จริงแท้ ศิริพานิช. 2550 : 17) ระพีพรรณ ใจภักดี (2544 : 12) รายงานว่าในเงาะ 100 กรัม มีพลังงานและคุณค่าทางโภชนาการดังตาราง 2

ลิขสิทธิ์ของมหาวิทยาลัยราชภัฏรำไพพรรณี

ตาราง 2 คุณค่าทางโภชนาการของเงาะ 100 กรัม

พลังงานและคุณค่าทางโภชนาการ	ปริมาณ
พลังงาน (Energy)	64 แคลิรี่ (Calories)
ไขมัน (Fat)	0.1 กรัม (gm.)
คาร์โบไฮเดรต (Carbohydrate)	16.5 กรัม (gm.)
เส้นใย (Fiber)	1.1 กรัม (gm.)
โปรตีน (Protein)	1.0 กรัม (gm.)
แคลเซียม (Calcium)	20 มิลลิกรัม (mg.)
ฟอสฟอรัส (Phosphorus)	15 มิลลิกรัม (mg.)
เหล็ก (Iron)	1.9 มิลลิกรัม (mg.)
วิตามินบี 1 (Vitamin B1)	0.01 มิลลิกรัม (mg.)
วิตามินบี 2 (Vitamin B2)	0.06 มิลลิกรัม (mg.)
วิตามินซี (Vitamin C)	53 มิลลิกรัม (mg.)

ที่มา : ระพีพรรณ ใจภักดี. 2544 : 12

แบคทีเรีย *Acetobacter xylinum*

ลักษณะทั่วไป

ในสิ่งแวดล้อมตามธรรมชาติ จุลินทรีย์สามารถสร้างเยื่อธรรมชาติ (Biomasfilms) เช่น เซลลูโลส เพื่อประโยชน์ในการดำรงชีวิต (Watnick and et al. 2000 : 2675 - 2679) ช่วยป้องกันตนเองจากอันตรายต่าง ๆ ภายนอกที่ไม่เหมาะสมต่อการดำรงชีวิต (Costerton and et al. 1999 : 1318 - 1322) และจุลินทรีย์หลายชนิดสามารถสังเคราะห์เซลลูโลสได้ เช่น สาหร่าย เช่น *Valonia* sp. รา เช่น *Saprolegnia* sp., *Dictystelium* sp., *Discoideum* sp. และแบคทีเรีย เช่น *Acetobactor* sp., *Achromobacter* sp., *Agrobacterium* sp., *Pseudomonas* sp. แต่ไม่ใช่จุลินทรีย์ทั้งหมดที่สามารถปลดปล่อยเซลลูโลสที่สังเคราะห์ออกมาในลักษณะเส้นใยสู่ภายนอกเซลล์ได้ *Acetobacter xylinum* เป็นแบคทีเรียที่สามารถสังเคราะห์เซลลูโลสแล้วปลดปล่อยเส้นใยเซลลูโลสออกสู่นอกเซลล์ได้ เป็นสายพันธุ์ที่มีการศึกษาวิจัยเกี่ยวกับการสังเคราะห์เซลลูโลสมากกว่าจุลินทรีย์ชนิดอื่น ๆ เนื่องจากเป็นจุลินทรีย์ที่ให้ผลผลิตเซลลูโลสที่มีความบริสุทธิ์สูง ปราศจากลิกนิน เพคติน หรือเฮมีเซลลูโลส เซลลูโลสที่สังเคราะห์ได้ไม่มีความเป็นพิษ ไม่ก่อให้เกิดโรค และมีลักษณะโครงสร้างที่ดี คือ เส้นใยเซลลูโลสเป็นสายยาว ใช้เวลาในการสังเคราะห์เซลลูโลสในเวลาสั้น

มีคุณสมบัติเชิงกล เช่น ค่าความแข็งแรงดึง (Tensile strength) และค่าสภาพการยืดหยุ่น (Modulus) ที่สูง และเมื่อเปรียบเทียบกับเซลลูโลสจากพืช พบว่ามีค่าความสามารถในการอุ้มน้ำ (Water Holding Capacity) และค่าความเป็นผลึก (Crystallinity) สูงกว่าเซลลูโลสจากพืช เซลลูโลสจากแบคทีเรียจึงถูกนำมาประยุกต์ใช้ในประโยชน์ในด้านต่าง ๆ อย่างกว้างขวาง เช่น อาหาร ผลิตเป็นกระดาษที่มีความแข็งแรง ผลิตเป็นอะคูสติกไดอะเฟรมในไมโครโฟน และหูฟัง รวมทั้งนำมาประยุกต์ในด้านการแพทย์ เช่น แผ่นปิดแผล หลอดเลือดเทียม ผิวหนังเทียม และเป็นโครงร่างให้แก่การเพาะเลี้ยงเนื้อเยื่อในวิศวกรรมเนื้อเยื่อ (Czaja and et al. 2007 : 1 - 12, Fontana and et al. 1997 : 327 - 338, Wan and et al. 2006 : 1825 - 1832, Wan and et al. 2007 : 855 - 864) แต่ทั้งนี้ลักษณะของเซลลูโลสที่ได้นั้นขึ้นกับชนิดสารเคมีหรือสารอาหารที่จุลินทรีย์ใช้ในการเจริญเติบโตด้วยเช่นกัน (George and et al. 2005 : 189 - 194)

