

รายงานวิจัยฉบับสมบูรณ์

เรื่อง

การผลิตบรรจุภัณฑ์จากชานอ้อย

Production of Packaging from Bagasse

โดย

ศูนย์วิทยุทรัพยากร
ศาสตราจารย์ ดร.วิวัฒน์ ตัณฑะพานิชกุล และคณะ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

รายงานวิจัยนี้ได้รับเงินทุนสนับสนุนจากโครงการวิจัยร่วมภาครัฐ-เอกชน
ประจำปีงบประมาณ 2545 และ 2546

ชื่อโครงการย่อย	การผลิตบรรจุภัณฑ์จากชานอ้อย Production of Packaging from Bagasse
คณะวิจัย	
หัวหน้าโครงการ ตำแหน่ง	รองศาสตราจารย์ ดร. ศิริกัลยา สุวจิตตานนท์ อาจารย์ประจำภาควิชาวิศวกรรมเคมี คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์
รองหัวหน้าโครงการ ตำแหน่ง	อ.ณัฐพร โทณานนท์ อาจารย์ประจำภาควิชาวิศวกรรมเคมี คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
ผู้ร่วมวิจัย	นายปรีชา แสงธีระปิติกุล
ผู้ช่วยวิจัย	นายพงศวุฒิ วิทยานันท์ นิสิตปริญญาโท ภาควิชาวิศวกรรมเคมี คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

บทคัดย่อ

ชานอ้อยเป็นผลิตภัณฑ์ที่เหลือใช้จากอุตสาหกรรมน้ำตาล ซึ่งจะใช้ประโยชน์เป็นวัตถุดิบในการผลิตบรรจุภัณฑ์ที่สามารถย่อยสลายในธรรมชาติได้ ในงานวิจัยนี้ได้นำชานอ้อยมาใช้เป็นวัตถุดิบในการผลิตบรรจุภัณฑ์

ในงานวิจัยได้ให้ความสนใจกระบวนการผลิตใหม่ๆของการผลิตบรรจุภัณฑ์จากชานอ้อย ซึ่งเส้นใยของชานอ้อยและพลาสติกไซเซอรามีคุณสมบัติที่ให้ความแข็งแรงและป้องกันน้ำได้ดี นอกจากนี้คุณสมบัตินี้แล้วยังมีคุณสมบัติอื่น ๆ อีกนั่นก็คือ สามารถย่อยสลายตามธรรมชาติและยังสามารถป้องกันการซึมผ่านของออกซิเจนได้ ซึ่งจะใช้เป็นส่วนประกอบที่สำคัญในการผลิตบรรจุภัณฑ์เพื่อชื้ออายุผลไม้

จากการทดลองเพื่อหากระบวนการและอัตราส่วนที่ดีที่สุดเพื่อใช้ในการผลิตบรรจุภัณฑ์จากชานอ้อย ซึ่งมีกระบวนการผลิตดังต่อไปนี้ น้ำ 60 กรัม ผสม PVA 10 กรัม ภายใต้อุณหภูมิ 100 °C ซึ่งจะใช้เวลา 10 นาที นำชานอ้อยมาผสมกับพลาสติกไซเซอร จากนั้นนำไปอบที่อุณหภูมิ 130 °C ซึ่งจะใช้เวลา 150 นาที จากนั้น นำบรรจุภัณฑ์มาเคลือบด้วย PVA แล้วนำไปอบอีกครั้ง คุณสมบัติที่สำคัญที่สุดของบรรจุภัณฑ์นี้สามารถชื้ออายุมังคุดได้ 16 วัน เมื่อเปรียบเทียบกับมังคุดในสภาวะปกติที่ใช้เวลา 8 วัน ดังนั้นจึงมีวัตถุประสงค์ที่จะใช้บรรจุภัณฑ์นี้ใส่ผลไม้เพื่อการส่งออก

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

เลขหมู่

เลขทะเบียน 014597

วัน. เดือน. ปี 6๗.๙.๕3

Abstract

Bagasse is abundant waste product from manufacturing of sugar, bagasse could be useful source of biodegradable packaging. In this research paper we can produce of packaging from bagasse

We focused new process on product packaging from bagasse. Bagasse fiber and plasticizer have formed an excellent composition with a unique mechanical properties as strength, water resistant, biodegradable and can also protect oxygen penetration to the packaging composite material which can prolong shelf life of fruits.

In the result, the best ratio to produce the packaging from bagasse were 60 g water, PVA 10 g and heated to the temperature of 100 °C for 10 minutes. After that mixed with bagasse and poured to the mixture into the mold. The finished products were heated to the temperature of 130 °C for 150 minutes. Then surface coating the product with PVA and further heating the product in the oven again at the temperature of 130 °C for 150 minutes. The most important properties of this packaging could prolong shelf life of mangosteen for 16 days as compared to mangosteen in normal condition for only 8 days therefore can use this packaging to pack fruits for export purpose.

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

กิตติกรรมประกาศ

งานวิจัยนี้ ได้รับเงินสนับสนุนการวิจัยจากโครงการวิจัยร่วมภาครัฐ-เอกชน ของศูนย์เชี่ยวชาญเฉพาะทางด้านเทคโนโลยีอนาคต จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ปีงบประมาณ 2545 และ 2546 ทุนเมธีวิจัยอาวุโส (ศ.ดร.วิวัฒน์ ตัณฑะพานิชกุล) สำนักงานกองทุนสนับสนุน การวิจัย (สกว.) และศูนย์เทคโนโลยีโลหะและวัสดุแห่งชาติ (MTEC)

ขอขอบพระคุณอาจารย์ธนดล สัตตบงกช หัวหน้าศูนย์วิจัยและวัสดุ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ ที่ได้อนุเคราะห์ให้ใช้เครื่องมือวัดค่าด้านทานแรงดึงและค่าความยืดและให้คำปรึกษาด้านวัสดุวิศวกรรม คุณ เขาวนิจ จันทรปรณณิกต ช่วยดูแลปฏิบัติการ และ อาจารย์ปรีชา แสงธีระปิติกุล ที่ให้ความกรุณาช่วยเหลือให้คำแนะนำปรึกษาแนวทางการทำวิจัย



ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

สารบัญ

	หน้า
สารบัญ	(1)
สารบัญตาราง	(2)
สารบัญภาพ	(5)
คำนำ	1
วัตถุประสงค์	3
ขอบเขตการวิจัย	3
ประโยชน์ของงานวิจัย	4
ตรวจสอบเอกสาร	5
อ้อย	5
แป้ง	10
บรรจุภัณฑ์	24
อุปกรณ์และวิธีการทดลอง	34
อุปกรณ์	34
วิธีการทดลอง	34
ผลการทดลองและการวิเคราะห์	38
สรุปผลการทดลองและข้อเสนอแนะ	58
สรุปผลการทดลอง	58
ข้อเสนอแนะ	58
เอกสารอ้างอิง	60
ภาคผนวก	62
ภาคผนวก ก ข้อมูลการทดลอง	62
ภาคผนวก ข รูปบรรจุภัณฑ์จากชานอ้อย	81

สารบัญตาราง

ตารางที่	หน้า
1 องค์ประกอบของชานอ้อย	8
2 คุณสมบัติทางโครงสร้างของแป้ง	13
3 สมบัติที่สำคัญของอะมิโลสและอะมิโลสเพกทิน	14
4 คุณสมบัติของแป้งข้าวโพดที่มีอะมิโลสที่แตกต่าง	14
ตารางผนวกที่	
1 ค่าต้านทานแรงดึงและค่าความยืดของแป้งสาลี	62
2 ค่าต้านทานแรงดึงและค่าความยืดของแป้งข้าวโพด	63
3 ค่าต้านทานแรงดึงและค่าความยืดของแป้งมันสำปะหลัง	63
4 ค่าต้านทานแรงดึงและค่าความยืดของแป้งแต่ละชนิด	64
5 ค่าต้านทานแรงดึงและค่าความยืดของตัวอย่างที่ไม่ผสม PVA ในกระบวนการผลิตพลาสติกไซเซอร์	65
6 ค่าต้านทานแรงดึงและค่าความยืดของตัวอย่างที่ผสม PVA จำนวน 3 กรัม ในกระบวนการผลิตพลาสติกไซเซอร์	66
7 ค่าต้านทานแรงดึงและค่าความยืดของตัวอย่างที่ผสม PVA จำนวน 5 กรัม ในกระบวนการผลิตพลาสติกไซเซอร์	66
8 ค่าต้านทานแรงดึงและค่าความยืดของตัวอย่างที่ผสม PVA จำนวน 8 กรัม ในกระบวนการผลิตพลาสติกไซเซอร์	67
9 ค่าต้านทานแรงดึงและค่าความยืดของตัวอย่างที่ผสม PVA จำนวน 10 กรัม ในกระบวนการผลิตพลาสติกไซเซอร์	67
10 ค่าต้านทานแรงดึงและค่าความยืดของตัวอย่างที่ปรับปรุงคุณภาพผลิตพลาสติกไซเซอร์	68
11 ค่าต้านทานแรงดึงและค่าความยืดของกระดาษลูกฟูก	69

สารบัญตาราง (ต่อ)

ตารางผนวกที่	หน้า
12 ค่าต้านทานแรงดึงและค่าความยืดของพลาสติก	69
13 ค่าต้านทานแรงดึงและค่าความยืดของโฟม	70
14 ค่าต้านทานแรงดึงและค่าความยืดของบรรจุภัณฑ์จากชานอ้อยกับบรรจุภัณฑ์อื่นๆ	70
15 ค่าต้านทานแรงดึงและค่าความยืดของชานอ้อยขนาด 0.180 มิลลิเมตร	71
16 ค่าต้านทานแรงดึงและค่าความยืดของชานอ้อยขนาด 0.250 มิลลิเมตร	72
17 ค่าต้านทานแรงดึงและค่าความยืดของชานอ้อยขนาด 1.000 มิลลิเมตร	72
18 ค่าต้านทานแรงดึงและค่าความยืดของชานอ้อยที่ใช้ในกระบวนการผลิตบรรจุภัณฑ์จากชานอ้อย	73
19 ค่าต้านทานแรงดึงและค่าความยืดของตัวอย่างที่ไม่มีส่วนผสม PVA และ เคลือบด้วยพลาสติกไซเซอร์	74
20 ค่าต้านทานแรงดึงและค่าความยืดของตัวอย่างที่ไม่มีส่วนผสม PVA และ เคลือบด้วย PVA	75
21 ค่าต้านทานแรงดึงและค่าความยืดของตัวอย่างที่มีส่วนผสม PVA และ เคลือบด้วยพลาสติกไซเซอร์	75
22 ค่าต้านทานแรงดึงและค่าความยืดของตัวอย่างที่มีส่วนผสม PVA และ เคลือบด้วย PVA	76
23 ค่าต้านทานแรงดึงและค่าความยืดของการทดสอบการเคลือบพลาสติกไซเซอร์หรือ PVA	76
24 เวลาของการอบตัวอย่างด้วยอุณหภูมิ 60 °C	77
25 เวลาของการอบตัวอย่างด้วยอุณหภูมิ 90 °C	78
26 เวลาของการอบตัวอย่างด้วยอุณหภูมิ 110 °C	78
27 เวลาของการอบตัวอย่างด้วยอุณหภูมิ 130 °C	79
28 เวลาของการอบตัวอย่างด้วยอุณหภูมิ 150 °C	79
29 น้ำหนักของมังกูดก่อนและหลังการทดสอบการยืดอายุผลไม้	80

สารบัญภาพ

ภาพที่		หน้า
1	ลักษณะของต้นอ้อย	5
2	ลักษณะของชานอ้อยที่ยังไม่บดและบดแล้ว	6
3	โครงสร้างของเซลลูโลส	9
4	โครงสร้างของอะมิโลส	15
5	ลักษณะเกลียวของอะมิโลส	16
6	โครงสร้างของอะมิโลสเพกทิน	17
7	ลักษณะ โครงสร้างอะมิโลสเพกทินที่ประกอบด้วยส่วนผลึกและส่วนอสัณฐาน	18
8	ลักษณะ โครงสร้างอะมิโลสเพกทินที่ประกอบด้วยสาย A,B และ C	19
9	บริเวณของ Crystallites และ Gel Phase ของเม็ดแป้ง	22
10	ค่าความต้านทานแรงดึงของพลาสติกไซเซออร์ต่างๆ	38
11	ค่าความยืดของพลาสติกไซเซออร์ต่างๆ	39
12	ค่าต้านทานแรงดึงของการผสม PVA ในส่วนผสมของพลาสติกไซเซออร์	40
13	ค่าความยืดของการผสม PVA ในส่วนผสมของพลาสติกไซเซออร์	41
14	ค่าต้านทานแรงดึงของบรรจุภัณฑ์จากชานอ้อยกับบรรจุภัณฑ์อื่นๆ	42
15	ค่าความยืดของบรรจุภัณฑ์จากชานอ้อยกับบรรจุภัณฑ์อื่นๆ	43
16	ค่าต้านทานแรงดึงของขนาดของชานอ้อยที่ใช้ผลิตบรรจุภัณฑ์	44
17	ค่าความยืดของขนาดของชานอ้อยที่ใช้ผลิตบรรจุภัณฑ์	45
18	ค่าต้านทานแรงดึงของการปรับปรุงบรรจุภัณฑ์จากชานอ้อย โดยการเคลือบ	46
19	ค่าความยืดของการปรับปรุงบรรจุภัณฑ์จากชานอ้อย โดยการเคลือบ	47
20	ค่าต้านทานแรงดึงของการปรับปรุงบรรจุภัณฑ์จากชานอ้อยกับบรรจุภัณฑ์อื่นๆ	48
21	ค่าความยืดของการปรับปรุงบรรจุภัณฑ์จากชานอ้อยกับบรรจุภัณฑ์อื่นๆ	49

สารบัญภาพ (ต่อ)

ภาพที่		หน้า
22	ภาพพื้นผิวของบรรจุภัณฑ์ที่ไม่มีการผสม PVA	50
23	ภาพตัดขวางของบรรจุภัณฑ์ที่ไม่ผสม PVA	51
24	ภาพตัดขวางของบรรจุภัณฑ์ที่ผสม PVA	51
25	ภาพพื้นผิวของบรรจุภัณฑ์ที่เคลือบด้วยพลาสติกไซเซอร์	52
26	ภาพพื้นผิวของบรรจุภัณฑ์ที่เคลือบด้วย PVA	52
27	น้ำหนักของบรรจุภัณฑ์จากชานอ้อยที่อุณหภูมิต่างๆ	53
28	ตัวอย่างมังกุคที่จะนำมาทดลองการยืดอายุผลไม้	56
29	ตัวอย่างมังกุคที่ผ่านการทดลองยืดอายุผลไม้	57
ภาคผนวกที่		
ข1	บรรจุภัณฑ์จากชานอ้อย	81
ข2	บรรจุภัณฑ์จากชานอ้อยด้านทานน้ำได้ถึง 3 ชั่วโมง 24 นาที	82

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

การผลิตบรรจุภัณฑ์จากชานอ้อย

Production of Packaging from Bagasse

คำนำ

อ้อยเป็นพืชที่มีประวัติศาสตร์อันยาวนานและเป็นพืชที่มีบทบาทสำคัญในอุตสาหกรรมต่างๆ มากมาย โดยเฉพาะอย่างยิ่งอุตสาหกรรมผลิตน้ำตาล ซึ่งได้นำอ้อยมาเป็นวัตถุดิบในการผลิตน้ำตาล ในกระบวนการแปรรูปจากผลผลิตทางการเกษตร ซึ่งจากกระบวนการผลิตน้ำตาลจะมีส่วนที่เรียกว่า เศษวัสดุที่เหลือใช้จากการแปรรูปของอ้อยมากมาย เช่น ชานอ้อย กากน้ำตาล เป็นต้นในประเทศไทย มีเนื้อที่เพาะปลูกอ้อยคิดเป็น 10 % ของพื้นที่เพาะปลูกทั้งหมด ซึ่งประเทศไทยสามารถผลิตอ้อยได้ถึง 34.80 ล้านตัน และให้ชานอ้อยออกมาถึง 11.92 ล้านตัน (สุขสदानและบัญญัติ 2537) จะเห็นว่าในประเทศไทยมีชานอ้อยเป็นจำนวนมากที่เป็นเศษวัสดุเหลือใช้ ในปัจจุบันนี้ได้นำชานอ้อยมาใช้ประโยชน์ในด้านต่างๆ มากมาย เช่น เชื้อเพลิง กระดาษ และ ปู เป็นต้น แต่ในงานวิจัยได้นำชานอ้อยมาใช้เป็นวัตถุดิบในการผลิตบรรจุภัณฑ์ ซึ่งบรรจุภัณฑ์ที่ผลิตนี้จะผ่านกระบวนการผลิตที่ไม่ซับซ้อนและไม่ต้องใช้เครื่องจักรที่มีราคาสูงทำให้เมื่อลงทุนผลิตเป็นอุตสาหกรรมใช้งบประมาณในการลงทุนที่น้อยมาก เมื่อเทียบกับการผลิตพลาสติกหรือกล่องกระดาษ ซึ่งต้องใช้การลงทุนที่สูงมากในการผลิตบรรจุภัณฑ์

บรรจุภัณฑ์จากชานอ้อยนี้สามารถใช้ในการยืดอายุผลไม้ได้ ซึ่งจะมีประโยชน์อย่างมากต่อการส่งสินค้าประเภทผลไม้ออกไปขายในต่างประเทศ เนื่องจากบรรจุภัณฑ์นี้มีคุณสมบัติที่สามารถยืดอายุผลไม้ได้ ซึ่งเป็นแนวคิดใหม่ที่ไม่ทำให้ผิวของผลไม้เปลี่ยนไปจากเดิมและไม่มีสารพิษตกค้างอยู่ในผลไม้ด้วย จึงทำให้ไม่มีผลเสียต่อการรับประทาน ดังนั้นบรรจุภัณฑ์จากชานอ้อยจะมีบทบาทที่สำคัญที่จะช่วยในด้านการแข่งขันทางการค้ากับประเทศอื่นๆ ในตลาดโลก กล่าวคือ ระบบการขนส่งในปัจจุบันนี้ไม่ว่าจะเป็นการขนส่งระยะทางใกล้หรือไกล ส่วนมากจะบรรทุกสินค้าโดยทางเรือ เนื่องจากมีค่าใช้จ่ายในการขนส่งที่ไม่สูงมากนัก แต่ในบางกรณีที่ไม่สามารถขนส่งทางเรือได้ เนื่องจากผลไม้บางชนิดมีอายุช่วงที่สามารถบริโภคที่สั้น ดังนั้นจึงจำเป็นต้องขนส่งสินค้าโดยใช้เครื่องบิน ซึ่งมีค่าใช้จ่าย

จ่ายในการขนส่งที่สูงส่งผลให้ต้นทุนของผลไม้ชนิดนั้นสูงด้วย ในปัจจุบันนี้จึงได้มีการศึกษาค้นคว้าหาวิธีการที่สามารถยืดอายุให้กับผลไม้มากมาย ไม่ว่าจะเป็นการลดอุณหภูมิ เคลือบหรือฉีดด้วยสารเคมี ซึ่งวิธีการต่างๆ เหล่านี้ล้วนแต่มีผลกระทบต่อผลไม้ ไม่ว่าจะเป็นลักษณะทางกายภาพ หรือแม้กระทั่งยังคงมีสารเคมีตกค้างอยู่ในผลไม้ โดยจะมีผลเสียต่อผู้บริโภค ดังนั้นจึงเป็นจุดเริ่มต้นของงานวิจัยนี้ที่จะศึกษาค้นคว้าการผลิตบรรจุภัณฑ์จากขานอ้อยที่สามารถยืดอายุผลไม้ได้

ในปัจจุบันนี้ได้มีการพัฒนาเทคโนโลยีในด้านต่างๆ อย่างรวดเร็ว ไม่ว่าจะเป็นด้านการสื่อสาร การขนส่ง ตลอดจนเทคโนโลยีที่ใช้ในอุตสาหกรรม ซึ่งการพัฒนาในด้านต่างๆเหล่านี้มีประโยชน์ต่อมนุษย์มากมาย แต่การพัฒนาเทคโนโลยีนี้มีทั้งด้านลบเกิดขึ้นด้วย โดยสิ่งที่เกิดขึ้นนี้เป็นตัวการที่สำคัญในการทำลายสิ่งแวดล้อม ไม่ว่าจะเป็นทางด้านอากาศ น้ำ ดิน หรือแม้กระทั่งสิ่งมีชีวิตต่างๆที่เกิดขึ้นในโลกนี้ ดังนั้นในปัจจุบันจึงให้ความสำคัญกับการควบคุม กำจัด หรือบำบัดสิ่งที่เกิดจากการนำเทคโนโลยีมาใช้ในการผลิตหรือการอำนวยความสะดวกให้กับมนุษย์ ซึ่งวิธีที่ดีที่สุดในการจะช่วยเหลือสิ่งแวดล้อมนั้นคือ ผลิตสิ่งของหรือวัตถุต่างๆ ที่ไม่ทำลายสิ่งแวดล้อม ดังนั้นในงานวิจัยนี้ได้ผลิตบรรจุภัณฑ์จากขานอ้อย ซึ่งบรรจุภัณฑ์นี้สามารถย่อยสลายได้ตามธรรมชาติ และสามารถยืดอายุผลไม้ได้ด้วย

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

วัตถุประสงค์

เพื่อนำเศษวัสดุที่เหลือใช้จากการแปรรูปขานอ้อยมาเป็นน้ำตาล โดยส่วนที่นำมาใช้นี้จะเป็นส่วนที่เรียกว่าขานอ้อย ซึ่งจะนำขานอ้อยนี้มาผลิตบรรจุภัณฑ์ โดยบรรจุภัณฑ์จากขานอ้อยนี้สามารถยืดอายุผลไม้นี้ได้

ขอบเขตการวิจัย

- 1 การศึกษากระบวนการผลิตพลาสติกไซเชอร์จากแป้ง โดยแป้งที่ใช้ในการทดลองมี 3 ชนิด คือ แป้งมันสำปะหลัง แป้งข้าวโพด และแป้งสาลี
- 2 ศึกษากระบวนการผลิตบรรจุภัณฑ์จากขานอ้อย โดยจะใช้พลาสติกไซเชอร์จากแป้งและโพลีไวนิลอะซิเตด เป็นตัวช่วยยึดเกาะและเคลือบบรรจุภัณฑ์
- 3 การวิเคราะห์การยืดอายุผลไม้นี้ประเภทมังคุด ซึ่งจะใช้สารดูดซับออกซิเจนเป็นตัวช่วยในการยืดอายุผลไม้นี้ในกล่องบรรจุภัณฑ์จากขานอ้อย

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ประโยชน์ของงานวิจัย

ผลิตภัณฑ์บรรจุภัณฑ์ที่ผลิตได้จากงานวิจัยนี้สามารถนำไปทดแทนผลิตภัณฑ์บรรจุภัณฑ์ที่ใช้ในปัจจุบันได้ เช่น กล่องโฟม กล่องพลาสติก ฯลฯ ซึ่งผลิตภัณฑ์บรรจุภัณฑ์ประเภท กล่องโฟม พลาสติกเหล่านี้เป็นผลิตภัณฑ์บรรจุภัณฑ์ที่ย่อยสลายได้ยากในธรรมชาติทำให้เกิดผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม ดังนั้นเมื่อนำผลิตภัณฑ์บรรจุภัณฑ์ที่ผลิตจากงานวิจัยนี้มาใช้ทดแทนจึงเป็นการช่วยลดปัญหาที่เกิดขึ้นกับสิ่งแวดล้อมได้ เนื่องจากวัสดุที่ใช้ในงานวิจัยนี้ได้มาจากธรรมชาติ ซึ่งจะสามารถย่อยสลายได้ง่ายและยังช่วยในการลดปริมาณขยะที่เกิดขึ้นอีกด้วย ผลิตภัณฑ์บรรจุภัณฑ์ที่ผลิตขึ้นมาในงานวิจัยนี้ยังมีคุณสมบัติในการยืดอายุผลผลิตทางการเกษตร ซึ่งจะส่งผลทำให้เมื่อส่งสินค้าทางการเกษตรไปขายในต่างประเทศ มีความสดใหม่ทำให้สามารถขายสินค้าได้ในราคาที่สูงและยังสามารถส่งสินค้าไปขายในต่างประเทศที่ห่างไกลหรือใช้วิธีการขนส่งที่ประหยัดค่าใช้จ่ายได้ โดยผลที่ได้จากการศึกษาบรรจุภัณฑ์จากชานอ้อยที่มีความสามารถยืดอายุผลไม้ได้นี้จะส่งผลให้สามารถขยายตลาดการส่งออกได้อีกด้วย ดังนั้นผลิตภัณฑ์บรรจุภัณฑ์ชิ้นนี้จึงสามารถช่วยในการแข่งขันทางการค้ากับต่างประเทศได้ ซึ่งเป็นผลทำให้มีรายได้เข้าประเทศมากยิ่งขึ้น

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตรวจสอบเอกสาร

1. อ้อย

1.1 ประวัติของอ้อย

อ้อยเป็นพืชที่รู้จักกันดีตั้งแต่โบราณกาล (ธงชัย, 2535) ได้มีการบันทึกไว้ว่า พบอ้อยในประเทศอินเดียเมื่อ 300 ปีก่อนคริสตกาล ในประวัติศาสตร์ของศาสนาฮินดูได้ยืนยันการปลูกอ้อยและได้นำมาผลิตน้ำตาลในลักษณะที่ต่างๆ กัน ส่วนมากจะอยู่ในรูปของน้ำอ้อย น้ำหวานและน้ำเชื่อมเท่านั้น ต่อมาเมื่อการปลูกอ้อยได้แพร่กระจายไปยังประเทศต่างๆ จนมาถึงประเทศไทย เมื่อหลายร้อยกว่าปีมาแล้วชาวจีนได้ตั้งโรงงานหีบอ้อยหรือ โรงงานน้ำตาลที่ลุ่มน้ำนครชัยศรีแต่ก็ต้องเลิกกิจการไป น้ำตาลที่ผลิตได้ก็ยังคงเป็นน้ำตาลทรายแดงเท่านั้น ในปี พ.ศ. 2506-2507 สำนักงานกองทุนสงเคราะห์อุตสาหกรรมน้ำตาลทราย โดยความร่วมมือจาก คร.เอ.เจ แมงเกลส์คอร์ตและกระทรวงเกษตรแห่งสหรัฐอเมริกาได้ให้ความช่วยเหลือจัดส่งพันธุ์อ้อย 91 พันธุ์เข้ามาปลูกในประเทศไทย ณ สถานีอ้อยบางพระ จังหวัดชลบุรี และสถานีอ้อยกาญจนบุรี ในปัจจุบันนี้มีอ้อยปลูกในประเทศไทยมากกว่า 200 พันธุ์ ส่วนใหญ่เป็นพันธุ์ที่ได้มาจากต่างประเทศ เช่น ได้หวัน ออสเตรเลีย บราซิล เป็นต้น



