

ส่วนประกอบเนื้อเรื่อง โครงการ การสกัดและการใช้ประโยชน์ทางอาหารของใยอาหารและ
เซลลูโลสจากเปลือกกล้วย
(Extraction and Utilization of dietary fiber and cellulose from
banana peels)

2. บทนำ

ความสำคัญและที่มาของปัญหา

จากการสำรวจข้อมูลโดยสำนักงานพัฒนาที่ดินจังหวัดพิษณุโลก พบว่าอำเภอบางกระทุ่ม และ
อำเภอบางระกำ จังหวัดพิษณุโลก มีพื้นที่ในการปลูกกล้วยน้ำว้ามากกว่า 400,000 ไร่ มีผลผลิต
7,000 ตันต่อไร่ และมีวัตถุดิบในการผลิตผลิตภัณฑ์จากกล้วย เช่น กล้วยตาก กล้วยกวน กล้วยอบ
กรอบ และผลิตภัณฑ์กล้วยอื่น ๆ ประมาณ 60 - 70 ตันต่อวัน จากกระบวนการแปรรูปกล้วยดังกล่าว
ก่อให้เกิดเปลือกกล้วยเหลือทิ้ง หวี และก้านเครือกล้วย ซึ่งเป็นขยะประมาณ 3-5 ตันต่อวัน ทำให้เกิด
ปัญหาต่อสภาพแวดล้อม เช่น ส่งกลิ่นเหม็น และเป็นแหล่งแพร่กระจายของเชื้อโรค องค์การบริหาร
ส่วนตำบลต้องใช้งบประมาณในการกำจัดขยะประมาณ 10,500 - 22,500 บาทต่อวัน (150 บาทต่อ
ตันต่อวัน) อย่างไรก็ตามขยะเหล่านี้มีการนำไปใช้ประโยชน์ เช่น การผลิตถ่านและถ่านกัมมันต์จาก
เปลือกกล้วย (สัมฤทธิ์และคณะ, 2548) การทำปุ๋ยหมักจากเปลือกกล้วย (ประยูร, 2547) แต่ขยะ
ดังกล่าวยังมีเหลืออยู่และก่อให้เกิดปัญหาต่อสภาพแวดล้อม แนวทางในการลดปัญหาของขยะจาก
เปลือกกล้วย และเป็นการเพิ่มมูลค่าของขยะด้วยการนำมาสกัดสารที่มีประโยชน์และนำมาใช้ใน
อุตสาหกรรมอาหาร ที่ได้สามารถนำมาใช้ประโยชน์ได้ในวงการอาหารอย่างกว้างขวาง

3. วัตถุประสงค์ของโครงการ

- 3.1 เพื่อนำขยะจากเปลือกกล้วยมาใช้ให้เกิดประโยชน์ในทางอุตสาหกรรมอาหาร โดยการ
สกัดเป็นเซลลูโลสและใยอาหารเพื่อนำมาใช้ในผลิตภัณฑ์อาหาร
- 3.2 เพื่อนำขยะจากเปลือกกล้วยมาใช้ให้เกิดประโยชน์ทางด้านพลังงาน โดยการผลิต
เป็นถ่านอัดแท่ง เพื่อนำมาใช้ในกระบวนการผลิตเซลลูโลสและใยอาหาร

4. รายละเอียดความเชื่อมโยงระหว่างโครงการวิจัยย่อย (รูปที่ 4.1)

อธิบายแผนภูมิความเชื่อมโยงระหว่างโครงการ

ขยะที่ได้จากส่วนต่าง ๆ ของกล้วย สามารถนำมาแปรรูปเพื่อเพิ่มมูลค่าได้ เช่น นำมาสกัด
เซลลูโลส และ ใยอาหาร เพื่อใช้ในผลิตภัณฑ์อาหาร นอกจากนี้ยังสามารถนำมาผลิตเป็นถ่านอัดแท่งเพื่อ
ใช้เป็นพลังงาน ในกระบวนการผลิตเซลลูโลส และ ใยอาหาร เนื่องจากในขั้นการผลิต จะต้องผ่านขั้นตอน
การทำแห้งก่อนเข้าสู่กระบวนการสกัดสารสำคัญ ทั้ง 2 ชนิด การทำแห้งในโครงการต่อไปจะใช้เตาอบที่มี

5. ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

5.1 กลุ่มพื้นที่เป้าหมาย คือ 2 อำเภอในจังหวัดพิษณุโลก ได้แก่

5.1.1 อำเภอบางกระทุ่ม : ได้แก่ กลุ่มโรงงานผู้ผลิตสินค้าจากกล้วย ได้แก่ โรงงานกล้วยจิราพร อำเภอบางกระทุ่ม และกลุ่มแม่บ้านเกษตรกรอื่น ๆ ที่มีวัสดุเหลือใช้จากเปลือกกล้วย

5.1.2 อำเภอบางระกำ : ได้แก่ กลุ่มสตรีสหกรณ์บางระกำ และกลุ่มแม่บ้านเกษตรกรอื่น ๆ ที่มีวัสดุเหลือใช้จากเปลือกกล้วย

5.2 ความร่วมมือ

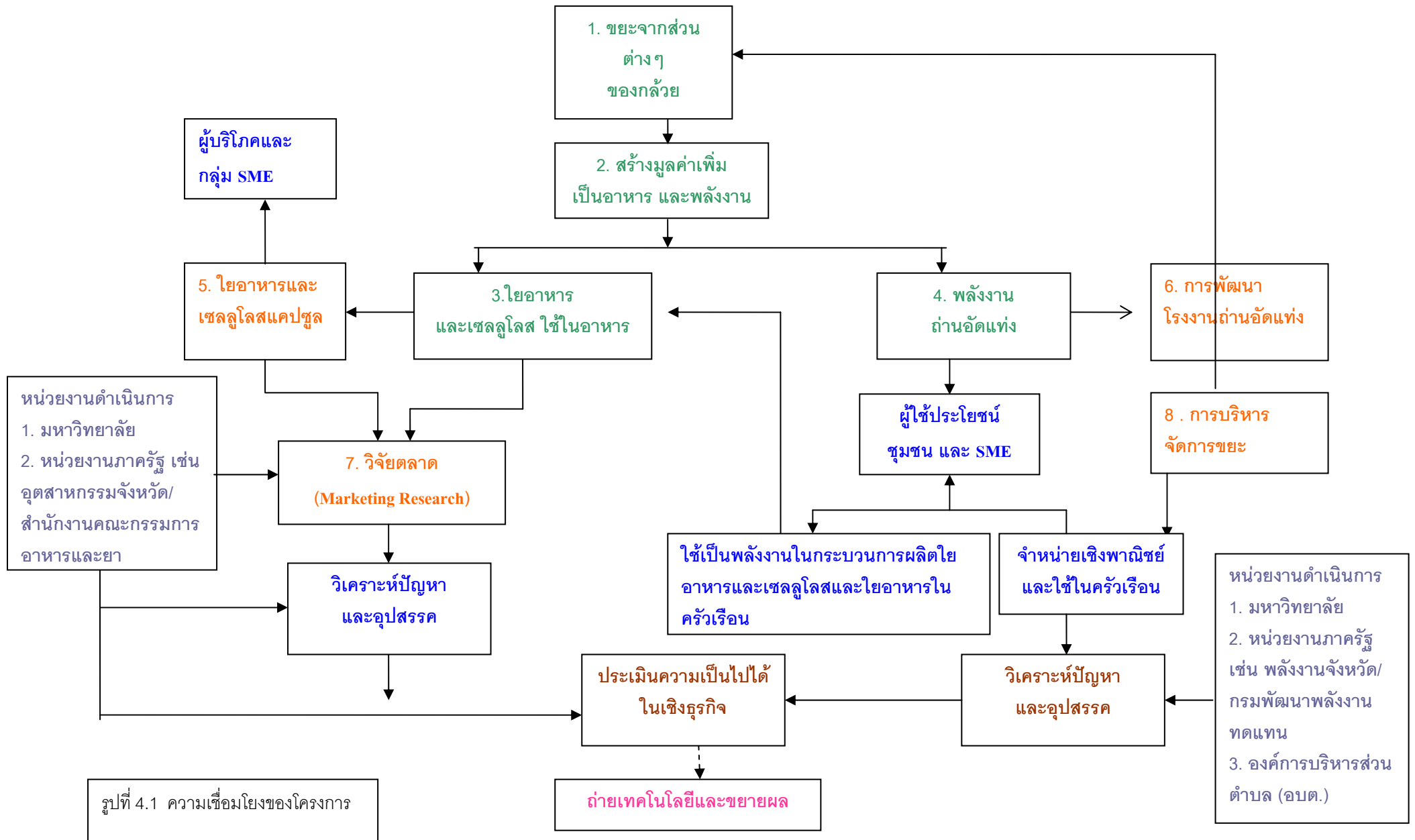
เชิงนโยบายร่วมมือกับองค์การบริหารส่วนตำบลบางกระทุ่ม องค์การบริหารส่วนตำบลบางระกำ จังหวัดพิษณุโลก โรงงานกล้วยจิราพรอำเภอบางกระทุ่ม และกลุ่มสตรีสหกรณ์ บางระกำ จังหวัดพิษณุโลก

5.3 ผลกระทบเชิงเศรษฐศาสตร์

5.3.1 เป็นการลดค่าใช้จ่ายในการกำจัดขยะจากเปลือกกล้วยขององค์การบริหารส่วนตำบลบางกระทุ่มและบางระกำประมาณ 10,500-22,500 บาทต่อวัน (150 บาทต่อตันต่อวัน)

5.3.2 สร้างรายได้ และเป็นการเพิ่มมูลค่าในการนำขยะไปใช้ให้เกิดประโยชน์ ลดการนำเข้าเชลลูโลสและใยอาหาร และเป็นทางเลือกและ ส่งเสริมให้เกิดแรงจูงใจในการจัดการขยะในระดับต่าง ๆ

5.3.3 ลดปัญหาสภาพแวดล้อม ได้แก่ น้ำเสีย กลิ่นเหม็น และแหล่งเพาะเชื้อจุลินทรีย์ และสิ่งที่ตามมาคือ การเกิดโรคของประชากรในชุมชนการกำจัดของเสียเหล่านี้ เป็นการลดปัญหาทางด้านสาธารณสุขอีกด้วย สิ่งที่สำคัญคือ สามารถลดงบประมาณในการกำจัดขยะ และค่ารักษาพยาบาลของพื้นที่ดังกล่าวได้ นอกจากนี้สามารถนำวัสดุเหลือทิ้งจากเปลือกกล้วย มาใช้ทดแทนใยอาหาร และเชลลูโลส ที่นำเข้าจากต่างประเทศ



5.4 การพัฒนาเทคโนโลยี

5.4.1 ได้เทคโนโลยี ดังนี้

1) เทคโนโลยีกระบวนการผลิตของผลิตภัณฑ์ 2 ชนิดด้วยกัน คือ โยอาหารและเซลล์ลูโลส ซึ่งเป็นองค์ความรู้ในการวิจัยและเป็นการนำไปสู่การผลิตในเชิงพาณิชย์ รวมถึงเทคโนโลยี ที่ได้สามารถนำไปประยุกต์ใช้กับวัสดุเหลือทิ้งชนิดอื่น ๆ ของผักและผลไม้ ในโรงงานอุตสาหกรรม อาหารได้

- 2) เทคโนโลยีการผลิตและสูตรโยเกิร์ตผสมโยอาหารจากเปลือกกล้วย
- 3) เทคโนโลยีการผลิตและสูตรเค้กเนยสดผสมเซลล์ลูโลสจากเปลือกกล้วย
- 4) ได้องค์ความรู้การจัดการวัสดุเหลือทิ้งจากเปลือกกล้วยและเศษกล้วย

5.4.2 ได้ product คือ

- 1) ได้ผลิตภัณฑ์การวิจัยจากเปลือกกล้วย 2 ชนิด ได้แก่ โยอาหารและเซลล์ลูโลส
- 2) ผลิตภัณฑ์โยเกิร์ตเสริมโยอาหารจากเปลือกกล้วย : ซึ่งเป็นผลิตภัณฑ์เสริมโยอาหารเพื่อสุขภาพ
- 3) ผลิตภัณฑ์เค้กเนยสดเสริมเซลล์ลูโลสจากเปลือกกล้วย : ซึ่งเป็นผลิตภัณฑ์เสริมโยอาหารเพื่อสุขภาพ

5.5 นำความรู้ที่ได้ไปเผยแพร่ในเชิงกว้าง

5.5.1 ผลงานที่ได้สามารถตีพิมพ์ในวารสารในระดับประเทศได้อย่างน้อย 2 เรื่อง

5.5.2 ถ่ายทอดเทคโนโลยีสู่กลุ่มเป้าหมาย โดยจัดการอบรมเชิงปฏิบัติการเทคโนโลยีที่ได้จากการวิจัยสามารถถ่ายทอดให้กับกลุ่มเป้าหมายและผู้สนใจ จำนวน 2 เรื่อง เป็นการบริการความรู้แก่ชุมชนและภาคธุรกิจ ทำให้เป็นการเพิ่มรายได้และขจัดความยากจนให้กับชุมชนและผู้ประกอบการ ส่งผลให้สามารถพึ่งตนเองได้และเสริมสร้างความมั่นคงของชีวิตและสังคม

5.6 ผู้ที่จะได้ประโยชน์จากโครงการ

5.6.1 กลุ่มโรงงานผู้ผลิตสินค้าจากกล้วย (กลุ่มเป้าหมาย) ได้แก่ กลุ่มสตรี สหกรณ์ บางกระทุ่ม กลุ่มสตรีสหกรณ์บางระกำ โรงงานกล้วยจิราพรอำเภอบางกระทุ่ม และกลุ่มแม่บ้านเกษตรกรอื่นๆที่มีวัสดุเหลือใช้จากเปลือกกล้วยและเศษกล้วยสามารถไปใช้ประโยชน์ได้

5.6.2 องค์การบริหารส่วนตำบลของบางกระทุ่มและอำเภอบางระกำ จังหวัดพิษณุโลกและองค์การบริหารส่วนตำบลของอำเภออื่น ๆ ยังสามารถนำความรู้ที่ได้ไปใช้ประโยชน์ได้อย่างกว้างขวาง สามารถลดค่าใช้จ่ายในการกำจัดของเสียได้

5.6.3 ประชากรในชุมชนตำบลบางกระพุ่มและบางระกำ จังหวัดพิษณุโลก เป็นการ ช่วยบรรเทาปัญหาน้ำเสีย กลิ่นเหม็น และแหล่งเพาะเชื้อจุลินทรีย์ของประชากร ในชุมชนดังกล่าว ผลพลอยได้จากโครงการสามารถลดการเกิดโรค และค่ารักษาพยาบาล ของพื้นที่ได้อีกด้วย

5.7 ความร่วมมือกับหน่วยงานอื่น /ชุมชน

5.7.1 ความร่วมมือกับหน่วยงานของรัฐและชุมชน โครงการนี้เป็นความร่วมมือของ ภาควิชาอุตสาหกรรมเกษตร คณะเกษตรศาสตร์ทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม มหาวิทยาลัยนเรศวร หลักสูตรวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีการอาหาร คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏสวนดุสิต กลุ่มเป้าหมายของรัฐ คือ อบต. ของอำเภอบางกระพุ่มและบางระกำ โดยมีชุมชนและโรงงานกลุ่มเป้าหมายคือ กลุ่มสตรีสหกรณ์บางระกำ และโรงงานกล้วยจิราพรอำเภอบางกระพุ่ม

5.7.2 สร้างเทคโนโลยีการจัดการขยะจากเปลือกกล้วย และเศษกล้วยที่มีประโยชน์ในอุตสาหกรรมอาหาร เพื่อสร้างมูลค่าเพิ่มของขยะจากเปลือกกล้วย และเทคโนโลยีที่ได้สามารถนำไปใช้กับขยะที่เป็นวัสดุเหลือทิ้งทางด้านการเกษตรอื่น ๆ ได้อีกด้วย

5.7.3 ผลการวิจัย ที่ได้จากโครงการนี้ จะทำการเผยแพร่ในวารสารระดับชาติ หรือนำเสนอภาคบรรยายในการประชุมวิชาการระดับชาติ และมีแผนการถ่ายทอดเทคโนโลยีสู่กลุ่มเป้าหมาย ซึ่งอาจนำไปสู่การผลิตเชิงพาณิชย์

6. ขอบเขตงานวิจัย

งานวิจัยนี้เป็นการนำขยะจากเปลือกกล้วยมาผลิตเป็นอาหาร คือสกัดสารที่มีประโยชน์จากเปลือกกล้วย 2 ชนิด ได้แก่ เซลลูโลส และใยอาหาร โดยศึกษาชนิด ความเข้มข้นของสาร และเวลาที่เหมาะสม ด้วยการใช้สารเคมีในการสกัด 2 ชนิด ความเข้มข้นของสาร 3 ระดับ และระยะเวลาในการสัมผัสของสาร 3 ระดับ หลังจากนั้นศึกษาระยะเวลาการสุกของเปลือกกล้วย 3 ระยะที่เหมาะสมในการผลิตผลิตภัณฑ์แต่ละอย่าง เปรียบเทียบสมบัติของเซลลูโลสและใยอาหารที่ผลิตได้กับผลิตภัณฑ์ชนิดเดียวกันกับที่ผลิตในทางการค้า ทำการทดลอง 3 ซ้ำ นำผลิตภัณฑ์ทั้ง 2 ชนิดมาประยุกต์ใช้ในอาหาร 2 ผลิตภัณฑ์ด้วยกัน

7. ทฤษฎี สมมุติฐาน และหรือกรอบแนวความคิดของการวิจัย

7.1 ขยะจากเปลือกกล้วยสามารถผลิตเป็นอาหารได้ การกำจัดขยะจากเปลือกกล้วยซึ่งเป็นวัสดุเหลือทิ้งนอกจากจะนำไปผลิตเป็นพลังงานแล้วยังสามารถผลิตเป็นอาหารได้ด้วยวิธีที่เป็นมิตรกับสิ่งแวดล้อม

7.2 การสกัดสารสำคัญ ในเปลือกกล้วยสามารถผลิตสารได้หลายชนิด เช่น เซลลูโลส และใยอาหาร ที่อำเภอบางระกำ และอำเภอบางกระทุ่ม จังหวัดพิษณุโลกในแต่ละปีมีขยะเปลือกกล้วยจำนวนมากที่เหลือจากการทำผลิตภัณฑ์จากกล้วย สามารถนำกลับมาใช้เป็นวัตถุดิบเพื่อผลิตสารอาหารที่สำคัญดังกล่าวได้

7.3 สารอาหารที่สำคัญ จากเปลือกกล้วย เช่น เซลลูโลสผง มีประโยชน์ในทางอุตสาหกรรมอาหาร เช่น ใช้เพื่อเพิ่มกากใยอาหาร เซลลูโลสจะไม่ถูกย่อยสลาย และไม่ให้พลังงาน จึงเหลือกากอาหารสำหรับขับถ่ายทำให้มีประโยชน์ในการช่วยเพิ่มปริมาณกากในอุจจาระ ทำให้ขับถ่ายสะดวก ลดความเสี่ยงต่อการเป็นมะเร็งลำไส้ใหญ่ (Prosky, 1995) นำมาใช้ในผลิตภัณฑ์เบเกอรี่ เพื่อเพิ่มปริมาณ เป็นสาร bulking agent และปรับปรุงลักษณะเนื้อสัมผัส และใช้ในผลิตภัณฑ์เนื้อ เพื่อเพิ่มกากใยอาหาร (Dietary fiber supplement)

8. การทบทวนวรรณกรรม/สารสนเทศ (information) ที่เกี่ยวข้อง

ใยอาหาร หมายถึง ส่วนของเซลล์พืชที่ไม่สามารถถูกย่อยด้วยเอนไซม์ในระบบทางเดินอาหารและไม่ถูกดูดซึมในบริเวณลำไส้เล็กของมนุษย์ (Prosky and Devries, 1992; McCleary and Prosky, 2001) ในพืชแต่ละชนิดจะมีปริมาณและชนิดของใยอาหารแตกต่างกัน ใยอาหารประกอบด้วยสารประกอบที่มีโครงสร้างเป็นคาร์โบไฮเดรตเชิงซ้อนที่ไม่ใช่แป้ง (non-starch polysaccharides) ได้แก่ เซลลูโลส (cellulose) เฮมิเซลลูโลส (hemicellulose) กัม (gum) เพคติน (pectin) และมิวซิเลจ (mucilage) และส่วนประกอบที่ไม่ใช่คาร์โบไฮเดรต ได้แก่ ลิกนิน (lignin) (Baghurst *et al.*, 1996; Eastwood, 1997; Spiller, 2001)

8.1 ประเภทของใยอาหาร

ใยอาหารแบ่งตามความสามารถในการละลายน้ำได้เป็น 2 ชนิด คือ ใยอาหารที่ละลายน้ำ และใยอาหารที่ไม่ละลายน้ำ

8.1.1 ใยอาหารที่ละลายน้ำ

ใยอาหารที่ละลายน้ำ (soluble dietary fiber) คือ ใยอาหารส่วนที่มีคุณสมบัติในการละลายน้ำ ใยอาหารชนิดนี้มักจะปนอยู่กับส่วนที่เป็นแป้งในพืช ได้แก่ กัม เพคติน และมิวซิเลจ

ตัวอย่างของใยอาหารชนิดที่ละลายน้ำได้ มีดังนี้

ก) กัมและมิวซิเลจส์

กัมและมิวซิเลจส์ ที่ใช้อาหารได้มาจากหลายแหล่งทั้งได้จากธรรมชาติ และเป็นสารสังเคราะห์ (Dziezak, 1991) กัมเป็นสารประกอบพอลิแซ็กคาไรด์ที่เป็นพอลิเมอร์สายยาว และมีน้ำหนักโมเลกุลสูง (นิธิยา, 2545) เมื่อจับกับน้ำจะอ้วนน้ำและเกิดความข้นหนืด ได้สารที่คล้ายวุ้น (ปาริชาติ, 2540) ให้คุณสมบัติทางกายภาพเฉพาะเพื่อเป็นการปรับปรุงคุณภาพในการบริโภคของอาหารในอุตสาหกรรมอาหาร (Prosky and Devries, 1992)

ข) เบต้ากลูแคน

เบต้ากลูแคน เป็นพอลิเมอร์ของน้ำตาลกลูโคส ซึ่งน้ำตาลกลูโคสมีการเชื่อมต่อกันด้วยพันธะ β -(1 $\rightarrow$ 3) และ β -(1 $\rightarrow$ 4) ทำให้ทนต่อการถูกไฮโดรไลซ์ (Prosky and Devries, 1992) การที่มีส่วนที่เชื่อมด้วยพันธะ β -(1 $\rightarrow$ 4) มาก ส่งผลให้มีคุณสมบัติไม่ละลายน้ำ แต่การที่มีส่วนที่เชื่อมด้วยพันธะ β -(1 $\rightarrow$ 3) และเบต้ากลูแคนที่มีน้ำหนักโมเลกุลต่ำๆ ส่งผลให้ละลายน้ำได้ดี (Kamel and Stauffer, 1993) เบต้ากลูแคนพบมากในพวงอัญมณี ข้าวบาเลย์ และข้าวโอ๊ต (Riaz, 1993)

