



วิทยานิพนธ์

การพัฒนาฟิล์มบริโภคได้จากกล้วยน้ำว้า

Development of Edible Film from
“Kluai Nam Wa” *Musa* (ABB group)

นางสาวอันนิสา จาราแวน

บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

พ.ศ. 2550



ใบรับรองวิทยานิพนธ์

บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

วิทยาศาสตร์มหาบัณฑิต (เทคโนโลยีการบรรจุ)

ปริญญา

เทคโนโลยีการบรรจุ

เทคโนโลยีการบรรจุ

สาขา

ภาควิชา

เรื่อง การพัฒนาฟิล์มบริโภคได้จากกล้วย

Development of Edible Film from “Kluai Nam Wa” *Musa* (ABB group)

นามผู้วิจัย นางสาวอันนิสา จาราวะ

ได้พิจารณาเห็นชอบโดย

ประธานกรรมการ

(รองศาสตราจารย์กัมทิพย์ กูว์โรดม, Ph. D.)

กรรมการ

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์วาณี ชนเห็นชอบ, Ph. D.)

กรรมการ

(รองศาสตราจารย์สายสนม ประดิษฐ์ดวง, วท.ม.)

หัวหน้าภาควิชา

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์วาณี ชนเห็นชอบ, Ph. D.)

บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์รับรองแล้ว

(รองศาสตราจารย์วินัย อ่างคงหาญ, M.A.)

คณบดีบัณฑิตวิทยาลัย

วันที่ 18 เดือน พค. พ.ศ. 2550

วิทยานิพนธ์

เรื่อง

การพัฒนาฟิล์มบริโภคได้จากกล้วยน้ำว้า

Development of Edible Film from “Kluai Nam Wa” *Musa* (ABB group)

โดย

นางสาวอรรณิสา จาราแวง

เสนอ

บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

เพื่อความสมบูรณ์แห่งปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต (เทคโนโลยีการบรรจุ)

พ.ศ. 2550

อันนิสา จาราแวน 2550: การพัฒนาฟิล์มบรีโกลด์ได้จากกล้วยน้ำว้า ปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต
(เทคโนโลยีการบรรจุ) สาขาเทคโนโลยีการบรรจุ ภาควิชาเทคโนโลยีการบรรจุ ภาควิชาเทคโนโลยีการบรรจุ ภาควิชาเทคโนโลยีการบรรจุ ภาควิชาเทคโนโลยีการบรรจุ ภาควิชาเทคโนโลยีการบรรจุ
ปริกษา: รองศาสตราจารย์ งามทิพย์ ภู่วโรดม, Ph.D. 122 หน้า

กล้วยน้ำว้าเป็นพืชที่มีการปลูกมากในประเทศไทย นิยมบรีโกลด์ทั้งผลสดและผลิตภัณฑ์แปรรูปชนิด
ต่างๆ เศษเหลือทิ้งที่ไม่สามารถบรีโกลด์ได้ของกล้วยน้ำว้า ส่วนใหญ่เป็นกล้วยอมที่เหลือจากการบรีโกลด์ผลสด
และมีกล้วยดิบผลไม่สมบูรณ์ เรียกกล้วยตื้นเต้า บางส่วน ซึ่งมีการนำไปใช้ประโยชน์น้อย งานวิจัยนี้จึงมี
วัตถุประสงค์นำเศษเหลือทิ้งของกล้วยน้ำว้ามาพัฒนาให้เป็นฟิล์มบรีโกลด์ เพื่อลดการใช้ฟิล์มพลาสติก และช่วย
ลดปัญหาสิ่งแวดล้อม ผลการวิจัยพบว่า ค่าความเป็นกรด-เบส ของกล้วย เป็นดัชนีที่ใช้บ่งบอกระดับการสุกของ
กล้วยน้ำว้าทั้ง 4 ระดับ ได้อย่างชัดเจน และเหมาะสมในทางปฏิบัติมากที่สุด ค่าความเป็นกรด-เบส ของกล้วยน้ำว้า
ระดับการสุกที่ 1-4 มีค่า 6.33, 4.58, 4.40 และ 3.85 ตามลำดับ การขึ้นรูปฟิล์มจากกล้วยน้ำว้าระดับการสุกที่ 1 หรือ
กล้วยดิบ ต้องแปรรูปเป็นแป้งก่อน ซึ่งมีผลได้ (yield) ร้อยละ 33.33 (ต่อน้ำหนักกล้วยทั้งหวี) หรือ ร้อยละ 50.84
(ต่อน้ำหนักเนื้อกล้วย) พบว่าส่วนผสมแป้งกล้วย ความเข้มข้นร้อยละ 8 มีความเหมาะสมในการขึ้นรูปฟิล์ม และ
พลาสติกไซเซอร์ที่เหมาะสมในการปรับปรุงสมบัติของฟิล์มคือ ซอร์บิทอลร้อยละ 80 และกลีเซอรอลร้อยละ 60
ฟิล์มที่ได้มีความหนา 0.239, 0.267 มม. ความต้านทานแรงดึงขาด 0.223, 0.349 กก./ตร.ม. การยืดตัวร้อยละ
22.12, 35.45 ความชื้นร้อยละ 9.78, 8.92 และ ค่าวอเตอร์แอกทิวิตี 0.418, 0.516 ตามลำดับ สำหรับกล้วยระดับการ
สุกที่ 2, 3 และ 4 หรือกล้วยห่าม สุก และงอม สามารถขึ้นรูปได้เมื่อทำเป็นพิวรีที่มีความเข้มข้นร้อยละ 40 อย่างไร
ก็ตามการใช้พิวรีกล้วยระดับการสุกที่ 4 หรือกล้วยอมต้องแต่งเติมสารช่วยปรับปรุงการขึ้นรูปและสมบัติของ
ฟิล์ม ได้แก่ แป้งกล้วย เพกติน คาร์ราจีแนน และแป้งบุก พบว่าส่วนผสมที่เติมแป้งกล้วย สูตร F3 และส่วนผสม
เติมเพกตินร้อยละ 4 สูตร P4 เหมาะสมในการขึ้นรูปเป็นฟิล์ม ฟิล์มที่ได้มีความหนา 0.382, 0.339 มม. ความ
ต้านทานแรงดึงขาด 0.108, 0.106 กก./ตร.ม. การยืดตัวร้อยละ 20.82, 22.88 ความชื้นร้อยละ 10.82, 14.52 และ ค่า
วอเตอร์แอกทิวิตี 0.516, 0.514 ตามลำดับ ในขณะที่ส่วนผสมที่เติมคาร์ราจีแนนร้อยละ 2 สูตร Ca2 และแป้งบุก
ร้อยละ 1 สูตร K10 ฟิล์มที่ได้มีความหนา 0.237, 0.328 มม. ความต้านทานแรงดึงขาด 0.047, 0.059 กก./ตร.ม.
การยืดตัวร้อยละ 16.59, 15.53 ความชื้นร้อยละ 14.82, 11.68 และ ค่าวอเตอร์แอกทิวิตี 0.550, 0.478 ตามลำดับ
เหมาะสมสำหรับใช้เป็นสารเคลือบ เนื่องจากแข็งตัวเร็ว เมื่อนำส่วนผสมบางสูตรไปประยุกต์เคลือบไข่เค็มต้มสุก
เพื่อป้องกันการเสื่อมเสียจากจุลินทรีย์ ผลการตรวจวิเคราะห์พื้นผิวฟิล์มที่เคลือบไข่เค็มด้วยกล้องจุลทรรศน์
สำหรับตรวจสอบงานด้านโลหะวิทยาและวัสดุศาสตร์กำลัง 500 เท่า ไม่พบรูพรุน แสดงว่าส่วนผสมจากพิวรี
กล้วยสามารถเคลือบปิดรูพรุนบนเปลือกไข่ได้ดี ผลการวิจัยนี้แสดงให้เห็นว่าแป้งกล้วยและพิวรีกล้วยสูตรต่างๆ
มีแนวโน้มนำไปพัฒนาใช้เป็นฟิล์ม หรือสารเคลือบ เพื่อยืดอายุการเก็บของผลิตภัณฑ์อาหาร

อันนิสา จาราแวน

ลายมือชื่อนิติ



ลายมือชื่อประธานกรรมการ

1 พ.ค. 2550

Annisa Charawae 2007: Development of Edible Film from “Kluai Nam Wa” *Musa* (ABB group). Master of Science (Packaging Technology), Major Field: Packaging Technology, Department of Packaging Technology. Thesis Advisor: Associate Professor Ngamtip Poovarodom, Ph.D. 122 pages.

“Kluai Nam Wa” *Musa* (ABB group) is widely planted in Thailand for local consumption both fresh form and processed products. The wastes, still have not yet been utilized properly, are one part the over rippled fruits resulted from over supply for direct consumption and the other part, the off-grade unripe fruits. This research was aimed to develop edible films from these wastes to reduce plastic uses and to conserve the environment, in consequent. It was found that pH of banana can indicate clearly the ripening stages and easy to measure. The pH values of the ripening stage 1 to 4 showed 6.33, 4.58, 4.40 and 3.85 respectively. To make film from banana of ripening stage 1, it was necessary to prepare banana flour. The yield of this process was 33.33% (by weight of hand banana) or 50.84% (by weight of banana flesh). The result showed that 8% (w/w) of banana starch was suitable to form film. Sorbital 80% and Glycerol 60% were used as plasticizers to improve the film properties. The properties of sorbital and glycerol plasticized films were reported in order as follows: thickness 0.239, 0.267 mm; tensile strength 0.223, 0.349 kg/m²; elongation 22.12, 35.45%; moisture content 9.78, 8.92% and a_w 0.418, 0.516 respectively. The ripening stages 2, 3 and 4 refer to nearly-ripe, ripe and over-ripe respectively. These bananas had to be transformed to puree and it was shown that the puree of 40% (w/w) could form films. However, the puree of the ripening stage 4 needed some additives to improving the film properties, such as banana flour, pectin, carrageenan and konjac flour. It was found that the mixtures containing banana starch (F3) and pectin 4% (Pt4) were suitable to form film. The properties resulted from mixture F3 and Pt4 were as follows: thickness 0.382, 0.339 mm; tensile strength 0.108, 0.106 kg/m²; elongation 20.82, 22.88%; moisture content 10.82, 14.52% and a_w 0.516, 0.514 respectively. While the mixtures containing 2% carrageenan (Ca2) and 1% konjac flour (K10) were suitable for coating due to their fast setting. These films had thickness of 0.237, 0.328 mm. tensile strength 0.047, 0.059 kg/m²; elongation 16.59, 15.53% moisture content 14.82, 11.68% and a_w 0.550, 0.478 respectively. Some mixtures were used as surface coating on salted boiled eggs to prevent microbial spoilage. The coating films were examined by using inverted system metallurgical microscope (50X) and it was not found any holes in the films. It could presume that the porous of egg shell could be covered by coating with banana puree mixture. This research has revealed banana flour and puree can be used as edible film or coatings to extend shelf life of food products.

Annisa Charawae

Student's signature

Ngamtip P.

Thesis Advisor's signature

14 105 2007

กิตติกรรมประกาศ

ข้าพเจ้าขอกราบขอบพระคุณ รองศาสตราจารย์ ดร. งามทิพย์ ภู่วโรดม ประธานกรรมการที่
ปรึกษา ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. วาณี ชนเห็นชอบ กรรมการสาขาวิชาเอก รองศาสตราจารย์
สายสนม ประดิษฐดวง กรรมการสาขาวิชารอง ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. วลัยรัตน์ จันทรปานนท์
ผู้แทนบัณฑิตวิทยาลัย ที่กรุณาให้คำปรึกษา แนะนำ และแก้ไขวิทยานิพนธ์ฉบับนี้จนเสร็จสมบูรณ์

ขอขอบคุณบัณฑิตวิทยาลัยที่กรุณาให้ทุนอุดหนุนวิทยานิพนธ์ ขอขอบคุณ KU-GREEN
ที่ให้ความอนุเคราะห์เครื่องมือชนิดต่างๆ ใช้ทดสอบสมบัติฟิล์ม ขอขอบคุณภาควิชาเทคโนโลยีการ
บรรจุ ภาควิชาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีการอาหาร ที่อนุญาตให้ใช้อุปกรณ์และเครื่องมือทดสอบ
ทางวิทยาศาสตร์ที่เกี่ยวข้องในงานวิจัยฉบับนี้ ขอขอบคุณเจ้าหน้าที่ของศูนย์เครื่องมือวิทยาศาสตร์
กลาง มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ วิทยาเขตบางเขน ที่ให้คำแนะนำในการใช้เครื่องมือทดสอบสมบัติ
ฟิล์ม

สุดท้ายนี้ ขอกราบขอบพระคุณ คุณพ่อ คุณแม่ และพี่ๆ ที่คอยให้กำลังใจในการศึกษา
ตลอดจนขอขอบคุณ เพื่อนๆ และน้องๆ ที่ให้กำลังใจ และให้ความช่วยเหลือในทุกๆ ด้าน

อรรณิสา จาราแวง
กุมภาพันธ์ 2550

สารบัญ

	หน้า
สารบัญ	(1)
สารบัญตาราง	(2)
สารบัญภาพ	(5)
คำนำ	1
วัตถุประสงค์	3
ขอบเขตงานวิจัย	3
การตรวจเอกสาร	4
อุปกรณ์และวิธีการ	36
อุปกรณ์	36
วิธีการ	38
ผลและวิจารณ์	46
สรุป	85
ข้อเสนอแนะ	86
เอกสารและสิ่งอ้างอิง	87
ภาคผนวก	93
ภาคผนวก ก วิธีการวิเคราะห์	94
ภาคผนวก ข การวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติ	115
ประวัติการศึกษา และการทำงาน	122

สารบัญตาราง

ตารางที่		หน้า
1	ปริมาณผลผลิตกล้วยน้ำว้าในภูมิภาคต่างๆ ที่มีอัตราการเติบโตเพิ่มขึ้นในช่วงปี 2539-2543	8
2	ปริมาณผลผลิตกล้วยน้ำว้าในภูมิภาคต่างๆ ที่มีอัตราการเติบโตเพิ่มขึ้น ในช่วงปี 2543-2547	9
3	ระยะการสุกของกล้วยกลุ่มย่อยคาเวนดิช (AAA Group) ตามดัชนีสีเปลือก	12
4	การเปลี่ยนแปลงทางกายภาพและทางเคมีของกล้วยกลุ่มย่อยคาเวนดิชในระหว่างการสุก	13
5	ปริมาณแป้งและน้ำตาลของกล้วยหอมพันธุ์คาเวนดิชและหอมทองที่ระยะการสุกต่างๆ	15
6	สารระเหยสำคัญในกล้วย	16
7	การเปรียบเทียบสมบัติของคาร์ราจีแนนแต่ละชนิด	29
8	การเปรียบเทียบสมบัติของแคปปาและไอ โอตาคาร์ราจีแนน ในระบบการเกิดเจล	30
9	ลักษณะปรากฏของกล้วยน้ำว้าที่ระดับการสุกต่างๆ	46
10	ค่าสีเปลือกกล้วยน้ำว้าที่ระดับการสุก 4 ระดับ	48
11	ค่าเฉลี่ยความแน่นเนื้อของกล้วยน้ำว้าที่ระดับการสุก 4 ระดับ	49
12	การเปลี่ยนแปลงทางเคมีของกล้วยน้ำว้าที่ระดับการสุกทั้ง 4 ระดับ	51
13	ความหนืดของส่วนผสมแป้งกล้วยน้ำว้าและลักษณะของฟิล์ม	57
14	สมบัติของฟิล์มแป้งกล้วยน้ำว้าที่เติมกลีเซอรอลและซอร์บิทอลปริมาณต่างๆ	58
15	ความหนืดของส่วนผสมแป้งกล้วยความเข้มข้นร้อยละ 8 ที่เติมกลีเซอรอลและซอร์บิทอล ในปริมาณที่ทำให้ขึ้นรูปเป็นฟิล์มได้	59
16	ความสามารถในการขึ้นรูปและความหนืดของพิวริกกล้วยน้ำว้าระดับการสุก 2, 3 และ 4 ที่ความเข้มข้นต่างๆ	61
17	ลักษณะปรากฏของฟิล์มพิวริกกล้วยน้ำว้าที่ความสุก 3 ระดับ	62
18	องค์ประกอบของส่วนผสมพิวริกกล้วยน้ำว้าระดับความสุกที่ 4 ความเข้มข้นร้อยละ 40 ปรับปรุงสูตรและลักษณะฟิล์มที่ได้แตกต่างกัน	64

สารบัญตาราง (ต่อ)

ตารางที่		หน้า
19	สมบัติเบื้องต้นของฟิล์มจากกล้วยน้ำว้าที่มีส่วนผสมแตกต่างกัน	69
20	สมบัติทางการบรรจุของฟิล์มจากกล้วยน้ำว้าที่มีสมบัติเหมาะสมในการใช้งาน	74
21	ลักษณะปรากฏของฟิล์มหลังจากการเคลือบผิวไขเค็ม	77
ตารางผนวกที่		
ข1	การวิเคราะห์ทางสถิติค่าสีเปลือก (L*) กล้วยน้ำว้าที่ระดับการสุก 4 ระดับ	115
ข2	การวิเคราะห์ทางสถิติค่าสีเปลือก (a*) กล้วยน้ำว้าที่ระดับการสุก 4 ระดับ	115
ข3	การวิเคราะห์ทางสถิติค่าสีเปลือก (b*) กล้วยน้ำว้าที่ระดับการสุก 4 ระดับ	116
ข4	การวิเคราะห์ทางสถิติค่าเฉลี่ยความแน่นเนื้อของกล้วยน้ำว้าที่ระดับการสุก 4 ระดับ	116
ข5	การวิเคราะห์ทางสถิติ ค่าความเป็นกรด-เบสของกล้วยน้ำว้าที่ระดับการสุก 4 ระดับ	116
ข6	การวิเคราะห์ทางสถิติ ปริมาณของแข็งทั้งหมดที่ละลายได้ของกล้วยน้ำว้าที่ระดับการสุก 4 ระดับ	117
ข7	การวิเคราะห์ทางสถิติปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์ และน้ำตาลรวมของกล้วยน้ำว้าที่ระดับการสุก 4 ระดับ	117
ข8	การวิเคราะห์ทางสถิติ ปริมาณเพกตินของกล้วยน้ำว้าที่ระดับการสุก 4 ระดับ	117
ข9	การวิเคราะห์ทางสถิติ ปริมาณกรดของกล้วยน้ำว้าที่ระดับการสุก 4 ระดับ	118
ข10	การวิเคราะห์ทางสถิติ ความหนืดของส่วนผสมแป้งกล้วยความเข้มข้นร้อยละ 8 ที่เติมกลีเซอรอลและซอร์บิทอล ในปริมาณที่ทำให้ขึ้นรูปเป็นฟิล์มได้	118
ข11	การวิเคราะห์ทางสถิติ ความสามารถในการขึ้นรูปและความหนืดของพิวรีกล้วยน้ำว้าระดับการสุก 2, 3 และ 4 ที่ความเข้มข้นต่างๆ	119
ข 12	การวิเคราะห์ทางสถิติ สมบัติเบื้องต้น(ความหนา)ของฟิล์มจากกล้วยน้ำว้าที่มีส่วนแตกต่างกัน	119

สารบัญตาราง (ต่อ)

ตารางผนวกที่		หน้า
ข13	การวิเคราะห์ทางสถิติ สมบัติเบื้องต้น(Aw) ของฟิล์มจากกล้วยน้ำว้าที่มีส่วนผสมแตกต่างกัน	120
ข14	การวิเคราะห์ทางสถิติ สมบัติเบื้องต้น (ความต้านทานแรงดึงขาด) ของฟิล์มจากกล้วยน้ำว้าที่มีส่วนผสมแตกต่างกัน	120
ข15	การวิเคราะห์ทางสถิติ สมบัติเบื้องต้น (การยืดตัว) ของฟิล์มจากกล้วยน้ำว้าที่มีส่วนผสมแตกต่างกัน	120
ข16	การวิเคราะห์ทางสถิติ สมบัติเบื้องต้น (อัตราการซึมผ่านของไอน้ำ) ของฟิล์มจากกล้วยน้ำว้าที่มีส่วนผสมแตกต่างกัน	121
ข17	การวิเคราะห์ทางสถิติ สมบัติเบื้องต้น (อัตราการซึมผ่านของออกซิเจน) ของฟิล์มจากกล้วยน้ำว้าที่มีส่วนผสมแตกต่างกัน	121
ข18	การวิเคราะห์ทางสถิติ สมบัติเบื้องต้น (การต้านทานไขมัน) ของฟิล์มจากกล้วยน้ำว้าที่มีส่วนผสมแตกต่างกัน	121

สารบัญภาพ

ภาพที่		หน้า
1	การเปลี่ยนแปลงปริมาณแป้ง น้ำตาลและกรดในกล้วยที่ระดับความสุกต่างๆ	14
2	โครงสร้างของเพกติน	21
3	โครงสร้างของคาราจีแนนชนิดต่างๆ	26
4	ตำแหน่งที่กักตัวค่าความแน่นเนื้อบนหน้าตัดตามแนวอนของผลกล้วยน้ำว้า	39
5	กล้วยน้ำว้าที่ระดับการสุก 4 ระดับ	47
6	การเปลี่ยนแปลงปริมาณแป้ง น้ำตาลรวม และกรด ในกล้วยน้ำว้า	50
7	ลักษณะแป้งจากกล้วยน้ำว้าระดับการสุกที่ 1 เปรียบเทียบกับแป้งมัน	54
8	ลักษณะของเม็ดสตาร์ชชนิดต่างๆ	55
9	เทอร์โมแกรมของสตาร์ชกล้วยน้ำว้าที่ได้จากเครื่อง DSC	56
10	ฟิล์มเตรียมจากส่วนผสมแป้งกล้วยความเข้มข้นร้อยละ 8	57
11	ฟิล์มเตรียมจากส่วนผสมแป้งกล้วยเติมกลีเซอรอลร้อยละ 60	59
12	ฟิล์มเตรียมจากส่วนผสมแป้งกล้วยเติมซอร์บิทอลร้อยละ 80	60
13	ฟิล์มเตรียมจากพิวริกกล้วยระดับการสุกที่ 2 ความเข้มข้นร้อยละ 40	62
14	ฟิล์มเตรียมจากพิวริกกล้วยระดับการสุกที่ 3 ความเข้มข้นร้อยละ 40	64
15	ฟิล์มเตรียมจากสูตร F3	67
16	ฟิล์มเตรียมจากสูตร P2F	67
17	ฟิล์มเตรียมจากสูตร Pt4	67
18	ฟิล์มเตรียมจากสูตร Ca2	68
19	ฟิล์มเตรียมจากสูตร K10	68
20	การดูดซับความชื้นของฟิล์มเตรียมจากสูตร FGly60 F3 Pt4 ที่อุณหภูมิ 30 °ซ	75
21	ตัวอย่างลักษณะฟิล์มที่เตรียมได้จากสูตรต่างๆ เคลือบบนไข่เค็ม	76
22	ผิวฟิล์มเตรียมจากสูตร FGly60 ถ่ายด้วยกล้องจุลทรรศน์สามมิติกำลังขยาย 50 เท่า	79
23	ผิวฟิล์มเตรียมจากสูตร F3 ถ่ายด้วยกล้องจุลทรรศน์สามมิติ กำลังขยาย 50 เท่า	79
24	ผิวฟิล์มเตรียมจากสูตร Pt4 ถ่ายด้วยกล้องจุลทรรศน์สามมิติกำลังขยาย 50 เท่า	79
25	ผิวฟิล์มเตรียมจากสูตร Ca2 ถ่ายด้วยกล้องจุลทรรศน์สามมิติกำลังขยาย 50 เท่า	80

สารบัญภาพ (ต่อ)

ภาพที่		หน้า
26	ผิวฟิล์มเตรียมจากสูตร K10 ถ่ายด้วยกล้องจุลทรรศน์สามมิติกำลังขยาย 50 เท่า	80
27	ผิวเปลือกไข่เค็มก่อนการเคลือบฟิล์มจากกล้วยน้ำว้า ถ่ายด้วยกล้องจุลทรรศน์สำหรับตรวจสอบงานด้านโลหะวิทยา และ วัสดุศาสตร์กำลังขยาย 50 เท่า	80
28	ผิวฟิล์มที่เตรียมจากแป้งกล้วยน้ำว้าร้อยละ 8 ผสมกลีเซอรอลร้อยละ 60 ถ่ายด้วยกล้องจุลทรรศน์สำหรับตรวจสอบงานด้านโลหะวิทยา และ วัสดุศาสตร์กำลังขยาย 100 200 และ 500 เท่า	81
29	ผิวฟิล์มที่เตรียมจากสูตร F3 ถ่ายด้วยกล้องจุลทรรศน์สำหรับตรวจสอบงานด้านโลหะวิทยา และ วัสดุศาสตร์ กำลังขยาย 100 200 และ 500 เท่า	82
30	ผิวฟิล์มที่เตรียมจากสูตร P14 ถ่ายด้วยกล้องจุลทรรศน์สำหรับตรวจสอบงานด้านโลหะวิทยา และ วัสดุศาสตร์กำลังขยาย 100 200 และ 500 เท่า	82
31	ผิวฟิล์มที่เตรียมจากสูตร Ca2 ถ่ายด้วยกล้องจุลทรรศน์สำหรับตรวจสอบงานด้านโลหะวิทยา และ วัสดุศาสตร์กำลังขยาย 100 200 และ 500 เท่า	83

การพัฒนาฟิล์มบริโภคได้จากกล้วยน้ำว้า

Development of Edible Film from “Kluai Nam Wa” *Musa* (ABB group)

คำนำ

ทุกวันนี้ผู้บริโภคให้ความสำคัญกับสุขภาพกันมากขึ้น โดยเฉพาะในเรื่องของอาหาร ซึ่งผู้บริโภคต้องการอาหารที่มีคุณภาพ และปลอดภัย ทำให้ภาชนะบรรจุเข้ามามีบทบาทมากขึ้น โดยผู้ผลิตส่วนใหญ่เน้นการผลิตอาหารที่มีคุณภาพและมีอายุการเก็บที่มากขึ้น เพื่อเพิ่มการขยายตลาด เนื่องจากต้องส่งสินค้าไปยังที่ต่างๆ เป็นระยะทางไกล ทำให้บางครั้งผู้ผลิตมีการใช้วัตถุกันเสียแต่งเติมในอาหาร วัตถุกันเสียส่วนใหญ่เป็นสารเคมีสังเคราะห์ ทำให้ผู้บริโภคยอมรับอาหารแต่งเติม วัตถุกันเสียน้อยลง จึงทำให้เกิดแนวความคิดเกี่ยวกับการใช้วัตถุกันเสียเข้ามาใส่ในฟิล์มบริโภคได้ แทนที่จะใส่ลงในอาหาร เพื่อช่วยยืดอายุการเก็บรักษาและลดปริมาณวัตถุกันเสียในอาหาร อาจมีแนวทางในการใช้ได้หลายอย่างเช่น ช่วยในการป้องกันจุลินทรีย์ โดยมีการเติมสารต้านจุลินทรีย์ (Antimicrobial agent) ลงไปในฟิล์มบริโภคได้เพื่อให้ฟิล์มเป็นตัวนำพาสาร (Carrier) เหล่านี้ให้เกิดการยับยั้งการเจริญเติบโตของจุลินทรีย์ หรืออาจใช้วัตถุกันเสียประเภทสารกันหืน (Antioxidant) ใส่เข้าไปในฟิล์มเพื่อป้องกันการหืนของอาหาร นอกจากการป้องกันการเสื่อมเสียแล้วยังสามารถเติมสารอาหารที่มีคุณค่าทางโภชนาการ สารให้รสชาติ หรือ รงควัตถุผสมในการเตรียมฟิล์มด้วย ทำให้ฟิล์มมีสมบัติที่ดีขึ้นมีคุณค่ามากกว่าการใช้เพื่อปกป้องอาหารเท่านั้น อีกทั้งการนำฟิล์มบริโภคได้มาใช้เป็นภาชนะบรรจุปฐมภูมิ (Primary packaging) สามารถช่วยลดการใช้พลาสติกและเป็นมิตรกับสิ่งแวดล้อมมากขึ้น

ฟิล์มบริโภคได้เริ่มมีบทบาทสำคัญมากขึ้น จนเกิดการคิดค้นฟิล์มบริโภคได้จากหลายแหล่ง ทำให้มีการพัฒนากรรมวิธีการผลิตฟิล์มมากขึ้น โดยใช้แหล่งวัตถุดิบตามธรรมชาติที่สำคัญคือ พืช และสัตว์ ซึ่งแหล่งวัตถุดิบต่างกันนี้ ทำให้สมบัติฟิล์มที่ได้ อาจเหมือน หรือต่างกัน เช่น สมบัติการละลายน้ำ การต้านแรงดึง และการยึดตัว เป็นต้น ฟิล์มบริโภคได้ที่มีการศึกษาแล้วได้แก่ ฟิล์มที่ผลิตจากพอลิแซคคาไรด์ โปรตีน ไขมัน และจากเนื้อผลไม้ ในการศึกษานี้ได้เลือกฟิล์มจากเนื้อผลไม้ เนื่องจากใช้แหล่งวัตถุดิบจากพืช สามารถหาง่ายและวิธีการนำมาขึ้นรูปเป็นแผ่นฟิล์มไม่ซับซ้อน (Guilbert, 1986) ผลไม้เป็นวัตถุดิบที่มีผู้สนใจทำที่ไม่แพร่หลายมากนัก มีการศึกษาการขึ้นรูปฟิล์ม

จากพิริวรีของแอปเปิ้ล (McHugh and Senesi, 2000) จึงเกิดแนวความคิดที่จะประยุกต์ใช้กับผลไม้ในประเทศไทย

ประเทศไทยเป็นประเทศเกษตรกรรมมีผลิตผลมากมาย กล้วยจัดเป็นพืชที่มีการปลูกและนำรายได้เข้าประเทศเป็นจำนวนมาก ถือว่าเป็นพืชเศรษฐกิจที่สำคัญ สามารถให้ผลผลิตออกสู่ตลาดตลอดปี นิยมปลูกกันมากแทบทุกภาคในประเทศไทย กล้วยน้ำว้าเป็นพันธุ์ที่ปลูกมากที่สุดภายในประเทศและมีแนวโน้มการปลูกมากขึ้น แต่มีการส่งออกต่ำกว่ากล้วยหอมและกล้วยไข่ เนื่องจากยังไม่เป็นที่นิยมกันอย่างแพร่หลาย (กรมส่งเสริมการเกษตร, 2547) จึงควรมีการพัฒนาให้มีมูลค่าสูงขึ้น กล้วยน้ำว้าเป็นพันธุ์ที่น่าสนใจเนื่องจากเป็นกล้วยที่มีคุณค่าทางอาหารสูงและสามารถใช้ได้ประโยชน์หลายอย่างตั้งแต่ผลดิบถึงผลสุก เช่น ทำแป้งกล้วย กล้วยฉาบ อาหารสำหรับเด็ก กล้วยตาก กล้วยกวน เป็นต้น (เบญจมาศ, 2534)

การจำหน่ายกล้วยน้ำว้าเพื่อบริโภคสด ต้องมีการคัดหัวส่วนบนที่มีขนาดเล็กออกก่อน กล้วยส่วนนี้เรียกว่า กล้วยตีนเต่า ซึ่งเป็นส่วนที่ไม่ต้องการ มีประมาณร้อยละ 5 ของกล้วยน้ำว้าหนึ่งเครือ อายุการเก็บของกล้วยน้ำว้ามีค่อนข้างสั้น เมื่อผลสุกงอมมากไม่สามารถจำหน่ายได้ เป็นเศษเหลือทิ้งที่ไม่ต้องการอีกส่วนหนึ่ง จึงเกิดแนวคิดในการนำกล้วยตีนเต่าและกล้วยที่สุกงอมมากนี้มาใช้ประโยชน์และสร้างมูลค่าเพิ่ม โดยขึ้นรูปเป็นแผ่นฟิล์มบริโภคได้ เนื่องจากในเนื้อกล้วยดิบมีองค์ประกอบที่เป็นคาร์โบไฮเดรตเป็นส่วนใหญ่ และมีเพกตินที่เป็นสารเพิ่มความข้นหนืด ทำให้สามารถขึ้นรูปเป็นฟิล์มได้ในลักษณะเดียวกับฟิล์มที่ได้พอลิแซ็กคาไรด์ทั่วไป ส่วนกล้วยสุกงอมสามารถเติมสารปรับปรุงสมบัติแทนที่คาร์โบไฮเดรตและเพกตินที่เปลี่ยนรูปไปจึงสามารถขึ้นรูปฟิล์มได้เช่นกัน

ฟิล์มจากกล้วยน้ำว้าสามารถประยุกต์ใช้เป็นภาชนะบรรจุชั้นปฐมภูมิของผลิตภัณฑ์ที่เกี่ยวข้องกับกล้วย เช่น กล้วยกวน กล้วยตาก กล้วยอบ เป็นต้น อีกทั้งเป็นการยืดอายุการเก็บให้มากขึ้นของผลิตภัณฑ์ เนื่องจากเพิ่มสารปรับปรุงสมบัติฟิล์มทางการบรรจุลงในส่วนประกอบของฟิล์มทำให้เพิ่มประสิทธิภาพในการป้องกันสาเหตุที่ทำให้เกิดการเสื่อมเสียจากภายนอก ฟิล์มกล้วยน้ำว้านี้อาจรับประทานได้พร้อมอาหาร ช่วยลดปัญหาหยาขยที่เกิดจากภาชนะบรรจุ อีกทั้งเป็นการเพิ่มมูลค่าและพัฒนาผลิตผลทางการเกษตรให้สูงขึ้น

วัตถุประสงค์ของการวิจัย

1. ศึกษาหาระดับความสุขของกล้วยน้ำว้าที่เหมาะสมสำหรับนำมาขึ้นรูปเป็นฟิล์มบริโกล
ได้
2. ศึกษาสภาวะที่เหมาะสมสำหรับการขึ้นรูปฟิล์มจากกล้วยน้ำว้า
3. ศึกษาสมบัติทางการบรรจุของฟิล์มจากกล้วยน้ำว้า
4. ศึกษาแนวทางการใช้ประโยชน์ของฟิล์มจากกล้วยน้ำว้าในทางการบรรจุ

ขอบเขตงานวิจัย

งานวิจัยนี้จะพัฒนาฟิล์มบริโกลได้จากกล้วยพันธุ์น้ำว้า (*Musa ABB group*) ซึ่งได้จากสวนเดียวกันใน อำเภอ ภาษีเจริญ แขวง บางด้วน จังหวัด กรุงเทพมหานคร

การตรวจเอกสาร

1. फिल्मบริโกล์ได้

ฟิล์ม หมายถึง วัสดุแผ่นบางมีความหนาน้อยกว่า 250 ไมโครเมตร (0.01 นิ้ว หรือ 10 มิล) ถ้าฟิล์มมีความหนาเท่ากับหรือมากกว่า 250 ไมโครเมตร เรียกว่า ชีต (Sheet) फिल्मบริโกล์ได้เป็นวัสดุที่ใช้นำมาห่อหุ้มอาหาร มีลักษณะเป็นแผ่นบาง ส่วนประกอบที่ใช้ในการผลิตยังคงสามารถรับประทานได้โดยไม่เป็นอันตราย ในปัจจุบันมีการพัฒนาฟิล์มบริโกล์ได้ให้มีสมบัติดีขึ้น เพื่อรักษาคุณภาพของอาหารให้มีอายุการเก็บรักษาให้ยาวนานขึ้น फिल्मบริโกล์ได้สามารถลดปัญหาหามลพิษทางด้านสิ่งแวดล้อม ย่อยสลายได้โดยไม่เหลือสารตกค้างในเวลาอันรวดเร็วต่างจากฟิล์มพอลิเมอร์สังเคราะห์ที่ใช้เวลาในการย่อยสลายนานมาก หน้าที่หลักของฟิล์มบริโกล์ได้คือ ช่วยชะลอการเสื่อมเสียของอาหาร อีกทั้งในฟิล์มบริโกล์ได้บางประเภทมีการเพิ่มคุณภาพทางประสาทสัมผัส เช่น การเพิ่มกลิ่นรสให้กับฟิล์ม โดยมีกลิ่นเหมือนหรือคล้ายกับอาหารที่บรรจุ ทำให้เกิดความเข้ากันได้ดีระหว่างอาหารและภาชนะบรรจุ (Compatibility) ฟิล์มที่บริโกล์ได้นี้นิยมใช้กับอาหาร โดยทำหน้าที่เป็นภาชนะบรรจุปฐมภูมิ และมีการสัมผัสกับอาหารโดยตรง (Kester and Fennema, 1986)

ฟิล์มบริโกล์ได้เป็นวัสดุที่ย่อยสลายได้ทางชีวภาพ ที่มีสมบัติทางกายภาพและเคมีที่ดีน้อยกว่าฟิล์มพลาสติกสังเคราะห์ ในด้านความแข็งแรง การป้องกันการซึมผ่านของก๊าซและไอน้ำ แต่มีข้อดีที่เหนือกว่าฟิล์มพลาสติกหลายประการ คือ ฟิล์มที่ทิ้งไปสามารถย่อยสลายทางชีวภาพได้ง่าย ช่วยลดปัญหาหามลพิษสิ่งแวดล้อม อีกทั้งใช้หุ้มอาหาร โดยมีการสัมผัสกับอาหารได้มากกว่า หรือใช้เป็นแผ่นกั้นระหว่างอาหาร ที่องค์ประกอบแตกต่างกัน เพื่อป้องกันการเสื่อมเสีย เนื่องจากมีการถ่ายเทความชื้นและไขมันในอาหารที่แตกต่างกัน เช่น พืชซ่า พาย เป็นต้น นอกจากนี้ยังนิยมใช้ฟิล์มบริโกล์ได้เป็นตัวนำพาสารป้องกันจุลินทรีย์ สารกันหืน และยังควบคุมอัตราการซึมผ่านของสารกันเสียจากฟิล์มเข้าสู่เนื้ออาหาร และสามารถใช้ร่วมกับฟิล์มพลาสติก โดยใช้ฟิล์มที่รับประทานได้สัมผัสกับอาหารโดยตรง

ฟิล์มบริโกลด์ที่ศึกษากันอย่างแพร่หลายในปัจจุบัน สามารถแบ่งออกได้ตามชนิดของสารประกอบ สมบัติ และการนำไปใช้งานได้ดังนี้

1.1 ฟิล์มและสารเคลือบชนิดพอลิแซคคาไรด์ (Polysaccharide film and coating)

พอลิแซคคาไรด์จัดเป็นสารพอลิเมอร์ไฮโดรฟิลิกที่มีน้ำตาลโมเลกุลเดี่ยวอยู่มากกว่า 10 หน่วยขึ้นไป ตัวอย่างของพอลิแซคคาไรด์ที่สามารถผลิตเป็นฟิล์มหรือสารเคลือบที่บริโกลด์ได้ เช่น แอลจินต เพกติน คาราจีแนน สตาร์ช สตาร์ทไฮโดรไลเซต ไคโตแซน และอนุพันธ์ของเซลลูโลส แต่เนื่องจากธรรมชาติของพอลิเมอร์เหล่านี้ชอบรวมตัวกับน้ำ (Hydrophilic) ทำให้ไม่เหมาะกับการใช้ป้องกันการซึมผ่านของความชื้น อย่างไรก็ตามพอลิแซคคาไรด์บางชนิดที่ใช้ผลิตเป็นฟิล์มหรือสารเคลือบรับประทานได้มีลักษณะเหมือนวุ้น (Gelatinous) และมีความชื้นสูง สามารถชะลอการสูญเสียความชื้นของอาหารบางอย่างได้ในช่วงระยะเวลาเก็บสั้นๆ เช่น ผลิตภัณฑ์เนื้อ โดยใช้สารเคลือบกับเจลลี่เพื่อทำหน้าที่เป็นตัวเก็บอาหาร (Sacrificing agent) มากกว่าเป็นตัวกลางขวางกั้นการซึมผ่านของความชื้น นอกจากนี้ฟิล์มพอลิแซคคาไรด์บางชนิด ยังช่วยป้องกันการเกิดปฏิกิริยาการเติมออกซิเจนในลิพิด (Lipid oxidation) และองค์ประกอบอื่นในอาหาร ที่เป็นสาเหตุให้อาหารเกิดการเหม็นหืน (Knight, 1969)

1.2 ฟิล์มและสารเคลือบชนิดโปรตีน (Protein film and coating)

โปรตีน เป็นสารประกอบอินทรีย์ที่มีขนาดของโมเลกุลใหญ่มีโครงสร้างค่อนข้างซับซ้อน ประกอบด้วยกรดอะมิโนทั้งชนิดจำเป็น (Essential amino acid) และ ไม่จำเป็น (Non-essential amino acid)

การศึกษาฟิล์มบริโกลด์จากโปรตีนยังมีน้อยมากเมื่อเทียบกับฟิล์มพอลิแซคคาไรด์ เนื่องจากฟิล์มที่ทำจากโปรตีนบางชนิดมีสมบัติในการขวางกั้นสารต่างๆ ได้ไม่ดีเท่ากับฟิล์มที่ทำจากพอลิแซคคาไรด์ ในปัจจุบันมีการศึกษาการปรับปรุงสมบัติด้านนี้ของฟิล์มที่ทำจากโปรตีน โดยใช้วิธีต่างๆ เช่น การทำให้เสถียรภาพของโปรตีน การเติมสารเชื่อมข้าม (Cross-linking or tanning agents) ได้แก่ กรดแทนนิก (Tannic acid), ไอออน (Divalent cations) หรือ การใช้ความร้อน เป็นต้น ทั้งนี้ฟิล์มโปรตีนยังมีมากมายทั้งชนิดที่ละลายน้ำได้และชนิดที่ละลายน้ำไม่ได้ ได้แก่ ฟิล์ม

โปรตีนจาก คอลลาเจน เจลาติน ข้าวโพด ข้าวสาลี ถั่วเหลือง เคซีน และ เวย์ (Gennadios *et al.*, 1994)

1.3 ฟิล์มและสารเคลือบชนิดไขมัน (Lipid film)

ไขมัน (Lipid) เป็นสารประกอบอินทรีย์ละลายได้ดีในอีเทอร์ (Ether) คลอโรฟอร์ม (Chloroform) และตัวทำละลายอินทรีย์แต่ไม่ละลายในน้ำ