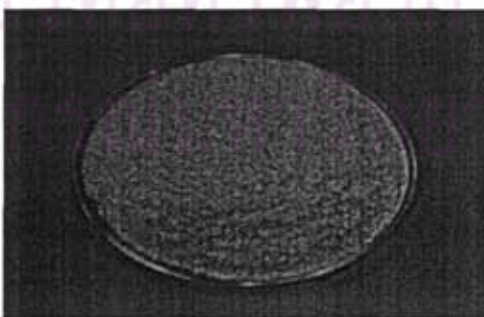
ภาพที่ 1 ลักษณะของต้นอ้อย

1.2 ลักษณะของอ้อย

อ้อยมีชื่อทางวิทยาศาสตร์ว่า *Saccharum officinarum* จัดเป็นพืชตระกูลหญ้าที่มีลำต้นสูง ซึ่งประกอบด้วยข้อและปล้องเป็นจำนวนมากเรียงต่อกันและมีใบที่ประกอบด้วยกาบใบและแผ่นใบ ซึ่งจะมีดอกเป็นช่อยาวมีแกนช่อดอกตรงกลางและมีแขนงแตกออกมา ซึ่งอ้อยเป็นวัตถุดิบที่ใช้ในการผลิตน้ำตาล โดยในอุตสาหกรรมน้ำตาลที่ใช้อ้อยเป็นวัตถุดิบจะมีวัสดุที่เหลือใช้จากโรงงานก็คือ ชานอ้อย

1.3 ชานอ้อย

คือ ส่วนของลำต้นที่เหลือจากการหีบอ้อยเพื่อนำน้ำอ้อยออกมาตามกระบวนการผลิตน้ำตาล โดยส่วนนี้จัดว่าเป็นเศษวัสดุเหลือใช้จากอุตสาหกรรมน้ำตาล ในปัจจุบันได้นำชานอ้อยไปใช้ประโยชน์ในด้านต่างๆ มากมาย



ภาพที่ 2 ลักษณะของชานอ้อยที่ยังไม่บดและบดแล้ว

1.3.1 ผลึกภัณฑ์ต่างๆ ที่ใช้ชานอ้อยเป็นวัตถุดิบ

ในอดีตที่ผ่านมาได้มีการนำชานอ้อยไปใช้เป็นเชื้อเพลิงสำหรับคัมน์น้ำในหม้อไอน้ำให้เดือดแล้วใช้กำลังของไอน้ำสำหรับเดินเครื่องจักรไอน้ำ และได้ใช้สำหรับกำเนิดไฟฟ้าในเวลาต่อมา ชานอ้อยในยุคก่อนๆ ยังสามารถใช้ชานอ้อยเข้าสู่เตา เพื่อคัมน์น้ำให้กลายเป็นไอน้ำไปใช้ในส่วนต่างๆภายในโรงงาน ถึงกระนั้นก็ตามชานอ้อยยังคงมีปริมาณเหลืออยู่มาก ทำให้เกิดปัญหาในการกำจัดและการทำลายไปจากโรงงาน ดังนั้นนักวิจัยได้พยายามคิดค้นหาวิธีนำชานอ้อยมาประดิษฐ์สิ่งที่เป็นประโยชน์ (สมบูรณ์, 2540) โดยผลิตภัณฑ์ที่ได้จากชานอ้อยมีมากมายด้วยกัน ดังนี้

a นำชานอ้อยมาอัดเป็นแผ่นคล้ายไม้อัดเพื่อใช้ทำฝ้าเพดานเนื่องจากเก็บเสียงได้ดี ตลอดจนนำมาใช้ในการบุผนังห้องในบ้านหรือในรถยนต์

b ถ้ามองในแง่ของพลังงานสามารถนำชานอ้อยมาใช้เป็นเชื้อเพลิงได้ถึงแม้ชานอ้อยจะให้พลังงาน น้อยกว่าน้ำมันหรือถ่านหิน แต่ก็ยังเป็นผลพลอยได้ที่โรงงานน้ำตาลที่ไม่ต้องลงทุนซื้อพลังงานจากต่างประเทศเหมือนน้ำมันหรือถ่านหิน ได้มีการศึกษาค่าพลังงานของชานอ้อยไว้ว่า ชานอ้อย 6 ตัน ที่มีความชื้น 50 % มีเส้นใยประมาณ 46 % และมีน้ำตาลเหลืออยู่ 3 % จะมีความร้อนเทียบเท่ากับน้ำมันเตาหนึ่งตัน ทั้งนี้ ถ้าชานอ้อยมีความชื้นน้อยจะมีเปอร์เซ็นต์เส้นใยสูงและมีน้ำตาลซูโครสที่เหลืออยู่สูงก็จะทำให้เกิดความร้อนมากยิ่งขึ้น

c นำชานอ้อยมาสกัดเอาสารประกอบ เฟอฟูรัล (Furfural) โดยเป็นสารเคมีที่ไม่มีสี ไม่มีกลิ่น มีกลิ่นหอมและระเหยได้ง่าย เมื่อถูกแสงสว่างหรืออากาศจะเปลี่ยนเป็นสีน้ำตาลแดง สารประกอบ เฟอฟูรัล (Furfural) นำมาใช้ประโยชน์ในอุตสาหกรรมกลั่นน้ำมันหล่อลื่นหรือใช้เป็นส่วนผสมของกาวหรือสารที่ทำให้พลาสติกจะมีการแข็งตัว

d ใช้ชานอ้อยในการทำเชื้อกระดาษ โดยนำไปผสมกับเชื้อกระดาษที่ได้จากไม้

e ใช้ชานอ้อยเป็นส่วนประกอบของการทำพลาสติกเนื่องจากภายในชานอ้อยมีลิกนินบริสุทธิ์ ได้มีการค้นพบว่าชานอ้อยสามารถนำมาผลิตผลิตภัณฑ์ให้พลังงานเผาไหม้ค่อนข้างสูง

1.3.2 องค์ประกอบของชานอ้อย

ชานอ้อยมีองค์ประกอบคล้ายไม้เนื้อแข็ง ซึ่งมีเซลลูโลสสูงกว่มาก จากการวิเคราะห์องค์ประกอบของชานอ้อยได้ดังตารางที่ 1 ต่อไปนี้

คุณสมบัติของชานอ้อย

ตารางที่ 1 องค์ประกอบของชานอ้อย

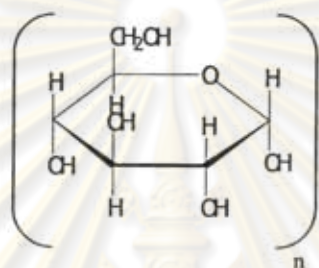
วิเคราะห์แบบแยกธาตุ	%	วิเคราะห์ทางเคมี	%
คาร์บอน	23	เซลลูโลส	45
ไฮโดรเจน	3	เพนโทเซน	26
ออกซิเจน	23	ลิกนิน	21
เถ้า	2	เถ้า	3
ความชื้น	49	สารอินทรีย์อื่นๆ	5
รวม	100	รวม	100

วิเคราะห์ทางกายภาพ ของเส้นใยแห้ง	%	วิเคราะห์ทางกายภาพ	%
เส้นใยจริง	55	ความชื้น	50
ทอล่าเลียง	20	เส้นใย	48
เยื่อหุ้มทอล่าเลียง	20	ของแข็งที่ละลายน้ำได้	2
ส่วนที่ไม่ใช่เส้นใย	5		
รวม	100	รวม	100

ที่มา: สมบูรณ์ (2540)

1.3.3 เซลลูโลส

เซลลูโลสเป็นพอลิเมอร์ธรรมชาติที่มีมากที่สุดและยังมีการกระจายตัวโดยทั่วไปอย่างกว้างขวาง เพราะเป็นองค์ประกอบหลักของผนังเซลล์ของพืชทุกชนิด (สมบูรณ์, 2540) อย่างไรก็ตามเซลลูโลสในเชิงพาณิชย์ที่สำคัญก็มีมากมาย เช่น ฝ้าย ไม้ อ้อย เป็นต้น เซลลูโลสเป็นโพลีซัคคาไรด์ (Polysaccharides) มีลักษณะที่เป็นหน่วยที่ต่อกันเป็นเส้นตรง ดังต่อไปนี้



ภาพที่ 3 โครงสร้างของเซลลูโลส

เซลลูโลสเกิดจากโมเลกุลของกลูโคสซึ่งมีประมาณ 4,000 ถึง 8,000 โมเลกุลต่อกันเป็นสายยาวเมื่อโมโนเมอร์ของกลูโคสมาต่อกันเป็นสายยาวโดยเกิดปฏิกิริยาพอลิเมอร์ไรเซชัน จะได้เป็นพอลิเมอร์ชนิดหนึ่ง ซึ่งจะเรียกว่า Polysaccharide และการเกิดปฏิกิริยาพอลิเมอร์ไรเซชันของกลูโคสจะต่อกันอยู่อย่างไม่เป็นระเบียบการเกิดเป็นสายยาวของพอลิเมอร์เกิดจากการต่อกันของกลูโคสเข้าด้วยกันและต่อกันที่ตำแหน่ง Beta 1-4 (ถ้ากลุ่มของกลูโคสเกิดการต่อกันที่ตำแหน่ง Alpha 1-4 แทนที่จะได้ Cellulose กลับจะได้ Starch แทน) และจะพบว่าเซลลูโลสมีความแข็งแรงมาก ซึ่งส่วนที่ทำให้เซลลูโลสมีความแข็งแรงนี้คือองค์ประกอบของ Microcrystals โดยยึดกันด้วย Hinged ซึ่ง Hinged นี้จะทำหน้าที่เป็นตัวยึดหยุ่นให้กับเซลลูโลส จึงเห็นได้ว่าเซลลูโลสในที่นี้ทั้งความแข็งแรงและสามารถยึดหยุ่นได้ ดังนั้นทั้ง Microcrystals และ Hinged จึงเป็นองค์ประกอบหลักในเซลลูโลสและในพืชต่างๆ ไป เซลลูโลสมีหมู่ -OH อยู่ด้วยกันถึง 3 หมู่ ซึ่งสามารถเกิดพันธะไฮโดรเจนได้ แรงดึงดูดระหว่างโมเลกุลของเซลลูโลสจึงสูง เซลลูโลสมีความเป็นผลึกที่สูงมาก จึงเป็นสาเหตุให้เซลลูโลสมีอุณหภูมิหลอมตัวที่สูงมาก จะเกิดการสลายตัวก่อนอุณหภูมิหลอมตัวและมีความสามารถละลายที่ต่ำมาก เมื่อพยายามละลายเซลลูโลสในตัวทำละลายที่มีขั้วสูง ซึ่งรวมทั้งน้ำด้วย จึงเป็นสาเหตุที่ทำให้สามารถป้องกันการซึมผ่านของน้ำได้ดี เนื่องจากเซลลูโลสสลายโมเลกุลก่อนหลอมตัวและไม่อาจจะละลายในตัวทำละลายใดๆ

ทั้งสิ้น การแปรรูปแบบการหลอมเหลวหรือแบบสารละลายจึงไม่สามารถจะทำได้ อย่างไรก็ตาม อนุพันธ์ของเซลลูโลส เช่น เซลลูโลสอะซิเตด หรือ เซลลูโลสอีเทอร์สามารถนำมาแปรรูปได้

2. แป้ง

แป้งเป็นคาร์โบไฮเดรตที่สะสมอยู่ในพืชชั้นสูง พบในกลอโรพลาสต์และส่วนที่พืชใช้เป็นแหล่งเก็บอาหาร เช่น เม็ดและหัว มนุษย์ได้รับแป้งจากพืชแตกต่างกันตามภูมิประเทศในโลก แต่ที่สำคัญที่มีการใช้กันทั่วโลก คือ แป้งข้าวโพด แป้งมันสำปะหลัง แป้งสาลีและแป้งมันฝรั่ง ถึงแม้บทบาทที่สำคัญของแป้ง คือ ใช้เป็นแหล่งอาหารและพลังงานของมนุษย์ คุณสมบัติเฉพาะของแป้งได้นำมาใช้ในอุตสาหกรรมต่างๆ เช่น อุตสาหกรรมอาหาร อุตสาหกรรมกระดาษ อุตสาหกรรมสิ่งทอ อุตสาหกรรมกาว และอุตสาหกรรมแป้งแปรรูป เป็นต้น

แป้ง หมายถึงคาร์โบไฮเดรตที่มีองค์ประกอบของคาร์บอน ไฮโดรเจนและออกซิเจนเป็นส่วนใหญ่และมีสิ่งอื่นที่เจือปนอยู่แต่มีปริมาณที่น้อยมาก เช่น โปรตีน ไขมัน เกลือแร่ ส่วนแป้งที่ผลิตขึ้นโดยทั่วไปที่มีส่วนประกอบอื่นๆ อยู่มาก จะเรียกว่าฟลาว (Flour) เช่น แป้งข้าวโพด แป้งมันสำปะหลัง มีส่วนที่มีโปรตีนสูง จะจัดอยู่ในประเภท ฟลาว แต่ถ้าสิ่งเจือปนเหล่านี้ หมายถึง ไขมัน เกลือแร่และอื่นๆ ถูกสกัดออกไปจนเหลือแป้งบริสุทธิ์เป็นส่วนให้ จึงเรียกว่าสตาร์ช (Starch) คำว่า แป้งในส่วนนี้จะหมายถึงแป้งประเภทสตาร์ช

แป้งชนิดต่างๆ ที่มีการผลิตกันทั่วโลกมีประมาณ 34 ล้านตันในช่วงเวลาเพียง 3 ปี ส่วนใหญ่เป็นแป้งข้าวโพดที่ผลิตในอเมริกา ซึ่งเป็นประเทศที่ผลิตแป้งรายใหญ่ที่สุดในโลก สำหรับประเทศไทยเป็นประเทศที่ผลิตแป้งมันสำปะหลังมากที่สุดในโลกเช่นกัน แป้งที่ผลิตได้จะถูกนำไปใช้ในอุตสาหกรรมต่างๆ หลายชนิดโดยตรง เช่น อุตสาหกรรมผลิตสารให้ความหวานเป็นอุตสาหกรรมแปรรูปแป้งที่ใหญ่ที่สุดในโลก ในประเทศไทยอุตสาหกรรมแป้งถือได้ว่าเป็นอุตสาหกรรมแปรรูปทางการเกษตรหลักของประเทศ แป้งที่ผลิตมากที่สุด คือ แป้งมันสำปะหลัง ซึ่งแป้งที่ผลิตได้จะมีคุณภาพสูง นั่นคือมีสิ่งแปลกปลอมน้อยมาก ปัจจุบันมีโรงงานอุตสาหกรรมแป้งมันสำปะหลังที่จดทะเบียนกับสมาคมการค้าอุตสาหกรรมแป้งมันสำปะหลังทั้งหมด 41 โรงงานด้วยกัน(สมบูรณ์, 2540) การผลิตสำรวจในช่วงปี

พ.ศ 2530–2540 สามารถผลิตแป้งมันสำปะหลังได้ 2 ล้านตัน ส่งออกต่างประเทศ 1 ล้านตัน ที่เหลือเป็นปริมาณที่ใช้ในประเทศ

2.1 ประวัติของแป้ง

2.1.1 แป้งข้าวโพด

ข้าวโพดที่ปลูกในประเทศไทยได้ถูกนำเข้ามาโดยพ่อค้าชาวโปรตุเกส เมื่อประมาณ 400 กว่าปีมาแล้ว เนื่องจากธรรมชาติในการผสมข้ามสายพันธุ์ของข้าวโพดกับการคัดเลือกโดยธรรมชาติจึงทำให้ข้าวโพดกลายพันธุ์เรื่อยมา ดังนั้น ม.จ. สิทธิพร กฤษดากร อธิบดีอธิบดีกรมวิชาการเกษตร ได้สั่งข้าวโพดเข้ามาทดลอง 2 พันธุ์ คือ พันธุ์หัวบุกสีขาวชื่อ *Mexican June* และพันธุ์หัวบุกสีเหลือง ชื่อ *Nicolson Dent* ข้าวโพดทั้งสองพันธุ์ได้พัฒนาตัวเองเพื่อปรับตัวเองให้เข้ากับสภาพแวดล้อมในประเทศไทยและปลูกกันอย่างแพร่หลายในภาคตะวันออกเฉียงเหนือ

อรอนงค์ (2538) ระหว่างปี พ.ศ. 2469-2475 องค์กรตามงานวิจัยด้านวิชาการเกี่ยวกับข้าวโพดได้เริ่มขึ้นเมื่อปี พ.ศ. 2494 ด้วยความร่วมมือกับ เอ .ไอ. ดี. โดย Mr. Howard Ream ได้นำข้าวโพดแก้วเตมาลาจากอินโดนีเซียเข้ามาในประเทศไทยและได้ทดลองปลูกในพื้นที่ต่างๆ ในปีต่อมาข้าวโพดแก้วเตมาลา ซึ่งมีสีส้มอมแดงซึ่ง ผลิตได้ผลดีที่สุดและได้รับการแนะนำให้ปลูกในด้านการค้าในเวลาต่อมา ในปี พ.ศ.2509 ได้ตัดสินใจยกระดับงานวิจัยเป็น โครงการข้าวโพดข้าวฟ่างระดับชาติโดยมีความร่วมมือ 3 ฝ่ายด้วยกัน คือ กรมวิชาการเกษตร มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ และมูลนิธิร็อกกี้เฟลอร์ ในเดือนตุลาคม พ.ศ. 2012 ศูนย์วิจัยข้าวโพดข้าวฟ่างแห่งชาติจึงได้ถูกจัดตั้งขึ้น ในปัจจุบันนี้ประเทศไทยได้ผลิตข้าวโพดเกินความต้องการภายในประเทศจึงได้มีการสนับสนุนให้มีการใช้ข้าวโพดเป็นวัตถุดิบในอุตสาหกรรมต่างๆ เพื่อแปรรูปข้าวโพดไปใช้ประโยชน์ในด้านต่างๆ เช่น อุตสาหกรรมแป้ง เป็นต้น

ลักษณะของข้าวโพด มีชื่อทางวิทยาศาสตร์ว่า *Zea Mays L.* ตระกูล *Gramineae* โดยลำต้นที่แข็งแรง ใต้น้ำหนักกลวงเหมือนพืชชนิดอื่นๆ โดยปล้องของข้าวโพดมีลักษณะที่มีต้นสั้นและหนาแต่จะค่อยๆ ขาวขึ้น ไปทางด้านปลาย มีใบลักษณะที่เรียวยาวและมีรากที่แตกเป็นแขนงแผ่กระจายโดยรอบของลำต้น

2.1.2 แป้งข้าวสาลี

จากจดหมายเหตุการเดินทางสู่ประเทศไทยของบาทหลวงดาซาร์ด์ เมื่อ พ.ศ. 2223 ในสมัยสมเด็จพระนารายณ์มหาราช กล่าวว่า ขนบึงหาซื้อได้ยากมากและมีราคาแพง เพราะต้องซื้อแป้งสาลีจากประเทศญี่ปุ่น ต่อมา เมื่อปี พ.ศ. 2399 ในสมัยสมเด็จพระจอมเกล้าอยู่หัวกับกัปตันเทิร์นเซนต์ แฮริส ได้บันทึกไว้ว่า ต้องนำแป้งสาลีเข้ามาจากฮ่องกง เพื่อใช้ทำขนมปังสำหรับงานเลี้ยงในพระราชวัง โดยข้าวสาลีไม่ใช่พืชพื้นเมืองของประเทศไทย การส่งเสริมพืชชนิดนี้ ได้นำพันธุ์จากต่างประเทศเข้ามาทดลองปลูกเป็นจำนวนมากในช่วงแปดสิบปีที่ผ่านมา โดยได้มีการปรับปรุงสายพันธุ์มาเรื่อยๆ จนถึงปัจจุบัน และได้นำข้าวสาลีมาแปรรูปเพื่อใช้ประโยชน์ในด้านต่างๆ เช่น นำมาเป็นวัตถุดิบในอุตสาหกรรมการผลิตแป้งสาลี

ลักษณะของข้าวสาลี ซึ่งมีชื่อวิทยาศาสตร์ว่า *Triticum spp* (Knight, 1969) มีปลูกตั้งแต่สมัยโบราณ ในประเทศอิหร่าน อียิปต์ และประเทศในทวีปยุโรป ต่อมาได้ขยายมาปลูกคามพื้นที่ต่างๆ ทั่วโลก ข้าวสาลีนี้เป็นพืชล้มลุก ต้นสีเขียวมีการแตกออกคล้ายกับต้นข้าว แต่ปลูกในที่ดอนไม่มีน้ำขัง ต้นข้าวสาลีจะออกรวงที่ปลายยอดเหมือนต้นข้าว แต่รวงของข้าวสาลีมีลักษณะเป็นแท่ง เมื่อดข้าวสาลีจะเรียงกันเป็นแถวอยู่ในก้านรวงเปลือกที่หุ้มข้าวสาลีนั้นอาจจะมีหางหรือไม่มีหางก็ได้

2.1.3 แป้งมันสำปะหลัง

ถิ่นกำเนิดของมันสำปะหลังอาจกล่าวได้ว่าอยู่ในอเมริกาใต้ บราซิลและเม็กซิโกมีการเรียกชื่อต่างๆ ตามแต่ละสถานที่ ในทางพฤกษศาสตร์มันสำปะหลังจัดเป็นพืชใบเลี้ยงคู่ ซึ่งมีชื่อทางวิทยาศาสตร์ว่า *Manihot esculenta* ในปัจจุบันนี้ในประเทศไทยมีพันธุ์ที่ปลูกกันมาก 9 พันธุ์ด้วยกัน และมีโรงงานที่จดทะเบียนกับกระทรวงอุตสาหกรรม 96 โรงงาน และได้ใช้หัวมันเพื่อการผลิตแป้งมากกว่า 10 ล้านตัน ในช่วงปี พ.ศ. 2540-2541

2.2 องค์ประกอบของแป้ง

แป้งเป็นคาร์โบไฮเดรตที่ประกอบด้วยคาร์บอน ไฮโดรเจน และออกซิเจนในอัตราส่วน 6:10:5 มีสูตรโครงสร้างโดยทั่วไป คือ $C_6H_{10}O_5$ แป้งเป็นพอลิเมอร์ของกลูโคส ซึ่งประกอบด้วย Anhydroglucose Unit เชื่อมต่อกันด้วยพันธะ Glucosidic Linkage ที่คาร์บอนตำแหน่งที่ 1 ทางด้านตอนปลายของสายพอลิเมอร์ที่มีหน่วยกลูโคสที่มีหมู่ Aldehyde Group เรียกว่า Reducing End Group

แป้งประกอบด้วยพอลิเมอร์ของกลูโคส 3 ชนิด คือ พอลิเมอร์เชิงเส้น เรียกว่า อะมิโลสและพอลิเมอร์เชิงกิ่ง เรียกว่า อะมิโลเพกทินและสารเชื่อมกลาง ซึ่งมีอยู่น้อยมากในแป้ง วางตัวในแนวรัศมี โดยแป้งแต่ละชนิดจะมีอัตราส่วนระหว่างอะมิโลสและ อะมิโลสเพกทิน ที่แตกต่างกัน ซึ่งทำให้คุณสมบัติของแป้งแต่ละชนิดแตกต่างกัน ดังต่อไปนี้

ตารางที่ 2 คุณสมบัติทางโครงสร้างของแป้ง

ประเภท	แป้งมันฝรั่ง	แป้งข้าวโพด	แป้งสาลี	แป้งมันสำปะหลัง
อะมิโลส(%น.น แห้ง)	21	28	28	17
อะมิโลสเพกทิน(%น.น แห้ง)	79	72	72	83
DP อะมิโลส	3,000	800	800	3000
DP อะมิโลสเพกทิน	2×10^6	2×10^6	2×10^6	2×10^6
จำนวนโมเลกุลอะมิโลส ในแป้ง 1 กรัม($\times 10^{20}$)	30	130	130	20
จำนวนโมเลกุลอะมิโลสเพกทิน ในแป้ง 1 กรัม($\times 10^{17}$)	150	130	130	150
สัดส่วนจำนวนโมเลกุลของ อะมิโลสต่ออะมิโลสเพกทิน	200	1,000	1,000	150
NC ของอะมิโลส	9.5	2.7	4.8	7.6
NC ของอะมิโลสเพกทิน	410	370	250	-
CL ของอะมิโลส	240	340	270	340
CL ของอะมิโลสเพกทิน	24	22	19	-
DP เฉลี่ยของโมเลกุลแป้ง	14,000	3,000	3,000	18,000

หมายเหตุ NC = จำนวนสายโซ่เฉลี่ย (Number of Chain)
 CL = ความยาวของสายโซ่เฉลี่ย (Chain Length)
 DP = Degree of Polymerization

ที่มา: Hizukiri (1988)

ตารางที่ 3 คุณสมบัติที่สำคัญของอะมิโลสและอะมิโลสเพกทิน

คุณสมบัติ	อะมิโลส	อะมิโลสเพกทิน
ลักษณะโครงสร้าง	สารประกอบของน้ำตาลกลูโคส เกาะกันเป็นกิ่งก้าน	สารประกอบของน้ำตาลกลูโคส เกาะกันเป็นเส้นตรง
พันธะที่จับ	α -1,4	α -1,4 และ α -1,6
ขนาด	200-2,000 หน่วยกลูโคส	มากกว่า 10,000 หน่วยกลูโคส
การละลาย	ละลายน้ำได้น้อยกว่า	ละลายน้ำได้ดีกว่า
การทำปฏิกิริยากับไอโอดีน	สีน้ำเงิน	สีแดงม่วง
การจับตัว	เมื่อให้ความร้อนแล้วทิ้งไว้ ให้เย็นจะจับเป็นวุ้นแข็ง	ไม่เกิดการจับตัว