ค) เพคติน

เพคติน พบใน middle lamellae ของผนังเซลล์พืชโดยรวมตัวอยู่กับเซลลูโลส ทำหน้าที่ยึดเกาะผนังเซลล์ให้ติดกัน เพคติน เป็นพอลิเมอร์สายยาวของกรดกาแล็กทูโรนิก (D-galacturonic acid) ต่อกันด้วยพันธะไกลโคไซด์ที่ตำแหน่ง β -(1 $\rightarrow$ 4) สารประกอบเพคตินที่สกัดได้จากธรรมชาติยังมีน้ำตาลชนิดอื่นปนอยู่ด้วย เช่น น้ำตาลไซโลส กาแล็กโทส อะราบิโนส และแรมโนส โดยโมเลกุลของน้ำตาลจะเกาะอยู่เป็นสายแขนง เพคตินละลายน้ำได้ ความสามารถในการละลายขึ้นอยู่กับ degree of esterification ของกรดกาแล็กทูโรนิก เพคติน มีความสามารถในการเกิดเจล และมีความสามารถในการเพิ่มความหนืดทำให้มีการนำเพคตินไปใช้กันมากในอุตสาหกรรมอาหาร เพคตินพบมากในผลไม้ตระกูลส้ม และแอปเปิ้ล (Prosky and Devries, 1992)

8.1.2 เส้นใยอาหารที่ไม่ละลายน้ำ

เส้นใยอาหารที่ไม่ละลายน้ำ (insoluble dietary fiber) เป็นพวกคาร์โบไฮเดรตเชิงซ้อน

ตัวอย่างของเส้นใยอาหารชนิดที่ไม่ละลายน้ำ มีดังนี้

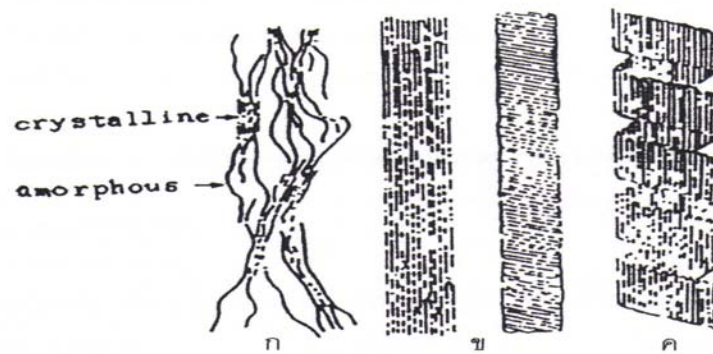
ก) เซลลูโลส (cellulose)

เซลลูโลสเป็นสารคาร์โบไฮเดรต ที่เป็นองค์ประกอบหลักของผนังเซลล์พืชทุกชนิด (ชัยวัฒน์, 2526) โดยมีสารอื่นร่วมเป็นองค์ประกอบอยู่ด้วย เช่น เฮมิเซลลูโลส (hemicellulose) เพกติน (pectin) และลิกนิน (lignin) โดยเซลลูโลสอยู่ในชั้นในสุดของผนังเซลล์พืช ซึ่งจัดเรียงตัวอยู่ในชั้นไมโครไฟบริล (microfibril) ที่ห่อหุ้มด้วยร่างแห (matrixs) ของเฮมิเซลลูโลส และลิกนิน ซึ่งมีลักษณะแข็งหุ้มอยู่ชั้นนอกสุดของผนังเซลล์พืช โดยเซลลูโลสทำหน้าที่ให้ความแข็งแรงกับพืช (อรพิม, 2523)

เซลลูโลสที่บริสุทธิ์ในธรรมชาติ คือ ใยฝ้ายหรือสำลี ซึ่งประกอบด้วยเซลลูโลสที่เรียกว่า α -cellulose ประมาณ 98% ในไม้มีเซลลูโลสประกอบอยู่ประมาณ 40-50 เปอร์เซ็นต์ (อรพิม, 2523) ในต้นหญ้า และต้นถั่วที่มีอายุน้อยจะมีเซลลูโลสอยู่ประมาณ 15% ของน้ำหนักแห้ง นอกจากนี้เซลลูโลสยังได้จากวัสดุทางการเกษตรต่าง ๆ สดางค์ (2543) กล่าวว่า ปริมาณของเซลลูโลสในพืชชนิดเดียวกันย่อมจะแตกต่างกันไป อาจขึ้นอยู่กับสายพันธุ์ การจัดการและอายุการเก็บเกี่ยว

โครงสร้างของเซลลูโลส

โครงสร้างของเซลลูโลสประกอบด้วยโมเลกุลของกลูโคส (D-glucose) ตั้งแต่ 15 - 40,000 หน่วย ต่อกันเป็นเส้นตรง (linear homopolymer) ด้วยพันธะเบต้า-ไกลโคซิดิก ที่คาร์บอนอะตอมตำแหน่งที่ 1 และ 4 มีสูตรโมเลกุลเป็น $(C_6H_{10}O_5)_n$ มีชื่อทางเคมีว่า β -1,4-glucan มีน้ำหนักโมเลกุลอยู่ระหว่าง 300,000-500,000 ดาลตัน (รัชณี, 2537) โครงสร้างของเซลลูโลสในผนังเซลล์พืชมี 3 แบบ ดังนี้ (Norkrans, 1967)



รูปที่ 8.1 โครงสร้างของเซลลูโลสในผนังเซลล์พืชมี 3 แบบ

ก. Fringe micelle ประกอบด้วยส่วนที่เป็นผลึก (crystalline) และส่วนที่เป็นอสัณฐาน (amorphous)

ข. โครงสร้างของเซลลูโลสที่ม้วนหรือพับไปตามแกนของเส้นใยเซลลูโลส

ค. โครงสร้างที่มีลักษณะเป็นแบบริบบิ้นและม้วนเป็นเกลียว

โครงสร้างที่แตกต่างกันถึง 3 แบบ และมีช่องว่างระหว่างโมเลกุลโดยตลอดนี้ จึงทำให้เซลลูโลสที่เกิดขึ้นในธรรมชาติไม่อยู่ในรูปบริสุทธิ์ ส่วนมากมักจับกับแป้ง เพ็คติน ลิกนิน และเฮมิเซลลูโลส นอกจากนี้ยังมีพวกพอลิแซ็กคาไรด์ที่ไม่ใช่เซลลูโลส โปรตีน และแร่ธาตุอื่น ๆ บางชนิดในปริมาณน้อย

โมเลกุลของเซลลูโลสเป็นสายยาวและอยู่รวมกันเป็นมัด โดยจะมีแรงยึดกันด้วยพันธะไฮโดรเจน ระหว่างหมู่ไฮดรอกซิลของโมเลกุลที่อยู่ใกล้กัน การจัดเรียงตัวของโมเลกุลค่อนข้างที่จะสม่ำเสมอ จากการศึกษาดูโดย x-ray diffraction พบว่าเส้นใยของเซลลูโลสประกอบด้วยส่วนที่เป็นผลึกซึ่งเป็นระเบียบ และส่วนที่ไม่เป็นระเบียบ สำหรับส่วนที่เป็นผลึกในเส้นใยของเซลลูโลสนั้นโมเลกุลจะจัดตัวขนานกันและกัน และยึดติดกันอย่างมีระเบียบโดยพันธะไฮโดรเจน แต่สำหรับส่วนที่ไม่เป็นระเบียบนั้นจะมีจำนวนของหมู่ไฮดรอกซิลอิสระมากกว่าส่วนที่เป็นระเบียบ ดังนั้นส่วนที่เป็นระเบียบจะเป็นส่วนที่ให้ความแข็งแรงในขณะที่ส่วนที่ไม่เป็นระเบียบเป็นส่วน ที่ให้ความยืดหยุ่น

สมบัติของเซลลูโลส

เซลลูโลสเป็นเส้นใยชนิดไม่ละลายน้ำ (insoluble dietary fiber, IDF) ไม่ทำปฏิกิริยากับสารอื่น ไม่ละลายในด่าง และตัวทำละลายเป็นส่วนใหญ่ (Deveries & Reinhold, 1992) เซลลูโลสไม่สามารถละลายน้ำได้ แต่สามารถดูดซับน้ำไว้ที่บริเวณผิวจึงเกิดการพองตัว เนื่องจากเส้นใยเซลลูโลสจับตัวหนาที่บเป็นเส้นหยาบ มีทั้งโมเลกุลที่เรียงตัวไปในทิศทางเดียวกันและสวนทางกัน ทำให้เส้นใยแข็งแรง ไม่เปราะง่าย แต่มีบางส่วนที่โมเลกุลเรียงตัวไม่เป็นระเบียบ

การละลายของเซลลูโลส

เซลลูโลสมีคุณสมบัติไม่ละลายน้ำ ไม่ละลายในตัวทำละลายอินทรีย์หรือสารละลายต่างอ่อน แต่จะละลายในกรดแก่และต่างแก่ ดังนั้นจึงสามารถแบ่งชนิดของเซลลูโลสตามลักษณะการละลายในกรดหรือต่างได้เป็น 3 ชนิด ดังนี้

ก. แอลฟาเซลลูโลส (α -cellulose) เป็นเซลลูโลสที่ไม่ละลายในสารละลาย

โซเดียมไฮดรอกไซด์ 17.5%

ข. เบต้าเซลลูโลส (β -cellulose) เป็นเซลลูโลสที่สามารถละลายในสารละลาย

โซเดียมไฮดรอกไซด์ 17.5%

ค. แกมมาเซลลูโลส (γ -cellulose) เป็นเซลลูโลสที่สามารถละลายได้ดี

ทั้งในสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ 17.5% และสารละลายกรดเจือจาง

ความหนืดของเซลลูโลส

ความหนืดเป็นสมบัติที่สำคัญอย่างหนึ่งของเซลลูโลส โดยถ้าเราเพิ่มความเข้มข้นของเซลลูโลส ความหนืดก็จะเพิ่มขึ้น ทำให้มีสมบัติทางกายภาพดีขึ้น

การดูดซับความชื้นของเซลลูโลส

เซลลูโลสส่วนใหญ่จะมีการดูดซับหรือการคายไอน้ำหรือของเหลวอื่นๆ ในบรรยากาศรอบตัว จนกระทั่งถึงจุดสมดุล โดยสมดุลของความชื้นของเซลลูโลสจะแปรเปลี่ยนไปตามความชื้นสัมพัทธ์ของบรรยากาศนั้น ปริมาณความชื้นของเซลลูโลสมีผลต่อคุณสมบัติทางกายภาพบางประการ เช่น เมื่อความชื้นสูงขึ้น ค่า tensile strength จะมีค่าเพิ่มขึ้น

ความหนาแน่นของเซลลูโลส

เซลลูโลสที่เป็นเส้นใยเดี่ยว จะมีค่าความหนาแน่นที่ไม่แน่นอน ค่าความหนาแน่นจะแปรเปลี่ยนไปตามแหล่งที่มาหรืออาจเปลี่ยนไป เนื่องจากการเปลี่ยนแปลงทางเคมี

เซลลูโลสผง (powdered cellulose)

เซลลูโลสผงมีลักษณะเป็นผงสีขาว ไม่มีกลิ่นและรส (วิภา และคณะ, 2541) ได้จากการนำเซลลูโลสจากพืช เช่น ไม้หรือฝ้าย มาผ่านกระบวนการทำให้บริสุทธิ์ และฟอกสี (Robinson, 1981) มีเส้นผ่าศูนย์กลางประมาณ 17 ไมครอน ความยาวของเส้นใยขึ้นอยู่กับกระบวนการผลิต แต่เซลลูโลสผงที่ใช้ในอุตสาหกรรมอาหารจะมีความยาวเส้นใยในช่วง 22-290 ไมครอน (Ang, 1991)

คุณค่าทางอาหารของเซลลูโลส

ร่างกายมนุษย์ไม่มีเอนไซม์สำหรับย่อยเซลลูโลส ดังนั้นเซลลูโลสจะไม่ถูกย่อยสลายและไม่ให้พลังงาน จึงเหลือกากอาหารสำหรับขับถ่ายทำให้มีประโยชน์ในการช่วยเพิ่มปริมาณกากในอุจจาระ ทำให้ขับถ่ายสะดวก ลดความเสี่ยงต่อการเป็นมะเร็งลำไส้ใหญ่ (Prosky, 1995) คุณค่าทางอาหารของเซลลูโลสผง แสดงดังตารางที่ 8.1

ตารางที่ 8.1 คุณค่าทางอาหารของเซลลูโลสผง

Component	Typical Value
Calories (Kcal/g)	0
Total dietary fiber (%db)	>99 ^a
Total fat (%)	0
Cholesterol (%)	0
Protein (%)	0
Ash (% , 800°C)	0.1
Moisture (%)	3-5
Sodium (ppm)	500-700
Calcium (ppm)	100
Icon (ppm)	100

ที่มา : Ang (2001)

การสกัดเซลลูโลส

เซลลูโลสทางการค้ามักผลิตจากไม้และฝ้าย วัตถุดิบเหล่านี้จะถูกสกัดโดยใช้กรดหรือด่างภายใต้อุณหภูมิและความดันสูง จากนั้นนำกากที่ได้มาฟอกสีและล้างน้ำหลาย ๆ ครั้ง จะได้ผลิตภัณฑ์สุดท้ายเป็นเซลลูโลสบริสุทธิ์ (Ang, 2001) ซึ่งกรดและด่างที่ใช้คือ สารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์

ข) เฮมิเซลลูโลส

เฮมิเซลลูโลส เป็นกลุ่มของเฮเทอโรพอลิแซ็กคาไรด์ ในโมเลกุลประกอบด้วยน้ำตาลตั้งแต่ 2-4 ชนิดขึ้นไป มีทั้งน้ำตาลเฮกโซสและเพนโทส น้ำตาลที่พบบ่อย คือ น้ำตาลไซโลส และอะราบินอส นอกจากนี้ยังพบน้ำตาลแมนโนส กาแล็กโทส และกรดกลูคูโรนิกอีกด้วย (Prosky and Devries, 1992) เฮมิเซลลูโลส เป็นองค์ประกอบในโครงสร้างของผนังเซลล์พืช โดยรวมอยู่กับ ลิกนินและเซลลูโลส มีสมบัติ ไม่ละลายน้ำแต่ละลายได้ในสารละลายต่าง (นิธิยา, 2545)

ค) ลิกนิน

ลิกนิน ประกอบด้วยสารประกอบเชิงซ้อนของแอลกอฮอล์ พืชจะผลิตเมื่อมีอายุมาก (Southgate *et al.*, 1990) ลิกนินทนต่อการทำลาย และต้องการสภาวะที่เหมาะสมในการทำลาย ลิกนิน ลิกนินจะเคลือบผนังเซลล์พืชให้มีความแข็งแรง ทำให้เอนไซม์เข้าไปย่อยเซลลูโลสได้ยากขึ้น และแบคทีเรียในลำไส้ไม่สามารถย่อยลิกนินได้ ประกอบกับลิกนิน มีคุณสมบัติที่ไม่ละลายน้ำ ไม่ละลายในกรดและด่าง จึงไม่สามารถย่อยและดูดซึมได้ในร่างกายมนุษย์ ลิกนินพบบ่อยในพืชค่อนข้างแก่ และผลไม้สุกมีลิกนินมากกว่าผลไม้ดิบ (Southgate and Englyst, 1976)

ง) องค์ประกอบอื่นๆ

องค์ประกอบอื่นๆ ที่จัดว่าเป็นเส้นใยอาหารที่ไม่ละลายน้ำ ได้แก่ คิวตินและไข พบรวมกับส่วนที่เป็นโครงสร้างของพืชหรืออยู่บนผิวนอกของพืช โดยมีองค์ประกอบของไขมันที่ไม่รวมกับน้ำ ปกติจะพบในปริมาณที่น้อย (Prosky and Devries, 1992)

8.2 แหล่งของเส้นใยอาหาร

เส้นใยอาหารสามารถพบในอาหารจากพืชเท่านั้น ซึ่งพืชแต่ละชนิดจะมีปริมาณเส้นใยอาหารที่แตกต่างกัน ซึ่งสามารถแบ่งแหล่งของเส้นใยอาหารได้ดังนี้

1. ธัญพืช (cereal) เช่น ข้าวสาลี ข้าวโอ๊ต ข้าวโพด และข้าว เป็นต้น ซึ่งธัญพืชจัดเป็นแหล่งที่ดีของเส้นใยอาหาร โดยเฉพาะธัญพืชที่ไม่ผ่านการขัดสีจะมีปริมาณเส้นใยอาหารมากกว่าธัญพืชที่ผ่านการขัดสี ปริมาณเส้นใยอาหารของธัญพืชแต่ละชนิดจะแตกต่างกันขึ้นอยู่กับกระบวนการแปรรูป

2. พืชตระกูลถั่ว (legumes) เช่น ถั่วเขียว ถั่วแดง ถั่วดำ และถั่วเหลือง เป็นต้น พืชตระกูลถั่วทั้งหลายจัดเป็นแหล่งของอาหารที่มีปริมาณเส้นใยอาหารสูง

3. ผัก (vegetables) ผักเป็นแหล่งที่ดีของเส้นใยอาหาร นอกจากผักต่างชนิดกัน จะมีปริมาณเส้นใยอาหารแตกต่างกันแล้วยังพบว่าปริมาณเส้นใยอาหารในผักยังขึ้นกับส่วนต่างๆ ของผัก พันธุ์ ฤดูกาล ความแก่อ่อน ปริมาณน้ำในผัก และการแปรรูป

4. ผลไม้ (fruits) ปกติผลไม้มักจะมีปริมาณน้ำและน้ำตาลสูงส่งผลให้มีปริมาณเส้นใยอาหารต่ำ สามารถเพิ่มปริมาณเส้นใยอาหารในผลไม้ได้โดยใช้กระบวนการกำจัดน้ำ ส่วนต่างๆ ของผลไม้ เช่น เปลือก แกน เมล็ด ฯลฯ เป็นส่วนที่มีปริมาณเส้นใยอาหารสูงและมักเป็นของเหลือจากอุตสาหกรรมซึ่งถือเป็นแหล่งเส้นใยอาหารที่มีศักยภาพ (ปาริชาติ, 2540)

8.3 การใช้ใยอาหารในผลิตภัณฑ์อาหาร

ในทางกฎหมายเซลลูโลสผงได้รับอนุญาตจากองค์การร่วมทางเศรษฐกิจแห่งยุโรป (EEC) ให้ใช้เป็นส่วนประกอบของอาหารได้ตั้งแต่ปี ค.ศ.1993 และได้รับการรับรองจากองค์การอนามัยโลก (WHO) และองค์การอาหารและเกษตรแห่งสหประชาชาติ (FAO) ให้ใช้เป็นสารเติมแต่งได้ในอาหารบางชนิด ในทวีปยุโรปและอเมริกาได้มีการนำเซลลูโลสผงมาใช้เป็นองค์ประกอบของอาหารเพื่อสุขภาพ และในผลิตภัณฑ์เค้ก คุกกี้ เนยเทียม พาสต้า และซูปต่าง ๆ (วิภา และคณะ, 2541) ตัวอย่างผลิตภัณฑ์ และปริมาณเซลลูโลสผงที่เหมาะสมที่เติมลงในอาหารแต่ละชนิด แสดงดังตารางที่ 8.2

ปัจจุบันผู้บริโภคตระหนักถึงความสำคัญของใยอาหารที่มีต่อสุขภาพมากขึ้น Vetter (1984) กล่าวว่า การเพิ่มใยอาหารในผลิตภัณฑ์ทำโดยการเติมเซลลูโลสผงหรือธัญพืช และสามารถทำได้ในอาหารจำพวกขนมอบ อาหารเช้า (breakfast cereal) และขนมขบเคี้ยว การเพิ่มใยอาหารในปริมาณมากจะทำให้มีค่าใช้จ่ายสูง อาจมีผลกระทบต่อกระบวนการผลิตและคุณสมบัติของผลิตภัณฑ์ที่ได้ Pomeranz (1977) กล่าวว่า การเพิ่มใยอาหารในผลิตภัณฑ์ขนมอบที่ระดับมากกว่า 7% จะมีผลให้ปริมาตรของผลิตภัณฑ์ลดลง ทั้งนี้เป็นเพราะสัดส่วนของกลูเตน มีปริมาณน้อยลง ดังนั้น ในการเลือกชนิดของใยอาหารจึงควรเลือกชนิดที่มีปริมาณ Total Dietary Fiber (TDF) สูงๆ เพื่อให้ผลิตภัณฑ์มีปริมาณ ใยอาหารในระดับที่ต้องการ โดยมีการเติมสารที่ให้ใยอาหารลงไปเป็นปริมาณน้อยที่สุด

ด้วยเหตุนี้เซลลูโลสผงจึงเป็นสารที่ได้รับความนิยมมากชนิดหนึ่ง เนื่องจากมีปริมาณ TDF สูงมาก การเติมเซลลูโลสลงในขนมอบไม่เพียงแต่เพิ่มปริมาณใยอาหารยังลดปริมาณแคลอรีลงด้วย (Bry and Zabik, 1976)

8.3.1 การใช้เซลลูโลสผงเพื่อปรับปรุงคุณภาพของผลิตภัณฑ์ขนมอบ

ผลิตภัณฑ์ขนมอบมีความเหมาะสมที่จะใช้เป็นตัวกลางในการทดลองเติมใยอาหารจากแหล่งต่าง ๆ เพื่อศึกษาผลของใยอาหารต่อคุณภาพของผลิตภัณฑ์ (วิภา และคณะ, 2542) McConnell, *et al.* (1974) กล่าวว่า การเติมเซลลูโลสผงในผลิตภัณฑ์ขนมอบนั้น จะช่วยเพิ่มปริมาณผลผลิต (yield) ให้กับผลิตภัณฑ์ เพิ่มอายุการเก็บรักษาและลดการสูญเสียความชื้นระหว่างการเก็บ เพราะว่าเซลลูโลสมีคุณสมบัติในการอุ้มน้ำ ซึ่งเป็นคุณสมบัติที่สำคัญที่ผลิตภัณฑ์ขนมอบต้องมี

8.3.2 การใช้เซลลูโลสเพื่อเพิ่มปริมาตรเค้ก

เซลลูโลสผงทำให้ส่วนผสมเหลวของแป้งมีความหนืดเพิ่มขึ้น เพราะเซลลูโลสมีคุณสมบัติที่ไม่ละลายน้ำ จึงทำให้ส่วนผสมมีปริมาณของแข็งต่อปริมาตรเพิ่มขึ้น ส่งผลให้เกิดความเสียดทานภายในของเหลว สาเหตุที่ทำให้เกิดโครงสร้างเก็บกักก๊าซที่แข็งแรงขึ้น เนื่องจากผนังฟองอากาศมีความแข็งแรงมากขึ้นทำให้ฟองอากาศไม่เกิดการรวมตัวกันเป็นฟองอากาศขนาดใหญ่และลอยขึ้นสู่ผิวหน้าของส่วนผสมเหลว ผลิตภัณฑ์ที่ได้จึงมีฟองละเอียด มีปริมาตรและความคงตัวมากขึ้น Ang and Miller (1989) กล่าวว่า การเติมเซลลูโลสผงมากกว่าร้อยละ 4 ของส่วนผสมเหลวเซลลูโลสผงจะไปขัดขวางการเกิดฟองอากาศมากกว่าจะทำให้ฟองอากาศเสถียร