การใช้ไขมันห่อหุ้มผลิตภัณฑ์อาหารมีมานานแล้ว เช่น การเคลือบช็อคโกแลต และผักผลไม้ สารประกอบลิปิดหลายชนิดรวมทั้ง อะเซททิลเลท โมโนกลีเซอไรด์ (Acetylate monoglyceride) ไชธรรมชาติ (Natural wax) และสารลดแรงตึงผิว (Surfactant) สามารถนำมาใช้เป็นสารเคลือบได้เนื่องจากเป็นสารมีขั้วต่ำ มีสมบัติในการป้องกันการถ่ายเทความชื้น

ในอดีตมีการศึกษาฟิล์มจากไขมันจำนวนมากแต่ฟิล์มไขมันที่ทำจากไข (Waxes) เป็นชนิดที่ได้รับความนิยมมากที่สุด โดยส่วนที่ไม่ชอบน้ำ (Hydrophobic) เป็นส่วนที่มีความสำคัญที่ใช้ป้องกันไอน้ำสำหรับฟิล์มไขมันและต่อมาได้มีการนำไขมันมาผสมกับพอลิแซคคาไรด์ เพื่อปรับปรุงสมบัติการซึมผ่านของไอน้ำ (Kester and Fennema, 1986)

1.4 ฟิล์มจากพิริผลไม้ม

ฟิล์มบริโกลด์ที่ทำมาจากพืชนั้นมีราคาถูก ขึ้นรูปได้ง่ายและมีโครงสร้างที่ไม่ซับซ้อน การใช้ พิริจากผลไม้ม่าขึ้นรูปฟิล์มมีขึ้น โดย McHugh *et al.* (1996) ได้มีการพัฒนาขึ้นแรกของฟิล์มบริโกลด์ที่ทำจากพิริผลไม้มที่มีสมบัติในการป้องกันการซึมผ่านของไอน้ำและก๊าซออกซิเจน ฟิล์มที่รับประทานได้ที่ทำนี้มาจากผลแอปเปิ้ล พบว่าสามารถป้องกันการซึมผ่านของก๊าซออกซิเจนได้ดี และสามารถป้องกันการซึมผ่านไอน้ำเฉพาะความชื้นสัมพัทธ์ต่ำถึงปานกลาง ดังนั้นจึงไม่สามารถป้องกันการซึมผ่านได้ดีมากนัก โดย McHuge and Senesi (2000) ได้ปรับปรุงสมบัติฟิล์มโดยเพิ่มไขมันเข้าไปในการผลิตฟิล์ม เพื่อปรับปรุงสมบัติการซึมผ่านของไอน้ำให้ดียิ่งขึ้น

2. กัญชา

2.1 ปริมาณการผลิตกัญชา

กัญชาเป็นพืชเมืองร้อน มีถิ่นกำเนิดในแถบเอเชียตะวันออกเฉียงใต้ โดยเฉพาะแถบแหลมมลายู คนไทยรู้จักและคุ้นเคยมานานแล้ว ปัจจุบันกัญชาเป็นพืชเศรษฐกิจที่สำคัญชนิดหนึ่งของประเทศ สามารถให้ผลผลิตออกสู่ตลาดตลอดปี นิยมปลูกกันมากแทบทุกภาครวมเนื้อที่ประมาณ 8 แสนไร่ กัญชาที่ปลูกในประเทศไทยมีหลายพันธุ์ทั้งกัญชาป่าและกัญชาปลูก จำแนกเป็น 59 สายพันธุ์ พันธุ์ที่นิยมปลูกและบริโภคกันอย่างแพร่หลายได้แก่ พันธุ์น้ำว่า หอมทอง และไข (เบญจมาศ และ นลองชัย, 2526)

กัญชาเป็นพืชที่มีการปลูกมากเพราะสามารถใช้ประโยชน์ได้ทุกส่วนของต้น ผลของกัญชาสามารถรับประทานเมื่อสุกและประกอบอาหารได้หลากหลายชนิด รวมทั้งผลิตภัณฑ์ที่สามารถส่งขายทั้งภายในประเทศและต่างประเทศได้หลายล้านตัน โดยมีการขยายการผลิตเพิ่มขึ้นในภูมิภาคต่างๆ พบว่ากัญชามีอัตราการเติบโตเพิ่มขึ้นทุกปี ในช่วงปี 2539-2543 (ตารางที่ 1) และในช่วงปี 2543-2547 (ตารางที่ 2) มีพื้นที่ปลูก และผลผลิตของกัญชาในประเทศไทย นอกจากจะนิยมบริโภคในประเทศแล้วยังเป็นสินค้าส่งออกแล้ว ยังมีการนำไปใช้ในอุตสาหกรรมแปรรูป (สุวรรณ และ สมพร, 2541) ในปัจจุบันถ้าหากมีการปรับปรุงคุณภาพให้ดีขึ้น และมีการเพิ่มปริมาณผลผลิตให้ตรงกับความต้องการของตลาด จะสามารถทำรายได้ให้ประเทศได้มากขึ้น (พิงพิศ, 2541)

ตารางที่ 1 ปริมาณผลผลิตกล้วยน้ำว้าในภูมิภาคต่างๆ ที่มีอัตราการเติบโตเพิ่มขึ้น ในช่วงปี 2539-2543

ภาค	พื้นที่ปลูกรวม (ไร่)					ผลผลิตรวม (ตัน)				
	2539	2540	2541	2542	2543	2539	2540	2541	2542	2543
เหนือ	151,189	150,197	148,569	170,948	192,450	233,414.03	274,411.35	198,474	294,550.62	395,943.40
ตะวันออกเฉียงเหนือ	289,031	300,809	299,757	290,484	299,195	526,559.42	538,117.63	462,515.49	495,856.88	577,586.33
กลาง	32,581	39,741	50,487	56,372	57,814	39,407.03	81,629.88	91,424.61	127,118.44	136,833.29
ตะวันออก	58,236	59,796	42,895	46,163	58,550	92,110.67	102,211.55	70,925.01	68,076.03	101,574.12
ตะวันตก	67,439	75,032	75,045	74,950	69,843	124,992.95	135,881.10	129,319.01	156,976.04	154,722.33
ใต้	167,278	170,416	162,453	126,741	142,753	286,379.16	302,840.83	279,844.27	224,874.23	235,758.47
รวม	765,754	805,991	779,206	765,658	820,605	1,302,863.26	1,435,092.34	1,229,502.58	1,367,452.24	1,602,417.94

ที่มา: กรมส่งเสริมการเกษตร (2547)

ตารางที่ 2 ปริมาณผลผลิตกล้วยน้ำว้าในภูมิภาคต่างๆ ที่มีอัตราการเติบโตเพิ่มขึ้น ในช่วงปี 2543-2547

ภาค	พื้นที่ปลูกรวม (ไร่)					ผลผลิตรวม (ตัน)				
	2543	2544	2545	2546	2547	2543	2544	2545	2546	2547
เหนือ	192,450	191,645	193,127	184,946	173,754	395,943.40	359,947.43	412,633.25	473,389.35	359,061.97
ตะวันออกเฉียงเหนือ	299,195	299,059	276,836	254,692	156,276	577,586.33	604,721.49	627,856.07	480,035.36	273,468.73
กลาง	57,814	54,783	54,783	56,575	47,064	136,833.29	126,191.24	135,258.15	133,649.94	84,709.00
ตะวันออก	58,595	63,864	78,041	65,059	66,305	101,626.62	118,274.82	122,925.53	171,976.75	136,815.62
ตะวันตก	72,025	67,000	58,279	64,426	57,133	161,627.58	154,001.47	140,804.17	176,081.55	132,231.56
ใต้	142,753	123,803	128,094	101,474	74,645	235,758.47	244,445.60	246,763.76	175,848.27	126,091.66
รวม	822,832	800,154	788,886	727,169	575,177	1,609,375.69	1,607,582.05	1,686,240.93	1,610,981.22	1,112,378.54

ที่มา: กรมส่งเสริมการเกษตร (2547)

2.2 ลักษณะทั่วไปของกล้วยน้ำว้า

ชื่อสามัญ	Pisang Awak
ชื่อพ้อง	กล้วยน้ำว้าเหลือง กล้วยใต้ หรือ กล้วยอ่อง
ชื่อวิทยาศาสตร์	<i>Musa</i> (ABB group) "Kluai Nam Wa"
แหล่งที่พบ	พบมากในทุกๆ ภาคของประเทศไทย
ลักษณะทั่วไป	<p>ต้น ลำต้นสูงไม่เกิน 3.5 เมตร มีเส้นผ่านศูนย์กลาง 15 เซนติเมตร โดยที่กาบลำต้นด้านนอกมีสีเขียวอ่อนซึ่งจะมีประดำบ้างเล็กน้อย</p> <p>ใบ ก้านใบมีร่องค่อนข้างแคบ มีเส้นกลางใบสีเขียว</p> <p>ดอก ก้านช่อดอกไม่มีขน ปลีรูปไข่ค่อนข้างป้อม ปลายป้าน ด้านนอกสีแดงอมม่วงมีนวลหนา ด้านในมีสีแดงเข้ม</p> <p>ผล เครือหนึ่งมีประมาณ 7 - 10 หวี หวีหนึ่ง มี 10 - 16 ผล ก้านผลยาว เปลือกหนา สุกมีสีเหลืองเนื้อสีขาว รสหวาน ใ้สีกลางมีสีเหลือง ชมพูหรือขาว ทำให้แบ่งออกเป็นกล้วยน้ำว้าเหลือง กล้วยน้ำว้าแดง และกล้วยน้ำว้าขาว</p>

กล้วยน้ำว้า มีชื่อเรียกตามท้องถิ่น เช่น กล้วยใต้ (เชียงใหม่ และเชียงราย), กล้วยตานีอ่อง (อุบลราชธานี), กล้วยมะลิอ่อง (จันทบุรี), กล้วยอ่อง (ชัยภูมิ) กล้วยน้ำว้ามีลักษณะผลใหญ่กว่ากล้วยไข่ มีเหลี่ยม ก้านผลยาว เปลือกจะหนากว่าเปลือกของกล้วยไข่ มีการนำกล้วยน้ำว้ามาใช้ประโยชน์มากมาย ตั้งแต่ผลดิบถึงผลสุก เช่น ทำแป้งกล้วย กล้วยฉาบ อาหารสำหรับเด็ก กล้วยตาก กล้วยกวน เป็นต้น (เบญจมาศ, 2545)

การเก็บเกี่ยวกล้วยโดยทั่วไป นิยมการพิจารณาขนาดของเหลี่ยมสันของกล้วยเป็นส่วนใหญ่ เนื่องจากความแก่ของกล้วยมีความสัมพันธ์กันอย่างมากกับมุมของเหลี่ยมผล หากเก็บเกี่ยวผลเพื่อการขนส่งที่ต้องใช้เวลาในการขนส่งหลายวัน ควรที่เก็บผลกล้วยเมื่อมีความแก่ประมาณร้อยละ 75 หรือ มากกว่าเล็กน้อย (สมศักดิ์, 2541; อภิสิทธิ์, 2542) เมื่อมีการขนส่งทางไกลต้องตัดผลกล้วยให้ดิบมากขึ้น หรืออาจดูจากระยะการเก็บเกี่ยวที่เหมาะสม เช่น การนับจำนวนวันของกล้วย โดยนับจากวันที่ปลีกล้วยโผล่ออกมาให้เห็นจนถึงวันที่เก็บเกี่ยวได้ หรืออาจวัดจาก วันที่กาบดอกของหวีแรกเปิดออกจนถึงวันที่เก็บเกี่ยวได้ หรือวัดเส้นผ่านศูนย์กลางของผลกล้วย (สมศักดิ์, 2541) และอีกวิธีหนึ่งคือดูได้จากเนื้อภายในผล ผลกล้วยที่มีเนื้อในเริ่มมีสีเหลือง มียางขึ้น แสดงว่ามีร้อยละความ

แก่สูง ถ้ามีริ้วมันและฝาดก็แสดงว่ามีร้อยละความแก่ต่ำ (อภิสิทธิ์, 2542) แต่ในทางวิชาการจะกำหนดระยะเวลาหลังจากตัดปลีจนถึงเวลาเก็บเกี่ยว กลัวย่น้ำว่าใช้เวลา 120-130 วัน (กฤษดา, 2539)

2.3 การเปลี่ยนแปลงคุณภาพทางเคมีและกายภาพของกลัวย่น้ำระหว่างการสุก

2.3.1 สีเปลือก

กลัวย่น้ำมีการเปลี่ยนแปลงลักษณะเช่นเดียวกับผลไม้อื่นๆ โดยมีการเปลี่ยนแปลงเกิดขึ้นระหว่างการสุก

การสุก หมายถึง ระยะของการพัฒนาทางชีวเคมีของผลไม้ขณะที่มีอัตราการหายใจสูง (Climacteric) คลอโรฟิลล์ (Chlorophyll) จะพบที่เปลือกของกลัวย่น้ำที่ยังไม่สุก ระหว่างการสุกคลอโรฟิลล์มีปริมาณลดลงเป็นสีเหลืองของแคโรทีนอยด์ (Carotenoid) และมีสารแซนโทฟิลล์ (Xanthophyll) เมื่อเปลือกมีสีเหลืองเพิ่มขึ้นทำให้ปริมาณของคลอโรฟิลล์ลดลงอย่างช้าๆ จนกระทั่งสุก (Mitra, 1997) Palmer (1971) กล่าวว่าสีเปลือกกลัวย่น้ำทั่วไป มีการเปลี่ยนแปลงจากสีเขียวเป็นสีเหลือง โดยเริ่มเปลี่ยนเป็นสีเหลืองหลังจาก Climacteric peak แล้ว และหลังจากนั้น 3-7 วัน ในสภาพสุกภาวะอุณหภูมิปกติ จะมีสีเหลืองเต็มที่ เปลือกกลัวย่น้ำดิบของกลุ่มย่อยคาเวนดิช (AAA Group) ปกติมีคลอโรฟิลล์ ประมาณ 50-100 ไมโครกรัมต่อกรัม และมีแคโรทีนอยด์ ประมาณ 8 ไมโครกรัมต่อกรัม ประกอบด้วย แซนโทฟิลล์ ประมาณ 5-7 ไมโครกรัมต่อกรัม และแคโรทีน (Carotene) ในประมาณ 1.5-3.5 ไมโครกรัมต่อกรัม (ของน้ำหนักกลัวย่น้ำสด) และเมื่อกลัวย่น้ำสุกคลอโรฟิลล์เกิดเปลี่ยนรูปทั้งหมดคงเหลืออยู่แต่เม็ดสีเหลืองในปริมาณที่ค่อนข้างคงที่ (Von Loesecke, 1950) จากการศึกษาวิเคราะห์องค์ประกอบของแคโรทีนอยด์ในส่วนเปลือกพบว่า มี แอลฟาแคโรทีนร้อยละ 7 เบต้าแคโรทีนร้อยละ 14 ลูทีน (Lutein) ร้อยละ 33 และส่วนในเนื้อมีแอลฟาแคโรทีนร้อยละ 31 เบต้าแคโรทีนร้อยละ 28 และ ลูทีนร้อยละ 56 ส่วนกลัวย่น้ำสายพันธุ์อื่นๆ มีการเปลี่ยนแปลงไม่แตกต่างกันมาก (Gross *et al.*, 1976) สารที่อยู่ในเปลือกกลัวย่น้ำ ทำให้สีเปลือกกลัวย่น้ำมีการเปลี่ยนแปลงตามความสุกของกลัวย่น้ำ ได้แบ่งความสุกตามดัชนีสีเปลือก (Peel Color Index) ดังแสดงในตารางที่ 3

ตารางที่ 3 ระยะเวลาสุกของกล้วยกลุ่มย่อยคาเวนดิช (AAA Group) ตามดัชนีสีเปลือก

ระยะเวลาสุก	ลักษณะปรากฏของกล้วย
1	เปลือกเขียว ผลแข็ง ไม่มีการสุก
2	เริ่มเปลี่ยนจากเขียวออกเหลืองเล็กน้อย (สีเขียวร้อยละ 95 สีเหลืองร้อยละ 5)
3	เริ่มเปลี่ยนจากเขียวออกเหลืองมากขึ้นแต่ยังมีสีเขียวมากกว่าสีเหลือง (สีเขียวร้อยละ 70 สีเหลืองร้อยละ 30)
4	เริ่มเปลี่ยนจากเขียวออกเหลืองมากขึ้นและมีสีเหลืองมากกว่าสีเหลือง (สีเขียวร้อยละ 30 สีเหลืองร้อยละ 70)
5	เปลือกเป็นสีเหลืองแต่ปลายยังเขียวอยู่ (สีเขียวร้อยละ 5 สีเหลืองร้อยละ 95)
6	ทั้งผลมีสีเหลือง(ผลสุก)
7	ผิวสีเหลืองและเริ่มมีจุดสีน้ำตาล (สุกเต็มที่ กลิ่นหอม)
8	ผิวสีเหลืองและเริ่มมีจุดสีน้ำตาลมากขึ้น (สุกมากเกินไป เนื้อเริ่มอ่อนตัว และมีกลิ่นแรง)

ที่มา : เบญจมาศ (2545)

2.3.2 ความแน่นเนื้อ

กล้วยสุกจะเริ่มมีการเปลี่ยนแปลงความแน่นเนื้อ จึงใช้เป็นดัชนีวัดระยะเวลาสุกของกล้วยได้เช่นเดียวกับสีเปลือก ในระหว่างการสุกปริมาณน้ำในเปลือกกล้วยและที่ก้านผลจะลดลงทำให้อัตราส่วนระหว่างน้ำหนักของเนื้อและน้ำหนักของเปลือกเปลี่ยนแปลงไป ดังแสดงค่าน้ำหนักส่วนที่บริโภคได้ในตารางที่ 4 ทำให้ค่าความชื้นในเนื้อกล้วยจะเพิ่มขึ้น ค่าความแน่นเนื้อจึงลดลงและมีการเปลี่ยนรูปของคาร์โบไฮเดรตตามระดับการสุกที่เพิ่มขึ้น โดยกล้วยจะมีปริมาณคาร์โบไฮเดรตลดน้อยลงเมื่อเริ่มสุก (Ramaswamy and Tung, 1989) แสดงค่าดังตารางที่ 5 ส่วนค่าความแน่นเนื้อ ปริมาณของแข็งที่ละลายได้ทั้งหมด ค่าพีเอช และปริมาณของส่วนที่บริโภคได้ที่ระยะเวลาสุกต่างๆ จะแตกต่างกันดังตารางที่ 4

ตารางที่ 4 การเปลี่ยนแปลงทางกายภาพและทางเคมีของกล้วยกลุ่มย่อยคาเวนดิชในระหว่างการสุก

ระยะการสุก	สีเปลือก	ความแน่นเนื้อ (กก.)	ปริมาณของแข็ง ที่ละลายได้ (Brix)	พีเอช	น้ำหนักส่วนที่ บริโภคลได้ ²
	สีเขียว ¹				
1	0.210	12.2	3.0	5.6	53
2	0.105	10.5	7.8	5.1	55
3	0.048	3.6	12.2	4.6	57
4	0.029	2.5	18.0	4.7	58
5	0.011	1.5	21.7	4.8	60
6	0.005	0.8	24.7	4.9	61
7	0.004	<0.5	22.5	5.1	62

¹ ค่า absorbance ของสารละลายเมื่อวัดที่ 660 นาโนเมตร

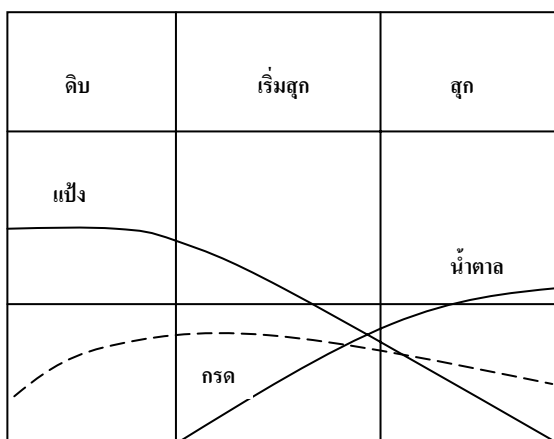
² น้ำหนักของเนื้อ (กรัม) ต่อ 100 กรัมของกล้วยสดทั้งเปลือก

ที่มา: Will *et al.* (1984)

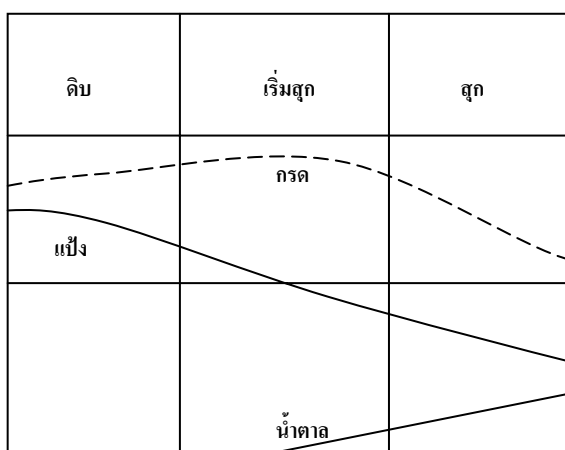
2.3.3 การโบไฮเดรต

ในผลกล้วยดิบมีปริมาณแป้งประมาณร้อยละ 20-25 และในระหว่างสุกแป้งจะถูกไฮโดรไลซ์เปลี่ยนเป็นน้ำตาลซูโครส กลูโคส และฟรุคโตส (เบญจพร, 2541) เมื่อผลสุกจะมีแป้งเหลืออยู่ประมาณร้อยละ 1-2

ในระหว่างการสุกปริมาณแป้งในกล้วยจะลดลง ขณะที่ปริมาณน้ำตาลเพิ่มขึ้น กล้วยจึงมีรสหวานขึ้น ในกล้วยที่มีสีโนม AA AAA เช่น กล้วยไข่ กล้วยหอม ปริมาณของแป้งจะลดลงอย่างมากเมื่อกล้วยสุก ดังภาพที่ 1(1) โดยจะเริ่มลดเมื่อกล้วยเริ่มมีการเปลี่ยนสี สำหรับปริมาณของกรดตั้งแต่ดิบจนสุกจะค่อนข้างต่ำ ส่วนกล้วยต่างๆ ที่มีสีโนม ABB เช่น กล้วยน้ำว้า กล้วยหักมุกปริมาณแป้งลดลง และความหวานเพิ่มขึ้นตามระดับความสุก แต่การเปลี่ยนแปลงนี้ไม่มากเท่ากล้วยในกลุ่มที่มีสีโนม AA AAA และปริมาณของกรดมีค่อนข้างสูง ดังนั้นจะเห็นว่ากล้วยเหล่านี้ มักจะมีแป้งมากทั้งดิบและสุก ทำให้เกิดความเหนียวและมีรสเปรี้ยวเล็กน้อย



(1)



(2)

ภาพที่ 1 แสดงการเปลี่ยนแปลงปริมาณแป้ง น้ำตาลและกรดในกล้วยที่ระดับความสุกต่างๆ

(1) กล้วยกลุ่ม AA, AAA (2) กล้วยกลุ่ม AAB, ABB

ที่มา: Simmonds (1977)

ผลการวิเคราะห์ปริมาณแป้งและน้ำตาลของกล้วยหอมพันธุ์คานาดิซและหอมทองที่ระยะการสุกต่างๆ ดังตารางที่ 5

ตารางที่ 5 ปริมาณแป้งและน้ำตาลของกล้วยหอมพันธุ์คาเวนดิชและหอมทองที่ระยะการสุกต่างๆ

ระยะการสุก	คาเวนดิช		หอมทอง	
	แป้ง (ร้อยละ)	น้ำตาล (ร้อยละ)	แป้ง (ร้อยละ)	น้ำตาล (ร้อยละ)
1	20.0	0.5	21.1	0.8
2	18.0	2.5	18.4	2.7
3	16.0	4.5	16.1	4.8
4	13.3	7.5	12.5	8.2
5	7.0	15.5	6.8	13.2
6	2.5	18.0	3.3	17.6
7	1.5	19.0	2.4	18.5
8	1.0	19.0	1.3	19.9

ที่มา: เบญจมาศ (2534)

2.3.4 โพรตีน

ในระหว่างการสุกของกล้วยพบว่าปริมาณโปรตีนไม่ค่อยเปลี่ยนแปลง มีปริมาณคงที่ประมาณร้อยละ 0.5-1.5 (Wade *et al.*, 1972)

2.3.5 ไขมัน

Goldstein and Wick (1969) รายงานว่าส่วนเปลือกของกล้วย โดยทั่วไปมีไขมันประมาณร้อยละ 1.5 ส่วนเนื้อไม้ประมาณร้อยละ 1 และไขมันไม่มีการเปลี่ยนแปลงในระหว่างการสุก กรดไขมันหลักของกล้วยได้แก่ กรดปาล์มิติก กรดโอเลอิก กรดลิโนลิก และกรดลิโนลินิก

2.3.6 กรด

กล้วยดิบมีค่ากรด-เบสประมาณ 5.0-5.6 เมื่อกกล้วยเริ่มสุกปริมาณกรดจะมีค่าเพิ่มขึ้น โดยค่าความเป็นกรด-เบสประมาณ 4.2-4.75 (Palmer, 1971) เนื่องจากกล้วยประกอบด้วย

กรดหลายชนิด ได้แก่ กรดมาลิกซึ่งพบมากในกล้วย นอกจากนี้ยังมีกรดออกซาลิกและกรดซิตริก โดยกรด มาลิกนั้นจะมีปริมาณเพิ่มขึ้นในระหว่างการสุกของกล้วย ซึ่งผลกล้วยมีการสะสมปริมาณ กรดเพิ่มขึ้นตามอายุผลและเพิ่มจนถึงระดับสูงสุดขณะผลสุก ในขณะที่ปริมาณกรดออกซาลิกจะถูก เมแทบอลิซึม ทำให้มีปริมาณลดลง (Kotecha and Desai, 1995)

2.3.7 แทนนิน

พบมากในส่วนเปลือกกล้วย และผลกล้วยดิบ ทำให้มีรสฝาด เนื่องจากสารที่สำคัญคือ ลิวโคแอนโทไซยานิดิน (Leuco-anthocyanidin) ลิวโคเดลฟานิดิน (Leuco-delphanidin) และ ลิวโคไซยานิดิน (Leuco-cyanidin) (Palmer, 1971)

2.3.8 สารระเหย

ปริมาณของสารระเหยที่พบในกล้วยมีอย่างน้อย 200 ชนิด มีส่วนประกอบของสารระเหยสามารถแบ่งออกเป็น 3 กลุ่ม ดังตารางที่ 6

ตารางที่ 6 สารระเหยสำคัญในกล้วย

	Fruity	Green woody or musty
Banana like		
Amyl butyrate	Amyl butyrate	Amyl alcohol
Isoamyl acetate	Butyl acetate	Methyl acetate
Amyl acetate	Butyl butyrate	Pentanone
Amyl propionate	Hexyl acetate	Butyl alcohol

ที่มา: Tressl and Jennings (1972)

3. การผลิตฟิล์มบริโกลได้

การเกิดฟิล์มโดยทั่วไป เกิดขึ้นจากการทำให้สารที่สามารถเกิดฟิล์มได้ละลายหรือกระจายตัวแล้วใช้วิธีต่างๆ ขึ้นรูป แล้วแยกสารที่ละลายนั้นออกจากตัวทำละลาย เช่น การทำให้ตัวทำละลายระเหยไป การปรับความเป็นกรด-เบส หรือ โดยการทำให้สารที่เกิดฟิล์มหลอมเหลวแข็งตัวได้ (Solidification) ฟิล์มโดยทั่วไปมีองค์ประกอบหลักเป็นพอลิเมอร์ที่มีน้ำหนักโมเลกุลสูงจะมีสมบัติเกิดฟิล์มได้ ส่วนตัวทำละลายและสารแต่งเติมจะมีการเติมลงไป เพื่อปรับปรุงสมบัติของฟิล์มให้ดีขึ้น (Kester and Fennema, 1986)

ในการเกิดฟิล์มจะเกิดแรง 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)

สภาวะในการเตรียมฟิล์มนั้น ควรเตรียมฟิล์มโดยใช้สารละลายที่อุ่นและทำให้ฟิล์มแห้งโดยใช้ความร้อนที่เหมาะสม เพราะถ้าใช้อุณหภูมิสูงอาจทำให้อัตราการระเหยตัวทำละลายเร็วเกินไป โมเลกุลของพอลิเมอร์เชื่อมกันอย่างไม่สมบูรณ์ทำให้เกิดรูเข็ม (Pinholes) หรืออาจทำให้ฟิล์มมีความหนาไม่สม่ำเสมอ ทำให้การซึมผ่านของฟิล์มเพิ่มขึ้น ระดับของแรงโคฮีชันมีผลต่อสมบัติต่างๆ ของฟิล์ม ได้แก่ ความหนาแน่น (Density) การอัดแน่น (Compactness) ความเป็นรูพรุน (Porosity) ความสามารถในการซึมผ่าน (Permeability) ความยืดหยุ่น (Flexibility) และความเปราะ เป็นต้น ส่วนแรงอีกชนิดหนึ่ง คือ แรงแอดฮีชัน (Adhesion) เป็นแรงระหว่างโมเลกุลของพอลิเมอร์กับสารอื่นที่เกี่ยวข้องกับการเตรียมฟิล์มนั้นทำให้เกิดโครงร่างของฟิล์มได้ เช่น แรงระหว่างโมเลกุลของพอลิเมอร์กับพลาสติกไซเซออร์โดยมีผลต่อสมบัติต่างๆ ของฟิล์มเช่นกัน (Banker, 1996)

วิธีในการผลิตฟิล์มสามารถทำได้หลายวิธีดังนี้

3.1 วิธีการเทสารละลายลงบนวัสดุต่างๆ (Solvent casting) เป็นการผลิตฟิล์มด้วยการนำสารผสมของฟิล์มมาทาเป็นแผ่นบางลงบนภาชนะหรือภาชนะเฉพาะ ใช้อุณหภูมิที่เหมาะสมทำให้แห้ง แล้วลอกออกจะทำให้ได้แผ่นฟิล์มตามต้องการ อาจมีการเคลือบซ้ำด้วยสารที่มีสมบัติในการปรับปรุงคุณภาพฟิล์ม

Mark *et al.* (1966) ได้เตรียมฟิล์มจากสตาร์ชที่มีเอมิโลสสูง โดยการเทลงบนแผ่นกระจกเคลือบซิลิโคนแล้วไปทำแห้งด้วยลมร้อน ฟิล์มที่ได้จะโปร่งแสงและละลายน้ำได้

มณฑาทิพย์ (2534) เตรียมฟิล์มแบบอบเลตจากสตาร์ชมันเทศและวุ้น โดยเริ่มการเตรียมเอมิโลสและวุ้นด้วยวิธีที่คล้ายกัน คือเทส่วนผสมในภาชนะหลอดสนิม ทาด้วยน้ำมันพืช และทำให้ร้อนพอประมาณ เอียง และเขย่าภาชนะบ้าง ทิ้งไว้ให้แผ่นฟิล์มเป็ยทรงรูป ทำให้แห้งด้วยไอน้ำเดือดที่อุณหภูมิประมาณ 40-60 °ซ

ต่อมาได้มีการพัฒนาการเตรียมฟิล์มจากเซลลูโลสอีเทอร์และไขมันบนแผ่นกระจก โดยวิธีโครมาโตกราฟีแผ่นบาง (Thin-layer chromatography) แล้วนำไปทำแห้ง โดยปนัดดา (2537) ได้ดัดแปลงวิธีนี้ ซึ่งขึ้นรูปแผ่นฟิล์มจากแป้งมันสำปะหลัง และแป้งถั่วเขียวลงบนแผ่นฟิล์มพลาสติกพอลิเอทิลีนความหนาแน่นต่ำ (LDPE) ซึ่งบนกันภาชนะหลอดสนิมจนเรียบตึงแล้วนำไปทำแห้งในตู้อบแบบถาด (Tray drier) ที่อุณหภูมิ 50 °ซ ฟิล์มที่ได้โปร่งแสง พื้นผิวด้านที่สัมผัสกับพลาสติกเรียบมัน ส่วนที่สัมผัสอากาศมีลักษณะด้าน

3.2 วิธีเอกซ์ทรูชัน (Extrusion) เป็นการผลิตฟิล์มที่ใช้กับสตาร์ชมีเอมิโลสร้อยละ 50-80 พลาสติกไซเซอรร้อยละ 0-30 และ น้ำร้อยละ 20-50 โดยต้องทำให้เอมิโลสเป็นสารเทอร์โมพลาสติก เทียมก่อนที่จะขึ้นรูปวิธีนี้ได้ ฟิล์มที่ได้มีความชื้นร้อยละ 7-15 ความหนา 1-4 มิล (1 มิล = 0.0254 มิลลิเมตร)

3.3 วิธีการทำแห้งด้วยลูกกลิ้ง (Drum drier) เป็นวิธีการทำแห้งฟิล์มโดยใช้ลูกกลิ้ง โดยผ่านแผ่นฟิล์มไปยังลูกกลิ้งร้อน อุณหภูมิ 103-108 °ซ หมุนด้วยความเร็ว 70-110 วินาทีต่อรอบ เพื่อรีดให้ฟิล์มเรียบและแห้ง ซึ่งความหนาของฟิล์มขึ้นอยู่กับแรงกดอัดและระยะห่างของลูกกลิ้ง การเพิ่ม

ความร้อนหรืออัตราการระเหยของสารที่ใช้ในการทำฟิล์มและความเข้มข้นของตัวทำละลายที่ใช้มีผลต่อการลดลงของแรงที่ใช้เกาะตัวของฟิล์ม ส่งผลให้เกิดฟิล์มที่มีลักษณะไม่เกาะตัวกันหรือทำให้เกิดรูพรุนในฟิล์ม นอกจากนี้แรงในเกาะตัวกันของฟิล์มที่มีผลต่อคุณภาพฟิล์ม โดยแรงนี้จะขึ้นอยู่กับโครงสร้างและสมบัติทางเคมีของสารพอลิเมอร์ที่ผลิตได้ เช่น มวลโมเลกุล ขั้ว ความแข็งแรงของฟิล์ม และลำดับการแตกสาขาของสายพอลิเมอร์ที่ผลิตได้

4. สารปรับปรุงสมบัติของฟิล์ม

4.1 เพกติน (Pectin)

เพกตินมีรากศัพท์จากภาษากรีกว่า เพกโตส (Pectos) หมายถึงการเปลี่ยนรูปของเหลวไปเป็นของแข็งเมื่อเย็น เพกตินเป็นสารประกอบประเภท คอลลอยด์ผันกลับได้ (Reversible colloid) จัดเป็นสารประกอบเชิงแสง (Optically compound) จะเบี่ยงเบนของทิศทางแสงถูกสลับเบี่ยงเบน (Polarized light) ไปทางขวา ถ้าเป็นเพกตินที่ยังไม่สกัดทั้งหมด (Crude pectin) จะมีเฮมิเซลลูโลส (Hemicellulose), เพนโตแซน (pentosans), อะราแบน (arabans), กาแลคโตแซน (galactosans) ตลอดจนสารแปลกปลอมอื่นๆ ปะปนมาด้วย

Committee of American Chemical Society ได้ให้คำจำกัดความของเพกติน ว่าเป็นสารประกอบพวกเมทิลเอสเทอร์ (Methylester) ของกรดพอลิกลาแลคทูโรนิก (Polygalacturonic acid) ที่สามารถละลายน้ำได้และเกิดเจลได้ในสภาวะเหมาะสม (WHO, 1981) คณะกรรมาธิการ JECFA (Joint FAO/WHO Expert Committee on Food Additive) ได้ประกาศว่า เพกตินเป็นสารที่มีคุณค่าทางโภชนาการและปราศจากพิษภัยสามารถนำไปใช้เป็นสารปรุงแต่งอาหารได้

เพกตินนั้นพบอยู่ทั่วไปในเนื้อเยื่อของพืช โดยเฉพาะในส่วนของผล มักจับกับ เซลลูโลส (Cellulose) ในบริเวณผนังเซลล์ส่วนนอกๆ หรือ ในบริเวณมิดเดิลลามลลา (Middle lamella) โดย เฉพาะอยู่ในรูปสารตั้งต้นที่เป็นสารพวกพอลิเมอร์ ทำหน้าที่ยึดเซลล์เพิ่มความแข็งแรงให้แก่เนื้อเยื่อพืช เนื่องจากเพกตินเป็นสารจำพวกคาร์โบไฮเดรต (Carbohydrate derivatives) มีองค์ประกอบส่วนใหญ่เป็นกรดพอลิกลาแลคทูโรนิก กรดกาแลคทูโรนิกเกิดขึ้นโดยการออกซิเดชันของคาร์บอนตัวที่ 6 ของกาแลคโตส (Galactose) และการเสียน้ำ (Dehydration) ของกรดกาแลคทูโรนิก หลายๆ โมเลกุลทำให้เกิดเป็นพอลิกลาแลคทูโรนิก ในระหว่างการสุกของผลไม้เพกตินจะถูก

สร้างมาจากโปรโตเพกติน โดยเอนไซม์โปรโตเพกตินเนส เพกตินพบอยู่ในเนื้อเยื่อของพืชในบริเวณช่องว่างระหว่างเซลล์ (Intercellular spaces) ที่เรียกว่า มิดเซลลามาเลลา โดยทั่วไปผลไม้ทุกชนิดมีเพกตินเป็นองค์ประกอบอยู่เล็กน้อยต่างกันไป ขึ้นกับความแก่อ่อนและพันธุ์ของผลไม้

4.1.1 สารประกอบเพกติน

สารประกอบเพกตินประกอบด้วยหน่วยของกรดแอนไฮโดรกาลแลกทูโรนิก (Anhydrogalacturonic acid) จำนวนมากเชื่อมต่อกันด้วยพันธะไกลโคซิดิก (Glycosidic linkage) ชนิดของสารประกอบเพกตินนั้น จะมีการแบ่งตามหมู่คาร์บอกซิล (Carboxyl groups) ของกรดพอลิกลาลแลกทูโรนิก ที่ถูกเอสเตอริไฟด์ (Esterified) โดยหมู่เมทิล (Methyl groups) (Krochata *et al.*, 1994) ได้ดังนี้

ก. โปรโตเพกติน (Protopectin) หรือเพกโตส (Pectose) เป็นสารตั้งต้น (Precursor) ของเพกตินที่ไม่ละลายน้ำไม่สามารถเกิดเจลได้ เมื่อได้รับเอนไซม์หรือถูกไฮโดรไลซิส (Hydrolysis) จะเปลี่ยนเป็นเพกติน พบในเนื้อเยื่อในส่วนมิดเซลลามาเลลา

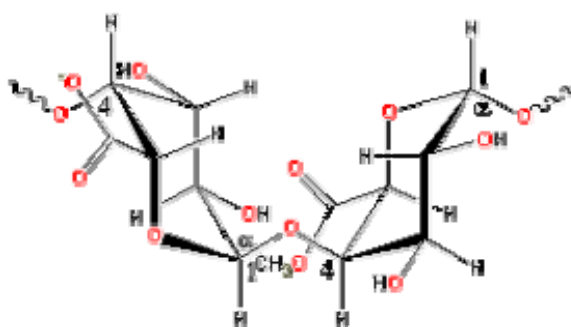
ข. กรดเพกติก (Pectinic acid) เป็นคอลลอยด์ในสารประกอบของกรดพอลิกลาลแลกทูโรนิกประกอบด้วยหมู่เมทิลเอสเตอริสสามารถเกิดเจลได้ เมื่ออยู่ในสภาวะที่มีความเหมาะสม

ค. เพกติน สามารถละลายน้ำได้ ปริมาณเมทิลเอสเตอริส และระดับการทำให้เป็นกลาง (degree of neutralization) มีผลต่อการเกิดเจล

ง. กรดเพกติก เป็นคอลลอยด์ของกรดพอลิกลาลแลกทูโรนิกที่ไม่มีหมู่เมทิลเอสเตอริสเป็นองค์ประกอบและเกลือของกรดเพกติกเรียกว่า เพกเตต (Pectate)

4.1.2 โครงสร้างของเพกติน

เพกตินเป็นคอลลอยด์ของคาร์โบไฮเดรตถือว่าเป็นพอลิเมอร์ชนิดหนึ่ง สามารถพบได้มากในชั้นมิดเดิลลามেলাเกิดจากหน่วยย่อยของกรดดี-กาแลคทูโรนิก (D-galacturonic acid) จำนวนมากเชื่อมกันด้วยพันธะ 1,4-glycosidic linkage อย่างน้อย 100 หน่วยขึ้นไป มีน้ำหนักโมเลกุลตั้งแต่ 10,000-40,000 โดยโครงสร้างของเพกตินจะมีหมู่คาร์บอกซิลของกรดดี-กาแลคทูโรนิกถูกเอสเทอริไฟด์โดยหมู่เมทิลด้วยปฏิกิริยาเมทิลเลชัน (Methylation reaction) ดังภาพที่ 2



ภาพที่ 2 แสดงโครงสร้างของเพกติน

ที่มา: Krochata *et al.* (1994)

เพกตินแต่ละชนิดต่างกัน โดยมีจำนวนหมู่คาร์บอกซิลของกรดดี-กาแลคทูโรนิกที่ถูกเอสเทอริไฟด์ แสดงดังภาพที่ 2 ค่า Degree of Esterification (DE) ค่า DE หมายถึง จำนวนร้อยละของกรดดี-กาแลคทูโรนิกที่ถูกเอสเทอริไฟด์ ต่อ จำนวนกรดดี-กาแลคทูโรนิกทั้งหมด แสดงถึงปริมาณเก่าและความชื้นที่หาได้จากเพกตินชนิดนั้นๆ นอกจากนี้ค่า DE จะมีค่าสัมพันธ์กับปริมาณของสาร เมทอกซี (Methoxy content) และ น้ำหนักสมมูลของเพกติน

สามารถคำนวณค่า DE ได้จากสูตร

$$DE = \frac{\text{No. esterified D-galacturonic acid residue} \times 100}{\text{Total No. of D-galacturonic acid residue}}$$

4.1.3 ประเภทของเพกตินแบ่งตามค่า DE ได้ 2 ประเภท

ก. High Methoxy Pectin (HMP)