ที่มา: Beynum and Roels (1985)

ตารางที่ 4 คุณสมบัติของแป้งข้าวโพดที่มีปริมาณอะมิโลสที่แตกต่าง

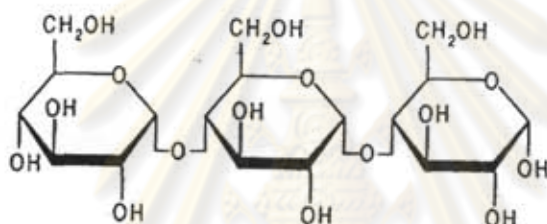
ชนิดแป้ง	ปริมาณอะมิโลส(%)	คุณสมบัติ
Waxy maize	0-1	ไม่เกิดเจลและมีคุณสมบัติเป็นแป้งเปียกใส
Maize	27	เกิดเจลที่แข็งแรงและแป้งเปียกขุ่น
Amylomaize	50-70	เม็ดแป้งพองตัวได้ยากและเกิดแข็ง แป้งเปียกขุ่นและใช้อุณหภูมิเกิดแป้งสูง

ที่มา: Oates (1997)

อะมิโลสเพกทินถือว่ามีค่าสำคัญมากกว่าอะมิโลส ทั้งด้านโครงสร้าง หน้าที่และการนำไปใช้ ดังนั้นเมื่อปริมาณของอะมิโลสและอะมิโลสเพกทินที่แตกต่างกันทำให้แป้งมีคุณสมบัติที่แตกต่างกัน (Oates, 1997) จะแสดงให้เห็นดังตารางที่ 4

2.3 อะมิโลส

อะมิโลสเป็นพอลิเมอร์เชิงเส้นที่ประกอบด้วยกลูโคสประมาณ 2,000 หน่วยเชื่อมต่อกันด้วยพันธะ α -1,4-glucosidic linkage ซึ่งมีโครงสร้าง ดังนี้



ภาพที่ 4 โครงสร้างของอะมิโลส

ที่มา: Oates (1997)

แป้งจากธัญพืช เช่น แป้งข้าวโพด แป้งข้าวสาลี มีปริมาณอะมิโลสสูงประมาณ 28 % แป้งจากรากและหัว เช่น แป้งมันสำปะหลัง แป้งมันฝรั่ง มีปริมาณอะมิโลสต่ำประมาณ 20 % ซึ่งอะมิโลสของแป้งแต่ละชนิดจะมีน้ำหนักโมเลกุลที่แตกต่างกันออกไป โดยน้ำหนักโมเลกุลของแป้งมันสำปะหลัง และแป้งมันฝรั่งมีน้ำหนักโมเลกุลมากกว่าแป้งข้าวโพดและแป้งข้าวสาลี ซึ่งคุณสมบัติของแป้งแต่ละชนิดแสดงในตารางที่ 3 ตำแหน่งของอะมิโลสภายในเม็ดแป้งขึ้นอยู่กับสายพันธุ์ของแป้งอะมิโลส บางส่วนอยู่ในกลุ่มของอะมิโลสเพกทิน บางส่วนกระจายตัวในส่วนของอสัณฐาน (Amorphous) และส่วนของผลึก (Crystalline) ในแป้งสาลีพบอะมิโลสอยู่ในส่วนของอสัณฐาน ในแป้งมันฝรั่งพบอะมิโลสอยู่ร่วมกับอะมิโลสเพกทินในส่วนของผลึก การศึกษาการเกิดเจลลาติไนซ์ของแป้งมันฝรั่งของ (Jane and Shen, 1993) พบว่าอะมิโลสในส่วนของเม็ดแป้งมากกว่าที่จะอยู่ในส่วนของใจกลางแป้งและจากการศึกษาของ (Oates, 1996) ได้ทำการศึกษาการต่อเชื่อม (Cross Link) ของอะมิโลสและอะมิโลสเพกทินจากแป้งข้าวโพดและแป้งมันฝรั่ง พบว่า อะมิโลสที่มีขนาดใหญ่จะพบเป็นเกลียวกับอะมิโลสเพกทิน

อยู่ใจกลางของเม็ดแป้ง สำหรับอะมิโลสขนาดโมเลกุลเล็กจะพบอยู่ตามขอบของเม็ดแป้ง (Jane and Seib, 1992) พบว่าอะมิโลสกระจายอยู่ทั่วไปในส่วนของอะมิโลสเพกทินมากกว่าจะรวมตัวกันเป็นกลุ่ม

โครงสร้างของอะมิโลสเมื่ออยู่ในสารละลายจะมีหลายรูปแบบ คือ ลักษณะเป็นเกลียวม้วน (Helix) เกลียวม้วนขาดตัว (Interrupted Helix) หรือม้วนอิสระ (Random Coil) ดังภาพที่ 5 ในสารละลายที่อุณหภูมิห้อง (Whistler and Daniel, 1984) อะมิโลสอยู่ในลักษณะเป็นเกลียวหรือเกลียวที่ขาดตัวก็ได้ ซึ่งอะมิโลสที่มีน้ำหนักโมเลกุลตั้งแต่ 6,500 ถึง 16,000 โมเลกุล ซึ่งมีโมเลกุลเป็นม้วนอิสระที่ไม่ละลายในสารละลาย สำหรับอะมิโลสที่มีน้ำหนักโมเลกุลน้อยกว่า 6,500 โมเลกุล อาจมีบางส่วนที่ละลายได้ โมเลกุลจะอยู่ในลักษณะเกลียวคู่แข็ง



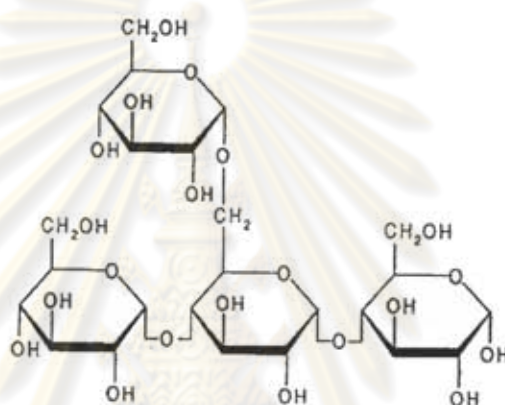
ภาพที่ 5 ลักษณะเกลียวของอะมิโลส

ที่มา: Whistler และ Daniel (1984)

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

2.4 อะมิโลสเพกทิน

อะมิโลสเพกทินเป็นพอลิเมอร์เดี่ยวของกลูโคส ส่วนที่เป็นเส้นตรงของกลูโคสเชื่อมต่อกันด้วยพันธะ α -1,4-Glucosidic Linkage และส่วนที่เป็นกิ่งก้านสาขาที่มีลักษณะเป็นพอลิเมอร์กลูโคสสายสั้นมี Degree of Polymerization อยู่ในช่วง 10 ถึง 60 หน่วย เชื่อมกันด้วยพันธะ α -1,6-Glucosidic Linkage ซึ่งมีสูตรโครงสร้าง ดังนี้



ภาพที่ 6 โครงสร้างของอะมิโลสเพกทิน

ที่มา: Robin and Guilbot (1974)

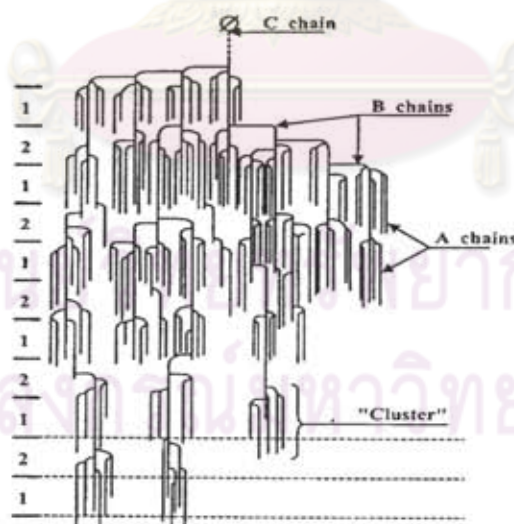
หน่วยของ α -1,6-Glucosidic Linkage มีอยู่ประมาณ 5 % ของปริมาณอะมิโลสเพกทินทั้งหมด ซึ่ง Degree of Polymerization ของอะมิโลสเพกทินในแป้งแต่ละชนิดจะเท่ากันประมาณ 2 ล้านหน่วย อะมิโลสเพกทินมีน้ำหนักโมเลกุลประมาณ 1,000 เท่าของอะมิโลส ซึ่งมีอัตราในการกินตัวที่ต่ำ เนื่องจากอะมิโลสมีลักษณะที่เป็นกิ่ง

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ลักษณะโครงสร้างแบบกิ่งของอะมิโลสเพกทินประกอบด้วยสาย 3 ชนิด คือ
 สาย A (A-Chain) เชื่อมต่อกับสายอื่นที่ตำแหน่งเดียว ไม่มีกิ่งเชื่อมต่อออกจากสายชนิดนี้
 สาย B (B-Chain) มีโครงสร้างแบบกิ่งเชื่อมต่อกันกับสายอื่นๆ อีก 2 สายหรือมากกว่าโครงสร้างอะมิโลสเพกทินประกอบด้วยสาย A และสาย B ในอัตราส่วน 1:1

สาย C (C-Chain) แบบสายแกนซึ่งประกอบด้วยหมู่รีดิวซิง 1 หมู่ ในอะมิโลสเพกทินแต่ละโมเลกุล ประกอบด้วย C หนึ่งสายเท่านั้น

ขนาดโมเลกุลของอะมิโลสเพกทินมีตั้งแต่ขนาดเล็ก ซึ่งมี Degree of Polymerization ประมาณ 15 หน่วย ประกอบด้วย สาย A และ สาย B ขนาดเล็ก จนถึงโมเลกุลขนาดใหญ่ ซึ่งมี Degree of Polymerization ประมาณ 15 หน่วย ประกอบด้วยสาย B สายยาว สายเหล่านี้อยู่รวมตัวเป็นกลุ่มก้อน (Robin and Guilbot, 1974) ได้ศึกษาโครงสร้างอย่างละเอียดของอะมิโลสเพกทิน โดยใช้ Debranching Enzyme และ β -Amylase ย่อยอะมิโลสเพกทินจากมันฝรั่ง แสดงโครงสร้างของอะมิโลสเพกทิน ดังภาพที่ 7 ส่วนที่หนึ่งแสดงถึงส่วนที่เป็นผลึกและส่วนที่สองเป็นส่วนของโครงสร้างที่เป็นกิ่งเชื่อม แสดงถึงส่วนที่เป็นอสัณฐาน (Amorphous Region)

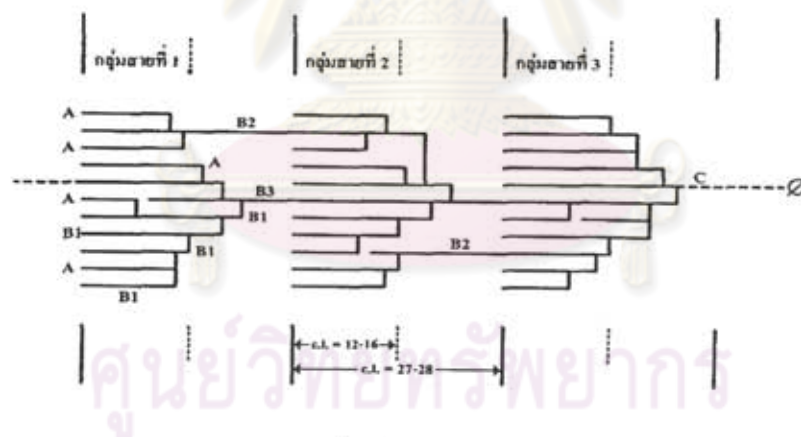


ภาพที่ 7 ลักษณะโครงสร้างอะมิโลสเพกทินที่ประกอบด้วยส่วนผลึกและส่วนอสัณฐาน

ที่มา: Robin and Guilbot (1974)

Hizukuki (1988) แสดงแบบจำลองลักษณะโครงสร้างของอะมิโลสเพกทิน ดังภาพที่ 8 ซึ่งมีอัตราส่วนระหว่าง A และ สาย B เท่ากับ 1:1 และมีการเปลี่ยนแปลงในระหว่าง Amylysis ของอะมิโลสเพกทิน จากโครงสร้างของอะมิโลสเพกทินจะมีลักษณะของสาย A และ สาย B1 จะประกอบเป็นกลุ่มเดียว สำหรับสาย B 2 และ สาย B 3 มีความยาวของสายที่แผ่ออกไปทำให้เกิดเป็นกลุ่มสาย 2 และสาย 3 กลุ่ม ตามลำดับ

สำหรับอะมิโลสเพกทินของแป้งข้าวเจ้า ข้าวเหนียว มันสำปะหลัง และแป้งฝรั่งสายส่วนใหญ่ประมาณ 80 – 90 % ประกอบด้วยกลุ่มเดี่ยวๆ และสายที่เหลืออีก 10 – 20 % จะเป็นส่วนที่เชื่อมต่อของแต่ละกลุ่ม ในแต่ละกลุ่มประกอบไปด้วยสายประมาณ 22 - 25 สาย ทำให้เกิดเป็นส่วนผลึกของเม็ดแป้ง ในการจับกันเป็นกลุ่มของอะมิโลสเพกทินทำให้เกิดเป็นเกลียวคู่ ซึ่งช่วยให้เม็ดแป้งมีความทนต่อการทำปฏิกิริยาดูดกลืนและเอ็นไซม์ ลักษณะ โครงสร้างที่เป็นเกลียวคู่ของอะมิโลสเพกทินบริเวณสาย A และสาย B 1



ภาพที่ 8 ลักษณะโครงสร้างอะมิโลสเพกทินที่ประกอบด้วยสาย A,B และ C
ที่มา: Hizukuki (1988)

การเกิดเกลียวคู่ของอะมิโลสเพกทินต้องใช้พันธะไฮโดรเจนและแรงวันเดอร์วาลส์ (Van De Waal) ในการเชื่อมต่อติดกัน กิ่งอะมิโลสเพกทินในเม็ดแป้งสามารถเกิดผลึกได้ ทั้งกิ่งที่อยู่ใกล้กันในกลุ่มเดียวกันหรือเกิดขึ้นระหว่างกลุ่มที่ใกล้เคียงกัน

2.5 สารเชื่อมกลาง

สารตัวกลางมีเพียงส่วนน้อยในแป้งเกือบทุกชนิด องค์ประกอบนี้มีน้ำหนักโมเลกุลน้อยกว่าอะมิโลสเพกทิน แต่มีขนาดใหญ่กว่าอะมิโลส (Rupp and Schwartz, 1988) ปริมาณและโครงสร้างของสารตัวกลางขึ้นอยู่กับชนิดและอายุการเก็บเกี่ยวของพืช ซึ่งปริมาณสารตัวกลางนี้จะมีปริมาณน้อยเมื่อเทียบกับปริมาณของอะมิโลสและอะมิโลสเพกทิน

2.5.1 ส่วนประกอบอื่นๆ ในเมล็ดแป้ง

ส่วนประกอบต่างๆ แบ่งออกเป็น 3 ส่วนด้วยกัน ดังต่อไปนี้

Particulate Material คือ ส่วนที่ไม่ใช่แป้งที่แยกได้จากแป้งได้แก่ โปรตีน

Surface Material คือ ส่วนที่ติดกับพื้นผิวของเมล็ดแป้ง สามารถสกัดออกได้โดยไม่ทำลายเมล็ดแป้ง เช่น เชื้อหุ้มอะมิโลพลาสต์

Internal Componet คือ ส่วนที่ติดอยู่ภายในเมล็ดแป้ง สามารถแยกออกโดยทำลายเมล็ดแป้ง เช่น ไขมันในเมล็ดธัญพืช หมู่ฟอสเฟตในแป้งมันฝรั่ง เป็นต้น

ส่วนประกอบอื่นๆที่มีผลกระทบต่อคุณสมบัติของเมล็ดแป้ง ได้แก่ ไขมัน โปรตีน เถ้า และฟอสฟอรัส ซึ่งมีปริมาณที่แตกต่างกันในแป้งแต่ละชนิด

1 ไขมัน

โดยส่วนใหญ่แป้งมีองค์ประกอบของไขมันต่ำกว่า 1 % ชนิดของไขมันที่มีอยู่ในแป้งมีผลต่อคุณสมบัติของแป้ง เช่น ผลกระทบต่อความเหนียวของแป้ง ดังนั้นในการวิเคราะห์คุณสมบัติของแป้งจะต้องกำจัดไขมันออกจากแป้ง โดยสกัดด้วยตัวทำละลายหรือย่อยสลายด้วยน้ำย่อยไขมันภายในแต่มีอยู่ทั่วไปในบริเวณพื้นผิวของเมล็ดแป้ง โดยจะเชื่อมต่อกันด้วยพันธะกับคาร์โบไฮเดรตอย่างหลวมๆ แป้งจากพืชหัวและจากถั่วไม่มีไขมันภายในเมล็ดแป้ง สำหรับแป้งจากธัญพืช เช่น ข้าวโพด ข้าวสาลี มีไขมันอยู่ภายในเมล็ดแป้งด้วย ซึ่งจะมีคุณสมบัติและปริมาณของไขมันที่แตกต่างกัน ในแป้งข้าวโพดมีไขมันถึง 0.6 – 0.8 % ซึ่งไขมันที่รวมตัวกันนั้นจะส่งผลถึงคุณสมบัติของเมล็ดแป้ง โดยจะลดความสามารถในการพองตัว การละลาย และการจับตัวกับน้ำของแป้ง เมื่อเกิดฟิล์มและเปื่อยขึ้น ไขมันจะรวมตัวกับอะมิโลสเกิดเป็น Inert Complex ทำให้ฟิล์มและแป้งเปื่อยมีลักษณะหีบแสงและขุ่น นอกจากนี้กรดไขมันที่อิ่มตัวซึ่งอยู่บริเวณพื้นผิวเมล็ดแป้งจะทำให้เกิดกลิ่นที่ไม่พึงประสงค์ เนื่องจากเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชัน แต่สำหรับไขมันที่รวมตัวเชิงซ้อนกับอะมิโลสจะไม่เกิดกลิ่น เนื่องจากสามารถต้านทาน

การเกิดออกซิเดชันได้ แปรจากธาตุพืช เช่น แป้งข้าวโพด แป้งข้าวสาลี มีกลิ่นแรงกว่าแป้งมันสำปะหลัง เนื่องจากมีส่วนประกอบของไขมันที่สูง

2 ไนโตรเจน (โปรตีน)

ภายในเมล็ดแป้งจะมีส่วนประกอบของโปรตีนอยู่ต่ำกว่า 1 % โดยโปรตีนจะเกาะอยู่บริเวณพื้นผิวของเมล็ดแป้งทำให้เกิดผลกระทบปฏิกิริยาต่างๆ กับลักษณะของแป้ง คือ ทำให้เกิดประจุบนพื้นผิวของเมล็ดแป้ง ซึ่งทำให้มีอัตราการดูดซับน้ำ อัตราการพองตัวและอัตราการเกิดเจลลิตินซ์เปลี่ยนแปลงไป ทำให้เกิดปฏิกิริยาของกรดอะมิโนกับน้ำตาลรีดิวซิง ซึ่งจะทำให้สีและกลิ่นเปลี่ยนแปลงไป จะเกิดกับแป้งที่มีปริมาณโปรตีนที่สูง

3 เถ้า

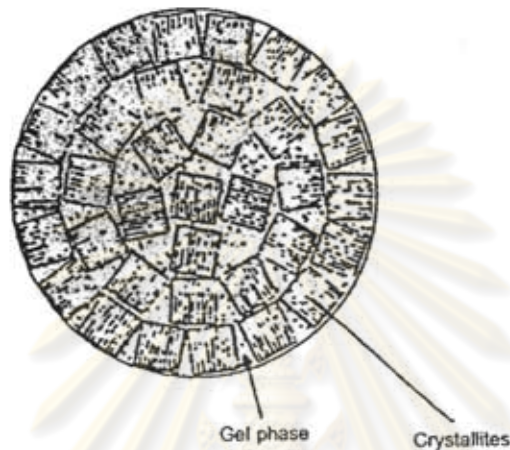
แป้งโดยทั่วไปมีองค์ประกอบของสารอินทรีย์ เช่น โซเดียม โปแทสเซียม และแคลเซียม สามารถวิเคราะห์หาปริมาณได้จากส่วนที่เหลือหรือเถ้าจากการเผาไหม้โดยสมบูรณ์ ปริมาณเถ้าในแป้งมันฝรั่งจะสัมพันธ์กับหมู่ฟอสฟอรัสในแป้ง

2.6 โครงสร้างและการรวมตัวของเม็ดแป้ง

แป้งที่พบในธรรมชาติจะพบอยู่ในรูปเม็ดแป้งขนาดเล็กที่มีขนาด รูปร่าง และลักษณะที่แตกต่างกันไปขึ้นอยู่กับแหล่งของแป้งชนิดนั้นๆ โดยเม็ดแป้งจะมีโครงสร้างเป็น Semicrystalline มีส่วนที่เป็นผลึก (Crystalline) และส่วนที่เป็นอสัณฐาน (Amorphous) หรือเจลเฟส (Gel Phase) เมื่อสายพอลิเมอร์ของกลูโคสมาเรียงขนานกันจะเกิดพันธะไฮโดรเจนเชื่อมระหว่าง 2 สายหรือเกิดการร่วมกับน้ำเกิดเป็น ส่วนที่เรียกว่า ผลึก ส่วนที่เกิดจากผลึกนี้เกิดจากอะมิโลสเพกทินแต่ละโมเลกุลในหลายๆ ไมเซลล์ (Micell) เชื่อมต่อกันเป็นร่างแห 3 มิติ ด้วยพันธะไฮโดรเจน ความแข็งแรงของร่างแหขึ้นอยู่กับจำนวนของโมเลกุลที่มาเชื่อมต่อกันและการจัดเรียงโมเลกุลของเม็ดแป้ง อาจกล่าวได้ว่าผลึกเกิดจากการจัดเรียงตัวของเกลียวอะมิโลสเพกทินที่วางขนานกันนั่นเอง

โครงสร้างของเม็ดแป้งมีพื้นผิวไม่เรียบ พื้นผิวของเม็ดแป้งมีส่วนปลายของสายอะมิโลส อะมิโลสเพกทินยื่นออกไปเป็นจุดเริ่มต้นของชั้นที่เจริญต่อไป โมเลกุลของอะมิโลสเพกทินที่เจริญไม่เต็มที่

จะเป็นแหล่งของสารตัวกลางลักษณะของเม็ดแป้งแต่ละชนิดมีขนาดที่แตกต่างกัน โดยเม็ดแป้งมันฝรั่งจะมีลักษณะเป็นรูปไข่ขนาดใหญ่ถึงว่ามีขนาดใหญ่ที่สุดเมื่อเปรียบเทียบกับแป้งในอุตสาหกรรมทั่วไป



ภาพที่ 9 บริเวณของ Crystallites และ Gel Phase ของเม็ดแป้ง

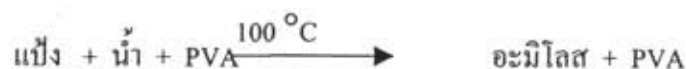
ที่มา: French (1975)

เม็ดแป้งของแป้งสาลี มีอยู่ 2 ขนาดด้วยกัน คือ ขนาดเล็กและขนาดใหญ่ โดยเม็ดแป้งขนาดเล็กจะมีเส้นผ่านศูนย์กลางอยู่ระหว่าง 0.5 ถึง 10 ไมโครเมตร และเม็ดแป้งขนาดใหญ่จะมีเส้นผ่านศูนย์กลางอยู่ในช่วง 10 ถึง 45 ไมโครเมตร ซึ่งจะมีอยู่ในเม็ดแป้งสาลีประมาณ 20 % แต่น้ำหนักถึง 90 % ของแป้งสาลี ส่วนเม็ดแป้งมันสำปะหลังมีขนาดปานกลาง ใกล้เคียงกับเม็ดแป้งข้าวโพด

2.7 กระบวนการเกิดพลาสติกไซเซอ์

ในกระบวนการผลิตบรรจุภัณฑ์จากชานอ้อยนี้ จำเป็นจะต้องใช้สารที่ใช้เชื่อมให้ชานอ้อยยึดติดกันเพื่อใช้ในการขึ้นรูป กระบวนการนี้ คือ กระบวนการเกิดพลาสติกไซเซอ์ ซึ่งจะแบ่งการเกิดพลาสติกไซเซอ์เป็น 2 ช่วงด้วยกัน นั่นคือ การเกิดเจลาตินไนเซชัน (Gelatinization) และการเกิดรีโทรเกรเดชัน (Retrogradation) ของแป้ง ซึ่งเป็นวัตถุประสงค์ของกระบวนการ โดยจะมี PVA เติมเข้าไปในระหว่างการเกิดพลาสติกไซเซอ์ เพื่อเพิ่มความแข็งแรงของบรรจุภัณฑ์ ให้มีความแข็งแรงมากขึ้น ซึ่ง PVA ที่เติมเข้าไปในกระบวนการจะเข้าไปแทรกตัวอยู่ภายในพลาสติกไซเซอ์เท่านั้น ทำให้ 100 °C

พลาสติกไซเซออร์มีลักษณะเป็นของเหลวขุ่นหรือใสขึ้นอยู่กับชนิดของแป้งที่ใช้เป็นวัตถุดิบนั่นเอง ซึ่งจะมีกระบวนการพลาสติกไซเซออร์ ดังนี้