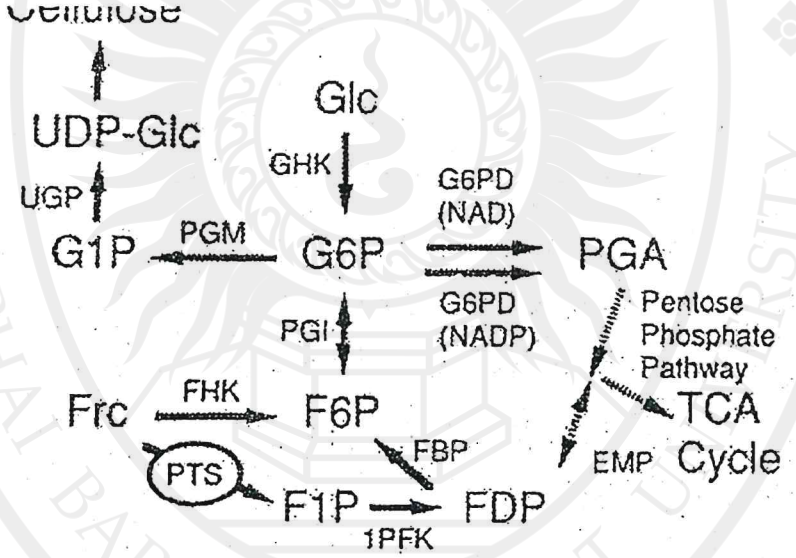
A. xylinum เป็นเชื้อแบคทีเรียในกลุ่ม Acetic Acid Bacteria มีลักษณะเซลล์เป็นแท่ง (Rod) ตรงหรือโค้งเล็กน้อย มีขนาดประมาณ 0.6 - 0.8 ไมครอน x 1.0 - 1.4 ไมครอน พบเป็นเซลล์เดียว เป็นคู่ หรือเป็นสาย เซลล์เคลื่อนที่หรือไม่เคลื่อนที่ก็ได้ โดยอาศัยแฟลกเจลลา (Flagella) ชนิด Peritrichious หรือ Lateval ในการเคลื่อนที่ ไม่พบการสร้างเอนโดสปอร์ (Endospore) เซลล์ย้อมติดสีแกรมลบ แต่เมื่ออายุมากขึ้นอาจย้อมติดได้ทั้งแกรมบวกและลบ ต้องการอากาศในการเจริญ (Obligately Aerobic) โคโลนีมีสีซีดจาง ส่วนใหญ่ไม่มีการสร้างเม็ดสี ผลิตเอนไซม์คาตาเลสได้ สามารถออกซิไดส์เอทานอลให้เป็นกรดอะซิติกได้ และบางชนิดสามารถออกซิไดส์กรดอะซิติกให้เป็นคาร์บอนไดออกไซด์กับน้ำต่อไปได้ เรียกว่าการเกิดโอเวอร์ออกซิเดชั่น (Over Oxidation) สามารถใช้แหล่งคาร์บอนได้หลายชนิดสำหรับการเจริญ อุณหภูมิที่เหมาะสมสำหรับการเจริญอยู่ในช่วง 25 - 30 องศาเซลเซียส พีเอชที่เหมาะสมอยู่ในช่วง 5.4 - 6.3 สามารถพบได้ในธรรมชาติโดยเฉพาะในพืชผัก ผลไม้ ที่สามารถเกิดการหมักเป็นแอลกอฮอล์ได้ ลักษณะเด่นของ *A. xylinum* คือ สามารถผลิตเซลลูโลสได้ โดยในชั้นแรก กลูโคสจะถูกเปลี่ยนในอยู่ในรูปที่ต่อกันเป็นสายพอลิกลูโคแซน แล้วจึงถูกส่งออกนอกเซลล์ในขั้นที่สองและการพอลิเมอร์ไรซ์ก็จะดำเนินต่อไปเป็นสายของเซลลูโลสที่มีลักษณะโครงสร้างที่แข็งแรง และมีการเรียงตัวอย่างเป็นระเบียบ (De Ley, Sning and Gossele. 1984 : 276 - 278)

ชีวเคมีและลักษณะทางกายภาพของการผลิตเซลลูโลสโดย *Acetobacter xylinum*

A. xylinum สามารถใช้แหล่งคาร์บอนได้หลายชนิดในการผลิตเซลลูโลส เช่น น้ำตาลโมเลกุลเดี่ยว น้ำตาลโมเลกุลคู่ พอลิแซคคาไรด์ น้ำตาลแอลกอฮอล์ กรดอินทรีย์ เป็นต้น โดยสารเหล่านี้จะถูกเปลี่ยนให้เป็นสารตัวกลาง (Intermediate) คือ กลูโคส-6-ฟอสเฟต (Glucose-6-Phosphate : G6P) โดยการผ่านเข้าสู่ตอนใดตอนหนึ่งของวิถีเมตาบอลิซึมหลักของเชื้อ อันได้แก่

วิถีเพนโตสฟอสเฟต (Pentose Phosphate Pathway) วัฏจักรกรดซิตริก หรือ วัฏจักรเครบส์ (Kreb's Cycle) กระบวนการไกลโคไลซิส (Glycolysis หรือ Embden-Meyerhof Parnas Pathway) และกระบวนการสร้างกลูโคส (Gluconeogenesis) เป็นต้น (Ross and et al. 1991 : 35 - 38)