มีค่า DE มากกว่าร้อยละ 50 สามารถเกิดเจลได้ในสภาวะที่มีน้ำตาลและกรดในปริมาณที่เหมาะสม HMP เกิดเจลได้โดยการสร้างพันธะไฮโดรเจนระหว่างสายพอลิเมอร์ของเพกติน และเกิดการยึดตัวของหมู่ที่ไม่ละลายน้ำของหมู่เอสเทอร์ทำให้เกิดโครงสร้างของเจล ความแข็งแรงของเจลขึ้นกับความเข้มข้นของน้ำตาล ปริมาณเพกตินและอุณหภูมิในการเก็บรักษา พบว่าน้ำตาลกลูโคสจะให้ความแข็งแรงของเจลมากกว่าน้ำตาล ฟรุคโตส

ข. Low Methoxy Pectin (LMP)

มีค่า DE น้อยกว่าร้อยละ 50 สามารถเกิดเจลได้ โดยการสร้างพันธะระหว่างแคลเซียมไอออน (Ca^{2+}) และหมู่คาร์บอกซิลของเพกตินด้วยแรงไอออนิก (Ionic force) สามารถเกิดเจลได้โดยไม่ต้องใช้น้ำตาล จึงมีชื่อเรียกอีกอย่างว่า “Low-sugar pectin” ความแข็งแรงของเจลขึ้นกับน้ำหนักโมเลกุลของเพกติน, ระดับของการถูกพอลิเมอร์ไรเซชัน (Degree of Polymerization) และความสามารถในการจับของแคลเซียม

4.1.4 ประเภทของเพกตินแบ่งตามความเร็วในการเกิดเจล มี 2 ประเภท ดังนี้

ก. เพกตินที่เกิดเจลได้เร็ว (Rapid-set pectin) เป็นเพกตินที่มีค่า DE ร้อยละ 70 ขึ้นไป ค่า pH ที่เหมาะสมในการเกิดเจลคือ 3.0-3.4 ความแข็งแรงของเจลขึ้นกับน้ำหนักโมเลกุล

ข. เพกตินที่เกิดเจลได้ช้า (Slow-set pectin) เป็นเพกตินที่มีค่า DE ร้อยละ 50-70 ค่า pH ที่เหมาะสมในการเกิดเจลคือ 2.8-3.2

4.1.5 สมบัติที่เหมาะสมเมื่อใช้ในการปรับปรุงคุณภาพฟิล์ม

เพกตินมีลักษณะเป็นร่างแห (Net work) ตามธรรมชาติของเพกตินจะชอบน้ำมาก (Highly hydrophilic colloid) มีประจุลบ เมื่อมีน้ำอยู่เพกตินมีการพองตัวและแขวนลอยอยู่

ในน้ำเกิดเป็นสารละลายที่ค่อนข้างหนืด สามารถป้องกันการตกตะกอนของอนุภาคต่างๆที่กระจายอยู่ นอกจากนี้สามารถทำให้เกิดเป็นของกึ่งแข็งกึ่งเหลว (Semi-solid) ที่เป็นเยลลี่ (Jelly) กับน้ำตาลและกรด และสามารถทำให้เกิดของกึ่งแข็งกึ่งเหลว ที่เป็นเจล (Gel) กับ Bivalent ions เพียงเล็กน้อย

ความสามารถในการพองตัวของเพกตินขึ้นอยู่กับ

- ก. โครงสร้างร่างแห (Structure of net work)
- ข. น้ำหนักโมเลกุล (Molecular weight)
- ค. ระดับของการถูกเอสเทรีไฟด์ (Degree of esterification)
- ง. การมีสายโซ่กิ่ง (The presence of side-chains)
- จ. ค่าความเป็นกรด-เบส (pH) ของสารละลายและการมีเกลืออยู่ในสารละลายที่เพกตินละลายอยู่

ความสามารถในการพองตัวจะเพิ่มขึ้น ถ้าน้ำหนักโมเลกุลและระดับของการถูกเอสเทรีไฟด์เพิ่มขึ้นในสภาพที่เป็นกรด ความสามารถในการพองตัวของเพกตินจะเพิ่มมากขึ้นเมื่อค่าความเป็นกรด-เบสสูงขึ้นและความหนืดของเพกตินมีค่าสูงสุดที่ค่าความเป็นกรด-เบสประมาณ 6.0 (Owens, 1952)

4.2 คาร์ราจีแนน (Carrageenan)

คาร์ราจีแนน เป็นพอลิแซคคาไรด์ชนิดหนึ่งที่สกัดได้จากสาหร่ายสีแดง คาร์ราจีแนน แบ่งออกเป็น 3 ชนิดใหญ่ๆ ได้แก่ แคปปา-คาร์ราจีแนน (K; kappa), ไอโอตา-คาร์ราจีแนน (I ; iota) และแลมดา-คาร์ราจีแนน (λ ; lambda) ในสาหร่ายส่วนใหญ่มีคาร์ราจีแนนอย่างน้อย 2-3 ชนิดผสมกันอยู่ แคปปา-คาร์ราจีแนน และไอโอตา-คาร์ราจีแนนเท่านั้นที่มีสมบัติเกิดเจลได้ เมื่อมีสารที่เป็นโปแตสเซียมไอออน ส่วนแลมดา-คาร์ราจีแนนเกิดเจลไม่ได้ สาหร่ายสีแดงที่ใช้เป็นวัตถุดิบในการผลิตคาร์ราจีแนน ได้แก่ *Chondrus crispus* ซึ่งพบในน้ำที่เย็นเล็กน้อยใช้ผลิตคาร์ราจีแนนชนิด K และ I ส่วน *Gigartina* ซึ่งพบในน้ำเย็นจัด ใช้ผลิตคาร์ราจีแนนชนิด K และ λ ในการใช้ประโยชน์จากสาหร่ายเหล่านี้เริ่มแพร่หลายขึ้นอย่างรวดเร็ว การเก็บเกี่ยวสาหร่ายในแหล่งน้ำเย็นจะทำการเก็บเกี่ยวเพียงปีละครั้ง ในขณะที่การเพาะเลี้ยงสาหร่ายในแหล่งน้ำอุ่นใช้เวลาเพียงแค่ 3 เดือน แต่อาจใช้เวลา 3-6 เดือนกว่าการผลิตจะสมบูรณ์ United States Department of Agriculture (USDA) ได้มีการ

กำหนดให้ คาร์ราจีแนนเป็นสารที่สกัดจากพืชทะเลบริสุทธิที่มีน้ำหนักโมเลกุลสูงกว่า 100,000 และสามารถใช้เป็นสารให้ความข้นหนืดและทำให้เกิดเจลได้ (Thomas, 1992)

4.2.1 กระบวนการผลิต

การคัดเลือกวัตถุดิบและกระบวนการสกัดมีผลต่อคุณภาพของคาร์ราจีแนน หลังจากเลือกสาหร่ายและกระบวนการผลิตที่เหมาะสมแล้ว จะต้องนำสาหร่ายไปทำความสะอาด ก่อนที่จะนำเข้าสู่สกัด คาร์ราจีแนนในสาหร่ายอยู่ในรูปเจล ณ อุณหภูมิห้องจะถูกสกัดโดยใช้ น้ำที่มีอุณหภูมิสูงกว่าจุดหลอมเหลวของเจลเหล่านั้น การสกัดจะทำภายใต้สภาวะที่เป็นด่าง เพื่อให้ สาหร่ายเปื่อยยุ่ย ชะลอการทำลายพันธะพอลิเมอร์ของกาแลคแทน (Galactan) จากการย่อยของกรด และช่วยจัดโครงสร้างของสายกาแลคแทน เพื่อเพิ่มสมบัติการเกิดเจลของสารที่สกัดได้ เทคนิคการ สกัด คาร์ราจีแนนนี้ มีกรรมวิธีที่ใช้กันโดยทั่วไป 3 วิธี คือ

ก. การตกตะกอนด้วยแอลกอฮอล์ มีขั้นตอนดังนี้

1) การสกัด (Extraction) สาหร่ายนี้ถูกคัดเลือกไว้จะต้องนำไปล้างเพื่อเอา สิ่งแปลกปลอมออกก่อน จากนั้นคาร์ราจีแนนจะถูกสกัดออกมาจากสาหร่ายด้วยสาร ละลายต่างเจือ จาง การสกัดจะใช้เวลา 1-24 ชั่วโมงจึงจะสมบูรณ์

2) การทำให้บริสุทธิ์ (Purification) สาหร่ายส่วนที่เหลือถูกแยกออกจาก ส่วนที่สกัดได้โดยใช้การหมุนเหวี่ยง (Centrifugation) หรือการกรอง (Filtration) และส่วนที่สกัดได้ จะถูกนำไปทำให้บริสุทธิ์ โดยการกรอง ได้สารละลายคาร์ราจีแนนร้อยละ 1-2

3) การทำให้เข้มข้น (Concentration) โดยใช้เครื่องระเหยในระบบที่เป็น สูญญากาศได้คาร์ราจีแนนเข้มข้นร้อยละ 2-3

4) การตกตะกอน (Precipitation) คาร์ราจีแนนที่ได้ถูกทำให้เกิดการ ตกตะกอนจากสารละลายโดยการเติมไอโซโพรพิลแอลกอฮอล์ (Isopropyl alcohol) ทำให้เกิดเป็น เส้นใยที่ตกตะกอน (Fibrous coagulum) แยกออกมา

5) การทำแห้ง (Drying) คาร์ราจีแนนที่ได้จะถูกทำแห้ง ก่อนนำไปบดให้มีขนาดอนุภาคตามต้องการ

ข. วิธีแช่เยือกแข็งและระเหยน้ำออกอย่างรวดเร็ว (Freeze thaw)

- 1) นำคาร์ราจีแนนที่ได้จากขั้นตอนการตกตะกอน มาผ่านในกระบวนการแช่แข็ง
- 2) ทำการระเหยเอาน้ำออก นำไปทำแห้ง
- 3) นำไปบด

ค. วิธีการรีดเจล (Gel press)

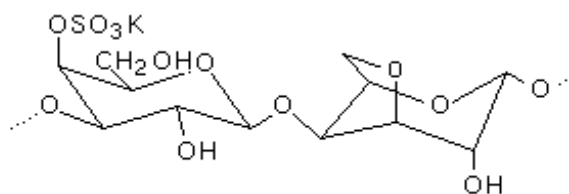
- 1) นำคาร์ราจีแนนที่ได้จากขั้นตอนการตกตะกอนดังกล่าวมาผ่านสารโปแตสเซียมคลอไรด์ที่เย็น ทำให้เกิดเจล
- 2) นำมาอัดเอาน้ำออกโดยใช้ความดัน
- 3) นำไปทำแห้ง แล้วจึงไปบด

4.2.2 โครงสร้างของคาร์ราจีแนน

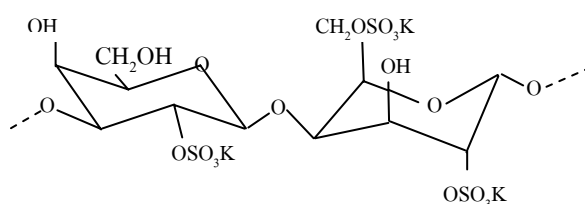
คาร์ราจีแนนทั้งสามชนิดจะมีองค์ประกอบที่เป็นน้ำตาลกาแลคโตสที่ถูกเอสเตอรีไฟด์ด้วยกรดซัลฟูริกที่ตำแหน่งและระดับต่างๆ กัน แคลปโป-คาร์ราจีแนนเป็นกาแลคโตส-4-ซัลเฟต (Galactose-4-sulfate) ที่ต่อกันด้วยพันธะ 1-3 และต่อกับ 3,6-แอนไฮโดรดีกาแลคโตส (3,6-anhydro-D-galactose) ด้วยพันธะ 1-4 ในโมเลกุลของ 3,6-แอนไฮโดรดีกาแลคโตส คาร์บอนตำแหน่งที่ 2 จะถูกเอสเตอรีไฟด์ด้วย หมู่ซัลเฟตประมาณร้อยละ 20-30 และบางส่วนของพันธะ 1-4 อาจเป็นกาแลคโตส-6-ซัลเฟต (Galactose-6-sulfate) แทน 3,6-แอนไฮโดรดีกาแลคโตส

แคลปโป-คาร์ราจีแนนมีความไวต่อโปแตสเซียม และสามารถตกตะกอนแยกออกจากคาร์ราจีแนนชนิดอื่นได้ โดยใช้โปแตสเซียมคลอไรด์ ส่วนในโครงสร้างโมเลกุลของ

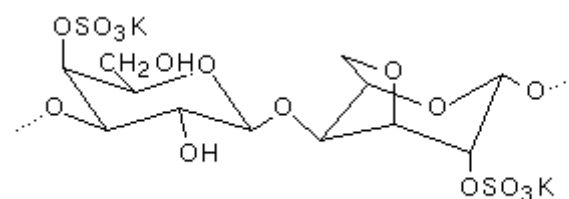
แลมดา- คาร์ราจีแนน ประกอบด้วย กาแลคโตส-2-ซัลเฟต ต่อกันด้วยพันธะ 1-3 และต่อกับหมู่
 กาแลคโตส-2,6-ไดซัลเฟต (Galactose-2,6-disulfate) ด้วยพันธะ 1-4 บางครั้งพันธะ 1-3 อาจต่อกับ
 กาแลคโตสก็ได้ แลมดา-คาร์ราจีแนนไม่ไวต่อโปแตสเซียม ส่วนไอโอตา-คาร์ราจีแนนที่มีความไว
 ต่อแคลเซียม สกัดได้จากสาหร่าย (*Eucheuma spinosum*) ในโมเลกุลประกอบด้วยกาแลคโตส-4-
 ซัลเฟต ต่อกันด้วยพันธะ 1-3 และมี 3,6-แอนไฮโดรดีกาแลคโตส-2-ซัลเฟต (3,6- anhydro-D-
 galactose-2-sulfate) มาต่อพันธะ 1-4 และบางครั้งพันธะ 1-4 อาจมีหมู่ซัลเฟตอยู่ที่คาร์บอน
 ตำแหน่งที่ 5 ก็ได้



(1)



(2)



(3)

ภาพที่ 3 แสดงโครงสร้างของคาร์ราจีแนน (1) แคลปป์-คาร์ราจีแนน (2) แลมดา-คาร์ราจีแนน
 (3) ไอโอตา-คาร์ราจีแนน

ที่มา: Thomas (1992)

4.2.3 สมบัติของคาร์ราจีแนน

สมบัติของคาร์ราจีแนนขึ้นอยู่กับประจุลบของหมู่ซัลเฟตที่อยู่ในโมเลกุลที่เป็นสำคัญ และยังคงแตกต่างกันในแต่ละชนิดของคาร์ราจีแนนด้วย ทำให้มีสมบัติที่เด่นในการเกิดปฏิกิริยากับโปรตีน ดังนั้นคาร์ราจีแนนสามารถนำไปใช้ประโยชน์กับอาหารประเภทที่มีน้ำนมเป็นส่วนประกอบได้

ก. การละลาย

คาร์ราจีแนนทุกชนิดสามารถละลายได้ในน้ำ ไอโอตาและแคปป์ลา-คาร์ราจีแนนที่เป็นเกลือโซเดียมสามารถละลายได้ในน้ำเย็น ขณะที่เกลือชนิดอื่นไม่สามารถทำให้เกิดการละลายอย่างสมบูรณ์ แต่การพองตัวของคาร์ราจีแนนยังขึ้นอยู่กับปัจจัยอื่น ได้แก่ ชนิดและระดับของไอออนบวกที่มีอยู่ และความหนาแน่นของอนุภาคของคาร์ราจีแนน

ไอโอตาและแคปป์ลา-คาร์ราจีแนน สามารถละลายได้ที่อุณหภูมิสูงกว่า 70°C ส่วนแลมดาคาร์ราจีแนนสามารถละลายได้ดีในน้ำเย็น แม้ว่าจะไม่มีไอออนบวกอยู่ก็ตาม ไอโอตาคาร์ราจีแนนมีความไวต่อแคลเซียมไอออนสามารถกระจายตัวขณะเย็น ทำให้มีลักษณะเป็นเจลเหลว (Thixotropic) ดังนั้นจึงทำหน้าที่เป็นสารแขวนลอยได้ ผลจากโปแตสเซียมไอออนก็จะคล้ายๆ กัน ถ้าใช้ความเข้มข้นมากพอ

คาร์ราจีแนนทุกชนิดสามารถละลายได้ในนมร้อน ส่วนในแลมดาคาร์ราจีแนน สามารถละลายได้ในนมเย็น แต่อาจถูกใช้เป็นสารให้ความข้นหนืดหรือสารทำให้เกิดเจลได้ คาร์ราจีแนนละลายได้ดีและมีความคงตัวที่มีค่าความเป็นกรด-เบสสูงกว่า 7 ถ้าความเป็นกรด-เบสต่ำกว่า 7 ความคงตัวจะลดลง โดยเฉพาะเมื่ออุณหภูมิสูงขึ้น ส่วนในสถานะที่มีน้ำตาลความเข้มข้นสูงปนอยู่ในสารละลายด้วย ทั้งแคปป์ลาและแลมดา คาร์ราจีแนนจะยังละลายได้ดี เมื่อได้รับความร้อนเพียงพอ แต่ ไอโอตาคาร์ราจีแนนจะละลายหรือกระจายตัวได้น้อยกว่าสองชนิดแรก

ข. ความหนืด

คาร์ราจีแนนได้ถูกนำไปใช้เป็นการให้ความข้นหนืดร่วมกับสารให้ความข้นหนืดชนิดอื่นๆ เช่น สตาร์ช และกัม เมื่อคาร์ราจีแนนถูกทำให้เย็นความหนืดจะเพิ่มขึ้นจนกระทั่งถึงอุณหภูมิที่เกิดเจล เมื่อพิจารณาสมบัติด้านการไหลของคาร์ราจีแนนซึ่งเป็นสิ่งจำเป็นในการชี้ถึงความแตกต่างในระหว่างสถานะสารละลายกับสถานะเจล การเปลี่ยนสถานะจากสารละลายไปเป็น เจลขึ้นอยู่กับชนิดของคาร์ราจีแนนและความเข้มข้นของไอออนบวก การวัดค่าความหนืดต้องวัดที่อุณหภูมิสูงเพียงพอ เช่น 75°C เพื่อหลีกเลี่ยงการเกิดเจล ความเข้มข้นของคาร์ราจีแนนโดยปกติที่ใช้คือ ร้อยละ 1.5 (น้ำหนักต่อน้ำหนัก) ในกรณีนี้คาร์ราจีแนนทั้ง 3 ชนิดที่สามารถและไม่สามารเกิดเจลอาจถูกนำมาเปรียบเทียบกับสารไฮโดรคอลลอยด์ชนิดอื่นๆ คาร์ราจีแนนที่สามารถละลายน้ำได้ในน้ำเย็นมักใช้ที่ความเข้มข้นร้อยละ 1 ในน้ำที่อุณหภูมิห้องและการวัดค่าความหนืดจะทำที่อุณหภูมิ 25°C

ค. สมบัติการเกิดเจล

คาร์ราจีแนนแต่ละชนิดมีสมบัติในการเกิดเจลแตกต่างกัน สำหรับ แคปปาและไอโอตา คาร์ราจีแนน จะเกิดแบบผันกลับได้ด้วยความร้อน (Thermo-reversible gel) โดยมีกลไกการเกิดเป็นพอลิเมอร์เกลียว 2 ชั้น (Double-helix carrageenan polymers) และชนิดแลมดา-คาร์ราจีแนนไม่สามารถเกิดเจลได้

การเติมโลหะไอออนลงในเจลจะมีผลต่อการเกิดเจล เช่น เจลของแคปปา-คาร์ราจีแนน เมื่อเติมโปแตสเซียมไอออนจะเกิดเจลที่มีความยืดหยุ่น แต่ถ้าเติมแคลเซียมไอออนจะเกิดเจลที่มีเนื้อแข็งทำให้เกิดรูปทรงได้ง่าย ตรงข้ามกับ ไอโอตาคาร์ราจีแนน เมื่อสารเติมแคลเซียมไอออนจะเกิดเจลที่มีความยืดหยุ่น สมบัติที่สำคัญของคาร์ราจีแนนทั้งสามชนิด และสมบัติของสารแคปปาและไอโอตาคาร์ราจีแนนในระบบการเกิดเจล แสดงดังตารางที่ 7 และ 8 ตามลำดับ

ตารางที่ 7 การเปรียบเทียบสมบัติของคาร์ราจีแนนแต่ละชนิด

สมบัติ	แคปปาการ์ราจีแนน	แลมดาคาร์ราจีแนน	ไอโอตาคาร์ราจีแนน
- ปริมาณซัลเฟต	25%	35%	32%
- หมู่ 3,6-anhydro	28%	0%	30%
- ผลของไอออนบวก	เกิดเจลกับ K^+	ไม่เกิดเจล	เกิดเจลกับ Ca^{2+}
- ชนิดของเจล	เปราะและเกิด Syneresis คีนกลับด้วย ความร้อน	ไม่เกิดเจล	ยืดหยุ่นและไม่เกิด Syneresis คีนกลับด้วย ความร้อน
- การละลายในน้ำเย็น	พองตัวได้ดี	ละลายได้	Thixotropic dispersions กับ Ca^{+2}
- การละลายในสารละลายน้ำตาล	ละลายในสารละลายร้อน	ละลายในสารละลายร้อน	ละลายได้ยาก
- การละลายในน้ำนม	ไม่ละลาย	เกิดเจล	ไม่ละลาย
- เมื่อเติม $Na_4P_2O_7$	ความหนืดเพิ่มขึ้นหรืออาจเกิดเจล	เพิ่มความหนืดและเกิดเจลดีขึ้น	ความหนืดเพิ่มขึ้นหรืออาจเกิดเจล

ที่มา : Graham (1978)

ตารางที่ 8 การเปรียบเทียบสมบัติของแคปปาและไอโอตาคาร์ราจีแนน ในระบบการเกิดเจล

แคปปาคาร์ราจีแนน	ไอโอตาคาร์ราจีแนน
ละลายในน้ำร้อน	ละลายในน้ำร้อน
เนื้อเจลใส	เนื้อเจลใส
เนื้อเจลเปราะ	เนื้อเจลยืดหยุ่น
แข็งและมีรูปทรง	อ่อนนุ่ม
ไม่คงตัวต่อ Freeze-thaw	คงตัวต่อ Freeze-thaw
เกิด Syneresis มาก	ไม่เกิด Syneresis
ต้องการ โปแตสเซียมในการเกิดเจล	ต้องการแคลเซียมในการเกิดเจล
Heat-reversible	Heat-reversible
เกิดเป็นเจลที่อุณหภูมิห้อง	เกิดเป็นเจลที่อุณหภูมิห้อง
มีความคงตัวดี	มีความคงตัวดี
ทำปฏิกิริยากับ โปรตีน	ทำปฏิกิริยากับ โปรตีน

ที่มา : Graham (1978)

4.2 แป้งบุก (Konjac)

ในหลายประเทศมีการผลิตแป้งบุก โดยเฉพาะประเทศญี่ปุ่นได้มีการผลิตแป้งจากบุกเพื่อทำอาหารเข้ามาช้านานแล้ว และเรียกแป้งที่ผลิตได้นี้ว่า แป้งคอนยัค (Konjac flour) ส่วนในประเทศสหรัฐอเมริกาเริ่มนำแป้งคอนยัคมาใช้เป็นสารปรุงแต่งอาหาร (Food ingredient) ในอาหารหลายๆ ชนิด เมื่อประมาณปีค.ศ. 1900 แป้งบุกได้รับการตรวจสอบแล้วว่ามีความปลอดภัย สามารถใช้ในผลิตภัณฑ์อาหารได้ (Tye, 1991) ในประเทศไทยเริ่มมีการศึกษาการผลิตและการใช้ประโยชน์จากบุก โดยพันธุ์ที่พบและมีปริมาณกลูโคแมนแนนอยู่สูงคือพันธุ์เนื้อทราย (*A. oncophyllus*)

เมล็ดแป้งบุกมีลักษณะค่อนข้างกลม มีขนาด 100-500 ไมครอน และมีสีแตกต่างกันไป ขึ้นกับพันธุ์และวิธีการผลิต เช่น มีสีค่อนข้างขาว มีสีขาวออกเหลือง และมีสีขาวออกน้ำตาลอ่อนๆ เป็นต้นองค์ประกอบที่สามารถพบในแป้งบุกมาก คือ กลูโคแมนแนน ซึ่งเป็นสารประเภทคาร์โบไฮเดรตที่ประกอบด้วย แมนโนสและกลูโคสในอัตราส่วน 3:2 เชื่อมต่อกันด้วยพันธะเบต้า

1,4 ไกลโคซิดิก มีน้ำหนักโมเลกุลมากกว่า 300,000 และมีหมู่อะเซทิลกระจายอยู่ทั่วไปบนสายโมเลกุลของกลูโคแมนแนนซึ่งมีผลต่อการละลายน้ำ (Tye, 1991) เมื่อนำแป้งชนิดนี้มาผสมเพื่อละลายน้ำจะได้สารละลายข้นหนืดและสามารถเกิดเจลได้เมื่อใช้ร่วมกับสารละลายต่างหรือไฮโดรคอลลอยด์บางชนิด เช่น แชนแทนกัม และคาร์ราจีแนน เป็นต้น

4.2.1 การผลิตแป้งบุก

โดยทั่วไปหัวบุกสดมีน้ำประมาณร้อยละ 80-90 และส่วนที่เป็นของแข็งร้อยละ 10-20 ซึ่งในส่วนที่เป็นของแข็งประกอบด้วย อนุภาคที่มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางยาวประมาณ 2×10^{-2} มิลลิเมตร ประมาณร้อยละ 60-80 โดยส่วนใหญ่เป็นกลูโคแมนแนน และส่วนที่มีอนุภาคเส้นผ่านศูนย์กลางน้อยกว่า 1×10^{-2} มิลลิเมตร ประมาณร้อยละ 20-40 โดยอนุภาคส่วนหลังนี้จัดเป็นสารที่มีการเจือปน (Tachiko component) ที่จำเป็นต้องกำจัดออกซึ่งได้แก่ สตาร์ช, โพรตีน และเป็นสารที่มีการระคายเคือง (Irritant) เป็นต้น

วิธีการผลิตแป้งบุก สามารถแบ่งได้เป็น 2 วิธี

ก. การผลิตแบบแห้ง (Traditional method)

โดยบดแผ่นบุกแห้งที่มีความหนา 5 มิลลิเมตร ความชื้นร้อยละ 15 ด้วยเครื่อง Stamp mill นำส่วนที่บดได้มาแยกออกจากสารที่มีการเจือปน โดยใช้การแยกเป่าด้วยลม (Air classification) ผลผลิตที่ได้จากวิธีนี้ค่อนข้างต่ำ เนื่องจากเกิดการสูญเสียแป้งบุกไปบางส่วนในกระบวนการเป่าแยกด้วยลม นอกจากนั้นแผ่นบุกแห้งยังมีความแข็งมากทำให้ไม่สะดวกต่อการแยกอนุภาค

ข. การผลิตแบบเปียก (Improved wet method)

โดยบดหัวบุกในตัวทำละลายอินทรีย์ที่ละลายน้ำได้ (Water-miscible organic solvent) เช่น เอทิลแอลกอฮอล์ ที่เติมโซเดียมซัลไฟด์ เพื่อป้องกันการเปลี่ยนแปลงสี ร่อนผ่านตะแกรงขนาด 100-200 เมช ล้างส่วนที่เป็นแป้งบุก ด้วยสารละลายข้างต้นจนกว่าจะได้แป้งที่มีสีค่อนข้างขาว หรือ ถ้าเป็นการผลิตในระดับอุตสาหกรรมจะมีการใช้เครื่องมือบางอย่างเพื่อเพิ่ม

ประสิทธิภาพการผลิต ได้แก่ เครื่องบด (Hammer mill), เครื่องหมุนเหวี่ยง (centrifugal settling machine polisher) และ ถังตกตะกอน (differential specific gravity settling tank) มีระบบการนำเอริลแอลกอฮอล์กลับมาใช้ใหม่ได้อีก

4.2.2 สมบัติบางประการของแป้งบุก

แป้งบุกมีสมบัติหลายๆ ด้าน ทั้งนี้ขึ้นกับจุดประสงค์ของการเลือกใช้และลักษณะของผลิตภัณฑ์ โดยมีสมบัติสำคัญบางประการ ได้แก่

ก. เพิ่มความข้นหนืด (Water thickening)

เมื่อนำแป้งบุกมาละลายน้ำ อนุภาคของแป้งจะดูดซับน้ำเข้าไว้ แล้วเกิดการพองตัว ทำให้ได้สารละลายที่มีความหนืดเพิ่มขึ้น ลักษณะของแป้งบุกจะเป็นแบบซูโดพลาสติก (Pseudoplastic) อัตราการดูดซับน้ำ (Hydration) จะขึ้นอยู่กับอุณหภูมิและเวลา โดยเมื่อเพิ่มอุณหภูมิจะมีผลทำให้อัตราการดูดซับน้ำเกิดขึ้นอย่างรวดเร็ว นอกจากนั้นการเพิ่มอัตราแรงเฉือนก็มีผลทำให้อัตราการดูดซับน้ำเพิ่มขึ้นด้วย

ข. การเกิดเจล (Gel formation)

การเกิดเจลของแป้งบุกเป็นเรื่องที่สำคัญ โดยทั่วไปแล้วเจลที่ได้จากพอลิแซคคาไรด์ทั่วไป เมื่อนำมาให้ความร้อนจนถึงอุณหภูมิหนึ่งๆ เจลจะแตกหรือเกิดการแยกตัวของโครงข่ายพอลิเมอร์ (Polymer network) ทำให้เสียความเป็นเจลไป ในสภาวะที่มีด่างอ่อนๆ เช่น โซเดียมคาร์บอเนต แป้งบุกจะให้เจลที่ทนต่อความร้อน (Thermal stability) ความแข็งแรงมาก และยังมีคงตัว แม้นำไปต้มในน้ำเดือด การให้ความร้อนซ้ำแก่เจลนั้นมีส่วนทำให้เจลมีความแข็งแรงและเสถียรภาพเพิ่มขึ้น การเกิดเจลของแป้งบุกสามารถแบ่งได้เป็น 2 ลักษณะคือ

1) การใส่เบสในการเกิดเจล

สารละลายเบสที่นิยมใช้ได้แก่ แคลเซียมไฮดรอกไซด์ และ โซเดียมคาร์บอเนต เจลที่ได้เป็นชนิดที่ไม่ผันกลับด้วยความร้อน (Thermal irreversible gel) แต่การใช้สารละลายด่างในการเกิดเจลนั้น อาจทำให้เกิดปัญหาบางประการ เช่น เจลที่ได้มีค่าความเป็น

กรด-เบสสูง มีกลิ่นต่างตกค้าง เกิดการสูญเสียน้ำได้ง่าย และขั้นตอนการเตรียมเจลค่อนข้างยากต้องอาศัยผู้ชำนาญพิเศษในการผสม นวด และขึ้นรูปผลิตภัณฑ์

2) การใช้ไฮโดรคอลลอยด์เพื่อช่วยในการเกิดเจล

2.1) การเกิดเจลเมื่อใช้ร่วมกับแคปลาการ์ราจีแนน โดยเจลที่ได้จะมีความยืดหยุ่น และผันกลับได้ด้วยความร้อน (Thermal reversible gel) อัตราส่วนของปริมาณการใช้แป้งร่วมกับแคปลาการ์ราจีแนนและกลูโคแมนแนนที่ให้เจลที่มีความแข็งแรงสูงอยู่ในช่วง 70:30 ถึง 50:50

2.2) การเกิดเจลใช้ร่วมกับแซนแทนกัม (Xanthan gum) การใช้แป้งร่วมกับแซนแทนกัมจะทำให้เกิดเจลได้ เจลที่ได้เป็นเจลที่ไม่ผันกลับได้ด้วยความร้อน มีความยืดหยุ่น และความแข็งแรงของเจลจะแตกต่างกันไปขึ้นอยู่กับอัตราส่วนระหว่างกลูโคแมนแนนและแซนแทนกัมในอัตราส่วนที่เหมาะสมเป็น 60:40 ถึง 50:50 (Tye, 1991)

ก. การเกิดฟิล์ม (film formation)

เมื่อสารละลายแป้งเกิดการสูญเสียน้ำ หรือนำไปทำให้แห้งฟิล์มที่ได้มีลักษณะเหนียว (Tough film) ซึ่งฟิล์มที่เกิดขึ้นนี้มีความเสถียรภาพทั้งในน้ำร้อน น้ำเย็น หรือในระบบที่เป็นกรดและด่างได้ดี และฟิล์มจะมีความคงตัวสูงแม้จะนำไปต้มในน้ำเดือดเป็นเวลาหลายชั่วโมงก็ตาม

ฟิล์มที่ได้จากแป้งจะมีลักษณะอ่อน (suppleness) และสามารถทำได้ทั้งฟิล์มในลักษณะโปร่งใส โปร่งแสง และทึบแสง ในการเพิ่มปริมาณของสารคงความชื้น (Humectant) เช่น กลีเซอริน มีผลทำให้ค่าแข็งแรงของฟิล์มลดลง แต่กลับมีผลทำให้ฟิล์มมีความอ่อนตัวลง และอัตราการแพร่ผ่านของน้ำ (Water permeability) เพิ่มขึ้น คุณลักษณะของฟิล์มขึ้นอยู่กับสารที่เติมแต่งลงไปว่าเป็นวัสดุแบบมีขั้ว (Hydrophilic material) หรือไม่มีขั้ว (Hydrophobic material) โดยอัตราการแพร่ผ่านของไอน้ำลดลง เมื่อใช้ สารแต่งเติมแบบไม่มีขั้ว (Hydrophobic substance) เช่น น้ำมันข้าวโพด

ง. ความหนืด (Viscosity)

เมื่อใช้แป้งนุกร่วมกับแป้ง หรือใช้ร่วมกับกัมชนิดอื่นๆ และสารให้ความคงตัว สามารถเพิ่มความข้นหนืดของผลิตภัณฑ์ โดยไม่ทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงในทางด้านกลิ่นรส แป้งนุกรวมมีผลให้ความข้นหนืดของแป้ง หรือไฮโดรคอลลอยด์ ที่ใช้ร่วมด้วยมีค่าเพิ่มขึ้นอย่างมาก รักษาความหนืดของระบบให้คงที่ทั้งในกระบวนการให้ความร้อนและการทำให้เย็น เช่น การใช้แป้งนุกร่วมกับสตาร์ช (Modified waxy maize starch) หรือ ใช้แป้งนุกร่วมกับแป้งข้าวโพด (Corn starch) เป็นต้น

4.2.3 การใช้ประโยชน์จากแป้งนุกรวม

ก. การใช้เป็นอาหารโดยตรง

ชาวญี่ปุ่นเป็นกลุ่มผู้บริโภคที่รู้จักผลิตภัณฑ์จากแป้งนุกรวมมานานแล้ว โดยนิยมนำแป้งนุกรวมมาผลิตเป็นเส้น (Vermicelli) หรือเป็นก้อน ผลิตภัณฑ์ดังกล่าวนิยมใช้ต่างเป็นตัวทำให้เจล ดังนั้นก่อนนำมารับประทานจึงควรด้วยน้ำสะอาดหลายๆ ครั้งจนกระทั่งความเป็นด่างหมดไป แล้วจึงนำมาลวกด้วยน้ำเดือดอีกครั้ง สะเด็ดน้ำให้แห้ง ก่อนนำไปรับประทานหรือปรุงเป็นอาหาร

ข. การใช้ในผลิตภัณฑ์อาหารต่างๆ

1) การใช้ในผลิตภัณฑ์ประเภทแฮมและเยลลี่

เนื่องจากแป้งนุกรวมมีสมบัติทำให้ข้นหนืดและสามารถเกิดเจลได้ เมื่อใช้ร่วมกับเบส หรือใช้กับสารไฮโดรคอลลอยด์บางชนิด เช่น แคปทาการราจีแนน หรือ สาร แซนแทนกัมทำให้มีการนำแป้งนุกรวมมาผลิตแฮมและเยลลี่ ซึ่งผลิตภัณฑ์ที่ได้จะมีลักษณะเนื้อสัมผัสของเจลแตกต่างกันไปขึ้นกับวิธีการที่ใช้ เมื่อใช้ร่วมกับด่างทำให้เกิดเจลทำให้เกิดปัญหา เช่น กลิ่นต่างตกค้าง และ ลักษณะของเจลที่ได้บางครั้งไม่เป็นที่ต้องการ การนำแป้งนุกรวมกับสารไฮโดรคอลลอยด์ในการผลิตแฮมและเยลลี่จึงเป็นวิธีที่นิยมใช้เนื่องจากสามารถแก้ปัญหาเรื่องกลิ่นของด่างได้ และสามารถที่จะผลิตเยลลี่ทั้งชนิดของเจลาติน (Gelatin type) และ ชนิดของเพกติน (Pectin type)

2) ผลกระทบที่แปรรูปจากเนื้อสัตว์

แป้งบุกสามารถใช้เพื่อลดปริมาณไขมัน และช่วยเพิ่มเส้นใยอาหารในผลิตภัณฑ์ให้มากขึ้น ผลิตภัณฑ์ที่ใช้แป้งบุกทดแทนไขมันได้รับการยอมรับทางประสาทสัมผัสทั้งทางด้านลักษณะเนื้อสัมผัส ลักษณะเนื้อสัมผัส ลักษณะปรากฏ และกลิ่นรส เป็นต้น

3) ผลกระทบที่แปรรูปที่ไม่เจด

แป้งบุกสามารถนำมาใช้เป็นสารให้ความหนืด และสารให้ความคงตัว ในผลิตภัณฑ์แปรรูปที่ไม่เกิดเจด โดยเฉพาะผลิตภัณฑ์ประเภทอิมัลชัน เช่น ไอศกรีม, วิปป์ ings ครีม, เมอแรง (Meringues) และ นม (Milk drink) เป็นต้น ในการผลิตไอศกรีมจะช่วยลดต้นทุนได้เป็นอย่างมาก เนื่องจากแป้งบุกมีราคาที่ถูกกว่า และยังสามารถใช้ในปริมาณที่น้อยกว่าได้อีกด้วย ผลิตภัณฑ์ที่ได้มีการยอมรับทางประสาทสัมผัสอยู่ในเกณฑ์ที่ผู้บริโภคยอมรับได้ นิยมใช้แป้งบุกประมาณร้อยละ 0.1-0.5 (น้ำหนักต่อน้ำหนัก)

4) ผลกระทบที่แปรรูปจากแป้ง

ผลิตภัณฑ์พาสต้า (Pasta product) เป็นผลิตภัณฑ์ที่มีเสถียรภาพของอายุ การเก็บแตกต่างกันไปขึ้นอยู่กับกระบวนการให้ความร้อนก่อนนำมาบริโภค ซึ่งบ่อยครั้งอาจเกิดปัญหาในเรื่องเนื้อสัมผัสหรือเกิดลักษณะที่ไม่ต้องการ ใช้แป้งบุกร่วมกับแป้งที่สามารถช่วยปรับปรุงลักษณะเนื้อสัมผัสให้ดีขึ้น และยังคงรักษาความรู้สึกในปาก (Mouthfeel) ของผลิตภัณฑ์หลังจากผ่านการนำไปให้ความร้อนหลายๆ ครั้ง (Tye, 1991) นอกจากนี้แป้งบุกยังนำมาใช้ทำเส้นก๋วยเตี๋ยวที่มีค่าพลังงานต่ำ (Low-calorie noodles) ซึ่งเส้นก๋วยเตี๋ยวที่ได้จะมีค่าที่ใช้ในการยอมรับทางประสาทสัมผัสอยู่ในเกณฑ์พอใช้ เนื่องจากการผลิตที่สภาวะต่างมีผลทำให้เส้นก๋วยเตี๋ยวที่ได้มีกลิ่นต่าง ตกค้างอย่างมาก และกำจัดออกได้ยาก

อุปกรณ์และวิธีการ

อุปกรณ์

1. วัสดุดิบ

กล้วยน้ำว้า จากสวนกล้วยในอำเภอภาษีเจริญ แขวงบางค้วน จังหวัดกรุงเทพมหานคร เก็บไว้ในห้องที่มีอุณหภูมิประมาณ 30°C

2. สารเคมี

2.1 เพกติน (Pectin) GENU pectin 150 USA-SAG ชนิด DC Slowset บริษัท CPkelco ค่า DE = 58

2.2 แป้งบุก (Konyak) บริษัท Union Chemical 1986

2.3 แคปปา-คาร์ราจีแนน (K-Carageenan) บริษัท Union Chemical 1986

2.4 กลีเซอรอล (Glycerol) J.T. Baker, (USA)

2.5 ซอร์บิทอล (Sorbitol) UNILAB, (Australia)

2.6 สารเคมีที่ใช้ศึกษาการดูดซับความชื้นที่อุณหภูมิคงที่

2.6.1 ลิเทียมคลอไรด์ ($\text{LiCl}\cdot\text{H}_2\text{O}$)	ความชื้นสัมพัทธ์ 11.3 %
2.6.2 โพแทสเซียมแอซีเตต (CH_3COOK)	ความชื้นสัมพัทธ์ 21.6 %
2.6.3 แมกนีเซียมคลอไรด์ ($\text{MgCl}_2\cdot\text{H}_2\text{O}$)	ความชื้นสัมพัทธ์ 32.4 %
2.6.4 โพแทสเซียมคาร์บอเนต ($\text{K}_2\text{CO}_3\cdot 2\text{H}_2\text{O}$)	ความชื้นสัมพัทธ์ 43.2 %
2.6.5 แมกนีเซียมไนเตรด (MgNO_3)	ความชื้นสัมพัทธ์ 51.4 %
2.6.6 โพแทสเซียมไอโอไดด์ (KI)	ความชื้นสัมพัทธ์ 67.9 %
2.6.7 โซเดียมคลอไรด์ (NaCl)	ความชื้นสัมพัทธ์ 75.1 %
2.6.8 โพแทสเซียมคลอไรด์ (KCl)	ความชื้นสัมพัทธ์ 83.6 %
2.6.9 โพแทสเซียมซัลเฟต (K_2SO_4)	ความชื้นสัมพัทธ์ 97.0 %
2.6.10 ซิลิกา เจล (Silica gel)	