2.8 การเกิดเจลาตินเซชัน

โมเลกุลของแป้งประกอบไปด้วยหมู่ไฮดรอกซิลจำนวนมาก ซีดเกาะกันด้วยพันธะไฮโดรเจน มีคุณสมบัติที่ชอบน้ำ แต่เนื่องจากเม็ดแป้งอยู่ในรูปของร่างแหไมเซลล์ (Micelles) ดังนั้นการจัดเรียงตัวลักษณะนี้จะทำให้เม็ดแป้งละลายน้ำเย็นได้ยาก ดังนั้นในขณะที่แป้งอยู่ในน้ำเย็นแป้งจะดูดน้ำและพองตัวได้เล็กน้อย (Leach, 1965) แต่เมื่อให้ความร้อนกับสารละลายแป้ง จะส่งผลให้พันธะไฮโดรเจนคลายตัวลง เม็ดแป้งจะดูดซับน้ำและพองตัว ส่วนผสมของน้ำแป้งจะมีความหนืดมากขึ้นและใสมากขึ้น เนื่องจากโมเลกุลของน้ำอิสระที่เหลือน้อยลง เม็ดแป้งเหลือน้อยลง เม็ดแป้งจะเคลื่อนไหวได้ยากขึ้นทำให้เกิดความหนืด ปรากฏการณ์นี้เรียกว่า การเกิดเจลาตินเซชัน อุณหภูมิที่ละลายจะเริ่มเกิดความหนืด เรียกอุณหภูมินี้ว่า อุณหภูมิเริ่มเจลาติไนซ์ เมื่อตรวจวัดโดยเครื่องมือ มักเรียกว่า อุณหภูมิที่เริ่มเปลี่ยนแปลงความหนืด ซึ่งจะแตกต่างกันขึ้นกับชนิดของแป้งแต่ละชนิด

การเกิดเจลาตินเซชันของเม็ดแป้งแบ่งได้ 3 ระยะ คือ ระยะเม็ดแป้งจะดูดซับน้ำได้อย่างจำกัดและเกิดการพองตัวแบบผันกลับได้ เนื่องจากร่างแหระหว่างไมเซลล์ยึดหยุ่นได้อย่างจำกัด ความหนืดของสารแขวนลอยจะไม่เพิ่มขึ้นจนเห็นได้ชัด เม็ดแป้งยังคงรักษารูปร่างและโครงสร้างได้ เมื่อมีการใส่สารเคมีหรือเพิ่มอุณหภูมิกับสารละลายน้ำแป้งจนถึงอุณหภูมิ 65 °C (อุณหภูมิที่แท้จริงขึ้นกับชนิดของแป้ง) เมื่อเริ่มสู่สภาวะที่ 2 เม็ดแป้งจะพองตัวอย่างรวดเร็ว ร่างแหระหว่างไมเซลล์ภายในเม็ดแป้งจะอ่อนลง เนื่องจากพันธะไฮโดรเจนถูกทำลาย เม็ดแป้งจะดูดซับน้ำเข้ามาและเกิดการพองตัวแบบผันกลับไม่ได้ เรียกว่า การเกิดเจลาตินเซชัน เม็ดแป้งจะมีการเปลี่ยนแปลงรูปร่างและโครงสร้าง จะส่งผลทำให้ความหนืดของสารละลายน้ำแป้งเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็ว แป้งที่ละลายได้เริ่มละลายออกมา เมื่อมีการเพิ่มอุณหภูมิต่อไปอีกจะเข้าสู่ระยะที่ 3 รูปร่างเม็ดแป้งจะไม่แน่นอน การละลายของแป้งจะเพิ่มขึ้น เมื่อนำไปทำให้เย็นจะเกิดเจลาตินเซชันของแป้งจะทำให้หมู่ไฮดรอกซิลของแป้งสามารถทำปฏิกิริยากับสารอื่นๆ ได้ดีขึ้น

2.9 การเกิดรีโทรเกรเดชัน

เมื่อแป้งได้รับความร้อนจนถึงอุณหภูมิที่เกิดเจลลิตินเซชันแล้วให้ความร้อนต่อไป จะทำให้เม็ดแป้งเกิดการพองตัวต่อไปจนในที่สุดจะพองตัวเต็มที่และจะแตกออก โมเลกุลของอะมิโลสขนาดเล็กจะกระจัดกระจายออกไปทำให้เกิดความหนืดน้อยลง เมื่อปล่อยไว้ให้เย็นตัว โมเลกุลอะมิโลสที่อยู่ใกล้กันจะจัดเรียงตัวใหม่ด้วยพันธะไฮโดรเจนระหว่างโมเลกุลเกิดเป็นร่างแหสามมิติโครงสร้างใหม่ที่สามารรถอุ้มน้ำและไม่มีการดูดซับน้ำเข้ามาอีกและมีความหนืดที่คงตัวมากยิ่งขึ้นเกิดลักษณะของเจลเหนียวคล้ายฟิล์มหรือผลึก ปรากฏการณ์ที่เกิดขึ้นนี้ เรียกว่า การเกิดรีโทรเกรเดชัน เมื่ออุณหภูมิลดลงจะทำให้เกิดการจัดเรียงตัวของโครงสร้างใหม่และจะหนาแน่นขึ้น โมเลกุลอิสระของน้ำที่อยู่ภายในจะถูกบีบออกมาจนเกิดเจล ซึ่งเรียกว่า ซินเนเรซิส (Syneresis) ปรากฏการณ์ทั้งสองนี้ทำให้เจลมีลักษณะที่ขุ่นและมีความหนืดเพิ่มมากขึ้น

3. บรรพบุรุษ

3.1 ประวัติและความเป็นมาของการใช้บรรพบุรุษ

มนุษย์รู้จักใช้ภาชนะบรรจุมานับแต่สมัยดึกดำบรรพ์ โดยเริ่มแรกใช้วัสดุที่มีในธรรมชาติ เช่น ใบไม้ เปลือกไม้ เถาวัลย์ ผลไม้แห้ง เปลือกหอย หนังกบ และกระเพาะสัตว์ เป็นต้น วัตถุประสงค์หลักของการใช้ภาชนะบรรจุในยุคนั้นเพียงพอเพื่อรองรับ บรรจุ และการขนย้ายผลิตภัณฑ์ เมื่อมนุษย์เริ่มอยู่รวมกันเป็นสังคมใหญ่ขึ้น ดังเช่น มนุษย์โครมันยองอยู่รวมกันแบบสังคมเกษตรกรรมเมื่อราว 10,000-20,000 ปีก่อนคริสต์ศักราช (ศ.ค.จ.งามทิพย์, 2540) มนุษย์พวกนี้เริ่มรู้จักผลิตและแลกเปลี่ยนผลิตผลทางการเกษตรทำให้มีความจำเป็นต้องใช้ภาชนะบรรจุมากยิ่งขึ้น จึงมีการพัฒนารูปแบบภาชนะบรรจุนับตามกาลเวลา ซึ่งยังคงเป็นการนำวัสดุที่มีอยู่ในธรรมชาติมาพัฒนาและดัดแปลงให้เหมาะสมกับการใช้งานตามหลักฐานบ่งชี้ถึงการพัฒนาการทางการประดิษฐ์ภาชนะบรรจุประเภทเครื่องปั้นดินเผาในประเทศไทยที่บ้านเชียง ที่สำรวจพบมีอายุตั้งแต่ 5,000-6,000 ปีมาแล้ว

ต่อมามนุษย์เริ่มรู้จักนำวัสดุที่มีในธรรมชาติมาดัดแปลงเป็นภาชนะบรรจุที่ดียิ่งขึ้น เช่น นำดินกถ ไม้ มาจักสารเป็นกระเจาด ชะลอม แข่ง ตะกร้า หรือพัฒนากระบวนการผลิตให้ดีขึ้น เช่น การทำกระดาษของชาวจีน เป็นต้น วิวัฒนาการของการผลิตวัสดุบรรจุและภาชนะบรรจุที่มีหลักฐานทางประวัติศาสตร์ บ่งชี้ยุคสมัยและเป็นจุดกำเนิดของการคิดค้นวัสดุใหม่ที่ใช้กันในปัจจุบันนี้

3.2 คำจำกัดความ

ปัจจุบันนี้มีการใช้คำจำกัดความของ การบรรจุ (Packaging) และภาชนะบรรจุ (Package) ไว้มากมาย (ผศ.ดร.งามทิพย์, 2540) ในที่นี้จะใช้คำจำกัดความที่ใกล้เคียงกับความหมายที่ต้องการสื่อสารมากที่สุด ดังนี้

การบรรจุ หมายถึง กระบวนการและขั้นตอนต่างๆ ที่ใช้ในการผลิตภาชนะบรรจุและบรรจุผลิตภัณฑ์ลงในภาชนะบรรจุ โดยมีวัตถุประสงค์เพื่อนำผลิตภัณฑ์นั้น ไปถึงผู้บริโภคในสภาพที่สมบูรณ์

ภาชนะบรรจุ หมายถึง ภาชนะหรือโครงสร้างใดๆ ที่ใช้เพื่อบรรจุ ห่อหุ้ม และรวบรวมผลิตภัณฑ์ให้เป็นหน่วยเพื่อนำส่งผลิตภัณฑ์นั้น ไปถึงผู้บริโภคในสภาพที่สมบูรณ์ นอกจากนี้ยังรวมถึงฉลากและอุปกรณ์ที่ใช้สำหรับการมัดหรือปิดภาชนะบรรจุด้วย

Packaging หมายถึง กระบวนการบรรจุผลิตภัณฑ์ในภาชนะบรรจุเพื่อรวบรวมเป็นหน่วยเดียวกันและเพื่อการขนส่งผลิตภัณฑ์เป็นสำคัญ

3.3 ภาชนะบรรจุกับสิ่งแวดล้อม

ปัจจุบันปัญหาสิ่งแวดล้อมเสื่อมโทรมจึงเป็นที่สนใจของทุกคนและพยายามหาทางแก้ไข เนื่องจากมีผลกระทบต่อชีวิตความเป็นอยู่ของคนเรามากที่สุด ปัญหาอากาศเป็นพิษ น้ำเสียและขยะดูเหมือนจะเป็นสิ่งที่ใกล้ตัวมากที่สุดและพบเห็นได้ทุกวันที่สำคัญคือปัญหาคนส่วนใหญ่มองว่าเป็นสาเหตุมาจากภาชนะบรรจุเป็นสำคัญ ทำให้ผู้ที่เกี่ยวข้องทั้งผู้ผลิตและผู้ที่ใช้ภาชนะบรรจุ และเจ้าหน้าที่รับผิดชอบในการกำจัดขยะให้ความสำคัญกับการผลิตและการกำจัดภาชนะบรรจุให้ถูกต้องเพื่อป้องกันสิ่งแวดล้อมเสื่อมโทรม ดังนั้นในงานวิจัยนี้จึงได้ผลิตบรรจุภัณฑ์ที่สามารถย่อยสลายในธรรมชาติได้ ซึ่งจะสามารถช่วยลดปริมาณขยะที่ย่อยสลายได้ยาก ตลอดจนการกำจัดบรรจุภัณฑ์ ในงานวิจัยนี้ก่อให้เกิดผลเสียต่อสิ่งแวดล้อมน้อยมากและใช้ต้นทุนในการกำจัดขยะหลังการใช้บรรจุภัณฑ์มีมูลค่าที่น้อยมากเมื่อเทียบกับขยะบรรจุภัณฑ์ที่ย่อยได้ยากในธรรมชาติ

3.4 ผลผลิตทางการเกษตร ประเภท ผลไม้

ผลผลิตทางการเกษตรประเภท ผลไม้ สามารถแบ่งแยกได้ 2 ประเภทดังนี้

3.4.1 Climacteric Fruit คือ ผลไม้ที่มีการสุกเมื่อแก่จัดหลังจากแก่จัดจะมีอัตราการหายใจลดต่ำลงมาก เมื่อเริ่มเข้าสู่กระบวนการสุกจะมีอัตราการหายใจสูงขึ้นอีกขั้นหนึ่ง ซึ่งการเพิ่มขึ้นนี้จะมีอัตราการหายใจอย่างรวดเร็วและสูงมาก เมื่อสุกเต็มที่แล้วอัตราการหายใจจะค่อยๆ ลดต่ำลงจนเข้าระยะเสื่อมสลาย ฉะนั้นผลไม้พวกนี้สามารถเก็บแล้วนำมาบ่มให้สุกได้ในภายหลังการเก็บเกี่ยว เช่น มะเขือเทศ มะม่วง ละครุด กกล้วย ทูเรียน เป็นต้น

3.4.2 Non Climacteric Fruit คือ ผลไม้ที่ไม่มีการสุกเมื่อแก่จัด หลังจากผลแก่จัดจะมีอัตราการหายใจลดต่ำลงในระยะเก็บเกี่ยว หลังการเก็บเกี่ยวแล้วผลจะเกิดการเปลี่ยนแปลงน้อยมาก กล่าวคือ อัตราการหายใจค่อนข้างจะคงที่ตั้งแต่เก็บเกี่ยวจนถึงระยะเสื่อมสลาย รสชาติคงที่ อายุหลังเก็บเกี่ยวสามารถรักษาให้คงทนค่อนข้างยาว ฉะนั้น ถ้าเก็บเกี่ยวผลที่ยังไม่แก่จัดเต็มที่ ก็จะได้ผลที่มีรสเหมือนเดิมตลอดไป จึงต้องเก็บเกี่ยวเมื่อแก่จัด เช่น ส้ม สับปะรด มะนาว เงาะ ลำไยและลิ้นจี่ เป็นต้น (สายชล, 2538)

3.5 คุณสมบัติของผลผลิตเกษตรสด

พืชผักผลไม้เป็นผลผลิตใช้บริโภคในรูปแบบผลสดเป็นส่วนมาก ซึ่งมีคุณลักษณะที่แตกต่างไปจากพืชไร่ที่บริโภคในสภาพผลแห้งหรือการแปรรูป ดังนี้

3.5.1 นำเสียบางง่าย

ผลผลิตเกษตรที่สด ประกอบด้วยน้ำสูงมากและยังมีธาตุอาหารต่างๆ อุดมสมบูรณ์ และมีเนื้อเยื่อที่อ่อนนุ่ม จึงเกิดการเสื่อมเสียได้เร็ว เช่น เงาะ พบว่าจะนำเสียบายประมาณ 42 % หลังเก็บเกี่ยวได้เพียง 1 วัน และสูญเสียเพิ่มเป็น 75 % เมื่อเก็บไว้เพียง 3 วัน เมื่อทำการเปรียบเทียบระหว่างผลผลิตเมืองหนาวและเมืองร้อน พบว่าผลผลิตเมืองร้อนจะนำเสียเร็วกว่าผลผลิตเมืองหนาว

3.5.2 มีการออกดอกออกผลเป็นฤดูกาล

ผลิตผลเกษตรส่วนใหญ่จะออกดอกออกผลเป็นฤดูกาลทำให้มีปริมาณมากในบางฤดูและไม่มีเลยในบางฤดูกาล เช่น เงาะมีมากที่สุดในช่วงเดือนพฤษภาคมและมีดูนาชน ทุเรียนมีมากในระยะเดือนเมษายนถึงเดือนพฤษภาคม เป็นต้น

3.5.3 มีการเปลี่ยนแปลงทางเคมี ฟิสิกส์ และสรีระ

ผลิตผลทางการเกษตรสดหลังการเก็บเกี่ยวจะมีการเปลี่ยนแปลงตลอดเวลา เช่น การเปลี่ยนแปลงสี การเปลี่ยนแปลงเนื้อเยื่อ การเปลี่ยนแปลงเหล่านี้ขึ้นอยู่กับ อุณหภูมิและวิธีการเก็บรักษา

3.5.4 การสูญเสียน้ำหนัก

ผลิตผลทางการเกษตรจะมีน้ำมากทั้งในเนื้อเยื่อและในเปลือกส่วนในบรรยากาศรอบๆ มีน้ำในรูปของไอน้ำในปริมาณน้อย จึงทำให้เกิดการแลกเปลี่ยนน้ำกันขึ้น โดยน้ำในเนื้อและเปลือกกระเหยออกมาเป็นไอน้ำ ทำให้เกิดการสูญเสียน้ำขึ้น

3.5.5 ซอกจำได้ง่าย

ผลิตผลบางชนิดจะซอกจำได้ง่าย ซึ่งเป็นอุปสรรคต่อการขนส่งไปจำหน่ายยังตลาดที่ห่างไกลจะต้องคัดเลือกหาพันธุ์ที่มีเปลือกหนา โครงสร้างแข็งแรง ทนต่อการขนส่งได้ดี

3.5.6 มีอายุการเก็บรักษาที่สั้น

ผลิตผลเกษตรสดมักมีอายุหลังการเก็บเกี่ยวค่อนข้างสั้น เนื่องจากประกอบด้วยน้ำและคุณค่าอาหารสูง เช่น มังคุดและทุเรียน มีอายุประมาณ 5-7 วัน หลังการเก็บเกี่ยว โดยรักษาในสภาพอุณหภูมิปกติ เมื่อเปรียบเทียบระหว่างผลิตผลทั้งหลาย จะเห็นว่าผลิตผลที่มีถิ่นกำเนิดในเขตร้อนจะมีการเจริญเติบโตรวดเร็วกว่าพืชที่มีถิ่นกำเนิดในเขตหนาว แต่อายุหลังการเก็บเกี่ยวจะสั้นกว่า เช่น องุ่นของไทยมีอายุเก็บรักษาประมาณ 3-4 วัน ผลจะเกิดการหลุดร่วงจากขั้ว ในขณะที่องุ่นจากประเทศในยุโรปจะมีอายุการเก็บเกี่ยวได้นาน 10-15 วัน ยังมีสภาพสดเหมาะแก่การบริโภค

3.5.7 การเปลี่ยนแปลงหลังการเก็บเกี่ยว

ผลผลิตเกษตรสดที่เก็บเกี่ยวจากต้นแล้วยังมีชีวิตมีการหายใจ กระบวนการต่างๆ ทั้งทางสรีระและชีวเคมี ยังคงดำเนินอยู่เช่นเดียวกับระยะที่ยังติดอยู่บนต้น ดังนั้นพืชผลหลังการเก็บเกี่ยวยังคงมีการหายใจมีการคายน้ำเหมือนกับเมื่ออยู่บนต้น การสูญเสียเนื่องจากการหายใจและการคายน้ำขณะที่ผลผลิตที่อยู่บนต้นเดิมจะถูกชดเชยโดยการดูดน้ำจากดินเข้ามาภายในต้น และอาหารที่ได้จากการสังเคราะห์ที่แร่ธาตุที่ได้จากดิน ส่วนการหายใจและการคายน้ำที่เกิดหลังการเก็บเกี่ยว จะถูกชดเชยด้วยอาหารที่สะสมไว้ในพืชไม่มีการหาเพิ่มจากภายนอกและใช้ความชื้นจากเนื้อเยื่อเท่านั้น ทำให้เกิดการสูญเสียคุณค่า เนื้อเยื่อและน้ำในที่สุด ดังนั้นการเปลี่ยนแปลงด้านเคมีและชีวเคมีที่เกิดขึ้นกับผลผลิตหลังการเก็บเกี่ยวจึงมีความสำคัญต่อคุณภาพของผลผลิตเกษตรสด การเปลี่ยนแปลงที่เกิดขึ้นมีผลทำให้คุณภาพดีขึ้นหรือเลวลง การเปลี่ยนแปลงที่เกิดขึ้นภายในพืชหลังเก็บเกี่ยวมีหลายประการ ดังต่อไปนี้

3.6 การหายใจ

สิ่งมีชีวิตทั้งหลายต้องการพลังงานเพื่อดำเนินปฏิกิริยาของการเปลี่ยนแปลงต่างๆ ในอากาศที่มีออกซิเจนปกติคาร์บอนไดออกไซด์ในผลผลิตเกิดการออกซิเดชันอย่างสมบูรณ์ เกิดการปลดปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ น้ำ พลังงาน ปริมาณก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ที่พืชปลดปล่อยออกมาจากกระบวนการหายใจจัดว่าเป็นสิ่งสำคัญเพราะปริมาณก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ที่มากขึ้นเพียง 3 % สามารถทำความเสียหายให้กับผลไม้สดได้ภายใน 2 วัน แต่ถ้าปริมาณออกซิเจนลดลง 3 % จะไม่เกิดผลเสียแต่อย่างใด ฉะนั้นการเก็บรักษาผลผลิตเกษตรสดจึงต้องควบคุมปริมาณคาร์บอนไดออกไซด์ที่เกิดขึ้น ซึ่งการหายใจของพืชก่อให้เกิดการเปลี่ยนแปลงต่างๆ ดังต่อไปนี้

3.6.1 การหายใจกับคุณภาพของผลผลิต

การหายใจเป็นกระบวนการสลายอินทรีย์วัตถุที่สะสมของพืชในรูปคาร์บอนไดออกไซด์ ไพรตินและไขมัน โดยออกซิเจนจะถูกเปลี่ยนเป็นก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ น้ำและพลังงาน จัดได้ว่าเป็นกระบวนการทำลายอาหารที่สะสมไว้ซึ่งจะก่อให้เกิดผลกระทบต่อพืช ดังนี้

- A คุณค่าทางอาหารน้อยลง
- B รสชาติเสื่อมด้อยลง โดยเฉพาะความหวาน
- C การที่อาหารสะสมในเนื้อเยื่อหุ้มจะนำไปสู่ความตายของเนื้อเยื่อ
- D มีการปลดปล่อยพลังงานความร้อนออกมาทำให้พืชเกิดการเสื่อม ซึ่งจะเพิ่มขึ้นอย่างสัมพันธ์โดยตรงกับอัตราการหายใจ

3.6.2 ปัจจัยที่มีผลต่อการหายใจ

การหายใจจะมีมากขึ้นหรือน้อยลงขึ้นอยู่กับปัจจัยภายนอกและภายในดังนี้

- A ปัจจัยภายใน จะมีความเกี่ยวข้องกับลักษณะต่างๆ ของพืชโดยตรง คือ

1 ชนิดของพืช พืชแต่ละชนิดจะมีอัตราการหายใจไม่เท่ากัน เช่น ดอกคาร์เนชันจะมีการหายใจสูงกว่าดอกกุหลาบ เป็นต้น

2 อายุของการเติบโต ผลไม้ขณะที่ยังมีอายุน้อยจะมีอัตราการหายใจสูงแต่เมื่ออายุมากขึ้นจะมีอัตราการหายใจที่ลดลง ในพวก Climacteric จะมีอัตราการหายใจที่ต่ำที่สุดขณะที่ผลกำลังแก่ และมีอัตราการหายใจค่อนข้างคงที่อยู่ระยะหนึ่งหลังการเก็บเกี่ยว เมื่อผลไม้เริ่มสุกจะมีอัตราการหายใจสูงขึ้นจนถึงจุดสูงสุดแล้วค่อยๆ ลดลง ส่วนผลไม้ประเภท Non Climacteric หลังจากเก็บเกี่ยวแล้ว อัตราการหายใจจะลดลงเล็กน้อยหรือคงที่ตลอดเวลาจนถึงระยะเสื่อมสลาย

3 ขนาดของพืช หัวมันฝรั่งขนาดเล็กจะมีอัตราการหายใจมากกว่าหัวมันฝรั่งขนาดใหญ่ เพราะว่าหัวมันฝรั่งขนาดเล็กจะมีพื้นที่สัมผัสออกซิเจนมากกว่าขนาดใหญ่

4 สารธรรมชาติที่เคลือบผิว ผลที่มีสารเคลือบผิวมากจะหายใจน้อยกว่าผลที่มีสารเคลือบผิวน้อยกว่า เช่น แอปเปิ้ลจะมีสารเคลือบผิวมากกว่าสาลี่จึงมีการหายใจที่น้อยกว่า

B ปัจจัยภายนอก พืชจะมีการหายใจมากหรือน้อย จะขึ้นกับปัจจัยสภาพแวดล้อมภายนอก ดังต่อไปนี้

1 อุณหภูมิ ในสภาพอุณหภูมิ 32-95 องศาฟาเรนไฮต์ อัตราหายใจของพืชเพิ่มขึ้น 2-2.5 เท่าทุกๆ 18 องศาฟาเรนไฮต์ที่เพิ่มขึ้น เมื่ออุณหภูมิสูงกว่า 95 องศาฟาเรนไฮต์ อัตราการหายใจของพืชจะกลับลดลง เนื่องจากอุณหภูมิสูงมากจะไปยับยั้งการทำงานของเอนไซม์

2 ก๊าซเอทรีลีน ก๊าซชนิดนี้จะสามารถกระตุ้นให้ผลไม้งอกเงยเพิ่มขึ้น เมื่อใดก็ได้หลังได้รับก๊าซเอทรีลีน อัตราการหายใจจะเพิ่มมากขึ้นตามปริมาณของก๊าซเอทรีลีนที่ได้รับ การใช้ก๊าซเอทรีลีนจะทำให้ผลไม้งอกเร็วยิ่งขึ้น

3 ก๊าซออกซิเจน โดยปกติแล้วถ้าอากาศมีออกซิเจนลดลง จะส่งผลให้ช่วงระยะเวลาการสุกของผลไม้งอกเพิ่มขึ้น

4 ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ ในสภาวะที่มีก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์มากกว่า 0.03% จะทำให้อัตราการหายใจของพืชลดน้อยลง แต่ต้องระวังไม่ให้สูงเกินกว่า 3% จะเป็นอันตรายต่อพืชได้

5 การเกิดบาดแผล เนื้อเยื่อส่วนต่างๆ ของพืชเกิดบาดแผล ไม่ว่าจะเกิดจากสาเหตุอะไรจะส่งผลให้การหายใจของพืชเพิ่มขึ้น อัตราการหายใจจะมากขึ้นกับชนิดและความรุนแรงของบาดแผล

3.6.3 การสุกของผลไม้งอก

การสุกของผลไม้งอกหลังการเก็บเกี่ยวทำให้มีการเปลี่ยนแปลงหลายอย่างเกี่ยวกับสรีระและเคมี การเปลี่ยนแปลงนี้จะเป็นตัวกำหนดคุณภาพของผลไม้งอก การเปลี่ยนแปลงที่เกิดขึ้นกับผลไม้งอกดังต่อไปนี้

A การสร้างก๊าซเอทรีลีน

ก๊าซเอทรีลีนเป็นฮอร์โมนพืชที่มีบทบาทที่สำคัญเกี่ยวกับอายุการเก็บรักษาของผลไม้งอก เนื่องจากก๊าซเอทรีลีนจะเป็นตัวกระตุ้นให้พืชแก่เร็วยิ่งขึ้นและทำให้พืชเสื่อมสลายที่เร็วขึ้นอีกด้วย อัตราการสร้างก๊าซเอทรีลีนจะต่ำมากระหว่างช่วงเวลาของการเจริญและการพัฒนาของผล ในผลไม้งอกประเภท Climacteric จะมีอัตราการสร้างก๊าซเอทรีลีนสูงมากในช่วงเดียวกับการหายใจเพิ่มขึ้น ส่วนผลไม้งอกประเภท Non Climacteric จะมีการสร้างก๊าซเอทรีลีนค่อนข้างสม่ำเสมอในอัตราที่ต่ำ