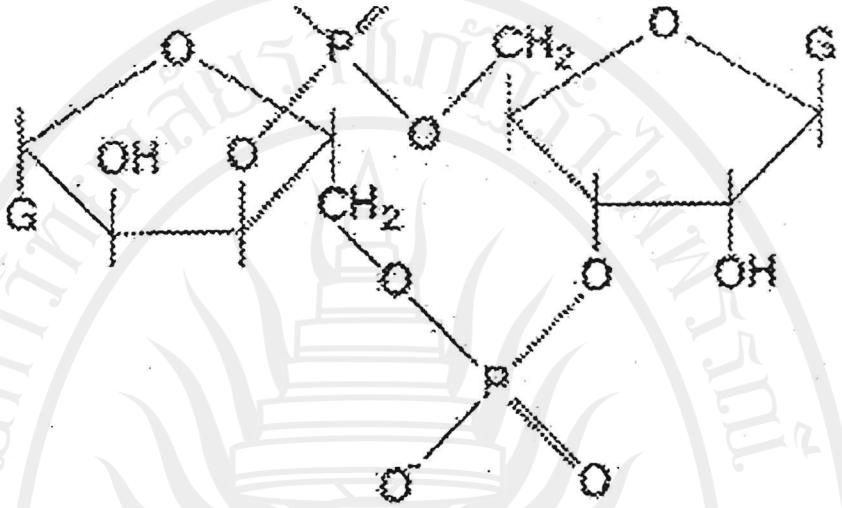
G6P จะถูกเปลี่ยนเป็นกลูโคส-1-ฟอสเฟต (Glucose-1-Phosphate : G1P) ด้วยเอนไซม์ฟอสโฟกลูโคมิวเตส (Phosphoglucomutase : PGM) และ G1P จะถูกเปลี่ยนเป็นต่อให้เป็นยูริดีนไดฟอสโฟกลูโคส (Uridinediphosphoglucose : UDP-glucose) ซึ่งเป็นสารตั้งต้นสำหรับกระบวนการสร้างเซลลูโลสด้วยเอนไซม์ยูริดีนไดฟอสโฟฟอสโฟรีเลส (UDP-glucosepyrophosphorylase : UGP) UDP-glucose จะถูกนำมาต่อกันเป็นสายเซลลูโลสโดยการทำงานของ Cellulose Synthase ที่อยู่บริเวณพลาสมาเมมเบรน (Plasma Membrane) ของเซลล์ (Yoshinaga and et al. 1997 : 219 - 224) เส้นทางการสังเคราะห์เซลลูโลสของ *A. xylinum* ดังภาพประกอบ 7



ภาพประกอบ 7 เส้นทางการสังเคราะห์เซลลูโลสของ *Acetobacter xylinum*
ที่มา : Yoshinaga and et al. 1997 : 219 - 224

โดยปกติ เอนไซม์เซลลูโลสซินเทส (Cellulose Synthase) จะอยู่ในรูป Non-activated Cellulose Synthase ซึ่งจะถูกกระตุ้นให้เปลี่ยนเป็น Activated Cellulose Synthase และเกิดการทำงานได้โดย Cycle Diguanylic Acid Monophosphate (c-di-GMP) ที่สร้างจาก GTP 2 โมเลกุล โดยเอนไซม์ Diguanylate Cyclase c-di-GMP เป็นสารตัวสำคัญที่มีบทบาทควบคุมการสังเคราะห์เซลลูโลสใน *A. xylinum* ในการศึกษาแบบ in vitro พบว่าการเติม c-di-GMP เข้าไปในระบบเพียง

เล็กน้อยเท่านั้นก็สามารถกระตุ้นให้เกิดการสร้างเซลลูโลสได้ถึง 50 - 200 เท่า (Valla. 1995 : 471 - 494) โครงสร้างของ c-di-GMP ดังภาพประกอบ 8



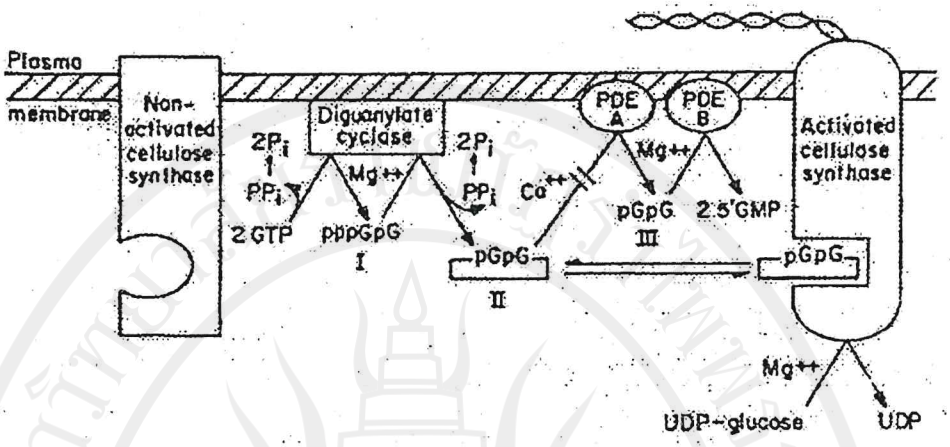
ของ c-di-GMP

ภาพประกอบ 8 โครงสร้างของ c-di-GMP

ที่มา : Valla. 1995 : 471 - 494

อย่างไรก็ตามพบว่า c-di-GMP จะกระตุ้นการทำงานของเอนไซม์เซลลูโลสซินเทสได้ก็ต่อเมื่อภายในระบบมีแคลเซียมอิออน (Ca^{2+} ion) ในปริมาณมากเพียงพอที่จะยับยั้งการทำงานของ Phosphodiesterase A (PDE A) ได้ PDE A ทำหน้าที่เป็น Negative Regulator ต่อการสังเคราะห์เซลลูโลส ตรงข้ามกับ c-di-GMP ที่เป็น Positive Regulator PDE A จะทำให้ c-di-GMP เปลี่ยนเป็น pGpG (di-GMP) ซึ่งเป็น Linear Molecule ในขณะที่ PDE B จะเปลี่ยน pGpG ต่อให้เป็น GMP 2 โมเลกุล (Ross and et al. 1991 : 35 - 38) โมเดลระบบควบคุมการสังเคราะห์เซลลูโลสใน *A. xylinum* ดังภาพประกอบ 9

ลิขสิทธิ์ของมหาวิทยาลัยราชภัฏรำไพพรรณี



ภาพประกอบ 9 โมเดลระบบควบคุมการสังเคราะห์เซลลูโลสใน *Acetobacter xylinum*
ที่มา : Ross and et al. 1991 : 35 - 38

เมื่อเลี้ยง *A. xylinum* ในอาหารเหลวที่มีน้ำตาลเป็นส่วนประกอบในการหมักแบบวางนิ่ง ในวันแรกเชื้อจะใช้ออกซิเจนที่ละลายอยู่ในอาหารเหลวสร้างสายเซลลูโลส (Insoluble Polyglucosan Chain) และปล่อยออกมาภายนอกเซลล์ เมื่อสายเซลลูโลสดังกล่าวมีจำนวนมากขึ้นก็จะสานและรวมตัวกันจนเห็นเป็นเส้นใยสีขาวขุ่นที่ค่อยๆ ลอยขึ้นสู่ผิวหน้าของอาหารเลี้ยงเชื้อ ในขณะนี้อาหารเหลวจะขุ่นและยังไม่ปรากฏแผ่นวุ้นบนผิวหน้าของอาหาร จากนั้นวันที่ 2 ของการเลี้ยง อาหารเหลวจะเริ่มใสขึ้นและเส้นใยดังกล่าวจะเริ่มสานตัวกันเกิดเป็นร่างแหของเซลลูโลสที่มีลักษณะเป็นแผ่นวุ้นเซลลูโลสสีขาวขุ่นลอยบนผิวหน้าของอาหารเหลว เนื่องจาก *A. xylinum* เป็นแบคทีเรียที่ต้องการออกซิเจนในการเจริญและการที่อาหารเหลวมีความใสขึ้นในเวลาเดียวกันกับการปรากฏของแผ่นวุ้นเซลลูโลสที่บริเวณผิวหน้าของอาหารเหลว จึงเกิดข้อสันนิษฐานว่าแผ่นวุ้นดังกล่าวทำหน้าที่พาเซลล์แบคทีเรียขึ้นสู่ผิวหน้าของอาหารเลี้ยงเชื้อซึ่งมีความเข้มข้นของออกซิเจนสูงกว่า โดยอาศัยฟองก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ที่เกิดจากกระบวนการเมตาบอลิซึมของแบคทีเรียและถูกกักเก็บไว้ในโครงสร้างที่เป็นร่างแหของแผ่นวุ้น (Schramm and Hestrin. 1954 : 123 - 129) จากการทดลองของชรัม และเฮสทริน (Schram and Hestrin. 1954 : 123 - 129) พบว่าเชื้อจะสร้างชั้นของแผ่นวุ้นใหม่ขึ้นบนแผ่นวุ้นด้านที่สัมผัสกับอากาศ และชั้นของแผ่นวุ้นเก่าจะจมลงสู่ด้านล่าง

ฟิล์ม

ความหมายของฟิล์ม

ฟิล์ม หมายถึง วัสดุแผ่นบางมีความหนาน้อยกว่า 250 ไมโครเมตร (0.01 นิ้ว หรือ 10 มิลลิเมตร) ถ้าฟิล์มมีความหนาเท่ากับหรือมากกว่า 250 ไมโครเมตร เรียกว่า ชีต (Sheet) ฟิล์มบริโภคได้ (Edible Film) หมายถึง วัสดุแผ่นบางที่นำมาใช้กับอาหาร โดยเคลือบผิวของอาหารโดยตรงหรือเตรียมแผ่นฟิล์มขึ้นมาก่อนแล้วจึงนำมาใช้กับอาหาร โดยมีวัตถุประสงค์เพื่อป้องกันหรือชะลอการผ่านเข้าออกของก๊าซ ไอน้ำ ไอระเหย สารละลาย จุลินทรีย์ หรือ สารอื่น ๆ (Guibert. 1986 : 371 - 394) โดยทั่ว ๆ ไป คำว่า ฟิล์มหรือสารเคลือบไม่มีความแตกต่างกันอย่างชัดเจน การเคลือบเป็นการนำเอาสารมาเคลือบกับพื้นผิวของผลิตภัณฑ์โดยตรง แต่การใช้ฟิล์มจะต้องมีการผลิตแผ่นฟิล์มขึ้นก่อนแล้วจึงนำไปใช้กับผลิตภัณฑ์ (มณฑาทิพย์ ยุ่นฉลาด. 2535 : 1 - 6) สารที่ใช้ทำฟิล์มบริโภคได้มีหลายชนิด เช่น พอลิแซคคาไรด์ (Polysaccharide) โปรตีน (Protein) ลิพิด (Lipid) และฟิล์มประกอบ (Composite Film) (Kester and Fernem. 1986 : 47 - 49 ; Krochta and De Mulder-Johnston. 1997 : 61 - 74 ; Gennadios and et al. 1997 : 337 - 350 ; Debeaufort and et al. 1998 : 299 - 313) ฟิล์มที่เตรียมขึ้นอาจใช้สารชนิดเดียว หรืออาจใช้สารหลายชนิดรวมกัน โดยนำคุณลักษณะเด่นของสารแต่ละชนิดมาใช้ประโยชน์ (มณฑาทิพย์ ยุ่นฉลาด. 2535 : 1 - 6 ; Guibert. 1986 : 371 - 394) ในการใช้ฟิล์มใดในการห่อหุ้ม หรือเคลือบนั้นขึ้นอยู่กับวัตถุประสงค์ของการใช้งานและคุณสมบัติทางเคมีและทางกายภาพของฟิล์ม โดยเฉพาะโปรตีนและพอลิแซคคาไรด์ทำให้ฟิล์มสามารถป้องกันการซึมผ่านของก๊าซออกซิเจนได้ดี แต่ป้องกันการซึมผ่านของไอน้ำได้ไม่ดี (Maynes and Krochta. 1994 : 909 - 911 ; Stuchell and Krochta. 1995 : 28 - 31) ฟิล์มจากพอลิแซคคาไรด์ โปรตีน และลิพิด สามารถยืดระยะเวลาการเก็บรักษาอาหาร โดยทำหน้าที่ขวางกั้นสารละลาย ก๊าซ และไอระเหย (Gennadios and et al. 1997 : 337 - 350) นอกจากนี้ยังช่วยรักษาคุณภาพของอาหารหลังจากมีการเปิดบรรจุภัณฑ์ โดยการป้องกันการเปลี่ยนแปลงความชื้น การเข้าทำปฏิกิริยาของออกซิเจน และการสูญเสียกลิ่น และป้องกันการเสื่อมเสียของผลิตภัณฑ์อาหาร โดยป้องกันการเกิดสีน้ำตาล (Lee and et al. 2003 : 99 - 106) ชะลอการระเหยของน้ำ ยับยั้งการหายใจ ปรับปรุงคุณภาพของเนื้อสัมผัส ช่วยรักษากลิ่นสารประกอบที่ระเหยง่าย และลดการเจริญเติบโตของจุลินทรีย์ (Kester and Fernnerma, 1986 : 47 - 49 ; Cuppett. 1994 : 121 - 137 ; Cuq and et al. 1995 : 111 - 142 ; Debeaufort and et al. 1998 : 299 - 313 ; Diab and et al. 2001 : 988 - 1000)

การผลิตฟิล์ม

การเกิดฟิล์มโดยทั่วไป เกิดขึ้นจากการทำให้สารที่สามารถเกิดฟิล์มได้ละลายหรือกระจายตัวแล้วใช้วิธีต่างๆ ขึ้นรูป แล้วแยกสารที่ละลายนั้นออกจากตัวทำละลาย เช่น การทำให้ตัวทำละลาย

ระเหยไป การปรับความเป็นกรด-เบส หรือโดยการทำให้สารที่เกิดฟิล์มหลอมเหลวแข็งตัวได้ (Solidification) ฟิล์มโดยทั่วไปมีองค์ประกอบหลักเป็นพอลิเมอร์ที่มีน้ำหนักโมเลกุลสูงจะมีสมบัติเกิดฟิล์มได้ ส่วนตัวทำละลายและสารแต่งเติมจะมีการเติมลงไป เพื่อปรับปรุงสมบัติของฟิล์มให้ดีขึ้น (Kester and Fennema. 1986 : 47 - 49)

การเกิดฟิล์มจะเกิดแรง 2 ประเภท ได้แก่ แรงโคฮีชัน (Cohesion) เป็นแรงที่เกิดระหว่างโมเลกุลพอลิเมอร์ด้วยกันเอง เกิดขึ้นระหว่างการเกิดฟิล์มทำให้เกิดการเชื่อมตัวของผิววัตถุเดียวกัน สร้างพันธะที่แข็งแรงที่จะช่วยป้องกันหรือต้านทานการแยกออกจากกัน ปัจจัยที่มีผลต่อแรงโคฮีชัน ได้แก่ โครงสร้างและสมบัติทางเคมีของพอลิเมอร์ ระบบการละลายและสภาวะการเตรียมฟิล์ม โดยแรงโคฮีชันมีความสัมพันธ์กับน้ำหนักโมเลกุล ความสม่ำเสมอของโครงสร้างสายโซ่ ลักษณะของกิ่งก้านสาขา และการกระจายของกลุ่มที่มีขั้วบนสายพอลิเมอร์ สายพอลิเมอร์ที่ยาวทำให้เกิดการยึดเกาะกันได้ดี การกระจายของกลุ่มที่มีขั้วอย่างเป็นระเบียบในสายพอลิเมอร์ จะช่วยทำให้เกิดพันธะไฮโดรเจนและพันธะไอออนิกระหว่างสายโซ่ทำให้มีความแข็งแรง การละลายของพอลิเมอร์ในการเตรียมฟิล์มยังมีผลต่อแรงโคฮีชัน คือ ถ้าโมเลกุลของพอลิเมอร์ละลายหรือขยายตัวได้มากที่สุดจะได้โครงสร้างเชื่อมกันด้วยแรงโคฮีชันที่มาก ฟิล์มที่ได้มีความแข็งแรงเพิ่มขึ้น (Banker. 1996 : 457 - 472)

สภาวะในการเตรียมฟิล์มนั้น ควรเตรียมฟิล์มโดยใช้สารละลายที่อุ่นและทำให้ฟิล์มแห้งโดยใช้ความร้อนที่เหมาะสม เพราะถ้าใช้อุณหภูมิสูงอาจทำให้อัตราการระเหยตัวทำละลายเร็วเกินไป โมเลกุลของพอลิเมอร์เชื่อมกันอย่างไม่สมบูรณ์ทำให้เกิดรูเข็ม (Pinholes) หรืออาจทำให้ฟิล์มมีความหนาไม่สม่ำเสมอ ทำให้การซึมผ่านของฟิล์มเพิ่มขึ้น ระดับของแรงโคฮีชันมีผลต่อสมบัติต่าง ๆ ของฟิล์ม ได้แก่ ความหนาแน่น (Density) การอัดแน่น (Compactness) ความเป็นรูพรุน (Porosity) ความสามารถในการซึมผ่าน (Permeability) ความยืดหยุ่น (Flexibility) และความเปราะ เป็นต้น ส่วนแรงอีกชนิดหนึ่ง คือ แรงแอดฮีชัน (Adhesion) เป็นแรงระหว่างโมเลกุลของพอลิเมอร์กับสารอื่นที่เกี่ยวข้องกับการเตรียมฟิล์มนั้นทำให้เกิดโครงร่างของฟิล์มได้ เช่น แรงระหว่างโมเลกุลของพอลิเมอร์กับพลาสติไซเซอร์โดยมีผลต่อสมบัติต่าง ๆ ของฟิล์มเช่นกัน (Banker. 1996 : 457 - 472)

วิธีในการผลิตฟิล์ม

วิธีในการผลิตฟิล์ม สามารถทำได้หลายวิธีดังนี้

1. วิธีการเทสารละลายลงบนวัสดุต่างๆ (Solvent Casting) เป็นการผลิตฟิล์มด้วยการนำสารผสมของฟิล์มมาทาเป็นแผ่นบางลงบนถาดหรือภาชนะเฉพาะ ใช้อุณหภูมิที่เหมาะสมทำให้แห้ง

ลิขสิทธิ์ของมหาวิทยาลัยราชภัฏรำไพพรรณี

แล้วลอกออกจะทำให้ได้แผ่นฟิล์มตามต้องการ อาจมีการเคลือบซ้ำด้วยสารที่มีสมบัติในการปรับปรุงคุณภาพฟิล์ม

ต่อมาได้มีการพัฒนาการเตรียมฟิล์มจากเซลลูโลสอีเทอร์และไขมันบนแผ่นกระจกโดยวิธีโครมาโตกราฟีแผ่นบาง (Thin-layer Chromatography) แล้วนำไปทำให้แห้ง โดยปนัดดา พวงเกษม (2537 : 3 - 27) ได้ดัดแปลงวิธีนี้ ซึ่งขึ้นรูปแผ่นฟิล์มจากแป้งมันสำปะหลัง และแป้งถั่วเขียวลงบนแผ่นฟิล์มพลาสติกพอลิเอทธิลีนความหนาแน่นต่ำ (LDPE) ขึงบนก้นถาดเหล็กปลอดสนิมจนเรียบตึงแล้วนำไปทำแห้งในตู้อบแบบถาด (Tray Drier) ที่อุณหภูมิ 50 องศาเซลเซียส ฟิล์มที่ได้โปร่งแสง พื้นผิวด้านที่สัมผัสกับพลาสติกเรียบมัน ส่วนที่สัมผัสอากาศมีลักษณะด้าน

2. วิธีเอกซ์ทรูชัน (Extrusion) เป็นการผลิตฟิล์มที่ใช้กับสตาร์ชมีแอมิโลสร้อยละ 50 - 80 พลาสติไซเซอร์ร้อยละ 0 - 30 และน้ำร้อยละ 20 - 50 โดยต้องทำให้แอมิโลสเป็นสารเทอร์โมพลาสติกเทียมก่อนที่จะขึ้นรูปวิธีนี้ได้ ฟิล์มที่ได้มีความชื้นร้อยละ 7 - 15 ความหนา 1 - 4 มิล (1 มิล = 0.0254มิลลิเมตร)

3. วิธีการทำแห้งด้วยลูกกลิ้ง (Drum Drier) เป็นวิธีการทำแห้งฟิล์มโดยใช้ลูกกลิ้งโดยผ่านแผ่นฟิล์มไปยังลูกกลิ้งร้อน อุณหภูมิ 103 - 108 องศาเซลเซียส หมุนด้วยความเร็ว 70 - 110 วินาทีต่อรอบ เพื่อรีดให้ฟิล์มเรียบและแห้ง ซึ่งความหนาของฟิล์มขึ้นอยู่กับแรงกดอัดและระยะห่างของลูกกลิ้ง การเพิ่มความร้อนหรืออัตราการระเหยของสารที่ใช้ในการทำฟิล์มและความเข้มข้นของตัวทำละลายที่ใช้มีผลต่อการลดลงของแรงที่ใช้เกาะตัวของฟิล์ม ส่งผลให้เกิดฟิล์มที่มีลักษณะไม่เกาะตัวกันหรือทำให้เกิดรูพรุนในฟิล์ม นอกจากนี้แรงในเกาะตัวกันของฟิล์มที่มีผลต่อคุณภาพฟิล์ม โดยแรงนี้จะขึ้นอยู่กับโครงสร้างและสมบัติทางเคมีของสารพอลิเมอร์ที่ผลิตได้ เช่น มวลโมเลกุล ขั้ว ความแข็งแรงของฟิล์ม และลำดับการแตกสาขาของสายพอลิเมอร์ที่ผลิตได้

พลาสติไซเซอร์

พลาสติไซเซอร์ (Plasticizer) หรือสารเพิ่มความยืดหยุ่น คือ สารที่มีน้ำหนักโมเลกุลต่ำที่ผสมเข้ากับพอลิเมอร์เพื่อเพิ่มความยืดหยุ่นและสามารถในการเปลี่ยนแปลงรูปร่างของฟิล์ม โดยการเพิ่ม Free Volume หรือ เพิ่มการเคลื่อนตัวของโมเลกุลของพอลิเมอร์โดยการรีดิวซ์พันธะไฮโดรเจนระหว่างสายพอลิเมอร์ (Mathew and Dusfresne. 2002 : 1101 - 1108)

พลาสติไซเซอร์เป็นองค์ประกอบที่มีความสำคัญอย่างยิ่งต่อคุณสมบัติของฟิล์ม คุณสมบัติของพลาสติไซเซอร์ ได้แก่ ส่วนประกอบโครงสร้างทางเคมี ขนาด และรูปร่าง ความชอบน้ำมีผลต่อคุณสมบัติของการเป็นสารเพิ่มความยืดหยุ่นและคุณสมบัติของฟิล์มด้วย (Sothornvit and

Ktochta. 2001 : 149 - 155 ; Mathew and Dufresne. 2002 : 1101 - 1108 ; Cao and et al. 2009 : 729 - 735) ดังตาราง 3 และตาราง 4

ตาราง 3 คุณสมบัติของพลาสติไซเซอร์

Plasticizer Type	Molecular Weight (MW)	Formular	Shape	Oxygen Atoms
Propylene Glycol	76	$C_3H_8O_2$	Straight Chain	2
Glycerol	92	$C_3H_8O_3$	Straight Chain	3
Sorbitol	182	$C_6H_{14}O_6$	Straight Chain	6
Polyethylene Glycol	200	$H(OCH_2\text{-}CH_2)_4OH$	Straight Chain	5
Sucrose	342	$C_{12}H_{22}O_{11}$	Straight Chain	11
Polyethylene Glycol	400	$H(OCH_2\text{-}CH_2)_8OH$	Straight Chain	9

ที่มา : Sothronvit and Ktochta. 2001 : 153

ตาราง 4 คุณสมบัติทางเคมีและทางกายภาพของพลาสติไซเซอร์

คุณสมบัติ	Glyceral	Xylitol	Sorbitol	Maltitol	PEG 400
Carbon Number	3	5	6	12	16
Molecular Weight	92	152	182	344	400
Melting Point (°C)	20	94	100	157	4-8
Heat Stability (°C)	>160	>160	>160	>160	>160
Hygroscopy	High	High	Medium	Medium	Low
Tg (°C)	-75	-27	0	45	-25

ที่มา : Mathew and Dufresne. 2002 : 1105

ลิขสิทธิ์ของมหาวิทยาลัยราชภัฏรำไพพรรณี

การเลือกใช้พลาสติไซเซอร์ขึ้นกับคุณสมบัติของพอลิเมอร์ ความสามารถในการเข้ากันได้ระหว่างพลาสติไซเซอร์ และพอลิเมอร์ ขึ้นกับ Intermolecular Force ระหว่างองค์ประกอบทั้งสอง ซึ่งถ้ามี Intermolecular Force ที่ใกล้เคียงกันก็มีความสามารถในการเข้ากันได้ดีด้วย ส่วนด้านความคงทนถาวรต้องไม่ซึมออกจากฟิล์มและไม่สูญเสียโดยการระเหย พลาสติไซเซอร์ที่มี

Molecular Weight สูง ๆ มี Vapour Pressure และ Diffusion Rate ต่ำอยู่ได้คงทนถาวร ตัวอย่างพลาสติไซเซอร์ที่ส่วนใหญ่ใช้กับฟิล์มจากแป้ง ได้แก่ Glycogen และน้ำ (Mathew and Dufresne. 2002 : 1101 - 1108) พลาสติไซเซอร์ที่มักใช้กับฟิล์มจากโปรตีน ได้แก่ Glycerol, Polyethylene Glycol, Sorbitol และน้ำ (Sothornvit and Ktochta. 2001 : 149 - 155) เป็นต้น สำหรับปริมาณของพลาสติไซเซอร์ที่ใช้ขึ้นอยู่กับคุณสมบัติของพอลิเมอร์ และชนิดของส่วนประกอบอื่นที่อาจเติมเข้าไปแล้วมีผลรบกวนการยึดเกาะของพอลิเมอร์ได้ พลาสติไซเซอร์มักใช้ในปริมาณที่น้อยกว่าพอลิเมอร์ เช่น ถ้าเป็นพอลิเมอร์จำพวกแป้ง จะใช้ พลาสติไซเซอร์ประมาณ 10 - 60 เปอร์เซ็นต์ของน้ำหนักพอลิเมอร์ เป็นต้น (Mathew and Dufresne. 2002 : 1101 - 1108) พอลิเมอร์แต่ละชนิดใช้พลาสติไซเซอร์ชนิด และปริมาณที่แตกต่างกัน เพื่อให้ได้ฟิล์มที่มีคุณสมบัติดีตามที่ต้องการ โดยทำการทดสอบเพื่อให้ทราบข้อมูลเฉพาะดังกล่าว ดังนั้นจึงได้มีผู้ทำการศึกษาเกี่ยวกับผลของพลาสติไซเซอร์ต่อคุณสมบัติของฟิล์มจากพอลิเมอร์หลาย ๆ ชนิด

งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

มีงานวิจัยหลายงานที่มีการผลิตฟิล์มจากพอลิเมอร์ธรรมชาติและการใช้พลาสติไซเซอร์ชนิดต่าง ๆ เช่น ศรัณยู อุ่นทวี และชนัญ ผลประไพ (2555) ได้ประยุกต์ใช้สารประกอบเซลลูโลสจากแบคทีเรียกับพอลิเมอร์ ธรรมชาติเพื่อผลิตแผ่นฟิล์ม พบว่าการผสมเซลลูโลสจากแบคทีเรียกับอัลจิเนตทำให้แผ่นฟิล์มสามารถลอกได้ง่ายและมีความแข็งเฉลี่ยสูงที่สุด เมื่อเปรียบเทียบกับแผ่นฟิล์มเซลลูโลส

จุฑาทิพย์ สินสวัสดิ์ และคณะ (2555) ได้ศึกษาคุณสมบัติทางกายภาพของฟิล์มบริโภคได้ผลิตจากแป้งมันสำปะหลัง โดยผสมสารพอลิแซคคาไรด์ 5 ชนิด คือ คาราจีแนน ไคโตแซน เพคติน อาการ์และเมธิลเซลลูโลส และเติมพลาสติไซเซอร์ 2 ชนิด คือ ซอร์บิทอล และกลีเซอรอล พบว่า ฟิล์มแป้งมันสำปะหลังที่เติมซอร์บิทอลและกลีเซอรอล มีอัตราการซึมผ่านของไอน้ำต่ำ และฟิล์มแป้งมันสำปะหลังที่ผสมสารพอลิแซคคาไรด์ มีค่าอัตราซึมผ่านของก๊าซออกซิเจนที่ไม่แตกต่างกัน

ปิยะนุช สุวรรณรัตน์ และคณะ (2557) ได้ศึกษาผลของสารก่อฟิล์มร่วมและสารเพิ่มความยืดหยุ่นที่มีต่อคุณสมบัติของฟิล์มที่เตรียมจากเนื้อในเมล็ดมะขาม โดยใช้โซเดียม อัลจิเนต เป็นสารก่อฟิล์มร่วม และใช้กลีเซอรอลและซอร์บิทอลเป็นสารเพิ่มความยืดหยุ่น ผลการศึกษาพบว่าแผ่นฟิล์มจากเนื้อในเมล็ดมะขามผสมกับโซเดียม อัลจิเนต และกลีเซอรอล มีค่าความสามารถในการต้านทานแรงเจาะ ความสามารถในการยืด และความสามารถในการยึดเกาะได้ดี

ปารณัท ทองสิน (Paranat Tongsin. 2008) ได้ศึกษาการปรับปรุงสมบัติของฟิล์มซีนที่ผลิตโดยวิธีปั่นด้วยไฟฟ้าสถิต โดยใช้พลาสติไซเซอร์สองชนิด ได้แก่ กลีเซอรอล และน้ำมันข้าวโพด สำหรับฟิล์มซีนนั้นผลิตจากสารละลายโปรตีนที่มีเอทานอลเป็นตัวทำละลาย จากนั้นเติมสารลดแรงตึงผิว (Tween 40) และสารละลายโซเดียมคลอไรด์เพื่อช่วยให้ผลิตเป็นเส้นใยนาโนได้ดีขึ้น จากการศึกษาสมบัติของสารละลายพอลิเมอร์ที่เติมพลาสติไซเซอร์พบว่าค่าความหนืดของสารละลายลดลง เมื่อปริมาณกลีเซอรอลที่เติมลงไปเพิ่มขึ้น ในขณะที่ความหนืดมีค่าลดลงเมื่อปริมาณน้ำมันข้าวโพดลดลง ทั้งนี้เนื่องจากเมื่อปริมาณพลาสติไซเซอร์ ไม่ว่าจะเป็นกลีเซอรอลหรือน้ำมันข้าวโพดเพิ่มขึ้น ส่งผลให้การนำไฟฟ้าของสารละลายพอลิเมอร์ลดลง แต่มีแรงตึงผิวเพิ่มขึ้นเล็กน้อย จากการศึกษาสมบัติทางสัณฐานโดยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด พบว่า เส้นใยนาโนของโปรตีนซีนมีรูปร่างเหมือนริบบิ้น ซึ่งความกว้างของเส้นใยขึ้นอยู่กับชนิดและปริมาณของพลาสติไซเซอร์ที่เติมลงไป เมื่อนำตัวอย่างฟิล์มที่ทำแห้งที่อุณหภูมิ 50 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 24 ชั่วโมงด้วยเครื่องอบแห้งสุญญากาศ และบ่มในสภาวะที่มีความชื้นสัมพัทธ์เป็น 50 ± 2 เปอร์เซ็นต์ มาทำการศึกษาโดย Fourier Transform Infrared (FTIR) Spectroscopy พบว่า IR Spectra ของตัวอย่างที่ได้สื่อกับโปรตีนซีน และพลาสติกไซเซอร์ที่เติมลงไปได้ดี ในการศึกษาสมบัติทางกลพบว่ากลีเซอรอลและน้ำมันข้าวโพด มีผลต่อค่าความแข็งแรงต่อแรงฉีกขาดและค่าการยืดตัวของฟิล์ม นอกจากนี้ยังพบว่าฟิล์มที่เติมพลาสติไซเซอร์ไม่ว่าจะเป็นกลีเซอรอลหรือน้ำมันข้าวโพด มีค่าอุณหภูมิการเปลี่ยนสถานะคล้ายแก้วต่ำกว่าฟิล์มที่ไม่ได้เติมพลาสติไซเซอร์

แมทธิว และดูเฟรสเน่ (Mathew and Dufresne. 2002) ได้ศึกษาผลของพลาสติไซเซอร์ในกลุ่ม Polyol (Glycerol, Xylitol, Sorbitol และ Malitol) ที่มีต่อคุณสมบัติของฟิล์มจากแป้งข้าวโพด พบว่าเมื่อน้ำหนักโมเลกุลของพลาสติไซเซอร์เพิ่มขึ้น และ Hygroscopy ลดลง ทำให้ Water Uptake ลดลง แต่ Tensile Stress เพิ่มขึ้นตามน้ำหนักโมเลกุลของพลาสติไซเซอร์

โสธรวิทย์ และครอชต้า (Sothornvit and Krochta. 2001) ได้ทำการศึกษาผลของพลาสติไซเซอร์จำนวน 6 ชนิด ได้แก่ Propylene Glycol, Glycerol, Sorbitol, Polyethylene Glycol 200 (PEG 200) และ Polyethylene Glycol 400 (PEG 400) ที่มีต่อคุณสมบัติเชิงกลของ ß-lactoglobulin Films พบว่า เมื่อน้ำหนักโมเลกุลของ พลาสติไซเซอร์เพิ่มขึ้น Tensile Stress และ Elastic Modulus ของฟิล์มจะลดลง

โอลิวาส และบาร์บอส คาโนวาส (Olivas and Barbos-Cánovas (2008) ได้ทำการศึกษาผลของพลาสติไซเซอร์จำนวน 4 ชนิด ได้แก่ Glycerol, Sorbitol, Fructose และ Polyethylene Glycol 8000 (PEG 8000) ต่อคุณสมบัติของฟิล์ม Alginate-calcium พบว่า เมื่อ % RH เพิ่มขึ้น Tensile

Strength (TS) ของฟิล์มที่ได้จากพลาสติไซเซอร์ทุกชนิดมีแนวโน้มลดลง ส่วน % Elongation (E) มีแนวโน้มเพิ่มขึ้น ฟิล์มที่ไม่มีพลาสติไซเซอร์มี Tensile Strength มากกว่าฟิล์มที่มีมีพลาสติไซเซอร์ Glycerol, Sorbitol, Fructose และ PEG 8000 มี Tensile Strength ต่ำที่สุด ที่ % RH ที่เพิ่มขึ้น (76 เปอร์เซ็นต์ และ 85 เปอร์เซ็นต์) ฟิล์มที่มี Glycerol เป็นพลาสติไซเซอร์ มี TS และ E สูงกว่าเมื่อเทียบกับ Sorbitol และ Fructose ซึ่งมีค่า TS และ E ใกล้เคียงกันเนื่องจากมีขนาดและน้ำหนักโมเลกุลใกล้เคียงกัน คือ 182.17 และ 180.26 ตามลำดับ ส่วน PEG 8000 มีค่า TS และ E ต่ำที่สุด ซึ่งสรุปได้ว่าขนาดและน้ำหนักโมเลกุลของพลาสติไซเซอร์มีผลต่อ Tensile Strength และ Elongation โดยหากพลาสติไซเซอร์มีขนาดและน้ำหนักโมเลกุลเพิ่มขึ้น จะส่งผลให้ TS และ E ลดลงด้วย

ลิขสิทธิ์ของมหาวิทยาลัยราชภัฏรำไพพรรณี