8.3.3 การใช้เซลลูโลสผงเพื่อปรับปรุงเนื้อสัมผัสของเค้ก

Ang and Miller (1989) ได้ทดลองเติมผงเซลลูโลสลงในเค้ก เพื่อศึกษาลักษณะเนื้อสัมผัสด้วยเครื่องวัดเนื้อสัมผัส (Instron) พบว่าเค้กที่เติมเซลลูโลสในระดับที่ต่ำกว่าจะมีเนื้อแข็งกว่า เนื่องจากเซลลูโลสที่มีขนาดเส้นใยยาวจะทำให้เค้กมีเนื้อนุ่ม และพบว่าการเติมเซลลูโลสผง ที่ระดับ 2-4 เปอร์เซ็นต์ จะช่วยปรับปรุงคุณภาพด้านเนื้อสัมผัสของเค้กให้ดีขึ้น ซึ่งจะมีผลต่ออายุการเก็บรักษา ลักษณะปรากฏของเค้กและความสูญเสียจากการแตกของเค้ก เค้กที่เติมเซลลูโลสผงจะมีความชื้นสูงกว่า เนื่องจากเซลลูโลสมีคุณสมบัติในการอุ้มน้ำ ทำให้เค้กมีความชุ่มชื้น และสามารถเก็บได้นานโดยไม่แห้งแข็ง

8.3.4 การใช้เซลลูโลสผงเป็น noncaloric bulking agent

จุฬาลักษณ์ และคณะ (2544) กล่าวว่าเซลลูโลสผงถูกนำไปใช้เป็น bulking agent ในอาหารหลายชนิด เช่น ผลิตภัณฑ์เนื้อ เครื่องดื่ม น้ำสลัด โดยเฉพาะในผลิตภัณฑ์ขนมอบ และผลิตภัณฑ์ที่ทำจากธัญชาติชนิดต่าง ๆ เพราะเซลลูโลสผงไม่ให้พลังงาน และมีความสามารถ

ตารางที่ 8.2 การประยุกต์ใช้เซลลูโลสผงในผลิตภัณฑ์อาหาร

Application	Benefit	Fiber length (μm)	Suggested usage level (%)
Breads and pastries	Dietary fiber supplement, caloric density control	35	7-10
Cereal	Dietary fiber supplement	40-50	3-7
Sauces and dressings	Texturing, thickening	60-100	2-5
Pasta	Caloric control, anti-sticking agent	60	6
Canned meat product	Prevents separation of fat and water	120	0.5
Imitation cheese product	Bulking agent, binder, anti-blocking agent	22	5
Spice and flavor carrier	Bulking agent, anti-caking agent	22	2
Imitation margarine	Bulking agent, binder	22	25-30
Imitation ham paste, restructured pork and surimi	Bulking agent, binder, prevents Separation of fat and water	22	3-25
Frying batter	Reduces fat absorption during frying	110	1
Cake and doughnuts	Increases volume, bulking agent, reduces fat absorption during frying, improves texture	35- 110	2-4
Powdered beverage Products	Bulking agent, caloric density control, dietary fiber supplement	22-35	5

ที่มา : ชีวภัณฑ์ (2542)

ในการอุ้มน้ำได้ดี จึงสามารถใช้เป็น bulking agent ทดแทนไขมันในผลิตภัณฑ์ขนมอบ ไขมันต่ำได้ โดยที่ไม่ทำให้คุณสมบัติของผลิตภัณฑ์เปลี่ยนแปลงไปมากนัก

8.3.5 การใช้เซลลูโลสผงในอาหารทอด

เซลลูโลสผงมีความสามารถในการอุ้มน้ำได้ดี ส่งผลให้มีการสูญเสียไขมันออกไประหว่างการทอดลดลง ปริมาณน้ำมันที่เข้ามาแทนที่ในช่องว่างที่เกิดขึ้นจึงลดลงด้วย

9. ผลการดำเนินงาน (ระเบียบวิธีวิจัยและผลการศึกษา)

9.1 ระเบียบวิธีวิจัย

วัตถุดิบ วัตถุดิบที่ใช้สำหรับการวิจัยนี้คือเปลือกกล้วยน้ำว้าจาก OTOP แป้งกล้วย โรงงานกล้วยตาก SME กล้วยตาก OTOP กล้วยตาก และ OTOP กล้วยปิ้ง

ตอนที่ 1 การสกัดเซลลูโลสและการใช้ประโยชน์เซลลูโลสในอาหาร

9.1.1 การสกัดเซลลูโลสและการใช้ประโยชน์เซลลูโลสในอาหาร

9.1.1.1 ศึกษาองค์ประกอบทางเคมีของเปลือกกล้วย

โดยการวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมีของเปลือกกล้วยทั้ง 3 ระยะ คือ ระยะที่ 5 ระยะที่ 6 และระยะที่ 7 วิเคราะห์ปริมาณความชื้น ไขมัน โปรตีน คาร์โบไฮเดรต เถ้า และเยื่อใย (AOAC, 1995) และปริมาณเซลลูโลส (Robinson, 1981) เพื่อคัดเลือกระยะการสุกของเปลือกกล้วยที่เหมาะสม

9.1.1.2 ศึกษากรรมวิธีการผลิตเซลลูโลสจากเปลือกกล้วยที่เหมาะสม

ศึกษาชนิดความเข้มข้นของสาร และเวลาที่เหมาะสมในการสกัดเซลลูโลส โดยศึกษาชนิดของสาร 2 ชนิด ได้แก่

ก. เอทานอล เพื่อกำจัดไขมัน ใช้เอทานอล 3 ความเข้มข้น และเวลา (contact time) 3 ระดับ ($3 \times 3 = 9$ treatments) เลือก treatment ที่มีปริมาณไขมันน้อยที่สุด

ข. โซเดียมไฮดรอกไซด์ เพื่อกำจัดโปรตีน ใช้โซเดียมไฮดรอกไซด์ที่มี pH ต่างกัน 3 ระดับ และเวลา (contact time) 3 ระดับ ($3 \times 3 = 9$ treatments) เลือก treatment ที่มีปริมาณโปรตีนน้อยที่สุด

9.1.1.3 ศึกษาการฟอกสีของเซลลูโลส

โดยใช้ไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ 3 ระดับ และเวลา 3 ระดับ จำนวนตัวอย่างทดลองทั้งหมด $3 \times 3 = 9$ treatments เลือก treatment ที่สีใกล้เคียงกับเซลลูโลสผงทางการค้า

9.1.1.4 ตรวจสอบคุณสมบัติของเซลลูโลสผงที่ผลิต (จากข้อ 9.1.1.2) เปรียบเทียบกับเซลลูโลสผงทางการค้า

ก. สมบัติทางเคมี ได้แก่

- 1) ไพรตึ้น (Kjeldahl digestion unit ; Buchi Model B435)
- 2) ความชื้น (AOAC 40.1.04, 1995)
- 3) ไชมัน (Soxhlet apparatus; Gerhardt Modle KI 26)
- 4) เถ้า (AOAC 40.1.03, 1995)
- 5) เยื่อใย (AOAC 40.1.07, 1995)
- 6) ปริมาณคาร์โบไฮเดรต (คำนวณจากผลต่างของ 100 และผลรวมทั้งหมด)
- 7) ปริมาณเซลลูโลส (Robinson, 1981)
- 8) ค่า water activity

ข. สมบัติทางกายภาพ ได้แก่

- 1) ค่าสี L* (Hunter Lab Model DP – 9000)
- 2) pH (AOAC 40.1.02, 1995)
- 3) Water retention capacity (Robinson, 1981)
- 4) Oil retention capacity (Robinson, 1981)

9.1.1.5 การศึกษาลักษณะโครงสร้างระดับจุลภาคของเซลลูโลสผงที่ผลิตได้เปรียบเทียบกับเซลลูโลสที่ผลิตในทางการค้า

ด้วยเครื่องจุลทรรศน์แบบส่องกราด (Scanning Electron Microscope)

9.1.1.6 การประยุกต์ใช้ประโยชน์ของเซลลูโลสผงในผลิตภัณฑ์อาหาร

ประยุกต์ใช้เซลลูโลสที่ผลิตได้ในผลิตภัณฑ์ขนมเค้กเนยสด เปรียบเทียบกับเซลลูโลสที่ผลิตในทางการค้า

การประยุกต์ใช้ประโยชน์ของเซลลูโลสผงในผลิตภัณฑ์ขนมเค้กเนยสด

ก. ศึกษาการทดแทนเซลลูโลสในขนมเค้กเนยสด 3 ระดับ

โดยใช้เซลลูโลสผงทดแทนแป้งสาลีในสูตร เปรียบเทียบกับชุดควบคุม (สูตรขนมเค้กเนยสดไม่ใช้เซลลูโลส) และเปรียบเทียบกับสูตรที่ใช้เซลลูโลสผงในทางการค้า

ข. วิเคราะห์คุณภาพของผลิตภัณฑ์

ก.) ทดสอบคุณภาพทางประสาทสัมผัส แบบ 9 – point Hedonic scale ทางด้าน
สี ความนุ่ม ความชุ่มฉ่ำ กลิ่น รสชาติ และการยอมรับรวมของผลิตภัณฑ์ คัดเลือกสูตร
ที่ได้รับการยอมรับมากที่สุด

ข.) วิเคราะห์สมบัติทางเคมี ได้แก่

- โปรตีน (Kjeldahl digestion unit ; Buchi Model B435)
- ความชื้น (AOAC 40.1.04, 1995)
- ไขมัน (Soxhlet apparatus ; Gerhardt Modle KI 26)
- เถ้า (AOAC 40.1.03, 1995)
- เยื่อใย (AOAC 40.1.07, 1995)
- ปริมาณคาร์โบไฮเดรต (คำนวณจากผลต่างของ 100 และผลรวมทั้งหมด)

ค.) วิเคราะห์สมบัติทางกายภาพ

- ความหนืดของส่วนผสมเหลว
- ความหนาแน่นของเนื้อเค้ก
- ปริมาตรเค้ก

9.1.1.7 ประเมินมูลค่าทางเศรษฐศาสตร์ในทางการค้า

ประเมินมูลค่าทางเศรษฐศาสตร์ในทางการค้า ของผลิตภัณฑ์ เซลลูโลส เพื่อเป็นข้อมูล
ทางเลือกในการผลิตอาหารเสริมเซลลูโลส หรือผลิตเซลลูโลสจำหน่ายในรูปแบบผง

9.1.1.8 การถ่ายทอดเทคโนโลยีสู่กลุ่มเป้าหมาย

จัดให้มีการอบรมเชิงปฏิบัติการ 2 เรื่อง ได้แก่

(1) เรื่อง “การสกัดเซลลูโลสผงจากเปลือกกล้วย” เพื่อเป็นสินค้าจำหน่ายในระดับ OTOP
ในจังหวัดพิษณุโลก

(2) เรื่อง “การใช้ประโยชน์ทางอาหารของเซลลูโลสจากเปลือกกล้วยในผลิตภัณฑ์เค้ก”

ถ่ายทอดเทคโนโลยีให้กับกลุ่มเป้าหมาย ผู้ประกอบการกลุ่มวิสาหกิจชุมชน กลุ่มแม่บ้าน
และผู้สนใจทั่วไป จำนวนอย่างน้อย 30 คน เป็นระยะเวลา 2 วัน ณ ภาควิชาอุตสาหกรรมเกษตร
คณะเกษตรศาสตร์ทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม มหาวิทยาลัยนเรศวร

ตอนที่ 2 การสกัดใยอาหารจากเปลือกกล้วยและการใช้ประโยชน์ในอาหาร

9.1.2 ศึกษาการสกัดใยอาหารจากเปลือกกล้วยที่เหมาะสม

9.1.2.1 ศึกษากระบวนการสกัดใยอาหาร

โดยใช้สารสกัด 2 ชนิด ความเข้มข้นของสารชนิดละ 3 ระดับ และระยะเวลาในการสัมผัสของสาร 3 ระดับ ($2 \times 3 \times 3$ Factorial in CRD) ทำการทดลอง 3 ซ้ำ ทำการคัดเลือกกระบวนการที่เหมาะสมของผลิตภัณฑ์แต่ละชนิด คัดเลือกกรรมวิธีที่เหมาะสม

9.1.2.2 ศึกษาการฟอกสีของโยอาหาร

โดยใช้ไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ 3 ระดับ และ เวลา 3 ระดับ จำนวนตัวอย่างทดลองทั้งหมด = $3 \times 3 = 9$ treatments เลือก treatment ที่สีใกล้เคียงกับโยอาหารผงทางการค้า

9.1.2.3 การประยุกต์ใช้ประโยชน์โยอาหารผงในผลิตภัณฑ์อาหาร

โดยนำมาประยุกต์ในโยเกิร์ต การผลิตโยเกิร์ตจากนมที่ผ่านความร้อนสูงโดยใช้โยอาหารผงเพื่อปรับปรุงลักษณะเนื้อสัมผัส จุลินทรีย์ที่ใช้ในการผลิตกรดแลคติก ได้แก่ ABT5 และ LGG ซึ่งเป็น จุลินทรีย์สำเร็จรูปทางการค้า ABT5 ประกอบด้วย *Lactobacillus acidophilus*-5 (LA-5), *Bifidobacterium animalis* (Bb-12) และ *Streptococcus thermophilus*-5 (ST-5). และ LGG คือ *Lactobacillus GG*. โดยใช้ปริมาณ 0.0025% ส่วนผสมของนมที่นำมาผลิตโยเกิร์ตจะมีปริมาณของแข็ง 21% ประกอบด้วย นมไขมันเต็ม นมพร่องมันเนย และนมผงที่ทำแห้งด้วยการใช้ความร้อนต่ำ เพื่อเพิ่มปริมาณของแข็งในน้ำนม ที่มีเพียง 10-12 เปอร์เซ็นต์ ส่วนผสมน้ำนมที่จะนำมาผลิตโยเกิร์ต จะถูกให้ความร้อนที่อุณหภูมิ 85°C เป็นเวลา 30 นาที (อุณหภูมิในการพาสเจอร์ไรส์โยเกิร์ต เพื่อให้โปรตีนเวย์มีการเสื่อมสภาพสูง) อุณหภูมิที่ใช้ในการบ่มโยเกิร์ตคือ 42°C ค่า pH ในการหยุดปฏิกิริยาของแบคทีเรียผลิตกรดแลคติกเท่ากับ 4.5

ก. ศึกษาการทดแทนเจลาตินด้วยโยอาหารผงในโยเกิร์ต 3 ระดับ ได้แก่ 0% (Control) 0.25%, 0.50% และ 0.75% ใช้โยอาหารผงทดแทนในสูตร เปรียบเทียบกับชุดควบคุม (โยเกิร์ตที่ใช้เจลาติน 0.35%) และเปรียบเทียบกับสูตรโยอาหารผงในทางการค้า

ข. วิเคราะห์คุณภาพของผลิตภัณฑ์

1) ทดสอบคุณภาพทางประสาทสัมผัส แบบ 9 – point Hedonic Scale ทางด้าน สี กลิ่นรส ลักษณะเนื้อสัมผัส และการยอมรับรวม โดยคัดเลือกสูตรที่ได้รับการยอมรับมากที่สุด

2) วิเคราะห์คุณสมบัติทางเคมี ได้แก่

-ความชื้น (Moisture)

-เยื่อใย (Fiber)

-ค่าความเป็นกรด (Acidity) และ pH ของโยเกิร์ตระหว่างการหมัก และ ผลิตภัณฑ์สุดท้าย

3) วิเคราะห์คุณสมบัติทางกายภาพ ได้แก่

-ความแข็งแรงเจลระหว่างการหมักโยเกิร์ต (Gel strength) และความแข็งแรงของเคิร์ดโยเกิร์ต (Hardness)

-ความหนืด (Viscosity)

-การอุ้มน้ำของโยเกิร์ต (Water-holding capacity, syneresis)

-ระยะที่ใช้ในการหมัก (incubation time)

ค. ศึกษาคุณสมบัติทางเคมี กายภาพและจุลินทรีย์ของโยเกิร์ตระหว่างการเก็บรักษา

1) นำโยเกิร์ตที่ได้รับการคัดเลือก มาศึกษาอายุการเก็บ เป็นเวลา 6 สัปดาห์ ที่อุณหภูมิ 3-4°C โดยศึกษาลักษณะทางเคมี กายภาพ และจุลินทรีย์ ได้แก่

-ความเป็นกรดและ pH

-ความชื้น

-ความแข็งแรงของเคิร์ดโยเกิร์ต

-ความหนืด

-การอุ้มน้ำของโยเกิร์ต

-ปริมาณเชื้อแลคติกแบคทีเรีย (Lactic acid bacteria)

-ปริมาณเชื้อรา เนื่องจากโยเกิร์ตโดยทั่วไปจะเกิดการเสื่อมเสียจาก เชื้อรา

-จำนวนจุลินทรีย์ทั้งหมด

2) การทดสอบคุณภาพทางประสาทสัมผัส แบบ 9-point Hedonic Scale ทางด้าน สี กลิ่นรส ลักษณะเนื้อสัมผัส และการยอมรับรวม ในระหว่างการเก็บรักษา โดยทำการทดสอบทุก 1 สัปดาห์ จนกว่าจะพบเชื้อราในโยเกิร์ต

9.1.2.4 ประเมินมูลค่าทางเศรษฐศาสตร์ในทางการค้า

ประเมินมูลค่าทางเศรษฐศาสตร์ในทางการค้า ของผลิตภัณฑ์โยอาหาร เพื่อเป็นข้อมูลทางเลือกในการผลิตอาหารเสริมโยอาหาร หรือผลิตโยอาหารจำหน่ายในรูปแบบผง หรืออัดเม็ด

9.1.2.5 การถ่ายทอดเทคโนโลยีสู่กลุ่มเป้าหมาย

จัดให้มีการอบรมเชิงปฏิบัติการ 2 เรื่อง ได้แก่

(1) เรื่อง “การสกัดโยอาหารผงจากเปลือกกล้วย” เพื่อเป็นสินค้าจำหน่ายในระดับ OTOP ในจังหวัดพิษณุโลก

(2) เรื่อง “การใช้ประโยชน์ทางอาหารของโยอาหารจากเปลือกกล้วยในโยเกิร์ต”

ถ่ายทอดเทคโนโลยีให้กับกลุ่มเป้าหมาย ผู้ประกอบการกลุ่มวิสาหกิจชุมชน กลุ่มแม่บ้าน และผู้ที่สนใจทั่วไป จำนวนอย่างน้อย 30 คน เป็นระยะเวลา 2 วัน ณ ภาควิชาอุตสาหกรรมเกษตร คณะเกษตรศาสตร์ ทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม มหาวิทยาลัยนเรศวร

การวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติ

ทำการทดลอง 3 ซ้ำ วิเคราะห์ข้อมูลโดยโปรแกรมสำเร็จรูปทางสถิติและวิเคราะห์ความแตกต่างของค่าเฉลี่ยโดยวิธี Duncan's New Multiple Range Test (DMRT) ที่ระดับความเชื่อมั่น 95%

สถานที่ทำการทดลอง/เก็บข้อมูล

ทำการทดลองและเก็บรวบรวมข้อมูลที่ห้องปฏิบัติการของภาควิชาอุตสาหกรรมเกษตร และห้องปฏิบัติการกลาง คณะเกษตรศาสตร์ ทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม มหาวิทยาลัยนเรศวร และที่ห้องปฏิบัติการศูนย์วิจัยข้าวพิษณุโลก

9.2 ผลการทดลอง

ตอนที่ 1 การสกัดเซลลูโลสจากเปลือกกล้วย

9.2.1 ศึกษาองค์ประกอบทางเคมีของเปลือกกล้วย

องค์ประกอบทางเคมีที่ศึกษา (ตารางที่ 9.2.1) รายงานผลเป็นเปอร์เซ็นต์น้ำหนักแห้ง (% dry basis) พบว่าปริมาณความชื้นของเปลือกกล้วยมีค่าเพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญ ($P \leq 0.05$) เมื่อระยะเวลาการสุกของกล้วยเพิ่มขึ้น โดยเปลือกกล้วยระยะที่ 5 มีปริมาณความชื้นต่ำกว่าระยะที่ 6 และ 7 อย่างมีนัยสำคัญ ($P \leq 0.05$) และเปลือกกล้วยระยะที่ 6 มีปริมาณความชื้นต่ำกว่าระยะที่ 7 อย่างมีนัยสำคัญ ($P \leq 0.05$) ในขณะที่ปริมาณไขมันนั้นมีค่าลดลงอย่างมีนัยสำคัญ ($P \leq 0.05$) เมื่อระยะเวลาการสุกของกล้วยเพิ่มขึ้น โดยเปลือกกล้วยระยะที่ 5 มีปริมาณไขมันสูงกว่าระยะที่ 6 และ 7 อย่างมีนัยสำคัญ ($P \leq 0.05$) และเปลือกกล้วยระยะที่ 6 มีปริมาณไขมันสูงกว่าระยะที่ 7 อย่างมีนัยสำคัญ ($P \leq 0.05$) ปริมาณโปรตีนของเปลือกกล้วยระยะที่ 5 และ 6 ไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($P > 0.05$) แต่มีค่าต่ำกว่าของเปลือกกล้วยระยะที่ 7 อย่างมีนัยสำคัญ ($P \leq 0.05$)

ปริมาณคาร์โบไฮเดรตของเปลือกกล้วยระยะที่ 5 มีค่าต่ำกว่าระยะที่ 6 และ 7 อย่างมีนัยสำคัญ ($P \leq 0.05$) โดยปริมาณคาร์โบไฮเดรตของเปลือกกล้วยระยะที่ 6 และ 7 มีค่าไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($P > 0.05$) ปริมาณเถ้าของเปลือกกล้วยระยะที่ 5 มีค่า

ในขณะที่ปริมาณเซลลูโลสของเปลือกกล้วยระยะที่ 5 มีค่าสูงกว่าระยะที่ 6 และ 7 อย่างมีนัยสำคัญ ($P \leq 0.05$) (ตารางที่ 9.2.2) แต่ปริมาณเซลลูโลสของเปลือกกล้วยระยะที่ 6 และ 7 ไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($P > 0.05$)

จากผลการวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมีของเปลือกกล้วยระยะที่ 5, 6 และ 7 พบว่าปริมาณเยื่อใยของเปลือกกล้วยทั้ง 3 ระยะไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($P > 0.05$) แต่เมื่อพิจารณาปริมาณเซลลูโลส พบว่า เปลือกกล้วยระยะที่ 5 มีค่ามากกว่าระยะที่ 6 และ 7 อย่างไรก็ตาม เปลือกกล้วยที่เหลือจากกระบวนการแปรรูปและที่เป็นปัญหาทำให้เกิดมลภาวะต่อสภาพแวดล้อมของจังหวัดพิษณุโลก โดยเฉพาะอย่างยิ่งที่อำเภอบางกระทุ่มและบางระกำ คือ เปลือกกล้วยระยะที่ 7 ดังนั้น งานวิจัยนี้จึงคัดเลือกเปลือกกล้วยระยะที่ 7 เพื่อใช้ในการวิจัยในขั้นตอนต่อไป