B การเปลี่ยนสี

ภายหลังการเก็บเกี่ยวผลผลิตผลต่างๆ มักมีการเปลี่ยนสีเกิดขึ้น โดยเฉพาะสีเขียวจะหายไป มักปรากฏสีเหลืองหรือสีแดงขึ้นแทน สีต่างๆ ของผลผลิตที่เห็นนี้เกิดจากเม็ดสีหรือสารสีต่างๆ ที่มีอยู่ในเซลล์ ซึ่งสามารถแบ่งออกเป็น 2 กลุ่มใหญ่ๆ คือ พวกที่ละลายในน้ำพบในแวคคิวโอล (Vacuole) ได้แก่ แอนโทไซยานิน (Anthocyanin) อีกพวกจะละลายได้ในไขมันมักพบในพลาสติด (Plastid) มีหลายชนิดด้วยกัน เช่น คลอโรฟิลล์ (Chlorophyll) สารสีเหลืองคาโรทีน (Caroten) และ

สารสีแดง (Lycopene) สารสีเหล่านี้มีการเปลี่ยนแปลงอยู่ตลอดเวลา ทำให้สีของผลเปลี่ยนไปตามองค์ประกอบของสารเหล่านี้

โดยทั่วไปการสูญเสียสีเขียวในผลผลิตที่เก็บเกี่ยวมาแล้วจะเป็นตัวบ่งชี้ถึงความชราภาพ ซึ่งจะต้องป้องกันไม่ให้เกิดขึ้น โดยเฉพาะผลไม้บางชนิด แต่ผลไม้บางชนิดจะมีสีเขียว แสดงถึงคุณภาพที่เหมาะสมสำหรับการบริโภค การสูญเสียคลอโรฟิลล์อาจเป็นข้อดีหรือข้อเสียก็ได้ขึ้นกับผู้บริโภค เช่น ส้มในต่างประเทศจะมีสีเขียวหมด จึงได้ราคาและมะนาวที่คิดต้องมีสีเขียวอยู่เสมอ การป้องกันการสูญเสียคลอโรฟิลล์ ทำได้โดยการลดอุณหภูมิให้ต่ำลงและการเก็บภายใต้สภาพบรรยากาศที่มีปริมาณออกซิเจนต่ำ เพราะคลอโรฟิลล์จะถูกออกซิไดซ์โดยออกซิเจน ส่วนพืชผักกินใบนั้นแสงสว่างจะช่วยลดการสูญเสียคลอโรฟิลล์เพราะยังมีการสังเคราะห์คลอโรฟิลล์อยู่และยังพบว่าผลผลิตที่มีส่วนสีเขียวจะมีอายุการเก็บรักษานานกว่าส่วนที่มีสีขาวหรือไม่มีสี ส่วนการป้องกันการสูญเสียอื่นๆ แอนโทไซยานิน (Anthocyanin) และ คาโรทีนอยด์ (Carotenoid) ซึ่งประกอบด้วย คาโรทีน ไลโคปีน (Lycopene) และ แซนโทฟิลล์ (Xanthophyll) ในผักและผลไม้มักจะมีคาโรทีนและแซนโทฟิลล์เป็นองค์ประกอบอยู่แล้ว แต่ถูกสีเขียวของคลอโรฟิลล์บดบังเอาไว้ เมื่อผักและผลไม้เข้าสู่ระยะชราภาพคลอโรฟิลล์จะสลายตัวไป สีของคาโรทีนจึงปรากฏให้เห็นโดยปริมาณไม่ได้เพิ่มขึ้น เช่นกล้วยหอมและส้ม โดยทั่วไปคาโรทีนอยด์มีคุณสมบัติค่อนข้างเสถียรในเซลล์ของผลผลิตภายใต้การเก็บรักษาที่สภาวะต่างๆ ส่วนแอนโทไซยานิน ทำให้เกิดสีแดง ม่วงและสีน้ำเงิน โดยจะบดบังสีเขียวและสีเหลืองของคาโรทีนอยด์ไว้ แอนโทไซยานินในเซลล์พืชไม่ค่อยเสถียรจะมีการเปลี่ยนแปลงขึ้นอยู่กับแสง ออกซิเจน ความร้อน สภาพความเป็นกรด่าง เอนไซม์ ไรโบฟลาวิน วิตามินซี โมเลกุลน้ำตาล (จริงแท้, 2532) เป็นต้น

C การเหี่ยว

ผลผลิตขณะอยู่บนต้นมักไม่ค่อยแสดงอาการเหี่ยวให้เห็น เพราะขณะที่อยู่บนต้นนั้นได้รับน้ำจากดิน โดยกการดูดน้ำของรากแล้วส่งผ่านลำต้นเพื่อทดแทนน้ำส่วนที่สูญเสียไป เนื่องจากการคายน้ำ แต่หลังจากที่ผลผลิตถูกตัดจากต้น จะถูกตัดจากแหล่งน้ำในดิน ซึ่งจะทำให้ผลผลิตเกิดการเหี่ยวของผลผลิตจะเกิดเร็วขึ้น ถ้าอยู่ในสภาพแวดล้อมที่ไม่เหมาะสม เช่นบรรยากาศที่มีความชื้นสัมพัทธ์ต่ำ อุณหภูมิสูง การเหี่ยวของผลผลิตจะเกิดขึ้นเร็วและรุนแรงระดับใดจะเกี่ยวข้องกับความสัมพันธ์ของน้ำภายในผลผลิตเป็นหลักใหญ่ ผลผลิตที่เหี่ยวทำให้คุณภาพการบริโภคเลวลง เช่น

ผลไม้และผัก จะเกิดลักษณะเหี่ยว ไม่กรอบ ผิวไม่สวย ดังนั้นจึงต้องทำการศึกษาปัจจัยที่ควบคุมการเหี่ยวดังต่อไปนี้

1 ปัจจัยที่มีผลต่อการเหี่ยวของผลผลิต

การคายน้ำเป็นปัจจัยหลักที่มีผลต่อการเหี่ยวของผลผลิต ผลผลิตที่มีการคายน้ำมากจะเหี่ยวเร็วและเหี่ยวเร็วมากปัจจัยใดๆ ที่มีผลต่อการคายน้ำย่อมมีผลกระทบต่อการเหี่ยวของผลผลิต ซึ่งมีปัจจัยต่างๆ ดังนี้

1.1 ลักษณะโครงสร้างของพืช พืชแต่ละชนิดจะมีโครงสร้างของพืชไม่เหมือนกัน ดังนั้นอัตราการสูญเสียน้ำมากหรือน้อยจึงขึ้นกับโครงสร้างของพืช

1.2 อัตราส่วนของพื้นที่ผิวต่อปริมาตร ผลผลิตที่มีพื้นที่ผิวต่อปริมาตรสูงจะมีการคายน้ำสูงด้วย พืชผักรับประทานใบจะมีพื้นที่ผิวต่อปริมาตรสูงกว่าพืชที่รับประทานหัว ผักประเภทหัวและผลไม้ที่มีขนาดเล็กจะมีการสูญเสียน้ำมากกว่าผักประเภทหัวและผลไม้ที่มีขนาดใหญ่

1.3 สารเคลือบผิวตามธรรมชาติ พืชแต่ละชนิดจะมีสารประเภทไขเคลือบที่ผิวตามธรรมชาติ ซึ่งพืชแต่ละชนิดจะมีสารเคลือบผิวหนาไม่เท่ากันและชนิดของไขก็ไม่เหมือนกันด้วย โครงสร้างของสารเคมีจะมีบทบาทมากกว่าความหนา สารเคลือบผิวประกอบด้วยสารหลายชนิดด้วยกันและยังมีการจัดเรียงตัวที่ต่างกันด้วย ดังนั้นสารเคลือบผิวที่มีการเรียงตัวซ้อนกันอย่างมีระเบียบจะทำให้มีการสูญเสียน้ำน้อยกว่าสารเคลือบผิวที่หนาและ โครงสร้างที่ไม่เป็นระเบียบ

1.4 บาดแผล การเกิดบาดแผลไม่ว่ามากหรือน้อยจะมีผลไปกระตุ้นการสูญเสียน้ำมากขึ้น โดยเฉพาะถ้ารอยแผลนั้นลึกมากหรือทำลายเซลล์ชั้นผิวที่ป้องกันทำให้เนื้อเยื่อที่อยู่ชั้นล่างซึ่งมีลักษณะผนังบางสัมผัสโดยตรงกับอากาศ จะทำให้พืชสูญเสียน้ำมากยิ่งขึ้น

1.5 อุณหภูมิและความชื้น พืชจะมีการสูญเสียน้ำมากในสภาพที่มีความชื้นสัมพัทธ์ต่ำ ปริมาณความชื้นในห้องที่มีอุณหภูมิ 50 องศาฟาเรนไฮท์ ความชื้นสัมพัทธ์ 90 % จะแห้งกว่าห้องที่มีอุณหภูมิ 40 องศาฟาเรนไฮท์ ความชื้นสัมพัทธ์ 90 % เนื่องจากปริมาณความชื้นที่อากาศสามารถรับไว้ได้เพิ่มขึ้นเรื่อยๆ จนถึงจุดอิ่มตัวเมื่ออุณหภูมิเพิ่มขึ้น ฉะนั้นการคายน้ำของผลผลิตเกษตรสดในอุณหภูมิสูงกว่าจะสูงกว่าผลผลิตเกษตรสดในห้องที่มีอุณหภูมิต่ำทั้ง ๆ ที่มีความชื้นสัมพัทธ์ จึงต้องมีการลดอุณหภูมิของผลผลิตผลทางการเกษตรสดอย่างรวดเร็วหลังการเก็บเกี่ยว เพื่อกันลดการเหี่ยวและอันตรายจากการเน่าเสียได้

D การนึ่ง

สิ่งสำคัญอย่างหนึ่งที่เกิดขึ้นระหว่างการเก็บรักษาผลผลิตประเภทผลไม้ คือ การนึ่ง ซึ่งเกิดจากการอ่อนตัวของเนื้อเยื่อเนื่องจากการเปลี่ยนแปลงของผนังเซลล์ ผนังเซลล์ของพืชประกอบด้วยส่วนสำคัญ 3 ส่วน คือตัวเชื่อมผนังเซลล์ระหว่างเซลล์ ผนังเซลล์ชั้นหนึ่งและผนังเซลล์ชั้นที่สองตัวที่เชื่อมผนังเซลล์จะมีลักษณะเป็นเจล สร้างขึ้นระหว่างเซลล์ขณะที่มีการแบ่งตัวของเซลล์ สารตัวสำคัญที่อยู่ในตัวเชื่อมระหว่างผนังเซลล์กับเซลล์ คือเพคติน ระหว่างโมเลกุลของเพคตินมีแคลเซียมเป็นตัวเชื่อมกลายเป็นสารประกอบแคลเซียมเพคเตดซึ่งไม่ละลายน้ำ เพคตินที่ไม่ละลายน้ำมีอยู่ในผลดิบ คือ โปรโตเพคติน ซึ่งจะเปลี่ยนเป็นสารที่ละลายน้ำได้โดยการทำงานของเอนไซม์ในระหว่างที่ผลสุกทำให้ได้เพคตินในรูปที่สามารถละลายน้ำได้ เซลล์ที่เกาะกันอย่างหลวมๆ จะหลุดออกจากกัน โครงสร้างของผนังเซลล์หลวมตัวและเพิ่มการยอมให้สารผ่านมากขึ้น ก่อให้เกิดการอ่อนตัวของเนื้อเยื่อซึ่งส่งผลให้ผลนึ่งได้

E สารระเหย

กลิ่นเฉพาะของผักและผลไม้แต่ละชนิดเกิดจากสารระเหย ซึ่งมีอยู่หลายชนิดด้วยกัน โดยเป็นสารอินทรีย์ที่ถูกสังเคราะห์ขึ้น ปริมาณและชนิดของสารระเหยในแต่ละระยะการเจริญเติบโตของผลไม้จะมีอยู่ไม่เหมือนกัน โดยปกติเมื่อผลไม้สุกจะมีทั้งปริมาณและชนิดของสารระเหยมากขึ้น แต่ตัวสารที่จะทำให้เกิดกลิ่นเฉพาะของผลไม้ นั้นจะมีเพียงไม่กี่ชนิด เช่น ในกล้วยหอมจะมีสารระเหยมากกว่า 300 ชนิด แต่สารที่ให้กลิ่น ได้ แก่ 2-Hexenal ในกล้วยยังเขียวอยู่ Eugenol ในกล้วยสุก และ Isopentanol ในกล้วยที่งอมแล้ว ในการเก็บรักษาผลไม้เป็นระยะเวลานานในสภาพที่เหมาะสม ผลผลิตยังคงสภาพคืออยู่ แต่กลิ่น รส จะค่อยลงไปมาก

อุปกรณ์และวิธีการทดลอง

อุปกรณ์

- 1 แป้ง มีด้วยกัน 3 ประเภท คือ แป้งข้าวโพด แป้งมันสำปะหลัง แป้งสาลี
- 2 โพลีไวนิล อะซิเตด (Polyvinyl Acetate)
- 3 ชานอ้อย
- 4 บีกเกอร์ขนาด 250 มล.
- 5 บีกเกอร์ขนาด 1000 มล.
- 6 อุปกรณ์ให้ความร้อน (Hot Plate)
- 7 น้ำ
- 8 เครื่องบดชานอ้อย
- 9 เครื่องขึ้นรูปชิ้นงาน
- 10 ขวดพลาสติก
- 11 เทอร์โมมิเตอร์

วิธีการทดลอง

1 การทดลองหาชนิดของแป้งที่เหมาะสมที่ใช้ผลิตพลาสติกไซเซอร์

- 1.1 นำแป้งมันสำปะหลังจำนวน 10 กรัมและน้ำ จำนวน 60 กรัมผสมกันในบีกเกอร์ขนาด 250 มิลลิลิตร
- 1.2 ของผสมที่ได้จากข้อ 1.1 ไปให้ความร้อนที่อุณหภูมิ 100 °C โดยใช้ระยะเวลา 10 นาที
- 1.3 นำชานอ้อยที่ผ่านการบดแล้วผสมกับของเหลวที่ได้จากข้อ 1.2
- 1.4 นำของผสมที่ได้จากข้อ 1.3 ไปขึ้นรูป โดยใช้เครื่องมือในการขึ้นรูป ลักษณะแบบที่ใช้ขึ้นรูปจะมีลักษณะเป็นรูปคัมเบลล์ ซึ่งมีขนาด 2x16.5x0.3 เซนติเมตร
- 1.5 ตัวอย่างที่ได้จากข้อ 1.4 ไปอบที่อุณหภูมิ 130 °C โดยใช้ระยะเวลา 150 นาที
- 1.6 นำตัวอย่างจากข้อ 1.5 ไปวัดค่าด้านทานแรงดึงและความยืดด้วยเครื่อง Tensile Test

1.7 เปลี่ยนวัตถุดิบที่ใช้ในข้อ 1.1 แทนด้วย แป้งข้าวโพด และ แป้งสาลีตามลำดับ โดยทำการทดลองตามข้อ 1.2 -1.7

2 การทดลองเพื่อปรับปรุงคุณภาพของพลาสติกไซเซอร์

- 2.1 นำแป้งสาลีจำนวน 10 กรัม น้ำจำนวน 60 กรัม และ PVA จำนวน 0,3,5, 8 และ10 กรัม ตามลำดับ ผสมกันในบีกเกอร์ ขนาด 250 มิลลิลิตร
- 2.2 ของผสมที่ได้จากข้อ 2.1 ไปให้ความร้อนที่อุณหภูมิ 100 °C โดยใช้ระยะเวลา 10 นาที
- 2.3 นำขานอ้อยที่ผ่านการบดแล้วผสมกับของเหลวที่ได้จากข้อ 2.2
- 2.4 นำของผสมที่ได้จากข้อ 2.3 ไปขึ้นรูป โดยใช้เครื่องมือในการขึ้นรูป ลักษณะแบบที่ใช้ขึ้นรูปจะมีลักษณะเป็นรูปคัมเบลล์
- 2.5 ตัวอย่างที่ได้จากข้อ 2.4 ไปอบที่อุณหภูมิ 130 °C โดยใช้ระยะเวลา 150 นาที
- 2.6 นำตัวอย่างจากข้อ 2.5 ไปวัดค่าด้านทานแรงดึงและความยืดด้วยเครื่อง Tensile Test

3 การทดลองเพื่อเปรียบเทียบบรรจุภัณฑ์จากขานอ้อยกับบรรจุภัณฑ์อื่น ๆ

- 3.1 นำตัวอย่างบรรจุภัณฑ์อื่นๆ เช่น กระดาษ พลาสติก และ โฟม ตัดให้เป็นรูปมาตรฐาน
- 3.2 นำตัวอย่างบรรจุภัณฑ์ จากข้อ 3.1 ไปวัดค่าด้านทานแรงดึงและความยืดด้วยเครื่อง Tensile Test

4 การทดลองเพื่อเปรียบเทียบขนาดของขานอ้อยที่ใช้ผลิตบรรจุภัณฑ์

- 4.1 นำแป้งสาลีจำนวน 10 กรัมและน้ำ จำนวน 60 กรัม ผสมกันในบีกเกอร์ ขนาด 250 มิลลิลิตร
- 4.2 ของผสมที่ได้จากข้อ 4.1 ไปให้ความร้อนที่อุณหภูมิ 100 °C โดยใช้ระยะเวลา 10 นาที
- 4.3 นำขานอ้อยที่ผ่านการบดแล้ว ซึ่ง มีขนาด 1 mm ผสมกับของเหลวที่ได้จากข้อ 4.2
- 4.4 นำของผสมที่ได้จากข้อ 4.3 ไปขึ้นรูป โดยใช้เครื่องมือในการขึ้นรูป ลักษณะแบบที่ใช้ขึ้นรูปจะมีลักษณะเป็นรูปคัมเบลล์

- 4.5 ตัวอย่างที่ได้จากข้อ 4.4 ไปอบที่อุณหภูมิ 130 °C โดยใช้ระยะเวลา 150 นาที
- 4.6 นำตัวอย่างจากข้อ 4.5 ไปวัดค่าด้านทานแรงดึงและความยืดด้วยเครื่อง Tensile Test
- 4.7 เปลี่ยนวัตถุดิบที่ใช้ในข้อ 4.3 แทนด้วย ซานอ้อย ขนาด 0.25 และ 0.18 ตามลำดับ โดยทำการทดลองตามข้อ 4.2-4.6

5 การทดลองปรับปรุงคุณภาพของบรรจุภัณฑ์ โดยการเคลือบ

- 5.1 ผลิตชิ้นตัวอย่างจากข้อ 1.1-1.7 โดยใช้แป้งสาลีเป็นส่วนผสม และผลิตตัวอย่างจากข้อ 2.1-2.6 ซึ่งใช้ PVA จำนวน 10 กรัม เป็นส่วนผสม
- 5.2 นำตัวอย่างจากข้อ 5.1 มาเคลือบด้วยพลาสติกไซเซอร์ ซึ่งทำจากแป้งมันสำปะหลังและ PVA โดยใช้ PVA จำนวน 10 กรัม ผสมกับน้ำจำนวน 60 กรัม
- 5.3 ตัวอย่างที่ได้จากข้อ 5.2 ไปอบที่อุณหภูมิ 130 °C โดยใช้ระยะเวลา 150 นาที
- 5.4 นำตัวอย่างจากข้อ 5.3 ไปวัดค่าด้านทานแรงดึงและความยืดด้วยเครื่อง Tensile Test
- 5.5 นำตัวอย่าง 1.6, 2.1 และ 5.4 ไปตรวจดูภายในของตัวอย่าง ด้วยเครื่อง SEM

6 การทดลองหาอุณหภูมิที่เหมาะสมที่ใช้ในการอบตัวอย่าง

- 6.1 นำแป้งสาลี จำนวน 10 กรัม น้ำ จำนวน 60 กรัม และ PVA จำนวน 10 กรัม ตามลำดับ ผสมกันในบีกเกอร์ ขนาด 250 มิลลิลิตร
- 6.2 ของผสมที่ได้จากข้อ 6.1 ไปให้ความร้อนที่อุณหภูมิ 100 °C โดยใช้ระยะเวลา 10 นาที
- 6.3 นำซานอ้อยที่ผ่านการบดแล้วผสมกับของเหลวที่ได้จากข้อ 6.2
- 6.4 นำของผสมที่ได้จากข้อ 6.3 ไปขึ้นรูป โดยใช้เครื่องมือในการขึ้นรูป ลักษณะแบบที่ใช้ขึ้นรูปจะมีลักษณะเป็นรูปคัมเบลล์
- 6.5 ตัวอย่างที่ได้จากข้อ 2.5 ไปอบที่อุณหภูมิ ต่างๆ ดังนี้ 60, 90, 110, 130 และ 150 °C แล้วทำการจับเวลาทุก 30 นาที แล้วนำตัวอย่างมาชั่งน้ำหนัก จนน้ำหนักของตัวอย่างคงที่

7 การทดลองการยืดอายุผลไม้ประเภท มังคุด

- 7.1 ชั่งน้ำหนักมังคุดจำนวน 17 ผล แต่ละผลมีน้ำหนัก 68 กรัม
- 7.2 นำมังคุดจำนวน 10 ผล บรรจุลงในถ้วยพลาสติกที่มีเทอร์โมมิเตอร์ขนาดเล็กติดอยู่ภายใน จากนั้นนำมังคุด 2 ผล เก็บไว้ในสภาพแวดล้อมที่มีอุณหภูมิ 9 °C และบรรจุมังคุดอีก 2 ผล ในบรรจุภัณฑ์จากซานอ้อย ซึ่งมังคุดที่เหลือเก็บไว้ที่อุณหภูมิปกติ
- 7.3 นำตัวดูดซับออกซิเจนบรรจุลงในถ้วยพลาสติกจำนวน 5 ถ้วย
- 7.4 นำถ้วยพลาสติกและกล่องบรรจุภัณฑ์จากซานอ้อยมาปิดผนึกด้วยเทปกาวยใส

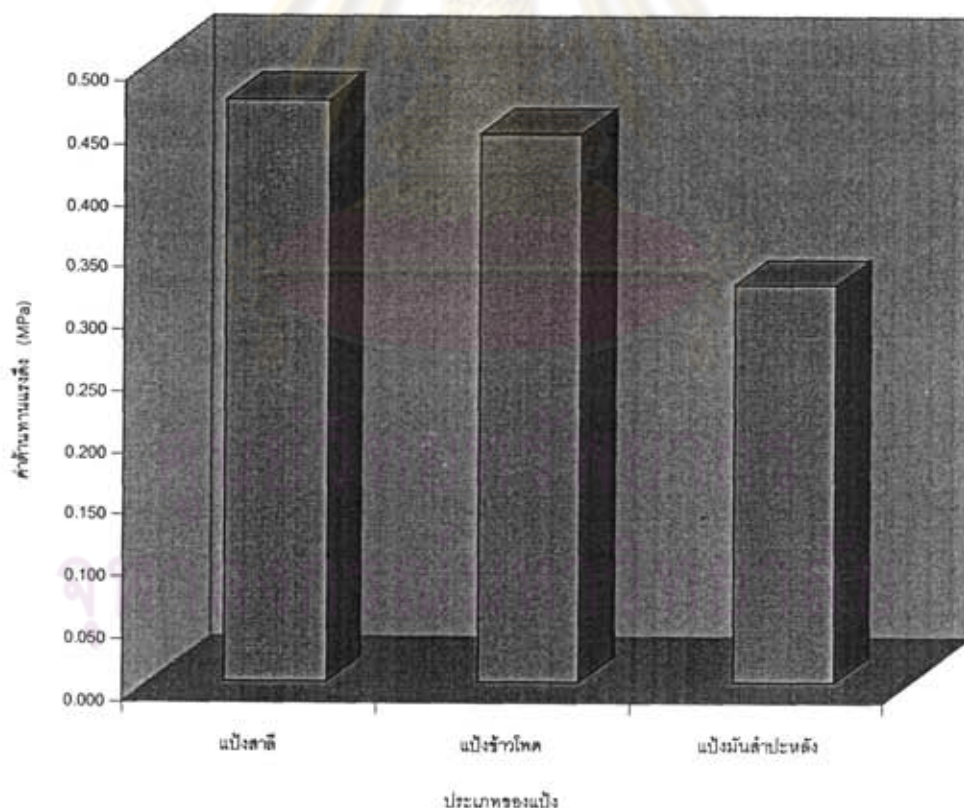


ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

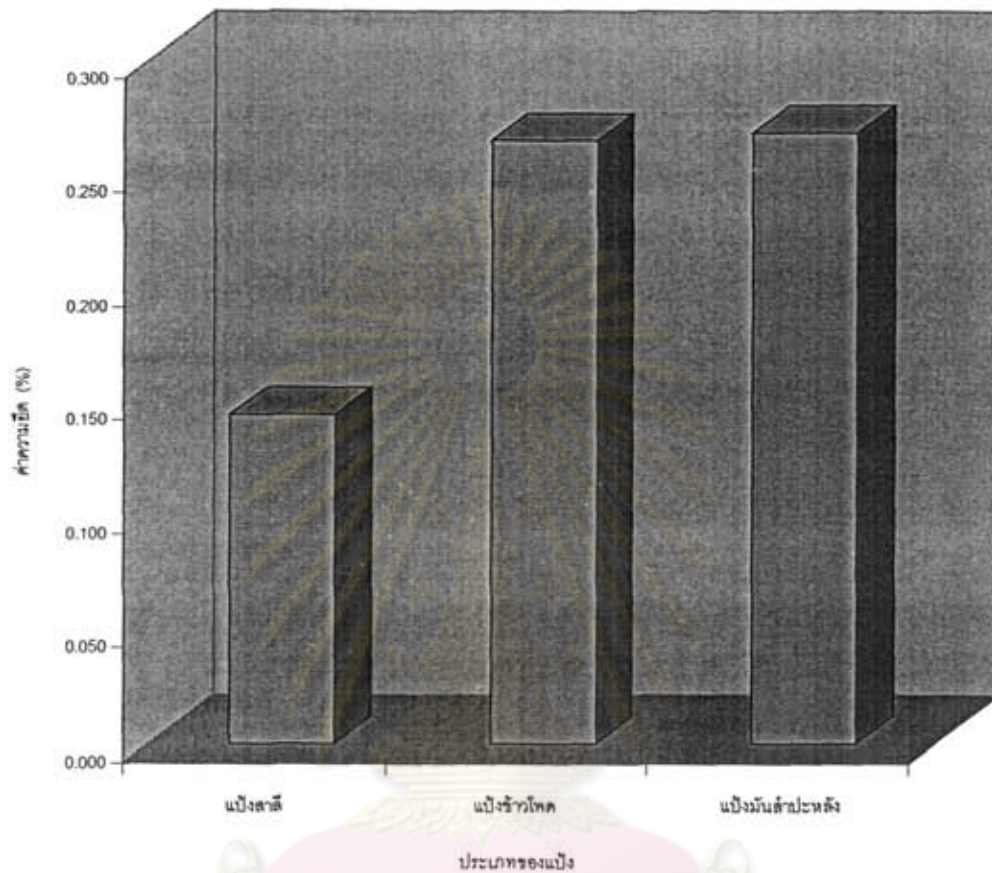
ผลการทดลองและการวิเคราะห์

1 การทดลองหาชนิดของแป้งที่เหมาะสมที่ใช้ผลิตพลาสติกไซเซอร์

จากการทดลองหาชนิดของแป้งที่เหมาะสมที่ใช้ทำพลาสติกไซเซอร์ โดยใช้วัตถุดิบในการผลิตพลาสติกไซเซอร์ 3 ชนิดด้วยกัน คือแป้งมันสำปะหลัง แป้งข้าวโพด และแป้งสาลี จากการทดลองถ้าใช้แป้งสาลีเป็นวัตถุดิบในการผลิตพลาสติกไซเซอร์ จะทำให้บรรจุภัณฑ์จากชานอ้อยมีความแข็งแรงมากกว่าการใช้แป้งมันสำปะหลังและแป้งข้าวโพดเป็นวัตถุดิบในการผลิตบรรจุภัณฑ์จากชานอ้อย โดยแป้งสาลี แป้งข้าวโพดและแป้งมันสำปะหลังมีค่าด้านทานแรงดึง 0.471, 0.443 และ 0.322 MPa และค่าความยืด 0.144, 0.265 และ 0.268 % ตามลำดับ