3. อุปกรณ์ในการขึ้นรูปฟิล์ม

- 3.1 เครื่องมือตัดแปลงจากโครมาโตกราฟีแบบแผ่นบาง
- 3.2 แผ่นกระจกเบนเรียบ
- 3.3 ฟิล์มพอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นต่ำ

4. เครื่องมือ

- 4.1 เครื่องเหวี่ยงแยก (Centifuge, Dupont Sorvall RC plus)
- 4.2 กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (SEM, JEOL JSM-5600LV)
- 4.3 กล้องจุลทรรศน์แบบสามมิติ (Stereo Microscope, ZEISS stemi 2000c)
- 4.4 กล้องจุลทรรศน์สำหรับตรวจสอบงานด้านโลหะวิทยา และ วัสดุศาสตร์ (Inverted System Metallurgical Microscope, Olympus รุ่น GX71)
- 4.5 เครื่องวัดสี (Minolta CR300)
- 4.6 เครื่องวัดความแน่นเนื้อ (Testomer, Testometric-micro350)
- 4.7 เครื่องวัดความหนืดแบบ Brookfield (Brookfield model HB DV-II+)
- 4.8 เครื่อง Differential Scanning Calorimeter (Perkin Elmer, DSC7)
- 4.9 เครื่องสเปกโตรโฟโตมิเตอร์ (Spectrophotometer, Genesys 10 Series)
- 4.10 เครื่องวัดพีเอช (pH meter, Hanna HI 8424)
- 4.11 เครื่อง Hot plate and magnetic stirrer (SCHOTT model M6)
- 4.12 อ่างปรับอุณหภูมิ (Water bath, Mammert)
- 4.13 ตู้อบไฟฟ้าแบบควบคุมอุณหภูมิได้ (Contherm Series 5)
- 4.14 ตู้ปรับสถานะความชื้นและอุณหภูมิ (Binder)
- 4.15 เครื่องวัดความหนา (Thickness Tester model 49-72 TMI)
- 4.16 เครื่องทดสอบความต้านทานแรงดึงขาดและการยืดตัว (LLOYD, LRX plus)
- 4.17 เครื่องทดสอบค่าการซึมผ่านของก๊าซออกซิเจน (Illinois, Model 8500)
- 4.18 ถ้วยทดสอบหาค่าการซึมผ่านของไอน้ำ (WVTR cup)
- 4.19 ถ้วยหาความชื้น (Moisture can)
- 4.20 เครื่องวัดค่าวอเตอร์แอกทิวิตี (a_w analyzer, Novasina Sprint TH-500)
- 4.21 เครื่องชั่งละเอียด 2 ตำแหน่ง (Satorious model BP 2100S)

- 4.22 เครื่องชั่งละเอียด 4 ตำแหน่ง (Satorious model BP 110S)
- 4.23 เครื่องปั่นน้ำผลไม้ ยี่ห้อ Turbora
- 4.24 เครื่องเคเตอร์ (Desiccators)
- 4.25 ตะแกรงร่อนขนาด 45 เมช
- 4.26 เครื่องแก้วที่ใช้ในการทดลอง

วิธีการ

1. การศึกษาหาดัชนีระดับการสุกของกล้วยน้ำว้า

กล้วยที่ใช้ในการทดลองเป็นกล้วยพันธุ์น้ำว้า *musa (ABB group)* ซึ่งได้จากสวนเดียวกันในอำเภอ ภาษีเจริญ แขวงบางค้วน จังหวัดกรุงเทพมหานคร มีระยะเวลา 120 วันหลังจากตัดปลีออกชั้นแรก เก็บผลกล้วยไว้ที่อุณหภูมิห้อง เพื่อหาระยะเวลาที่กล้วยสุกงอมเต็มที่ โดยแบ่งระยะเวลาดังกล่าวเป็น 4 ช่วง และแสดงเป็นระดับการสุก 4 ระดับ

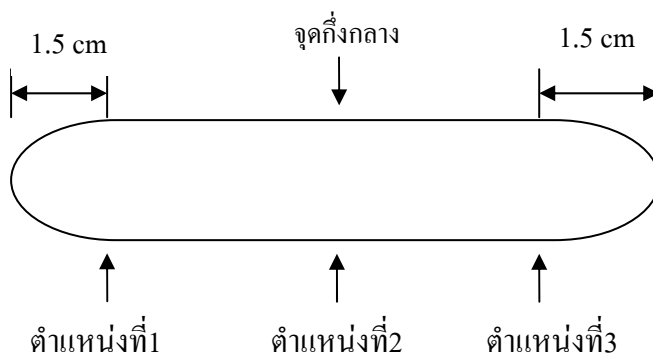
1.1 การเปลี่ยนแปลงทางกายภาพ

1.1.1 ลักษณะปรากฏของกล้วยน้ำว้า

1.1.2 วัดค่าสีเปลือกด้วยเครื่อง Minolta CR-300 (วิธีทดสอบแสดงในภาคผนวก ก ข้อที่ 4)

1.1.3 ความแน่นเนื้อของกล้วยโดยใช้เครื่อง Testometer

ดัดแปลงตามวิธีของ Pilar Cano *et al.*(1990) ใช้หัวกดรูปทรงกระบอกเบอร์ 3 พื้นผิวแบบตัด ความเร็ว 10 มิลลิเมตร/วินาที กดลงบนเนื้อกล้วยที่ปอกเปลือกผ่าครึ่งตามแนวยาว 3 ตำแหน่งดังภาพที่ 4 คือ 1.5 เซนติเมตรจากปลายผล กึ่งกลางผล และ 1.5 เซนติเมตรก่อนถึงขั้ว กดไปร้อยละ 50 ของความสูงกล้วย บันทึกค่าแรงที่ใช้ วัดค่าโดยการสุ่มทั้งหมด 10 ผลจากเครือเดียวกัน



ภาพที่ 4 ตำแหน่งที่กวดวัดค่าความแน่นเนื้อมบนหน้าตัดตามแนวอนของผลกล้วยน้ำว้า

1.2 การเปลี่ยนแปลงทางเคมี

1.2.1 ค่าความเป็นกรด-เบส

ดัดแปลงตามวิธีของ Pilar Cano *et al.* (1990) สุ่มกล้วยน้ำว้าจากเครือเดียวกัน จำนวน 5 ผล ปั่นเนื้อกล้วยรวมกันให้ละเอียด ใช้เนื้อกล้วย 20 กรัมกับน้ำกลั่น 60 มิลลิลิตร (เนื้อกล้วย: น้ำกลั่น = 1:3, dilution factor = 4) ปั่นด้วยเครื่องปั่น (Blender) แล้วนำไปกรองด้วยผ้าขาวบาง นำสารละลายส่วนใสมาวัดค่าความเป็นกรด-เบส 5 ชั่วโมงการวัดแต่ละค่า

1.2.2 ปริมาณของแข็งทั้งหมดที่ละลายได้ (Total soluble solid)

ดัดแปลงจากวิธีของ Pilar Cano *et al.* (1990) สุ่มกล้วยน้ำว้าจากเครือเดียวกัน จำนวน 5 ผล ปั่นเนื้อกล้วยรวมกันให้ละเอียด ใช้เนื้อกล้วย 20 กรัมกับน้ำกลั่น 60 มิลลิลิตร (เนื้อกล้วย: น้ำกลั่น = 1:3; dilution factor = 4) ด้วยเครื่องปั่น แล้วนำไปเหวี่ยงด้วยเครื่องเหวี่ยง (Centrifuge) ที่ความเร็ว 60 รอบต่อนาที เป็นเวลา 10 นาที นำสารละลายส่วนใสมหาปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำได้ทั้งหมดด้วย Hand Refractometer รายงานผลเป็นร้อยละของของแข็งที่ละลายได้โดยคูณค่าที่อ่านได้ด้วย 4 ทำการทดลอง 5 ชั่วโมงการวัดแต่ละค่า

1.2.3 ปริมาณสตาร์ช วิเคราะห์ตามวิธีของ Mc Cready *et al.* (1975) ในภาคผนวก ก

ข้อที่ 1

1.2.4 ปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์ (Reducing sugar) และน้ำตาลรวม (Total sugar) วิเคราะห์ตามวิธีของ Bernfeld (1995) ในภาคผนวก ก ข้อที่ 2

1.2.5 ปริมาณเพกติน (Pectin) วิเคราะห์ตามวิธีของ Ruck (1995) ในภาคผนวก ก ข้อที่ 3

1.2.6 ปริมาณกรด วิเคราะห์ตามวิธีของ A.O.A.C (1990) ในภาคผนวก ก ข้อที่ 5

2. ศึกษาการขึ้นรูปฟิล์มจากแป้งกล้วยน้ำว้าระดับการสุกที่ 1

2.1 การเตรียมแป้งจากกล้วยน้ำว้าดิบ

กล้วยน้ำว้าดิบที่ใช้ต้องมีอายุ 120 วันหลังจากการตัดปลี นำผลที่ตัดเป็นวันแรก จำนวน 6 หวี น้ำหนักประมาณ 3.6 กิโลกรัม มาล้างทั้งผลให้สะอาด แล้วนึ่งกล้วยด้วยไอน้ำเดือดเป็นเวลา 12 นาที จากนั้นแช่น้ำเย็นทันทีเพื่อลดอุณหภูมิให้เหลือประมาณ 37°C โดยใช้ น้ำแข็งเพื่อควบคุมอุณหภูมิให้คงที่ (เบญจพร, 2541) นำมาปอกเปลือก หั่นเป็นแว่นบางๆ จากนั้นอบให้แห้งที่อุณหภูมิ 50°C บดทำเป็นผงให้ละเอียดอีกครั้งด้วยเครื่องบด (Hammer mill) กรองด้วยตะแกรง 45 เมช และหาค่าปริมาณแป้งที่ได้หรือผลได้ (Yield) เป็นแป้งกล้วยพร้อมนำไปขึ้นรูปเป็นฟิล์ม วิเคราะห์สมบัติเบื้องต้นของแป้งที่ได้ดังนี้

2.1.1 ค่าความชื้น ตามวิธีวิเคราะห์ในภาคผนวก ก ข้อ 9

2.1.2 ตรวจสอบลักษณะเม็ดสตาร์ชของแป้งกล้วยด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (Scanning Electron Microscope; SEM) ตามวิธีวิเคราะห์ในภาคผนวก ก ข้อ 17

2.1.3 วิเคราะห์หาเอมิโลสและเอมิโลเพกติน ตามวิธีวิเคราะห์ในภาคผนวก ก ข้อที่

18

2.1.4 วิเคราะห์พฤติกรรมการเปลี่ยนแปลงของสตาร์ชกล้วยน้ำว้าขณะให้ความร้อนด้วยเครื่อง DSC ตามวิธีวิเคราะห์ในภาคผนวก ก ข้อ 19

2.2 การศึกษาหาความเข้มข้นของแป้งกล้วยน้ำว่าเพื่อขึ้นรูปฟิล์ม

นำแป้งกล้วยจากข้อ 2.1 มาผสมน้ำในอัตราส่วนที่แตกต่างกัน คือ ร้อยละ 4, 6, 8 และ 10 ให้ความร้อนอุณหภูมิประมาณ 80°C และคนให้เข้ากันเป็นเวลาประมาณ 10 นาที หรือจนกว่าสารละลายเกิดเจลขึ้น จากนั้นลดอุณหภูมิลงให้เหลือประมาณ 35°C โดยตั้งทิ้งไว้ที่อุณหภูมิห้อง แบ่งสารละลายเพื่อตรวจวัดความหนืดตามวิธีในภาคผนวก ก ข้อ 6 และขึ้นรูปฟิล์มตามวิธีของปนัดดา (2540) ในภาคผนวก ก ข้อ 7 แล้วอบที่อุณหภูมิประมาณ 45°C จนแห้งแล้วลอกออก

2.3 การปรับปรุงสมบัติฟิล์มแป้งกล้วยน้ำว่าด้วยพลาสติกไซเซอร์

จากการศึกษาในข้อ 2.2 จะได้อัตราส่วนของแป้งกล้วยกับน้ำที่เหมาะสม และนำมาปรับปรุงสมบัติโดยใช้พลาสติกไซเซอร์ 2 ชนิด เปรียบเทียบกันคือ กลีเซอรอล และ ซอร์บิทอล ในปริมาณที่แตกต่างกัน 9 ระดับคือ ร้อยละ 10, 20, 30, 40, 50, 60, 70, 80, 90 (โดยน้ำหนักต่อน้ำหนักแป้งกล้วย) จากนั้นให้ความร้อนและคนสารละลายให้เข้ากัน โดยใช้เครื่องให้ความร้อน (Hot plate and magnetic stirrer) จนถึงอุณหภูมิ 80°C แล้วควบคุมอุณหภูมิไว้เป็นเวลา 10 นาที หรือจนกว่าสารละลายจะเกิดเจล แบ่งสารละลายเพื่อตรวจวัดความหนืดตามวิธีในภาคผนวก ก ข้อ 6 จากนั้นขึ้นรูปตามวิธีของปนัดดา (2540) ในภาคผนวก ก ข้อ 7 แล้วอบฟิล์มไว้ที่อุณหภูมิ 45°C จนแห้งสนิท แล้วลอกฟิล์มออก นำฟิล์มที่ได้เก็บไว้ที่อุณหภูมิ $27 \pm 2^{\circ}\text{C}$ และความชื้นสัมพัทธ์ร้อยละ 65 ± 2 เป็นเวลา 24 ชั่วโมง ก่อนนำไปทดสอบทางการบรรจุ เพื่อหาความต้านทานแรงดึงขาดและการยืดตัวของฟิล์ม, ความหนา, a_w และค่าความชื้น เลือกชนิดและความเข้มข้นของพลาสติกไซเซอร์ที่เหมาะสมในการใช้ต่อไป

3. ศึกษาการขึ้นรูปฟิล์มจากพิวริกกล้วยน้ำว่าระดับการสุกที่ 2, 3 และ 4

3.1 การเตรียมพิวริกกล้วยน้ำว่าจากระดับการสุกที่ 2, 3 และ 4

นำกล้วยน้ำว่าที่มีระดับการสุกแตกต่างกัน คือ 2, 3 และ 4 มาล้างทั้งผลให้สะอาด ปอกเปลือก แล้วบดให้ละเอียดด้วยเครื่องปั่นเป็นเวลาประมาณ 10 นาที ได้เป็นพิวริกกล้วย นำไปใช้ขึ้นรูปทันที

3.2 การศึกษาหาความเข้มข้นของพิวรีกด้วยน้ำว่าที่เหมาะสมในการขึ้นรูป

นำพิวรีกด้วยที่ได้จากข้อ 3.1 มาผสมกับน้ำในอัตราส่วนที่แตกต่างกัน คือ ร้อยละ 30, 40, 50 และ 60 คนสารละลายให้เข้ากันก่อนให้ความร้อนในอ่างน้ำร้อน (Water bath) ที่อุณหภูมิประมาณ 80°C เป็นเวลาประมาณ 20 นาทีจนฟองอากาศลดน้อยลง จากนั้นลดอุณหภูมิลงให้เหลือประมาณ 35°C โดยตั้งทิ้งไว้ที่อุณหภูมิห้อง แบ่งสารละลายที่ได้เพื่อตรวจวัดความหนืดตามวิธีในภาคผนวก ก ข้อ 6 ขึ้นรูปตามวิธีของปนัดดา (2540) ในภาคผนวก ก ข้อ 7 แล้วอบที่อุณหภูมิประมาณ 45°C จนแห้งแล้วลอกออก

3.3 การขึ้นรูปฟิล์มจากพิวรีกด้วยน้ำว่า

ใช้พิวรีกด้วยความเข้มข้นร้อยละ 40 ตามวิธีการเตรียมในข้อ 3.2 โดยนำพิวรีกด้วยมาให้ความร้อนในอ่างน้ำร้อน (water bath) ที่อุณหภูมิ 80°C เพื่อไล่อากาศออกจนทำให้พิวรีเป็นเนื้อเดียวกัน ทิ้งไว้ที่อุณหภูมิห้องจนอุณหภูมิเหลือประมาณ 35°C แบ่งสารละลายเพื่อไปตรวจวัดความหนืด จากนั้นขึ้นรูปฟิล์ม โดยใช้เครื่องปาดฟิล์ม นำปริมาณพิวรีที่ใช้ 200 กรัม ไปขึ้นรูปตามวิธีของปนัดดา (2540) ในภาคผนวก ก ข้อ 7 นำไปอบด้วยตู้อบไฟฟ้าที่อุณหภูมิ 45°C ประมาณ 24 ชม. จนแผ่นฟิล์มแห้งสนิท แล้วลอกฟิล์มออก จากนั้นนำฟิล์มที่แห้งสนิทแล้วไปเก็บไว้ที่อุณหภูมิ $27 \pm 2^{\circ}\text{C}$ ความชื้นสัมพัทธ์ร้อยละ 65 ± 2 เป็นเวลา 24 ชั่วโมง ก่อนนำไปทดสอบสมบัติของฟิล์มต่อไป

3.4 การปรับปรุงสมบัติฟิล์มจากพิวรีกด้วยน้ำว่าระดับการสุกที่ 4

จากการศึกษาสถานะที่เหมาะสมในการขึ้นรูปในข้อ 3.2 พบว่ากด้วยน้ำว่าระดับการสุกที่ 4 ไม่สามารถลอกออกเป็นฟิล์มได้ จึงนำกด้วยน้ำว่าในระดับการสุกนี้ที่เป็นพิวรีจากข้อ 3.2 ซึ่งมีความเข้มข้นร้อยละ 40 เดิมสารปรับปรุงสมบัติที่บริโภคได้ แบ่งเป็น 4 ชนิด คือ แป้งกล้วย, เพกติน, คาราจีแนน และ แป้งบุก ให้สามารถขึ้นรูปเป็นฟิล์มได้ดังนี้

3.4.1 แป้งและพิวรีกด้วยที่เดิมสามารถคำนวณตามวิธีในภาคผนวก ก ข้อ 20 โดยมีปริมาณการใช้ดังนี้

- 3.4.1.1 แป้งกล้วย ปริมาณ 5.455 กรัมต่อน้ำหนักพิวรี 40 กรัม (เติมให้มียองค์ประกอบเท่ากับแป้งกล้วย ร้อยละ 8) เรียกสูตร F1
- 3.4.1.2 แป้งกล้วย ปริมาณ 10.67 กรัมต่อน้ำหนักพิวรี 40 กรัม (เติมให้มียองค์ประกอบเท่ากับกล้วยระดับการสุกที่ 2 ร้อยละ 40) เรียกสูตร F2
- 3.4.1.3 แป้งกล้วย ปริมาณ 3.306 กรัมต่อน้ำหนักพิวรี 40 กรัม (เติมให้มียองค์ประกอบเท่ากับพิวรีกล้วยระดับการสุกที่ 3 ร้อยละ 40) เรียกสูตร F3
- 3.4.1.4 กล้วยห่าม ปริมาณ 16.43 กรัมต่อน้ำหนักพิวรี 40 กรัม (เติมให้มียองค์ประกอบเท่ากับแป้งกล้วย ร้อยละ 8) เรียกสูตร P2F
- 3.4.1.5 กล้วยห่าม ปริมาณ 10.001 กรัมต่อน้ำหนักพิวรี 40 กรัม (เติมให้มีองค์ประกอบเท่ากับพิวรีกล้วยระดับการสุกที่ 3 ร้อยละ 40) เรียกสูตร P2P3

- 3.4.2 เพกติน ปริมาณร้อยละ 3, 4 และ 5 ของน้ำหนักพิวรี เรียกสูตร Pt3, Pt4 และ Pt5
- 3.4.3 คาร์ราจีแนนปริมาณร้อยละ 1, 2 และ 3 ของน้ำหนักพิวรี เรียกสูตร Ca1, Ca2 และ Ca3
- 3.4.4 แป้งบุก ปริมาณร้อยละ 0.5, 1 และ 1.5 ของน้ำหนักพิวรี เรียกสูตร K05, K10 และ K15

จากนั้นขึ้นรูปฟิล์มจากพิวรีกล้วยน้ำว้าระดับการสุกที่ 4 ที่เติมสารเพื่อปรับปรุงสมบัติ โดยใช้วิธีการขึ้นรูปตามข้อ 3.3

4. การทดสอบสมบัติของฟิล์มจากกล้วยน้ำว้า

นำฟิล์มที่ได้จากข้อ 2 และ 3 มาทำการทดสอบสมบัติเบื้องต้นทางการบรรจุ ดังนี้ (วิธีการทดสอบแสดงในภาคผนวก ก ข้อ 8, 9, 10 และ 11)

- 4.1 วัดความหนาของฟิล์ม
- 4.2 วัดค่าความชื้น
- 4.3 วัดค่าวอเตอร์แอกทิวิตี (a_w)

4.4 ทดสอบค่าความต้านทานแรงดึงขาด และ การยืดตัวของฟิล์ม

โดยเลือกฟิล์มที่มีสมบัติที่ดี จากการทดสอบในข้อ 4.1-4.4 มาทดสอบสมบัติทางด้านการบรรจุเมื่อนำฟิล์มบริโกลด์ไปใช้งานดังนี้

4.5 ทดสอบการซึมน้ำ (Cobb Test) ตามมาตรฐาน ISO 535-1991 [E] (ภาคผนวก ก ข้อ 12)

4.6 ทดสอบค่าความสามารถในการซึมผ่านของก๊าซออกซิเจน ตามมาตรฐาน ASTM D1434-82 (ภาคผนวก ก ข้อ 13)

4.7 ทดสอบค่าความสามารถในการป้องกันการซึมผ่านของไอน้ำ ตามมาตรฐาน ASTM E96-93 (ภาคผนวก ก ข้อ 14)

4.8 ทดสอบการต้านไขมันและน้ำมันตัดแปลงจากมาตรฐาน TAPPI T454 os-77 และมอก. 654-2529 (ภาคผนวก ก ข้อ 15)

4.9 ทดสอบการดูดซับความชื้นที่อุณหภูมิคงที่ (Moisture Sorption Isotherm) ตามวิธีการของ Spiess and Wolf, 1987 (ภาคผนวก ก ข้อ 16)

5. การนำฟิล์มไปประยุกต์

เลือกฟิล์มบริโกลด์ได้จากผลการทดลอง โดยใช้ผลการทดสอบฟิล์มทางการบรรจุที่ได้ มาประเมินสมบัติของฟิล์มที่เหมาะสมแก่การใช้งานอย่างเหมาะสม เนื่องจากฟิล์มที่เลือกนั้นมีความหนืดและแข็งตัวได้พอเหมาะ จึงเลือกที่จะนำฟิล์มไปเคลือบบนไข่เค็มที่ต้มสุกแล้ว เพื่อปิดรูพรุนของไข่เค็ม โดยนำไปส่องกล้องจุลทรรศน์แบบสามมิติ ตามวิธีการดังภาคผนวก ก ข้อ 21 เพื่อดูพื้นผิวของฟิล์ม ถ้ามีการปิดรูพรุนของไข่ จะสามารถใช้ฟิล์มนี้ช่วยยืดอายุการเก็บของไข่เค็มต้มสุกต่อไปได้

6. การวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติ

ใช้แผนการทดลองแบบสุ่มตลอด (Complete Randomized Design, CRD) วิเคราะห์ผลการทดลองด้วยโปรแกรม SPSS for Windows version 11.0 โดยวิเคราะห์หาความแปรปรวน (Analysis of Variance, ANOVA) และเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยด้วยวิธี Duncan Multiple Range Test (DMRT) ที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 (พอลใจ, 2534)

7. สถานที่ทำการทดลอง

ห้องปฏิบัติการของภาควิชาเทคโนโลยีการบรรจุ คณะอุตสาหกรรมเกษตร มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ วิทยาเขตบางเขน

ห้องปฏิบัติการของภาควิชาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีการอาหาร คณะอุตสาหกรรมเกษตร มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ วิทยาเขตบางเขน

ห้องปฏิบัติการของกระบวนการแปรรูปอาหาร 2 คณะอุตสาหกรรมเกษตร มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ วิทยาเขตบางเขน

ห้องปฏิบัติการของศูนย์เครื่องมือวิจัยทางวิทยาศาสตร์กลาง มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ วิทยาเขตบางเขน

ห้องปฏิบัติการของศูนย์เครื่องมือวิจัยวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
ห้องเครื่องมือวิทยาศาสตร์กลางบางเขน สถาบันวิจัยและพัฒนาแห่งมหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ห้องปฏิบัติการสถาบันวิจัยวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งประเทศไทย จตุจักร กรุงเทพฯ

8. ระยะเวลาในการทดลอง

มิถุนายน 2548 ถึง กุมภาพันธ์ 2550

ผลและวิจารณ์

1. การศึกษาหาดัชนีระดับการสุกของกล้วยน้ำว้า

ในระหว่างการสุกของกล้วยน้ำว้าจะมีการเปลี่ยนแปลงองค์ประกอบทางเคมี ซึ่งจะมีผลต่อการนำไปขึ้นรูปฟิล์ม จึงมีการศึกษาหาการเปลี่ยนแปลงทางกายภาพและเคมี เพื่อกำหนดดัชนีระดับการสุกของกล้วยน้ำว้า และใช้ในการคัดเลือกวัตถุดิบในการกำหนดสูตรที่เหมาะสมต่อไป ในกรณีการศึกษานี้แบ่งระดับการสุกของกล้วยน้ำว้าในระยะเวลา 8 วัน แบ่งได้ชัดเจนเป็น 4 ระดับ ได้แก่ ระดับที่ 1 เป็นกล้วยดิบ, ระดับที่ 2 เป็นกล้วยห่าม, ระดับที่ 3 เป็นกล้วยสุก และระดับที่ 4 เป็นกล้วยงอม ดังภาพที่ 5 และพบว่าแต่ละระดับการสุกมีระยะห่าง 2 วัน และมีการเปลี่ยนแปลงดังนี้

1.1 การเปลี่ยนแปลงทางกายภาพ

1.1.1 ลักษณะปรากฏของกล้วยน้ำว้า

กล้วยน้ำว้าที่ทดลองสุกมาจากเครือเดียวกัน 5 หวี เก็บไว้ที่อุณหภูมิห้อง (ประมาณ 30°C) สังเกตการเปลี่ยนแปลงทางกายภาพที่ได้ พบว่ากล้วยน้ำว้าที่มีการเปลี่ยนแปลงทางกายภาพที่แตกต่างกันชัดเจนเป็น 4 ระดับ โดยแต่ละระดับมีระยะเวลาห่างกัน 2 วัน ดังตารางที่ 9

ตารางที่ 9 ลักษณะปรากฏของกล้วยน้ำว้าที่ระดับการสุกต่างๆ

ความสุก	ระดับการสุก	ลักษณะปรากฏของกล้วย
ดิบ	1	เปลือกสีเขียว ผลแข็ง
ห่าม	2	เปลือกเปลี่ยนเป็นสีเขียวออกเหลืองมากขึ้นแต่มีสีเขียวมากกว่าสีเหลือง (สีเขียวประมาณร้อยละ 70 สีเหลืองประมาณร้อยละ 30)
สุก	3	เปลือกมีสีเหลืองทั้งผล มีกลิ่นหอม
งอม	4	เปลือกสีเหลืองเข้มขึ้นและเริ่มมีจุดสีน้ำตาลมากขึ้น ผลนิ่ม มีกลิ่นหอม



กล้วยดิบ: ระดับการสุกที่ 1



กล้วยห่าม: ระดับการสุกที่ 2



กล้วยสุก: ระดับการสุกที่ 3



กล้วยอม: ระดับการสุกที่ 4

ภาพที่ 5 กล้วยน้ำว้าที่ระดับการสุก 4 ระดับ

1.1.2 สีเปลือก

ในระหว่างการสุกของกล้วยน้ำว้าจะมีการเปลี่ยนแปลงสีเปลือกอย่างชัดเจน จึงมีการวัดค่าตามระบบสี CIE ($L^*a^*b^*$) เพื่อใช้เป็นดัชนีบอกระดับการสุกของกล้วยที่แม่นยำยิ่งขึ้น ผลการวัดสีของเปลือกกล้วยน้ำว้าที่ระดับการสุกทั้ง 4 ระดับ โดยวัดจากกล้วยน้ำว้า 10 ผล ผลละ 3 ตำแหน่ง มีค่าแสดงดังตารางที่ 10 พบว่าสีของเปลือกกล้วยน้ำว้าในแต่ละระดับการสุกมีค่าสีที่วัดได้แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ เมื่อพิจารณาค่าความสว่าง (L^*) พบว่า กล้วยน้ำว้าระดับที่ 1 มีค่าความสว่างต่ำที่สุด ในขณะที่ค่าความสว่างของกล้วยน้ำว้าระดับที่ 2 และ 3 ไม่แตกต่างกัน ส่วนค่าความสว่างของกล้วยน้ำว้าระดับที่ 4 มีค่าแตกต่างจากระดับอื่นอย่างมีนัยสำคัญ เนื่องจากสีเปลือกมีสีน้ำตาลและเกิดจุดสีน้ำตาลมากขึ้น

ตารางที่ 10 ค่าสีเปลือกกล้วยน้ำว้าที่ระดับการสุก 4 ระดับ

ระดับการสุก	L*	a*	b*
1	42.98c	-1.89c	17.79b
2	65.25a	1.37b	35.39a
3	66.06a	6.86a	36.76a
4	47.70b	7.39a	19.89b

หมายเหตุ: เปรียบเทียบค่าเฉลี่ย ($n = 10$) ด้วยวิธี DMRT โดยตัวอักษรที่ต่างกันในแนวตั้งแตกต่างกัน อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95

ดังนั้นการแยกความแตกต่างของระดับการสุกของกล้วยโดยใช้ค่าความสว่าง จะสามารถแยกกล้วยน้ำว้าระดับการสุกที่ 1 และ 2 หรือ กล้วยน้ำว้าระดับการสุกที่ 3 และ 4 ได้ แต่ไม่สามารถแยกกล้วยน้ำว้าระดับการสุกที่ 2 และ 3 ได้ ซึ่งค่า b^* (+b คือค่าสีเหลือง, -b คือค่าสีน้ำเงิน) ให้ผลในการทำงานเดียวกัน ในขณะที่ค่า a^* (+a คือค่าสีแดง, -a คือค่าสีเขียว) สามารถแบ่งแยกกล้วยน้ำว้าระดับการสุกที่ 1, 2 และ 3 ออกจากกันได้อย่างชัดเจน แต่ไม่สามารถแยกกล้วยน้ำว้าระดับการสุกที่ 3 และ 4 ได้ แต่เมื่อพิจารณาค่า L^* , a^* และ b^* ประกอบกันจะสามารถใช้แยกระดับการสุกได้ถูกต้องยิ่งขึ้น

1.1.3 ความแน่นเนื้อของกล้วยน้ำว้า

ในระหว่างการสุกของกล้วยน้ำว้าความแน่นเนื้อของกล้วยจะมีค่าลดลงตามระดับการสุกที่เพิ่มขึ้น จึงสามารถวัดค่าความแน่นเนื้อด้วยการกด วัดจากกล้วยน้ำว้า 10 ผล ผลละ 3 ตำแหน่ง มีค่าดังตารางที่ 11

ตารางที่ 11 ค่าเฉลี่ยความแน่นเนื้อของกล้วยน้ำว้าที่ระดับการสุก 4 ระดับ

ระดับการสุก	ค่าเฉลี่ยความแน่นเนื้อ (N)
1	24.7a
2	3.03b
3	1.05c
4	0.65c

หมายเหตุ: เปรียบเทียบค่าเฉลี่ย ($n = 10$) ด้วยวิธี DMRT โดยตัวอักษรที่ต่างกันในแนวตั้งแตกต่างกัน อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95

ความแน่นเนื้อของกล้วยน้ำว้าแสดงด้วยค่าแรงกดที่ทำให้หวักลงไปในเนื้อกล้วย เป็นระยะทางร้อยละ 50 ของความหนาของเนื้อกล้วยที่ผ่าครึ่ง พบว่าความแน่นเนื้อที่ได้มีแนวโน้มลดลง ตามระดับการสุกของกล้วยที่เพิ่มขึ้น เนื่องจากกล้วยน้ำว้าสุกเนื้อจะนิ่ม เป็นผลมาจากการเปลี่ยนแปลงของโมเลกุลของผนังเซลล์ที่เกิดการยึดติดกันอย่างหลวมๆ (Brandy, 1976) กล้วยน้ำว้าระดับการสุกที่ 1 เป็นกล้วยน้ำว้าดิบมีความแน่นเนื้อสูงสุด ส่วนกล้วยระดับการสุกอื่นมีค่าความแน่นเนื้อลดลงรองลงมาตามระดับการสุกที่เพิ่มขึ้น ดังตารางที่ 11 ดังนั้นการแบ่งแยกความแตกต่างของระดับการสุกของกล้วยโดยใช้ความแน่นเนื้อ จะสามารถแยกกล้วยน้ำว้าระดับการสุกที่ 1, 2 และ 3 แต่ไม่สามารถแยกกล้วยน้ำว้าระดับการสุกที่ 3 และ 4 ได้

1.2 การเปลี่ยนแปลงทางเคมี

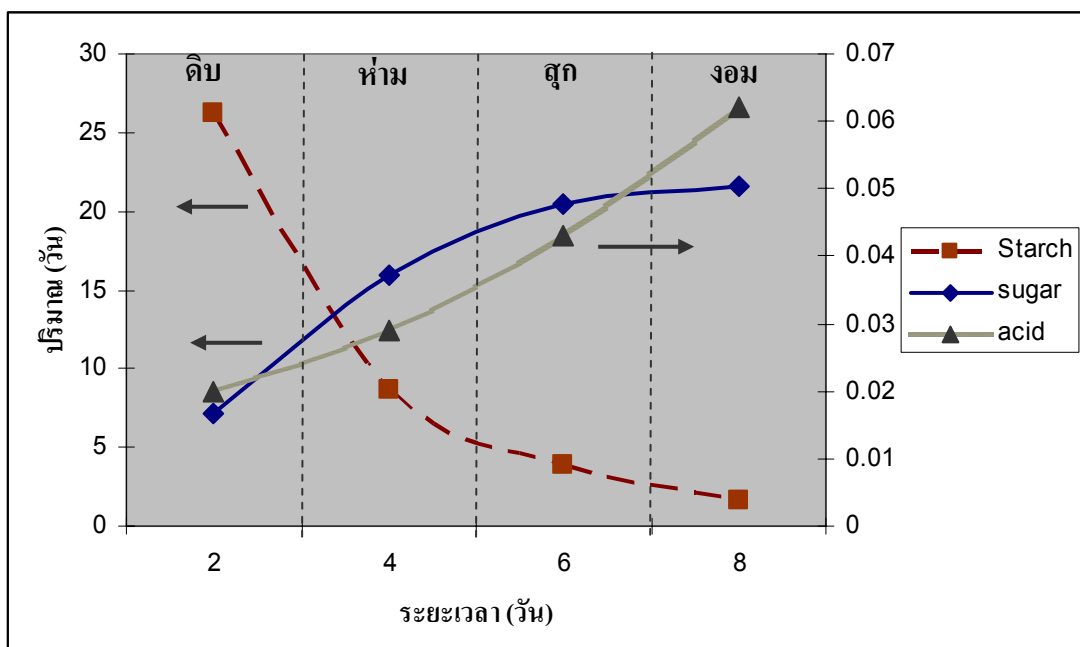
1.2.1 ค่าความเป็นกรด-เบส

เมื่อกล้วยน้ำว้าสุก ค่าความเป็นกรด-เบสมีแนวโน้มลดลง หรือมีความเป็นกรดมากขึ้น เนื่องจากกล้วยประกอบด้วยกรดหลายชนิด ได้แก่ กรดมาลิก ซึ่งเป็นกรดที่สามารถพบมากในกล้วย นอกจากนี้ยังมีกรดออกซาลิกและกรดซิตริก โดยกรดมาลิกนั้นจะมีปริมาณเพิ่มขึ้นในระหว่างการสุกของกล้วย ผลกล้วยมีการสะสมปริมาณกรดเพิ่มขึ้นตามอายุผล และจะเพิ่มจนถึงระดับสูงสุดขณะผลสุกเต็มที่ แม้ว่ากรดออกซาลิกจะถูกเมทาบอลไลต์ ทำให้มีปริมาณลดลง แต่ปริมาณกรดที่ได้โดยรวมเพิ่มขึ้น (Kotecha and Desai, 1995) ซึ่งสอดคล้องกับผลการทดลองดังแสดงในตารางที่ 12 กล้วยน้ำว้าระดับการสุกทั้ง 4 ระดับมีค่าความเป็นกรด-เบสแตกต่างกันอย่างมี

นัยสำคัญ โดยกล้วยระดับการสุกที่ 1 มีค่าความเป็นกรด-เบสสูงสุด และระดับการสุกที่ 4 มีค่าความเป็นกรด-เบสต่ำที่สุด ร้อยละ 3.85 ดังนั้นค่าความเป็นกรด-เบส สามารถแยกระยะการสุกของกล้วยน้ำว้าได้อย่างชัดเจนทั้ง 4 ระดับ

1.2.2 ปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำได้ (Total soluble solid)

ปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำได้ในกล้วยน้ำว้ามีแนวโน้มเพิ่มสูงขึ้น เนื่องจากในระหว่างกล้วยสุกมีการไฮโดรไลซ์แป้งเปลี่ยนเป็นน้ำตาล (Kotecha and Desai, 1995) น้ำตาลที่เป็นของแข็งที่สามารถละลายน้ำได้จึงทำให้มีปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำได้เพิ่มขึ้น พบว่ากล้วยน้ำว้าทั้ง 4 ระดับมีปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำได้แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ดังแสดงในตารางที่ 12 กล้วยน้ำว้าระดับที่ 1 มีปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำได้ต่ำสุด ร้อยละ 2.05 ส่วนกล้วยน้ำว้าระดับที่ 4 มีปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำได้สูงที่สุด ร้อยละ 12.04 ดังนั้นค่าของปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำได้สามารถแยกระดับการสุกของกล้วยน้ำว้าได้อย่างชัดเจนทุกระดับจากตารางที่ 12 สามารถสรุปความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณสตาร์ช, น้ำตาลรวมและกรดได้ดังภาพที่ 6



ภาพที่ 6 การเปลี่ยนแปลงปริมาณแป้ง น้ำตาลรวม และกรด ในกล้วยน้ำว้าที่ระดับความสุกต่างๆ

ตารางที่ 12 การเปลี่ยนแปลงทางเคมีของกล้วยน้ำว้าที่ระดับการสุกทั้ง 4 ระดับ

ระดับการสุก	ค่าความเป็นกรด-เบส	ปริมาณของแข็งทั้งหมดที่ละลายน้ำได้ (°Brix)	ปริมาณสตาร์ช (ร้อยละ)	ปริมาณน้ำตาลรีดิวิสต์ (ร้อยละ)	ปริมาณน้ำตาลรวม (ร้อยละ)	ปริมาณเพกติน (ร้อยละ)	ปริมาณกรดมาลิก (ร้อยละ)
1	6.33a	2.05d	26.26a ¹	6.09c ¹	7.20c ¹	3.76a ¹	0.020a ²
2	4.58b	7.18c	8.67b ²	14.61b ²	15.99b ²	1.46b ²	0.029b ²
3	4.40c	10.63b	3.84c ²	19.70a ²	20.52a ²	0.64c ²	0.043c ²
4	3.85d	12.04a	1.67d ²	20.19a ²	21.55a ²	0.28c ²	0.062d ²

¹ร้อยละต่อน้ำหนักเปลือกกล้วย

²ร้อยละต่อน้ำหนักกล้วยสด

หมายเหตุ: เปรียบเทียบค่าเฉลี่ย (n = 5) ด้วยวิธี DMRT โดยตัวอักษรที่ต่างกันในแนวตั้งแตกต่างกัน อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95

1.2.3 ปริมาณสตาร์ช

ปริมาณสตาร์ชมีปริมาณลดลง เมื่อกล้วยสุก ดังแสดงในภาพที่ 1 เนื่องจากการสูกแป้งจะถูกไฮโดรไลซ์ให้เป็นน้ำตาล และถูกนำไปใช้ในกระบวนการหายใจเหลือประมาณร้อยละ 2-5 (Koticha and Desai, 1995) ซึ่งสอดคล้องกับผลการทดลอง กล้วยระดับการสุกที่ 1 เป็นกลัยดิบมีแป้งเป็นส่วนใหญ่ จึงมีปริมาณสตาร์ชสูงสุดร้อยละ 26.26 ส่วนกล้วยน้ำว้าระดับที่ 4 มีปริมาณสตาร์ชต่ำที่สุดร้อยละ 1.67 ดังแสดงในตารางที่ 12 พบว่ากล้วยน้ำว้าทั้ง 4 ระดับ มีปริมาณสตาร์ชที่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ โดยปริมาณสตาร์ชมีแนวโน้มลดลงตามระดับการสุกที่เพิ่มขึ้น ดังนั้นปริมาณของสตาร์ชสามารถแยกระดับการสุกของกล้วยน้ำว้าได้อย่างชัดเจนทั้ง 4 ระดับ

1.2.4 ปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์ และน้ำตาลรวม

จากผลการวิเคราะห์ปริมาณสตาร์ชในกล้วยน้ำว้าที่มีระดับการสุกที่เพิ่มสูงขึ้น พบว่ามีแนวโน้มลดลง ในขณะที่เดียวกันปริมาณน้ำตาลมีแนวโน้มเพิ่มขึ้น ดังภาพที่ 1 ทำให้น้ำตาลสามารถใช้เป็นดัชนีในการวัดระดับการสุกของกล้วยน้ำว้าได้อีกทางหนึ่ง ซึ่งกล้วยน้ำว้าในระดับที่ 1 มีปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์ต่ำที่สุด ร้อยละ 6.09 เนื่องจากในระยะแรกกล้วยน้ำว้ามีปริมาณคาร์โบไฮเดรตที่ส่วนใหญ่เป็นแป้ง เนื่องจากยังไม่มีเปลี่ยนเป็นน้ำตาล ซึ่งสอดคล้องกับกล้วยคาววนดิชที่มีน้ำตาลอยู่ร้อยละ 1-2 (Koticha and Desai, 1995) เมื่อเปรียบเทียบกับกล้วยน้ำว้าระดับการสุกที่ 1 มีปริมาณน้ำตาลสูงกว่าถึงร้อยละ 6 แต่ปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์มีแนวโน้มเพิ่มขึ้นตามระดับการสุก ทำให้อายุระดับที่ 4 มีปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์สูงที่สุดคือ ร้อยละ 20.19 ดังแสดงในตารางที่ 12 ดังนั้นการแยกระดับการสุกโดยใช้น้ำตาลรีดิวซ์เป็นดัชนีวัดสามารถแยกกล้วยน้ำว้าระดับการสุกที่ 1, 2 และ 3 ออกจากกันอย่างชัดเจน แต่ไม่สามารถแยกกล้วยน้ำว้าระดับการสุกที่ 3 และ 4 ได้ ส่วนค่าปริมาณน้ำตาลรวม มีแนวโน้มเดียวกับน้ำตาลรีดิวซ์

1.2.5 ปริมาณเพกติน

ผลไม้ดิบมีสารประกอบเพกตินที่อยู่ในรูปของโปรโตเพกติน มีสมบัติไม่ละลายน้ำ แต่เมื่อผลไม้เริ่มสุก โปรโตเพกตินจะถูกเปลี่ยนเป็นเพกตินที่มีสมบัติละลายน้ำได้ จึงทำให้ค่าปริมาณเพกตินลดลงและทำให้เนื้อผลไม้อ่อนนุ่มลง (Fogarty and Ward, 1972) ปริมาณเพกตินที่ได้

ลดลงสามารถใช้เป็นดัชนีแยกระดับการสุกของกล้วยน้ำว้าได้ ดังแสดงในตารางที่ 12 กล้วยน้ำว้ามีปริมาณเพกตินลดลงตามระดับการสุก กล้วยระดับที่ 1 มีปริมาณเพกตินสูงสุด และ กล้วยระดับที่ 4 มีปริมาณเพกตินต่ำสุด การใช้ปริมาณเพกตินเป็นดัชนีแยกระดับการสุกของกล้วยน้ำว้าสามารถแยกกล้วยระดับการสุกที่ 1, 2 และ 3 ได้อย่างชัดเจน แต่ไม่สามารถแยกกล้วยระดับการสุกที่ 3 และ 4 ได้

1.2.6 ปริมาณกรด

กล้วยน้ำว้ามีปริมาณกรดเพิ่มขึ้นเมื่อสุก ซึ่งสอดคล้องกับผลการทดลองของค่าความเป็นกรด-เบสที่มีแนวโน้มลดลง ทำให้การวัดปริมาณกรดสามารถใช้เป็นดัชนีแยกระดับการสุกของกล้วยน้ำว้าได้อีกวิธีหนึ่ง เนื่องจากกล้วยประกอบด้วยกรดหลายชนิด โดยเฉพาะกรดมาลิก ซึ่งจะมีปริมาณเพิ่มขึ้นในระหว่างการสุกของกล้วย กล้วยมีการสะสมปริมาณกรด โดยเพิ่มขึ้นตามอายุผลและเพิ่มจนถึงระดับสูงสุดขณะผลสุก แม้ว่ากรดออกซาลิกจะถูกเมทาบอลไลต์ ทำให้มีค่ากรดปริมาณลดลง แต่ปริมาณกรดโดยรวมเพิ่มขึ้น (Kotecha and Desai, 1995) ซึ่งสอดคล้องกับผลการทดลองของกล้วยน้ำว้าระดับที่ 1 มีค่าปริมาณกรดต่ำสุด ส่วนกล้วยน้ำว้าระดับที่ 4 มีค่าปริมาณกรดสูงสุด ดังแสดงในตารางที่ 12 ดังนั้นค่าปริมาณกรด สามารถแยกระดับการสุกของกล้วยน้ำว้าได้อย่างชัดเจนทั้ง 4 ระดับ

การวิเคราะห์ผลการเปลี่ยนแปลงทางกายภาพและเคมีที่สามารถแยกระดับการสุกของกล้วยน้ำว้าได้อย่างชัดเจนทั้ง 4 ระดับ ได้แก่ การวัดค่าสี ค่าความเป็นกรด-เบส ปริมาณของแข็งทั้งหมดที่ละลายน้ำได้ ปริมาณสตาร์ช และปริมาณกรด แต่ละวิธีการมีการวิเคราะห์ที่แตกต่างกันทำให้มีข้อจำกัดในเรื่องของอุปกรณ์การวิเคราะห์ เวลาที่ใช้ทดสอบและวิธีการที่ค่อนข้างยุ่งยาก เมื่อมาพิจารณาความสะดวกรวดเร็วในทางปฏิบัติ การหาค่าความเป็นกรด-เบสเป็นวิธีการที่ดีที่สุดในการเลือกใช้เพื่อแยกระดับการสุกของกล้วยน้ำว้า ส่วนวิธีวิเคราะห์ที่เหลือ ได้แก่ การหาความแน่นเนื้อ ปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์ ปริมาณน้ำตาลรวม และ ปริมาณเพกติน สามารถแยกระดับการสุกของกล้วยน้ำว้าได้บางระดับเท่านั้น ดังนั้นในการกำหนดระยะเวลาการสุกของกล้วยน้ำว้าจะใช้การตรวจวัดเป็นค่ากรด-เบส โดยระดับการสุกที่ 1, 2, 3 และ 4 มีค่า 6.33 ± 0.152 , 4.58 ± 0.145 , 4.40 ± 0.273 และ 3.85 ± 0.245 ตามลำดับ

2. ศึกษาการขึ้นรูปฟิล์มจากแป้งกล้วยน้ำว้าระดับการสุกที่ 1

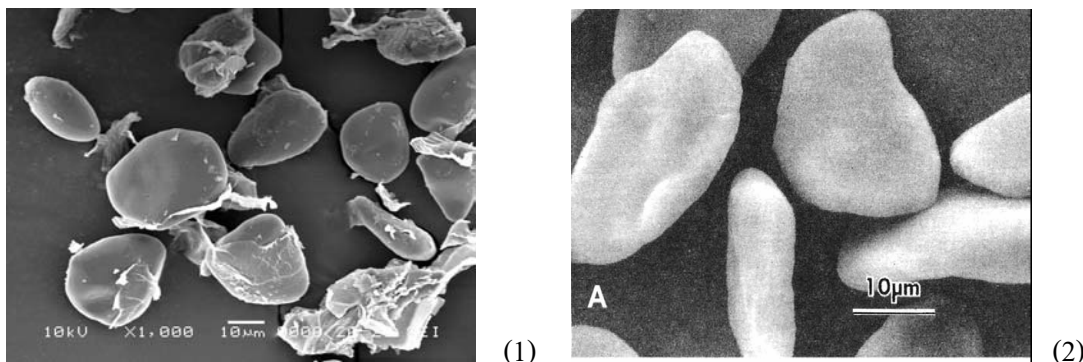
2.1 การเตรียมแป้งจากกล้วยน้ำว้าดิบ

แป้งกล้วยมีลักษณะเป็นผงสีเหลืองมีกลิ่นกล้วยดิบ ดังแสดงในภาพที่ 7 เนื้อสัมผัสที่หยาบ มีผลได้ร้อยละ 33.33 ของน้ำหนักกล้วยทั้งหวี และร้อยละ 50.84 ของน้ำหนักเนื้อกล้วย มีสมบัติเบื้องต้นดังนี้

- 2.1.1 ค่าความชื้นเฉลี่ยร้อยละ 0.538 ± 0.025
- 2.1.2 ลักษณะเม็ดสสารของแป้งกล้วยด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (SEM) ได้ภาพถ่ายดังแสดงในภาพที่ 8



ภาพที่ 7 ลักษณะแป้งจากกล้วยน้ำว้าระดับการสุกที่ 1เปรียบเทียบกับแป้งมันสำปะหลัง



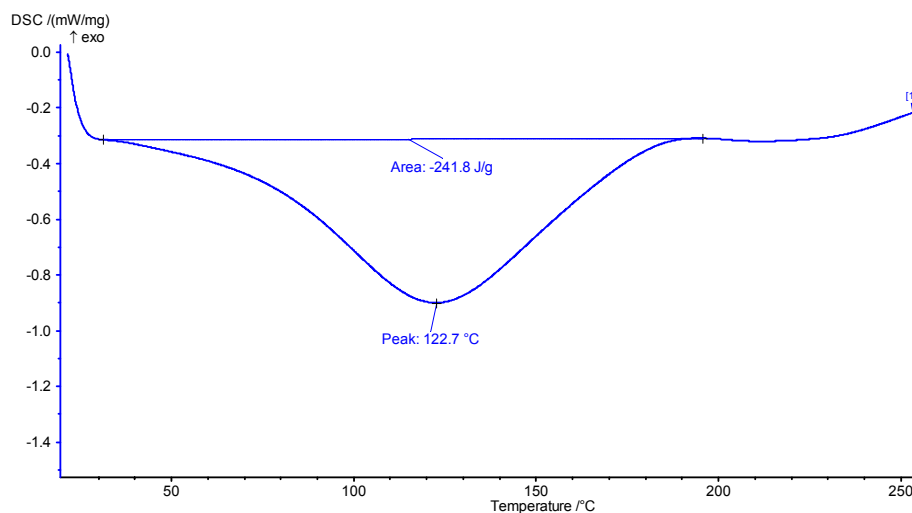
ภาพที่ 8 ลักษณะของเม็ดสตาร์ชชนิดต่างๆ (1) เม็ดสตาร์ชกล้วยน้ำว้าระดับการสุกที่ 1 ได้จากกล้อง SEM กำลังขยาย 1,000 เท่า (2) เม็ดสตาร์ชกล้วยหอมคาเวนดิช ระดับการสุกที่ 1 ได้จากกล้อง SEM กำลังขยาย 1,000 เท่า (Kayisu *et al*, 1981)

ภาพที่ 8 (1) แสดงเม็ดสตาร์ชของกล้วยน้ำว้าระดับการสุกที่ 1 มีลักษณะกลมรี ขนาด 12-25 ไมโครเมตร ลักษณะคล้ายกับเม็ดสตาร์ชของกล้วยหอมคาเวนดิชภาพที่ 7 (2) ซึ่งมีขนาดใหญ่กว่าประมาณ 15-40 ไมโครเมตร จากภาพที่ 7 (1) เม็ดสตาร์ชกล้วยน้ำว้าระดับการสุกที่ 1 มีฟิล์มบางๆ บนผิวเม็ดสตาร์ช เกิดจากการเจลาติไนเซชันบางส่วนในขณะที่ทำปฏิกิริยากับเบสในขั้นตอนสกัดสตาร์ช (Lii *et al.*, 1982) เมื่อนำไปอบจึงเกิดเป็นแผ่นฟิล์มเกาะอยู่บนเม็ดสตาร์ช

2.1.3 วิเคราะห์หาปริมาณแอมิโลสและแอมิโลเพกติน

สตาร์ชที่มีปริมาณแอมิโลสร้อยละ 40 จัดเป็นสตาร์ชที่มีปริมาณแอมิโลสสูง ซึ่งการวิเคราะห์หาปริมาณแอมิโลสในสตาร์ชกล้วยน้ำว้า พบว่าสตาร์ชกล้วยน้ำว้าจะมีปริมาณของแอมิโลสสูงถึงร้อยละ 45.50 ± 0.32 ดังนั้นสตาร์ชที่ได้มีความสามารถในการเกิดเจลและสามารถขึ้นรูปเป็นฟิล์มที่มีความแข็งแรง มีค่าใกล้เคียงกับกล้วยวาเลรี (Valery, AAA group; *Musa acuminata*) ที่มีปริมาณแอมิโลสร้อยละ 40.7 (Waliszewski *et al.*, 2003) เมื่อเปรียบเทียบกับกล้วยหอมคาเวนดิช มีปริมาณแอมิโลสร้อยละ 19.5 และสตาร์ชจากธัญชาติต่างๆ มีปริมาณแอมิโลสดำเพียงร้อยละ 20-25 (Green wood, 1960) ซึ่งจัดเป็นสตาร์ชที่มีปริมาณแอมิโลสดำทำให้มีความสามารถในการเกิดเจลและขึ้นรูปเป็นฟิล์มที่มีความแข็งแรงน้อยกว่าสตาร์ชที่มีปริมาณแอมิโลสสูง

2.1.4 วิเคราะห์พฤติกรรมของการเปลี่ยนแปลงของสตาร์ชกล้วยน้ำว้าขณะให้ความร้อนด้วยเครื่อง DSC



ภาพที่ 9 เทอร์โมแกรมของสตาร์ชกล้วยน้ำว้าที่ได้จากเครื่อง DSC

ในการศึกษาสมบัติทางความร้อน พบว่า สตาร์ชกล้วยน้ำว้ามีค่าพลังงานที่ใช้ในการเปลี่ยนแปลงสถานะจากของแข็งให้เป็นของเหลว (enthalpy) เท่ากับ 241.8 จูลต่อกรัม ดังนั้น สตาร์ชกล้วยน้ำว้ามีการใช้พลังงาน 241.8 จูลต่อกรัมในการหลอมเหลว จากภาพที่ 9 กราฟแสดงอุณหภูมิหลอมเหลว (Melting temperature; T_m) สตาร์ชกล้วยน้ำว้ามีอุณหภูมิหลอมเหลว 122.7°C แสดงว่าสตาร์ชกล้วยน้ำว้าสามารถทนทานต่อความร้อน (Thermal stability) ถึงอุณหภูมิ 122.7°C ส่วนอุณหภูมิกว้างแก้ว (Glass transition temperature; T_g) มีการแสดงในกราฟไม่ชัดเจน มักพบทั่วไปสำหรับการตรวจวัดสมบัติทางความร้อนของแป้งชนิดต่างๆ (Bello-Perez *et al.*, 2000)

2.2 การศึกษาหาความเข้มข้นของแป้งกล้วยน้ำว้าเพื่อขึ้นรูปฟิล์ม

แป้งกล้วยน้ำว้าระดับการสุกที่ 1 เตรียมตามข้อ 2.1 ได้ผลดังตารางที่ 13

ตารางที่ 13 ความหนืดของส่วนผสมแป้งกล้วยน้ำว้าและลักษณะของฟิล์ม

ความเข้มข้น (ร้อยละ)	ความหนืด (เซนติปัวส์)	การขึ้นรูปฟิล์ม	ฟิล์มหลังการอบแห้ง
4	534.8a	ความหนืดต่ำ ขึ้นรูป ไม่ได้	ฟิล์มแตก
6	554.4b	ความหนืดต่ำ ขึ้นรูป ไม่ได้	ฟิล์มแตก
8	583.9c	ความหนืดพอเหมาะ ขึ้นรูปได้	ฟิล์มแตก
10	620.4d	ความหนืดสูงไป ขึ้น รูปได้ไม่ดี	ฟิล์มแตก

หมายเหตุ: เปรียบเทียบค่าเฉลี่ย ($n = 5$) ด้วยวิธี DMRT โดยตัวอักษรที่ต่างกันในแนวตั้งแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95

ส่วนผสมของแป้งกล้วยน้ำว้าความเข้มข้นร้อยละ 4, 6, 8 และ 10 นำไปวัดค่าความหนืดและทดลองขึ้นรูปฟิล์ม พบว่าความหนืดอยู่ในช่วง 534.8 ถึง 620.4 เซนติปัวส์ จากผลการขึ้นรูปเบื้องต้นส่วนผสมความเข้มข้นร้อยละ 8 ความหนืด 583.9 เซนติปัวส์ เหมาะสมที่สุดในการขึ้นรูป แต่เมื่อนำไปอบแห้งพบว่าฟิล์มกรอบแตกเป็นชิ้นเล็กๆ จึงต้องศึกษาการปรับปรุงสมบัติต่อไป ดังแสดงในภาพที่ 10



ภาพที่ 10 ฟิล์มเตรียมจากส่วนผสมแป้งกล้วยความเข้มข้นร้อยละ 8

2.3 การปรับปรุงสมบัติฟิล์มเป็งก้วยน้ำว่าด้วยพลาสติกไซเซออร์

จากผลการทดลองข้อ 2.2 จึงศึกษาหาพลาสติกไซเซออร์ที่เหมาะสมในการเลือกใช้ 2 ชนิด ได้แก่ ก्लीเซอรอล และซอร์บิทอล ความเข้มข้นร้อยละ 10-90 ปรับปรุงในส่วนผสมเป็งก้วยน้ำว่า ที่ความเข้มข้นร้อยละ 8 ได้ลักษณะฟิล์มดังแสดงในตารางที่ 14

ตารางที่ 14 สมบัติของฟิล์มเป็งก้วยน้ำว่าที่เติมกลีเซอรอลและซอร์บิทอลปริมาณต่างๆ

พลาสติกไซเซออร์	ความเข้มข้น(ร้อยละ)	ลักษณะฟิล์ม	ความชุ่มชื้น	ความยืดหยุ่น
กลีเซอรรอล	10	แตก~ ร้อยละ 50	+	+
	20	แตก~ ร้อยละ 30	+	+
	30	แตก~ ร้อยละ 20	+	+
	40	แตก~ ร้อยละ 10	++	++
	50	เป็นแผ่นสมบูรณ์	+++	+++
	60	เป็นแผ่นสมบูรณ์	++++	++++
	70	เป็นแผ่นสมบูรณ์	+++++	+++
	80	เป็นแผ่นสมบูรณ์	+++++	++
	90	เป็นแผ่นสมบูรณ์	+++++	++
ซอร์บิทอล	10	แตก~ ร้อยละ 70	+	+
	20	แตก~ ร้อยละ 50	+	+
	30	แตก~ ร้อยละ 30	+	+
	40	แตก~ ร้อยละ 20	++	++
	50	แตก~ ร้อยละ 10	++	++
	60	แตก~ ร้อยละ 5	++	++
	70	เป็นแผ่นสมบูรณ์	+++	+++
	80	เป็นแผ่นสมบูรณ์	++++	++++
	90	เป็นแผ่นสมบูรณ์	+++++	+++

หมายเหตุ: ฟิล์มจากเป็งก้วยน้ำว่ามีสีน้ำตาลเข้ม และมีกลิ่นก้วยดิบ

+ ต่ำมาก, ++ ต่ำ, +++ ปานกลาง, ++++ ค่อนข้างสูง, +++++ สูง, ++++++ สูงมาก
~ ประมาณ

ตารางที่ 15 ความหนืดของส่วนผสมแป้งกล้วยความเข้มข้นร้อยละ 8 ที่เติมกลีเซอรอลและ
ซอร์บิทอล ในปริมาณที่ทำให้ขึ้นรูปเป็นฟิล์มได้

พลาสติกไซเซออร์	ความเข้มข้น (ร้อยละ)	ความหนืด (เซนติปัวส์)
กลีเซอรอล	50	678.7c
	60	643.2b
	70	618.3a
ซอร์บิทอล	70	647.8b
	80	627.5a
	90	616.6a

หมายเหตุ: เปรียบเทียบค่าเฉลี่ย ($n = 5$) ด้วยวิธี DMRT โดยตัวอักษรที่ต่างกันในแนวตั้งแตกต่างกัน
อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95

ส่วนผสมที่ขึ้นรูปได้เมื่อนำมาวัดความหนืด พบว่ามีความแตกต่างกันอย่างมี
นัยสำคัญ ดังแสดงในตารางที่ 15 ค่าความหนืด 616.6-678.7 เซนติปัวส์ เป็นช่วงเหมาะสมที่สามารถ
นำมาขึ้นรูปเป็นแผ่นฟิล์มได้อย่างสมบูรณ์ ความหนืดมีค่าสูงขึ้นเมื่อเทียบกับค่าความหนืดก่อนเติม
พลาสติกไซเซออร์ดังแสดงในตารางที่ 13 ที่มีค่า 583.9 เซนติปัวส์ แม้ว่าส่วนผสมมีความหนืดเพิ่มขึ้น
แต่เนื้อของส่วนผสมมีลักษณะเนียน เนื่องจากมีพลาสติกไซเซออร์ที่ทำให้ส่วนผสมมีความเข้ากันและ
ขึ้นรูปได้ดีกว่า เมื่อพิจารณาลักษณะของฟิล์มจากตารางที่ 14 พบว่า ฟิล์มจากแป้งกล้วยน้ำว้าที่
สามารถขึ้นรูปได้ดีได้แก่ ฟิล์มที่เตรียมจากส่วนผสมแป้งกล้วยที่เติมกลีเซอรอลร้อยละ 60 มีค่า
ความหนืด 643.2 เซนติปัวส์ และส่วนผสมแป้งกล้วยที่เติมซอร์บิทอลร้อยละ 80 มีค่าความหนืด
627.5 เซนติปัวส์ ดังแสดงในภาพที่ 11 และ 12



(ก) ด้านบน

(ข) ด้านล่าง

ภาพที่ 11 ฟิล์มเตรียมจากส่วนผสมแป้งกล้วยเติมกลีเซอรอลร้อยละ 60 (FGly60)



(ก) ด้านบน

(ข) ด้านล่าง

ภาพที่ 12 फिल्मเตรียมจากส่วนผสมแป้งกล้วยเติมซอร์บิทอลร้อยละ 80 (FSor80)

3. ศึกษาการขึ้นรูปฟิล์มจากพริกกล้วยน้ำว้าระดับการสุกที่ 2, 3 และ 4

3.1 การเตรียมพริกกล้วยน้ำว้าจากกล้วยระดับการสุกที่ 2, 3 และ 4

คัดแยกกล้วยน้ำว้ามาตรวจค่าความเป็นกรด-เบส และตรวจปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำได้ และปริมาณกรด เพื่อยืนยันความถูกต้อง ในการคัดแยกระดับการที่ 2, 3 และ 4 ก่อนนำไปเตรียมพริกเพื่อใช้ขึ้นรูปต่อไป

3.2 การศึกษาหาความเข้มข้นของพริกกล้วยน้ำว้าที่เหมาะสมในการขึ้นรูป

เมื่อนำพริกกล้วยน้ำว้าระดับความสุกที่ 2, 3 และ 4 มาทดลองขึ้นรูปฟิล์ม พบว่าให้ผลแตกต่างกันดังแสดงในตารางที่ 16 ความเข้มข้นของส่วนผสมพริกกล้วยน้ำว้าระดับการสุกที่ 2, 3 ร้อยละ 40 มีค่าความหนืด 818.06 และ 756.14 เซนติปัวส์ สามารถขึ้นรูปเป็นฟิล์มได้ดี แต่พริก ระดับการสุกที่ 4 ร้อยละ 40 มีค่าความหนืดค่อนข้างต่ำ 330.4 เซนติปัวส์ จึงขึ้นรูปได้ไม่ดี (ค่อนข้างยาก) แม้ว่าจะมีการเพิ่มความเข้มข้นให้สูงขึ้นแต่ไม่สามารถเพิ่มความหนืดให้สูงเพียงพอที่ใช้ในการขึ้นรูป จึงเลือกความเข้มข้นร้อยละ 40 เพื่อมาปรับปรุงสมบัติต่อไป

ความหนืดของพริกมีค่าสูงกว่าแป้งกล้วย (583.9 เซนติปัวส์) และยังสามารถขึ้นรูปได้ เนื่องจากความหนืดที่เกิดขึ้นมาจากลักษณะของเนื้อกล้วยที่แตกต่างกัน จึงไม่สามารถนำค่ามาเปรียบเทียบค่าความหนืดระหว่างกันได้ แป้งกล้วยมีค่าความหนืดที่เกิดจากการบวมพองของเม็ดแป้งทำให้ค่าความหนืดที่ได้น้อยกว่าพริก เนื่องจากส่วนผสมมีความเนียนและเข้ากันได้ดี ต่างจากพริกกล้วยที่ความหนืดเกิดจากความแน่นเนื้อของกล้วยเอง จึงอาจมีการบวมพองของแป้งเพียงส่วน

หนึ่ง เมื่อเทียบกับส่วนผสมที่เตรียมจากแป้งกล้วยแล้วน้อยกว่ามาก ส่วนผสมที่ได้จากพิวรีจึงมีความหนืดมากกว่าส่วนผสมจากแป้งกล้วย

ตารางที่ 16 ความสามารถในการขึ้นรูปและความหนืดของพิวรีกล้วยน้ำว้าระดับการสุก 2, 3 และ 4 ที่ความเข้มข้นต่างๆ

ระดับการสุก	ความเข้มข้น (ร้อยละ)	ความหนืด (เซนติปัวส์)	การขึ้นรูป	ความหนืดส่วนผสมขณะเป็ยก
2	30	730.2f	ขึ้นรูปไม่ได้	ต่ำเกิน
	40	818.1j	ขึ้นรูปได้	เหมาะสม
	50	832.8k	ขึ้นรูปไม่ได้	สูงเกิน
	60	856.2l	ขึ้นรูปไม่ได้	สูงเกิน
3	30	712.3e	ขึ้นรูปไม่ได้	ต่ำเกิน
	40	756.1g	ขึ้นรูปได้	เหมาะสม
	50	787.3h	ขึ้นรูปไม่ได้	สูงเกิน
	60	802.8i	ขึ้นรูปไม่ได้	สูงเกิน
4	30	310.4a	ขึ้นรูปไม่ได้	ต่ำเกิน
	40	330.4b	ขึ้นรูปได้ยาก	ค่อนข้างต่ำ
	50	354.6c	ขึ้นรูปได้ยาก	ค่อนข้างต่ำ
	60	363.9d	ขึ้นรูปได้ยาก	ค่อนข้างต่ำ

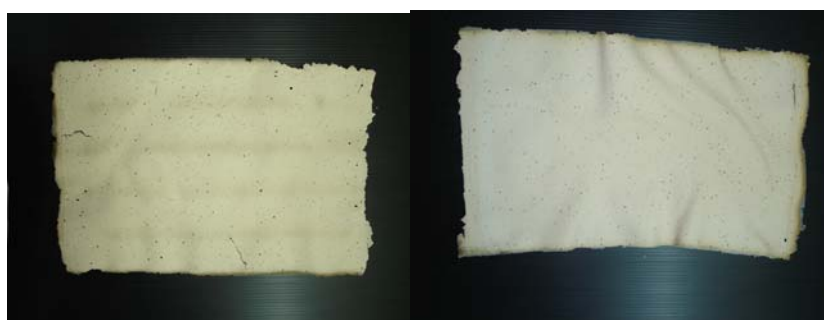
หมายเหตุ: เปรียบเทียบค่าเฉลี่ย ($n = 5$) ด้วยวิธี DMRT โดยตัวอักษรที่ต่างกันในแนวตั้งแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95

3.3 การขึ้นรูปฟิล์มจากพิวรีกล้วยน้ำว้า

คัดเลือกส่วนผสมพิวรีกล้วยที่ผสมและขึ้นรูปฟิล์มได้ คือ ความเข้มข้นร้อยละ 40 ทดลองขึ้นรูปอีกครั้งและตรวจพินิจลักษณะฟิล์ม ดังแสดงผลในตารางที่ 17 และแสดงดังภาพที่ 13 และ 14

ตารางที่ 17 ลักษณะของฟิล์มพิวริกด้วยน้ำว่าที่ความสุก 3 ระดับ

ระดับ	ลักษณะฟิล์ม					
	การสุก	ผิวด้านบน	ผิวด้านกระຈก	การลอกออก	รูเข็ม	ความยืดหยุ่น
2	ด้าน	ด้าน	ง่าย	มี	ต่ำ	เหลืองอ่อน
3	ด้าน	มันวาว	ปานกลาง	ไม่มี	ปานกลาง	เหลือง
4	ด้าน	มันวาว	ยาก	ไม่มี	ต่ำ	เหลืองเข้ม



(ก) ด้านบน

(ข) ด้านล่าง

ภาพที่ 13 ฟิล์มเตรียมจากพิวริกด้วยความสุกระดับที่ 2 ความเข้มข้นร้อยละ 40 (P2)



(ก) ด้านบน

(ข) ด้านล่าง

ภาพที่ 14 ฟิล์มเตรียมจากพิวริกด้วยความสุกระดับที่ 3 ความเข้มข้นร้อยละ 40 (P3)

3.4 การปรับปรุงสมบัติของฟิล์มจากพิวริกด้วยน้ำว่าระดับการสุกที่ 4

จากผลการทดลองในข้อ 3.2 และ 3.3 พบว่าการขึ้นรูปฟิล์มจากกล้วยน้ำว่าระดับการสุกที่ 4 ต้องมีการปรับปรุง เพื่อให้ขึ้นรูปได้ง่ายขึ้นและฟิล์มมีสมบัติดีขึ้น จึงจะสามารถใช้

ประโยชน์จากกล้วยระดับการสุกที่ 4 นี้ได้ เนื่องจากเป็นวัตถุดิบที่เป็นเศษเหลือทิ้งมาก จึงหาแนวทางปรับสูตรให้สามารถขึ้นรูปฟิล์มได้ สารปรับปรุงสมบัติที่ใช้แต่งเดิมในพิวรีแบ่งได้เป็น 4 ประเภทหลัก คือ

3.4.1 แป้งและพิวรีกล้วยเพื่อปรับปรุงสมบัติ โดยแป้งและพิวรีกล้วยเป็นสารที่ใช้ในการปรับปรุงสมบัติฟิล์มให้มีลักษณะคล้ายคลึงกับองค์ประกอบเดิมมากที่สุด ซึ่งเป็นผลิตภัณฑ์ที่ได้จากกล้วยน้ำว้าเหมือนกัน เมื่อผสมกับพิวรีกล้วยน้ำว้าทำให้กลิ่น สี และลักษณะของฟิล์มแตกต่างจากลักษณะเดิมเพียงเล็กน้อย โดยฟิล์มที่ได้มีสีเหลืองเข้ม มีความยืดหยุ่น ลอกออกง่าย และมีกลิ่นกล้วย ดังแสดงในตารางที่ 18

3.4.2 สารทดแทนเพกตินที่ลดลงตามระดับการสุกของกล้วยน้ำว้า เพื่อปรับปรุงสมบัติ เนื่องจากเพกตินเป็นสารที่มีอยู่ในกล้วย มีปริมาณลดลงตามระดับการสุก ดังผลที่แสดงในตารางที่ 12 โดยกล้วยน้ำว้าที่ใช้เป็นกล้วยน้ำว้าระดับการสุกที่ 4 ที่มีปริมาณเพกตินที่ต่ำสุด (ร้อยละ 0.28) จึงปรับปรุงโดยเติมเพกติน ทดแทนเพกตินที่เปลี่ยนรูปไป ลักษณะส่วนผสมมีความเข้ากันได้ ดี และสามารถขึ้นรูปเป็นฟิล์มได้ง่ายและสมบูรณ์ ฟิล์มที่ได้สีเหลืองเข้ม มีความยืดหยุ่น ผิวมันวาว ลอกออกง่าย และมีกลิ่นกล้วย ดังแสดงในตารางที่ 18

3.4.3 สารที่มีสมบัติในการขึ้นรูปฟิล์มได้ คาร์ราจีแนนสามารถใช้ปรับปรุงสมบัติฟิล์ม เนื่องจากสารชนิดนี้เป็นสารที่สามารถขึ้นรูปเองได้ จึงใส่เพื่อแทนที่ปริมาณแป้งและปริมาณเพกตินที่เปลี่ยนรูปไปในกล้วยน้ำว้าระดับที่ 4 ทำให้ส่วนผสมสามารถขึ้นรูปได้ แต่ฟิล์มที่ได้นั้นไม่ค่อยแข็งแรง มีการแข็งตัวเร็วทำให้ต้องขึ้นรูปที่อุณหภูมิสูงเป็นผลให้พลาสติกที่ใช้รองกระจกมีการบวมพองเล็กน้อย เมื่อแห้งฟิล์มที่ได้มีลักษณะไม่สม่ำเสมอและลอกออกยาก ดังแสดงในตารางที่ 18

3.4.4 สารที่มีสมบัติในการขึ้นรูปฟิล์มได้ นुकสามารถใช้ปรับปรุงสมบัติฟิล์ม เนื่องจากสารชนิดนี้เป็นสารที่สามารถขึ้นรูปเองได้เช่นเดียวกับคาร์ราจีแนน จึงใส่เพื่อแทนที่ปริมาณแป้งและเพกตินที่เปลี่ยนรูปไปในกล้วยน้ำว้าระดับที่ 4 ทำให้สามารถขึ้นรูปได้ ฟิล์มที่ได้มีสมบัติคล้ายกับคาร์ราจีแนนคือ ไม่ค่อยแข็งแรง มีการแข็งตัวเร็วทำให้ต้องขึ้นรูปที่อุณหภูมิสูงเป็นผลให้พลาสติกที่ใช้รองกระจกมีการบวมพองเล็กน้อย เมื่อแห้งฟิล์มที่ได้มีลักษณะไม่สม่ำเสมอและลอกออกยาก ดังแสดงในตารางที่ 18

ตารางที่ 18 องค์ประกอบของส่วนผสมพิวริกด้วยน้ำว่าระดับการสุกที่ 4 ความเข้มข้นร้อยละ 40 ปรับปรุงสูตรและลักษณะฟิล์มที่ได้ที่แตกต่างกัน

สูตร	รายละเอียดของการปรับปรุง	องค์ประกอบของส่วนผสม (100 กรัม)					ลักษณะฟิล์ม				ความหนืด (เซนติปัวส์)
		สตาร์ช (กรัม)	เพกติน (กรัม)	น้ำตาล รวม (กรัม)	คาร์รา จีแนน (กรัม)	ผงบุก (กรัม)	ผิวนอก	ผิวใน	การลอก	สี	
F1	เติมแป้งกล้วย 5.455 กรัม ให้มี องค์ประกอบใกล้เคียงกับส่วนผสม แป้งกล้วยร้อยละ 8	2.1 (2.1)	0.3171 (0.301)	9.013 (0.576)	-	-	ด้าน	ด้าน	ง่าย	เหลือง เข้ม	668.5i
F2	เติมแป้งกล้วย 10.667 กรัม ให้มี องค์ประกอบใกล้เคียงกับพิวริกกล้วย ระดับ 2 ความเข้มข้นร้อยละ 40	3.468 (3.468)	0.5131 (0.584)	9.388 (6.396)	-	-	ด้าน	ด้าน	ง่าย	เหลือง เข้ม	559.0d
F3	เติมแป้งกล้วย 3.306 กรัม ให้มี องค์ประกอบใกล้เคียงกับพิวริกกล้วย ระดับ 3 ความเข้มข้นร้อยละ 40	1.536 (1.536)	0.2363 (0.256)	8.858 (8.208)	-	-	ด้าน	มัน วาว	ง่าย	เหลือง เข้ม	302.8h

ตารางที่ 18 (ต่อ)

สูตร	รายละเอียดของการปรับปรุง	องค์ประกอบของส่วนผสม (100 กรัม)					ลักษณะฟิล์ม				ความหนืด (เซนติปัวส์)
		สตาร์ช (กรัม)	เพกติน (กรัม)	น้ำตาล รวม (กรัม)	คาร์รา จีแนน (กรัม)	ผงบุก (กรัม)	ผิวนอก	ผิวใน	การลอก	สี	
P2F	เติมกล้วยระดับ 2 16.43 กรัม ให้ มีองค์ประกอบใกล้เคียงกับแป้ง กล้วยร้อยละ 8	2.1 (2.1)	0.3531 (0.301)	11.247 (0.576)	-	-	ด้าน	มัน	ง่าย	เหลือง เข้ม	543.3g
P2P3	เติมกล้วยระดับ 2 10.012 กรัมให้ มีองค์ประกอบใกล้เคียงพิวรี กล้วยระดับ 3 ที่ความเข้มข้นร้อยละ 40	1.536 (1.536)	0.2582 (0.256)	10.220 (8.208)	-	-	ด้าน	มัน วาว	ยาก	เหลือง เข้ม	387.6e
Pt3	เพกตินร้อยละ 3	0.668	1.312	8.62	-	-	ด้าน	มัน	ง่าย	น้ำตาล	353.3a
Pt4	เพกตินร้อยละ 4	0.668	1.712	8.62	-	-	ด้าน	มัน	ง่าย	น้ำตาล	385.3b
Pt5	เพกตินร้อยละ 5	0.668	2.112	8.62	-	-	ด้าน	มัน	ง่าย	น้ำตาล	395.1c

ตารางที่ 18 (ต่อ)

สูตร	รายละเอียดของการปรับปรุง	องค์ประกอบของส่วนผสม (100 กรัม)					ลักษณะฟิล์ม				ความหนืด (เซนติปัวส์)
		สตาร์ช (กรัม)	เพกติน (กรัม)	น้ำตาล รวม (กรัม)	คาร์รา จีแนน (กรัม)	ผงบุก (กรัม)	ผิวหนัง	ผิวใน	การลอก	สี	
Ca1	คาร์ราจีแนนร้อยละ 1	0.668	0.112	8.62	0.4	-	ด้าน	มัน	ยาก	เหลือง	535.2f
Ca2	คาร์ราจีแนนร้อยละ 2	0.668	0.112	8.62	0.8	-	ด้าน	มัน	ยาก	เหลือง	694.4k
Ca3	คาร์ราจีแนนร้อยละ 3	0.668	0.112	8.62	1.2	-	ด้าน	มัน	ยาก	เหลือง	755.3m
K05	บุกร้อยละ 0.5	0.668	0.112	8.62	-	0.2	ด้าน	มัน	ยาก	เหลือง	564.8h
K10	บุกร้อยละ 1	0.668	0.112	8.62	-	0.4	ด้าน	มัน	ยาก	เหลือง	680.1j
K15	บุกร้อยละ 1.5	0.668	0.112	8.62	-	0.6	ด้าน	มัน	ยาก	เหลือง	734.7i

หมายเหตุ: เปรียบเทียบค่าเฉลี่ย ($n = 5$) ด้วยวิธี DMRT โดยตัวอักษรที่ต่างกันในแนวตั้งแตกต่างกัน อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95
ตัวเลขใน () แสดงค่าองค์ประกอบของส่วนผสมที่ใช้อ้างอิง



(ก) ด้านบน

(ข) ด้านล่าง

ภาพที่ 15 फिल्मเตรียมจากสูตร F3



(ก) ด้านบน

(ข) ด้านล่าง

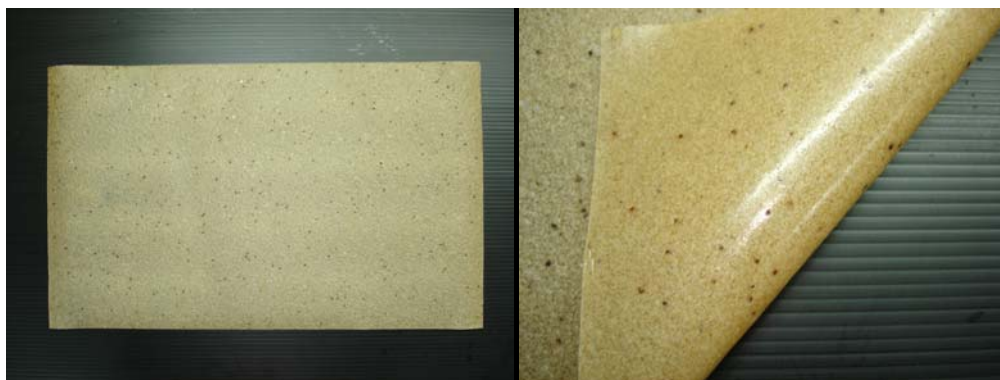
ภาพที่ 16 फिल्मเตรียมจากสูตร P2F



(ก) ด้านบน

(ข) ด้านล่าง

ภาพที่ 17 फिल्मเตรียมจากสูตร Pt4



(ก) ด้านบน

(ข) ด้านล่าง

ภาพที่ 18 फिल्मเตรียมจากสูตร Ca2



(ก) ด้านบน

(ข) ด้านล่าง

ภาพที่ 19 फिल्मเตรียมจากสูตร K10

4. ผลการทดสอบสมบัติของฟิล์มจากกล้วยน้ำว้า

ฟิล์มที่ได้จากข้อ 2 และ 3 มีผลการทดสอบสมบัติเบื้องต้นทางการบรรจุ ดังตารางที่ 19

ตารางที่ 19 สมบัติเบื้องต้นของฟิล์มจากกล้วยน้ำว้าที่มีส่วนผสมแตกต่างกัน

ส่วนผสม	ค่าทดสอบ					
	ความหนา (มม.)	ความชื้น (ร้อยละ)	วอเตอร์ แอกทิวิตี	ความต้านทานแรงดึง ขาด (กก./ตร.มม.)	การยืดตัว (ร้อยละ)	ลักษณะของฟิล์ม
1. สูตร FGly50	0.253cd	8.51a	0.492g	0.324h	27.30k	ฟิล์มแข็ง เปราะ ไม่สามารถพับงอได้ ยืดหยุ่นต่ำ
2. สูตร FGly60	0.267d	8.92c	0.516k	0.349h	35.45l	ฟิล์มยืดหยุ่นดี พับงอได้
3. สูตร FGly70	0.287e	8.88b	0.523l	0.341h	44.23m	ฟิล์มยืดหยุ่น และเล็กน้อย
4. สูตร FSor70	0.231ab	10.48h	0.448c	0.278g	22.62j	ฟิล์มแห้งกรอบ แตกง่าย
5. สูตร FSor80	0.239bc	9.78g	0.418b	0.223f	22.12j	ฟิล์มยืดหยุ่นดี พับงอได้

ตารางที่ 19 (ต่อ)

ส่วนผสม	ค่าทดสอบ					
	ความหนา (มม.)	ความชื้น (ร้อยละ)	วอเตอร์ แอกทิวิตี	ความต้านทานแรงดึง ขาด (กก./ตร.มม.)	การยืดตัว (ร้อยละ)	ลักษณะของฟิล์ม
6. สูตร FSor90	0.266d	9.70f	0.384a	0.211f	25.64k	ฟิล์มยืดหยุ่นต่ำ และเล็กน้อย
7. สูตร P2	0.451k	9.35e	0.478e	1.019j	5.05a	ฟิล์มยืดหยุ่นต่ำ มีรูพรุน
8. สูตร P3	0.365g	13.90n	0.597p	0.970i	12.48cd	ฟิล์มยืดหยุ่นปานกลาง ไวต่อความชื้น
9. สูตร F1	0.453k	9.02d	0.502h	0.135e	18.67gh	ฟิล์มแข็ง มีผงเป็งเกิดบนผิว
10. สูตร F2	0.420 ij	9.35e	0.507i	0.126e	19.46hi	ฟิล์มความยืดหยุ่นดี ผิวด้านแข็ง
11. สูตร F3	0.382 h	10.82j	0.516k	0.108cd	20.82hij	ฟิล์มเรียบ ยืดหยุ่นดี
12. สูตร P2F	0.409i	10.79j	0.564n	0.064ab	9.59b	ฟิล์มยืดหยุ่นต่ำ ลอกออกยาก
13. สูตร P2P3	0.373gh	11.12k	0.570o	0.069ab	11.51bc	ฟิล์มยืดหยุ่นต่ำ ผิวเรียบ ลอกออกยาก
14. สูตร Pt3	0.289e	14.78q	0.524l	0.086bc	16.74fg	ฟิล์มบาง ยืดหยุ่นต่ำ ผิวเรียบ
15. สูตร Pt4	0.339f	14.52p	0.514k	0.106cd	22.88j	ฟิล์มยืดหยุ่นดี ผิวเรียบ

ตารางที่ 19 (ต่อ)

ส่วนผสม	ค่าทดสอบ					ลักษณะของฟิล์ม
	ความหนา (มม.)	ความชื้น (ร้อยละ)	วอเตอร์แอกทิวิตี	ความต้านทานแรงดึงขาด (กก./ตร.มม.)	การยืดตัว (ร้อยละ)	
16. สูตร Pt5	0.408i	14.12o	0.511j	0.140e	20.58hij	ฟิล์มยืดหยุ่นดี และเล็กน้อย
17. สูตร Ca1	0.224a	15.29s	0.552m	0.051a	14.17de	ฟิล์มบาง ลอกยาก
18. สูตร Ca2	0.237ab	14.82r	0.550m	0.047a	16.59fg	ฟิล์มยืดหยุ่นต่ำ นึกขาดง่าย
19. สูตร Ca3	0.246bc	13.02l	0.523l	0.069ab	20.69hij	ฟิล์มยืดหยุ่น ความแข็งแรงต่ำ นึกขาดง่าย
20. สูตร K05	0.281e	10.59i	0.484f	0.043a	12.19cd	ฟิล์มบาง ลอกยาก
21. สูตร K10	0.328f	11.68k	0.478e	0.059ab	15.53ef	ฟิล์มมีความยืดหยุ่น ความแข็งแรงต่ำ นึกขาดง่าย
22. สูตร K15	0.431j	13.49m	0.474d	0.067ab	21.16ij	ฟิล์มมีความยืดหยุ่น ความแข็งแรงต่ำ นึกขาดง่าย

หมายเหตุ: เปรียบเทียบค่าเฉลี่ย (n = 5) ด้วยวิธี DMRT โดยตัวอักษรที่ต่างกันในแนวตั้งแตกต่างกัน อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95

จากตารางที่ 19 ส่วนผสมที่สามารถขึ้นรูปได้มีทั้งหมด 22 สูตร โดยแบ่งเป็น 3 ประเภท ได้แก่

1. फिल्मจากแป้งกล้วยน้ำว้า ซึ่งได้จากกล้วยน้ำว้าที่มีความสุกระดับที่ 1
2. फिल्मที่ขึ้นรูปจากกล้วยน้ำว้าระดับการสุกต่างๆ ที่ไม่เติมสารและเติมสารปรับปรุงสมบัติ โดยส่วนผสมที่ได้เตรียมจากกล้วยน้ำว้าที่ระดับการสุกต่างๆ กัน
3. फिल्मที่ปรับปรุงสมบัติโดยใช้สารแต่งเติมเพื่อทดแทนปริมาณสตาร์ชและเพกตินที่เปลี่ยนรูปไป ซึ่งเป็นสารที่รับประทานได้ ได้แก่ เพกติน, คาร์ราจีแนน และ ผงบุก

จากตารางที่ 19 สูตรที่ 1-6 คือ फिल्मประเภทที่ 1, สูตรที่ 7-8 คือ फिल्मประเภทที่ 2 และ สูตรที่ 9-22 คือ फिल्मประเภทที่ 3

ฟิล์มทั้ง 3 ประเภทนี้มีสมบัติที่แตกต่างกัน फिल्मประเภทที่ 1 เป็นฟิล์มจากแป้งกล้วยน้ำว้าที่ปรับปรุงสมบัติโดยการเติมพลาสติกไซเซอร์ 2 ชนิด คือ ซอร์บิทอล และ กลีเซอรอล फिल्मเดิม กลีเซอรอลมีคุณสมบัติโดยรวมดีกว่าฟิล์มเดิมซอร์บิทอล ทั้งในด้านของความแข็งแรง การยืดหยุ่นและความชื้น รวมไปถึงฟิล์มแตกน้อยกว่าและใช้ปริมาณของพลาสติกไซเซอร์น้อยกว่า फिल्मที่ได้จากแป้งกล้วยน้ำว้าที่ดีที่สุด คือ फिल्मที่เติมกลีเซอรอลร้อยละ 60 (FGly60) เป็นฟิล์มที่เลือกเพื่อใช้งานต่อไป

ฟิล์มประเภทที่ 2 เป็นฟิล์มที่สามารถขึ้นรูปโดยที่ไม่เติมและเติมสารซึ่งเป็นกล้วยใน ระดับการสุกต่างๆ มาปรับปรุงสมบัติฟิล์มให้ดีขึ้น โดยฟิล์มที่ได้มีความแข็งแรงน้อยกว่าฟิล์มประเภทที่ 1 แต่มากกว่าฟิล์มประเภทที่ 3 ยกเว้นฟิล์มจากกล้วยน้ำว้าระดับการสุกที่ 2 และ 3 ที่มีความแข็งแรงมากที่สุดเมื่อเปรียบเทียบกับฟิล์มทั้งหมด คือ 1.019 และ 0.97 กก./ตร.มม. ตามลำดับ ซึ่งเป็นฟิล์มที่สามารถขึ้นรูปได้เอง โดยที่ไม่ต้องเติมสารปรับปรุงสมบัติ แต่ฟิล์มที่ได้นั้นมีรูพรุน และมีความยืดหยุ่นค่อนข้างต่ำ ตามลำดับ ทำให้ฟิล์มกล้วยน้ำว้าระดับการสุกที่ 4 ผสมแป้งกล้วย โดยมีองค์ประกอบใกล้เคียงกับกล้วยน้ำว้าระดับการสุกที่ 3 เป็นฟิล์มที่ดีที่สุด ในฟิล์มประเภทนี้ โดยมีลักษณะฟิล์มที่ดี มีค่าความแข็งแรง 0.108 กก./ตร.มม. และมีค่าการยืดตัวของฟิล์มร้อยละ 20.82 เป็นฟิล์มที่มีความยืดหยุ่นดี

ฟิล์มประเภทที่ 3 เป็นฟิล์มที่ใช้สารแต่งเติมทดแทนปริมาณสตาร์ชและเพกตินที่เปลี่ยนรูปไป ได้แก่ เพกติน คาร์ราจีแนน และบุก เมื่อเติมสารปรับปรุงสมบัติลงไป ทำให้ส่วนผสมที่ได้มีลักษณะเป็นเนื้อเดียวกัน โดยเฉพาะส่วนผสมที่เติมเพกติน สามารถขึ้นรูปเป็นฟิล์มได้อย่างสมบูรณ์

และฟิล์มที่ได้มีความแข็งแรงมากกว่าฟิล์มที่เติมคาร์ราจีแนนและบุก โดยทำให้มีค่าแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ส่วนความยืดหยุ่นมีค่าไม่แตกต่างกัน เมื่อเปรียบเทียบลักษณะของส่วนผสมชนิดต่างๆ พบว่าส่วนผสมที่เติมคาร์ราจีแนนและบุกมีการแข็งตัวเร็ว ทำให้ต้องขึ้นรูปที่อุณหภูมิสูงถึง 70°C ลักษณะฟิล์มที่ได้มีความยืดหยุ่น แต่ความแข็งแรงต่ำ ฉีกขาดง่ายและลอกออกยาก โดยค่าความแข็งแรงของฟิล์มที่เติมคาร์ราจีแนนและบุกมีค่าไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ทำให้ฟิล์มที่เติมเพกตินร้อยละ 4 เป็นฟิล์มที่ดีที่สุดใฟิล์มประเภทนี้ โดยมีฟิล์มมีลักษณะสมบูรณ์ มีค่าความแข็งแรง 0.106 กก./ตร.มม.และมีความยืดหยุ่นร้อยละ 22.88

จากตารางที่ 19 คัดเลือกฟิล์ม 3 ตัวอย่าง มีลักษณะและสมบัติทางการบรรจุที่ดี มาทดสอบได้แก่

1. ฟิล์มที่เตรียมจากแป้งกล้วยผสมกลีเซอรอลร้อยละ 60 (สูตร FGly60)
2. ฟิล์มที่เตรียมจากกล้วยน้ำว้าระดับที่ 4 ผสมแป้งกล้วยโดยมีองค์ประกอบเท่ากับกล้วยน้ำว้าระดับที่ 3 (สูตร F3)
3. ฟิล์มที่เตรียมจากกล้วยน้ำว้าระดับที่ 4 ผสมเพกตินร้อยละ 4 (สูตร Pt4)

มาทดสอบสมบัติทางด้านการบรรจุได้ดังตารางที่ 20

ผลจากการทดสอบ เมื่อเปรียบเทียบค่ากับฟิล์มพอลิเอทิลีนความหนาแน่นต่ำ (LDPE) กับฟิล์มที่เตรียมจากกล้วยน้ำว้าทั้ง 3 สูตร พบว่าฟิล์มจากกล้วยน้ำว้ามีองค์ประกอบส่วนใหญ่ที่ชอบน้ำ (Hydrophilic) จึงสามารถป้องกันการซึมผ่านของออกซิเจนและไขมันได้ดี แต่ป้องกันการซึมผ่านของไอน้ำได้ไม่ดี ทำให้ฟิล์มสูตรFGly60 ไม่สามารถวัดค่าการป้องกันการซึมน้ำได้ เนื่องจากองค์ประกอบของฟิล์มมีปริมาณพลาสติกไซเซอร์สูงคือ กลีเซอรอลร้อยละ 60 ทำให้ไปแทรกตัวและลดแรงระหว่างพันธะของโมเลกุลแป้งกล้วยที่ยึดเกาะกัน ดังนั้นน้ำที่ใช้ทดสอบจึงซึมเข้าไปในฟิล์มได้อย่างรวดเร็ว ส่วนฟิล์มอีก 2 ชนิดสามารถป้องกันการซึมน้ำได้และมีค่าใกล้เคียงกัน ส่วนค่าการต้านทานไขมันพบว่าฟิล์มสูตร Pt4 สามารถต้านทานไขมันได้ดี ผลการทดลองที่ได้นั้น แม้มีความแตกต่างทางสถิติ แต่ในการใช้งานจริงพบว่าค่าที่ได้ไม่มีความแตกต่างกันเมื่อนำฟิล์มไปเลือกใช้

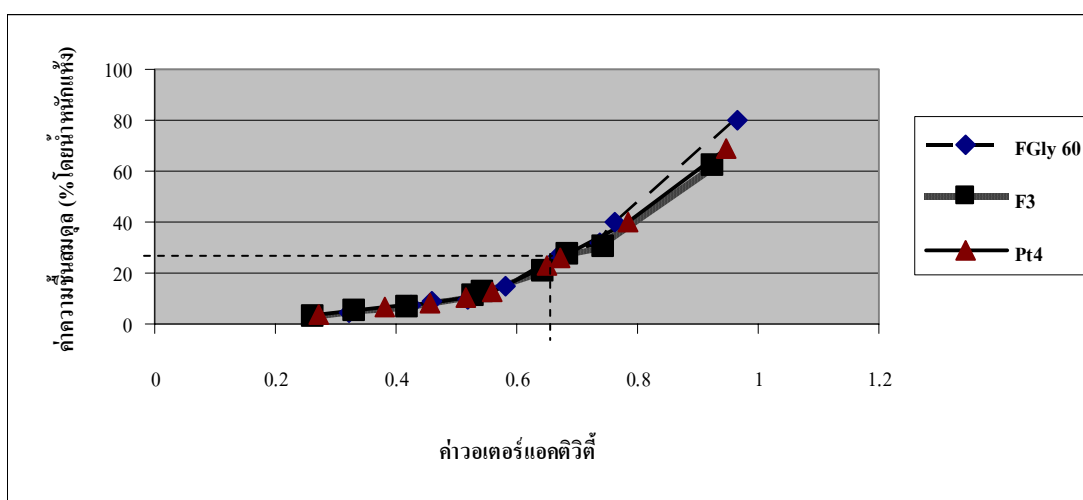
ตารางที่ 20 สมบัติทางการบรรจุของฟิล์มจากกล้วยน้ำว้าที่มีสมบัติเหมาะสมในการใช้งาน

ชนิดของฟิล์ม	ค่าการทดสอบ						
	ความหนา (มม.)	การซึมผ่านน้ำ (กรัม/ตร.ม.)	OTR (cc/m ² .day.atm)	PO ₂ (cc.mm/m ² .day.atm)	WVTR (g/m ² .hr)	WVP (g.mm/m ² .hr.mmHg)	การต้านทาน ไอน้ำ (วัน)
1. สูตร FGly60	0.267c	-	119.6c	31.93b	21.26c	0.087c	2.6a
2. สูตร F3	0.382a	99.66	103b	39.35c	6.45a	0.038a	3.5b
3. สูตร Pt4	0.339b	113.59	72a	24.41a	8.45b	0.044b	7.3c
LDPE	0.05	-	3,523	176.15	0.0583	0.0046	-
PVOH	0.04	-	20	0.82	6.44	0.40	-

หมายเหตุ: เปรียบเทียบค่าเฉลี่ย (n = 5) ด้วยวิธี DMRT โดยตัวอักษรที่ต่างกันในแนวตั้งแตกต่างกัน อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95

4.7 ทดสอบการดูดซับความชื้นที่อุณหภูมิคงที่ (Moisture Sorption Isotherm)

ฟิล์มจากกล้วยน้ำว้ามีค่าความชื้นที่เพิ่มขึ้นในอัตราส่วนที่แตกต่างกัน ดังแสดงใน ภาพที่ 20 ลักษณะความชันของกราฟแสดงถึงอัตราการเพิ่มขึ้นของความชื้น ฟิล์มชนิดที่ 1, ฟิล์มชนิดที่ 3 และ ฟิล์มชนิดที่ 2 มีความไวต่อความชื้นใกล้เคียงกัน ดังนั้นเมื่อเก็บฟิล์มไว้ในสภาวะที่มีความชื้นร้อยละ 65 ซึ่งเป็นสภาวะปกติโดยทั่วไป สามารถควบคุมความชื้นของฟิล์มไม่เกินร้อยละ 25



ภาพที่ 20 การดูดซับความชื้นของฟิล์มเตรียมจากสูตร FGly60, F3, Pt4 ที่อุณหภูมิ 30 °ซ

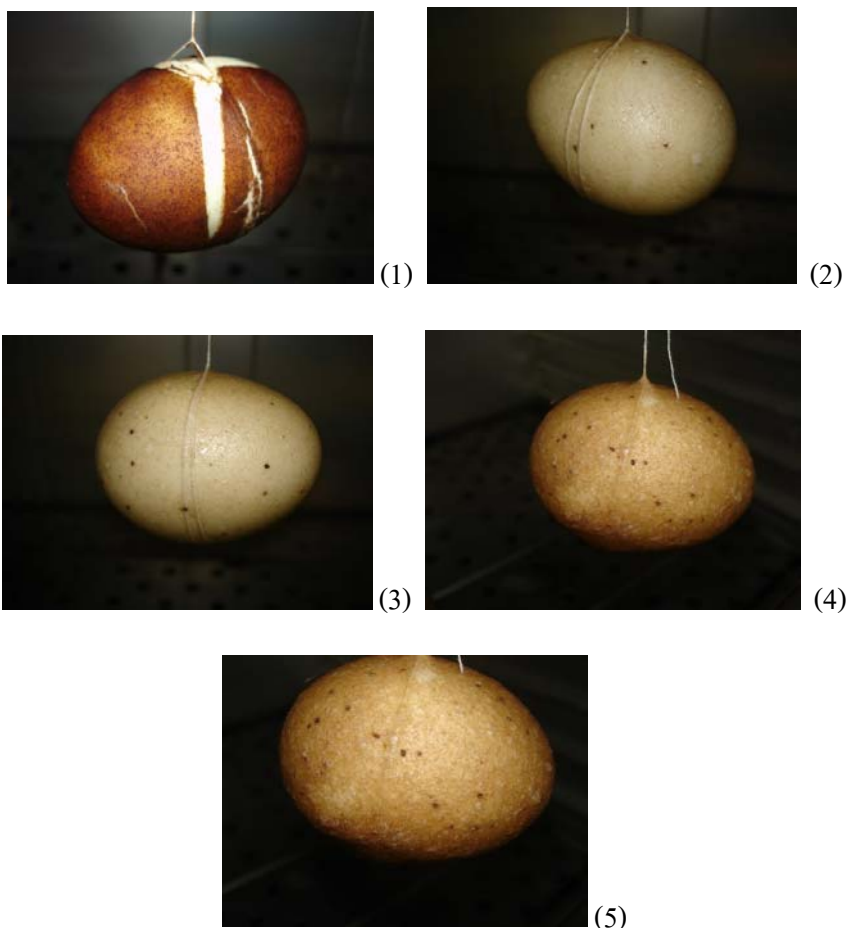
5. การนำฟิล์มไปประยุกต์

จากผลการทดลองในข้อ 4 พบว่า ฟิล์มที่เตรียมจากกล้วยน้ำว้าหลายสูตรมีสมบัติโดยรวมที่ดีทางการบรรจุ บางสูตรเหมาะกับการขึ้นรูปเป็นฟิล์มเนื่องจากฟิล์มที่ได้มีความเรียบและลอกออกง่าย แต่บางสูตรเหมาะกับการเคลือบเนื่องจากการแข็งตัวที่ค่อนข้างเร็ว และขึ้นรูปเป็นฟิล์มได้ไม่ค่อยดี จึงได้ทดลองเลือกสูตรฟิล์มบางสูตรที่เหมาะสมในการเคลือบบนเปลือกไข่เค็มที่ต้มสุกที่เป็นไข่เป็ด เนื่องจากไข่เค็มเป็นผลิตภัณฑ์ที่ได้จากการถนอมอาหารโดยใช้เกลือ เพื่อยืดอายุการเก็บและเพิ่มมูลค่าให้กับไข่ ไข่เค็มต้มสุกมีวางขายตามท้องตลาดและร้านสะดวกซื้อค่อนข้างมาก แต่อายุการเก็บของไข่เค็มมีประมาณ 10 วัน (เก็บที่อุณหภูมิ 30°ซ) ทำให้ไม่สามารถขนส่งไปยังที่ไกลๆ ได้ เนื่องจากเกิดการเสื่อมเสียง่าย เมื่อไม่ได้เก็บอุณหภูมิต่ำ ดังนั้นจึงเกิดแนวคิดที่จะพัฒนา

แนวทางการยืดอายุการเก็บให้ไข่เค็มต้มสุก โดยใช้ส่วนผสมที่เตรียมจากกล้วยน้ำว้าที่มีสมบัติในการป้องกันไม่ให้จุลินทรีย์เข้าไปในรูพรุนของไข่ได้ จึงเลือกฟิล์มที่เตรียมจากกล้วยน้ำว้าที่มีสมบัติที่ดีที่สามารถขึ้นรูปฟิล์ม และเหมาะกับการเคลือบในข้อที่ 4 ดังนี้

1. สูตร FGly50, FGly60 และ FGly70
2. สูตร F1, F2 และ F3
3. สูตร Pt3, Pt4 และ Pt5
4. สูตร Ca1, Ca2 และ Ca3
5. สูตร K05, K10 และ K15

ไข่เค็มที่เคลือบมีลักษณะฟิล์มหลังการเคลือบดังแสดงในภาพที่ 21



ภาพที่ 21 ตัวอย่างลักษณะฟิล์มที่เตรียมได้จากสูตรต่างๆ เคลือบบนไข่เค็ม (1) สูตรFGly60 (2) F3 (3) Pt4 (4) Ca2 (5) K10

ตารางที่ 21 ลักษณะฟิล์มหลังจากการเคลือบผิวไขเค็ม

ส่วนผสม	ความหนืด (เซนติปัวส์)	ลักษณะฟิล์มหลังการเคลือบไขเค็ม			
		สี	การเคลือบ	การลอก	กลิ่น
1. สูตร FGly50	678.7hij	น้ำตาล	หุดตัว ร้อยละ 30	ลอกออก	กล้วยดิบ
2. สูตร FGly60	643.2g	น้ำตาล	หุดตัว ร้อยละ 20	ลอกออก ง่าย	กล้วยดิบ
3. สูตร FGly70	618.3f	น้ำตาล มี กลิ่น	หุดตัว ร้อยละ 20	ลอกออก ง่าย	กล้วยดิบ
4. สูตร F1	668.5h	เหลือง	สม่ำเสมอ ทั้งฟอง	ลอกออก ยาก	กล้วย
5. สูตร F2	559.0e	เหลือง	สม่ำเสมอ ทั้งฟอง	ลอกออก ยาก	กล้วย
6. สูตร F3	302.8a	เหลือง	สม่ำเสมอ ทั้งฟอง	ลอกออก ยาก	กล้วย
7. สูตร Pt3	353.3b	เหลือง เข้ม	สม่ำเสมอ ทั้งฟอง	ลอกยาก ขาดง่าย	กล้วย เล็กน้อย
8. สูตร Pt4	385.3c	เหลือง เข้ม มี	สม่ำเสมอ ทั้งฟอง	ลอกออก ง่าย	กล้วย เล็กน้อย
9. สูตร Pt5	395.1c	เหลือง เข้ม แต่ มี	สม่ำเสมอ ทั้งฟอง	หนา ลอก ง่าย	กล้วย เล็กน้อย
10. สูตร Ca1	535.2d	สีเหลือง เข้ม	สม่ำเสมอ ทั้งฟอง	ลอกยาก ขาดง่าย	กล้วย เล็กน้อย
11. สูตร Ca2	694.4k	เหลือง เข้ม	สม่ำเสมอ ทั้งฟอง	ลอกออก ง่าย	กล้วย เล็กน้อย
12. สูตร Ca3	755.3o	เหลือง เข้ม	เคลือบไม่ สม่ำเสมอ	ลอกง่าย	กล้วย เล็กน้อย
13. สูตร K05	564.8e	เหลือง เข้ม	สม่ำเสมอ ทั้งฟอง	ลอกยาก ขาดง่าย	กล้วย เล็กน้อย

ตารางที่ 21 (ต่อ)

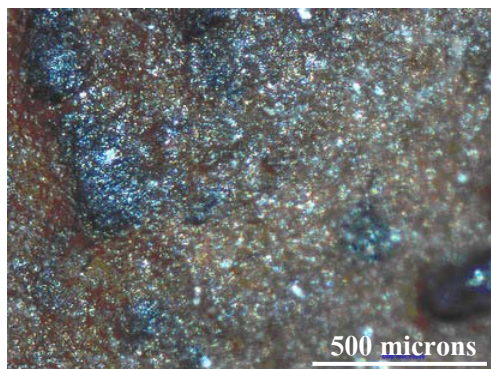
ชนิดของฟิล์ม	ความหนืด (เซนติไปวส์)	ลักษณะปรากฏหลังการเคลือบไขเค็ม			
		สี	การเคลือบ	การลอก	กลิ่น
14. สูตร K10	680.1j	เหลือง	สม่ำเสมอ	หนา ลอก	กล้วย
		เข้ม	ทิ้งฟอง	ออกง่าย	เล็กน้อย
15. สูตร K15	734.7l	เหลือง	เคลือบไม่	หนา ลอก	กล้วย
		เข้ม	สม่ำเสมอ	ออกง่าย	เล็กน้อย

หมายเหตุ: เปรียบเทียบค่าเฉลี่ย ($n = 5$) ด้วยวิธี DMRT โดยตัวอักษรที่ต่างกันในแนวตั้งแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95

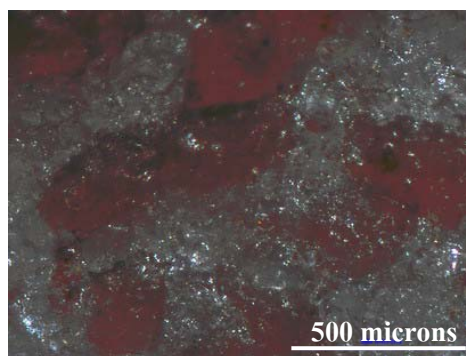
จากตารางที่ 21 เลือกฟิล์มที่ดีในแต่ละสูตร โดยประเมินจากลักษณะการเคลือบที่สม่ำเสมอบนเปลือกไข่ และความหนาที่พอเหมาะกับการลอกฟิล์มออกจากเปลือกไข่ได้ง่าย สูตรของส่วนผสมจากกล้วยน้ำว่าที่เหมาะสมในการเคลือบมีทั้งหมดดังนี้

1. แป้งกล้วยน้ำว่าร้อยละ 8 ผสมกลีเซอรอลร้อยละ 60
2. สูตร F3
3. สูตร Pt4
4. สูตร Ca2
5. สูตร K10

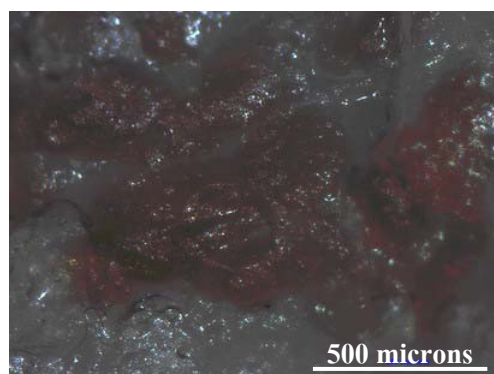
นำฟิล์มข้างต้นไปส่องกับกล้องจุลทรรศน์แบบสามมิติ (Stereo Microscope) สำหรับการส่องฟิล์มกล้วยน้ำว่าที่เคลือบบนเปลือกไข่ โดยมีกำลังขยาย 50 เท่า มีภาพแสดงดังนี้



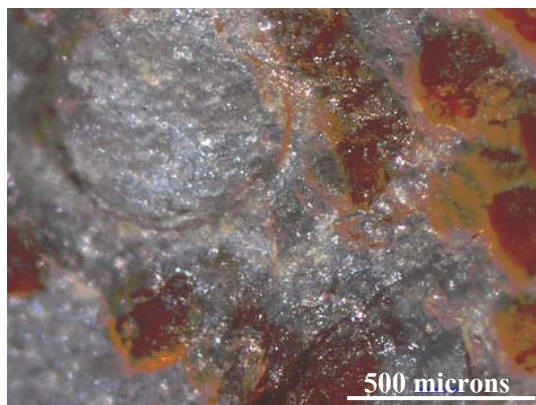
ภาพที่ 22 ฟิล์มที่เตรียมจากสูตร FGly60 ถ่ายด้วยกล้องจุลทรรศน์สามมิติกำลังขยาย 50 เท่า



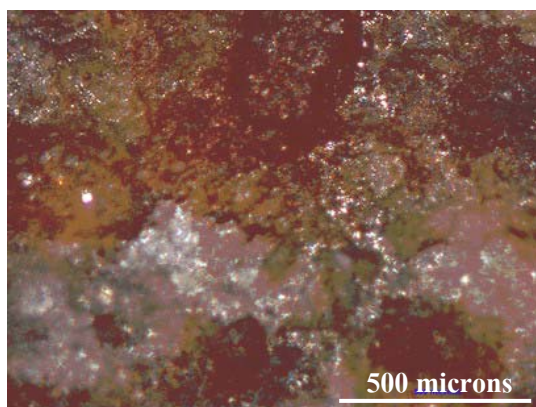
ภาพที่ 23 ฟิล์มที่เตรียมจากสูตร F3 ถ่ายด้วยกล้องจุลทรรศน์สามมิติกำลังขยาย 50 เท่า



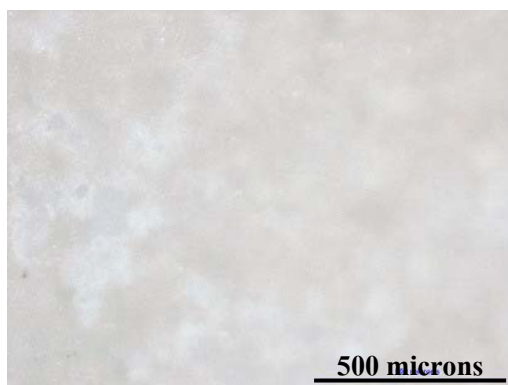
ภาพที่ 24 ฟิล์มที่เตรียมจากสูตร P4 ถ่ายด้วยกล้องจุลทรรศน์สามมิติกำลังขยาย 50 เท่า



ภาพที่ 25 ฟิล์มที่เตรียมจากสูตร Ca2 ถ่ายด้วยกล้องจุลทรรศน์สามมิติกำลังขยาย 50 เท่า

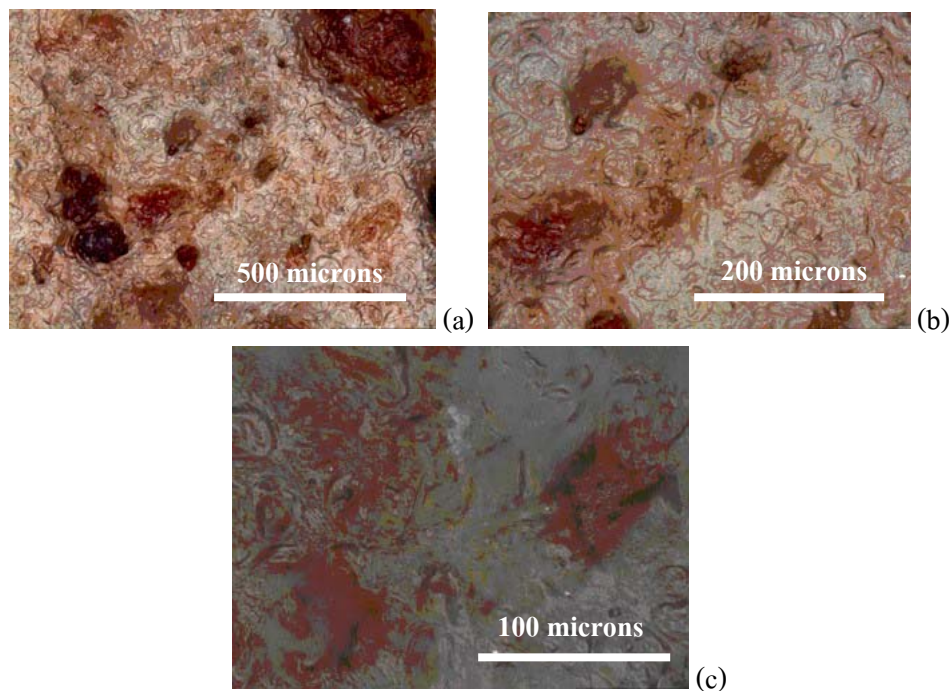


ภาพที่ 26 ฟิล์มที่เตรียมจากสูตร K10 ถ่ายด้วยกล้องจุลทรรศน์สามมิติกำลังขยาย 50 เท่า

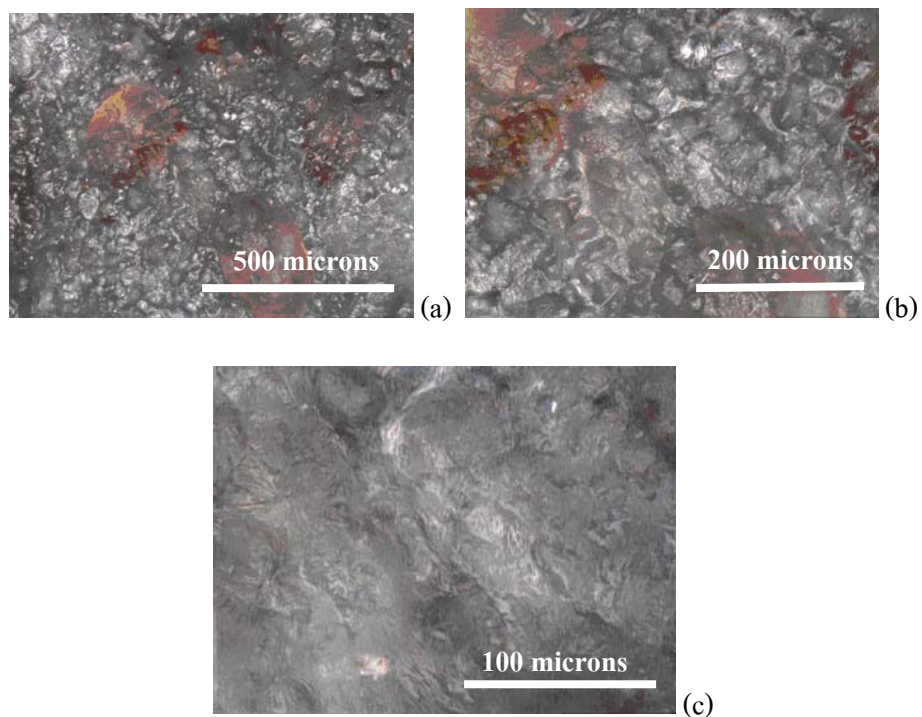


ภาพที่ 27 ฟิล์มเปลือกไข่เค็มก่อนการเคลือบฟิล์มจากกล้วยน้ำว้าถ่ายด้วยกล้องจุลทรรศน์สามมิติ
กำลังขยาย 50 เท่า

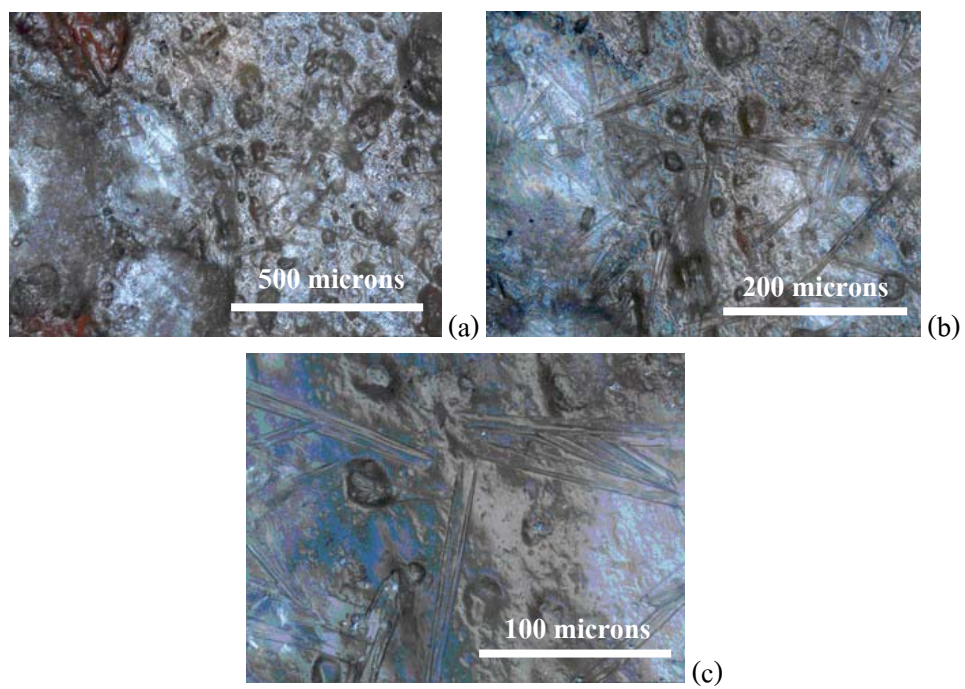
เลือกเฉพาะฟิล์มที่สามารถลอกออกได้อย่างสมบูรณ์ ส่องด้วยกล้องจุลทรรศน์สำหรับ
ตรวจสอบงานด้านโลหะวิทยา และ วัสดุศาสตร์ (Inverted System Metallurgical Microscope) มี
กำลังขยาย (a) 100, (b) 200 และ (c) 500 เท่า มีภาพดังนี้



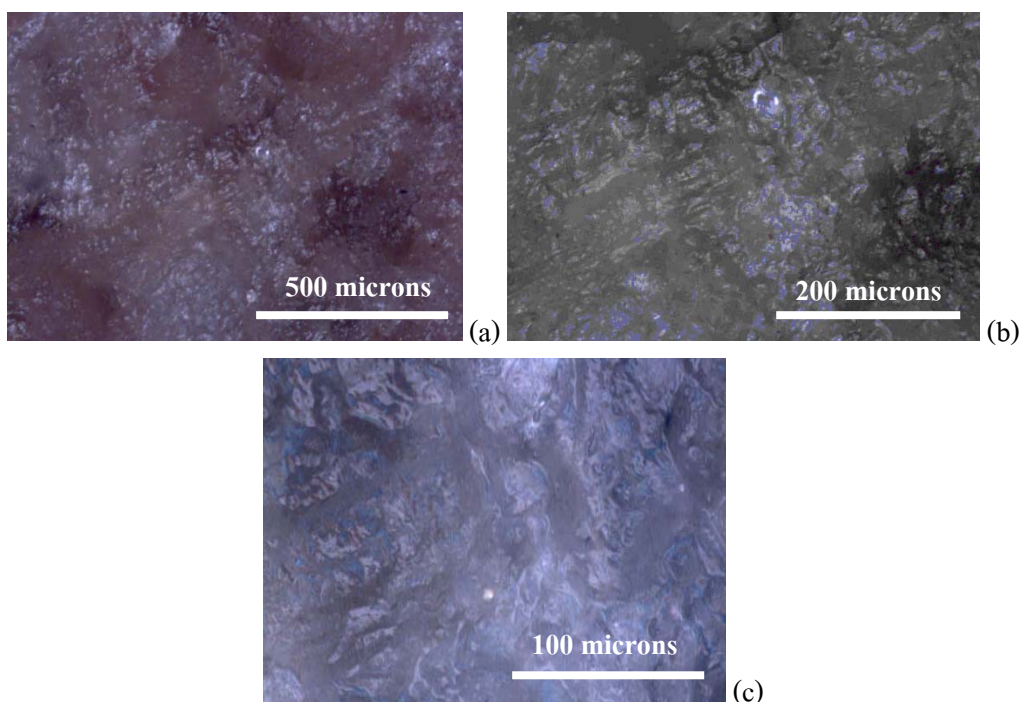
ภาพที่ 28 ผิวฟิล์มที่เตรียมจากสูตร FGly60 ถ่ายด้วยกล้องจุลทรรศน์สำหรับตรวจสอบงานด้าน
โลหะวิทยา และ วัสดุศาสตร์ กำลังขยาย 100 200 และ 500 เท่า



ภาพที่ 29 ฟิล์มที่เตรียมจากสูตร F2 ถ่ายด้วยกล้องจุลทรรศน์สำหรับตรวจสอบงานด้านโลหะวิทยา และ วัสดุศาสตร์กำลังขยาย 100 200 และ 500 เท่า



ภาพที่ 30 ฟิล์มที่เตรียมจากสูตร P4 ถ่ายด้วยกล้องจุลทรรศน์สำหรับตรวจสอบงานด้านโลหะวิทยา และ วัสดุศาสตร์กำลังขยาย 100 200 และ 500 เท่า



ภาพที่ 31 ผิวฟิล์มที่เตรียมจากสูตร Ca_2 ถ่ายด้วยกล้องจุลทรรศน์สำหรับตรวจสอบงานด้านโลหะวิทยา และ วัสดุศาสตร์กำลังขยาย 100 200 และ 500 เท่า

เมื่อส่องฟิล์มจากกล้องจุลทรรศน์ที่เคลือบบนเปลือกไข่ด้วยกล้องจุลทรรศน์แบบสามมิติ กำลังขยาย 50 เท่า สามารถเห็นภาพได้เฉพาะพื้นผิวที่เป็นสีของฟิล์มจริง มองเห็นส่วนที่เป็นเนื้อกล้วยและส่วนที่เป็นเจลใสแยกออกจากกัน ในขณะที่มองฟิล์มด้วยตาเปล่าไม่สามารถแยกออกได้ ไม่เห็นรูพรุนของฟิล์มเนื่องจากกล้องมีกำลังขยายที่ต่ำ พบว่าฟิล์มจากแป้งกล้วยมีพื้นผิวที่เรียบและเป็นเนื้อเดียวกัน มากกว่าฟิล์มชนิดอื่นที่ขรุขระและมีลักษณะของเจลที่บวมพองอย่างชัดเจน โดยเฉพาะฟิล์มที่เตรียมจากสูตร Ca_2 มีความขรุขระมากที่สุด

เมื่อส่องฟิล์มที่ลอกได้อย่างสมบูรณ์ด้วยกล้องจุลทรรศน์สำหรับตรวจสอบงานด้านโลหะวิทยา และ วัสดุศาสตร์ ที่มีกำลังขยายสูง 100 200 และ 500 เท่า พบว่าสามารถเห็นลักษณะพื้นผิวของฟิล์มจากกล้วยน้ำว้าที่ชัดเจนกว่ากล้องจุลทรรศน์แบบสามมิติ จากผลการทดลองพบว่า ฟิล์มจากสูตร FGly60 แสดงดังภาพที่ 26 เป็นฟิล์มแป้ง เมื่อส่องกล้องพบว่าฟิล์มที่ได้มีลักษณะของเม็ดสตาร์ชค่อนข้างมาก เนื่องจากองค์ประกอบส่วนใหญ่เป็นแป้ง และมีจุดสีน้ำตาลเข้ม ซึ่งเป็นส่วนประกอบของเม็ดกล้วยที่ปะปนอยู่ในแป้ง ฟิล์มเรียบและสามารถส่องเห็นรายละเอียดได้ชัดเจน เมื่อ