ตารางที่ 9.2.1 องค์ประกอบทางเคมี (% น้ำหนักแห้ง) ของเปลือกกล้วยระยะที่ 5, 6 และ 7

ระยะ การสุก ของ กล้วย	ปริมาณ (% dry basis)					
	ความชื้น	ไขมัน	โปรตีน	คาร์โบไฮเดรต	เถ้า	เยื่อใย ^{ns}
5	3.15±0.11 ^c	19.19±0.31 ^a	5.68±0.22 ^a	44.58±1.70 ^b	12.37±0.05 ^{ab}	15.03±0.28
6	4.68±0.13 ^b	6.82±0.56 ^b	6.57±0.02 ^a	54.51±1.14 ^a	12.12±0.07 ^b	15.23±0.38
7	7.65±0.05 ^a	4.34±0.74 ^c	3.74±0.42 ^b	56.21±0.37 ^a	12.62±0.09 ^a	15.30±0.85

ค่าเฉลี่ยที่มีตัวอักษร a-c กำกับที่แตกต่างกันในแนวตั้ง มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($P \leq 0.05$)

ns ไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($P > 0.05$)

ตารางที่ 9.2.2 ปริมาณเซลล์โลสของเปลือกกล้วยระยะที่ 5, 6 และ 7

ระยะการสุกของกล้วย	เซลล์โลส
5	63.02±0.19 ^a
6	59.43±0.12 ^b
7	59.04±0.11 ^b

ค่าเฉลี่ยที่มีตัวอักษร a-b กำกับที่แตกต่างกันในแนวดิ่ง มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($P \leq 0.05$)

9.2.2 ศึกษากรรมวิธีการผลิตเซลล์โลสจากเปลือกกล้วยที่เหมาะสม

9.2.2.1 ศึกษาชนิด ความเข้มข้นของสาร และเวลาที่เหมาะสมในการสกัดเซลล์โลส

โดยศึกษาชนิดของสาร 2 ชนิด ได้แก่

ก. เอทานอล เพื่อกำจัดไขมัน ใช้เอทานอล 3 ความเข้มข้น และเวลา (contact time) 3 ระดับ ($3 \times 3 = 9$ treatments) เลือก treatment ที่มีปริมาณไขมันน้อยที่สุด ผลการทดลองแสดงดังตารางที่ 9.2.3

ตัวอย่างชุดควบคุมคือ เปลือกกล้วยระยะที่ 7 ที่ไม่ผ่านการกำจัดไขมันโดยใช้เอทานอล มีปริมาณไขมันสูงกว่าตัวอย่างอื่นๆ อย่างมีนัยสำคัญ ($P \leq 0.05$) ทั้งนี้เนื่องจากเอทานอลเป็นตัวทำละลายที่ใช้ในการสกัดไขมัน (รัตน, 2550) เมื่อระยะเวลาในการสกัดมากขึ้น ปริมาณไขมันที่เหลืออยู่ในเปลือกกล้วยมีค่าลดลงอย่างมีนัยสำคัญ ($P \leq 0.05$) โดยที่ในแต่ละช่วงเวลาทำการสกัดนั้น (8, 16, 24 ชั่วโมง) จะมีปริมาณไขมันที่ไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($P > 0.05$) ยกเว้นในช่วงเวลา 8 ชั่วโมง ซึ่งการใช้ 90% เอทานอลในการสกัดมีปริมาณไขมันเหลืออยู่สูงกว่าเมื่อใช้ 99% เอทานอลในการสกัดอย่างมีนัยสำคัญ ($P \leq 0.05$)

ผลการทดลองดังกล่าวแสดงว่าเวลาในการสกัดมีผลต่อปริมาณไขมันที่เหลืออยู่หรือถูกสกัดออกไปจากเปลือกกล้วย โดยที่เมื่อเวลาในการสกัดเพิ่มขึ้น ปริมาณไขมันที่ถูกสกัดออกไปจากเปลือกกล้วยก็เพิ่มขึ้นตามไปด้วย ในขณะที่ ความเข้มข้นของเอทานอลที่ใช้ คือ 90%, 95% และ 99% นั้น ไม่มีผลต่อการสกัดไขมันออกจากเปลือกกล้วย เพื่อเป็นการประหยัดสารเคมีและเวลาจากข้อมูลในตารางที่ 9.2.3 จึงคัดเลือกเอทานอลความเข้มข้น 90% และเวลาในการสกัด 16 ชั่วโมง ผงเปลือกกล้วยที่ผ่านการสกัดไขมัน (รูปที่ 9.2.1) เมื่อเปรียบเทียบกับสารสกัดไขมันออกของเซลล์โลสจากแหล่งอื่นๆ พบว่าเซลล์โลสจากชั่งข้าวโพดใช้เอทานอล 95% และเวลาในการสกัด 8 ชั่วโมง (จุฑารัตน์, 2547) ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับปริมาณไขมันที่มีอยู่ในวัตถุดิบนั้นๆ



รูปที่ 9.2.1 ผงเปลือกกล้วยที่ผ่านการสกัดไขมัน

ตารางที่ 9.2.3 ปริมาณไขมันของเปลือกกล้วยระยะที่ 7 ที่ผ่านการสกัดโดยใช้เอทานอล

ตัวอย่าง	ไขมัน (%)
ชุดควบคุม	4.34 ± 0.74^a
90% EtOH, 8 h	0.89 ± 0.07^b
95% EtOH, 8 h	0.72 ± 0.07^{bc}
99% EtOH, 8 h	0.35 ± 0.19^{cd}
90% EtOH, 16 h	0.48 ± 0.02^{bcd}
95% EtOH, 16 h	0.37 ± 0.04^{cd}
99% EtOH, 16h	0.23 ± 0.02^d
90% EtOH, 24 h	0.28 ± 0.02^{cd}
95% EtOH, 24 h	0.18 ± 0.02^d
99% EtOH, 24 h	0.21 ± 0.02^d

ค่าเฉลี่ยที่มีตัวอักษร a-d กำกับที่แตกต่างกันในแนวตั้ง มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($P \leq 0.05$)

ข. โซเดียมไฮดรอกไซด์ เพื่อกำจัดโปรตีน ใช้โซเดียมไฮดรอกไซด์ ความเข้มข้น 25% ที่ pH 3 ระดับ และเวลา (contact time) 3 ระดับ ($3 \times 3 = 9$ treatments) เลือก treatment ที่มีปริมาณโปรตีนน้อยที่สุด ผลการทดลองแสดงดังตารางที่ 9.2.4

ปริมาณโปรตีนของเปลือกกล้วยระยะที่ 7 มีแนวโน้มลดลงเมื่อเวลาในการสกัดเพิ่มขึ้น โดยที่ตัวอย่างควบคุมมีปริมาณโปรตีนเหลืออยู่ในเปลือกกล้วยสูงกว่าตัวอย่างที่ทำการสกัดเป็นเวลา 24 ชั่วโมง อย่างมีนัยสำคัญ ($P \leq 0.05$) แต่ไม่แตกต่างจากปริมาณโปรตีนที่เหลืออยู่ในเปลือกกล้วยที่ผ่านการสกัดเป็นเวลา 8 และ 16 ชั่วโมง อย่างมีนัยสำคัญ ($P > 0.05$) ในแต่ละช่วงเวลาที่ทำการ

ผลการทดลองดังกล่าวแสดงให้เห็นว่าเวลาในการสกัดมีผลต่อปริมาณโปรตีนที่เหลืออยู่หรือถูกสกัดออกไปจากเปลือกกล้วย โดยเฉพาะเมื่อสกัดเป็นเวลา 24 ชั่วโมงเท่านั้น ในขณะที่ค่า pH ของโซเดียมไฮดรอกไซด์ที่ใช้คือ 11.6, 11.8 และ 12.0 นั้น ไม่มีผลต่อการสกัดโปรตีนออกจากเปลือกกล้วย ถึงแม้ว่า pH 11.8 และเวลาในการสกัด 24 ชั่วโมงนั้นให้ผลในการสกัดโปรตีนที่เท่ากับ pH 12.0 และเวลาในการสกัด 24 ชั่วโมง แต่เพื่อความสะดวกในการเตรียมสารเคมีและเพื่อให้ได้ประสิทธิภาพการกำจัดโปรตีนออกจากตัวอย่างมากที่สุด จากข้อมูลในตารางที่ 9.2.4 จึงคัดเลือกโซเดียมไฮดรอกไซด์ที่มีค่า pH 12.0 และเวลาในการสกัด 24 ชั่วโมง ซึ่งให้ผลการทดลองเช่นเดียวกับการสกัดเซลลูโลสจากแกนสับปะรด pH 12 เป็นเวลา 24 ชั่วโมง (Prakongpan et al., 2002) และเปลือกถั่วเหลือง (US Patent Number 5,057,337) อย่างไรก็ตามเซลลูโลสที่สกัดจากชังข้าวโพดใช้สารโซเดียมไฮดรอกไซด์ 15% เป็นเวลา 30 นาที (จุฑารัตน์, 2547) เซลลูโลสที่สกัดจากเปลือกถั่วลิสง ใช้สารโซเดียมไฮดรอกไซด์ pH 11.2-11.8 เป็นเวลา 24 ชั่วโมง (US Patent Number 4,649,113) ทั้งนี้เนื่องจากความสามารถในการละลายของโปรตีน เริ่มสูงขึ้นที่เมื่อ pH มีค่าสูงขึ้นและสูงสุดที่ pH 12 และเริ่มลดต่ำลงหลังจาก pH สูงกว่า 12 (กาญจนาและ สุคนชีน, 2549 ; Prakash, 1996) ผงเปลือกกล้วยที่ผ่านการสกัดโปรตีนดังแสดงในรูปที่ 9.2.2



รูปที่ 9.2.2 ผงเปลือกกล้วยที่ผ่านการสกัดโปรตีน

ตารางที่ 9.2.4 ปริมาณโปรตีนของเปลือกกล้วยระยะที่ 7 ที่ผ่านการสกัดโดยใช้ไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์

ตัวอย่าง	โปรตีน (%)
ชุดควบคุม	3.74 ± 0.42^a
pH 11.6, 8 h	3.83 ± 0.45^a
pH 11.8, 8 h	4.15 ± 0.12^a
pH 12.0, 8 h	3.57 ± 0.41^{ab}
pH 11.6, 16 h	3.85 ± 1.00^a
pH 11.8, 16 h	3.27 ± 0.04^{abc}
pH 12.0, 16 h	3.77 ± 0.85^a
pH 11.6, 24 h	2.75 ± 0.48^{bc}
pH 11.8, 24 h	2.48 ± 0.03^c
pH 12.0, 24 h	2.48 ± 0.02^c

ค่าเฉลี่ยที่มีตัวอักษร a-c กำกับที่แตกต่างกันในแนวนอน มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($P \leq 0.05$)

9.2.2.2 ศึกษาการฟอกสีของเซลลูโลส

โดยใช้ไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ 3 ระดับ และ เวลา 5 ระดับ คือความเข้มข้น 10% 15% และ 20% และ เวลา 1.5 3.0 4.5 6.0 และ 7.5 ชั่วโมง ตัวอย่างทดลองทั้งหมด = $3 \times 5 = 15$ treatments เลือก treatment ที่มีสีใกล้เคียงกับเซลลูโลสผงทางการค้า

นำเปลือกกล้วยระยะที่ 7 มาผ่านการฟอกสีโดยใช้ความเข้มข้นของไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ 3 ระดับ และเวลาในการฟอกสี 5 ระดับ พบว่าค่าความสว่าง (L^*) มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P \leq 0.05$) ในขณะที่ค่า a^* และ b^* นั้นไม่แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P > 0.05$) (ตารางที่ 9.2.5) จะเห็นได้ว่าทั้ง 15 ตัวอย่างนั้นมีค่า ความสว่าง (L^*) สูงกว่า 80 ซึ่งจัดว่ามีความสว่างที่ยอมรับได้ ถึงแม้ว่า สีของเซลลูโลสที่ได้นั้นเข้มกว่าเซลลูโลสผงทางการค้าซึ่งมีสีขาว

จากตารางที่ 9.2.5 พบว่า เมื่อความเข้มข้นของไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ และระยะเวลาในการฟอกสีเพิ่มขึ้น ค่าความสว่าง (L^*) เพิ่มขึ้นตามไปด้วย ตัวอย่างที่ใช้ความเข้มข้นของไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ 20% มีค่าความสว่าง (L^*) สูงกว่าตัวอย่างอื่นๆ อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P \leq 0.05$) ยกเว้นตัวอย่างที่ใช้ความเข้มข้นของไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ 15% นาน 3 6 และ 7.5 ชั่วโมง มีค่าความสว่าง (L^*) ไม่แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P > 0.05$) เพื่อเป็นการประหยัดสารเคมีและเวลาในการฟอกสีจึงคัดเลือกความเข้มข้นของไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ 15% และระยะเวลาในการฟอกสี 3 ชั่วโมง เมื่อเปรียบเทียบกับวัตถุดิบชนิดอื่นที่นำมาสกัดเซลลูโลส



A

A เซลลูโลสที่ผลิตจากเปลือกกล้วย

B

B เซลลูโลสทางการค้า

รูปที่ 9.2.3 สีของเซลล์โลสที่ผลิตจากเปลือกกล้วยเปรียบเทียบกับทางการค้า

ตารางที่ 9.2.5 ค่าสีของเซลล์โลสของเปลือกกล้วยระยะที่ 7 ที่ผ่านการฟอกสีโดยใช้ไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์

ตัวอย่าง (ความเข้มข้น (%) / เวลา (h))	ค่าสี		
	L*	a* ^{ns}	b* ^{ns}
10%, 1.5 h	82.08±0.12 ^d	-1.75±1.11	15.17±0.08
10%, 3.0 h	83.44±0.21 ^c	-1.85±1.06	15.97±1.30
10%, 4.5 h	83.53±0.10 ^c	-1.89±1.04	15.87±1.15
10%, 6.0 h	83.51±0.17 ^c	-1.87±1.07	15.90±1.23
10%, 7.5 h	84.21±0.15 ^b	-1.96±1.06	15.94±1.18
15%, 1.5 h	83.68±0.10 ^c	-1.95±1.09	15.25±0.03
15%, 3.0 h	84.66±0.11 ^a	-1.91±1.13	16.10±1.18
15%, 4.5 h	84.37±0.24 ^b	-1.84±1.06	15.87±1.18
15%, 6.0 h	84.72±0.15 ^a	-1.90±1.11	15.94±1.16
15%, 7.5 h	84.65±0.07 ^a	-1.95±1.10	16.00±1.28
20%, 1.5 h	84.21±0.11 ^b	-1.87±1.05	15.34±0.08
20%, 3.0 h	84.77±0.10 ^a	-1.91±1.10	16.14±1.05
20%, 4.5 h	84.75±0.09 ^a	-1.89±1.06	16.18±0.88
20%, 6.0 h	84.73±0.11 ^a	-1.89±1.04	16.54±0.88
20%, 7.5 h	84.89±0.10 ^a	-1.96±1.08	16.57±0.74

ค่าเฉลี่ยที่มีตัวอักษร a-i กำกับที่แตกต่างกันในแนวตั้ง มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($P \leq 0.05$)

^{ns} ไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P > 0.05$)

จากการวิเคราะห์คุณสมบัติทางเคมี ของเซลล์โลสจากเปลือกกล้วย เปรียบเทียบกับเซลล์โลสทางการค้า (ตารางที่ 9.2.6) พบว่าเซลล์โลสที่ผลิตจากเปลือกกล้วยมีปริมาณความชื้น ไขมัน โปรตีน คาร์โบไฮเดรต เถ้า และค่า water activity มากกว่าอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P \leq 0.05$) ส่วนเยื่อใย และปริมาณเซลล์โลสของผลิตภัณฑ์เซลล์โลสจากการค้ามีค่ามากกว่าอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P \leq 0.05$) ดังนั้นเซลล์โลสที่ผลิตได้จากเปลือกกล้วยจึงควรกำจัดสารที่ไม่ต้องการออกไปอีก ทั้งนี้เพื่อให้ผลิตภัณฑ์ที่ได้มีความบริสุทธิ์มากขึ้น คุณสมบัติทางเคมีที่แตกต่างกันนี้เป็นผลเนื่องมาจากเซลล์โลสผงจากเปลือกกล้วยและเซลล์โลสผงทางการค้ามีลักษณะโครงสร้างที่ต่างกัน (รูปที่ 9.2.4 และ 9.2.5)

ตารางที่ 9.2.6 ผลการวิเคราะห์คุณสมบัติทางเคมีของเซลลูโลสจากเปลือกกล้วยเปรียบเทียบกับเซลลูโลสทางการค้า

สมบัติทางเคมี	เซลลูโลสทางการค้า	เซลลูโลสจากเปลือกกล้วย
ปริมาณความชื้น (%)	2.25±0.02 ^b	5.61±0.15 ^a
ปริมาณไขมัน (%)	0.66±0.06 ^b	2.57±0.10 ^a
ปริมาณโปรตีน (%)	0.26±0.06 ^b	1.65±0.01 ^a
ปริมาณคาร์โบไฮเดรต (%)	24.44±2.87 ^b	52.56±0.64 ^a
ปริมาณเถ้า (%)	0.03±0.01 ^b	4.04±0.14 ^a
ปริมาณเยื่อใย (%)	72.36±2.87 ^a	33.57±0.65 ^b
ปริมาณเซลลูโลส (%)	98.89±0.17 ^a	75.90±1.39 ^b
ค่า water activity	0.11±0.02 ^b	0.47±1.27 ^a

ตัวอักษร a และ b ที่แตกต่างกันในแนวนอน มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ $p \leq 0.05$

โดยวิธีของ Duncan

ผลการวิเคราะห์คุณสมบัติทางกายภาพของเซลลูโลสจากเปลือกกล้วย เปรียบเทียบกับเซลลูโลสทางการค้า (ตารางที่ 9.2.7) พบว่า เซลลูโลสทางการค้ามีสีขาวกว่า (ค่า L^* สูงกว่า) ความสามารถในการอุ้มน้ำของเซลลูโลสจากเปลือกกล้วยมีค่าสูงกว่าเซลลูโลสทางการค้า ความสามารถในการอุ้มน้ำมันของเซลลูโลสทางการค้ามีค่าสูงกว่าเซลลูโลสจากเปลือกกล้วย อย่างไรก็ตาม สีของผลิตภัณฑ์มีค่า L^* มากกว่า 80 ก็สามารถยอมรับได้ไม่ก่อให้เกิดปัญหาเมื่อนำไปใช้ในผลิตภัณฑ์อาหาร เช่นเดียวกับคุณสมบัติทางเคมี คุณสมบัติทางกายภาพที่แตกต่างกันนี้เป็นผลเนื่องมาจากเซลลูโลสผงจากเปลือกกล้วยและเซลลูโลสผงทางการค้ามีลักษณะโครงสร้างที่ต่างกัน (รูปที่ 9.2.4 และ 9.2.5)

ตารางที่ 9.2.7 ผลการวิเคราะห์คุณสมบัติทางกายภาพของเซลล์โลสจากเปลือกกล้วย
ระยะที่ 7 เปรียบเทียบกับเซลล์โลสทางการค้า

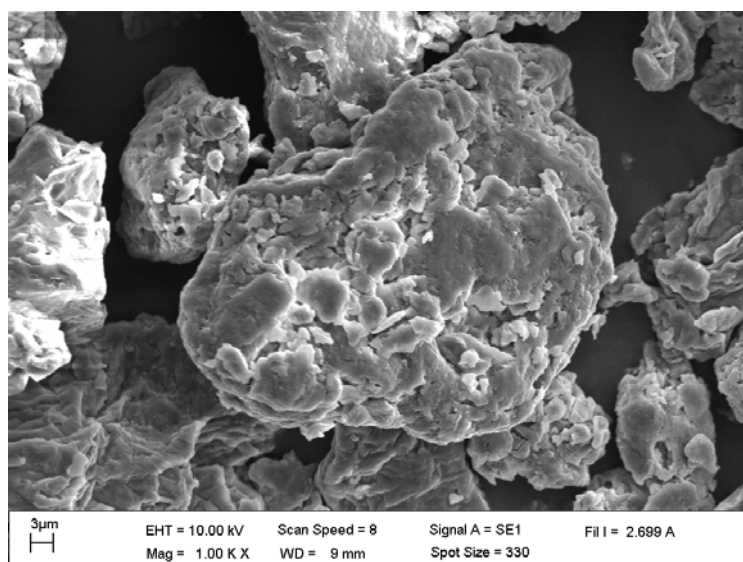
สมบัติทางกายภาพ	เซลล์โลสทางการค้า	เซลล์โลสจากเปลือกกล้วย
ค่าสี L*	98.61±0.05 ^a	84.66±0.11 ^b
ค่า pH	4.92±0.77 ^b	6.05±0.05 ^a
ความสามารถในการดูดน้ำ	1.93±0.82 ^b	2.91±0.15 ^a
ความสามารถในการดูดน้ำมัน	3.17±0.06 ^a	0.08±0.00 ^b

ตัวอักษร a และ b ที่แตกต่างกันในแนวนอน มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ $p \leq 0.05$

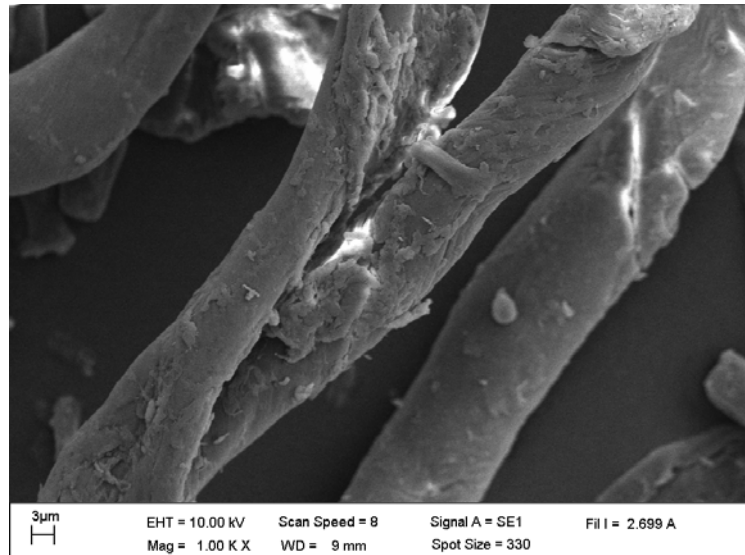
โดยวิธีของ Duncan

9.2.2.3 การศึกษาลักษณะโครงสร้างระดับจุลภาคของเซลล์โลสผงที่ผลิตได้ เปรียบเทียบกับเซลล์โลสที่ผลิตในทางการค้า

เมื่อนำเซลล์โลสผงจากเปลือกกล้วยและเซลล์โลสผงทางการค้าไปศึกษาลักษณะ
โครงสร้างระดับจุลภาคโดยใช้เครื่องจุลทรรศน์แบบส่องกราด (Scanning Electron Microscope)
ผลแสดงดังรูปที่ 9.2.4 และรูปที่ 9.2.5 ตามลำดับ



รูปที่ 9.2.4 โครงสร้างระดับจุลภาคของเซลล์โลสผงจากเปลือกกล้วยด้วยขนาด 100 เมช เทคนิค SEM
กำลังขยาย 1000 เท่า



รูปที่ 9.2.5 โครงสร้างระดับจุลภาคของเซลลูโลสผงทางการค้าขนาด 100 เมช ด้วยเทคนิค SEM
กำลังขยาย 1000 เท่า

จากรูปที่ 9.2.4 และ 9.2.5 จะเห็นได้ว่า เซลลูโลสผงจากเปลือกกล้วยนั้นมีโครงสร้างระดับจุลภาคที่แตกต่างไปจากเซลลูโลสผงที่จำหน่ายทางการค้า โดยเซลลูโลสผงจากเปลือกกล้วยนั้นมีโครงสร้างระดับจุลภาคมีลักษณะเป็นเกล็ดและมีขนาดแตกต่างกัน มีรูพรุนมาก ทำให้เป็นการเพิ่มโอกาสในการเกาะตัวกับสารอื่นๆ ได้ง่าย และอาจเป็นสาเหตุทำให้เซลลูโลสผงจากเปลือกกล้วยมีความบริสุทธิ์ต่ำกว่าเซลลูโลสผงทางการค้า (วิภาและคณะ, 2541) และมีความยาวของเส้นใยประมาณ 30-150 ไมครอน ซึ่งอยู่ในช่วงเดียวกับที่ Ang (1991) รายงานว่า เซลลูโลสผงที่ใช้ในอุตสาหกรรมอาหารจะมีความยาวเส้นใยในช่วง 22-290 ไมครอน ในขณะที่เซลลูโลสผงที่จำหน่ายทางการค้ามี โครงสร้างระดับจุลภาคเป็นแบบเส้น ผิวค่อนข้างเรียบ และมีความยาวเส้นใยประมาณ 200-300 ไมครอน อย่างไรก็ตามเมื่อเปรียบเทียบโครงสร้างทางจุลภาคของเซลลูโลสผงจากเปลือกกล้วยกับเซลลูโลสผงที่สกัดจากวัตถุดิบชนิดอื่นๆ เช่น แขนสับปะรด (Prakongpan et al., 2002) ฟางข้าว (มุกดาและคณะ, 2548) เยื่อไผ่ (อนงค์, 2546) และจากซังข้าวโพด (จุฑารัตน์, 2547) พบว่า เซลลูโลสผงจากซังข้าวโพดและจากแขนสับปะรดมีลักษณะโครงสร้างคล้ายคลึงกับเซลลูโลสผงจากเปลือกกล้วย ในขณะที่เซลลูโลสผงจากฟางข้าวและเยื่อไผ่นั้นมีลักษณะเป็นเส้นซึ่งแตกต่างจากเซลลูโลสผงจากเปลือกกล้วย ความแตกต่างนี้อาจเนื่องมาจากหลายปัจจัย เช่น วัตถุดิบที่ใช้ในการผลิต ส่วนของวัตถุดิบที่ใช้ในการผลิต กรรมวิธีในการผลิต และความบริสุทธิ์ของเซลลูโลส

9.2.2.4 ต้นทุนการผลิตเซลลูโลสจากเปลือกกล้วย

การคิดต้นทุนการผลิตเซลลูโลสจากเปลือกกล้วยน้ำว้า อ้างอิงจากกระทรวงอุตสาหกรรม ศูนย์วิจัยกสิกรรม ซึ่งแบ่งอัตราส่วนของการคำนวณต้นทุนเป็นดังนี้

ค่าวัตถุดิบ	68.6	ส่วน
ค่าแรง	5.6	ส่วน
ค่าใช้จ่ายสาธารณูปโภค	12.1	ส่วน
ค่าเสื่อมราคา	4.5	ส่วน
ค่าใช้จ่ายอื่นๆ	9.2	ส่วน

ตารางที่ 9.2.8 ค่าใช้จ่ายสารเคมีต่างๆ ที่ใช้ในกระบวนการผลิตเซลลูโลส

รายการ	ราคาต่อหน่วย	ปริมาณที่ใช้	จำนวนเงิน (บาท)
เปลือกกล้วยหั่นก่อนอบ	0.25 บาท/ 1 กิโลกรัม	1 กิโลกรัม	0.25
เอทานอล 90%	61.5 บาท / 1 ลิตร	1.05 ลิตร	64.58
โซเดียมไฮดรอกไซด์ 5%	50 บาท / 1 กิโลกรัม	64 กรัม	3.20
ไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ 15%	325 บาท / 1 ลิตร	0.64 ลิตร	280
รวมค่าใช้จ่าย			348.03

จากตารางที่ 9.2.8 เซลลูโลสจากเปลือกกล้วยที่ผ่านการฟอกสีปริมาณ 50 กรัม ใช้ต้นทุนในการผลิตเท่ากับ 348 บาท ดังนั้น ต้นทุนในการผลิตเซลลูโลสจากเปลือกกล้วยปริมาณ 1 กิโลกรัม ใช้ต้นทุนในการผลิตเท่ากับ 6,960 บาทเมื่อเปรียบเทียบกับเซลลูโลสทางการค้า ชนิด medium fibrous 1 กิโลกรัมราคา 16,600 บาท ซึ่งมีราคาแพงกว่า 2.4 เท่า

ตารางที่ 9.2.9 ค่าใช้จ่ายสารเคมีต่างๆ ที่ใช้ในกระบวนการผลิตเซลลูโลสที่ไม่ผ่านการฟอกสีจากเปลือกกล้วย

รายการ	ราคาต่อหน่วย	ปริมาณที่ใช้	จำนวนเงิน (บาท)
เปลือกกล้วยหั่นก่อนอบ	0.25 บาท / 1 กิโลกรัม	1 กิโลกรัม	0.25
เอทานอล 90%	61.5 บาท / 1 ลิตร	1.05 ลิตร	64.58
โซเดียมไฮดรอกไซด์ 5%	50 บาท / 1 กิโลกรัม	64 กรัม	3.20
รวมค่าใช้จ่าย			68.03

จากตารางที่ 9.2.9 เซลลูโลสจากเปลือกกล้วยที่ไม่ผ่านการฟอกสีปริมาณ 50 กรัม ใช้ต้นทุนในการผลิตเท่ากับ 68 บาท ดังนั้นต้นทุนในการผลิตเซลลูโลสจากเปลือกกล้วยปริมาณ 1 กิโลกรัม ใช้ต้นทุนในการผลิตเท่ากับ 1,360 บาท

**ตารางที่ 9.2.10 ต้นทุนการผลิตเซลลูโลสผ่านการฟอกสีจากเปลือกกล้วยน้ำว้า
โดยแบ่งต้นทุน เป็น 100 ส่วน**

รายละเอียด	อัตราส่วน	ราคา (บาท)
ค่าวัตถุดิบ(สารเคมี)	68.60	6,960
ค่าแรง	5.60	568.2
ค่าใช้จ่ายสาธารณูปโภค	12.10	1,227.6
ค่าเสื่อมราคา	4.50	456.6
ค่าใช้จ่ายอื่นๆ	9.20	933.4
รวม	100.0	10,145.8

**ตารางที่ 9.2.11 ต้นทุนการผลิตเซลลูโลสที่ไม่ผ่านการฟอกสีจากเปลือกกล้วยน้ำว้า
โดยแบ่งต้นทุน เป็น 100 ส่วน**

รายละเอียด	อัตราส่วน	ราคา (บาท)
ค่าวัตถุดิบ(สารเคมี)	68.60	1,360
ค่าแรง	5.60	111
ค่าใช้จ่ายสาธารณูปโภค	12.10	239.8
ค่าเสื่อมราคา	4.50	89.2
ค่าใช้จ่ายอื่นๆ	9.20	182.4
รวม	100.0	1,982.4

ต้นทุนการผลิตเซลลูโลสที่ผ่านการฟอกสีจากเปลือกกล้วยน้ำว้า ปริมาณเซลลูโลส 1 กิโลกรัม มีต้นทุนการผลิตโดยรวม 10,145.8 บาท (ตารางที่ 9.2.10) ต้นทุนการผลิตเซลลูโลสที่ไม่ผ่านการฟอกสีจากเปลือกกล้วยน้ำว้า ปริมาณเซลลูโลส 1 กิโลกรัม มีต้นทุนการผลิตโดยรวม 1,982.4 บาท (ตารางที่ 9.2.11) ต้นทุนการผลิตของเซลลูโลสทั้ง 2 ชนิดมีค่าแตกต่างกันอย่างชัดเจน เซลลูโลสที่ผ่านการฟอกสีผลิตภัณฑ์ที่ได้มีสีค่อนข้างขาวเหมาะสำหรับผลิตภัณฑ์ทั่วไป ส่วนเซลลูโลสที่ไม่ผ่านการฟอกสีผลิตภัณฑ์จะมีสีน้ำตาลเข้มอาจมีข้อจำกัดในการใช้เนื่องจากมีสีน้ำตาลเข้ม

9.2.2.5 การประยุกต์ใช้ประโยชน์ของเซลลูโลสผงในผลิตภัณฑ์ขนมเค้กเนยสด

ก. ศึกษาการทดแทนเซลลูโลสในขนมเค้กเนยสด

โดยใช้เซลลูโลสผงทดแทนแป้งสาลีในสูตร 3 ระดับ ได้แก่ 1.5%, 3.0% และ 4.5% (ของแป้งเค้ก) เปรียบเทียบกับชุดควบคุม (สูตรเค้กเนยสดไม่ใช้เซลลูโลส) และเค้กเนยสดที่ใช้เซลลูโลสผงในทางการค้า 3.0%

ข. วิเคราะห์คุณภาพของผลิตภัณฑ์

ก.) ทดสอบคุณภาพทางประสาทสัมผัส แบบ 9 – point Hedonic scale ทางด้าน สี กลิ่น รสชาติ ความนุ่ม ความชุ่มฉ่ำ และการยอมรับรวมของผลิตภัณฑ์ โดยใช้ผู้ทดสอบชิม 40 คน (ตารางที่ 9.2.12) พบว่าการเติมเซลลูโลสในเค้กเนยสดได้รับคะแนนการยอมรับมากกว่าชุดควบคุมในทุกๆ ด้านคือ สี กลิ่น รสชาติ ความนุ่ม และความชุ่มฉ่ำอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P \leq 0.05$) การเติมเซลลูโลสจากเปลือกกล้วยในเค้กเนยสดได้รับคะแนนทางด้าน กลิ่น ความนุ่มและความชุ่มฉ่ำมากกว่าเติมเซลลูโลสจากการค้า การเติมเซลลูโลสจากเปลือกกล้วยในเค้กเนยสดทั้ง 3 ระดับ คือ 1.5%, 3.0% และ 4.5 % ให้คะแนนการทดสอบคุณภาพทางประสาทสัมผัสทุกๆ ด้าน ไม่แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P > 0.05$)

รูปที่ 9.2.5 เปรียบเทียบเค้กเนยสดที่ผสมเซลลูโลสจากเปลือกกล้วย เซลลูโลสทางการค้า และชุดควบคุม พบว่า เค้กเนยสดที่ผสมเซลลูโลส 1.5% ให้ลักษณะเค้กที่มีลักษณะของฟองอากาศในเนื้อเค้กสม่ำเสมอกว่าสูตรอื่นๆ สอดคล้องกับการทดลองของ Ang and Miller (1989) พบว่าการเติมเซลลูโลสผงมากกว่า 4% ของส่วนผสมเหลว เซลลูโลสผงจะไปขัดขวางการเกิดฟองอากาศมากกว่าจะทำให้ฟองอากาศเสถียร ดังนั้นในการทดลองจึงคัดเลือกการผสมเซลลูโลส จากเปลือกกล้วยในระดับ 1.5% เป็นสูตรที่เหมาะสมในการผลิตเค้กเนยสด เมื่อเปรียบเทียบกับเซลลูโลสที่ผลิตจากซังข้าวโพดสามารถเติมเซลลูโลสได้ 3.0 % ของแป้งเค้กและความชอบรวมอยู่ในช่วง คะแนน 7 (จุฑารัตน์, 2547)



ชุดควบคุม



เซลลูโลสทางการค้า 3.0 %



เซลลูโลสจากเปลือกกล้วย 1.5 %



เซลลูโลสจากเปลือกกล้วย 3.0 %



เซลลูโลสจากเปลือกกล้วย 4.5 %

รูปที่ 9.2.5 เค้กเนยสดที่ผสมเซลลูโลสจากเปลือกกล้วย เซลลูโลสทางการค้าและชุดควบคุม

ตารางที่ 9.2.12 คะแนนการทดสอบการยอมรับทางประสาทสัมผัสของเค้กเนยสดสูตรต่างๆ

คุณภาพทาง ประสาทสัมผัส	สูตรเค้กเนยสด				
	สูตรควบคุม	สูตรเซลลูโลส ทางการค้า	สูตรเซลลูโลสจากเปลือกกล้วย		
	0%	3.0%	1.5%	3.0%	4.5%
สี	6.62±1.07 ^b	7.57±1.21 ^a	7.24±1.18 ^{ab}	7.19±0.98 ^{ab}	7.01±1.20 ^{ab}
กลิ่น	6.43±1.16 ^c	7.10±1.09 ^{bc}	7.29±1.06 ^{ab}	7.33±0.86 ^{ab}	7.43±0.93 ^{ab}
รสชาติ	6.57±1.16 ^b	7.38±1.07 ^{ab}	7.43±1.12 ^a	7.24±1.51 ^{ab}	7.10±1.18 ^{ab}
ความนุ่ม	6.24±0.77 ^c	6.81±0.98 ^{bc}	7.57±1.16 ^a	7.43±0.87 ^{ab}	7.33±1.15 ^{ab}
ความชุ่มฉ่ำ	6.33±0.97 ^{cd}	6.52±0.98 ^{bcd}	7.52±0.87 ^a	7.10±1.48 ^{ab}	7.14±1.20 ^{ab}

ตัวอักษร a, b, c และ d ที่แตกต่างกันในแนวนอน มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ $p \leq 0.05$

ข.) วิเคราะห์สมบัติทางกายภาพ ของเค้กเนยสดสูตรแทนที่แป้งเค้กด้วยเซลลูโลสจากเปลือกกล้วยและเซลลูโลสทางการค้า (ตารางที่ 9.2.13) พบว่าสูตรผสมเซลลูโลสทางการค้า มีค่าความหนืดสูงกว่า สูตรผสมเซลลูโลสจากเปลือกกล้วยและสูตรควบคุม ตามลำดับ เค้กสูตรผสมเซลลูโลสจากเปลือกกล้วย 1.5% มีค่าความแน่นเนื้อมากกว่าเซลลูโลสทางการค้า นอกจากนี้ยังพบว่า การผสมเซลลูโลสทั้ง 2 ชนิด มีผลให้ปริมาตรของเค้กเพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P \leq 0.05$)

ตารางที่ 9.2.13 สมบัติทางกายภาพของเค้กเนยสดผสมเซลลูโลสจากเปลือกกล้วยและเซลลูโลสทางการค้า

สมบัติทางกายภาพ	เค้กเนยสด		
	สูตรควบคุม	ผสมเซลลูโลสทางการค้า	ผสมเซลลูโลสจากเปลือกกล้วย
	0%	3.0%	1.5%
ความหนืดของส่วนผสมของเหลว (cps.)	36875 ± 1.15^c	47628 ± 1.41^a	38972 ± 1.21^d
ความแน่นเนื้อของเค้ก (kgf)	1.54 ± 1.16^b	1.36 ± 1.09^c	1.57 ± 1.06^{ab}
ปริมาตรเค้ก (cm ²)	2.38 ± 1.18^b	2.47 ± 1.19^a	2.42 ± 1.09^a

ตัวอักษร a, b, c และ d ที่แตกต่างกันในแนวนอน มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ $p \leq 0.05$

ค.) วิเคราะห์สมบัติทางเคมี ของเค้กเนยสดสูตรแทนที่แป้งเค้กด้วยเซลลูโลสจากเปลือกกล้วยและเซลลูโลสทางการค้า (ตารางที่ 9.2.14) พบว่าปริมาณ ไขมัน โปรตีน และคาร์โบไฮเดรตของเค้กชุดควบคุมผสมเซลลูโลสทางการค้า และผสมเซลลูโลสจากเปลือกกล้วย มีปริมาณไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P > 0.05$) ส่วนปริมาณเยื่อใยเค้กผสมเซลลูโลสทางการค้า และผสมเซลลูโลสจากเปลือกกล้วยมีปริมาณเยื่อใยมากกว่าเค้กชุดควบคุมอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P \leq 0.05$) เนื่องจากการเติมเซลลูโลส 1.5% และ 3.0 % ตามลำดับ

ตารางที่ 9.2.14 องค์ประกอบทางเคมีของเค้กเนยสดสูตรแทนที่แบ่งเค้กด้วยเซลลูโลสจากเปลือกกล้วย และเซลลูโลสทางการค้า

องค์ประกอบทางเคมี	สูตรเค้กเนยสด		
	ชุดควบคุม	ผสมเซลลูโลสทางการค้า	ผสมเซลลูโลสจากเปลือกกล้วย
	0%	3.0%	1.5%
ปริมาณความชื้น (%)	20.49±1.07 ^b	20.67±1.21 ^a	20.75±1.18 ^a
ปริมาณไขมัน (%)	18.54±1.29 ^a	18.79±1.18 ^a	17.85±1.21 ^{ab}
ปริมาณโปรตีน (%)	6.11±1.16 ^a	5.98±1.07 ^b	6.05±1.12 ^{ab}
ปริมาณคาร์โบไฮเดรต (%)	52.99±0.47 ^a	51.67±0.61 ^{ab}	52.77±0.54 ^a
ปริมาณเถ้า (%)	1.04±0.14 ^{ab}	1.35±0.17 ^a	0.97±0.09 ^b
ปริมาณเยื่อใย (%)	0.83±0.41 ^b	1.59±0.52 ^a	1.61±0.76 ^a

ตัวอักษร a และ b ที่แตกต่างกันในแนวนอน มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ $p \leq 0.05$

ตอนที่ 2 ผลการทดลองการสัทธิโยอาหารจากเปลือกกล้วยและการใช้ประโยชน์ในอาหาร

9.2.3 การสัทธิโยอาหารจากเปลือกกล้วยและการใช้ประโยชน์ในอาหาร

9.2.3.1 องค์ประกอบทางเคมีของเปลือกกล้วยน้ำว้าสุก

การวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมีของเปลือกกล้วยน้ำว้าสุกระยะที่ 7 (รูปที่ 9.2.2) ก่อนการนำไปผลิตเป็นโยอาหารจากเปลือกกล้วยน้ำว้าผลการทดลองดังตารางที่ 9.2.15 พบว่าเปลือกกล้วยน้ำว้าสุกมีน้ำเป็นองค์ประกอบหลัก 87% ซึ่งเป็นปริมาณที่สูงมาก ดังนั้นในกระบวนการผลิตโยอาหารผงจึงจำเป็นต้องมีการอบแห้งเพื่อลดความชื้นจนอยู่ในปริมาณที่เหมาะสม เพื่อไม่ให้เกิดการเปลี่ยนแปลงทางเคมี กายภาพ และจุลินทรีย์ ระหว่างการขนส่งและการเก็บรักษา อย่างไรก็ตามหากนำเปลือกกล้วยไปผลิตโยอาหารในระดับอุตสาหกรรมการกำจัดน้ำจะเป็นปัจจัยหนึ่งที่ต้องนำมาพิจารณา เนื่องจาก การกำจัดน้ำในปริมาณสูง จะต้องใช้ต้นทุนในการผลิตมาก

ตารางที่ 9.2.15 องค์ประกอบทางเคมีของเปลือกกล้วยน้ำว้าสุกระยะที่ 7

องค์ประกอบทางเคมี	เปอร์เซ็นต์ (น้ำหนักแห้ง)
คาร์โบไฮเดรต	14.18
ใยอาหารทั้งหมด	53.07
โปรตีน	7.51
ไขมัน	12.44
เถ้า	15.13

จากตารางที่ 9.2.15 จะเห็นได้ว่าเปลือกกล้วยน้ำว้าสุกระยะที่ 7 มีปริมาณใยอาหารสูงถึง 53% (น้ำหนักแห้ง) ซึ่งมีปริมาณใกล้เคียงกับรายงานของ (พัชรภรณ์, 2550) ที่พบว่ากล้วยน้ำว้าสุก 80% (สุกระยะที่ 6-7) มีปริมาณใยอาหาร 50.25% อย่างไรก็ตามจากผลการทดลอง ยังพบว่าองค์ประกอบทางเคมีอื่นๆ ได้แก่ โปรตีน ไขมัน และเถ้ามีปริมาณค่อนข้างสูง ซึ่งหากต้องการใยอาหารที่มีความบริสุทธิ์สูง จำเป็นต้องกำจัดองค์ประกอบต่างๆ เหล่านี้ออกไป

9.2.3.2 การสกัดใยอาหารจากเปลือกกล้วยน้ำว้า

การสกัดใยอาหารจากเปลือกกล้วยน้ำว้า มีกรรมวิธีการสกัดโดยทั่วไป 2 วิธี ได้แก่ การสกัดใยอาหารโดยใช้สารเคมี หรือการกำจัดองค์ประกอบอื่นๆ ในเปลือกกล้วยน้ำว้าที่ไม่ต้องการออกจนเหลือแต่ใยอาหารโดยใช้สารเคมี หรือเอนไซม์ เนื่องจากใยอาหาร (dietary fiber) ในที่นี้หมายถึงใยอาหารที่ทนต่อเอนไซม์ต่างๆ ในระบบทางเดินอาหาร และบางส่วนอาจถูกทำลายได้ด้วยกรด หรือด่าง ดังนั้น เพื่อเป็นการรักษาคุณสมบัติที่ดีของใยอาหาร งานวิจัยนี้จึงใช้การสกัดใยอาหารจากเปลือกกล้วยน้ำว้าโดยการกำจัดองค์ประกอบอื่นๆ ออกด้วยเอนไซม์

กระบวนการเตรียมกล้วยน้ำว้าเพื่อเข้าสู่กระบวนการสกัดดัดแปลงจากกระบวนการของพัชรภรณ์ (2550) โดยนำกล้วยน้ำว้ามาบดเปียกในเครื่องปั่นที่อุณหภูมิ 95 องศาเซลเซียส จากนั้นล้างแบบผ่านด้วยน้ำร้อนที่อุณหภูมิ 95 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 5 นาที เพื่อกำจัดองค์ประกอบทางเคมีที่ละลายน้ำได้ออกไป อย่างไรก็ตามในขั้นตอนนี้อาจสูญเสียใยอาหารบางส่วน ที่ละลายน้ำได้ เช่น เพคติน เป็นต้น จากนั้นเปลือกกล้วยน้ำว้าที่ผ่านการบดเปียกจะถูกนำไปอบแห้ง และกำจัดองค์ประกอบอื่นๆ ที่เหลือต่อไป

กระบวนการลดขนาดของเปลือกกล้วยน้ำว้าโดยการบดเปียกที่อุณหภูมิสูงจะทำให้โปรตีนบางส่วนเกิดการเสียสภาพและละลายออกมา น้ำตาลอิสระ รวมถึงแป้งบางส่วนจะถูกกำจัด และ

1) การกำจัดไขมันโดยใช้ตัวทำละลายอินทรีย์

การกำจัดไขมันในเปลือกกล้วยน้ำว้าอบแห้ง โดยใช้สารละลายเฮกเซนเป็นตัวทำละลาย ผลการทดลองดังตารางที่ 9.2.16 พบว่าผงเปลือกกล้วยน้ำว้าความชื้น 5.20% (น้ำหนักแห้ง) ที่ไม่ผ่านการสกัดด้วยเฮกเซนจะมีปริมาณไขมันสูง 12.44% เมื่อผ่านการสกัดครั้งที่ 1 ที่อุณหภูมิ 90 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 15 ชั่วโมง จะมีปริมาณไขมัน 2.1% (น้ำหนักแห้ง) และเมื่อผ่านการสกัดครั้งที่ 2 ปริมาณไขมันจะลดลงเหลือเพียง 0.74% (น้ำหนักแห้ง) ซึ่งเป็นปริมาณที่น้อยมาก ผู้วิจัยจึงเลือกการกำจัดไขมันด้วยตัวทำละลายเฮกเซน จำนวน 2 ครั้ง เป็นสภาวะที่เหมาะสม จากนั้นนำผงเปลือกกล้วยน้ำว้าที่ได้ (รูปที่ 9.2.6) ไปอบแห้งเพื่อกำจัดตัวทำละลายเฮกเซน



รูปที่ 9.2.6 เปลือกกล้วยน้ำว้าผงที่ผ่านการสกัดไขมัน

ตารางที่ 9.2.16 ปริมาณไขมันของเปลือกกล้วยน้ำว้าที่ผ่านการสกัด

ผงเปลือกกล้วยน้ำว้าที่ผ่านการกำจัดไขมัน	% ไขมัน (น้ำหนักแห้ง)
ไม่ผ่านการสกัดด้วยตัวทำละลายเฮกเซน	12.44 ^a
ครั้งที่ 1	2.14 ^b
ครั้งที่ 2	0.74 ^c

a-c ตัวอักษรกำกับที่แตกต่างกันในแนวดิ่ง หมายถึงมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ $p \leq 0.05$

2) การกำจัดแป้งและโปรตีนด้วยเอนไซม์

การกำจัดแป้งและโปรตีนออกจากผงเปลือกกล้วยน้ำว้าโดยใช้เอนไซม์ 2 ชนิด ได้แก่ เอนไซม์แอลฟา-อะไมเลส (α -amylase) และกลูโคอะไมเลส (glucoamylase) ความเข้มข้น 0.025% 0.05% และ 1% (น้ำหนัก/ปริมาตร) ตามลำดับ เพื่อกำจัดแป้ง และใช้เอนไซม์นิวเทรส (crude enzyme, nutrase) 5% และ 10% (น้ำหนัก/ปริมาตร) ตามลำดับ เพื่อกำจัดโปรตีน ผลการทดลองดังตารางที่ 9.2.17 และ 9.2.18 ผงเปลือกกล้วยน้ำว้าที่ผ่านการสกัดด้วยเอนไซม์มีสีน้ำตาลเข้มดังแสดงในรูปที่ 9.2.7



รูปที่ 9.2.7 ผงเปลือกกล้วยน้ำว้าที่ผ่านการสกัดด้วยเอนไซม์

ตารางที่ 9.2.17 ปริมาณแป้งของเปลือกกล้วยน้ำว้าที่ผ่านการสกัดด้วยเอนไซม์

ความเข้มข้นของเอนไซม์(%)	% แป้ง (น้ำหนักแห้ง)
ไม่ผ่านการสกัด	14.18 ^a
แอลฟา-อะไมเลส 0.025% + กลูโคอะไมเลส 0.025%	8.56 ^b
แอลฟา-อะไมเลส 0.05% + กลูโคอะไมเลส 0.05%	5.33 ^c
แอลฟา-อะไมเลส 1% + กลูโคอะไมเลส 1%	5.55 ^c

a-c ตัวอักษรกำกับที่ต่างกันในแนวนอน หมายถึงมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ $p \leq 0.05$

ตารางที่ 9.2.18 ปริมาณโปรตีนของเปลือกกล้วยน้ำว้าที่ผ่านการสกัดด้วยเอนไซม์

ความเข้มข้นของเอนไซม์(%)	% โปรตีน (น้ำหนักแห้ง)
ไม่ผ่านการสกัด	7.51 ^a
นิวเทรส 5%	6.15 ^a
นิวเทรส 10%	3.50 ^b

a-b ตัวอักษรกำกับที่ต่างกันในแนวนอน หมายถึงมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ $p \leq 0.05$

จากผลการทดลองดังแสดงในตารางที่ 9.2.17 พบว่า เปลือกกล้วยน้ำว้าผงที่ไม่ผ่านการสกัดด้วยเอนไซม์ มีปริมาณแป้ง (starch) เท่ากับ 14.18% ซึ่งเป็นปริมาณที่สูงมาก หากไม่กำจัด จะทำให้คุณสมบัติทางกายภาพของเส้นใยอาหารต่ำ ซึ่งได้แก่ ความสามารถในการพองตัว ความสามารถในการอุ้มน้ำ เป็นต้น และเมื่อนำผงเปลือกกล้วยน้ำว้าอบแห้งไปกำจัดแป้งด้วยเอนไซม์แอลฟา-อะไมเลส และกลูโคอะไมเลส 0.025% และ 0.05% ตามลำดับ พบว่า ปริมาณแป้งลดลงเท่ากับ 8.56% และ 5.33% ตามลำดับ ($p < 0.05$) อย่างไรก็ตาม เมื่อเพิ่มความเข้มข้นของเอนไซม์ทั้งสองชนิดเป็น 1% พบว่า ปริมาณแป้งในผงเปลือกกล้วยน้ำว้า (5.55%) ไม่แตกต่างจากผงเปลือกกล้วยน้ำว้าที่ใช้เอนไซม์ความเข้มข้น 0.025% และ 0.05% ($p \geq 0.05$)

จากที่กล่าวข้างต้น ปริมาณแป้งที่เป็นองค์ประกอบในใยอาหารจะมีคุณสมบัติช่วยในการพองตัว และการอุ้มน้ำของใยอาหารได้เป็นอย่างดี แต่ข้อเสียคือ เมื่อทิ้งไว้เป็นระยะเวลานาน จะเกิดการคายนํ้า ส่งผลให้ผลิตภัณฑ์อาหารเสริมใยอาหารนั้นๆ ไม่คงตัว เกิดการแยกตัวของนํ้าออกจากผลิตภัณฑ์ ซึ่งเป็นคุณสมบัติที่ไม่ดี ดังนั้นจากผลการทดลองข้างต้น จึงใช้เอนไซม์แอลฟา-อะไมเลส และกลูโคอะไมเลส 0.05% เพื่อกำจัดแป้งออกจากผงเปลือกกล้วยน้ำว้า

จากผลการทดลองดังแสดงในตารางที่ 9.2.18 พบว่า ผงเปลือกกล้วยน้ำว้าที่ผ่านการบดเปียกมีปริมาณโปรตีนสูงถึง 7.51% แต่เมื่อสกัดด้วยเอนไซม์นิวเทรสที่ความเข้มข้น 5% ปริมาณโปรตีนลดลงเหลือ 6.15% ซึ่งไม่แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติกับผงเปลือกกล้วยน้ำว้าที่ไม่ผ่านการสกัดด้วยเอนไซม์นิวเทรส ($p \geq 0.05$) อย่างไรก็ตาม เมื่อเพิ่มความเข้มข้นของเอนไซม์นิวเทรสเป็น 10% พบว่า ปริมาณโปรตีนลดลงอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ เท่ากับ 3.50% ($p < 0.05$) และเมื่อเพิ่มความเข้มข้นเอนไซม์นิวเทรส เป็น 12.5% และ 15% พบว่า ปริมาณโปรตีนของผงเปลือกกล้วยน้ำว้าไม่แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \geq 0.05$) กับสูตรที่สกัดด้วยความเข้มข้น 10% ทั้งนี้ ปริมาณเอนไซม์นิวเทรสที่ใช้ค่อนข้างสูง เนื่องจากเป็นชนิด crude enzyme ซึ่งมีราคาต่ำกว่าเอนไซม์บริสุทธิ์

ดังนั้น จากผลการทดลองจะเห็นได้ว่า สภาวะที่เหมาะสมในการสกัดใยอาหารจากเปลือกกล้วยน้ำว้าคือ การเตรียมตัวอย่างด้วยการบดเปียก และล้างด้วยอุณหภูมิ 95 องศาเซลเซียส จากนั้นกำจัดองค์ประกอบที่ไม่ต้องการ ได้แก่ การกำจัดไขมันโดยใช้ตัวทำละลายเฮกเซนที่อุณหภูมิ 90 องศาเซลเซียส จำนวน 2 ครั้ง กำจัดโปรตีนโดยใช้เอนไซม์แอลฟา-อะไมเลส และกลูโคอะไมเลส ความเข้มข้น 0.05% และกำจัดโปรตีนโดยเอนไซม์นิวเทรส ความเข้มข้น 10% จากนั้นนำไปอบแห้งที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส จนเหลือความชื้นไม่เกิน 5% ใยอาหารที่สกัดได้ เมื่อวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมีและลักษณะปรากฏของใยอาหารที่ได้ดังรูปที่ 3 ได้แก่ โปรตีน ไขมัน แป้ง และใยอาหาร ได้ผลดังแสดงในตารางที่ 9.2.19

ตารางที่ 9.2.19 องค์ประกอบทางเคมีของโยอาหารจากเปลือกกล้วยน้ำว้าที่สกัดได้

องค์ประกอบทางเคมี	เปอร์เซ็นต์ (น้ำหนักแห้ง)
แป้ง	5.33
โยอาหารทั้งหมด	90.43
โปรตีน	3.50
ไขมัน	0.74

9.2.3.3 คุณสมบัติทางกายภาพของโยอาหารจากเปลือกกล้วยน้ำว้า

ก. คุณสมบัติในการอุ้มน้ำ (water holding capacity)

คุณสมบัติในการอุ้มน้ำของโยอาหารจากเปลือกกล้วยน้ำว้า เป็นคุณสมบัติสำคัญของการนำไปเสริมในผลิตภัณฑ์อาหาร โยอาหารที่มีประสิทธิภาพในการอุ้มน้ำสูง หมายถึง โยอาหารนั้นมีความสามารถในการกักเก็บน้ำในโครงสร้างของโยอาหาร จับกับน้ำได้ดี ส่งผลให้ความหนืดของอาหารเพิ่มขึ้นได้ (Figuerola et al., 2005) งานวิจัยนี้โยอาหารจะถูกนำไปเสริมในสูตรโยเกิร์ต ซึ่งคุณสมบัติในการอุ้มน้ำจำเป็นในการป้องกันการแยกชั้นของโปรตีนเวย์ (whey separation) ดังนั้นการทดลองนี้จะวิเคราะห์คุณสมบัติในการอุ้มน้ำของผงเปลือกกล้วยน้ำว้าอบแห้ง เปรียบเทียบกับโยอาหารสกัดจากเปลือกกล้วยน้ำว้า (ตารางที่ 9.2.20)

ตารางที่ 9.2.20 ลักษณะทางกายภาพของเปลือกกล้วยอบแห้งและโยอาหารจากเปลือกกล้วยน้ำว้า

คุณลักษณะ	ผง เปลือกกล้วยอบแห้ง	โยอาหารจากเปลือกกล้วยน้ำว้า
การอุ้มน้ำ(WHC)	5.18 ^a ± 0.56	9.52 ^b ± 0.17
กรด-ด่าง (pH)	6.3 ^a ± 0.12	5.04 ^b ± 0.03
ปริมาณน้ำอิสระ(Aw)	0.35 ^a ± 0.02	0.31 ^a ± 0.03

a-b ตัวอักษรกำกับที่แตกต่างกันในแนวดิ่ง หมายถึงมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ $p \leq 0.05$

ความสามารถในการอุ้มน้ำของโยอาหารที่ผ่านการสกัดด้วยเอ็นไซม์มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$) เมื่อเปรียบเทียบกับผงเปลือกกล้วยน้ำว้าอบแห้ง โดยปัจจัยที่มีอิทธิพลต่อความสามารถในการอุ้มน้ำ ได้แก่ ชนิดและประเภทของโยอาหาร ความละเอียดของอนุภาค สภาพะของการสกัด สัดส่วนของโยอาหารที่ไม่ละลายน้ำต่อสัดส่วนที่ละลายน้ำได้ และปริมาณโยอาหารที่เป็นองค์ประกอบ (Figuerola et al., 2005) โดยจากผลการทดลองพบว่า โยอาหารที่ผ่านการสกัดด้วยเอ็นไซม์มีค่าความสามารถในการอุ้มน้ำสูงกว่าผงเปลือกกล้วยน้ำว้าที่ไม่ผ่าน

ข. ค่าความเป็นกรด-ด่าง

จากการทดลองพบว่าผงเปลือกกล้วยที่ผ่านการสกัดด้วยเอนไซม์ มีความเป็นกรดเล็กน้อย เนื่องจากการสกัดด้วยเอนไซม์กลูโคอะไมเลส (glucoamylase) ต้องปรับค่าความเป็นกรด - ด่าง (pH) ของโยอาหารให้เท่ากับ 4 - 4.5 ด้วยกรดไฮโดรคลอริก (HCl) เพื่อให้มีสภาวะที่เหมาะสมต่อการทำงานของเอนไซม์และขั้นตอนหลังจากนี้มีเพียงการล้างด้วยน้ำกลั่นเท่านั้น จึงทำให้โยอาหารจากเปลือกกล้วยน้ำวามีค่าความเป็นกรดมากขึ้น ดังตารางที่ 9.2.20 อย่างไรก็ตามในการผลิตโยเกิร์ตเสริมโยอาหารจากเปลือกกล้วยน้ำว้า ในขั้นตอนการผลิตโยเกิร์ตจะมีค่าความเป็นกรดเพิ่มขึ้นเนื่องจากการหมักโดยจุลินทรีย์ ดังนั้นการเติมโยอาหารจากเปลือกกล้วยน้ำว้าที่มีความเป็นกรดเล็กน้อย จึงไม่มีผลต่อค่าความเป็นกรดของผลิตภัณฑ์โยเกิร์ต

ค. ปริมาณน้ำอิสระ (A_w)

จากการทดลองพบว่าผงเปลือกกล้วยอบแห้งมีปริมาณน้ำอิสระ แตกต่างจากโยอาหารจากเปลือกกล้วยน้ำว้าอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) ดังตารางที่ 9.2.20 โยอาหารที่ผ่านการสกัดมีปริมาณน้ำอิสระต่ำกว่าผงเปลือกกล้วยอบแห้งเล็กน้อยโดยมีค่าเท่ากับ 0.35 และ 0.31 ตามลำดับ อย่างไรก็ตาม ทั้งผงเปลือกกล้วยน้ำว้าอบแห้ง และโยอาหารสกัดจากเปลือกกล้วยน้ำว้า มีปริมาณน้ำอิสระต่ำกว่า 0.6 ซึ่งอยู่ในระดับที่เชื้อจุลินทรีย์ไม่สามารถเจริญได้ (ไพศาล, 2545) ดังนั้นจึงสามารถเก็บรักษาได้ในระยะเวลานานโดยไม่เกิดการเสื่อมเสียจากจุลินทรีย์

ง. สี

การวัดค่าสีของผงเปลือกกล้วยและโยอาหารสกัดจากเปลือกกล้วยน้ำว้าพบว่า ผงเปลือกกล้วยอบแห้งที่เตรียมก่อนการสกัดมีสีน้ำตาลเข้มกว่าโยอาหารที่ผ่านการสกัดโดยใช้เอนไซม์ ผลการทดลองแสดงผลเป็นค่าตัวแปร L^* a^* และ b^* โดยค่า L^* เป็นค่าที่แสดงถึงความสว่างมีระดับตั้งแต่ 1 คือสีดำจนถึง 100 คือมีค่าความสว่างเท่ากับสีขาวบริสุทธิ์ ค่า a^* เป็นค่าที่แสดงระดับของสีเขียวจนถึงสีแดงมีระดับตั้งแต่ -60 ถึง +60 และค่า b^* เป็นค่าที่แสดงระดับของสีเหลืองจนถึงสีน้ำเงิน มีระดับตั้งแต่ -60 ถึง +60 ดังแสดงผลการทดลองในตารางที่ 9.2.21 ผงเปลือกกล้วยและโยอาหารจากเปลือกกล้วยน้ำว้าที่ผ่านการสกัดด้วยเอนไซม์ ดังแสดงในรูปที่ 9.2.8

ตารางที่ 9.2.21 ค่าสีของใยอาหารจากเปลือกกล้วยน้ำว้า

ตัวอย่าง	ค่าสี		
	L*	a*	b*
ใยอาหารจากเปลือกกล้วย	27.21 ^a ± 0.13	13.39 ^a ± 0.09	13.93 ^a ± 0.10
เปลือกกล้วยอบแห้ง	15.58 ^b ± 0.42	8.45 ^b ± 0.26	11.63 ^b ± 0.47

a-b ตัวอักษรกำกับที่แตกต่างกันในแนวดิ่ง หมายถึงมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ $p \leq 0.05$



ผงเปลือกกล้วยน้ำว้า



ใยอาหารสกัดจากเปลือกกล้วยน้ำว้า

รูปที่ 9.2.8 ผงเปลือกกล้วยและใยอาหารจากเปลือกกล้วยน้ำว้าที่ผ่านการสกัดโดยเอ็นไซม์

เปลือกกล้วยน้ำว้าเมื่อตั้งทิ้งไว้ที่อุณหภูมิห้องจะเกิดปฏิกิริยาสีน้ำตาล (browning reaction) ได้ง่าย และเมื่อนำไปบดเปียก อบแห้ง จะมีลักษณะที่มองเห็นด้วยตาเปล่าคือมีสีน้ำตาลเข้ม ดังรูปที่ 9.2.8 จากตารางที่ 9.2.21 เมื่อนำผงเปลือกกล้วยน้ำว้าอบแห้งและใยอาหารที่ผ่านการเตรียมโดยการล้างด้วยน้ำร้อน 95 องศาเซลเซียส และผ่านการสกัดด้วยเอ็นไซม์ไปวัดค่าสีโดยใช้เครื่องมือ (ดังภาคผนวก) พบว่ามีค่าความสว่าง L* แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) โดยผงใยอาหารที่สกัดจากเปลือกกล้วยน้ำว้ามีค่าความสว่างสูงกว่าผงเปลือกกล้วยน้ำว้าอบแห้ง ทั้งนี้เนื่องจากการใช้น้ำที่มีอุณหภูมิสูงในการสกัดใยอาหาร รวมถึงความเป็นกรด สามารถยับยั้งการทำงานของเอ็นไซม์ ซึ่งอยู่ในกลุ่มโพลีฟีนอลออกซิเดส (polyphenoloxidase) ที่มีอยู่ในเปลือกกล้วยน้ำว้า ซึ่งเป็นสาเหตุของการเกิดปฏิกิริยาสีน้ำตาลได้บางส่วน (พัชรภรณ์, 2550) จึงทำให้ผงเปลือกกล้วยน้ำว้าที่ไม่ผ่านการสกัดมีสีเข้มกว่าใยอาหารจากเปลือกกล้วยน้ำว้าที่ผ่านการสกัดโดยใช้เอ็นไซม์ ดังแสดงในรูปที่ 9.2.7

9.2.3.4 โยเกิร์ตเสริมใยอาหารจากเปลือกกล้วยน้ำว้า

ใยอาหารที่ได้จากข้อ 9.2.2.2 ได้ถูกนำมาทดลองเสริมในสูตรโยเกิร์ต โดยมีการแทนที่นมผงในปริมาณ 1% 3% และ 5% ตามลำดับ จากนั้นนำผลิตภัณฑ์โยเกิร์ตเสริมใยอาหารจากเปลือกกล้วยน้ำว้าไปทดสอบคุณสมบัติทางเคมีกายภาพ ได้ผลการทดลองดังนี้

ก. ความหนืด

จากการทดลองการผลิตโยเกิร์ตเสริมใยอาหารจากเปลือกกล้วยน้ำว้า โดยมีการแทนที่นมผงด้วยใยอาหารสกัดจากเปลือกกล้วยน้ำว้า จำนวน 3 สูตร ได้แก่ สูตรที่มีการแทนที่นมผงด้วยใยอาหารสกัดร้อยละ 1% 3 %และ 5% ตามลำดับ และสูตรควบคุมคือ สูตรที่ไม่มีการเสริมใยอาหาร (รูปที่ 9.2.8) นำโยเกิร์ตไปวัดค่าความหนืด พบว่า ค่าความหนืดของโยเกิร์ตที่มีการเสริมใยอาหาร 1% 3 %และ 5% มีค่าไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \geq 0.05$) โดยมีค่าความหนืดสูงกว่าโยเกิร์ตที่ไม่มีการเสริมใยอาหารจากเปลือกกล้วยน้ำว้าอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$) ซึ่งจะเห็นได้ว่าการเสริมใยอาหาร จะมีส่วนช่วยในเรื่องของความหนืดให้แก่ผลิตภัณฑ์ ทั้งนี้เนื่องจาก ใยอาหารมีส่วนช่วยในการอุ้มน้ำให้อยู่ในโครงสร้างโมเลกุลของโยเกิร์ต ส่งผลให้โยเกิร์ตมีความหนืด และความคงตัวสูง

ข. ค่าความเป็นกรด-ด่าง

จากการวัดค่าความเป็นกรด-ด่างของของโยเกิร์ตพบว่าค่าความเป็นกรด-ด่างมีความแตกต่างกันเพียงเล็กน้อย อย่างไม่มีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \geq 0.05$) โดยค่าความเป็นกรด-ด่างของโยเกิร์ตที่มีการแทนที่นมผงด้วยใยอาหารสกัดจากเปลือกกล้วย 1% 3% และ 5% มีค่าความเป็นกรด-ด่างเท่ากับ 3.95 3.96 และ 4.05 ตามลำดับ



รูปที่ 9.2.9 โยเกิร์ตเสริมสกัดใยอาหารจากเปลือกกล้วยน้ำว้า (จากซ้าย) โยเกิร์ตสูตรมาตรฐาน และโยเกิร์ตที่มีการแทนที่นมผงด้วยใยอาหารสกัดจากเปลือกกล้วยน้ำว้า 1% 3% และ 5% ตามลำดับ

ค. การแยกตัวของของเหลว

จากการวัดค่าการแยกตัวของของเหลว (syneresis) ระหว่างการเก็บรักษาโยเกิร์ต (ตาราง ที่ 9.2.22) พบว่าโยเกิร์ตที่มีการแทนที่นมผงด้วยใยอาหารจากเปลือกกล้วยน้ำว้า 1% มีการแยกตัวของของเหลวน้อยที่สุด คือ เท่ากับ 1.5 มิลลิลิตรต่อ 100 กรัมโยเกิร์ต ต่อ 2 ชั่วโมง เมื่อเพิ่มการแทนที่นมผงด้วยใยอาหารสกัดเป็น 3% และ 5% พบว่า การแยกตัวของของเหลว หลังการเก็บรักษาเป็นเวลา 14 วัน มีค่าเท่ากับ 8.33 และ 13.33 มิลลิลิตรต่อ 100 กรัมโยเกิร์ต ต่อ 2 ชั่วโมง ตามลำดับ

จากผลการทดลอง เมื่อเพิ่มปริมาณใยอาหารในสูตรโยเกิร์ตจะทำให้เกิดการแยกตัวของของเหลวในระหว่างการเก็บรักษามากขึ้น ทั้งนี้อาจเกิดเนื่องจากขนาดอนุภาคของผงใยอาหารค่อนข้างใหญ่ (120 เมช) อาจส่งผลให้เกิดการขัดขวางการดูดซึมน้ำของโครงสร้างโมเลกุลของโยเกิร์ต อย่างไรก็ตามโยเกิร์ตสูตรที่มีการแทนที่นมผงด้วยใยอาหารสกัด 1% มีค่าการแยกตัวของของเหลวไม่แตกต่างจากสูตรควบคุม

ตารางที่ 9.2.22 คุณภาพทางกายภาพของโยเกิร์ตที่มีการแทนที่นมผงด้วยใยอาหารจากเปลือกกล้วยน้ำว้า 1% 3% และ 5% หลังการเก็บรักษา 14 วัน

คุณลักษณะ	1 %	3%	5 %
ความหนืด(cP)	3541 ^a ± 1.00	3440 ^a ± 1.53	3400 ^a ± 5.77
กรด-ด่าง(pH)	3.95 ^a ± 0.00	3.96 ^a ± 0.00	4.05 ^a ± 0.01
การแยกตัวของของเหลว	1.50 ^a ± 0.15	8.50 ^b ± 1.15	13.50 ^c ± 0.50

a-c ตัวอักษรกำกับที่แตกต่างกันในแนวดิ่ง หมายถึงมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ $p \leq 0.05$

1% คือ แทนที่นมผงในสูตรโยเกิร์ตด้วยใยอาหารสกัดจากเปลือกกล้วย 1%

3% คือ แทนที่นมผงในสูตรโยเกิร์ตด้วยใยอาหารสกัดจากเปลือกกล้วย 3%

5% คือ แทนที่นมผงในสูตรโยเกิร์ตด้วยใยอาหารสกัดจากเปลือกกล้วย 5%

ตารางที่ 9.2.23 ค่าสีของโยเกิร์ตที่มีการแทนที่นมผงด้วยโยอาหารจากเปลือกกล้วยน้ำว้า 1% 3% และ 5% หลังการเก็บรักษา 14 วัน

ตัวอย่าง	ค่าสี		
	L *	a *	b *
1%	48.33 ^a ± 0.15	-7.93 ^a ± 0.35	11.04 ^a ± 0.74
3%	40.79 ^b ± 0.06	-5.25 ^b ± 0.12	8.44 ^b ± 0.40
5%	35.83 ^c ± 0.17	-4.90 ^c ± 0.16	7.89 ^c ± 0.80

a-c ตัวอักษรกำกับที่แตกต่างกันในแนวตั้ง หมายถึงมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ $p \leq 0.05$

1% คือ แทนที่นมผงในสูตรโยเกิร์ตด้วยโยอาหารสกัดจากเปลือกกล้วย 1%

3% คือ แทนที่นมผงในสูตรโยเกิร์ตด้วยโยอาหารสกัดจากเปลือกกล้วย 3%

5% คือ แทนที่นมผงในสูตรโยเกิร์ตด้วยโยอาหารสกัดจากเปลือกกล้วย 5%

จากตารางที่ 9.2.23 ค่าสีของโยเกิร์ตเสริมโยอาหารจากเปลือกกล้วยน้ำว้า พบว่าโยเกิร์ตที่มีการแทนที่นมผงด้วยโยอาหารสกัด 1% มีค่า L* หรือความสว่างสูงสุด รองลงมาคือสูตรที่มีการแทนที่ 3% และ 5% ตามลำดับ เนื่องจากโยอาหารจากเปลือกกล้วยมีสีน้ำตาลเข้ม และไม่ได้ผ่านการฟอกสี ดังนั้น โยเกิร์ตที่มีการเสริมโยอาหารในปริมาณสูง จึงมีสีเข้มกว่าสูตรที่ไม่การเสริมในปริมาณต่ำ ($p \leq 0.05$)

ง. การทดสอบคุณภาพทางประสาทสัมผัสของโยเกิร์ตเสริมโยอาหารจากกล้วยน้ำว้า

การทดสอบทางประสาทสัมผัสของโยเกิร์ตเสริมโยอาหารจากเปลือกกล้วยน้ำว้า ทั้งหมด 4 สูตร โดยในแต่ละสูตรมีการแทนที่นมผงด้วยโยอาหารจากเปลือกกล้วยน้ำว้าที่แตกต่างกัน 3 ระดับได้แก่ 1% 3% และ 5% ตามลำดับ จากนั้นทดสอบคุณภาพทางประสาทสัมผัสโดยใช้วิธีการทดสอบแบบ 9 - points hedonic scale ผู้ทดสอบจำนวน 50 คน (ตารางที่ 9.2.24)

ตารางที่ 9.2.24 ผลการวิเคราะห์คุณภาพทางประสาทสัมผัสของโยเกิร์ตเสริมใยอาหารจากเปลือกกล้วยน้ำว้า

คุณลักษณะ	สูตรควบคุม	1%	3%	5%
สี	8.30 ^a ± 0.70	7.76 ^b ± 0.87	7.42 ^c ± 0.70	6.74 ^d ± 1.00
กลิ่นรส	8.10 ^a ± 0.76	7.94 ^a ± 0.81	7.50 ^b ± 0.84	7.14 ^c ± 1.21
ความหวาน	7.86 ^a ± 0.72	7.76 ^a ± 0.71	7.50 ^a ± 0.73	7.04 ^b ± 1.24
เนื้อสัมผัส	8.40 ^a ± 0.57	7.10 ^b ± 0.95	6.04 ^c ± 1.15	5.46 ^d ± 1.09
ลักษณะปรากฏ	8.00 ^a ± 0.78	7.76 ^{ab} ± 0.65	7.48 ^b ± 0.67	7.02 ^c ± 0.95
ความชอบโดยรวม	8.08 ^a ± 0.60	7.74 ^b ± 0.75	7.50 ^b ± 0.86	7.10 ^c ± 0.93

a-d ตัวอักษรกำกับที่แตกต่างกันในแนวดิ่ง หมายถึงมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ $p \leq 0.05$

1% คือ แทนที่นมผงในสูตรโยเกิร์ตด้วยใยอาหารสกัดจากเปลือกกล้วย 1%

3% คือ แทนที่นมผงในสูตรโยเกิร์ตด้วยใยอาหารสกัดจากเปลือกกล้วย 3%

5% คือ แทนที่นมผงในสูตรโยเกิร์ตด้วยใยอาหารสกัดจากเปลือกกล้วย 5%

จากการทดสอบการยอมรับของผู้บริโภคต่อโยเกิร์ตทั้ง 4 สูตร พบว่าคะแนนคุณลักษณะด้านต่างๆ รวมทั้งความชอบโดยรวมของโยเกิร์ตทั้ง 4 สูตร มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) จากตารางแสดงให้เห็นว่าผู้บริโภคให้คะแนนความชอบโดยรวมสูตรควบคุมสูงที่สุด รองลงมาคือสูตรที่มีปริมาณใยอาหารร้อยละ 1% 3% และ 5% มีคะแนนโดยรวมเท่า 7.74 7.50 และ 7.10 ตามลำดับ แสดงว่าผู้บริโภคให้การยอมรับโยเกิร์ตเสริมใยอาหารจากเปลือกกล้วย 1% มากที่สุดเมื่อเปรียบเทียบกับสูตรที่มีการเติมใยอาหาร 3% และ 5% ทั้งนี้เนื่องจากลักษณะปรากฏของโยเกิร์ตที่มีการเสริมใยอาหารจากเปลือกกล้วยน้ำว้าจะมีสีเข้ม เนื้อสัมผัสไม่เรียบเนียนและมีกลิ่นกล้วยน้ำว้าเล็กน้อย อย่างไรก็ตาม ผู้บริโภคให้การยอมรับโดยรวมต่อผลิตภัณฑ์โยเกิร์ตเสริมใยอาหารจากเปลือกกล้วยน้ำว้า 1% 3% และ 5% ในระดับดี

9.2.3.5 ต้นทุนการผลิตโยอาหารจากเปลือกกล้วยน้ำว้า

ในการคิดต้นทุนการผลิตโยอาหารจากเปลือกกล้วยน้ำว้า อ้างอิงจากกระทรวงอุตสาหกรรม ศูนย์วิจัยกสิกรรม ซึ่งแบ่งอัตราส่วนของการคำนวณต้นทุนเป็นดังนี้

ค่าวัตถุดิบ	68.6	ส่วน
ค่าแรง	5.6	ส่วน
ค่าใช้จ่ายสาธารณูปโภค	12.1	ส่วน
ค่าเสื่อมราคา	4.5	ส่วน
ค่าใช้จ่ายอื่นๆ	9.2	ส่วน

การคำนวณต้นทุนค่าวัตถุดิบ

เปลือกกล้วยน้ำว้าดิบ	5 ก.ก. x 0.25 บาท	1.25 บาท
บดเปียก อบแห้ง	500 กรัม	
กำจัดไขมัน	2000 มล. 400 x 0.1 บาท	40 บาท
อบแห้ง	460 กรัม	
กำจัดแป้งและโปรตีน α -amylase	0.46 มล. x 0.30 บาท/ มล.	0.138 บาท
Nutrased	23 มล. X 3 บาท/ มล.	69 บาท
Glucosamylase	0.46 มล. x 0.30 บาท/มล.	0.138 บาท

อบแห้ง ได้เป็นโยอาหาร 225 กรัม

เปลือกกล้วยน้ำว้า 5 กิโลกรัม สามารถผลิตโยอาหารได้ 225 กรัม ต้นทุนผลิต 110.53 บาท

ต้นทุนค่าวัตถุดิบเท่ากับ $1.25 + 40 + 0.138 + 69 + 0.138 = 110.53$ บาท

สรุป

1. วัตถุดิบเปลือกกล้วยน้ำว้า 5 ก.ก. สามารถผลิตโยอาหารได้ 225 กรัม
2. ต้นทุนการผลิตโยอาหารจากเปลือกกล้วยน้ำว้า 1 ก.ก. เท่ากับ 491.25 บาท

หมายเหตุ

1. เนื่องจากเฮกเซนใช้จริงเพียงร้อยละ 20 ดังนั้นคิด $2000 \times 0.2 = 400$ มล.
2. เอ็นไซม์นิวเทรส เป็นชนิด crude enzyme

ตารางที่ 9.2.25 ต้นทุนการผลิตโยอาหารจากเปลือกกล้วยน้ำว้าโดยแบ่งต้นทุน
เป็น 100 ส่วน

รายละเอียด	อัตราส่วน	ราคา (บาท)
ค่าวัตถุดิบ	68.60	491.25
ค่าแรง	5.60	40.12
ค่าใช้จ่ายสาธารณูปโภค	12.10	86.65
ค่าเสื่อมราคา	4.50	32.22
ค่าใช้จ่ายอื่นๆ	9.20	65.88
รวม	100.0	716.12

จากการคำนวณต้นทุนการผลิตโยอาหารจากเปลือกกล้วยน้ำว้า พบว่า โยอาหาร 1 กิโลกรัมมีต้นทุนค่าวัตถุดิบ 491.25 บาท และต้นทุนการผลิตโดยรวม (อ้างอิงการคิดจากกระทรวงอุตสาหกรรม ศูนย์วิจัยกสิกรรม) 716.12 บาท

จากผลการทดลองพบว่าโยอาหารที่ได้มีความบริสุทธิ์สูง เนื่องจากใช้เอ็นไซม์ในการกำจัดองค์ประกอบที่ไม่ต้องการ ดังนั้น การนำไปใช้งานจึงควรผลิตเป็นอาหารเสริมชนิดไฟเบอร์สูง ที่มีราคาสูงกว่าการนำไปใช้ในอุตสาหกรรมอาหาร

เมื่อเปรียบเทียบกับงานวิจัยของพัชรภรณ์ วชิรศิริ (2550) พบว่ามีต้นทุนการผลิตต่ำกว่า ทั้งนี้เนื่องจากงานวิจัยนี้ใช้เอ็นไซม์นิวเทรลชนิด crude enzyme ที่มีราคาต่ำ แต่คุณภาพในการสกัดโปรตีนไม่แตกต่างจากเอ็นไซม์ที่ผ่านการสกัดให้บริสุทธิ์

สรุปผลการทดลอง

1. การผลิตเซลลูโลสจากเปลือกกล้วย ทำการสกัดโดยใช้สารเคมี 3 ชนิดได้แก่ เอทานอล โซเดียมไฮดรอกไซด์ และไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ ขั้นตอนและสภาวะที่เหมาะสมในการสกัดมีดังต่อไปนี้ นำเปลือกกล้วยระยะ 7 ที่เหลืองทั้งจากกระบวนการทำกล้วยตากมาหั่นขนาด 0.20×0.45 ซม. หลังจากนั้นนำไป อบแห้งที่อุณหภูมิ 80 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 10-12 ชั่วโมง นำเปลือกกล้วยแห้งที่ได้ไปทำการสกัดไขมันออก โดยใช้เอทานอลที่ความเข้มข้น 90% นาน 16 ชั่วโมง และล้างน้ำ 2 ครั้ง ทำการอบแห้งที่อุณหภูมิ 80 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 8-10 ชั่วโมง ทำการสกัดโปรตีนออกโดยใช้โซเดียมไฮดรอกไซด์ที่ pH 12.0 นาน 24 ชั่วโมง ปรับ pH ให้เป็นกลางด้วย กรดฟอสฟอริกให้ได้ pH 7 ทำการล้างน้ำ 2 ครั้ง แล้วทำการอบแห้งที่อุณหภูมิ 80 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 8-10 ชั่วโมง ทำการฟอกสีด้วยสารไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ที่ความเข้มข้น 15% ระยะเวลาในการฟอกสี 3 ชั่วโมง

≤

การประยุกต์ใช้ประโยชน์ของเซลล์โลสผงในผลิตภัณฑ์ขนมเค้กเนยสด โดยใช้เซลล์โลส 1.5% 3.0% และ 4.5% พบว่าการเติมเซลล์โลสในเค้กเนยสดได้รับคะแนนการยอมรับมากกว่าสูตรควบคุมในทุกๆ ด้านคือ สี กลิ่น รสชาติ ความนุ่ม และความชุ่มชื้นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) การเติมเซลล์โลสจากเปลือกกล้วยในเค้กเนยสดทั้ง 3 ระดับคือ 1.5% 3.0% และ 4.5 % ให้คะแนนการทดสอบคุณภาพทางประสาทสัมผัสทุกๆ ด้านไม่แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P > 0.05$) เค้กเนยสดที่ผสมเซลล์โลส 1.5% ให้ลักษณะเค้กที่มีลักษณะของฟองอากาศในเนื้อเค้กสม่ำเสมอว่าสูตรอื่นๆ การเติมเซลล์โลสที่เหมาะสมในการผลิตเค้กเนยสดคือ 1.5% ของแป้งเค้ก

2. การสกัดโยอาหารจากเปลือกกล้วยน้ำว้า

การสกัดโยอาหารจากเปลือกกล้วยน้ำว้าที่มีกรรมวิธีที่เหมาะสมคือ การบดเปียกและล้างน้ำอุณหภูมิ 95 องศาเซลเซียส กำจัดไขมันโดยใช้ตัวทำละลายเฮกเซน 2 ครั้ง ที่อุณหภูมิ 90 องศาเซลเซียส กำจัดแป้งโดยใช้เอนไซม์แอลฟา-อะมัยเลส (α -amylase) และเอนไซม์กลูโคสไมเลส ความเข้มข้น 0.05% กำจัดโปรตีนโดยใช้เอนไซม์นิวเทรส (nutrase) ความเข้มข้น 10% จากนั้น อบแห้งที่อุณหภูมิ 50 องศาเซลเซียส จนความชื้นเท่ากับ 3.56% ได้เป็น โยอาหารสกัดจากเปลือกกล้วยน้ำว้า เมื่อนำโยอาหารที่ได้ไปวิเคราะห์คุณภาพทางเคมี กายภาพ พบว่า มีค่าสี L^* a^* และ b^* เท่ากับ 15.58 8.45 และ 11.63 ตามลำดับ ค่าเปอร์เซ็นต์การอุ้มน้ำ (WHC) ค่าความเป็นกรด-ด่าง (pH) และ ปริมาณน้ำอิสระ (A_w) มีค่าเท่ากับ 9.52 5.04 และ 0.31 ตามลำดับ

นำโยอาหารที่ได้ไปเสริมในสูตรโยเกิร์ต โดยแทนที่นมผง 1% 3% และ 5% วิเคราะห์คุณสมบัติทางเคมีกายภาพของโยเกิร์ต หลังการเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 5 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 14 วัน พบว่า ค่าความหนืดเท่ากับ 3541 3440 และ 3400 ตามลำดับ ค่าความเป็นกรด-ด่าง (pH) เท่ากับ 3.95 3.96 และ 4.05 ตามลำดับ และค่าการแยกตัวของของเหลวมีค่าเท่ากับ 1.50 8.50 และ 13.50 ตามลำดับ การทดสอบการยอมรับของผู้บริโภคของผลิตภัณฑ์โยเกิร์ตเสริมโยอาหารจากเปลือกกล้วยน้ำว้า พบว่าผลิตภัณฑ์โยเกิร์ตเสริมโยอาหารจากเปลือกกล้วยน้ำว้า 1% ได้รับคะแนน

ข้อเสนอแนะ

1. ผลิตภัณฑ์เซลล์ูโลสที่ได้ยังมีสารที่ไม่ต้องการเจือปนอยู่ จึงควรมีการศึกษาถึงกรรมวิธีการกำจัดสารดังกล่าวออก เพื่อให้ผลิตภัณฑ์ที่มีความบริสุทธิ์มากขึ้น
2. ผลิตภัณฑ์ใยอาหารที่ได้มีสีน้ำตาลคล้ำ ซึ่งเป็นข้อจำกัดในการเลือกใช้กับผลิตภัณฑ์อาหาร จึงควรมีการศึกษาการฟอกสีของใยอาหารเพิ่มเติม รวมทั้งศึกษาผลของการฟอกสีต่อสมบัติของด้านต่างๆของใยอาหาร
3. ขนาดของอนุภาคของเซลล์ูโลสและใยอาหารอาจมีผลต่อคุณสมบัติด้านความสามารถในการอุ้มน้ำของใยอาหารจึงควรมีการศึกษาถึงผลของขนาดอนุภาคต่อคุณสมบัติของเซลล์ูโลสและใยอาหารเพื่อให้ได้ช่วงค่าขนาดของอนุภาคที่เหมาะสมในการใช้ประโยชน์ในผลิตภัณฑ์อาหาร
4. สำหรับงานวิจัยต่อไปควรทำการศึกษารสตกค้างที่หลงเหลืออยู่ในเซลล์ูโลสผงและใยอาหารผงจากเปลือกกล้วย อย่างไรก็ตามการสกัดใยอาหารสกัดด้วยเอ็นไซม์ในขั้นตอนการกำจัดแป้งและโปรตีนในขั้นตอนนี้ไม่มีสารตกค้าง ส่วนในขั้นตอนการกำจัดไขมันใช้ เฮกเซน ซึ่งเป็นสารที่มี boiling point 68.7 องศาเซลเซียส ในสภาวะการทดลองใช้อุณหภูมิ 90 องศาเซลเซียส ดังนั้นจึงไม่มีปัญหาสารตกค้างในใยอาหาร ส่วนการสกัดเซลล์ูโลส ใช้เอทานอล สารชนิดนี้มี boiling point 78.1 องศาเซลเซียส ซึ่งในขั้นตอนนี้ใช้สภาวะในการทำแห้ง 80 องศาเซลเซียส ทำให้เอทานอลระเหยไป การสกัดโปรตีนด้วยโซเดียมไฮดรอกไซด์ซึ่งเป็นด่าง ในขั้นตอนการสกัดทำให้สารละลายเป็นกลางด้วยกรดฟอสฟอริก การฟอกสีด้วยไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์จะระเหยไปในระหว่างการอบแห้ง

บรรณานุกรม

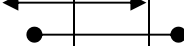
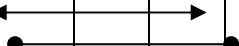
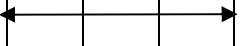
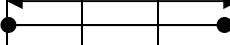
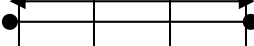
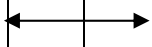
- เกศสุดา วงศ์มกลาไสยและรศวันต์ อัสวพลังกุล. 2544. ยาอัดเม็ดเสริมเส้นใยอาหารจากเปลือกส้มโอ. โครงการพิเศษ คณะเภสัชศาสตร์ มหาวิทยาลัยมหิดล, กรุงเทพฯ.
- จุฑารัตน์ พงษ์โนรี. 2547. การสกัดเซลลูโลสจากชั่งข้าวโพดและการประยุกต์ใช้ในอาหาร. วิทยานิพนธ์. มหาวิทยาลัยนเรศวร. พิษณุโลก.
- จุฬาลักษณ์ วงศ์สรรเสริญ จิตศิริ โสวัณณะกุล และบุญญาสิทธิ ดุลยศักดิ์. 2544. การใช้เซลลูโลสผงที่ผลิตได้จากเปลือกแก้วเหลืองและเปลือกแก้วเขียวเพื่อลดการอมน้ำมันในปาฟองโก. ปัญหาพิเศษ. จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย กรุงเทพฯ.
- ธิดา นิงสานนท์และอรรณพ เรืองสมบุญ. 2535. สารอาหารที่นิยมใช้เพื่อเสริมสุขภาพและต้านโรค. คณะเภสัชศาสตร์ มหาวิทยาลัยมหิดล, กรุงเทพฯ.
- ธีรนนท์ ประคองพันธ์. 2542. การสกัดและใช้ประโยชน์เส้นใยอาหารและเซลลูโลสจากแกนสับปะรด. วิทยานิพนธ์. วิทยาศาสตร์มหาบัณฑิต. มหาวิทยาลัยมหิดล.
- นิธิตา อรรณวนิช. 2544. ใยอาหารผงจากส้มและการประยุกต์. วิทยานิพนธ์วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, กรุงเทพฯ.
- นิธิตา รัตนานนท์. 2551. เคมีอาหาร. (พิมพ์ครั้งที่ 3) : โอ.เอส. พรีนติ้ง เฮาส์, กรุงเทพฯ.
- นิรนาม. 2550. เอกสารประกอบการฝึกอบรมเชิงปฏิบัติการ. เรื่องการถนอมอาหารโดยใช้จุลินทรีย์สำหรับครูและบุคคลทั่วไป. ฝ่ายพันธกิจสังคมและเทคโนโลยีชีวภาพ สวทช. เครือข่ายภาคเหนือ.
- เบญจมาศ ศิลาชัย. 2538. กล้วย. (พิมพ์ครั้งที่ 4) : ภาควิชาพืชสวน คณะเกษตรมหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, กรุงเทพฯ.
- ปทุม พุทธิวิช และพิมพ์ภรณ์ ไตรณรงค์สกุล. 2540. ใยอาหารสารที่ไม่มีคุณค่าแต่น่าสนใจ. วารสารกรมวิทยาศาสตร์บริการ 45(145), 26-32.
- ประภาศรี ภูงเสถียร. 2534. ใยอาหาร : ชนิด, คุณสมบัติของใยอาหารและแหล่งอาหาร, น.303-320. ในเอกสารการประชุมวิชาการโภชนาการ เรื่อง ก้าวไปกับโภชนาการเพื่อ

- ปรียา ลีพกุล. 2535. การรักษาโรคฉี่หนูด้วยโยอาหาร, (หน้า 16-17). ในรายงานการประชุม
วิชาการโภชนาการดี ซีวียังยืน, 25-26 มิถุนายน 2535. ห้องวิภาวดีบอลรูม โรงแรมเซ็นทรัล
พลาซ่า, กรุงเทพฯ.
- ปาริชาติ สักกะทำนุ. 2539. คุณค่าอาหารเส้นใยป้องกันบำบัดสรรพโรค. กรุงเทพฯ. รวมพรรณ.
- ปาริชาติ สักกะทำนุ. 2540. คุณค่าอาหารเส้นใยป้องกันบำบัดสารพัดโรค. รวมพรรณ,
กรุงเทพฯ.
- พัชรภรณ์ วิศิริ. 2550. การสกัดโยอาหารจากเปลือกกล้วยน้ำว้า. การศึกษาค้นคว้าอิสระ,
ปริญญาวิทยาศาสตร มหาบัณฑิต (คหกรรมศาสตร์) มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, กรุงเทพฯ
- ไพโรจน์ หลวงพิทักษ์ และเบญจวรรณ ธรรมธนาภิรักษ์. 2538. เส้นใยอาหารกับคุณภาพชีวิต.
วารสารเพื่อสุขภาพ 2(8): 63-68.
- ไพศาล วุฒิจำนง. 2545. เอกสารประกอบการฝึกอบรมหลักสูตร การประเมินอายุการเก็บ
ผลิตภัณฑ์อาหาร. ร่วมจัดโดยมหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, สถาบันอาหาร, ศูนย์พันธุ์
วิศวกรรมและเทคโนโลยีชีวภาพแห่งชาติ. หน้า 51-53, กรุงเทพฯ.
- ภาควิชาจุลชีววิทยา คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์. (2542). จุลชีววิทยา
ปฏิบัติการ. พิมพ์ครั้งที่ 3. บริษัทเจ้าพระยาระบบการพิมพ์ จำกัด. กรุงเทพฯ.
- มุกดา เจริญสินทรัพย์ กุลยา ลิ้มรุ่งเรืองรัตน์ พัลลภ มนเดชา และอาภัสรา แสงนาค. 2548. ผลของ
ขนาดอนุภาคต่อสมบัติเชิงหน้าที่ของเซลลูโลสผงจากฟางข้าว. สารสารมหาวิทยาลัย
ทักษิณ. 8(1): 48-59.
- มณฑาทิพย์ ยุ่นฉลาด. 2545. เรื่องกล้วย กล้วย . [online]. Available: [http:// www.ku.ac.th/e-
magazine/august 45/agri/banana.html](http://www.ku.ac.th/e-magazine/august%2045/agri/banana.html). [2552, ธันวาคม 21]
- วิภา สุโรจนะเมธกุล และคณะ. 2541. การใช้ดอกกระเจี๊ยบและเปลือกถั่วเหลืองเพื่อผลิตเซลลูโลสผง.
อาหาร. 28(47): 255-267.
- สตางค์ ภูมิสุทธาผล. 2543. ผลของการปรับตัวแห้งและการใช้สารเสริมต่อกระบวนการหมักและ
คุณค่าทางโภชนาของเปลือกและซังข้าวโพดหวานหมักในโคนม. วิทยานิพนธ์. วิทยา
ศาสตรมหาบัณฑิต. มหาวิทยาลัยเชียงใหม่.
- สมจิต สุรพัฒน์. 2549. ไอศกรีมและผลิตภัณฑ์. ภาควิชาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีการ
อาหาร คณะอุตสาหกรรมเกษตร มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, กรุงเทพฯ.
- สันทนา อมรไชย. 2537. โยอาหาร. วารสารกรมวิทยาศาสตร์บริการ 42(135): 27-33.
- สัมฤทธิ์ ไม้พวง สุรัตน์ บุญผ่อง เรืองภา ไม้พวง และวิจิตร อุดอ้าย. 2549. การผลิตถ่าน
กัมมันต์จากเปลือกกล้วยและก้านเครือกล้วย. รายงานวิจัย. มหาวิทยาลัยนเรศวร.

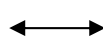
- สิทธิรินทร์ ก้อนในเมือง และปรางณี อานเป็รื่อง. 2003. เส้นใยอาหารจากหัวกระเทียม. วิทยาศาสตร์การอาหาร:33(4): 283-290.
- สุขภาพ. สถาบันวิจัยโภชนาการ และคณะแพทยศาสตร์ โรงพยาบาลรามาธิบดี มหาวิทยาลัยมหิดล, นครปฐม. (หน้า 303-320)
- สุรัตน์ โคมินทร์. 2534. ผลกระทบของใยอาหารและไฟเตตต์ต่อสุขภาพและภาวะโภชนาการ, (หน้า 339- 349). ในเอกสารการประชุมวิชาการโภชนาการ เรื่อง ก้าวไปกับโภชนาการเพื่อสุขภาพ, 13-15 ธันวาคม 2532. สถาบันวิจัยโภชนาการ และคณะแพทยศาสตร์ โรงพยาบาลรามาธิบดี มหาวิทยาลัยมหิดล, นครปฐม.
- อนงค์ วิสวรุ้งโรจน์. 2546. สารสกัดเซลลูโลสจากไม้เพื่อใช้เป็นสารช่วยตกโดยตรงในตำรับยาเม็ด. รายงานการวิจัย. มหาวิทยาลัยนเรศวร. พิษณุโลก.
- อรพิน ภูมิภมร. 2523. คาร์โบไฮเดรตในอาหาร : โพลีแซคคาไรด์. มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์. กรุงเทพฯ
- อาณัติ นิติธรรมยง. 2550. เส้นใยอาหารกับสุขภาพ. สถาบันวิจัยโภชนาการ มหาวิทยาลัยมหิดล, นครปฐม.
- Ang, J. F. 2001. Powered cellulose and the development of new generation healthier food. Cereal Foods World. 46 (3) 107-111.
- Ang, J. F. 1991. Water retention capacity and viscosity effect of powered cellulose. J. Food Sci. 56 (2) 1682-1684.
- AOAC. 1997. Official Methods of Analysis, 16th Edition, Volume II, Section 45.4.07, Method 985.29.
- AOAC. 2002. Official Methods of Analysis of AOAC International (18th ed.). Gaithersburg, MD, USA: AOAC International.
- Baghurst, P.A., Baghurst K.I., & Record, S.J. (1996). Dietary Fiber, non-starch polysaccharides and resistant starch-A. review. Supplement to Journal of Food Australia 48 (3): S3-S35.
- Bry, K. V. and Zabik, M. E. 1976. Microcrystalline cellulose replacements in cake and transit times and its role in the causation of disease. J. Am. Diet Assoc. 69 (2) 50-54.
- Deveries, L. J. and Reinhold, V. N. 1992. Controlling dietary fiber in fiber in food products. New York : Van Nostrand Reinhold.
- Eastwood, M. (1997). Principles of Human Nutrition. Chapman & Hall, London. 565p.

- Figuerola, F., Hurtado, M. L., Estevez, A. M., Chiffelle, I., and Asenjo, F. 2005. Fiber concentrates from apple pomace and citrus peel as potential fiber sources for food enrichment. *Food Chemistry* (91): 395-401
- Goksoyr, J. and Eriken, J. 1980. *Economic Microbiology*. New York: Academy Press.
- Larrauri, J. A., Ruperez, P., Borroto, B., & F. Saura-Calixto. (1996). Mango Peels as a New Tropical Fiber: Preparation and Characterization. *Lebensm Wiss University of Technology* 29 : 729-733.
- Larrauri, J. A.. 1999. New approaches in the preparation of high dietary fiber powders From fruit by – products. *Trends in Food Science & Technology* 10: 3-8
- Mark, H. F. 1985. *Encyclopedia of polymer science and engineering* (vol. 3) New York : John Wiley and sons.
- McConnell, A. A. Eastwood, M. A. and Mitchell, W. D. 1974. Physical characteristics of vegetable foodstuffs that could influence bowel function. *J. Food Agric.* 25 (4) 1457-1461.
- Norkrans, B. 1967. *Advances in Applied Microbiology*. New York : Academy Press.
- Pomeranz, Y. 1977. Fiber in bread making-effects on functional properties. *Cereal Chem.* 54 (1) 25-29.
- Prakongpan, T., Nittihamyong, A., & Luangpituksa, P. (2002). Extraction and Application of Dietary Fiber and Cellulose from Pineapple Cores. *Journal of Food Science* 67(4) : 1308- 1313
- Prosky, L. 1995. *Controlling Dietary Fiber in Food Product*. New York : Van Nostrand Reinhold.
- Prosky, L., & Devries, J.W. (1992). *Controlling Dietary Fiber in Food Products*. Van Nostrand Reinhold, New York. 161 p.
- Robinson, W. B. 1981. *Food Chemical Codex* (3rd ed) Washington DC : National Academy Press.
- Thomson, J. B. 1984. Process for preparing cellulose. Retrieved on June 1, 2002. From <http://www.unitedstatespatent.com>
- Vetter, J. L. 1984. Fiber as a food ingredient. *Food Technol.* 38 (1) 64-66.
- Wallis, A. F. A. 1971. *Solvolysis by acids and bases*. New York : John Wiley and sons.

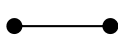
ตารางที่ 9.2.26 การเปรียบเทียบแผนการดำเนินการในแต่ละช่วงเวลาของการทำวิจัย

งานที่ต้องดำเนินการ	ระยะเวลาการดำเนินงาน (เดือนที่)											
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
ศึกษาองค์ประกอบทางเคมีของเปลือกกล้วย												
ศึกษาชนิด ความเข้มข้นของสาร และเวลาที่เหมาะสมในการสกัดเซลลูโลสและใยอาหาร												
การศึกษาลักษณะโครงสร้างระดับจุลภาคของเซลลูโลสผงและใยอาหารที่ผลิตได้เปรียบเทียบกับเซลลูโลสที่ผลิตในทางการค้า												
การประยุกต์ใช้ใยอาหารและเซลลูโลสผงในผลิตภัณฑ์อาหาร												
วิเคราะห์ข้อมูล												
จัดทำรายงานฉบับสมบูรณ์												
ถ่ายทอดเทคโนโลยีสู่กลุ่มเป้าหมาย												

หมายเหตุ



คือแผนงานที่กำหนด



คือแผนงานที่ทำได้จริง

จากตารางที่ 9.2.26 การเปรียบเทียบแผนการดำเนินการในแต่ละช่วงเวลาของการทำวิจัยในทุกหัวข้อของการดำเนินงานได้ทำตามแผนงานที่กำหนด ยกเว้นการถ่ายทอดเทคโนโลยี ทั้งนี้เนื่องจากอำเภอบางกระทุ่มและอำเภอบางระกำ จังหวัดพิษณุโลก ซึ่งเป็นประชากรกลุ่มเป้าหมายประสบปัญหาอุทกภัย ขณะนี้อยู่ระหว่างฟื้นฟู จึงทำให้โครงการไม่สามารถถ่ายทอดเทคโนโลยีได้ อย่างไรก็ตาม เมื่อประชากรกลุ่มเป้าหมายมีความพร้อม คณะผู้วิจัยก็จะดำเนินการถ่ายทอดเทคโนโลยีหลังจาก ฟื้นฟู น้ำท่วมและประชาชนมีความพร้อม

ภาคผนวก

1. การประเมินคุณภาพทางประสาทสัมผัส (Sensory Evaluation)

การประเมินทางประสาทสัมผัส (Sensory evaluation) นับว่ามีบทบาทสำคัญมากในงานทางด้านวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีทางอุตสาหกรรมเกษตร โดยเฉพาะในด้านอาหาร รวมทั้งมีความสำคัญต่องานด้านเทคโนโลยีการพัฒนาลิขสิทธิ์ด้วย ตลอดจนได้เข้าไปมีบทบาทในการควบคุมคุณภาพผลิตภัณฑ์ เพราะเป็นเครื่องมือที่แสดงออกโดยทางอ้อมได้ชัดเจน เช่นรสชาติ กลิ่น สี และลักษณะเนื้อสัมผัส เมื่อมีการบริโภคอาหาร ความรู้สึกที่ซับซ้อนที่เกิดเนื่องจากการทดสอบทางประสาทสัมผัสนี้จะทำการประเมินโดยใช้ผู้ทดสอบชิมจำนวนมากหรือจำนวนน้อยขึ้นอยู่กับวัตถุประสงค์ของการประเมินการทดสอบทางประสาทสัมผัส ครั้งแรกที่เกิดขึ้นเป็นแบบง่าย ๆ ที่ไม่ซับซ้อน ได้ถูกนำมาใช้โดยผู้วิจัยเพื่อปรับปรุงและพัฒนาผลิตภัณฑ์ใหม่ โดยผู้วิจัยได้ใช้เพื่อประเมินความรู้สึกในการหาความแตกต่างของผลิตภัณฑ์ที่กำลังพัฒนา การประเมินทางประสาทสัมผัสนี้อาจจะกระทำในลักษณะที่เป็นแบบแผนโดยใช้ผู้ทดสอบชิมที่ผ่านการฝึกฝนมาแล้วหรือบางที่อาจจะใช้ผู้ทดสอบชิมที่ไม่ผ่านการฝึกฝนมาแล้วก็ได้ เช่นการทดสอบผู้บริโภค เป็นต้น เมื่อมีการใช้ผู้ทดสอบชิมในการวัดคุณภาพของผลิตภัณฑ์ สิ่งที่สำคัญอย่างมากคือการที่ต้องควบคุมวิธีการทดสอบ และสภาพของผลิตภัณฑ์ที่จะทำการทดสอบ เพื่อลดความคลาดเคลื่อนที่อาจจะเกิดจากปัจจัยทางจิตวิทยา ความคลาดเคลื่อนไม่ได้มีความหมายเหมือนกับการผิดพลาด แต่จะหมายถึงอิทธิพลภายนอกทั้งหมดที่มีผลต่อการวัดคุณภาพ สภาพทางสรีระวิทยาและจิตใจของผู้ทดสอบชิมและอิทธิพลของสิ่งแวดล้อม ล้วนแต่มีผลต่อการประเมินทางประสาทสัมผัส ตัวอย่างเช่นผู้ทดสอบชิมบางคนชอบที่จะทดสอบผลิตภัณฑ์ ตอนเช้า บางคนอาจชอบตอนบ่าย เป็นต้น นอกจากนี้สภาพดินฟ้าอากาศก็มีอิทธิพลต่อผู้ทดสอบชิมเช่นกัน (เพ็ญขวัญ, 2550)

ผู้ทดสอบทางด้านประสาทสัมผัสอาจจะแบ่งได้ดังนี้ ผู้ทดสอบที่มีความชำนาญสูงในการทดสอบ (Highly trained experts) ผู้ทดสอบชิมในห้องปฏิบัติการ (Laboratory panels) และผู้ทดสอบเป็นผู้บริโภคกลุ่มเป้าหมาย (Large consumer panels) ในห้องปฏิบัติการที่ผ่านการฝึกฝนมาเป็นอย่างดี สามารถประเมินคุณภาพผลิตภัณฑ์ที่ทำการทดลองได้เป็นอย่างดี ตลอดจนสามารถบอก

ดังนั้นจะเห็นได้ว่าการประเมินทางประสาทสัมผัสมีประโยชน์อย่างมาก สำหรับการรักษาระดับคุณภาพ การปรับปรุงคุณภาพ การพัฒนาผลิตภัณฑ์ การควบคุมคุณภาพผลิตภัณฑ์และการ

2. การวิเคราะห์ข้อมูลเพื่อหาความชอบ

Hedonic scale scoring test (ทดสอบความชอบ)

มีการพัฒนาการทดสอบประเภทนี้มีมากมายหลายชนิด เพื่อที่จะพยายามให้ระดับของความชอบและไม่ชอบผลิตภัณฑ์ที่ทดสอบเกิดขึ้นอย่างมีประสิทธิภาพ ในสเกลความชอบอาจจะมี การใช้คำต่างๆ เช่น ดีเลิศ (Excellent) ดีมาก (Very good) ดี (Good) หรือ ไม่ดี (Poor) เป็นต้น อย่างไรก็ตาม สเกลความชอบที่นิยมใช้กันอย่างกว้างขวางในช่วง 10 ปีที่ผ่านมาคือ สเกลความชอบ 9 จุด (Nine-point hedonic scale) ซึ่งคำว่า Hedonic หมายถึง มีความพอใจในการกระทำ ผู้ทดสอบชิมจะสามารถให้ความพอใจของตนโดยการแสดงออกมาในรูประดับของความชอบและไม่ชอบผลิตภัณฑ์จากสเกลที่กำหนด ในการทดสอบความชอบโดยใช้ Hedonic scale scoring test นี้ จะทำการแปลระดับความรู้สึกของผู้ทดสอบเป็นตัวเลข เช่น ชอบมากที่สุด (Like extremely) มีคะแนนเป็น 9 และไม่ชอบมากที่สุด (Dislike extremely) มีคะแนนเป็น 1 ดังแสดงในตัวอย่างข้างล่างนี้

ชอบมากที่สุด (Like extremely) มีคะแนนเป็น 9

ชอบมาก (Like very much) มีคะแนนเป็น 8

ชอบปานกลาง (Like moderately) มีคะแนนเป็น 7

ชอบเล็กน้อย (Like slightly) มีคะแนนเป็น 6

เฉยๆ (Neither like nor dislike) มีคะแนนเป็น 5

ไม่ชอบเล็กน้อย (Dislike slightly) มีคะแนนเป็น 4

ไม่ชอบปานกลาง (Dislike moderately) มีคะแนนเป็น 3

ไม่ชอบมาก (Dislike very much) มีคะแนนเป็น 2

ไม่ชอบมากที่สุด (Dislike extremely) มีคะแนนเป็น 1

การประเมินความชอบของตัวอย่างโดยใช้สเกลความชอบอาจประเมินได้ดังนี้

- ประเมินความชอบโดยรวมซึ่งเป็นองค์รวมของลักษณะทั้งหมด ประกอบด้วย รูปร่าง สี กลิ่น และเนื้อสัมผัส
- ประเมินความชอบที่มีต่อลักษณะต่างๆ ของตัวอย่าง
- ในกรณีที่มี 2 ตัวอย่าง ให้เลือกตัวอย่างที่ชอบมากที่สุด และถ้ามีตั้งแต่ 3 ตัวอย่างขึ้นไปอาจ

ให้เรียงลำดับตามความชอบในตัวอย่างที่เหมาะสม ทั้งนี้จะประเมินอย่างไรต้องขึ้นกับ
วัตถุประสงค์ของการประเมินเป็นสำคัญ

การเสิร์ฟตัวอย่างให้ผู้ประเมิน

ทำการเสิร์ฟผลิตภัณฑ์ข้าวกล้องพองอัดแท่งเสริมธัญชาติสูตรที่1 ก่อน แล้วตามด้วยผลิตภัณฑ์
ข้าวกล้องพองอัดแท่งเสริมธัญชาติสูตรที่2 และสูตรที่ 3 เพื่อช่วยให้ผู้บริโภครู้สึกได้ทำการเปรียบเทียบและ
ทำการประเมินตัดสินให้คะแนนความชอบ

ขั้นตอนการให้คะแนนความชอบ

- โดยใช้ผู้ทดสอบที่ไม่ได้ผ่านการฝึกฝน จำนวน 50 คน
- ผู้ประเมินต้องรู้ว่าให้ใช้ความรู้สึกส่วนตัวในการตัดสินใจ
- ผู้ประเมินต้องการชิมตัวอย่างจากซ้ายไปขวาให้เสร็จแล้วให้คะแนนความชอบตามใบ
รายงานผลการประเมิน
- ในกรณีที่มีจำนวนตัวอย่างมากเนื่องจากการวางแผนการทดลอง เช่น 8 หรือ 9 ตัวอย่าง
หรือมากกว่า สามารถเลือกใช้แผนการทดลองแบบสุ่มในบล็อกไม่สมมาตรเพื่อ
ประยุกต์ใช้ในการวางแผนการประเมินและควรเลือกใช้แบบสมดุลเพื่อให้แน่ใจว่าทุก
ตัวอย่างมีโอกาสถูกทดสอบเท่าเทียมกันการรวบรวมและวิเคราะห์ผลการประเมิน
- รวบรวมและตรวจสอบใบรายงานผลการประเมินทั้งหมด
- ถอดรหัสใบรายงานผลโดยบันทึกคะแนนความชอบของผู้ประเมินแต่ละคนลงในใบ
รายงานผลรวม
- รวมคะแนนความชอบของแต่ละตัวอย่าง
- วิเคราะห์ผลทางสถิติ

การวิเคราะห์ผลการประเมินความชอบอาจทำได้โดยการหาค่าเฉลี่ยของคะแนนความชอบ
หากมีผลิตภัณฑ์ตั้งแต่ 2 ตัวอย่างขึ้นไป ก็สามารถนำข้อมูลไปวิเคราะห์ทางสถิติโดยการวิเคราะห์
ความแปรปรวนและทดสอบความแตกต่างของค่าเฉลี่ยด้วยวิธีการต่างๆ เช่น Duncan หรือ LSD หรือ
TUKEY เป็นต้น

จากการทดลองมีจำนวนตัวอย่างที่ใช้ในการทดสอบ 4 ตัวอย่าง คือ โยเกิร์ตที่มีการแทนที่
นมผงด้วยใยอาหารสกัดจากเปลือกกล้วย 0% (ชุดควบคุม) 1% 3% และ 5%

ใบรายงานผลการทดสอบความชอบทางด้านประสาทสัมผัส
โดย วิธี 9-Point Hedonic Scale

ลำดับที่.....

ชื่อผู้ทดสอบ.....วันที่.....

ผลิตภัณฑ์โยเกิร์ตเสริมใยอาหารจากเปลือกกล้วยน้ำว้า

คำชี้แจง กรุณาทดสอบตัวอย่างต่อไปนี้อย่างตั้งใจจากซ้ายไปขวา แล้วให้คะแนนที่ตรงกับความรู้สึกของท่าน

- | | | |
|------------------|-------------------------------|---------------------|
| 9 = ชอบมากที่สุด | 6 = ชอบเล็กน้อย | 3 = ไม่ชอบปานกลาง |
| 8 = ชอบมาก | 5 = บอกไม่ได้ว่าชอบหรือไม่ชอบ | 2 = ไม่ชอบมาก |
| 7 = ชอบปานกลาง | 4 = ไม่ชอบเล็กน้อย | 1 = ไม่ชอบมากที่สุด |

รหัส	.....	.....	.....	.....
สี	.....	.....	.....	.....
กลิ่น	.....	.....	.....	.....
ความหวาน	.....	.....	.....	.....
เนื้อสัมผัส	.....	.....	.....	.....
ลักษณะปรากฏ	.....	.....	.....	.....
ความชอบโดยรวม	.....	.....	.....	.....

ข้อเสนอแนะ

.....

.....