ภาพที่ 10 ค่าความต้านทานแรงดึงของพลาสติกไซเซอร์ต่าง ๆ

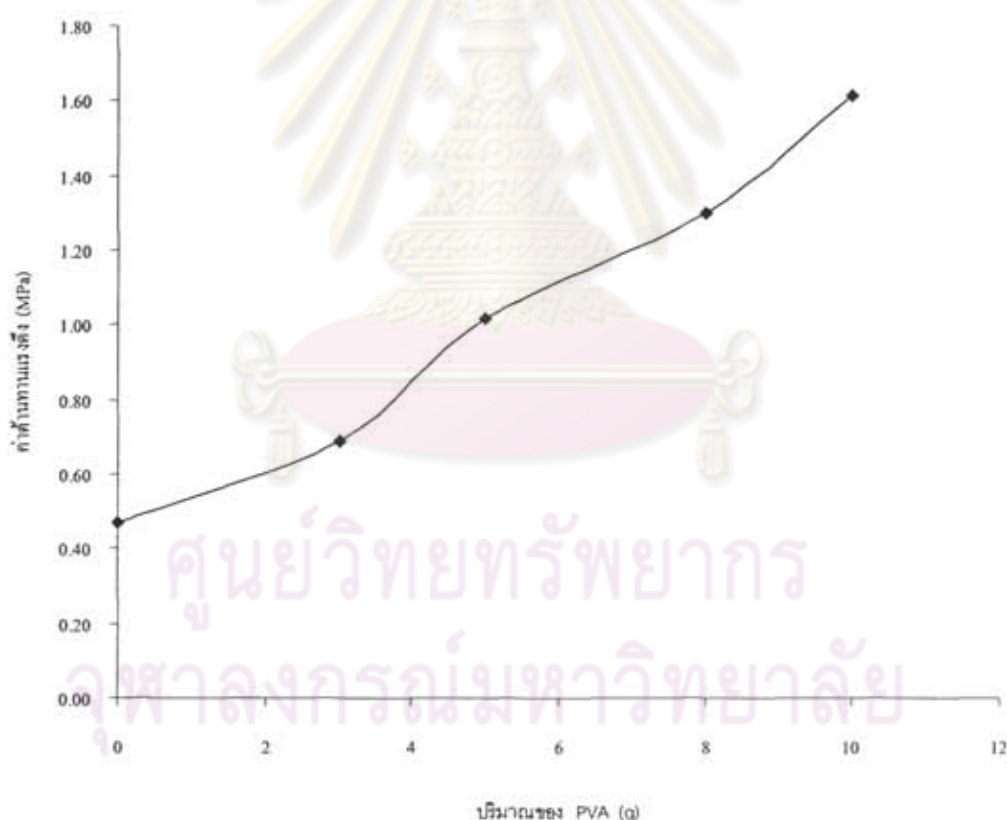


ภาพที่ 11 ค่าความยืดของพลาสติกไซเซอร์ต่างๆ

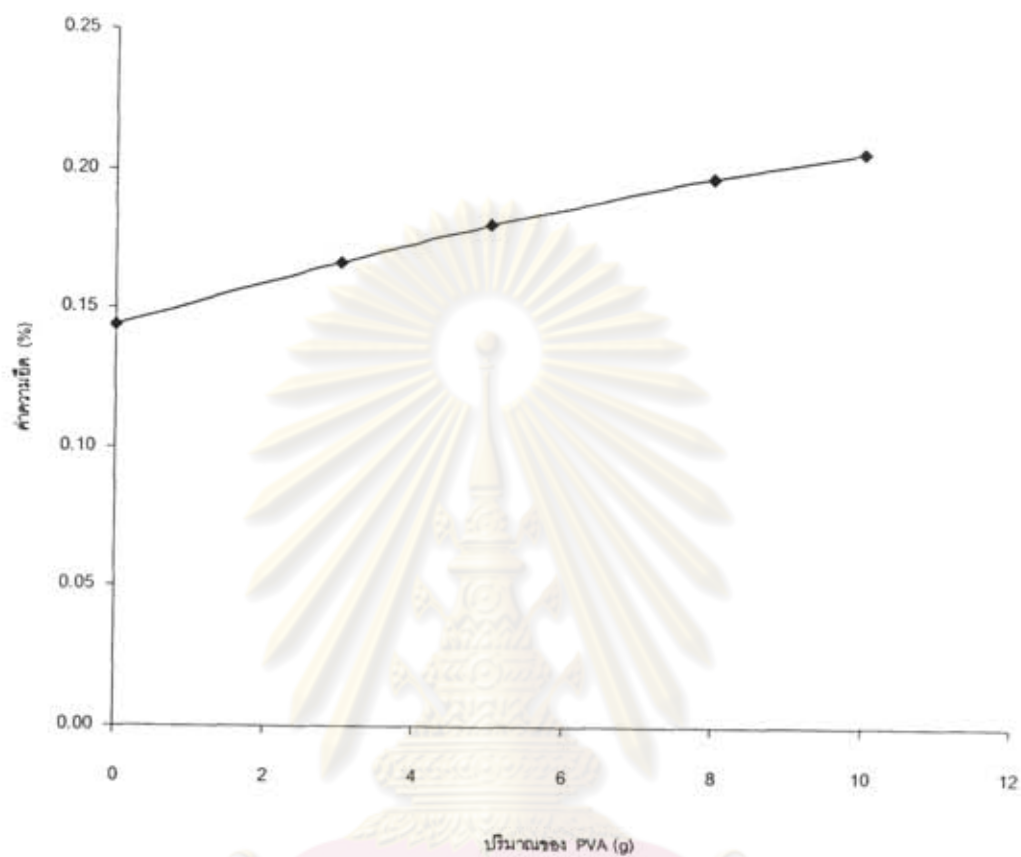
ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

2 การทดลองเพื่อปรับปรุงคุณภาพของพลาสติกไซเซอร์

เนื่องด้วยการทดลองที่ 1 มีค่าด้านทานแรงดึงค่อนข้างน้อยดังนั้นจึงได้ปรับปรุงคุณภาพของพลาสติกไซเซอร์ด้วยการเพิ่ม PVA เข้าไปในส่วนผสมในกระบวนการ ซึ่งจากการทดลองหาปริมาณที่เหมาะสมของ PVA นั้น ถ้าใช้ปริมาณของ PVA 10 กรัม จะเพิ่มค่าความต้านทานแรงดึงได้ถึง 2 เท่าของพลาสติกไซเซอร์เดิม ซึ่งมีค่าด้านทานแรงดึง 1.610 MPa เนื่องจาก PVA เข้าไปทดแทนช่องว่างที่เกิดขึ้นและเป็นตัวช่วยประสานขานอ้อยให้ยึดติดกันเป็นอย่างดี ซึ่งส่งผลให้บรรจุภัณฑ์มีความแข็งแรงมากขึ้นและเมื่อพิจารณาค่าความยืดจะมีค่าไม่แตกต่างจากเดิมมากนัก นั่นคือ 0.206 %



ภาพที่ 12 ค่าด้านทานแรงดึงของการผสม PVA ในส่วนผสมของพลาสติกไซเซอร์

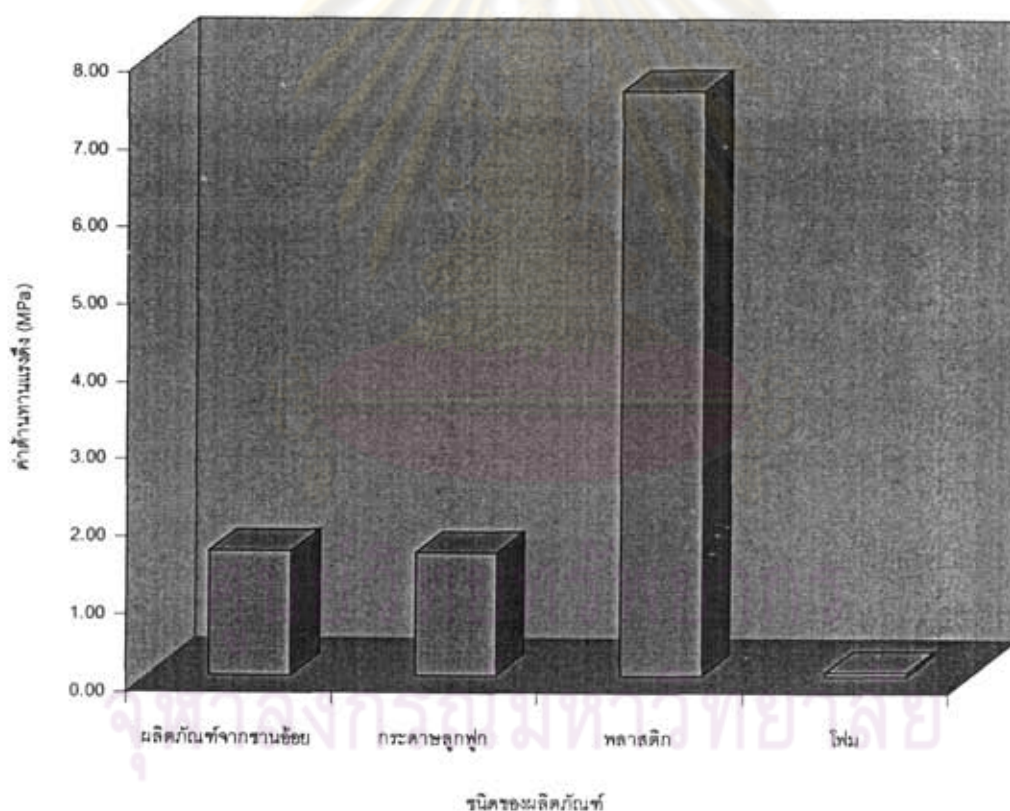


ภาพที่ 13 ค่าความยืดของการผสม PVA ในส่วนผสมของพลาสติกไซเซอร์

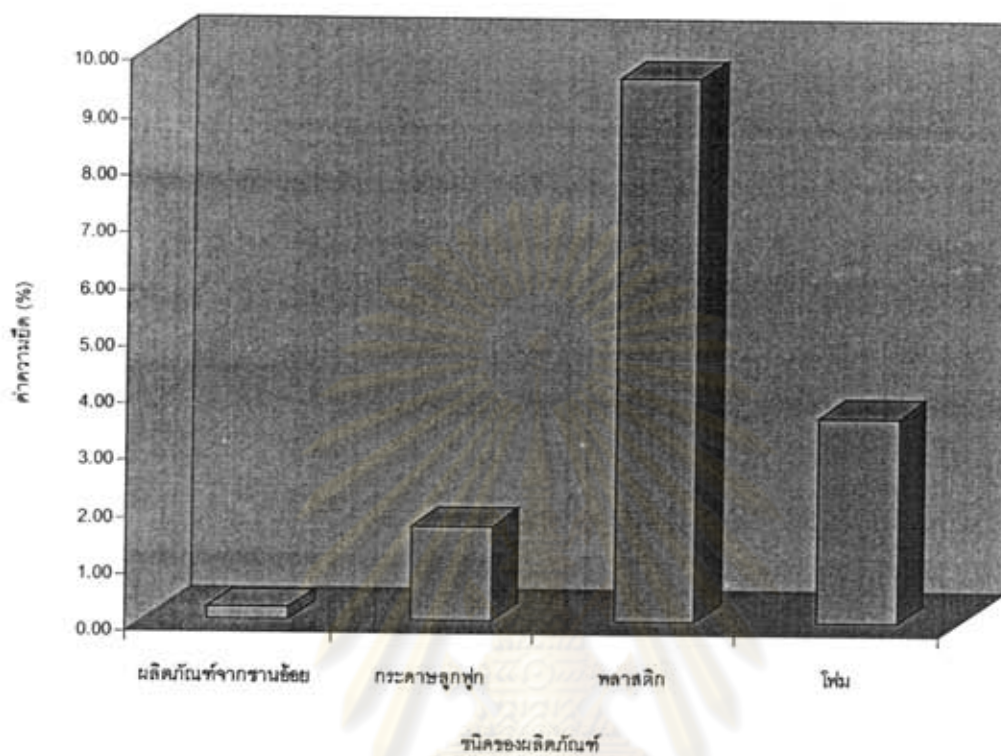
ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

3 การทดลองเพื่อเปรียบเทียบบรรจุภัณฑ์จากชานอ้อยกับบรรจุภัณฑ์อื่นๆ

ในการทดลองนี้ได้เปรียบเทียบบรรจุภัณฑ์จากชานอ้อยที่ผลิตขึ้นกับบรรจุภัณฑ์อื่นๆ อาทิ เช่น โฟม พลาสติกเป็นต้น จากภาพที่ 14 และ 15 จะเห็นว่าค่าด้านทานแรงดึงของบรรจุภัณฑ์ของชานอ้อย มีปริมาณใกล้เคียงกับกระดาษลูกฟูก นั่นคือ 1.610 และ 1.595 MPa ส่วน โฟมและพลาสติกมีค่าด้านทานแรงดึง 0.068 และ 7.560 MPa บรรจุภัณฑ์จากชานอ้อยมีค่าความยืดตัวที่ค่อนข้างน้อยมากเมื่อเปรียบเทียบกับบรรจุภัณฑ์อื่นๆ นั่นคือ บรรจุภัณฑ์จากชานอ้อย 0.206 % กระดาษลูกฟูก 1.644 % พลาสติก 9.540 % และ โฟม 3.600 %



ภาพที่ 14 ค่าด้านทานแรงดึงของบรรจุภัณฑ์จากชานอ้อยกับบรรจุภัณฑ์อื่นๆ

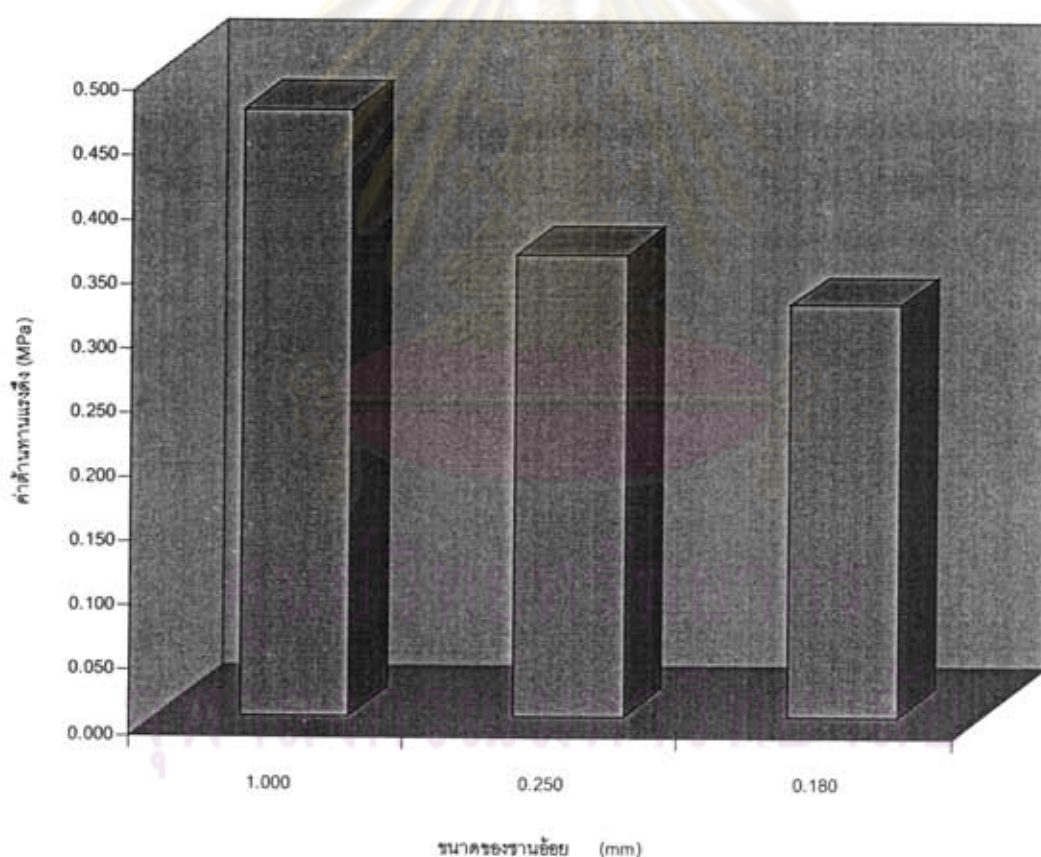


ภาพที่ 15 ค่าความเข็ดของบรรจุภัณ์จากชานอ้อยกับบรรจุภัณ์อื่นๆ

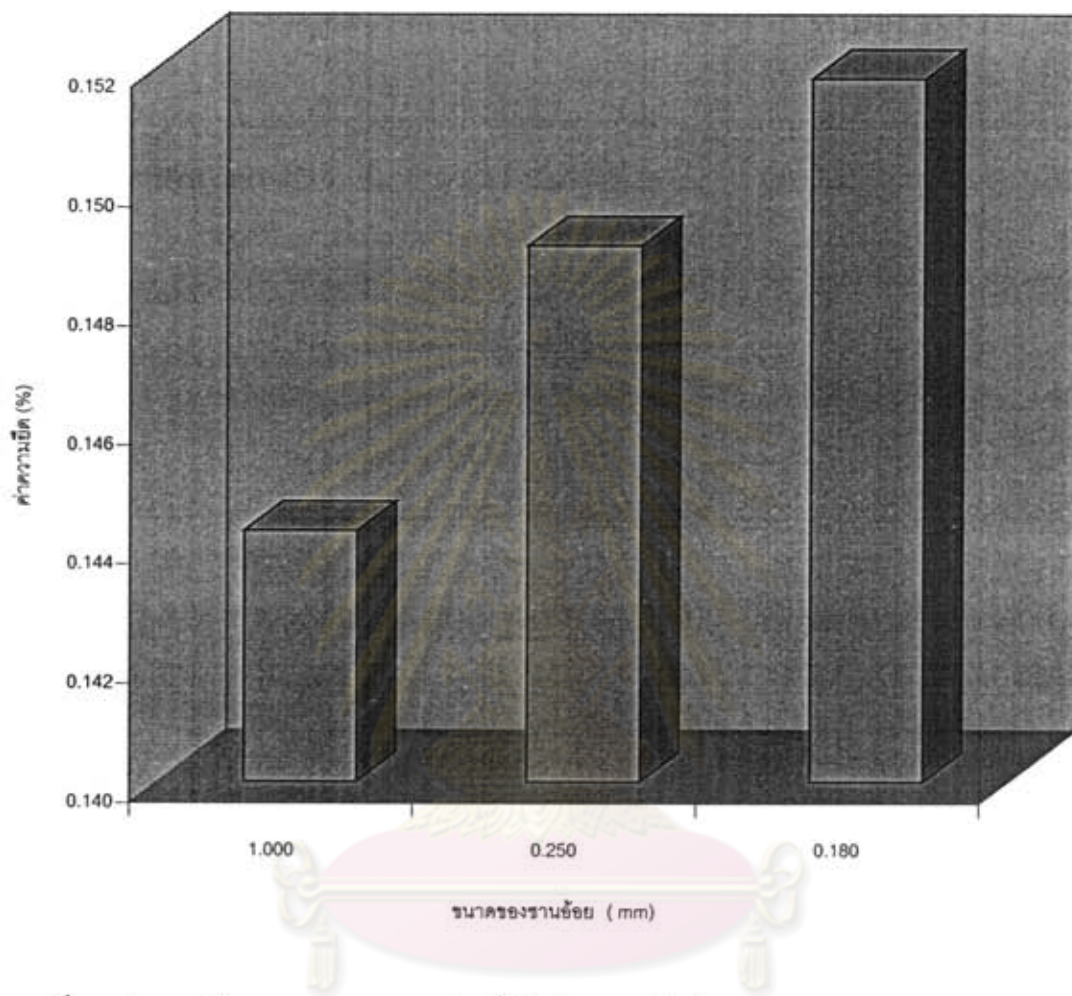
ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

4 การทดลองเพื่อเปรียบเทียบขนาดของชานอ้อยที่ใช้ผลิตบรรจุภัณฑ์

ในการทดลองนี้ได้ศึกษาผลกระทบของขนาดของชานอ้อยจะมีผลต่อความแข็งแรงของบรรจุภัณฑ์มากน้อยเพียงใด จากภาพที่ 16 และ 17 แสดงให้เห็นว่า ถ้าใช้ชานอ้อยที่มีขนาดใหญ่ขึ้นจะมีผลกระทบต่อความแข็งแรงของบรรจุภัณฑ์ เนื่องด้วยชานอ้อยที่มีขนาดใหญ่ภายในบรรจุภัณฑ์นั้นจะมีการเชื่อมหรือการพันกันระหว่างเส้นใยทำให้บรรจุภัณฑ์มีความแข็งแรงมากขึ้น โดยขนาดของชานอ้อย 1.000, 0.250 และ 0.180 mm จะมีค่าด้านทานแรงดึง ดังนี้ 0.471, 0.358, 0.319 MPa และ ค่าความยืดมีค่าไม่แตกต่างกันมากนัก นั่นคือ 0.144, 0.149, 0.152 %



ภาพที่ 16 ค่าด้านทานแรงดึงของขนาดของชานอ้อยที่ใช้ผลิตบรรจุภัณฑ์

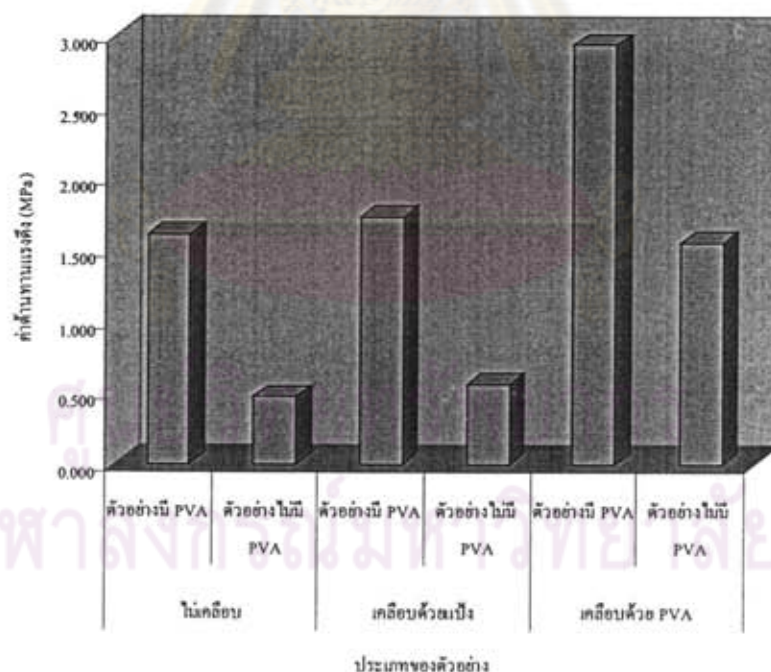


ภาพที่ 17 ค่าความบดของขนาดของรานอ้อยที่ใช้ผลิตบรรจุภัณฑ์

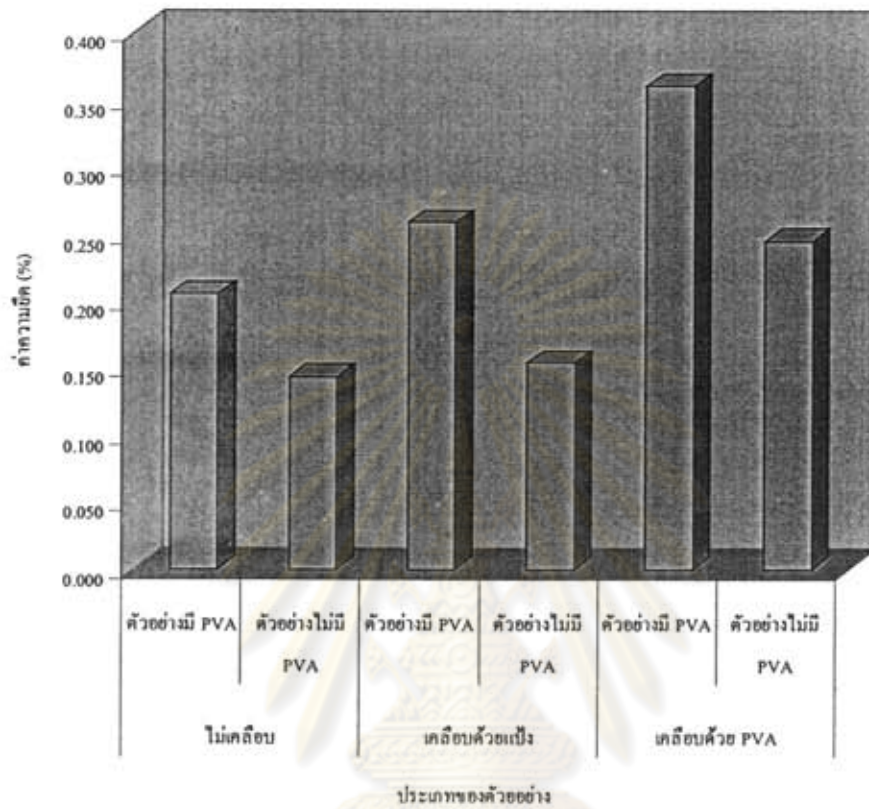
ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