เปรียบเทียบกับฟิล์มสูตร F3 เป็นฟิล์มที่เดิมแป็งกล้วยเข้าไป ดังนั้นผิวฟิล์มที่แสดงดังภาพที่ 27 จึงมีลักษณะของการบวมพองของเม็ดสตาร์ช ผิวฟิล์มไม่เรียบทำให้เห็นรายละเอียดไม่ค่อยชัดเจน ส่วนฟิล์มที่เตรียมจากสูตร Pt4 เป็นฟิล์มเคลือบไขได้สมบูรณ์และมีความเรียบมากที่สุด ทำให้ได้ภาพจากการส่องกล้องที่มีความชัดเจน ดังแสดงในภาพที่ 28 พบว่าสามารถมองเห็นผลึกน้ำตาลในฟิล์มเนื่องจากเทคนิคมีการอุ่นน้ำไว้ได้ดีทำให้น้ำตาลที่เป็นองค์ประกอบภายในเกิดการตกผลึกในขณะที่มีการอบแห้งหลังการเคลือบ ทำให้เห็นผลึกของน้ำตาลอย่างชัดเจน เมื่อเปรียบเทียบกับฟิล์มที่เตรียมจากสูตร Ca2 ดังแสดงในภาพที่ 29 ฟิล์มชนิดนี้มีปริมาณน้ำตาลใกล้เคียงกันกับสูตร Pt4 แต่ภาพที่ได้ไม่สามารถมองเห็นผลึกน้ำตาล เนื่องจากฟิล์มที่ได้มีความหนาและไม่เรียบ ทำให้ไม่สามารถมองเห็นรายละเอียดได้อย่างชัดเจน เมื่อเปรียบเทียบการนำไปใช้งานฟิล์มที่เตรียมจากสูตร FGly60 สามารถขึ้นรูปเป็นแผ่นฟิล์มได้ดี แต่ไม่สามารถเคลือบไขได้เนื่องจากมีการแตก แต่ฟิล์มที่เตรียมจากสูตร Ca2 มีทิศทางที่ตรงข้ามกันคือ ไม่สามารถขึ้นรูปเป็นแผ่นฟิล์มได้ดีแต่สามารถเคลือบเปลือกไขได้หนา แต่ฟิล์มที่ได้ไม่ค่อยเรียบ

ดังนั้นการเลือกใช้งานจึงต้องเลือกใช้ฟิล์มจากกล้วยน้ำว้าให้เข้ากับการใช้งาน จึงจะมีประสิทธิภาพที่ดี พบว่าฟิล์มที่เหมาะสมในการขึ้นรูปและเคลือบ คือ ฟิล์มจากสูตร Pt4 ส่วนฟิล์มที่เหมาะสมกับการเคลือบมีความหนาที่สามารถลอกออกได้ง่าย คือ ฟิล์มจากสูตร Ca2 โดยฟิล์มทั้งสองสามารถใช้เคลือบไขได้ดี มีความหนาสม่เสมอ และไม่มีรูพรุนบนพื้นผิว แสดงว่าสามารถนำฟิล์มไปประยุกต์ใช้กับไขเค็มได้ ดังนั้นฟิล์มจากกล้วยน้ำว้าสามารถป้องกันการปนเปื้อนของจุลินทรีย์เข้าไปในเปลือกไขได้หรืออาจใช้สารพาหะที่ใช้ด้านจุลินทรีย์ใส่ลงไปในส่วนผสมของสูตรที่เหมาะสมในการใช้งานต่อไป

สรุปและข้อเสนอแนะ

สรุป

1. กล้วยน้ำว้ามีองค์ประกอบทางเคมีได้แก่ สตาร์ช และเพกติน เป็นองค์ประกอบหลักที่สามารถขึ้นรูปเป็นฟิล์มได้ ในการศึกษาใช้กล้วยน้ำว้าที่มีการแบ่งระดับการสุกเป็น 4 ระดับ โดยระดับการสุกที่ 1 (ดิบ) สามารถเตรียมวัตถุดิบเป็นแป้งกล้วย ส่วนกล้วยระดับการสุกที่ 2 (ห้าม), 3 (สุก) และ 4 (งอม) สามารถเตรียมวัตถุดิบเป็นพิวรี แต่ระดับการสุกสามารถใช้การหาค่าความเป็นกรด-เบส เพื่อแยกระดับการสุกของกล้วยน้ำว้า เนื่องจากมีความสะดวกรวดเร็วในทางปฏิบัติ
2. การขึ้นรูปฟิล์ม พบว่าแป้งกล้วยสามารถขึ้นรูปเป็นฟิล์มได้ แต่ต้องอาศัยการเติมพลาสติกไซเซอร์ในการขึ้นรูป ส่วนฟิล์มจากพิวรีกล้วยสามารถขึ้นรูปได้จากพิวรีของกล้วยระดับการสุกที่ 2, 3 และ 4 ที่ไม่ต้องเติมสารอื่นช่วย ลักษณะของฟิล์มที่ได้จากพิวรีกล้วยระดับการสุกที่ 2 เป็นฟิล์มที่มีรูเล็กๆ และเปราะ ส่วนฟิล์มจากกล้วยระดับการสุกที่ 4 ไม่สามารถลอกฟิล์มเป็นแผ่นออกได้หลังจากการอบแล้ว จึงมีการใส่สารแต่งเติม 4 ชนิดได้แก่ แป้งและพิวรีกล้วย กล้วยระดับการสุกที่ 2 เพกติน คาราจีแนน และ นูก เพื่อปรับปรุงสมบัติของฟิล์ม เนื่องจากกล้วยระดับการสุกนี้ไม่สามารถนำไปบริโภคได้อีก จึงปรับปรุงเพื่อเพิ่มมูลค่าของกล้วยให้สูงขึ้น
3. เมื่อนำฟิล์มทั้งหมดไปวัดค่าสมบัติทางการบรรจุ พบว่าฟิล์มจากแป้งกล้วย ต้องมีการเติมกลีเซอรอลร้อยละ 60 (ต่อน้ำหนักแป้งกล้วย) ส่วนฟิล์มที่ได้จากพิวรีที่ไม่เติมสารแต่งเติม นั้น พบว่าฟิล์มที่เตรียมจากพิวรีกล้วยน้ำว้าระดับการสุกที่ 3 เป็นฟิล์มที่ดีที่สุด และการปรับปรุงของส่วนผสมของกล้วยน้ำว้าระดับการสุกที่ 4 ต้องมีการเติมเพกตินความเข้มข้นร้อยละ 4 ซึ่งฟิล์มทั้ง 3 ชนิดเป็นฟิล์มที่มีสมบัติที่ดีที่สุดทางการบรรจุเหมาะสมในการนำไปใช้งานต่อไป เมื่อพิจารณาการใช้งานพบว่า ส่วนผสมที่สามารถขึ้นรูปเป็นฟิล์มได้ดี ได้แก่ สูตร FGly60 F2 และ Pt4 เนื่องจากมีสมบัติเบื้องต้นทางการบรรจุที่ดี และส่วนผสมที่เหมาะสมกับการเคลือบที่ดี ได้แก่ สูตร Pt4 Ca2 และ K10 เนื่องจากเคลือบได้ดี และลอกออกง่าย ซึ่ง Ca2 และ K10 มีการแข็งตัวเร็วทำให้เคลือบได้ง่าย และฟิล์มที่ได้หนา ง่ายต่อการลอกออก
4. การประยุกต์ใช้กับไข่เค็มต้มสุก พบว่าฟิล์มที่เคลือบด้วยส่วนผสมจากสูตร Pt4 เหมาะสมในการเคลือบมากที่สุด เมื่อนำไปส่องด้วยกล้องจุลทรรศน์สำหรับตรวจสอบงานด้าน

โลหะวิทยา และ วัสดุศาสตร์ ที่กำลังขยาย 500 เท่า พบว่าผิวฟิล์ม ไม่มีรูพรุน ผิวเรียบ เกาะติดได้ดี และ ลอกออกง่าย ส่วนไข่ที่เคลือบด้วยส่วนผสมจากสูตร Ca_2 สามารถแข็งตัวได้เร็ว เคลือบได้ดี หนาและลอกออกง่าย เช่นกัน แต่ฟิล์มที่ได้มีผิวไม่เรียบและขรุขระ ซึ่งการเคลือบด้วยส่วนผสมที่ เลือกลงมาทั้งหมดสามารถเคลือบปิดรูที่ผิวเปลือกไข่ได้ดี และไม่มีรูพรุน

ข้อเสนอแนะ

1. กัลวยดินเตามีปริมาณน้อย งานวิจัยควรมุ่งเน้นกัลวยระดับการสุกที่ 4 เนื่องจากเป็นเศษ เหลือทิ้งและมีปริมาณมาก จึงอาจเติมแป้งที่ได้จากพืชชนิดอื่นที่มีราคาถูก เนื่องจากแป้งจากกัลวย น้ำวามีปริมาณน้อย สามารถนำไปใช้ทำขนม และมีราคาสูงกว่าแป้งชนิดอื่น ทำให้ลดมูลค่าการผลิต เมื่อขึ้นรูปเป็นฟิล์ม
2. การกำจัดไส้ของกัลวยน้ำว้าออก ทำให้ได้ฟิล์มที่มีสมบัติทางกายภาพที่ดีขึ้น เนื่องจาก ไส้ของกัลวยน้ำว้าอาจมีผลในการขัดขวางการยึดเหนี่ยวกันของ โมเลกุลพิวรี ทำให้ได้ฟิล์มที่มีความ แข็งแรงต่ำ
3. ฟิล์มที่ได้อาจเติมสารที่ต้านจุลินทรีย์ เพื่อเป็นสารพาหะใช้ในการยืดอายุการเก็บของ ผลิตภัณฑ์อาหาร เนื่องจากฟิล์มจากกัลวยไม่มีอันตรายและปลอดภัยสำหรับผู้บริโภค

เอกสารและสิ่งอ้างอิง

กรมส่งเสริมการเกษตร. 2547. ตารางสถิติแสดงพื้นที่เพาะปลูกกล้วยน้ำว้าปี 2546. กระทรวงเกษตรและสหกรณ์, กรุงเทพฯ.

เบญจมาศ ศิลาชัย และ ฉลองชัย แบบประเสริฐ. 2526. แหล่งพันธุกรรมกล้วยในประเทศไทย พิมพ์ครั้งที่ 2. สภาวิจัยแห่งชาติ, กรุงเทพฯ.

กฤษดา วิชากรณ์. 2539. กล้วยและการปลูก. ภาควิชาพืชสวน คณะเกษตร มหาวิทยาลัยเชียงใหม่, เชียงใหม่.

เบญจพร เพ็งอัน. 2541. การผลิตและการใช้ประโยชน์พืชรักกล้วย. วิทยานิพนธ์ปริญญาโท. มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

เบญจมาศ ศิลาชัย. 2534. กล้วย. โรงพิมพ์บริษัทประชาชนจำกัด, กรุงเทพฯ.

เบญจมาศ ศิลาชัย. 2545. กล้วย. สำนักพิมพ์มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, กรุงเทพฯ.

ปนัดดา พวงเกษม. 2537. การเตรียมฟิล์มบริโภคได้จากแป้งชนิดต่างๆ. ปัญหาพิเศษปริญญาโท. มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

ปนัดดา พวงเกษม. 2540. การเตรียมฟิล์มบริโภคได้จากแป้งมันสำปะหลังและแนวทางการใช้ประโยชน์. วิทยานิพนธ์ปริญญาโท. มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

พิงพิศ ดุลยพัทธ์. 2541. กล้วยพืชชีวิตของคนไทย. สภาวิจัยแห่งชาติ, กรุงเทพฯ.

พอใจ ลี้มพันธ์อุดม. 2534. เอกสารประกอบการสอนวิชา สถิติและการควบคุมคุณภาพ. คณะเทคโนโลยีการเกษตร, สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง, กรุงเทพฯ.

- มณฑาทิพย์ ชุ่นฉลาด. 2534. การเตรียมฟิล์มอะมิโลสจากสตาร์ชมันเทศที่แยกส่วนแล้ว.
วิทยานิพนธ์ปริญญาโท. มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.
- มาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม. 2529. ภาชนะพลาสติกสำหรับบรรจุน้ำมันและไขมันบริโภค.
มอก. 654. กระทรวงอุตสาหกรรม. กรุงเทพฯ.
- สมศักดิ์ วรรณศิริ. 2541. **สวนกล้วย**. พิมพ์ครั้งที่ 4. สำนักพิมพ์ฐานเกษตรกรรม, นนทบุรี.
- สุวรรณ ประณีตวาทกุล และ สมพร อิศวิลานนท์. 2541. **โครงการผลัดตลาดและการรักษาระดับ
ราคาผลไม้: กรณีสถานภาพการผลิต การบริโภค ราคา และการตลาดผลไม้**. ภาควิชา
เศรษฐศาสตร์เกษตรและทรัพยากร คณะเศรษฐศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์,
กรุงเทพฯ.
- อภิสิทธิ์ วิริยานนท์. 2542. **กล้วย ช่วยผู้ฐานะเร็วไว ผลไม้แห่งนักปราชญ์**. สำนักพิมพ์น้ำฝน,
กรุงเทพฯ.
- อุไรวรรณ ดิลกคุณานนท์. 2531. **เทคนิคทางจุลทรรศน์อิเล็กตรอน**. ศูนย์เครื่องมือวิทยาศาสตร์
กลาง: สถาบันวิจัยและพัฒนา. มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์. กรุงเทพฯ
- Alais, C. and G. Linder. 1991. **Food Biochemistry**. Ellis Horwood, New York.
- American Society for Testing and Materials. 1988. **Standard Test Methods for Determining
Gas Permeability Characteristic of Plastic Film and Sheeting**, ASTM D 1434-82.
Annual Book of ASTM Standard. Philadelphia.
- _____. 1994. **Standard Test Methods for Tensile Properties of Thin Plastic Sheeting**,
ASTM D 882-91. Annual Book of ASTM Standard. Philadelphia.
- _____. 1994. **Standard Test Methods for Water Vapor Transmission of Materials**,
ASTM E 96-93. Annual Book of ASTM Standard. Philadelphia.

- A.O.A.C. 1990. **Association of Official Chemists, Official Methods of Analysis**. 15th ed., Washington, D.C.
- Banker, G.S. 1996. Water vapor transmission properties of free polymer films. **J. Pharmac.** 18: 457-472.
- Bello-Prerez, L.A., R. Romero-Manilla and O. Paredes-Lopez. 2000. Preparation and properties of physically modified banana starch prepared by alcoholic-alkaline treatment. **Starch/Stärke** 52 (7): 154-159.
- Bernfeld, P. 1995. **Amylase, α and β Method in Enzymology**. Academic Press, New York.
- Brandy, C.J. 1976. The pectinesterase in pulp of banana fruit. **J. Plant Physiol** 3(5):163-172.
- Bulter, B.L., P.J. Vergano, R.F. Testin, J.M. Bunn and J.L. Wiles. 1986. Mechanical and barrier properties of edible chitosan films as affected by composition and storage. **Journal of Food Science** 61(5): 953-955.
- Dorota G., G. Halina and G. Marek. 2005. Air oxidation of potato starch over zinc (II) catalyst. **Journal of Polish Agricultural Universities** 8(4): 85-91.
- Fogarty, W.M. and O.P. Ward. 1972. Pectin substances and pectinolytic enzymes. **Process Biochem** 7(8): 13-17.
- Garcia, M.A., M.N. Martino, N.E. Zaritzky and L. Plata. 2000. Microstructural characterization of plasticized starch-based films. **Starch/Starke** 52(7): 118-124.
- Gennadios, A., T.H. McHugh, C.L. Weller and J.M. Krochta. 1994. **Edible coatings and films based on protein to improve food quality**. Technomic Publish Co., Lancaster PA

- Goldstien, J.L. and E.L. Wick. 1969. Lipid in ripening banana fruit. **Journal of Food Science** 34(8): 482-484.
- Greenwood, C.T. 1960. Physicochemical studies on starches XXII: The molecular properties of the components of starches. **Starch/Staerke** 12(9): 169-174.
- Gross, J., M. Carmon, A. Lifshitz and C. Costes. 1976. Carotenoids of banana pulp, peel and leaves. **J. Food Science and Technology** 9(6): 211-214.
- Graham, H.O. 1998. Colloidal dispersions: polysaccharide gums, pp. 161-173. In M.S. Peterson and A.H. Johnson (eds.). **Encyclopedia of Food Science**. The AVI publishing company Inc. Westport.
- Guilbert, S. 1986. Technology and application of edible films, pp. 371-394. In M. Mathlouthi, (ed). **Food Packaging and Preservation Theory and Practice**. Elsevier Applied Science Publisher, London.
- Gulich, A.R. and J.C. Fitzgerald. 1964. **Egg Grading Manual**. USDA Agr. Marketing Serv. Agr., Washington.
- Harold M.G. 1984. **On food and cooking**; The Science and Lore of the Kitchen. Charles Scribner's Sons, New York.
- Hsing H. C. and H. L. Ming. 2000. Fermentation of Resistant Rice Starch Produces Propionate Reducing Serum and Hepatic Cholesterol in Rats. **Journal of Nutrition**. 130(9):1991-1995.
- International Standard Organization for Standardization. 1991. **Paper and board: Determination of water absorptiveness Cobb method**. ISO 535: 1991(E). Geneve.

- Juliano, B.O. 1971. A simplified assay for milled-rice amylose. **Cereal science today** 16(10): 334-338.
- Kester, J.J. and O.R. Fennema. 1986. Edible films and coating: review. **Food Technology** 40(12): 47-59.
- _____. 1986. Evaluation of an edible, heat sensitive cellulose ether-lipid film. **Food Technology** 40(3): 15-18.
- Kramer, A. and B.A. Twigg. 1973. **Quality Control For the Food Industry**. V.2 applications, The AVI Publishing Com, Inc., Westport.
- Knight, J.W. 1969. **The Starch Industry**. Pergamon Press Ltd., London.
- Kotecha, P.M. and B.B. Desai. 1995. **Handbook of Fruit Science and Technology: Production, Composition, Storage and Processing**. Marcel Dekker Inc., New York.
- Krochata, J.M., E.A. Baldwin, and M. Nisperos Carriedo. 1994. **Edible Coating and films to Improve Food quality**. Technomic Publishing Company, Inc. Lancaster.
- Lii, C.Y., S.M. Chang and Y.L. Young. 1982. Investigation of the physical and chemical properties of banana starches. **Journal of Food Science** 47(9), 1493-1497.
- Mark, A.M., W.B. Roth, C.L. Methltretter and C.E. Rist. 1996. Oxygen permeability of amylo maize starch films. **Food Technology** 50 (15): 75-77.
- Mc Cready, R.M., J. Gruggolz, V. Silveria and H.S. Owens. 1975. Determination of starch and amylase in vegetables. **Ann. Chem.** 22 (9): 1156-1158.

- McHugh, T.H., C.C. Huxsoll and J.M. Krochta. 1996. Permeability properties of fruit puree edible films. **Journal of Food Science** 61(9):88-91.
- McHugh, T.H. and E. Senesi. 2000. Apple Wraps: A Novel Method to Improve the Quality and extend the shelf life of fresh-cut Apples. **Journal of Food Science** 65(3): 480-485.
- Mitra, S.K. 1997. **Postharvest Physiology of Tropical and Subtropical Fruits**. Faculty of Horticulture West Bengal, India.
- Núñez-Santiago, M. C., L. A. Bello-Pérez and A. Tecante. 2003. Swelling-solubility characteristics granule size distribution and rheological behavior of banana (*Musa paradisiaca*) starch. **Carbohydrate Polymers** 56 (1): 65-75.
- Owens, H.S. 1952. **Methods of Western Regional Research Lab**. Albany.
- Palmer, J.K. 1971. **The Biochemistry of Fruits and Their Products**. Academic Press, London.
- Pilar Cano, M., A. Marin and F. Carmen. 1990. Freezing of banana slice : Influence of maturity level and thermal treatment prior to freezing. **Journal of Food Science** 55(4): 1070-1072.
- Ramaswamy, H.S. and M.A. Tung. 1989. Technical notes: Textural changes as related to color of ripening bananas. **J. Food science and Technology**. 24: 217-221.
- Ramaswamy, H.S. and M.A. Tung. 1989. Technical notes: Textural changes as related to color of ripening bananas. **Intern. J. Food science and Technology** 24 : 217-221.
- Ruck, A.J. 1995. **Chemical Methods for Analysis of fruit and Vegetable Product**. Department of Agriculture, Canada.

- Simmonds, N.W. 1977. **Banana: Evolution of crop plants**. Longman, London.
- Spiess, W.E.L and W. Wolf. 1987. Critical evaluation of methods to determines moisture sorption isotherms, pp. 215-233. In L.B. Rockland and L.R. Beuchat, eds. **Water Activity: Theory and Applications to Food**. Marcel Dekker, Inc., New York.
- Technical Association of the Pulp and Paper Industry: TAPPI. 1994. **Turpentine test for void in glassine and greaseproof paper**. T454 om-94. Georgia.
- Thomas, W.R. 1992. Carrageenan, pp.24-39. In A. Imeson (ed.). **Thickening and Gelling Agent for food**. Blackie Academic & Professional, London.
- Tressl, R. and W.G. Jennings. 1972. Production of volatile compounds in the ripening banana. **J. of Agricultural Food Chemistry** 20: 189-192.
- Tye, R.J. 1991. Konjac Flour: Properties and application. **Food Technology** 45(3): 86-92.
- Von Loesecke, H.W. 1950. **Bananas**. Interscience Publishers, Inc., New York.
- Wade, N.L., P.B.H. O' Connell and C.J. Brady. 1972. Content of RNA and protein of the ripening banana. **Phytochemistry** 11: 957-979.
- Waliszewski, K.N., M.A. Aparicio, L.A. Bello and J.A. Monroy. 2003. Changes of banana starch by chemical and physical modification. **Carbohydrate Polymers** 52: 237-242.
- WHO. 1981. **Evaluation of Certain Food Additives**, World Health Organization Technical Report Series No. 669, USA.
- Will, R.B.H., J.S.K. Lim and H. Greenfield. 1984. Changes in chemical composition of "Cavendish" banana (*Musa acuminata*) during ripening. **J. Food Biochem.** 8:69-77.

ภาคผนวก

ภาคผนวก ก

วิธีการวิเคราะห์

1. การวิเคราะห์ปริมาณสตาร์ช (Mc Cready *et al.*, 1975)

วิเคราะห์ปริมาณสตาร์ช (Starch) ในรูปของกลูโคสโดยการย่อยสตาร์ชด้วยกรดเปอร์คลอริก

1.1 การเตรียมสารเคมี

แอนโทรน-กรดซัลฟิวริก เตรียมโดยละลายแอนโทรน 2 กรัม ในกรดซัลฟิวริก เข้มข้นร้อยละ 95 ปริมาณ 1 ลิตร เก็บที่อุณหภูมิประมาณ 0°C เก็บไว้ใช้ได้ 2 วัน สารละลายนี้ไม่เสถียร ถ้าเก่าเก็บจะให้ค่าสตาร์ชที่แปรผันไป

เอทิลแอลกอฮอล์ความเข้มข้นร้อยละ 80 เตรียมโดยละลายเอทิลแอลกอฮอล์ เข้มข้นร้อยละ 95 ปริมาตร 1,680 มิลลิลิตร ปรับปริมาตรให้เป็น 2 ลิตรด้วยน้ำกลั่นจะได้ เอทิลแอลกอฮอล์ความเข้มข้นร้อยละ 80

กรดเปอร์คลอริกความเข้มข้นร้อยละ 52 เตรียม โดยเติมกรดเปอร์คลอริกความ เข้มข้นร้อยละ 72 ปริมาตร 270 มิลลิลิตร ในน้ำ 100 มิลลิลิตร เก็บในขวดแก้วมีฝาปิดสนิท

สารละลายกลูโคสมาตรฐาน เตรียมโดยละลายกลูโคสที่แห้งปราศจากน้ำ (Anhydrous glucose) จำนวน 1.000 กรัม ในน้ำปริมาตร 100 มิลลิลิตร ไปเปิดสารละลายกลูโคสที่ เตรียมได้ 10 มิลลิลิตร ปรับปริมาตรด้วยน้ำกลั่นให้เป็น 100 มิลลิลิตร ในขวดปรับปริมาตร แล้วไป เปิดสารละลายกลูโคสที่เจือจางนั้น 10 มิลลิลิตร เติมกรดเปอร์คลอริก 19.5 มิลลิลิตร แล้วปรับ ปริมาตรด้วยน้ำกลั่นให้เป็น 100 มิลลิลิตรอีกครั้งหนึ่ง จะได้สารละลายกลูโคสมีความเข้มข้น 100 ไมโครกรัม/มิลลิลิตร

ไปเปิดสารละลายกลูโคสความเข้มข้น 100 ไมโครกรัม/มิลลิลิตร ลงในขวดปรับ ปริมาตร ที่เตรียมไว้ 5, 10, 15 และ 20 มิลลิลิตร ใส่ขวดปรับปริมาตรขนาด 100 มิลลิลิตร จำนวน 4

ใบ ตามลำดับ เติมน้ำกลั่นให้เป็น 100 มิลลิลิตร จะได้สารละลายกลูโคสมาตรฐานที่มีความเข้มข้นร้อยละ 5, 10, 15 และ 20 ไมโครกรัม/มิลลิลิตร

เตรียมกราฟมาตรฐาน (Standard curve) โดยเปิดสารละลายกลูโคสมาตรฐานที่มีความเข้มข้นทั้ง 4 ระดับ ที่เตรียมไว้ มาระดับละ 5 มิลลิลิตร ใส่หลอดทดลองซึ่งจะได้ความเข้มข้นเป็น 25, 50, 75, และ 100 ไมโครกรัม/มิลลิลิตร ตามลำดับแล้ว ทำให้เย็นด้วยน้ำแข็งเตรียมสารละลายแอนโทรนปริมาตร 10 มิลลิลิตร ทำให้เย็นในน้ำ ผสมให้เข้ากัน ต้มด้วยอุณหภูมิน้ำเดือดเป็นเวลา 7.5 นาที ทำให้เย็น นำไปวัดค่าการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 630 นาโนเมตร

1.2 การสกัดตัวอย่าง

บดกล้วย 100 กรัม กับน้ำ 100 กรัม แบ่งตัวอย่างน้ำหนัก 5 กรัม ใส่ใน centrifuge tube ขนาด 50 มิลลิลิตร สกัดน้ำตาลออกด้วยเอทิลแอลกอฮอล์ร้อยละ 80 ที่อุณหภูมิประมาณ 80°C 4 ครั้ง ครั้งละ 30 มิลลิลิตร แต่ทุกครั้งเหยียงแยก แล้วเทส่วนที่เป็นของเหลวใส่ทิ้ง โดยอาจต้องสกัดซ้ำมากกว่า 4 ครั้ง จนกระทั่งไม่มีน้ำตาลอยู่เลยในแอลกอฮอล์ที่สกัด โดยแอลกอฮอล์ที่ได้นั้น ไม่สร้างสีเดียวกับแอนโทรน กากที่เหลือใน centrifuge tube นำมาสกัดหาปริมาณสตาร์ชต่อ โดยเติมน้ำในปริมาตร 10 มิลลิลิตร แช่ให้เย็นในอ่างน้ำแข็ง (Ice-bath) เดิมกรดเปอร์คลอริกปริมาตร 13 มิลลิลิตร ทิ้งไว้เป็นเวลา 15 นาที คนเป็นครั้งคราว เติมน้ำ 20 มิลลิลิตร คนให้ทั่วแล้วเหยียงแยกในส่วนใสใส่ขวดปรับปริมาตรขนาด 100 มิลลิลิตร กากที่เหลือในหลอดทดลอง (Centrifuge tube) นำมาสกัดซ้ำ โดยเติมน้ำในปริมาตร 5 มิลลิลิตร ทำให้เย็น เดิมกรดเปอร์คลอริก ปริมาตร 6.5 มิลลิลิตร ทิ้งไว้เป็นเวลา 15 นาที คนเป็นครั้งคราว เทรวมในขวดปรับปริมาตร เติมน้ำให้ครบ 100 มิลลิลิตร กรองด้วยกระดาษกรอง ทิ้งสารละลายที่กรองไปได้ปริมาตร 5 มิลลิลิตรแรกไปเปิดส่วนใสในปริมาตร 1-2 มิลลิลิตร ใส่ขวดปรับปริมาตร แล้วเติมน้ำให้ครบ 100 มิลลิลิตร นำไปวิเคราะห์ปริมาณสตาร์ชซึ่งถูกย่อยสลายเป็นกลูโคส

1.3 การวิเคราะห์

ไปเปิดสารละลายตัวอย่างที่สกัดได้ปริมาตร 5 มิลลิลิตร ใส่หลอดทดลองทำให้เย็นในอ่างน้ำแข็ง เดิมแอนโทรนปริมาตร 10 มิลลิลิตร ทำให้เย็นในน้ำ ผสมให้เข้ากันต้มในน้ำเดือดเป็นเวลา 7.5 นาที (ควรต้มตัวอย่างทั้งหมดในคราวเดียวกัน) ทำให้เย็นจนมีอุณหภูมิ 25°C นำวัดค่าการ

ดูดกลืนแสงที่ได้มา หาปริมาณกลูโคสจากกราฟมาตรฐาน คุณค่าที่ได้ด้วย 0.90 เพื่อเปลี่ยนเป็นค่าของสตาร์ช

2. วิธีการวิเคราะห์ปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์ และน้ำตาลรวม (Bernfeld,1995)

2.1 การเตรียมสารเคมี

2.11 สารละลายกรดไฮโดรคลอริกเข้มข้น 6 นอร์มัล เตรียมโดยเปิดสารละลายกรดไฮโดรคลอริกเข้มข้น(ปราศจากน้ำ) 300 มิลลิลิตร แล้วปรับให้มีปริมาตรเป็น 500 มิลลิลิตร ด้วยน้ำกลั่น

2.12 สารละลายกรด 3,5-ไดไนโตรซาลิไซลิก (3,5- dinitrosalicylic acid; DNS) เตรียมโดยชั่ง DNS มา 1 กรัม ละลายในน้ำกลั่น 50 มิลลิลิตร ที่เติมสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ 2 นอร์มัล จำนวน 20 มิลลิลิตร จากนั้นเติมสารโซเดียม-โพแทสเซียมเตตระทลงไป 30 กรัม คนให้เข้ากัน แล้วปรับปริมาตรเป็น 100 มิลลิลิตร เก็บในขวดสีชา (ควรระวังอย่าให้ถูกแสงแดด ความร้อน และคาร์บอนไดออกไซด์)

2.1.3 สารละลายซิงค์เฟอโรไซยาไนด์

ก. สารละลาย a เตรียมโดยละลายสารซิงค์อะซิเตท จำนวน 21.9 กรัม แล้วเติมกรดแอสติกเข้มข้น(ปราศจากน้ำ) (Glacial acetic acid) จำนวน 3 มิลลิลิตร จากนั้นปรับปริมาตรให้ครบ 100 มิลลิลิตร ด้วยน้ำกลั่น

ข. สารละลาย b เตรียมโดยละลายสารโพแทสเซียมเฟอโรไซยาไนด์ จำนวน 10.6 กรัม ในน้ำกลั่น แล้วปรับปริมาตรให้ครบ 100 มิลลิลิตร

2.1.4 สารละลายกลูโคสมาตรฐาน ความเข้มข้น 0.25, 0.5, 0.75, 1.0, 1.25, 1.5, 1.75 และ 2.0 มิลลิกรัม/มิลลิลิตร โดยละลายสารกลูโคสจำนวน 0.2 กรัม ในน้ำกลั่น แล้วปรับปริมาตรให้ครบ 100 มิลลิลิตร จะได้สารละลายกลูโคสมาตรฐานความเข้มข้น 2.0 มิลลิกรัม/

มิลลิลิตร จากนั้นนำมาเจือจางให้มีความเข้มข้นของกลูโคสเท่ากับ 0.25, 0.5, 0.75, 1.0, 1.25, 1.5 และ 1.75 มิลลิลิตร ตามลำดับ

2.2 วิธีทำกราฟมาตรฐานของกลูโคส

ปิเปตสารละลายมาตรฐานกลูโคสที่ความเข้มข้น 0.25, 0.5, 0.75, 1.0, 1.25, 1.5 และ 1.75 มิลลิกรัม/มิลลิลิตร ตามลำดับ จำนวน 2 มิลลิลิตร ใส่ลงไปในหลอดทดสอบแต่ละหลอด เติมสารละลายกรด DNS จำนวน 2 มิลลิลิตร นำไปต้มในน้ำเดือด เป็นเวลา 5 นาที แล้วแช่ในน้ำแข็งทันทีเป็นเวลา 5 นาที เติมน้ำกลั่นจำนวน 20 มิลลิลิตร เขย่าให้เข้ากัน นำไปวัดค่าการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 540 นาโนเมตร โดยใช้แบลนค์ (Blank) เป็นสารละลายเปรียบเทียบ จากนั้นนำค่าการดูดกลืนแสง และความเข้มข้นของสารละลายกลูโคส (มิลลิกรัม/มิลลิลิตร) มาเขียนเป็นกราฟมาตรฐาน

2.3 การเตรียมตัวอย่าง

ชั่งแป้งกล้วย(ระดับการสุกที่ 1) หรือ พิวรีกล้วย (ระดับการสุกที่ 2-4) 10 กรัม ปั่นในน้ำกลั่น 100 มิลลิลิตร แล้วเทสารละลายทั้งหมดใส่ในขวดปรับปริมาตรขนาด 250 มิลลิลิตร เติมสารละลายซิงค์เฟอโรไซยาไนด์ (สารละลาย a และ b) ลงไปอย่างละ 5 มิลลิลิตร แล้วปรับปริมาตรให้ครบ 250 มิลลิลิตร ตั้งทิ้งไว้ที่อุณหภูมิห้องอย่างน้อย 20 นาที จากนั้นจึงกรองโดยใช้กระดาษกรองเบอร์ 4

2.4 การวิเคราะห์

2.4.1 การวิเคราะห์ปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์

ปิเปตสารละลายที่ได้จากการกรองมาจำนวน 2 มิลลิลิตร ใส่ลงในหลอดทดสอบแล้วเติมสารละลาย DNS ลงไป 2 มิลลิลิตร เขย่าให้เข้ากัน ต้มในน้ำเดือด 5 นาที แล้วแช่ในน้ำเย็นทันที จากนั้นเจือจางด้วยน้ำกลั่น 20 มิลลิลิตร นำไปวัดค่าการดูดกลืนแสงที่ 540 นาโนเมตร โดยใช้เครื่องสเปคโตรโฟโตมิเตอร์

2.4.2 การวิเคราะห์ปริมาณน้ำตาลรวม

นำสารละลายที่ได้จากการกรองมาจำนวน 50 มิลลิลิตร ใส่ลงขวดปรับปริมาตรขนาด 100 มิลลิลิตร เติมสารละลายกรดไฮโดรคลอริกที่มีเข้มข้น 6 นอร์มัล จำนวน 10 มิลลิลิตร นำไปอุ่นในอ่างปรับอุณหภูมิ ที่อุณหภูมิ 70°C เป็นเวลา 10 นาที แล้วรีบทำให้เย็นลงอย่างรวดเร็ว จากนั้นทำให้ส่วนผสมทั้งหมดเป็นกลางด้วยด่าง (ควรใช้ด่างเข้มข้น 5 นอร์มัล) ปรับปริมาตรให้ครบ 100 มิลลิลิตร แล้วนำไปวิเคราะห์ต่อไปตามข้อ 2.4.1

3. วิธีวิเคราะห์ปริมาณเพคตินในรูปแคลเซียมเพคเตท (Ruck, 1995)

3.1 การเตรียมสารเคมี

3.1.1 สารละลายกรดแอสติกเข้มข้น 1 นอร์มัล เตรียมโดยปีเปตสารละลายกรดแอสติกเข้มข้น(ปราศจากน้ำ) 30 มิลลิลิตร แล้วปรับให้มีปริมาตรเป็น 500 มิลลิลิตร ด้วยน้ำกลั่น

3.1.2 สารละลายแคลเซียมคลอไรด์เข้มข้น 1 นอร์มัล เตรียมได้โดยละลายสารแคลเซียมคลอไรด์ (ปราศจากน้ำ) จำนวน 27.5 กรัม ในน้ำกลั่น จากนั้นปรับปริมาตรให้เป็น 500 มิลลิลิตร

3.1.3 สารละลายซิลเวอร์ไนเตรทเข้มข้นร้อยละ 1 เตรียมโดยละลายสารซิลเวอร์ไนเตรทจำนวน 1 กรัม ในน้ำกลั่น จากนั้นปรับปริมาตรเป็น 100 มิลลิลิตร

3.2 การเตรียมตัวอย่าง

ชั่งตัวอย่างที่ต้องการหาเพคตินมาจำนวน 50 กรัม ใส่ลงในบีกเกอร์ขนาด 800 มิลลิลิตร เติมน้ำกลั่นประมาณ 400 มิลลิลิตร นำไปต้มให้เดือดเบาๆ เป็นเวลา 1 ชั่วโมง ขณะที่ต้มต้องคอยเติมน้ำกลั่น เพื่อทดแทนน้ำส่วนที่ระเหยออกไป ทิ้งให้เย็น จากนั้นปรับปริมาตรให้เป็น 500 มิลลิลิตร กรองตัวอย่างที่ได้ด้วยกระดาษกรองเบอร์ 4 ให้สารละลายใส

3.3 การวิเคราะห์

เปิดสารละลายไซมา 100 มิลลิลิตร ใส่ลงในบีกเกอร์ขนาด 800 มิลลิลิตร เติมน้ำกลั่น 300 มิลลิลิตร และสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์เข้มข้น 1 นอร์มัล จำนวน 10 มิลลิลิตร กวนสารละลายให้เข้ากัน ตั้งทิ้งไว้ 1 คืน

เติมสารละลายกรดแอสติกเข้มข้น 1 นอร์มัล จำนวน 50 มิลลิลิตร กวนและตั้งทิ้งไว้ 5 นาที เติมน้ำกลั่นและแคลเซียมคลอไรด์เข้มข้น 1 นอร์มัล จำนวน 25 มิลลิลิตร แล้วตั้งทิ้งไว้ 1 ชั่วโมง ก่อนนำไปต้มให้เดือดเบาๆ นาน 1 นาที ระบายความร้อนด้วยกระดาษกรองเบอร์ 4 แล้วล้างตามด้วยน้ำกลั่นร้อน จนกระทั่งสารละลายใสปราศจากคลอไรด์อิสระ (ตรวจสอบได้โดยไตเตรทกับสารละลายซิลเวอร์ไนเตรทเข้มข้นร้อยละ 1) นำตะกอนเพกตินบนกระดาษกรองเข้าสู่อบอุณหภูมิ 100°C นาน 2 ชั่วโมง ทิ้งให้เย็นในเดสิคเคเตอร์ (Desiccator) ก่อนชั่งน้ำหนักที่แน่นอน

3.4 การคำนวณ

$$\text{ร้อยละของแคลเซียมเพคเตท} = \frac{\text{น้ำหนักของแคลเซียมเพคเตท} \times 100}{\text{น้ำหนักของตัวอย่าง}}$$

4. วิธีการวัดค่าสี

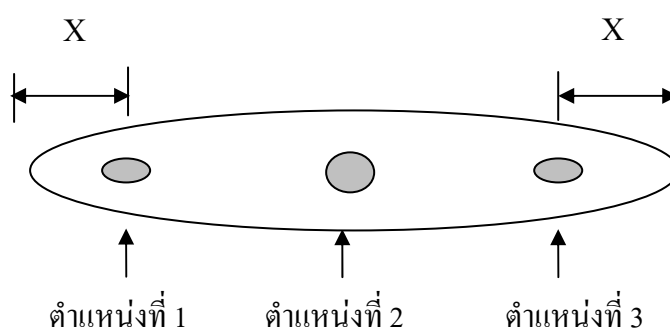
วัดค่าสีของตัวอย่างด้วยเครื่อง (Minolta CR300) คัดแปลงจาก Ramaswamy และ Tung (1989) ดังต่อไปนี้

4.1 การเตรียมตัวอย่าง

สุ่มกล้วยน้ำว้าจากเครือเดียวกัน ครั้งละ 10 ผล โดยการวัดแต่ละครั้งมีการสุ่มกล้วยน้ำว้าตามระยะการสุก 4 ระดับ แต่ละครั้งห่างกัน 2 วัน รวมเป็นระยะเวลา 7 วัน ล้างทั้งผลให้สะอาด ก่อนการวัดสี

4.2 การทดสอบ

เปิดเครื่องก่อนใช้งานประมาณ 1 ชั่วโมง ตั้งค่าใหม่ (Calibrate) เครื่องกับกระเบื้องขาว ก่อน จากนั้นวัดสีเปลือกกล้วย 3 ตำแหน่ง ดังรูป เฉลี่ยค่าที่วัดแต่ละครั้ง 3 ครั้ง กำหนดค่าสีเป็น L,a,b ตามมาตรฐานเพื่อเปรียบเทียบค่าที่วัดได้กับคู่อันดับมาตรฐานที่ได้จากสีของเปลือกกล้วยขณะนั้น บันทึกค่า L,a,b



หมายเหตุ X เท่ากับ 1.5 เซนติเมตร เป็นระยะห่างจากปลายผล

5. วิธีการหาปริมาณกรด; Titratable acidity (A.O.A.C., 1990)

กล้วยน้ำว้า 10 กรัมในน้ำ 10 มิลลิลิตร ปั่น แล้วไทเทรตจากน้ำที่คั้นได้ โดยใช้ฟีนอล์ฟทาลีน (Phenolphthalein) ร้อยละ 1 ปริมาณ 1-2 หยด เป็นดัชนีที่ใช้วัด (Indicator) โดยเจือจางน้ำคั้นก่อน การไทเทรตตามความเหมาะสมจนถึงจุดสิ้นสุด (End point) คือเมื่อสารละลายมีสีชมพูอย่างน้อย 30 วินาที หรือไทเทรตแล้วอ่านค่าความเป็นกรด-เบสถึง 8.1 คำนวณกรดที่ไทเทรตได้เป็นกรดมาลิกซึ่งเป็นกรดที่เป็นองค์ประกอบหลักของกล้วย

$$\text{ร้อยละของปริมาณกรด (Titratable acidity)} = \frac{(\text{ml NAOH}) (\text{N NaOH}) (\text{meq.wt. acid})}{\text{Wt. Of sample}} \times 100$$

หมายเหตุ: meq.wt. malic acid = 0.067

N = นอร์มัล (normal) ความเข้มข้นของ NaOH

6. วิธีการวัดความหนืดที่อุณหภูมิห้องด้วยเครื่อง Brookfield

6.1 การเตรียมตัวอย่าง

เตรียมส่วนผสมของกล้วยน้ำว้าระดับการสุกต่างๆ 600 มิลลิลิตร ที่ใช้ขึ้นรูปเป็นฟิล์ม โดยวัดค่าความหนืด ณ อุณหภูมิที่ใช้ในการขึ้นรูป ซึ่งแตกต่างกันขึ้นกับประเภทของส่วนผสม

6.2 การทดสอบ

ติดตั้งใบพัดเบอร์ 0 ปรับความเร็วของเครื่อง 100 rpm นำตัวอย่างใส่ในบีกเกอร์ให้มีระดับของตัวอย่างถึงรอยขีดบนแกนหมุน เปิดสวิทช์เครื่อง ปลดยंत्रไกวาล์วหน้าจอหมุนกงที่ อ่านค่าได้แล้วคูณด้วยแฟกเตอร์ (Factor finder) จะได้ค่าความหนืดเป็นเซนติปัวส์ (Centipoises)

7. วิธีการขึ้นรูปฟิล์มโดยตัดแปลงจากวิธีทางโครมาโตกราฟีแบบแผ่นบาง (ปนัดดา, 2540)

เตรียมพิวรีจากกล้วยน้ำว้าตามระยะการสุกที่ต้องการ แล้วแบ่งนำไปวัดความหนืดด้วยเครื่องวัดความหนืด (Brookfield) ชั่งน้ำหนักสารละลายประมาณ 200 กรัม เทลงในรางปาดตั้งความสูงไว้ 2 มิลลิเมตร ที่วางอยู่บนแผ่นกระจกซึ่งตั้งด้วยพอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นต่ำ ลากเครื่องปาดด้วยความเร็วสม่ำเสมอ โดยให้สารละลายกระจายเต็มแผ่นกระจก นำไปอบให้แห้งด้วยตู้อบไฟฟ้าที่อุณหภูมิ 45 °ซ จนแผ่นฟิล์มแห้งสนิทแล้วลอกฟิล์มออก

8. วิธีการวัดความหนาของฟิล์ม (ตัดแปลงจาก Bulter and other ,1996)

ตัดตัวอย่างทิศทางการปาดฟิล์ม (Machine Direction) ขนาด 25×100 มิลลิเมตร วัดความหนาด้วยเครื่องวัดความหนา (Thickness Tester model 49-72 TMI) ตัวอย่างละ 5 จุด แล้วทำการหาค่าเฉลี่ย

9. วิธีการวัดค่าความชื้น (A.O.A.C., 1990)

9.1 การเตรียมตัวอย่าง

ตัดตัวอย่างเป็นชิ้นเล็กๆ ขนาดเท่าๆ กัน

9.2 การทดสอบ

นำถ้วยหาคความชื้น ไปอบที่อุณหภูมิ 105 °ซ ประมาณ 15 นาที ชั่งน้ำหนักถ้วยที่คงที่ นำตัวอย่างใส่ลงในถ้วยหาคความชื้นประมาณ 5 กรัม ชั่งน้ำหนักอย่างละเอียดทศนิยม 4 ตำแหน่ง นำไปอบที่อุณหภูมิ 105 °ซ ประมาณ 3 ชั่วโมง ปล่อยให้เย็นในเคชิกเคเตอร์ นำมาชั่งน้ำหนักอีกครั้ง จากนั้นอบต่อทุก 1 ชั่วโมงจนกว่าน้ำหนักคงที่ คำนวณหาค่าความชื้นของตัวอย่าง ดังสูตรคำนวณ

$$\text{ร้อยละของความชื้น} = \frac{\text{น้ำหนักตัวอย่างก่อนอบ} - \text{น้ำหนักตัวอย่างหลังอบ}}{\text{น้ำหนักตัวก่อนอบ}} \times 100$$

10. วิธีการวัดค่าแอกทิวิตี (Water Activity)

นำตัวอย่างที่ตัดเป็นชิ้นเล็กๆ ใส่ลงในตลับพลาสติกประมาณ 2 ใน 3 ส่วน จากนั้นวางตลับตัวอย่างไว้ในช่องวัดค่าของเครื่อง เมื่อเข้าสู่สภาวะสมดุล โดยถูกศรจะมีการชี้ไปในทิศทางขนานแนวราบ จดค่าแล้วเปลี่ยนวัดตัวอย่างใหม่ และ 1 ตัวอย่าง ทำการวัด 5 ซ้ำ

11. วิธีการทดสอบค่าความต้านทานแรงดึงขาดและการยึดตัวของฟิล์ม (ASTM D 882-91)

11.1 การเตรียมตัวอย่าง

ตัดฟิล์มตัวอย่างขนาด 25 ± 0.01 มิลลิเมตร และยาว 150 มิลลิเมตร โดยมีขอบที่เรียบและขนานกัน

11.2 การทดสอบ

เลือกหัวทดสอบของเครื่องที่ใช้วัดความต้านแรงดึงขาด (Instron Universal Testing Machine) แบบ tension ที่มีลักษณะเป็นหัวหนีบ 2 หัว ตั้งระยะห่างกัน 5 เซนติเมตร ยึดปลายข้างหนึ่งของชิ้นตัวอย่างเข้ากับหัวทดสอบให้แน่น แล้วจึงยึดปลายอีกด้านหนึ่ง เริ่มทดสอบโดยปรับความเร็วในการดึง 25 มิลลิเมตรต่อนาที จนตัวอย่างขาดออกจากกัน รายงานค่าความต้านทานแรงดึงขาด (นิวัตน์ต่อตารางเมตร) และค่าการยืดตัว (ร้อยละ)

11.3 การคำนวณ

$$\text{ค่าความต้านทานแรงดึงขาด (นิวัตน์ต่อตารางมิลลิเมตร)} = \frac{\text{ค่าที่อ่านได้ (นิวัตน์)}}{\text{ความกว้าง (มิลลิเมตร) } \times \text{ความหนา (มิลลิเมตร)}}$$

$$\text{ค่าการยืดตัว (ร้อยละ)} = \frac{\text{ระยะยืดตัวของชิ้นทดสอบ} \times 100}{\text{ความยาวเดิมของชิ้นตัวอย่างระหว่างหัวทดสอบ (มิลลิเมตร)}}$$

12. วิธีการทดสอบการดูดซึมน้ำของฟิล์ม (ISO 535-1991 [E])

เป็นวิธีการทดสอบแบบการดูดซึมน้ำของฟิล์ม

12.1 การเตรียมตัวอย่าง

ตัดฟิล์มตัวอย่างเป็นรูปสี่เหลี่ยม ขนาด 10×10 เซนติเมตร

12.2 การทดสอบ

นำฟิล์มบริเวณที่ได้วางบนแท่นทดสอบและกดทับเพื่อกันน้ำออกโดยใช้แผ่นยาง และจับยึดด้วยอุปกรณ์ที่ใช้ทดสอบ จากนั้นเทน้ำ 100 มล. ลงไปและจับเวลาเพื่อเทน้ำออก

ก. फिल्मบริโกลได้ ใช้เวลา 2 นาที ถ้าน้ำซึมออกมาก่อน จะปรับใช้เวลา 1 นาที แทน (โดยทำใหม่)

ข. จากนั้นพับแล้วทำการชั่งจะได้น้ำหนักน้ำที่ซึมเข้าไปในฟิล์ม หน่วยเป็นกรัมต่อตารางเมตร จากนั้นทำการทดสอบ 10 ค่า โดยมี 2 ด้านด้านละ 5 ค่า แล้วนำมาเฉลี่ย (ด้านหน้าและด้านหลังของฟิล์ม) คูณ 100 เพื่อเปลี่ยนหน่วยเป็น กรัม/ตร.ม.

13. วิธีทดสอบค่าความสามารถในการซึมผ่านของก๊าซออกซิเจน (ASTM D 1434-82)

13.1 การเตรียมตัวอย่าง

ตัดตัวอย่างเป็นรูปแปดเหลี่ยมขนาดเท่ากับแบบ (Template) มีเส้นผ่านศูนย์กลาง 6 เซนติเมตร โดยตัวอย่างจะต้องปราศจากรอยพับ ชิดข่วน หรือ รอยร้าว

13.2 การทดสอบ

เปิดก๊าซออกซิเจนและก๊าซไนโตรเจนให้มีความดันเพิ่มระหว่าง 40-70 psi เปิดสวิทช์ด้านหลังเครื่อง เปิดฝาครอบตัวเครื่อง (Chamber) ออกโดยหมุนน็อตที่ยึดฝาด้านบนทั้ง 3 ตัวในทิศทางทวนเข็มนาฬิกา ทาสารเชื่อม (Sealant) บางๆ บริเวณวงแหวนทั้งด้านบนและล่าง นำฟิล์มตัวอย่างวางลงบนส่วนล่างของตัวเครื่อง โดยต้องวางให้ฟิล์มตึงไม่มีฟองอากาศบริเวณวงแหวน ปิดฝาครอบตัวเครื่อง โดยหมุนน็อตทั้ง 3 ตัวให้แน่น หมุนวาล์ว ปิด/เปิด (Sensor) ไปที่ตำแหน่งเปิด (Open) หมุนสวิทช์ (Flow) ใน Mode Select ไปที่ purge เครื่องจะไล่ก๊าซออกซิเจนที่อยู่ในตัวเครื่องทั้งส่วนบนและล่างออกให้หมด จากนั้นหมุนสวิทช์ Flow ใน Mode Select ไปที่ Test เครื่องจะทำการทดสอบ รอจนกว่าค่าที่อ่านได้คงที่ บันทึกอัตราการซึมผ่านของก๊าซออกซิเจน

13.3 การคำนวณ

$$P = \frac{Q}{A \cdot \Delta P \cdot t}$$

โดย P คือ อัตราการซึมผ่านของก๊าซออกซิเจน (มิลลิลิตร/ตารางเมตร. 24 ชั่วโมง. บรรยากาศ)

Q คือ ปริมาณก๊าซที่ซึมผ่านฟิล์ม (มิลลิลิตร)

A คือ พื้นที่ของฟิล์ม (ตารางเมตร)

ΔP คือ ความแตกต่างของความดันก๊าซในแต่ละด้านของฟิล์ม

t คือ เวลาที่ก๊าซซึมผ่านฟิล์ม (24 ชั่วโมง)

14. วิธีการทดสอบค่าความสามารถในการป้องกันการซึมผ่านของไอน้ำ (ASTM E96-93)

14.1 การเตรียมตัวอย่าง

ตัดตัวอย่างเป็นวงกลมขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 7 เซนติเมตร โดยตัวอย่างจะต้องปราศจากรอยพับ จี๊ดขั่วน หรือรอยร้าว

14.2 การทดสอบ

ใส่ซิลิกาเจล ที่ผ่านการอบแห้งแล้วลงในถ้วยทดสอบ นำตัวอย่างวางปิดปากด้วย ฝาครอบปากด้วยถ้วยพาราฟิน ชั่งน้ำหนักอย่างละเอียดต่อนิยม 4 ตำแหน่ง แล้วนำไปเก็บไว้ที่อุณหภูมิ 27 ± 2 °ซ และความชื้นสัมพัทธ์ร้อยละ 65 ± 2 บันทึกการเปลี่ยนแปลงน้ำหนักทุก 24 ชั่วโมง เป็นเวลา 4 วัน นำค่าที่ได้ไปเขียนกราฟระหว่างน้ำหนักที่มีการเปลี่ยนแปลงกับระยะเวลา

14.3 การคำนวณ

$$WVTR = \frac{G / t}{A}$$

โดย WVTR คือ อัตราการซึมผ่านของไอน้ำ (Water Vapor Transmission Rate)

G / t คือ อัตราการเปลี่ยนแปลงของน้ำหนักต่อเวลา

A คือ พื้นที่ของตัวอย่าง เท่ากับ 28.27 ตารางเซนติเมตร

$$WVP = \frac{WVTR}{\Delta P} \cdot X$$

- โดย WVP คือ การซึมผ่านของไอน้ำ (Water Vapor Permeability)
 X คือ ความหนาของฟิล์ม (มิลลิเมตร)
 ΔP คือ ความแตกต่างของความดันไอน้ำในแต่ละด้านของฟิล์ม

15. การทดสอบการต้านทานไขมันและน้ำมัน โดยดัดแปลงจากมาตรฐาน TAPPI T 454 os-77 และ มอก. 654-2529 (TAPPI, 1989; มอก., 2529)

15.1 อุปกรณ์

ก. แผ่นกระจก

ข. ท่อพีวีซีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 25 มิลลิเมตร และสูงไม่น้อยกว่า 25 มิลลิเมตร

ค. ปิเปตขนาด 1 มิลลิเมตร

ง. ทรายสะอาดที่สามารถผ่านตะแกรง 20 เมช แต่ค้างบนตะแกรง 28 เมช

จ. กระดาษขาว

ฉ. กระจกนาฬิกา

15.2 สารเคมีและวิธีการทดสอบ

น้ำมันสนที่มีสีแดงและปราศจากน้ำ ซึ่งเตรียมโดย นำน้ำมันสน 100 มิลลิลิตร ใส่ในภาชนะที่มีฝาปิด เดิมแคลเซียมคลอไรด์ที่ปราศจากน้ำ (anhydrous calcium chloride) 5 กรัม และสีแดงปารีโอคา ซึ่งละลายในน้ำมัน 1 กรัม เขย่าให้ผสมกันตั้งทิ้งไว้อย่างน้อย 10 ชั่วโมง โดยเขย่าเป็นครั้งคราว กรองผ่านกระดาษกรอง (Whatman) เบอร์ 1 ที่แห้ง และเก็บน้ำมันสนที่กรองได้ไว้ในขวดที่ปิดสนิท

15.3 การเตรียมตัวอย่าง

ตัดฟิล์มตัวอย่างกว้าง 100×100 มิลลิเมตร วางบนกระดาษสีขาวที่วางอยู่บนพื้นราบ วางหลอดบนชั้นทดสอบแล้วใส่ทราย 5 ± 0.1 กรัม ลงในหลอด หลอดนั้นจะช่วยให้งองทรายมีพื้นที่แน่นอน ค่อยๆ ยกหลอดขึ้น โดยระวังมิให้กระทบกระเทือนกองทราย ใช้ปิเปตคูดน้ำมันสนหยดลงบนกองทราย 1.1 ลูกบาศก์เซนติเมตร ใช้กระจกนาฬิกาครอบแล้วเริ่มบันทึกเวลา เลื่อนชั้นทดสอบไปอยู่ตำแหน่งอื่น แล้วสังเกตรอยเปื้อนที่อยู่บริเวณใต้ชั้นทดสอบที่ตำแหน่งเดิมก่อนที่จะเลื่อนไปทุกๆ วัน โดยให้บันทึกระยะเวลาที่เกิดคราบน้ำมันหรือรอยเปื้อนสีแดงบนกระดาษเป็นครั้งแรก เมื่อทดสอบพบว่า แผ่นกระดาษที่ใช้ทดสอบต้องไม่มีคราบน้ำมันหรือรอยเปื้อนสีแดงในระยะเวลาเกิน 5 วัน จึงจะถือว่าชั้นทดสอบเป็นไปตามเกณฑ์ที่กำหนด

16. วิธีทดสอบการดูดซับความชื้นที่อุณหภูมิคงที่ (Spiess and Wolf, 1987)

ตัดตัวอย่างเป็นชิ้นเล็กๆ อบที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 2 ชั่วโมง เก็บตัวอย่างในเดซิเคเตอร์ที่บรรจุซิลิกา เจล เป็นเวลา 7 วัน หาค่าความชื้นและค่าแอกเตอร์แอกติวิตีของตัวอย่าง จากนั้นนำตัวอย่างไปเก็บในเดซิเคเตอร์ ที่บรรจุสารละลายเกลืออิ่มตัว ที่มีความชื้นสัมพัทธ์ร้อยละ 11.3, 21.6, 32.4, 43.2, 51.4, 67.9, 75.1, 83.6 และ 97.0 ที่อุณหภูมิ 30 องศาเซลเซียส ทิ้งไว้จนเข้าสู่สมดุลเป็นเวลา 45 วัน นำตัวอย่างมาหาค่าความชื้นสมดุล (Equilibrium Moisture Content, EMC) และค่าความชื้นสัมพัทธ์สมดุล (Equilibrium Relative Humidity, ERH) หรือค่าแอกเตอร์แอกติวิตี (Water Activity) แล้วนำไปสร้างกราฟความสัมพันธ์แบบ Adsorption Isotherm

17. วิธีการตรวจสอบพื้นผิวด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (อุไรวรรณ, 2531)

อบตัวอย่างที่อุณหภูมิ 50°C เป็นเวลาประมาณ 24 ชั่วโมง นำไปติดบนเทปสองหน้าที่ติดอยู่บนแท่นตัวอย่าง ทำการฉาบทองด้วยเครื่อง Ion Sputter ให้มีความหนาประมาณ 10-20 นาโนเมตร ส่องดูตัวอย่างด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด โดยใช้ accelerating voltage ที่ 5 KV กำลังขยาย 1,000 เท่า ในการตรวจสอบพื้นผิวของเม็ดสตาร์ช

ใน aluminum pan นำเข้าเครื่อง DSC ทำการให้ความร้อนแก่ตัวอย่างด้วยอัตราการให้ความร้อน 10 องศาเซลเซียส/นาที ตั้งแต่อุณหภูมิ 50 – 250 °ซ วิเคราะห์ผลและบันทึกกราฟที่ได้

20. สูตรการคำนวณปริมาณแป้งกล้วยเพื่อปรับปรุงสมบัติของฟิล์มกล้วยงอม

20.1 ส่วนประกอบของปริมาณสตาร์ชและเพกตินของกล้วยน้ำว้าในแต่ละระดับ

20.1.1 แป้งกล้วยร้อยละ 8

แป้งกล้วย 8 กรัม ประกอบด้วยสตาร์ช 2.1 กรัม

แป้งกล้วย 8 กรัม ประกอบด้วยเพกติน 0.3008 กรัม

20.1.2 กล้วยน้ำว้าความสุกระดับ 2 ร้อยละ 40

กล้วยน้ำว้าความสุกระดับ 2 ปริมาณ 40 กรัม มีสตาร์ช 3.468 กรัม

กล้วยน้ำว้าความสุกระดับ 2 ปริมาณ 40 กรัม มีเพกติน 0.584 กรัม

20.1.3 กล้วยน้ำว้าความสุกระดับ 3 ร้อยละ 40

กล้วยน้ำว้าความสุกระดับ 3 ปริมาณ 40 กรัม มีสตาร์ช 1.536 กรัม

กล้วยน้ำว้าความสุกระดับ 3 ปริมาณ 40 กรัม มีเพกติน 0.256 กรัม

20.1.4 กล้วยน้ำว้าความสุกระดับ 3 ร้อยละ 40

กล้วยน้ำว้าความสุกระดับ 3 กรัม มีสตาร์ช 0.668 กรัม

กล้วยน้ำว้าความสุกระดับ 3 กรัม มีเพกติน 0.112 กรัม

20.2 สูตรมีทั้งหมด 5 สูตร ที่เติมลงในพิวริกด้วยงอม คือ

20.2.1 เติมแป้งกล้วยร้อยละ 8 เพื่อให้มีส่วนประกอบเท่ากับ แป้งกล้วยร้อยละ 8

20.2.2 เติมแป้งกล้วยร้อยละ 8 เพื่อให้มีส่วนประกอบเท่ากับ พิวริกด้วยน้ำว่าความ
สุกระดับ 2 ร้อยละ 40

20.2.3 เติมแป้งกล้วยร้อยละ 8 เพื่อให้มีส่วนประกอบเท่ากับ พิวริกด้วยน้ำว่า
ความสุกระดับ 3 ร้อยละ 40

20.2.4 เติมพิวริกด้วยน้ำว่าความสุกระดับ 4 เพื่อให้มีส่วนประกอบเท่ากับ แป้ง
กล้วยร้อยละ 8

20.2.5 เติมพิวริกด้วยน้ำว่าความสุกระดับ 4 เพื่อให้มีส่วนประกอบเท่ากับ พิวริ
กล้วยสุกร้อยละ 40

20.3 การคำนวณ

20.3.1 สูตรที่ 1 เติมแป้งกล้วยร้อยละ 8 เพื่อให้มีส่วนประกอบเท่ากับ แป้งกล้วย
ร้อยละ 8

กล้วยน้ำว่าความสุกระดับ 4	+	แป้งกล้วยร้อยละ 8	=	แป้งกล้วยร้อยละ 8
ปริมาณสตาร์ช 0.668 กรัม		X กรัม		2.1 กรัม
ปริมาณเพกติน 0.112 กรัม		X กรัม		0.3008 กรัม

ดังนั้นต้องเติมแป้งให้มีสตาร์ช = $2.1 - 0.668 = 1.432$ กรัม
เพราะฉะนั้น

แป้งกล้วยร้อยละ 8 ที่มีสตาร์ช 2.1 กรัม เตรียมได้จากแป้งกล้วย 8 กรัม

แป้งกล้วยร้อยละ 8 ที่มีสตาร์ช 1.432 กรัม เตรียมได้จากแป้งกล้วย $(8 \times 1.432) / 2.1$ กรัม

ดังนั้นต้องเติมแป้งเพิ่มในปริมาณ 5.455 กรัม

คำนวณเพกตินทั้งหมด

แป้งกล้วยร้อยละ 8 ที่มีสตาร์ช 2.1 กรัม มีเพกติน 0.3008 กรัม

แป้งกล้วยร้อยละ 8 ที่มีสตาร์ช 1.432 กรัม มีเพกติน $(0.3008 \times 1.432) / 2.1$ กรัม
 $= 0.2051$ กรัม

ดังนั้น ปริมาณเพกตินรวม $= 0.112 + 0.2051 = 0.3171$ กรัม

20.3.2 สูตรที่ 2 เติมแป้งกล้วยร้อยละ 8 เพื่อให้มีส่วนประกอบเท่ากับ พิวรีกล้วยน้ำว่าความ
 สุกระดับ 2 ร้อยละ 40

กล้วยน้ำว่าความสุกระดับ 4 + แป้งกล้วยร้อยละ 8 = กล้วยน้ำว่าความสุกระดับ 2 ร้อยละ 40

ปริมาณสตาร์ช 0.668 กรัม X กรัม 3.468 กรัม

ปริมาณเพกติน 0.112 กรัม X กรัม 0.584 กรัม

ดังนั้นต้องเติมแป้งให้มีสตาร์ช = 3.468 - 0.668 = 2.8 กรัม

เพราะฉะนั้น

แป้งกล้วยร้อยละ 8 ที่มีสตาร์ช 2.1 กรัม เตรียมได้จากแป้งกล้วย 8 กรัม

แป้งกล้วยร้อยละ 8 ที่มีสตาร์ช 2.8 กรัม เตรียมได้จากแป้งกล้วย $(8 \times 2.8) / 2.1$ กรัม

ดังนั้นต้องเติมแป้งเพิ่ม 10.667 กรัม

คำนวณเพกตินทั้งหมด

แป้งกล้วยร้อยละ 8 ที่มีสตาร์ช 2.1 กรัม มีเพกติน 0.3008 กรัม

แป้งกล้วยร้อยละ 8 ที่มีสตาร์ช 2.8 กรัม มีเพกติน $(0.3008 \times 2.8) / 2.1$ กรัม

$= 0.40107$ กรัม

ดังนั้น ปริมาณเพกตินรวม $= 0.112 + 0.40107 = 0.51307$ กรัม

20.3.3 สูตรที่ 3 เติมแป้งกล้วยร้อยละ 8 เพื่อให้มีส่วนประกอบเท่ากับ พิวรีกล้วยกล้วยน้ำว่า
 ความสุกระดับ 3 ร้อยละ 40

กล้วยน้ำว่าความสุกระดับ 4 + แป้งกล้วยร้อยละ 8 = กล้วยสุกร้อยละ 40

ปริมาณสตาร์ช	0.668 กรัม	X กรัม	1.536 กรัม
ปริมาณเพกติน	0.112 กรัม	X กรัม	0.256 กรัม
ดังนั้นต้องเติมแป้งให้มีสตาร์ช	=	1.536 - 0.668	= 0.868 กรัม

เพราะฉะนั้น

แป้งกล้วยร้อยละ 8 ที่มีสตาร์ช 2.1 กรัม เตรียมได้จากแป้งกล้วย 8 กรัม

แป้งกล้วยร้อยละ 8 ที่มีสตาร์ช 0.868 กรัม เตรียมได้จากแป้งกล้วย $(8 \times 0.868) / 2.1$ กรัม

ดังนั้นต้องเติมแป้งเพิ่มในปริมาณ 3.306 กรัม

คำนวณเพกตินทั้งหมด

แป้งกล้วยร้อยละ 8 ที่มีสตาร์ช 2.1 กรัม มีเพกติน 0.3008 กรัม

แป้งกล้วยร้อยละ 8 ที่มีสตาร์ช 0.868 กรัม มีเพกติน $(0.3008 \times 0.868) / 2.1$ กรัม

$$= 0.1243 \text{ กรัม}$$

ดังนั้น ปริมาณเพกตินรวม = $0.112 + 0.1243 = 0.2363$ กรัม

20.3.4 สูตรที่ 4 เติมพิวริกกล้วยกล้วยน้ำว่าความสุกระดับ 4 เพื่อให้มีส่วนประกอบเท่ากับ แป้งกล้วยร้อยละ 8

กล้วยน้ำว่าความสุกระดับ 4 + กล้วยน้ำว่าความสุกระดับ 2 = แป้งกล้วยร้อยละ 8

ปริมาณสตาร์ช 0.668 กรัม X กรัม 2.1 กรัม

ปริมาณเพกติน 0.112 กรัม X กรัม 0.3008 กรัม

ดังนั้นต้องเติมแป้งให้มีสตาร์ช = $2.1 - 0.668 = 1.432$ กรัม

เพราะฉะนั้น

พิวริกกล้วยน้ำว่าความสุกระดับ 2 ที่มีสตาร์ช 3.468 กรัม เตรียมได้จากพิวริกกล้วยน้ำว่าความสุกระดับ 2 ปริมาณ 40 กรัม

พิวริกกล้วยน้ำว่าความสุกระดับ 2 ที่มีสตาร์ช 1.432 กรัม เตรียมได้จากพิวริกกล้วยน้ำว่าความสุกระดับ 2 ปริมาณ $(40 \times 1.432) / 3.468$ กรัม

ดังนั้นต้องเติมพิวริกด้วยน้ำว่าความสุกระดับ 2 เพิ่มในปริมาณ 16.43 กรัม
คำนวณเพกตินทั้งหมด

กัด้วยน้ำว่าความสุกระดับ 2 ที่มีสตาร์ช 3.468 กรัม มีเพกติน 0.584 กรัม

กัด้วยน้ำว่าความสุกระดับ 2 ที่มีสตาร์ช 1.432 กรัม มีเพกติน $(0.584 \times 1.432) / 3.468$ กรัม
= 0.24115 กรัม

ดังนั้น ปริมาณเพกตินรวม = $0.112 + 0.24115 = 0.35315$ กรัม

20.3.5 สูตรที่ 5 เติมพิวริกด้วยน้ำว่าความสุกระดับ 4 เพื่อให้มีส่วนประกอบเท่ากับ พิวริก
กัด้วยน้ำว่าความสุกระดับ 3 ร้อยละ 40

กัด้วยน้ำว่าความสุกระดับ 4 + กัด้วยน้ำว่าความสุกระดับ 2 = กัด้วยน้ำว่าความสุกระดับ 3

ปริมาณสตาร์ช 0.668 กรัม X กรัม 1.536 กรัม

ปริมาณเพกติน 0.112 กรัม X กรัม 0.256 กรัม

ดังนั้นต้องเติมแป้งให้มีสตาร์ช = $1.536 - 0.668 = 0.868$ กรัม

เพราะฉะนั้น

พิวริกด้วยน้ำว่าความสุกระดับ 2 ที่มีสตาร์ช 3.468 กรัม เตรียมได้จากพิวริกด้วยน้ำว่าความสุกระดับ
2 ปริมาณ 40 กรัม

พิวริกด้วยน้ำว่าความสุกระดับ 2 ที่มีสตาร์ช 0.868 กรัม เตรียมได้จากพิวริกด้วยน้ำว่าความสุกระดับ 2 ปริมาณ
 $(40 \times 0.868) / 3.468$ กรัม

ดังนั้นต้องเติมพิวริกด้วยน้ำว่าความสุกระดับ 2 เพิ่มในปริมาณ 10.0115 กรัม

คำนวณเพกตินทั้งหมด

กัด้วยน้ำว่าความสุกระดับ 2 ที่มีสตาร์ช 3.468 กรัม มีเพกติน 0.584 กรัม

กัด้วยน้ำว่าความสุกระดับ 2 ที่มีสตาร์ช 0.868 กรัม มีเพกติน $(0.584 \times 0.868) / 3.468$ กรัม
= 0.14617 กรัม

ดังนั้น ปริมาณเพกตินรวม = $0.112 + 0.14617 = 0.25817$ กรัม

21. กล้องจุลทรรศน์แบบสามมิติ (Stereo Microscope)

วิธีการทดลอง

1. วางกล้องจุลทรรศน์ตรงเบื้องหน้าของท่าน โดยให้ขอบฐานของกล้องอยู่เสมอกับขอบโต๊ะ
2. ต้องดูกล้องด้วยตาที่ลึ้มทั้งสองข้าง แม้ว่กล้องจะเป็นชนิด monocular tube เพื่อถนอมกล้ามเนื้อตา และไม่เมื่อยตาเมื่อดูกล้องนานๆ
3. หมุน objective lens อันที่มีกำลังขยายต่ำสุดเข้าที่ตรงกลาง stage แล้วหมุน coarse adjustment ให้ stage เลื่อนเข้าใกล้ objective lens ให้มากที่สุด (ตามองอยู่ภายนอก)
4. จัดแสงเข้าสู่กล้องให้มีความเข้มของแสงที่พอดี แสงนี้อาจจะเป็นแสงสว่างจากดวงอาทิตย์หรือจากดวงไฟฟ้า ถ้ากล้องจุลทรรศน์มีกระจกเงารับแสงต้องปรับกระจกเงาอย่าให้รับแสงจากดวงอาทิตย์โดยตรง และควรใช้กระจกเงาด้านเรียบรับแสงจากดวงไฟฟ้า ถ้ามี illuminator ก็ใช้การเปิด switch ไฟฟ้า กล้องจุลทรรศน์รุ่นใหม่จะมีปุ่มหมุนเพิ่มความสว่างของดวงไฟได้ด้วย สำหรับการปรับ condenser ให้หมุน condenser adjustment จน condenser อยู่ชิดกับ stage มากที่สุด จากนั้นจึงปรับ Iris diaphragm ให้แสงเข้าสู่กล้องมากน้อยตามต้องการ
5. วาง slide บน stage กดด้วย spring clips ให้แน่น ในกรณีที่กล้องมี mechanical stage ให้ใส่ slide ตรงส่วนที่ใช้วาง slide เพื่อ slide จะได้อยู่ในความบังคับของเครื่องและเลื่อนไปมาได้ตามต้องการ
6. ตามองลงไป ใน ocular tube พร้อมกับหมุน coarse adjustment ให้ stage กับ slide เลื่อนห่างออกจาก objective lens จนเห็นภาพ แล้วหมุน fine adjustment เพื่อโฟกัสให้ได้ภาพที่ชัดเจนยิ่งขึ้น
7. หากกำลังขยายในขณะที่ใช้ low power objective lens ไม่มากพอ ให้หมุน revolving nosepiece เลื่อน high power objective lens เข้ามาแทน โดยปกติจะเห็นภาพทันทีหากไม่ชัดก็ปรับด้วย fine adjustment ถ้าแสงน้อยไปก็ปรับ Iris diaphragm ใหม่

ภาคผนวก ข

การวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติ

1. การศึกษาหาดัชนีระดับการสุกของกล้วยน้ำว้า

1.1 การเปลี่ยนแปลงทางกายภาพ

ตารางผนวกที่ ข1 การวิเคราะห์ทางสถิติค่าสีเปลือก (L*) กล้วยน้ำว้าที่ระดับการสุก 4 ระดับ

Source	SS	DF	MS	F	Sig.
Corrected Model	4241.405(a)	3	1413.802	380.219	.000
Intercept	123210.000	1	123210.000	33135.373	.000
TYPE	4241.405	3	1413.802	380.219	.000
Error	133.862	36	3.718		
Total	127585.266	40			

ตารางผนวกที่ ข2 การวิเคราะห์ทางสถิติค่าสีเปลือก (a*) กล้วยน้ำว้าที่ระดับการสุก 4 ระดับ

Source	SS	DF	MS	F	Sig.
Corrected Model	600.207(a)	3	200.069	252.510	.000
Intercept	470.939	1	470.939	594.380	.000
TYPE	600.207	3	200.069	252.510	.000
Error	28.524	36	.792		
Total	1099.670	40			

ตารางผนวกที่ ข3 การวิเคราะห์ทางสถิติค่าสี่เปลือก (b*) กล้วยน้ำว่าที่ระดับการสุก 4 ระดับ

Source	SS	DF	MS	F	Sig.
Corrected Model	3000.870(a)	3	1000.290	173.415	.000
Intercept	30162.064	1	30162.064	5229.036	.000
TYPE	3000.870	3	1000.290	173.415	.000
Error	207.655	36	5.768		
Total	33370.588	40			

ตารางผนวกที่ ข4 การวิเคราะห์ทางสถิติค่าเฉลี่ยความแน่นเนื้อของกล้วยน้ำว่าที่ระดับการสุก 4 ระดับ

Source	SS	DF	MS	F	Sig.
Corrected Model	4061.193(a)	3	1353.731	934.944	.000
Intercept	2175.133	1	2175.133	1502.239	.000
TYPE	4061.193	3	1353.731	934.944	.000
Error	52.125	36	1.448		
Total	6288.452	40			

1.2 การเปลี่ยนแปลงทางเคมี

ตารางผนวกที่ ข5 การวิเคราะห์ทางสถิติ ค่าความเป็นกรด-เบสของกล้วยน้ำว่าที่ระดับการสุก 4 ระดับ

Source	SS	DF	MS	F	Sig.
Corrected Model	34.467(a)	3	11.489	258.922	.000
Intercept	918.243	1	918.243	20694.226	.000
TYPE	34.467	3	11.489	258.922	.000
Error	1.597	36	.044		
Total	954.307	40			

ตารางผนวกที่ ข6 การวิเคราะห์ทางสถิติ ปริมาณของแข็งทั้งหมดที่ละลายได้ของกล้วยน้ำว้าที่ระดับการสุก 4 ระดับ

Source	SS	DF	MS	F	Sig.
Corrected Model	4061.193(a)	3	1353.731	934.944	.000
Intercept	2175.133	1	2175.133	1502.239	.000
TYPE	4061.193	3	1353.731	934.944	.000
Error	52.125	36	1.448		
Total	6288.452	40			

ตารางผนวกที่ ข7 การวิเคราะห์ทางสถิติปริมาณน้ำตาลรีดิวส์ และน้ำตาลรวมของกล้วยน้ำว้าที่ระดับการสุก 4 ระดับ

Source	SS	DF	MS	F	Sig.
Corrected Model	34.467(a)	3	11.489	258.922	.000
Intercept	918.243	1	918.243	20694.226	.000
TYPE	34.467	3	11.489	258.922	.000
Error	1.597	36	.044		
Total	954.307	40			

ตารางผนวกที่ ข8 การวิเคราะห์ทางสถิติ ปริมาณเพกตินของกล้วยน้ำว้าที่ระดับการสุก 4 ระดับ

Source	SS	DF	MS	F	Sig.
Corrected Model	4061.193(a)	3	1353.731	934.944	.000
Intercept	2175.133	1	2175.133	1502.239	.000
TYPE	4061.193	3	1353.731	934.944	.000
Error	52.125	36	1.448		
Total	6288.452	40			

ตารางผนวกที่ ข9 การวิเคราะห์ทางสถิติ ปริมาณกรดของกล้วยน้ำว้าที่ระดับการสุก 4 ระดับ

Source	SS	DF	MS	F	Sig.
Corrected Model	.010(a)	3	.003	190.087	.000
Intercept	.060	1	.060	3510.261	.000
VAR00001	.010	3	.003	190.087	.000
Error	.001	36	1.721E-05		
Total	.071	40			

2. ศึกษาการขึ้นรูปฟิล์มจากแป้งกล้วยน้ำว้าระดับการสุกที่ 1

2.1 การเตรียมแป้งจากกล้วยน้ำว้าดิบ

ตารางผนวกที่ ข10 การวิเคราะห์ทางสถิติ ความหนืดของส่วนผสมแป้งกล้วยความเข้มข้นร้อยละ 8 ที่เติมกลีเซอรอลและซอร์บิทอล ในปริมาณที่ทำให้ขึ้นรูปเป็นฟิล์มได้

Source	SS	DF	MS	F	Sig.
Corrected Model	20851.037(a)	3	6950.346	4076.449	.000
Intercept	6575177.812	1	6575177.81	3856409.274	.000
VAR00001	20851.038	3	6950.346	4076.449	.000
Error	27.280	16	1.705		
Total	6596056.130	20			

3. ศึกษาการขึ้นรูปฟิล์มจากพิวรีกล้อยน้ำวาระดับการสุกที่ 2, 3 และ 4

3.1 การเตรียมพิวรีกล้อยน้ำว้าจากกล้วยระดับการสุกที่ 2, 3 และ 4

ตารางผนวกที่ ข11 การวิเคราะห์ทางสถิติ ความสามารถในการขึ้นรูปและความหนืดของพิวรีกล้อยน้ำว้าระดับการสุก 2, 3 และ 4 ที่ความเข้มข้นต่างๆ

Source	SS	DF	MS	F	Sig.
Corrected Model	2847193.397	15	189812.893	11296.118	.000
Intercept	30930172.531	1	30930172.5	1840711.981	.000
VAR00001	2847193.397	15	189812.893	11296.118	.000
Error	1075.416	64	16.803		
Total	33778441.344	80			

4. ผลการทดสอบสมบัติของฟิล์มจากกล้วยน้ำว้า

ตารางผนวกที่ ข12 การวิเคราะห์ทางสถิติสมบัติเบื้องต้น (ความหนา) ของฟิล์มจากกล้วยน้ำว้าที่มีส่วนผสมแตกต่างกัน

Source	SS	DF	MS	F	Sig.
Corrected Model	1.308(a)	21	.062	253.366	.000
Intercept	23.461	1	23.461	95454.321	.000
TYPE	1.308	21	.062	253.366	.000
Error	.049	198	.000		
Total	24.817	220			

ตารางผนวกที่ ข13 การวิเคราะห์ทางสถิติ สมบัติเบื้องต้น (a_w) ของฟิล์มจากกล้วยน้ำว้าที่มี
ส่วนผสมแตกต่างกัน

Source	SS	DF	MS	F	Sig.
Corrected Model	.503(a)	21	.024	2168.498	.000
Intercept	56.276	1	56.276	5094276.654	.000
VAR00001	.503	21	.024	2168.498	.000
Error	.002	198	1.105E-05		
Total	56.782	220			

ตารางผนวกที่ ข14 การวิเคราะห์ทางสถิติ สมบัติเบื้องต้น (ความต้านทานแรงดึงขาด) ของฟิล์มจาก
กล้วยน้ำว้าที่มีส่วนผสมแตกต่างกัน

Source	SS	DF	MS	F	Sig.
Corrected Model	15321.824(a)	21	729.611	131.496	.000
Intercept	86222.075	1	86222.075	15539.589	.000
VAR00001	15321.824	21	729.611	131.496	.000
Error	1098.612	198	5.549		
Total	102642.511	220			

ตารางผนวกที่ ข15 การวิเคราะห์ทางสถิติ สมบัติเบื้องต้น (การยืดตัว) ของฟิล์มจากกล้วยน้ำว้าที่มี
ส่วนผสมแตกต่างกัน

Source	SS	DF	MS	F	Sig.
Corrected Model	15.032(a)	21	.716	1230.960	.000
Intercept	9.639	1	9.639	16575.281	.000
VAR00001	15.032	21	.716	1230.960	.000
Error	.115	198	.001		
Total	24.786	220			

ตารางผนวกที่ ข16 การวิเคราะห์ทางสถิติ สมบัติเบื้องต้น (อัตราการซึมผ่านของไอน้ำ) ของฟิล์ม จากกล้วยน้ำว้าที่มีส่วนผสมแตกต่างกัน

Source	SS	DF	MS	F	Sig.
Corrected Model	645.643(a)	2	322.821	854.764	.000
Intercept	2179.059	1	2179.059	5769.695	.000
TYPE	645.643	2	322.821	854.764	.000
Error	4.532	12	.378		
Total	2829.233	15			

ตารางผนวกที่ ข17 การวิเคราะห์ทางสถิติ สมบัติเบื้องต้น (อัตราการซึมผ่านของออกซิเจน) ของฟิล์มจากกล้วยน้ำว้าที่มีส่วนผสมแตกต่างกัน

Source	SS	DF	MS	F	Sig.
Corrected Model	5837.200(a)	2	2918.600	73.702	.000
Intercept	144648.600	1	144648.600	3652.742	.000
TYPE	5837.200	2	2918.600	73.702	.000
Error	475.200	12	39.600		
Total	150961.000	15			

ตารางผนวกที่ ข18 การวิเคราะห์ทางสถิติ สมบัติเบื้องต้น (การต้านทานไซมัน) ของฟิล์มจากกล้วยน้ำว้าที่มีส่วนผสมแตกต่างกัน

Source	SS	DF	MS	F	Sig.
Corrected Model	62.233(a)	2	31.117	248.933	0.000
Intercept	299.267	1	299.267	2394.133	0.000
TYPE	62.233	2	31.117	248.933	0.000
Error	1.500	12	.125		
Total	363.000	15			

ประวัติการศึกษา และการทำงาน

ชื่อ –นามสกุล	นางสาวอันนิสา จาราเว
วัน เดือน ปี ที่เกิด	วันที่ 14 พฤษภาคม 2523
สถานที่เกิด	อ. เมือง จ. ยะลา
ประวัติการศึกษา	ปริญญาตรี คณะอุตสาหกรรมเกษตร วิชาเอกเทคโนโลยีการบรรจุ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
ตำแหน่งหน้าที่การงานปัจจุบัน	-
สถานที่ทำงานปัจจุบัน	-
ผลงานดีเด่นและรางวัลทางวิชาการ	-
ทุนการศึกษาที่ได้รับ	ทุนอุดหนุนวิทยานิพนธ์