5 การทดลองปรับปรุงคุณภาพของบรรจุภัณฑ์ โดยการเคลือบ

การปรับปรุงคุณภาพบรรจุภัณฑ์ในการทดลองนี้ด้วยการเคลือบ ซึ่งวัตถุประสงค์ที่ใช้เคลือบมีด้วยกัน 2 ชนิด นั่นคือ PVA และพลาสติกไซเซออร์ การเคลือบบรรจุภัณฑ์จะมีประโยชน์หลายด้านด้วยกัน อาทิเช่น เพิ่มความแข็งแรง เพิ่มความสวยงาม และเป็นตัวป้องกันการซึมผ่านของออกซิเจนและน้ำอีกด้วย จากภาพที่ 18 และ 19 แสดงให้เห็นว่า ถ้าเคลือบด้วยแป้งจะมีค่าด้านแรงดึงเพิ่มขึ้นเล็กน้อย ซึ่งมีค่าด้านทานแรงดึงและค่าความยืดของตัวอย่างที่ไม่ผสม PVA และผสม PVA เคลือบด้วยพลาสติกไซเซออร์ ดังนี้ 0.556 MPa 0.155 % และ 1.728 MPa 0.259 % แต่ถ้าเคลือบด้วย PVA จะมีค่าด้านทานแรงดึงเพิ่มขึ้นเกือบ 1 เท่า ของบรรจุภัณฑ์ที่ผสม PVA และไม่เคลือบ โดยมีค่าด้านทานแรงดึงและค่าความยืดของตัวอย่างที่ไม่ผสม PVA และผสม PVA เคลือบด้วย PVA ดังนี้ 1.552 MPa 0.249 % และ 2.941 MPa 0.361 % ตามลำดับ



ภาพที่ 18 ค่าด้านทานแรงดึงของการปรับปรุงบรรจุภัณฑ์จากชานอ้อย โดยการเคลือบ

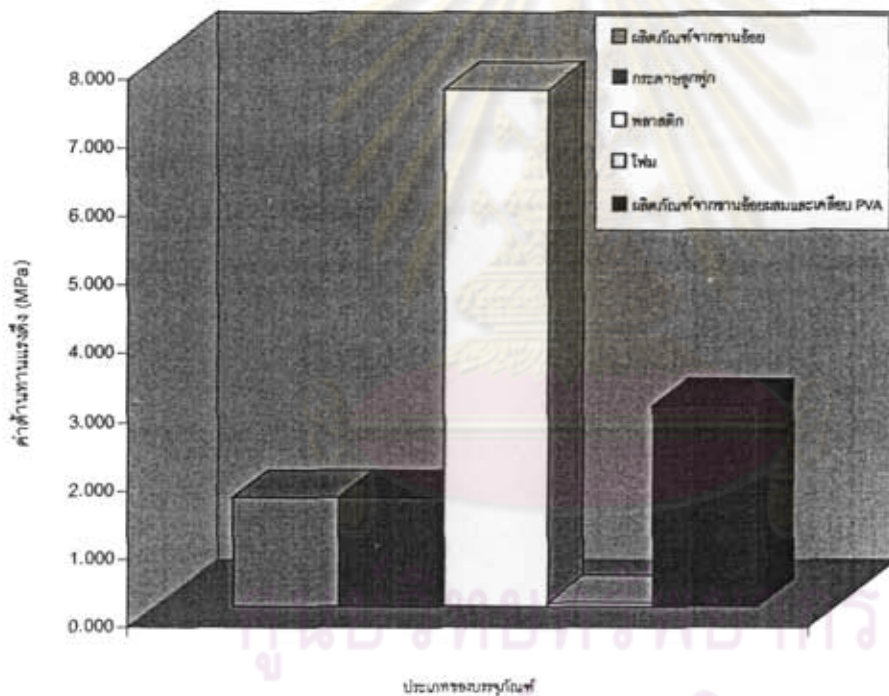


ภาพที่ 19 ค่าความชื้นของการปรับปรุงบรรจุภัณฑ์จากชานอ้อย โดยการเคลือบ

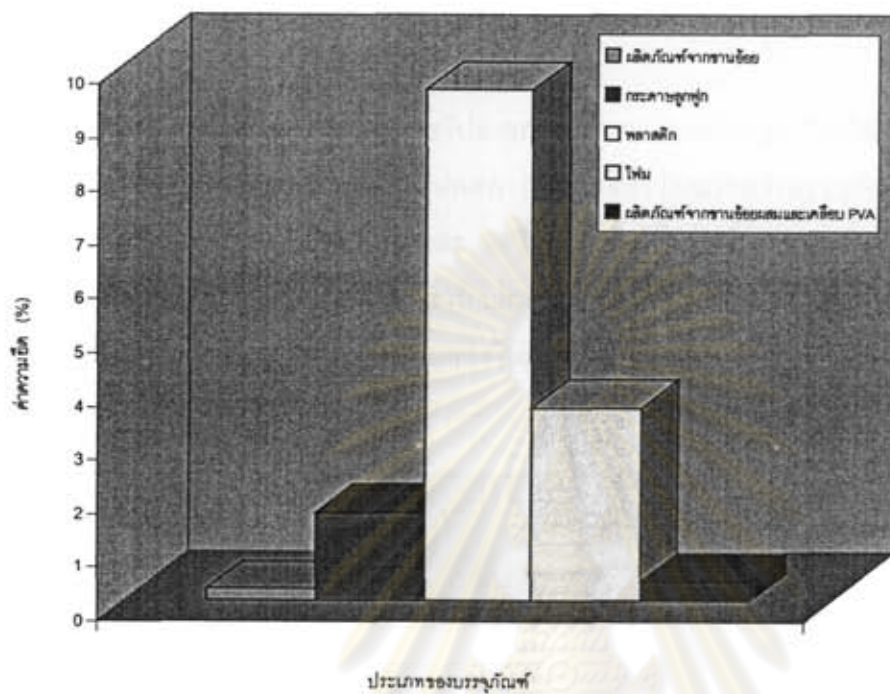
ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

6 การทดลองเพื่อเปรียบเทียบการปรับปรุงด้วยการเคลือบบรรจุภัณฑ์จากชานอ้อยกับบรรจุภัณฑ์ อื่นๆ

ในการทดลองนี้เพื่อแสดงการเปรียบเทียบคุณภาพของบรรจุภัณฑ์จากชานอ้อยที่ปรับปรุงด้วยการเคลือบกับบรรจุภัณฑ์ชนิดอื่นๆ จากภาพที่ 20 และ 21 แสดงให้เห็นว่าบรรจุภัณฑ์ที่ปรับปรุงจากชานอ้อยด้วยการเคลือบมีความแข็งแรงเป็น 1 เท่าของกระดาษลูกฟูก ซึ่งบรรจุภัณฑ์จากชานอ้อยที่ปรับปรุงคุณภาพ โดยเคลือบด้วย PVA มีค่าด้านทานแรงดึงและค่าความยืด ดังนี้ 2.941 MPa 0.361 % และกระดาษลูกฟูกมีค่าด้านทานแรงดึงและค่าความยืด ดังนี้ 1.595 MPa 1.644 %



ภาพที่ 20 ค่าด้านทานแรงดึงของการปรับปรุงบรรจุภัณฑ์จากชานอ้อยกับบรรจุภัณฑ์อื่นๆ

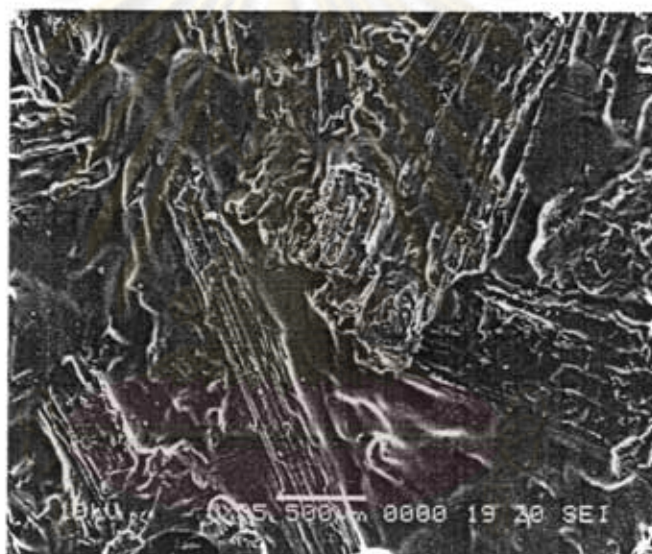


ภาพที่ 21 ค่าความชื้นของการปรับปรุงบรรจุภัณฑ์จากชานอ้อยกับบรรจุภัณฑ์อื่นๆ

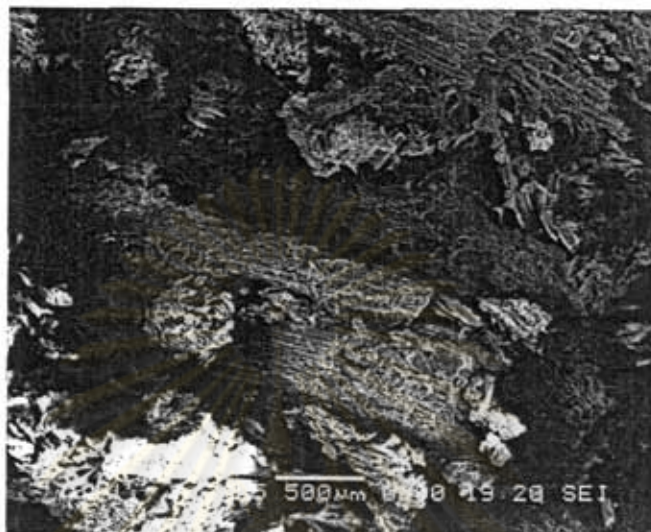
ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

7 ภาพขยายของบรรจุภัณฑ์จากชานอ้อยในรูปแบบต่างๆ

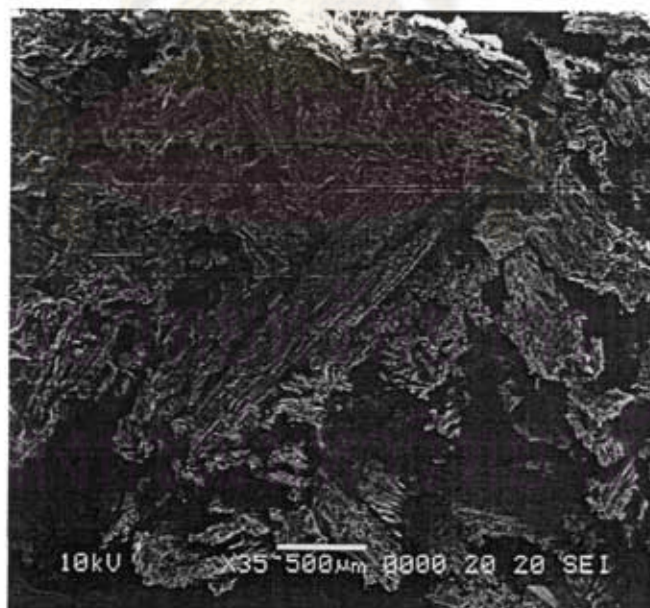
เมื่อนำบรรจุภัณฑ์จากชานอ้อยไปถ่ายภาพที่มีความละเอียดสูง โดยใช้เครื่อง SEM จะพบว่า ภายในของบรรจุภัณฑ์จากชานอ้อยที่ไม่ผสม PVA มีช่องว่างมากกว่าบรรจุภัณฑ์จากชานอ้อยที่ผสม PVA ซึ่งแสดงให้เห็นจากภาพที่ 23 และ 24 ในส่วนของพื้นผิวนั้น พบว่าพื้นผิวของบรรจุภัณฑ์จากชานอ้อยที่ผสม PVA จะเรียบกว่าพื้นผิวที่ไม่ผสม PVA ดังภาพที่ 22 และ 25 เมื่อเคลือบบรรจุภัณฑ์ด้วย PVA นั้นพื้นผิวจะดูเรียบที่สุด ดังแสดงในภาพที่ 26



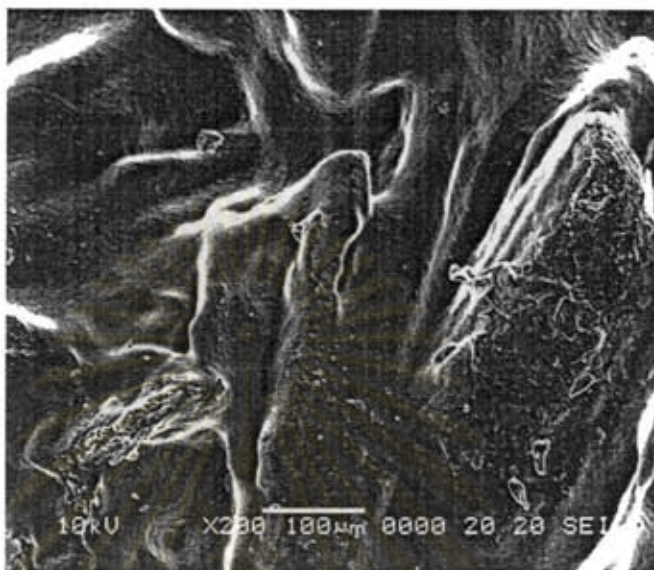
ภาพที่ 22 ภาพพื้นผิวของบรรจุภัณฑ์ที่ไม่มีการผสม PVA



ภาพที่ 23 ภาพตัดขวางของบรรจุภัณฑ์ที่ไม่มีการผสม PVA



ภาพที่ 24 ภาพตัดขวางของบรรจุภัณฑ์ที่ผสม PVA



ภาพที่ 25 ภาพพื้นผิวของบรรจุภัณฑ์ที่เคลือบด้วยพลาสติกไซเซอร์



ภาพที่ 26 ภาพพื้นผิวของบรรจุภัณฑ์ที่เคลือบด้วย PVA

8 การทดลองหาอุณหภูมิที่เหมาะสมที่ใช้ในการอบตัวอย่าง

จากการทดลองนี้ได้หาเวลาที่เหมาะสมในการอบตัวอย่าง จากภาพที่ 27 แสดงให้เห็นว่า ถ้าใช้อุณหภูมิในการอบสูงจะใช้เวลาในการอบน้อย แต่ถ้าใช้อุณหภูมิสูงกว่า 130°C จะทำให้ตัวอย่างไหม้ได้ ดังนั้นอุณหภูมิที่เหมาะสมที่ใช้ในการอบตัวอย่างจึงควรใช้ อุณหภูมิ 130°C ในการอบตัวอย่าง



ภาพที่ 27 น้ำหนักของบรรจุภัณฑ์จากชานอ้อยที่อุณหภูมิต่างๆ

9 การทดลองการยืดอายุผลไม้ประเภท มังคุด

จากภาพที่ 28 แสดงให้เห็นถึงลักษณะของตัวอย่างมังคุดที่จะนำมาใช้ในการทดลอง ซึ่งมังคุดที่ใช้เป็นตัวอย่างการทดลองนี้ได้เก็บผลผลิตจากต้นมาแล้วเป็นระยะเวลา 3 วัน ส่วนภาพที่ 29 (รูปบน) แสดงถึงลักษณะตัวอย่างมังคุด เริ่มจากด้านซ้ายของรูป ดังต่อไปนี้

ลูกแรก ลักษณะมังคุดที่บรรจุในบรรจุภัณฑ์จากซานอ้อย ซึ่งใช้เวลา 16 วัน ในการทดลองจากลักษณะภายนอกยังคงสีเขียวอยู่เป็นบางส่วน ซึ่งเมื่อเปรียบเทียบกับมังคุดในสภาวะปกติ (ลูกที่หนึ่ง สามและสี่) เมื่อสัมผัสผิวยังคงความนุ่มและได้ผ่าเปลือกมังคุดออกเพื่อดูเนื้อมังคุดด้านในยังคงมีลักษณะเป็นพลูสีขาว (รูปด้านล่าง) ซึ่งเมื่อทดลองรับประทานแล้วยังคงรสชาติของมังคุดอยู่ จากการทดลองนี้ ได้บรรจุสารดูดซับออกซิเจนเข้าไปในกล่องบรรจุภัณฑ์จากซานอ้อย ซึ่งสารที่บรรจุเข้าไปในกล่องนี้จะทำหน้าที่ดูดซับออกซิเจนภายในกล่อง ซึ่งเป็นตัวแปรหลักที่มีผลกระทบต่อการสุกของผลไม้ จากผลที่ได้ผลไม้สามารถยืดอายุได้ เป็นระยะเวลา 8 วัน เมื่อเปรียบเทียบกับมังคุดที่อยู่ในสภาวะปกติ

ลูกที่สอง ลักษณะของมังคุดที่บรรจุในขวดพลาสติกที่มีสารดูดซับออกซิเจนอยู่ภายใน ซึ่งใช้เวลา 16 วันในการทดลอง มีลักษณะผลมังคุดคล้ายกับลูกแรก แสดงให้เห็นว่า บรรจุภัณฑ์จากซานอ้อยสามารถป้องกันการซึมผ่านของออกซิเจนได้

ลูกที่สาม ลักษณะของมังคุดที่บรรจุในขวดพลาสติกที่ไม่มีสารดูดซับออกซิเจนอยู่ภายใน ซึ่งใช้ระยะเวลา 12 วัน มังคุดมีลักษณะที่แข็ง แสดงว่ามังคุดแก่เต็มที่แล้ว ไม่สามารถรับประทานได้ ซึ่งจะแสดงให้เห็นว่าออกซิเจนเป็นปัจจัยที่มีผลต่อการสุกของมังคุดมากกว่าการเก็บรักษาไว้ในสภาวะแวดล้อมที่อุณหภูมิ 9 °C

ลูกที่สี่ ลักษณะของมังคุดที่สภาวะปกติ ซึ่งใช้เวลา 8 วัน มังคุดมีลักษณะที่แข็ง แสดงว่ามังคุดแก่เต็มที่แล้ว ไม่สามารถรับประทานได้

ลูกที่ห้า ลักษณะของมังคุดที่เก็บไว้ที่อุณหภูมิ 9 °C ซึ่งใช้เวลา 9 วัน มังคุดมีลักษณะที่แข็ง แสดงว่ามังคุดแก่เต็มที่แล้ว ไม่สามารถรับประทานได้



ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



ภาพที่ 28 ตัวอย่างมังคุดที่จะนำมาทดลองการขีดอายุผลไม้



ภาพที่ 29 ตัวอย่างมังคุดที่ผ่านการทดลองบีดอายุผลไม้

สรุปผลการทดลองและข้อเสนอแนะ

1 สรุปผลการทดลอง

1.1 การทดลองหากระบวนการผลิตบรรจุภัณฑ์จากชานอ้อย ซึ่งได้ทดลองหากระบวนการและสัดส่วนที่ดีที่สุดที่ใช้ในการผลิต ดังต่อไปนี้ นำน้ำ 60 กรัม ผสม PVA 10 กรัม ภายใต้อุณหภูมิ 100 °C ซึ่งจะใช้เวลา 10 นาที นำชานอ้อยมาผสมกับพลาสติกไซเซอร์ จากนั้นนำไปอบที่อุณหภูมิ 130 °C ซึ่งจะใช้เวลา 150 นาที จากนั้น นำบรรจุภัณฑ์มาเคลือบด้วย PVA แล้วนำไปอบที่อุณหภูมิ 130 °C ซึ่งจะใช้เวลา 60 นาที

1.2 การทดลองการยึคอายุผลไม้ ประเภทมังคุด ซึ่งได้บรรจุมังคุดในบรรจุภัณฑ์จากชานอ้อย พร้อมสารดูดซับออกซิเจน จากผลการทดลองสามารถยึคอายุมังคุดได้เป็นระยะเวลา 8 วัน เมื่อเปรียบเทียบกับตัวอย่างมังคุดที่อยู่ในสภาวะแวดล้อมปกติ

2 ข้อเสนอแนะ

2.1 ข้อเสนอแนะเกี่ยวกับการนำไปใช้

2.1.1 บรรจุภัณฑ์จากชานอ้อยที่ผลิตขึ้นนี้ไม่ควรเก็บรักษาในบริเวณที่มีความชื้นที่สูง เนื่องจากอาจส่งผลกระทบต่อการใช้งานของบรรจุภัณฑ์

2.1.2 กระบวนการผลิตบรรจุภัณฑ์จากชานอ้อยนี้สามารถนำไปผลิตผลิตภัณฑ์ใหม่ๆ เช่น ตุ๊กตา กล้องใส่ดินสอ แฟ้มใส่เอกสาร เป็นต้น

2.1.3 ในกระบวนการผลิตบรรจุภัณฑ์จากชานอ้อยสามารถนำสีมาผสมลงในกระบวนการหรือการนำชานอ้อยผสมกับสี ซึ่งจะส่งผลให้ผลิตภัณฑ์ที่ผลิตมีความสวยงามยิ่งขึ้น

2.2 ข้อเสนอแนะเกี่ยวกับงานวิจัยครั้งต่อไป

2.2.1 ผลิตสารดูดซับออกซิเจนเพื่อใช้ในกระบวนการผลิตบรรจุภัณฑ์จากชานอ้อย โดยควบคุมการดูดซับ โดยการเคลือบสารเคมีที่ผิวตัวดูดซับ

2.2.2 นำสารดูดซับออกซิเจนติดที่ผนังด้านในหรือที่ฝาปิดกล่องบรรจุภัณฑ์ เมื่อจะใช้ ทุกครั้งก็ให้ลอกพลาสติกที่ป้องกันออกแล้วเปิดฝาอย่างรวดเร็ว



ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

เอกสารอ้างอิง

- งามทิพย์ ภู่วโรดม. 2540. หลักการบรรจุ. มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, กรุงเทพฯ. 169 น.
- จริงแท้ ศิริพานิช. 2532. การสุกและการแตกของผลไม้. มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, กรุงเทพฯ. 40-51 น.
- ธงชัย คุณากิจจา. 2535. ปัญหาอ้อยและน้ำตาลในประเทศไทย, น. 97-106 สมาคมวิทยาศาสตร์การเกษตรแห่งประเทศไทย, กรุงเทพฯ.
- สุขสถาน เกษม และบัญญัติ โกมลอาจ. 2537. พันธุ์อ้อยที่ปลูกเพื่อการค้าภายในประเทศ. กระทรวงเกษตรและสหกรณ์, กรุงเทพฯ. 153 น.
- สมบูรณ์ เดชดำรง. 2540. การผลิตเชื้อเห็ดจากกากอ้อยโดยการแช่ด้วยด่างและการต้มด้วยการเติมด่างออกซิเจน. คณะอุตสาหกรรมเกษตร มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์. 116 น.
- สายชล เกตุษา. 2538. ผลผลิตทางการเกษตรหลังการเก็บเกี่ยว. มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, กรุงเทพฯ. 115 น.
- อรอนงค์ นัยวิกุล. 2538. เกมี่ทางธัญญาหาร. มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, กรุงเทพฯ. 148 น.
- Beynum, G.T.A. van, and J.A. Roels. 1985. Starch Conversion Technology. Marcel Dekker, New York. 326 p.
- French, D. 1975. Chemistry and biochemistry of starch. Butterworths, London. 267-335 p.

- Hizukuki, S. 1988. Recent advances in molecular structure of starch. Academic Press, Newyork. 185 p
- Jane, J.A. and P.A. Seib. 1992. Location of amylose in normal starch granules I
Susceptibility of amylose and amylopectin to cross-linking reagents. Academic Press. Florida. 69-405 p
- Jane, J. and J.J. Shen. 1993. International structure of the potato starch revealed by chemical gelatinization. Carbohydrate Res. 247-279 p
- Knight, J.W. 1969. The Starch Industry. Pergemon Press, Oxford. 189 p.
- Leach, H.W. 1965. Gelatinization of starch. Academic press, New York. 579 p.
- Oates, C.G. 1997. Towards an understanding of starch granule structure and hydrolysis. Trends in food Science and Technology. 375-382 p.
- Oates, C.G. 1996. Physical modification of starch. In Advanced Post Academic Course on Tapioca Starch Thechnology. AIT Center, Bangkok. 180 p.
- Robin, J.P. and J.A. Guilbot. 1974. Lintnerized starch, gel filtration and enzymatic studies of insoluble residues from prolonged acid treatment of potato starch. Cereal Chem. 389-406 p.
- Rupp, P.L.C. and S.J. Schwartz. 1988. Characterization of the action of *Becillus subtilis* alphaamylose on sweet potato starch, amylose and amylopectin. J. Food Biochem. 191-203 p.
- Whistler, R.L. and J.R. Deniel 1984. Molecular structure of starch. Academic press, Florida. 153-178 p.

ภาคผนวก ก

ข้อมูลการทดลอง

1 การทดลองหาชนิดของแป้งที่เหมาะสมที่ใช้ผลิตพลาสติกไซเซอร์

จากการทดลองจะใช้แป้ง 3 ประเภท คือ แป้งสาลี แป้งข้าวโพด และแป้งมันสำปะหลัง เพื่อหาแป้งที่ดีที่สุดในการทำใช้ผลิตพลาสติกไซเซอร์

ตารางผนวกที่ 1 ค่าด้านทานแรงดึงและค่าความยืดของแป้งสาลี

ตัวอย่าง	น้ำหนัก (กรัม)	ค่าด้านทานแรงดึง (MPa)	ค่าความยืด (%)
ตัวอย่างที่ 1	3.862	0.534	0.146
ตัวอย่างที่ 2	3.849	0.454	0.172
ตัวอย่างที่ 3	3.795	0.492	0.124
ตัวอย่างที่ 4	3.759	0.452	0.157
ตัวอย่างที่ 5	3.812	0.421	0.122
ค่าเฉลี่ย	3.815	0.471	0.144

ศูนย์วิจัยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางผนวกที่ 2 ค่าต้านทานแรงดึงและค่าความยืดของแป้งข้าวโพด

ตัวอย่าง	น้ำหนัก (กรัม)	ค่าต้านทานแรงดึง (MPa)	ค่าความยืด (%)
ตัวอย่างที่ 1	3.836	0.456	0.254
ตัวอย่างที่ 2	3.804	0.450	0.302
ตัวอย่างที่ 3	3.895	0.449	0.274
ตัวอย่างที่ 4	3.785	0.415	0.245
ตัวอย่างที่ 5	3.869	0.446	0.249
ค่าเฉลี่ย	3.838	0.443	0.265

ตารางผนวกที่ 3 ค่าต้านทานแรงดึงและค่าความยืดของแป้งมันสำปะหลัง

ตัวอย่าง	น้ำหนัก (กรัม)	ค่าต้านทานแรงดึง (MPa)	ค่าความยืด (%)
ตัวอย่างที่ 1	3.389	0.321	0.252
ตัวอย่างที่ 2	3.384	0.315	0.264
ตัวอย่างที่ 3	3.382	0.339	0.304
ตัวอย่างที่ 4	3.345	0.306	0.231
ตัวอย่างที่ 5	3.391	0.329	0.289
ค่าเฉลี่ย	3.378	0.322	0.268

ตารางผนวกที่ 4 ค่าต้านทานแรงดึงและค่าความยืดของแป้งแต่ละชนิด

ตัวอย่าง	น้ำหนัก (กรัม)	ค่าต้านทานแรงดึง (MPa)	ค่าความยืด (%)
แป้งสาลี	3.815	0.471	0.144
แป้งข้าวโพด	3.838	0.443	0.265
แป้งมันสำปะหลัง	3.378	0.322	0.268

หมายเหตุ Tensile Strength = ค่าต้านทานแรงดึง
Elongation = ค่าความยืด

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

2 การทดลองเพื่อปรับปรุงคุณภาพของพลาสติกไซเซอร์

จากผลการทดลองได้ใช้ PVA ในการปรับปรุงคุณภาพของพลาสติกไซเซอร์ โดยได้ใช้ PVA จำนวน 0,3,5, 8,10 กรัม เพื่อหาจำนวน PVA ที่เหมาะสมที่สุดในการผลิตพลาสติกไซเซอร์

ตารางผนวกที่ 5 ค่าด้านทานแรงดึงและค่าความยืดของตัวอย่างที่ไม่ผสม PVA ในกระบวนการผลิตพลาสติกไซเซอร์

ตัวอย่าง	น้ำหนัก (กรัม)	ค่าด้านทานแรงดึง (MPa)	ค่าความยืด (%)
ตัวอย่างที่ 1	3.862	0.534	0.146
ตัวอย่างที่ 2	3.849	0.454	0.172
ตัวอย่างที่ 3	3.795	0.492	0.124
ตัวอย่างที่ 4	3.759	0.452	0.157
ตัวอย่างที่ 5	3.812	0.421	0.122
ค่าเฉลี่ย	3.815	0.471	0.144

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางผนวกที่ 6 ค่าต้านทานแรงดึงและค่าความยืดของตัวอย่างที่ผสม PVA จำนวน 3 กรัม ในกระบวนการผลิตพลาสติกไซเซอร์

ตัวอย่าง	น้ำหนัก (กรัม)	ค่าต้านทานแรงดึง (MPa)	ค่าความยืด (%)
ตัวอย่างที่ 1	4.042	0.702	0.245
ตัวอย่างที่ 2	4.020	0.674	0.195
ตัวอย่างที่ 3	3.999	0.697	0.102
ตัวอย่างที่ 4	4.016	0.679	0.154
ตัวอย่างที่ 5	4.097	0.691	0.132
ค่าเฉลี่ย	4.035	0.689	0.166

ตารางผนวกที่ 7 ค่าต้านทานแรงดึงและค่าความยืดของตัวอย่างที่ผสม PVA จำนวน 5 กรัม ในกระบวนการผลิตพลาสติกไซเซอร์

ตัวอย่าง	น้ำหนัก (กรัม)	ค่าต้านทานแรงดึง (MPa)	ค่าความยืด (%)
ตัวอย่างที่ 1	4.294	1.095	0.288
ตัวอย่างที่ 2	4.305	0.905	0.114
ตัวอย่างที่ 3	4.335	1.045	0.140
ตัวอย่างที่ 4	4.284	1.102	0.195
ตัวอย่างที่ 5	4.321	0.954	0.165
ค่าเฉลี่ย	4.308	1.020	0.180

ตารางผนวกที่ 8 ค่าต้านทานแรงดึงและค่าความยืดของตัวอย่างที่ผสม PVA จำนวน 8 กรัม ในกระบวนการผลิตพลาสติกไซเซอร์

ตัวอย่าง	น้ำหนัก (กรัม)	ค่าต้านทานแรงดึง (MPa)	ค่าความยืด (%)
ตัวอย่างที่ 1	4.461	1.281	0.186
ตัวอย่างที่ 2	4.353	1.316	0.206
ตัวอย่างที่ 3	4.563	1.345	0.195
ตัวอย่างที่ 4	4.427	1.291	0.241
ตัวอย่างที่ 5	4.494	1.305	0.156
ค่าเฉลี่ย	4.460	1.308	0.197

ตารางผนวกที่ 9 ค่าต้านทานแรงดึงและค่าความยืดของตัวอย่างที่ผสม PVA จำนวน 10 กรัม ในกระบวนการผลิตพลาสติกไซเซอร์

ตัวอย่าง	น้ำหนัก (กรัม)	ค่าต้านทานแรงดึง (MPa)	ค่าความยืด (%)
ตัวอย่างที่ 1	4.531	1.643	0.193
ตัวอย่างที่ 2	4.595	1.645	0.223
ตัวอย่างที่ 3	4.491	1.602	0.204
ตัวอย่างที่ 4	4.451	1.575	0.212
ตัวอย่างที่ 5	4.458	1.585	0.196
ค่าเฉลี่ย	4.505	1.610	0.206

ตารางผนวกที่ 10 ค่าต้านทานแรงดึงและค่าความยืดของตัวอย่างที่ปรับปรุงคุณภาพผลิตพลาสติกไซเซอร์

PVA (กรัม)	ค่าต้านทานการยืด (MPa)	ค่าความยืด (%)
0	0.471	0.144
3	0.689	0.166
5	1.020	0.180
8	1.308	0.197
10	1.610	0.206

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

3 การทดลองเพื่อเปรียบเทียบบรรจุภัณฑ์จากชานอ้อยกับบรรจุภัณฑ์อื่นๆ

จากการทดลองเปรียบเทียบบรรจุภัณฑ์จากชานอ้อยกับบรรจุภัณฑ์ต่างๆ ที่ใช้กันอยู่ในปัจจุบัน ได้แก่ พลาสติก โฟม และกระดาษลูกฟูก

ตารางผนวกที่ 11 ค่าด้านทานแรงดึงและค่าความยืดของกระดาษลูกฟูก

ตัวอย่าง	น้ำหนัก (กรัม)	ค่าด้านทานแรงดึง (MPa)	ค่าความยืด (%)
ตัวอย่างที่ 1	3.238	1.597	1.664
ตัวอย่างที่ 2	3.245	1.591	1.634
ตัวอย่างที่ 3	3.346	1.589	1.647
ตัวอย่างที่ 4	3.335	1.598	1.641
ตัวอย่างที่ 5	3.326	1.598	1.632
ค่าเฉลี่ย	3.298	1.595	1.644

ตารางผนวกที่ 12 ค่าด้านทานแรงดึงและค่าความยืดของพลาสติก

ตัวอย่าง	น้ำหนัก (กรัม)	ค่าด้านทานแรงดึง (MPa)	ค่าความยืด (%)
ตัวอย่างที่ 1	3.115	7.566	9.532
ตัวอย่างที่ 2	3.111	7.532	9.551
ตัวอย่างที่ 3	3.156	7.578	9.529
ตัวอย่างที่ 4	3.116	7.571	9.555
ตัวอย่างที่ 5	3.112	7.555	9.533
ค่าเฉลี่ย	3.122	7.560	9.540

ตารางผนวกที่ 13 ค่าต้านทานแรงดึงและค่าความยืดของไหม

ตัวอย่าง	น้ำหนัก (กรัม)	ค่าต้านทานแรงดึง (MPa)	ค่าความยืด (%)
ตัวอย่างที่ 1	0.856	0.066	3.592
ตัวอย่างที่ 2	0.812	0.067	3.605
ตัวอย่างที่ 3	0.854	0.071	3.595
ตัวอย่างที่ 4	0.844	0.069	3.597
ตัวอย่างที่ 5	0.895	0.065	3.611
ค่าเฉลี่ย	0.852	0.068	3.600

ตารางผนวกที่ 14 ค่าต้านทานแรงดึงและค่าความยืดของบรรจุภัณฑ์จากชานอ้อยกับบรรจุภัณฑ์อื่นๆ

ตัวอย่าง	ค่าต้านทานแรงดึง (MPa)	ค่าความยืด (%)
ผลิตภัณฑ์จากชานอ้อย	1.610	0.206
กระดาษลูกฟูก	1.595	1.644
พลาสติก	7.560	9.540
ไหม	0.068	3.600

4 การทดลองเพื่อเปรียบเทียบขนาดของชานอ้อยที่ใช้ผลิตบรรจุภัณฑ์

จากการทดลองได้ใช้ชานอ้อย 3 ขนาดด้วยกัน นั่นคือ 0.180, 0.250 และ 1.000 ในกระบวนการผลิตบรรจุภัณฑ์จากชานอ้อย เพื่อศึกษาว่าขนาดของชานอ้อยมีผลต่อความแข็งแรงของบรรจุภัณฑ์จากชานอ้อย

ตารางผนวกที่ 15 ค่าด้านทานแรงดึงและค่าความยืดของชานอ้อยขนาด 0.180 มิลลิเมตร

ตัวอย่าง	น้ำหนัก (กรัม)	ค่าด้านทานแรงดึง (MPa)	ค่าความยืด (%)
ตัวอย่างที่ 1	3.814	0.305	0.151
ตัวอย่างที่ 2	3.842	0.315	0.147
ตัวอย่างที่ 3	3.797	0.319	0.168
ตัวอย่างที่ 4	3.761	0.324	0.152
ตัวอย่างที่ 5	3.897	0.334	0.141
ค่าเฉลี่ย	3.822	0.319	0.152

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางผนวกที่ 16 ค่าด้านทานแรงดึงและค่าความยืดของชานอ้อยขนาด 0.250 มิลลิเมตร

ตัวอย่าง	น้ำหนัก (กรัม)	ค่าด้านทานแรงดึง (MPa)	ค่าความยืด (%)
ตัวอย่างที่ 1	3.814	0.340	0.154
ตัวอย่างที่ 2	3.749	0.331	0.165
ตัวอย่างที่ 3	3.855	0.345	0.143
ตัวอย่างที่ 4	3.852	0.395	0.149
ตัวอย่างที่ 5	3.816	0.379	0.134
ค่าเฉลี่ย	3.817	0.358	0.149

ตารางผนวกที่ 17 ค่าด้านทานแรงดึงและค่าความยืดของชานอ้อยขนาด 1.000 มิลลิเมตร

ตัวอย่าง	น้ำหนัก (กรัม)	ค่าด้านทานแรงดึง (MPa)	ค่าความยืด (%)
ตัวอย่างที่ 1	3.814	0.305	0.151
ตัวอย่างที่ 2	3.842	0.315	0.147
ตัวอย่างที่ 3	3.797	0.319	0.168
ตัวอย่างที่ 4	3.761	0.324	0.152
ตัวอย่างที่ 5	3.897	0.334	0.141
ค่าเฉลี่ย	3.822	0.319	0.152

ตารางที่ผนวก 18 ค่าด้านทานแรงดึงและค่าความยืดของชานอ้อยที่ใช้ในกระบวนการผลิตบรรจุภัณฑ์
จากชานอ้อย

ขนาดชานอ้อย (มิลลิเมตร)	น้ำหนัก (กรัม)	ค่าด้านทานแรงดึง (MPa)	ค่าความยืด (%)
1.000	3.815	0.471	0.144
0.250	3.817	0.358	0.149
0.180	3.822	0.319	0.152

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

5 การทดลองปรับปรุงคุณภาพของบรรจุภัณฑ์ โดยการเคลือบ

จากการทดลองได้ปรับปรุงคุณภาพอีกครั้ง โดยวิธีการเคลือบ สารเคมีที่ใช้ในการเคลือบแบ่งออกเป็น 2 ชนิด ด้วยกัน คือพลาสติกไซเซอร์ และ PVA ซึ่งตัวอย่างที่ใช้ในการทดสอบมี 2 ชนิดด้วยกัน นั่นคือ ตัวอย่างที่ไม่ผสม PVA และ ตัวอย่างที่ผสม PVA

ตารางผนวกที่ 19 ค่าต้านทานแรงดึงและค่าความยืดของตัวอย่างที่ไม่มีส่วนผสม PVA และเคลือบด้วยพลาสติกไซเซอร์

ตัวอย่าง	น้ำหนัก (กรัม)	ค่าต้านทานแรงดึง (MPa)	ค่าความยืด (%)
ตัวอย่างที่ 1	4.238	0.548	0.154
ตัวอย่างที่ 2	4.345	0.587	0.148
ตัวอย่างที่ 3	4.215	0.542	0.156
ตัวอย่างที่ 4	4.287	0.563	0.153
ตัวอย่างที่ 5	4.263	0.542	0.162
ค่าเฉลี่ย	4.270	0.556	0.155

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางผนวกที่ 20 ค่าต้านทานแรงดึงและค่าความยืดของตัวอย่างที่ไม่มีส่วนผสม PVA และเคลือบด้วย PVA

ตัวอย่าง	น้ำหนัก (กรัม)	ค่าต้านทานแรงดึง (MPa)	ค่าความยืด (%)
ตัวอย่างที่ 1	4.657	1.548	0.234
ตัวอย่างที่ 2	4.625	1.595	0.202
ตัวอย่างที่ 3	4.687	1.548	0.256
ตัวอย่างที่ 4	4.623	1.524	0.275
ตัวอย่างที่ 5	4.616	1.546	0.263
ค่าเฉลี่ย	4.642	1.552	0.246

ตารางผนวกที่ 21 ค่าต้านทานแรงดึงและค่าความยืดของตัวอย่างที่มีส่วนผสม PVA และ เคลือบด้วย พลสดีไซเซอร์

ตัวอย่าง	น้ำหนัก (กรัม)	ค่าต้านทานแรงดึง (MPa)	ค่าความยืด (%)
ตัวอย่างที่ 1	4.951	1.759	0.244
ตัวอย่างที่ 2	4.946	1.702	0.257
ตัวอย่างที่ 3	4.923	1.736	0.263
ตัวอย่างที่ 4	4.986	1.753	0.281
ตัวอย่างที่ 5	4.974	1.691	0.252
ค่าเฉลี่ย	4.956	1.728	0.259

ตารางผนวกที่ 22 ค่าต้านทานแรงดึงและค่าความยืดของตัวอย่างที่มีส่วนผสม PVA และเคลือบด้วย PVA

ตัวอย่าง	น้ำหนัก (กรัม)	ค่าต้านทานแรงดึง (MPa)	ค่าความยืด (%)
ตัวอย่างที่ 1	5.212	2.956	0.372
ตัวอย่างที่ 2	5.208	2.978	0.324
ตัวอย่างที่ 3	5.236	2.875	0.387
ตัวอย่างที่ 4	5.373	2.931	0.341
ตัวอย่างที่ 5	5.124	2.965	0.381
ค่าเฉลี่ย	5.231	2.941	0.361

ตารางผนวกที่ 23 ค่าต้านทานแรงดึงและค่าความยืดของการทดลองการเคลือบพลาสติกไซเซออร์หรือ PVA

ตัวอย่าง	รูปแบบการเคลือบ	ค่าต้านทานแรงดึง (MPa)	ค่าความยืด (%)
ตัวอย่างไม่ผสม PVA	พลาสติกไซเซออร์	0.556	0.155
	PVA	1.552	0.246
ตัวอย่างผสม PVA	พลาสติกไซเซออร์	1.728	0.259
	PVA	2.941	0.361

6 การทดลองหาอุณหภูมิที่เหมาะสมที่ใช้ในการอบตัวอย่าง

จากการทดลองได้หาช่วงเวลาการอบที่เหมาะสมสำหรับตัวอย่างที่เป็นรูปคัมเบลล์ โดยทดลองใช้อุณหภูมิต่างๆ ในการอบตัวอย่าง ดังต่อไปนี้ 60,90,110,130,150 °C

ตารางผนวกที่ 24 เวลาของการอบตัวอย่างด้วยอุณหภูมิ 60 °C

เวลา (นาที)	น้ำหนักตัวอย่าง (กรัม)			
	ตัวอย่างที่ 1	ตัวอย่างที่ 2	ตัวอย่างที่ 3	ค่าเฉลี่ย
0	12.445	12.412	12.395	12.417
30	10.571	10.442	10.456	10.490
60	8.558	8.493	8.454	8.502
90	7.445	7.345	7.263	7.351
120	6.571	6.422	6.247	6.413
150	5.221	5.198	5.111	5.177
180	4.674	4.525	4.512	4.570
210	4.045	4.178	4.153	4.125
240	3.902	3.945	3.912	3.920
270	3.871	3.842	3.794	3.836
300	3.845	3.810	3.784	3.813

ตารางผนวกที่ 25 เวลาของการอบตัวอย่างด้วยอุณหภูมิ 90 °C

เวลา (นาที)	น้ำหนักตัวอย่าง (กรัม)			
	ตัวอย่างที่ 1	ตัวอย่างที่ 2	ตัวอย่างที่ 3	ค่าเฉลี่ย
0	12.403	12.354	12.385	12.381
30	8.712	8.799	8.478	8.663
60	7.114	7.083	7.034	7.077
90	6.054	6.173	5.988	6.072
120	4.958	5.293	5.095	5.115
150	4.111	4.348	4.253	4.237
180	3.912	3.874	3.858	3.881
210	3.878	3.815	3.835	3.843
240	3.847	3.800	3.817	3.821

ตารางผนวกที่ 26 เวลาของการอบตัวอย่างด้วยอุณหภูมิ 110 °C

เวลา (นาที)	น้ำหนักตัวอย่าง (กรัม)			
	ตัวอย่างที่ 1	ตัวอย่างที่ 2	ตัวอย่างที่ 3	ค่าเฉลี่ย
0	12.573	12.445	12.397	12.472
30	8.654	8.553	8.742	8.650
60	7.152	7.243	7.054	7.150
90	5.353	5.473	5.398	5.408
120	4.437	4.412	4.513	4.454
150	3.841	3.895	3.947	3.894
180	3.824	3.845	3.824	3.831

ตารางผนวกที่ 27 เวลาของการอบตัวอย่างด้วยอุณหภูมิ 130 °C

เวลา (นาที)	น้ำหนักตัวอย่าง (กรัม)			
	ตัวอย่างที่ 1	ตัวอย่างที่ 2	ตัวอย่างที่ 3	ค่าเฉลี่ย
0	12.335	12.403	12.373	12.370
30	7.479	7.386	7.396	7.420
60	5.326	5.362	5.329	5.339
90	4.203	4.363	4.205	4.257
120	3.841	3.886	3.852	3.860
150	3.815	3.854	3.829	3.833

ตารางผนวกที่ 28 เวลาของการอบตัวอย่างด้วยอุณหภูมิ 150 °C

เวลา (นาที)	น้ำหนักตัวอย่าง (กรัม)			
	ตัวอย่างที่ 1	ตัวอย่างที่ 2	ตัวอย่างที่ 3	ค่าเฉลี่ย
0	12.235	12.495	12.351	12.360
30	5.430	5.348	5.281	5.353
60	3.854	3.805	3.871	3.843
90	3.845	3.799	3.865	3.836

7 การทดลองการยืดอายุผลไม้ประเภท มังคุด

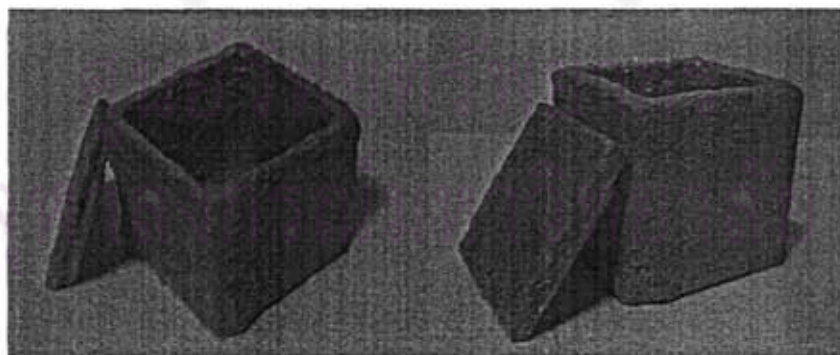
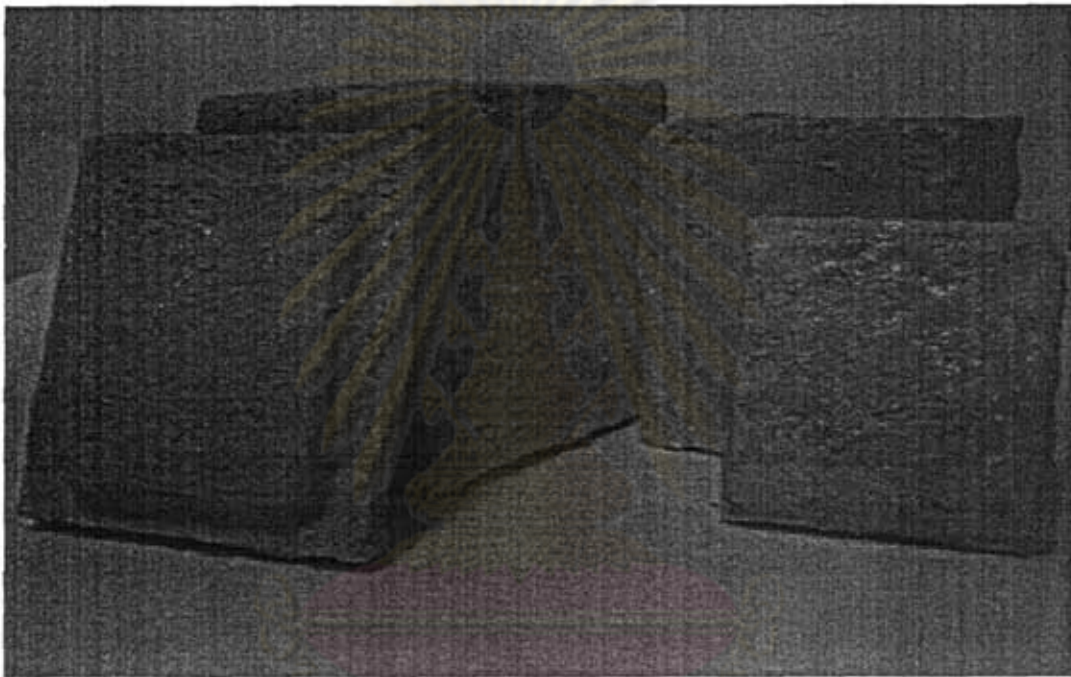
ตารางผนวกที่ 29 น้ำหนักของมังคุดก่อนและหลังการทดลองการยืดอายุผลไม้

ตัวอย่าง	น้ำหนักก่อนการทดลอง (กรัม)	น้ำหนักหลังการทดลอง (กรัม)
บรรจุในบรรจุภัณฑ์ชานอ้อย	68.455	64.232
บรรจุในพลาสติกมีสารดูดซับ	68.237	64.124
บรรจุในพลาสติกไม่มีสารดูดซับ	68.954	64.347
ปกติ	68.425	51.692
ในสภาพแวดล้อมอุณหภูมิต่ำ	68.564	55.469

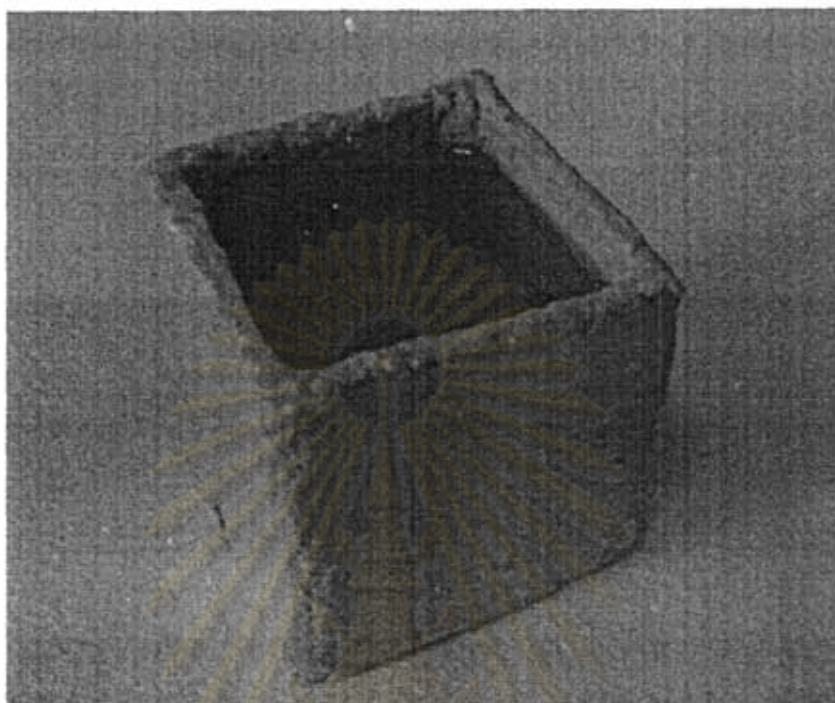
ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ภาคผนวก ข

รูปบรรจุภัณฑ์จากชานอ้อย



ภาพผนวกที่ ข1 บรรจุภัณฑ์จากชานอ้อย



ภาพผนวกที่ ข2 บรรจุภัณฑ์จากชานอ้อยด้านทานน้ำได้ถึง 3 ชั่วโมง 24 นาที

ศูนย์วิจัยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย