วิธีการสกัดที่เหมาะสมในการสกัดเส้นใยอาหารละลายน้ำจากหน่อไม้เศษเหลือ

ลลิตา ลามะพรม

วิทยานิพนธ์เสนอมหาวิทยาลัยพะเยา เพื่อเป็นส่วนหนึ่งของการศึกษา
หลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชาเทคโนโลยีชีวภาพ
พฤษภาคม 2565

วิธีการสกัดที่เหมาะสมในการสกัดเส้นใยอาหารละลายน้ำ จากหน่อไม้เศษเหลือ

ลลิตา ลามะพรม

วิทยานิพนธ์เสนอมหาวิทยาลัยพะเยา เพื่อเป็นส่วนหนึ่งของการศึกษา
หลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชาเทคโนโลยีชีวภาพ
พฤษภาคม 2565

OPTIMIZATION OF SOLUBLE DIETARY FIBER EXTRACTION FROM THE RESIDUAL BAMBOO SHOOTS

LALITA LAMAPHROM

A Thesis Submitted to University of Phayao

in Partial Fulfillment of the Requirements

for the Master of Science Degree in Biotechnology

May 2022

วิทยานิพนธ์

เรื่อง

วิธีการสกัดที่เหมาะสมในการสกัดเส้นใยอาหารละลายน้ำ

จากหน่อไม้เศษเหลือ

ของ ลลิตา ลามะพรม

ได้รับพิจารณาอนุมัติให้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษา

หลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาเทคโนโลยีชีวภาพ

ของมหาวิทยาลัยพะเยา

---------- ประธานกรรมการสอบวิทยานิพนธ์

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. หยาดรุ้ง สุวรรณรัตน์)

---------- ประธานที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์

(ดร. รวิสรา รื่นไวย์)

---------- กรรมการที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. สุภาพร ภัสสร)

---------- คณบดีคณะเกษตรศาสตร์และทรัพยากรธรรมชาติ

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. วิพรพรรณ์ เนื่องเม็ก)

เรื่อง: วิธีการสกัดที่เหมาะสมในการสกัดเส้นใยอาหารละลายน้ำ
จากหน่อไม้เศษเหลือ

ผู้วิจัย: ลลิตา ลามะพรม, วิทยานิพนธ์: วท.ม. (เทคโนโลยีชีวภาพ), มหาวิทยาลัยพะเยา, 2565

อาจารย์ที่ปรึกษา: ดร. รวิสรา รื่นไวย์ อาจารย์ที่ปรึกษาร่วม ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.สุภาพร ภัสสร

คำสำคัญ: เส้นใยอาหารละลายน้ำ, หน่อไม้, พรีไบโอติก, Lactobacillus plantarum, Bifidobacterium longum subsp. Longum

บทคัดย่อ

หน่อไม้เศษเหลือจากอุตสาหกรรมแปรรูปมีมากกว่าร้อยละ 50 ที่ไม่สามารถนำไปใช้ประโยชน์อย่างอื่นได้ แต่ยังมีเส้นใยอาหารเป็นองค์ประกอบที่มีคุณประโยชน์ต่อร่างกาย จึงเป็นที่น่าสนใจในการเพิ่มมูลค่าผลพลอยได้จากกระบวนการแปรรูปนี้ได้ งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาวิธีการที่เหมาะสมในการสกัดเส้นใยอาหารละลายน้ำจากหน่อไม้เศษเหลือ ผลผลิตของเส้นใยอาหารละลายน้ำสูงสุดเท่ากับ 6.67 กรัมต่อ 100 กรัมน้ำหนักสด คุณสมบัติเชิงหน้าที่ของเส้นใยอาหารละลายน้ำ ได้แก่ การละลายน้ำ (WS) การอุ้มน้ำ (WHC) และการอุ้มน้ำมัน (OBC) ค่าเฉลี่ยสูงสุดเท่ากับ 0.82, 22.45 และ 12.80 กรัมต่อกรัม ตามลำดับ โดยสกัดเส้นใยอาหารละลายน้ำด้วยเอนไซม์จากหน่อไม้เศษเหลือ 2 ลักษณะ คือ แบบชิ้น (ส่วนฐานของหน่อไม้) และแบบฝอย (ส่วนเนื้ออ่อนของหน่อไม้) ผลการศึกษาพบว่า ลักษณะทางสัณฐานวิทยาของเส้นใยอาหารละลายน้ำทั้งสองแบบที่สกัดด้วยเอนไซม์ที่ระยะเวลา 1 ชั่วโมง มีลักษณะเป็นรูพรุนขนาดเล็ก ในขณะที่เมื่อเพิ่มระยะเวลาการสกัดเป็น 2 และ 3 ชั่วโมง ลักษณะของเส้นใยอาหารเกาะกันเป็นกลุ่มก้อน มีลักษณะเป็นแท่งคล้ายคริสตัล ตามลำดับ ผลศึกษาคุณสมบัติการเป็นพรีไบโอติกของเส้นใยอาหารละลายน้ำจากหน่อไม้เศษเหลือแบบชิ้นและแบบฝอย พบว่า จุลินทรีย์ *L. plantarum* กลุ่มควบคุม (24 ชั่วโมง) มีปริมาณค่าเฉลี่ยเชื้อ 2.83×10^9 CFU/mL เทียบกับ *L. plantarum* เลี้ยงร่วมกับเส้นใยอาหารละลายน้ำแบบชิ้นหรือแบบฝอย พบว่า มีจำนวนโคโลนีของเชื้อจุลินทรีย์มากจนไม่สามารถนับได้ และจุลินทรีย์ *B. longum* กลุ่มควบคุม (48 ชั่วโมง) มีปริมาณค่าเฉลี่ยเชื้อ 4.40×10^8 CFU/mL เทียบกับ *B. longum* ที่เลี้ยงร่วมกับเส้นใยอาหารละลายน้ำแบบชิ้นที่ได้จาก Treatment 1512, Treatment 2411 และ Treatment 3411 มีปริมาณค่าเฉลี่ยเชื้อ 7.65×10^7 CFU/mL, 2.07×10^9 CFU/mL และ 2.48×10^8 CFU/mL ตามลำดับ ในขณะที่เมื่อเลี้ยงร่วมกับเส้นใยอาหารละลายน้ำแบบฝอย พบว่า มีจำนวนโคโลนีของเชื้อจุลินทรีย์มากจนไม่สามารถนับได้ แสดงให้เห็นว่า เส้นใยอาหารละลายน้ำที่ผลิตจากหน่อไม้เศษเหลือสามารถส่งเสริมการเจริญของเชื้อโพรไบโอติกได้ และมีศักยภาพในการนำไปใช้ในผลิตภัณฑ์อาหารเพื่อสุขภาพได้

Title: OPTIMIZATION OF SOLUBLE DIETARY FIBER EXTRACTION FROM THE RESIDUAL BAMBOO SHOOTS

Author: Lalita Lamaphrom, Thesis: M.Sc. (Biotechnology), University of Phayao, 2022

Advisor: Dr. Rawisara Ruenwai Co-advisor Assistant Professor Dr.Supaporn Passorn

Keywords: Soluble dietary fiber Bamboo shoot Prebiotic Lactobacillus plantarum Bifidobacterium longum subsp. Longum

ABSTRACT

More than 50% of Bamboo shoot residues leftover from the processing industries cannot be used for other benefits. The presence of dietary fiber in bamboo shoot waste is beneficial to the body. Therefore, it is interesting to increase the value of these by-products of the canning process. The aim of this research was to optimize the extraction method of soluble dietary fiber from the residual bamboo shoots. The maximum yield of soluble dietary fiber was 6.67 g of 100 g fresh weight. The highest values of the functional properties of soluble fiber including water solubility (WS), water holding capacity (WHC) and oil holding capacity (OBC) were 0.82, 22.45 and 12.80 g/g, respectively. Using enzyme-assisted extraction, soluble dietary fiber of two types of residual bamboo shoots including chunk bamboo shoots (bamboo shoot bases) and shredded bamboo shoots (bamboo shoot strips) were performed. The results showed that the morphology of soluble dietary fiber extracted from two types of residual bamboo shoots for 1 hour showed small pores while the appearance of fiber clumps like a crystal stick was detected when increase the extraction time for 2 and 3 hours, respectively. The prebiotic properties of soluble dietary fiber from chunk and shredded residual bamboo shoots were evaluated. It was found that the *Lactobacillus plantarum* TISTR 2075 in the control group (24 h) had a mean amount of 2.83×10^9 CFU/mL compared with *L. plantarum* mixed with chunk or shredded soluble fiber which found a higher extent of bacterial quantities. In the control (48 h), a mean amount of 4.40×10^8 CFU/mL of *Bifidobacterium longum subsp. Longum* TISTR 2195 was detected when compared to the conditions mixed with soluble dietary fiber from chunk bamboo shoot including Treatment 1512, Treatment 2411 and Treatment 3411 which had a mean amount of 7.65×10^7 CFU/mL, 2.07×10^9 CFU/mL, and 2.48×10^8 CFU/mL respectively, whereas which were fed with shredded soluble fiber were found too numerous to count. The results show that soluble dietary fiber obtained from residual bamboo shoots could promote the growth of probiotic strains and has the potential to be applied in healthy food products.

กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จลุล่วงด้วยดีโดยได้รับการสนับสนุนทุนอุดหนุนการทำวิทยานิพนธ์ ปีการศึกษา 2562 จากมหาวิทยาลัยพะเยา และทุนพัฒนาบัณฑิตศึกษาจากสำนักงานการวิจัยแห่งชาติ (วช.) ประจำปีงบประมาณ 2563

ขอขอบพระคุณอาจารย์ที่ปรึกษา ดร. รวิสรา รื่นไวย์ ที่ให้คำแนะนำ แนวทางแก้ปัญหาการถ่ายทอดความรู้ และการติดตามช่วยเหลือในการศึกษาค้นคว้าวิจัย ตลอดจนการเขียนการแก้ไข และตรวจทานความเรียบร้อยของวิทยานิพนธ์ให้สำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดี ขอขอบพระคุณคณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์ที่กรุณาแนะนำเอกสาร และให้คำแนะนำในการเขียนรูปเล่มพร้อมเสนอแนะข้อคิดเห็นสำคัญ ๆ แก่ผู้วิจัย

ขอขอบคุณบริษัท ฝาง อินเตอร์ฟูดส์ จำกัด ที่สนับสนุนวัตถุดิบในการวิจัย ขอขอบคุณคณะเกษตรศาสตร์และทรัพยากรธรรมชาติ ศูนย์บริการเครื่องมือวิทยาศาสตร์และตรวจสอบคุณภาพมาตรฐานผลิตภัณฑ์ มหาวิทยาลัยพะเยา ที่ให้ความอนุเคราะห์สถานที่และครุภัณฑ์ในการทำวิจัย บุคลากรคณะเกษตรศาสตร์และทรัพยากรธรรมชาติทุกท่านที่ได้ให้ความช่วยเหลือและอำนวยความสะดวกในด้านต่าง ๆ

สุดท้ายผลอันจะเป็นประโยชน์ ความดีความงามทั้งปวงที่เกิดขึ้นจากการศึกษาวิทยานิพนธ์นี้ขอมอบแด่คุณพ่อและคุณแม่ที่เคารพยิ่ง และหากมีข้อบกพร่องด้วยประการใด ๆ ผู้วิจัยขอน้อมรับไว้ด้วยความขอบคุณยิ่ง

ลลิตา ลามะพรม

สารบัญ

หน้า

สารบัญตาราง

หน้า

สารบัญภาพ

หน้า

บทที่ 1

บทนำ

ที่มาและความสำคัญของปัญหา

หน่อไม้ (Bamboo shoot) เป็นพืชเศรษฐกิจที่นิยมปลูกกันอย่างกว้างขวาง เนื่องจากเป็นพืชที่โตเร็ว สามารถเจริญเติบโตในสภาพดินทุกชนิดจึงสามารถพบได้โดยทั่วไป ในประเทศไทยมีหน่อไม้หลายสายพันธุ์ ส่วนมากให้ผลผลิตในช่วงฤดูฝนประมาณ 5-6 เดือน ตั้งแต่เดือนพฤษภาคม ถึงเดือน พฤศจิกายน สายพันธุ์ที่คนไทยนิยมนำมาบริโภคโดยนำไปประกอบอาหาร ได้แก่ หน่อไม้ไผ่บงหวาน หน่อไม้ไผ่รวก ซึ่งเป็นหน่อไม้ที่พบมากในประเทศไทย และมีรสชาติดี (นิรนาม, 2557) นอกจากความนิยมบริโภคหน่อไม้ภายในประเทศแล้วยังมีการส่งออกในต่างประเทศ ในรูปแบบต่าง ๆ เช่น หน่อไม้สด หน่อไม้ดอง หน่อไม้แห้ง หรือหน่อไม้แช่แข็ง ในปี พ.ศ. 2561 มีการส่งออกหน่อไม้แปรรูป รวมมูลค่ากว่า 416.50 ล้านบาท มีอัตราการขยายตัวสูงขึ้นจากปี พ.ศ. 2560 เป็นร้อยละ 3.29 โดยประเทศที่มีการส่งออกมากที่สุด ได้แก่ สหรัฐอเมริกา ญี่ปุ่น เกาหลีใต้ และออสเตรเลีย (ศูนย์เทคโนโลยีสารสนเทศและการสื่อสาร สำนักงานปลัดกระทรวงพานิชย์, 2561)

ในหน่อไม้นอกจากจะมีรสชาติที่ดีแล้วยังอุดมไปด้วยสารอาหาร เช่น โปรตีน คาร์โบไฮเดรต ไขมัน แร่ธาตุ กรดอะมิโน และยังมีปริมาณเส้นใยอาหารที่สูง ซึ่งเส้นใยอาหารเป็นคาร์โบไฮเดรตเชิงซ้อนที่อยู่ในผนังเซลล์ของพืชผักและผลไม้ในธรรมชาติ เป็นส่วนประกอบที่ร่างกายจะไม่สามารถย่อยสลายให้กลายเป็นพลังงานได้ มีรายงานเรื่องสุขภาพว่าเส้นใยอาหารสามารถลดความเสี่ยงการเกิดโรคหัวใจ เบาหวาน โรคอ้วน และมะเร็งบางชนิด (Mann and Cummings, 2009) เส้นใยอาหารสามารถจำแนกได้ 2 ชนิด ได้แก่ เส้นใยอาหารละลายน้ำและเส้นใยไม่ละลายน้ำ เส้นใยอาหารที่ไม่ละลายน้ำ (Insoluble dietary fiber; IDF) เช่น เซลลูโลส ลิกนิน และเฮมิเซลลูโลส มีรูพรุนและมีความสามารถในการพองตัว จึงเป็นตัวช่วยเพิ่มกากใยอาหาร และทำให้อิ่มเร็วขึ้น เส้นใยชนิดนี้ไม่สามารถย่อยได้ทั้งจากระบบย่อยอาหารหรือแบคทีเรียในลำไส้ใหญ่ จึงถูกกำจัดออกมาพร้อมกับอุจจาระในภายหลัง ในขณะที่เส้นใยอาหารที่ละลายน้ำได้ (Soluble dietary fiber; SDF) เช่น เพกติน กัม มีความสามารถในการเพิ่ม

ความหนืด ลดการตอบสนองของระดับน้ำตาลในเลือดและระดับคอเลสเตอรอล (Roehrig, 1988) ลักษณะของเส้นใยละลายน้ำร่างกายจะไม่สามารถย่อยสลายได้โดยตรง แต่จะย่อยสลายโดยแบคทีเรียที่อาศัยอยู่ในลำไส้ใหญ่หรือจุลินทรีย์กลุ่มโพรไบโอติก เช่น บิฟิโดแบคทีเรีย (Bifidobacteria) และแลคติคแอซิดแบคทีเรีย (Lactic Acid Bacteria) ซึ่งเส้นใยอาหารละลายน้ำจะทำหน้าที่เป็นอาหารของจุลินทรีย์กลุ่มโพรไบโอติก เรียกว่า พรีไบโอติก (Prebiotic) การรับประทานเส้นใยอาหารละลายน้ำจะทำให้เกิดกระบวนการหมักเกิดขึ้นของเส้นใยอาหารในลำไส้ใหญ่ แบคทีเรียในลำไส้ใหญ่จะช่วยย่อยให้ได้ออกมาเป็นกรดไขมันสายสั้น (Short Chain Fatty Acid) และถูกดูดซึมผ่านผนังลำไส้ใหญ่เข้าไปอยู่ในเยื่อบุเพื่อนำไปใช้เป็นพลังงาน ซึ่งมีคุณสมบัติช่วยลดค่า pH ในลำไส้ใหญ่ ลดกรดยูเรีย แอมโมเนีย และช่วยกระตุ้นการดูดซึมน้ำและโซเดียมกลับเข้าร่างกายในผู้ที่มีอาการท้องเสียอีกด้วย (Honest, 2561)

ในอุตสาหกรรมที่ส่งออกหน่อไม้แปรรูปมีการตัดแต่งหน่อไม้เพื่อแปรรูปผลิตภัณฑ์ส่งผลให้มีปริมาณเศษเหลือของชิ้นส่วนหน่อไม้จากการตัดแต่งมากถึงร้อยละ 50 จากปริมาณหน่อไม้ที่นำมาแปรรูปทั้งหมด ซึ่งส่วนใหญ่ไม่สามารถนำไปใช้ประโยชน์ได้ เศษเหลือจากหน่อไม้จึงเป็นผลพลอยได้จากกระบวนการแปรรูปที่สามารถสร้างมูลค่าเพิ่มให้กับเศษหน่อไม้ได้ และเมื่อเปรียบเทียบระหว่างเส้นใยอาหารไม่ละลายน้ำและเส้นใยอาหารละลายน้ำนั้นโดยทั่วไปเส้นใยอาหารที่ละลายน้ำให้เนื้อสัมผัสและรสชาติที่ดีกว่าเมื่อเปรียบเทียบกับเส้นใยอาหารที่ไม่ละลายน้ำ จึงง่ายต่อการใช้ในการแปรรูปอาหาร (Cheng, 2017) ดังนั้น งานวิจัยนี้ได้ทำการศึกษาวิธีการที่เหมาะสมในการสกัดเส้นใยอาหารที่ละลายน้ำจากหน่อไม้เศษเหลือ ผลการศึกษาวิจัยครั้งนี้จะเป็นแนวทางการพัฒนากระบวนการสกัดเส้นใยอาหารที่ละลายน้ำจากเศษเหลือทิ้งของหน่อไม้ เพื่อนำไปใช้เป็นส่วนผสมในผลิตภัณฑ์อาหารเสริมเส้นใยชนิดต่าง ๆ เพื่อประโยชน์ทางการค้าต่อไปในอนาคต

วัตถุประสงค์ของการวิจัย

1. เพื่อศึกษาหาวิธีการที่เหมาะสมสำหรับการสกัดเส้นใยอาหารที่ละลายน้ำด้วยวิธีการสกัดด้วยเอนไซม์จากหน่อไม้เศษเหลือแบบชิ้นและแบบฝอย
2. เพื่อศึกษาคุณสมบัติทางเคมี กายภาพ และคุณสมบัติเชิงหน้าที่ของเส้นใยอาหารละลายน้ำจากหน่อไม้เศษเหลือ
3. เพื่อศึกษาคุณสมบัติการเป็นพรีไบโอติกของเส้นใยอาหารละลายน้ำจากหน่อไม้เศษเหลือ

สมมติฐานของการวิจัย

1. เส้นใยอาหารที่ละลายน้ำจากหน่อไม้เศษเหลือที่ได้จากวิธีการสกัดด้วยเอนไซม์ในอัตราส่วนของเอนไซม์ ปริมาณสารละลาย และระยะเวลาการสกัดที่แตกต่างกันมีสมบัติทางเคมีกายภาพ และสมบัติเชิงหน้าที่ต่างกัน

2. ปริมาณ สมบัติทางเคมีกายภาพ และสมบัติเชิงหน้าที่ของเส้นใยอาหารที่สกัดจากหน่อไม้เศษเหลือแบบชิ้นกับแบบฝอยมีความแตกต่างกัน

ขอบเขตของการวิจัย

1. ศึกษาองค์ประกอบทางเคมี ได้แก่ ค่าสี แอคติวิตีของน้ำ เถ้า ความชื้น ไขมัน โปรตีน เส้นใยอาหารทั้งหมด เส้นใยอาหารที่ละลายน้ำ และเส้นใยอาหารที่ไม่ละลายน้ำจากหน่อไม้เศษเหลือ

2. ศึกษาวิธีการสกัดเส้นใยอาหารที่ละลายน้ำจากหน่อไม้เศษเหลือที่ได้จากวิธีการสกัดด้วยเอนไซม์ เพื่อศึกษาผลของ 3 ปัจจัย ได้แก่ อัตราส่วนของเอนไซม์ ปริมาณสารละลาย และระยะเวลาการสกัด วางแผนการทดลองแบบ Central composite design

3. วิเคราะห์สมบัติทางเคมี กายภาพ และสมบัติเชิงหน้าที่ของเส้นใยอาหารที่ละลายน้ำจากหน่อไม้เศษเหลือที่ได้จากการสกัดด้วยวิธีที่แตกต่างกัน ได้แก่ องค์ประกอบทางเคมี ลักษณะโครงสร้างของเส้นใยอาหารละลายน้ำ ความสามารถในการอุ้มน้ำ ความสามารถในการอุ้มน้ำมัน ความสามารถการละลายน้ำ และสมบัติการเป็นพรีไอโอติกของเส้นใยอาหารที่ละลายน้ำ

ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับจากการวิจัย

1. ทราบวิธีการสกัดด้วยเอนไซม์ที่เหมาะสมสำหรับเส้นใยอาหารที่ละลายน้ำที่ให้ปริมาณสูงจากหน่อไม้เศษเหลือ

2. ทราบคุณสมบัติทางเคมี กายภาพ คุณสมบัติเชิงหน้าที่ และคุณสมบัติการเป็นพรีไบโอติกจากหน่อไม้เศษเหลือ

3. เส้นใยอาหารละลายน้ำที่สกัดได้สามารถนำไปใช้ในผลิตภัณฑ์อาหารเสริมเส้นใยชนิดต่าง ๆ เพื่อเพิ่มมูลค่าของเศษหน่อไม้ให้สูงขึ้น

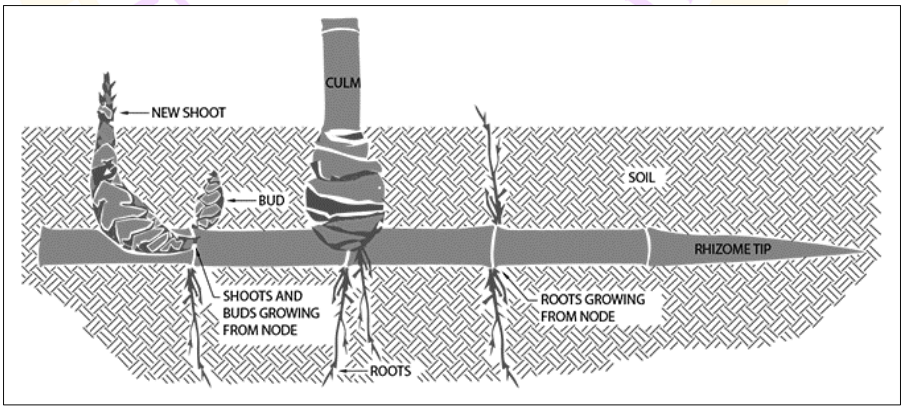
บทที่ 2

เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

หน่อไม้

ลักษณะทางพฤกษศาสตร์

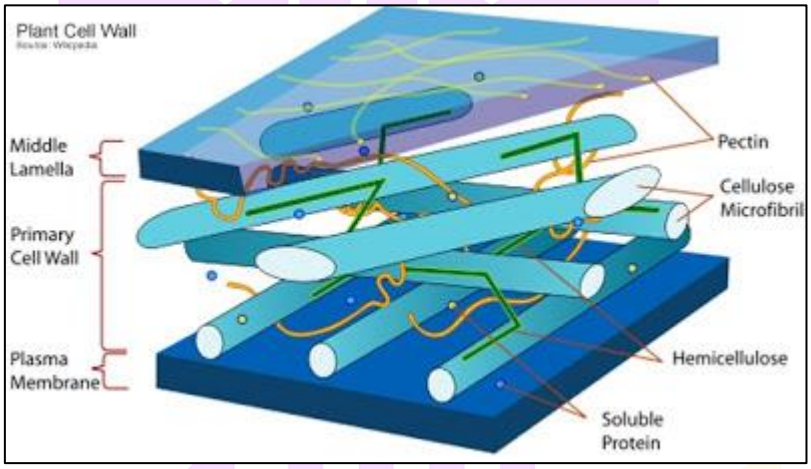
หน่อไม้จัดอยู่ในวงศ์เดียวกับหญ้า (วงศ์ Poaceae) จัดอยู่ในวงศ์ย่อย *Bambusoideae* เป็นพืชเศรษฐกิจที่นิยมปลูกกันอย่างกว้างขวาง เนื่องจากเป็นพืชที่โตเร็ว สามารถเจริญเติบโตในสภาพดินทุกชนิดจึงสามารถพบได้โดยทั่วไป มีลักษณะขึ้นเป็นกอ ลำต้นตั้งตรง ลำต้นมีข้อ (Node) และปล้อง (Internode) ที่มีลักษณะค่อนข้างหนา เจริญได้ดีในเขตร้อน มีความสูงถึง 40 เมตร มีลำต้นส่วนที่อยู่ใต้ดินเรียกว่า เหง้า (Rhizome) ซึ่งแตกแขนงออกไปตามแนวระดับ ลำต้นส่วนที่อยู่เหนือดินเป็นส่วนที่พัฒนามาจากส่วนตา (Buds) เมื่อเจริญเหนือดินมีอายุน้อยเรียกว่า หน่อ (Bamboo shoot) และจะเจริญเป็นลำไผ่ (Culm) ที่มีข้อและปล้องต่อไป (ภาพ 1) ในประเทศไทยมีหน่อไม้หลายสายพันธุ์ ส่วนมากให้ผลผลิตในช่วงฤดูฝนตั้งแต่เดือนพฤษภาคมถึงเดือน พฤศจิกายน สายพันธุ์ที่คนไทยนิยมนำมาบริโภคโดยนำไปประกอบอาหาร เช่น หน่อไม้ไผ่บงหวาน หน่อไม้ไผ่รวก เนื่องจากเป็นหน่อไม้ที่พบมากในประเทศไทยและมีรสชาติที่ดี (นิรนาม, 2557)



ภาพ 1 ลักษณะสัณฐานวิทยาของไผ่

ที่มา: Botanicals Bamboo, 2018

โดยทั่วไปหน่อไม้จะมีกาบหน่อสีน้ำตาลปนดำหุ้มอยู่หลายชั้น บนกาบหน่อมักจะมีขนละเอียด เมื่อลอกกาบออกจะเห็นหน่อสีขาว หรือนวลค่อนข้างขาว น้ำตาล น้ำตาลดำอมม่วง เขียวอมเหลือง ซึ่งสีของหน่อจะขึ้นอยู่กับพันธุ์ของไผ่ หน่อไม้ประกอบด้วยเซลล์เรียงตัวตามยาวเพียงอย่างเดียว เช่นเดียวกับลำไผ่ เซลล์เหล่านี้เกิดจากการเติบโตในขั้นตอนปฐมภูมิ เป็นผนังเซลล์ชั้นแรกที่เซลล์สร้างขึ้น ตั้งแต่ระยะที่กำลังเติบโตจนถึงโตเต็มที่ อยู่ด้านนอกสุดของเซลล์ประกอบด้วยเซลลูโลส เฮมิเซลลูโลส เพกติน เซลล์พืชที่มีเฉพาะผนังเซลล์ชั้นนี้ เช่น เซลล์พาเรนไคมา (ภาพ 2)



ภาพ 2 โครงสร้างผนังเซลล์ของพืช

ที่มา: Valerie Rondone, (2012)

คุณค่าทางโภชนาการของหน่อไม้

หน่อไม้นอกจากจะมีรสชาติที่ดีแล้วยังเป็นแหล่งที่อุดมไปด้วยคุณค่าทางสารอาหาร ได้แก่ โปรตีน คาร์โบไฮเดรต วิตามินและแร่ธาตุ (ตาราง 1) มีสารไฟโตสเตอรอล (Phytosterol) ที่เป็นสารพฤกษเคมีซึ่งจัดเป็นโภชนเภสัช หรือส่วนประกอบของอาหารที่มีสรรพคุณซึ่งเป็นประโยชน์ต่อสุขภาพ มีส่วนช่วยในการลดระดับของคอเลสเตอรอล ในหน่อไม้มีปริมาณไขมันต่ำ (2.46 กรัมต่อ 100 กรัมของน้ำหนักสด) เหมาะสำหรับคนที่ควบคุมน้ำหนักและมีส่วนช่วยในการลดความเสี่ยงการเกิดโรคอ้วนเรื้อรัง นอกจากนี้ยังมีปริมาณเส้นใยอาหารสูง (6–8 กรัมต่อ

100 กรัมของน้ำหนักสด) ที่มีส่วนช่วยในการลดระดับคอเรสเตอรอลในเลือด ปัจจุบันมีผู้บริโภคให้ความสนใจด้านสุขภาพมากขึ้น จึงนำเส้นใยอาหารเป็นส่วนผสมในอาหารเพื่อเพิ่มคุณค่าทางโภชนาการให้กับผลิตภัณฑ์ (Brufau et al., 2008; Chongtham et al., 2011)

ตาราง 1 คุณค่าทางโภชนาการของหน่อไม้ในแต่ละชนิด ต่อน้ำหนักสด 100 กรัม

ชนิดของหน่อไม้	โปรตีน (กรัม)	คาร์โบไฮเดรต (กรัม)	ไขมัน (กรัม)	เส้นใยอาหาร (กรัม)	วิตามินซี (มิลลิกรัม)	วิตามินอี (มิลลิกรัม)
B. bambos	3.57	5.42	0.50	3.54	1.90	0.61
B. kingiana	3.57	5.45	0.35	4.49	2.10	0.50
B. nutans	2.84	5.47	0.40	2.28	1.19	0.47
B. polymorpha	3.64	5.44	0.46	3.81	2.60	0.49
B. tulda	3.69	6.92	0.48	3.97	1.42	0.61
B. vulgaris	3.64	6.51	0.50	4.24	4.80	0.52
D. asper	3.59	4.90	0.40	3.54	3.20	0.91
D. brandisii	2.31	4.90	0.24	4.03	1.59	0.42
D. giganteus	3.11	5.10	0.39	2.65	3.28	0.69
D. hamiltonii	3.72	5.50	0.41	3.90	2.45	0.71
D. membranaceus	3.38	5.40	0.43	2.91	1.58	0.65
D. strictus	2.60	6.17	0.33	2.26	2.43	0.58
G. albociliata	3.05	4.59	0.51	4.15	1.00	0.60
G. rostrata	3.56	4.32	0.56	4.20	3.20	0.49

หมายเหตุ: B = *Bambusa*; D = *Dendrocalamus*; G = *Gigantochloa*

ที่มา: Chongtham et al., (2011)

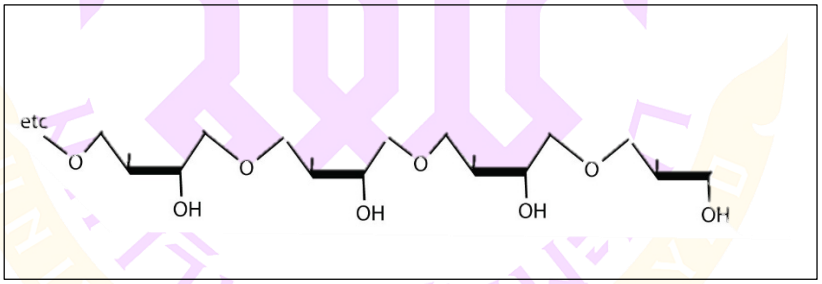
เส้นใยอาหาร

เส้นใยอาหาร (Dietary fiber) เป็นส่วนของผนังเซลล์พืชประกอบด้วยพอลิเมอร์ของคาร์โบไฮเดรตที่มีหน่วยโมโนเมอร์ 10 หน่วยขึ้นไป สารเหล่านี้สามารถทนต่อฤทธิ์ของน้ำย่อยในระบบทางเดินอาหารของมนุษย์ได้ (Trowell, 1976 และ Trowell, 1985) ประกอบด้วย เซลลูโลส เฮมิเซลลูโลส เพกติน โอลิโกแซคคาไรด์ มิวซิเลจ กัมและลิกนิน สามารถจำแนกเส้นใยอาหารออกได้ 3 กลุ่ม คือ 1) เส้นใยอาหารที่เป็นพอลิแซคคาไรด์และทำหน้าที่เป็น

องค์ประกอบของโครงสร้างผนังเซลล์พืช ได้แก่ เซลลูโลส เฮมิเซลลูโลส และสารเพกตินบางชนิด 2) เส้นใยอาหารที่ไม่ใช่พอลิแซคคาไรด์ มีหน้าที่เป็นองค์ประกอบของโครงสร้างผนังเซลล์พืช ได้แก่ ลิกนิน 3) เส้นใยอาหารที่เป็นพอลิแซคคาไรด์ แต่ไม่ได้ทำหน้าที่เป็นองค์ประกอบของโครงสร้างผนังเซลล์พืช ได้แก่ กัม อะมิวซิเลจ

1. เส้นใยไม่ละลายน้ำ (Insoluble dietary fiber) มี 3 ประเภท ได้แก่

1.1 เซลลูโลส (Cellulose) เป็นองค์ประกอบของผนังเซลล์ที่พบทั่วไปในพืชชั้นสูง ด้วยเหตุผลนี้จึงทำให้เซลลูโลสเป็นสารอินทรีย์ที่มีมากที่สุดในโลก โดยพบประมาณร้อยละ 20–50 ต่อน้ำหนักแห้งของอาหารที่มีเส้นใยอย่างผักและธัญพืชต่าง ๆ (Spiller and Amen, 1975) ปกติมักพบเซลลูโลสในรูปที่อยู่รวมกับเฮมิเซลลูโลส ลิกนินและเพกตินเป็นโครงสร้างที่ซับซ้อน เซลลูโลสเป็นพอลิแซกคาไรด์สายยาวที่มีน้ำหนักโมเลกุลสูง ประกอบด้วยหน่วยย่อยที่เป็นน้ำตาลกลูโคส (glucose) ที่เชื่อมต่อกันด้วยพันธะเบต้า 1,4 ไกลโคซิดิก (ภาพ 3) และมีระดับของการพอลิเมอร์ไรซ์ (degree of polymerization, DP) อยู่ในช่วง 300–15,000 หน่วย (Dreher et al.,1984; Theander, 1977; Donde and Miller, 1985) ทั้งนี้ความแตกต่างของระดับของการพอลิเมอร์ไรซ์จะขึ้นอยู่กับแหล่งของเซลลูโลสนั้น ๆ รวมไปถึงวิธีการแยกสกัด

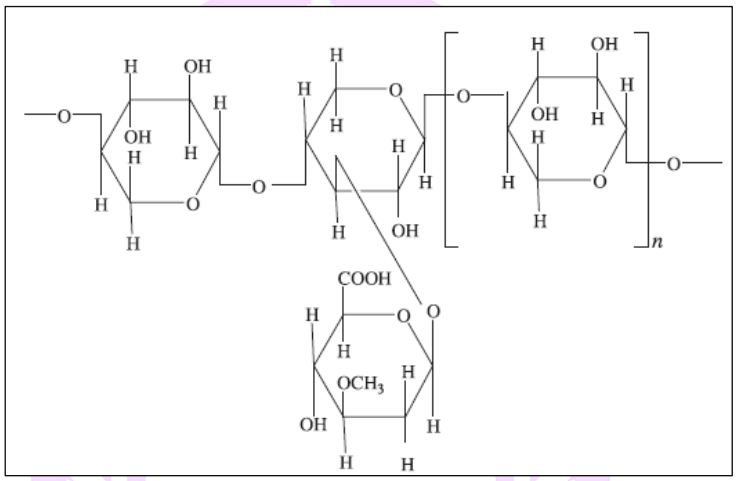


ภาพ 3 โครงสร้างทางเคมีของเซลลูโลส

ที่มา: Chemistry libretexts, (2019)

1.2 เฮมิเซลลูโลส (Hemicellulose) เป็นพอลิแซคคาไรด์ที่มีน้ำตาลหลายชนิดเป็นองค์ประกอบ โครงสร้างของเฮมิเซลลูโลสประกอบด้วยสายโซ่หลักแบ่งอย่างกว้าง ๆ ได้ 3 แบบ ได้แก่ ไซแลน (xylan) กลูโคแมนแนน (glucomannans) และกาแลกแตน (galactans) และสายโซ่กิ่งเป็น กาแลกโตส (galactose) อะราบิโนส (arabinose) และกรดยูโรนิก (uronic acid) ซึ่งมักถูกเติมหมู่เมทิล (Kimura, 1977; Theander, 1977; Theander and Amen, 1979)

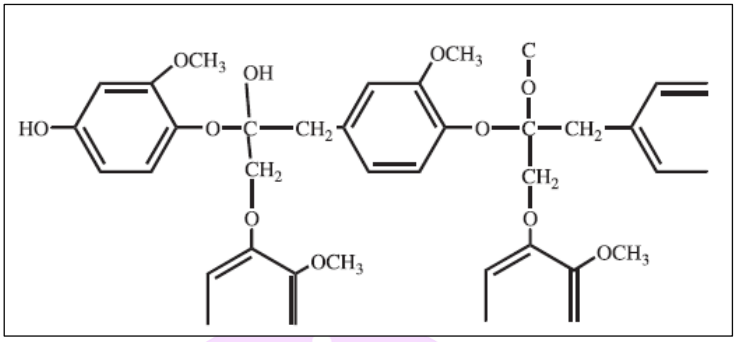
ปัจจุบันเป็นที่แน่ชัดแล้วว่า เฮมิเซลลูโลสไม่มีความสัมพันธ์กับเซลลูโลส ทั้งในกระบวนการสังเคราะห์ และในด้านโครงสร้าง ยกเว้นพันธะที่ใช้เชื่อมระหว่างหน่วยน้ำตาลที่เหมือนกัน คือ เบต้า 1,4 ไกลซิดิก (Cumming, 1976; Theander and Amen, 1979) โดยเฮมิเซลลูโลสจะมีระดับของการพอลิเมอร์ไรซ์ (50–200 หน่วย) ต่ำกว่าเซลลูโลส (ภาพ 4)



ภาพ 4 โครงสร้างทางเคมีของเฮมิเซลลูโลส

ที่มา: Alam and Maniruzzaman, (2014)

1.3 ลิกนิน (Lignins) เป็นวัตถุดิบธรรมชาติที่มีมากเป็นอันดับสองรองจากเซลลูโลส (Gosselink et al., 2004) และเป็นอะโรมาติกพอลิเมอร์ที่พบมากที่สุดในธรรมชาติ (Lora and Glasser, 2002) ลิกนินจะถูกสร้างเมื่อพืชมีอายุมาก ดังนั้นจึงมักพบลิกนินในพืชที่ค่อนข้างแก่หรือผลไม้สุก โดยจะพบอยู่ในเซลล์ที่มีหน้าที่พิเศษ เช่น เป็นส่วนที่เสริมความแข็งแรง (mechanical support) การเป็นสื่อนำของตัวถูกละลาย (conduction of solutes) และช่วยต่อต้านการย่อยของจุลินทรีย์ (Theander and Amen, 1979; Selvendran, 1984) พืชในธรรมชาติจะพบลิกนินเป็นองค์ประกอบในสัดส่วนที่แตกต่างกันผนังเซลล์ของไม้อาจมีปริมาณลิกนินร้อยละ 50 ของน้ำหนักสด ในขณะที่กะหล่ำปลีมีเพียงร้อยละ 6 ของน้ำหนักสด (Kimura, 1977) ลิกนินที่พบจะอยู่ในรูปของลิกโนเซลลูโลส (lignocellulose) (ภาพ 5)



ภาพ 5 โครงสร้างทางเคมีของลิกนิน

ที่มา: Alam and Maniruzzaman, (2014)

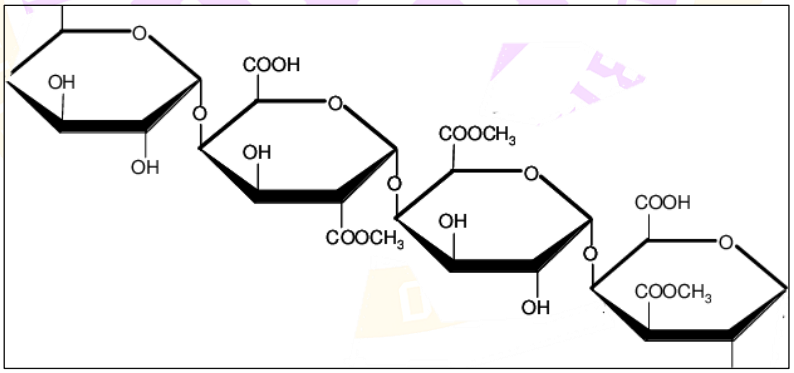
2. เส้นใยละลายน้ำ (Soluble Dietary fibers) มี 3 ประเภท ได้แก่

2.1 เพกติน (Pectin) เป็นพอลิแซคคาไรด์ที่อยู่ตรงส่วนกลางของผนังเซลล์ ทำหน้าที่ยึดเซลล์ให้ติดกัน โครงสร้างของเพกตินไม่ได้เรียงตัวเป็นเส้นใย แต่เรียงตัวแบบไม่เป็นระเบียบ เพกตินมีฤทธิ์เป็นกรด ประกอบด้วยกรดกาแลกตูโรนิก (D–galacturonic acid) เป็นส่วนใหญ่ เชื่อมต่อกันด้วยพันธะอัลฟา 1,4 ไกลโคซิดิก ซึ่งบางหน่วยอาจถูกเอสเทอริไฟด์ด้วยหมู่เมทิลหรืออะซิติลที่ตำแหน่งของกรดคาร์บอกซิลิก อาจพบน้ำตาลแรมโนส (L–rhamnose) แทรกอยู่ โดยสร้างพันธะอัลฟา 1,2 ไกลโคซิดิกกับกรดกาแลกตูโรนิก บางครั้งอาจเรียกโครงสร้างเพกตินว่าเป็นสายพอลิเมอร์ของแรมโนกาแลกตูโรแนน (rhamnogalacturonans) นอกจากนี้ยังประกอบด้วยโซ่กิ่งของน้ำตาลชนิดต่าง ๆ ได้แก่ กาแลกโตส อะราบิโนส ไซโลส แรมโนสหรือกลูโคส (Southgate and Englyst, 1985; Theander and Amen, 1979; Kimura, 1997; Doesburg, 1965) สายโซ่กิ่งของเพกตินจะถูกไฮโดรไลส์ได้ง่ายกว่าโซ่หลัก และพบว่าเพกตินทางการค้ามักมีโซ่กิ่งน้อย (ภาพ 6)

สารที่สัมพันธ์กับเพกติน ได้แก่ กรดเพกติน (pectin acid) และกรดเพกตินิก (pectinic acid) โดยมากมักอยู่รวมกันเป็นพอลิแซคคาไรด์เชิงซ้อน สารเหล่านี้เรียกรวม ๆ ว่า สารเพกติน กรดเพกติน คือพอลิเมอร์ของกรดแลกตูโรนิกที่ไม่มีเมทิลเอสเทอร์อยู่ในโมเลกุลเลย ในขณะที่เพกตินจะพบหมู่เอทิลเอสเทอร์บนสายโซ่เป็นจำนวนมาก และกรดเพกตินิกจะพบโมเลกุลที่ถูกเติมหมู่เมทิลเพียงบางส่วน (Kertesz, 1963) หมู่กรดอิสระบนสายโซ่อาจถูกทำให้เป็นกลางโดยจับกับอิออนของโซเดียม โพแทสเซียม หรือแอมโมเนียม สัดส่วนของโมเลกุลกรดกาแลกตูโรนิกที่ถูกเอสเทอริไฟด์ต่อโมเลกุลกรดกาแลกตูโรนิกทั้งหมดบนสายโซ่จะถูกแสดงใน

เทอมระดับของเอสเทอริฟิเคชัน (degree of esterification; DE) ซึ่งค่าดังกล่าวสามารถบ่งชี้สมบัติบางประการของเพกตินได้ เช่น การละลายและการเกิดเจล (gelation) เพกตินมีน้ำหนักโมเลกุลสูงอยู่ในช่วง 50,000–150,000 กรัม/โมล เมื่อคิดเป็นระดับของเอสเทอริฟิเคชันจะได้ประมาณ 100–10,000 หน่วย

สารเพกตินในพืชมักพบอยู่ในชั้นของผนังเซลล์ปฐมภูมิ (primary cell wall) และ intercellular layers หรือ middle lamella เนื้อเยื่อพืชบางชนิดเป็นแหล่งของเพกติน ได้แก่ พืชตระกูลซิตรัส แอปเปิ้ลและกากผักกาดหวาน (sugar beet pulp) โดยพบปริมาณเพกตินร้อยละ 15 ในแอปเปิ้ล และร้อยละ 30 พบในเปลือกพืชตระกูลส้ม (ต่อน้ำหนักแห้ง) สำหรับเพกตินที่ผลิตเพื่อใช้บริโภคจะถูกจำแนกตามค่าระดับของเอสเทอริฟิเคชัน หรือปริมาณของหมู่เมทิลที่ถูกเติม เพกตินที่ถูกเมทิลเลตบนโมเลกุลน้อยกว่าร้อยละ 50 คือเพกตินชนิด low methoxyl (LM) และเพกตินที่ถูกเมทิลเลตบนโมเลกุลมากกว่าร้อยละ 50 คือเพกตินชนิด High methoxyl (HM) โดยทั่วไป เพกตินทางการค้าจะมีค่าระดับของเอสเทอริฟิเคชัน อยู่ในช่วงร้อยละ 20–70 ซึ่งจะถูกผลิตโดยควบคุมกระบวนการเอสเทอริฟิเคชันของวัตถุดิบที่เป็นแหล่งของเพกติน สำหรับ LM เพกตินที่ผลิตต้องควบคุมปริมาณอิออนประจุสองบวก (divalent cation) ซึ่งเกี่ยวข้องกับคุณสมบัติการเกิดเจล ส่วน HM เพกติน จะสังเกตที่ค่าการละลายของของแข็ง (soluble solid) และการเกิดเจลที่ค่าความเป็นกรด–ด่าง เท่ากับ 3



ภาพ 6 โครงสร้างทางเคมีของเพคติน

ที่มา: Paul Vos, (2008)

2.2 กัม (Gum) เป็นส่วนประกอบในผนังเซลล์พืชมีลักษณะเหนียวหรือยางของต้นพืช ซึ่งไหลซึมออกมาจากบริเวณบาดแผลของพืช มีหลักฐานว่าเมื่อพืชอยู่ในสภาวะกดดัน เช่น การเกิดบาดแผลการถูกบุกรุกโดยเชื้อราหรือจุลินทรีย์ต่าง ๆ กัมเป็นพอลิแซคคาไรด์ที่มีลักษณะเป็นไฮโดรคอลลอยด์ (hydrocolloid) หรือไฮโดรฟิลิกคอลลอยด์ (hydrophilic colloid) เป็นพอลิเมอร์ที่มีสายยาวและมีน้ำหนักโมเลกุลสูง ในโมเลกุลอาจประกอบด้วยโมโนแซคคาไรด์ชนิดเดียวกันทั้งหมด เช่น เดกซ์แทรน (dextran) และฟอสโฟแมนแนน (phosphomamnan) หรือประกอบด้วยโมโนแซคคาไรด์หลายชนิด เช่น กัมอะราบิก (gum arabic) กัวกัม (guar gum) กัมแกตติ (gum ghatti) โลคัสต์บีนกัม (locust bean gum) และกัมคารายา (gum karaya) เป็นต้น (ภาพ 7)

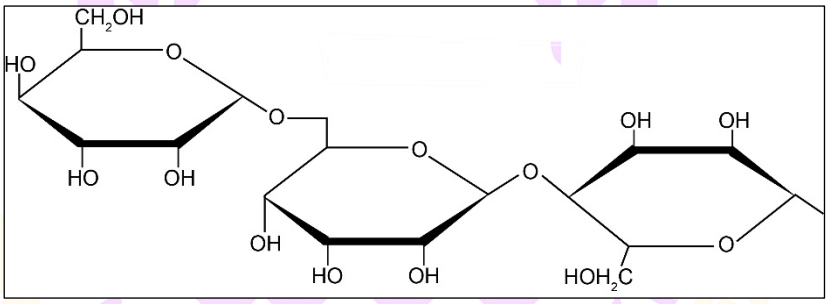
กัม (gum) เป็นภาษาอียิปต์ หมายถึงสารที่มีลักษณะเหนียว ดังนั้นเมื่อกัมละลายหรือกระจายอยู่ในน้ำ จะทำให้สารละลายที่ได้มีความหนืดสูง หรือมีลักษณะเป็นเจล ในอุตสาหกรรมอาหารจึงได้นำเอากัมไปใช้ประโยชน์ต่าง ๆ เช่น เป็นสารเพิ่มความคงตัว (stabilizer) สารเพิ่มความหนืด ช่วยให้มีอิมัลชัน สารแขวนลอย ช่วยให้เกิดเจล เป็นต้น ซึ่งหน้าที่ดังกล่าวจะช่วยให้ผลิตภัณฑ์อาหารมีคุณภาพดีขึ้น เช่น มีลักษณะเนื้อและลักษณะปรากฏที่ดี และมีอายุการวางขายได้นาน อุตสาหกรรมอาหารที่นิยมใช้กันมาก ได้แก่ อาหารกระป๋อง แยมและเยลลี่ น้ำสลัด ไอศกรีม ขนมหวาน เนยแข็ง ซุปและผลิตภัณฑ์ขนมอบ

กัมสามารถจำแนกได้ 2 วิธี คือ จำแนกตามแหล่งที่มา ซึ่งแบ่งได้เป็น 3 กลุ่ม ได้แก่ 1) กัมที่ได้จากธรรมชาติ ส่วนใหญ่ได้มาจากส่วนต่าง ๆ ของพืช เช่น ยาง เมล็ด รก หัว 2) กัมที่เป็นอนุพันธ์ของสตาร์ช 3) กัมสังเคราะห์ เช่น โพลีไวนิลไพโรลิดีน (polyvinyrolidene) และโพลีเอทิลีนออกไซด์พอลิเมอร์ (polyethyleneoxide polymer) ส่วนการจำแนกอีกลักษณะจะพิจารณาจากโครงสร้างเคมีของโมเลกุลและหมู่ฟังก์ชันที่อยู่ในโมเลกุล ได้แก่ กลุ่มที่มีประจุลบ และกลุ่มที่ไม่มีประจุหรือเป็นกลาง สำหรับกัมที่มีประจุลบ จะเป็นพวกที่มีหมู่ซัลเฟต หมู่คาร์บอกซิลและหมู่ฟอสเฟต

กัมที่นิยมใช้ในอุตสาหกรรมอาหารมักได้จากธรรมชาติเป็นส่วนใหญ่ ได้แก่ กัมอะราบิกเป็นกัมที่ละลายน้ำได้ดี ไม่ละลายในน้ำมันและแอลกอฮอล์ ความหนืดที่ได้จากกัมชนิดนี้ค่อนข้างต่ำ นิยมใช้ให้อิมัลชันคงตัวเพื่อป้องกันการตกผลึกของน้ำตาลในผลิตภัณฑ์ขนมหวาน ลาชกัม (larch gum) เป็นกัมที่ละลายในน้ำได้ดี และการละลายจะเพิ่มขึ้นเมื่ออุณหภูมิสูงขึ้น สารละลายให้ความหนืดสูง ใช้ในผลิตภัณฑ์อาหาร เช่น แยม เยลลี่ เนย ซุป เป็นต้น

กัวกัมสามารถดูดน้ำได้อย่างรวดเร็ว ให้ความหนืดสูง มีความคงตัวในช่วงความเป็นกรด–ด่าง 4–10.5 นิยมใช้ในผลิตภัณฑ์ไอศกรีม น้ำสลัด เนยแข็ง (Committee on Codex Specifications, 1981)

โดยปกติกัมที่พบในธรรมชาตินอกจากจะสกัดได้จากยางไม้และเมล็ดธัญพืชชนิดต่าง ๆ แล้ว ยังได้จากสาหร่ายทะเลอีกด้วย ตัวอย่างเช่น วุ้น (agar) เป็นกัมที่ไม่ละลายในน้ำเย็น แต่ละลายได้ดีในน้ำร้อนให้เจลในลักษณะแข็งและยืดหยุ่นดี นิยมนำวุ้นมาใช้ในอุตสาหกรรมอาหารประเภท ผลิตภัณฑ์ขนมอบ ขนมหวาน คาราจีแนน (caragenan) กัมชนิดนี้ละลายน้ำได้ดี นิยมใช้เพื่อให้เกิดเจลในผลิตภัณฑ์อาหารต่าง ๆ ใช้ในผลิตภัณฑ์ปลาเพื่อให้เนื้อปลาจับตัวกันดีขึ้น ทำให้ผลิตภัณฑ์มีความข้น นอกจากนี้ยังใช้ในผลิตภัณฑ์ประเภทเครื่องดื่ม นมข้นหวาน ซอสปรุงรส เป็นต้น แอลจิเนต (alginate) เป็นกัมที่สกัดได้จากสาหร่ายทะเลเช่นกัน ส่วนใหญ่ใช้ในรูปของเกลือ เช่น เกลือโซเดียม เกลือโพแทสเซียม และเกลือแอมโมเนีย ใช้มากในผลิตภัณฑ์เบียร์ น้ำสลัด และไอศกรีม



ภาพ 7 โครงสร้างทางเคมีของกัมอะราบิก

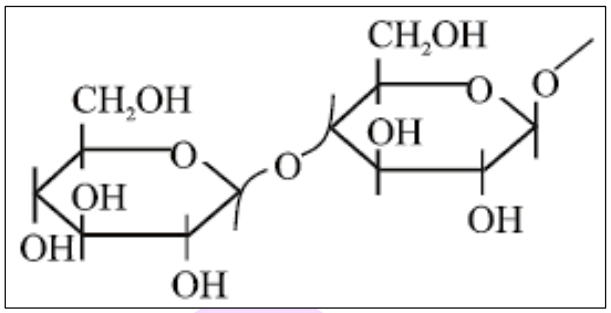
ที่มา: Mark Golden, (2014)

2.3 มิวซิเลจ (Mucilage) เป็นพอลิแซคคาไรด์เชิงซ้อน มักพบอยู่รวมกับโปรตีน และยูราไนด์ (Uranides) ซึ่งอยู่ในส่วนของผนังเซลล์พืช โดยมากพบอยู่ใน endosperm (Kimura, 1977) มีน้ำหนักโมเลกุลสูง (ตั้งแต่ 200,000 กรัม/โมล ขึ้นไป) มีโครงสร้างไม่แน่นอน พบในส่วนของเมล็ดพืชและสาหร่ายทะเล มีความเหนียวหนืด ลื่น ๆ สามารถอุ้มน้ำได้มากพิเศษ ทั้งนี้เพื่อป้องกันไม่ให้พืชขาดน้ำ (ปาริชาติ, 2540) สมบัติทางเคมีของมิวซิเลจใกล้เคียงกับกัมและเพกติน (ภาพ 8) แต่มีสมบัติทางกายภาพต่างกัน มิวซิเลจจะถูกสร้างขึ้นขณะที่พืชมี

การเจริญเติบโตอยู่ในส่วนต่าง ๆ ของพืช ได้แก่ mucilage–secreting hairs, sacs และ canals แต่ไม่พบว่ามีการไหลซึมออกมาจากผิวของเปลือกไม้ หรือตามบาดแผลบนลำต้นอันเนื่องมาจากเชื้อราและแบคทีเรียอย่างเช่นกัม แหล่งของมิวซิเลจที่ถูกนำมาไปใช้ในอุตสาหกรรมอาหาร ได้แก่ Icelandic และ Irish moss, linseed, locust bean, slippery elm bark และ quince seed เป็นต้น

เป็นทราบกันดีว่า แหล่งของเส้นใยอาหารส่วนใหญ่ได้มาจากผนังเซลล์พืช (Dintzis, 1982) ผนังเซลล์เป็นส่วนของเซลล์ที่อยู่นอกสุดถัดจาก plasma membrane เป็นเสมือนสิ่งที่กั้นแบ่งขอบเขตของแต่ละเซลล์ (Selvendran, 1984) โครงสร้างของผนังเซลล์มีความแข็งแรงมาก แต่ก็มีความยืดหยุ่นเพียงพอสำหรับการเจริญเติบโตของเซลล์ และสามารถให้โมเลกุลอย่างอิออน น้ำและสารอาหารต่าง ๆ ที่ละลายน้ำ แพร่ผ่านไปได้ทาง plasmodesmata ผนังเซลล์พัฒนามาจาก dense plate ที่เกิดขึ้นระหว่างการแบ่งนิวเคลียสของเซลล์ อย่างไรก็ตามแม้ผนังเซลล์จะเป็นส่วนที่กั้นแต่ละเซลล์ แต่พบว่าบริเวณตรงกลางที่เชื่อมระหว่างผนังเซลล์ของเซลล์หนึ่งไว้กับอีกเซลล์ จะมีชั้นที่เรียกว่า middle lamella (เป็น intercellular layer) ซึ่งบริเวณนี้จะมีสารเพกตินที่ทำหน้าที่เชื่อมเซลล์หลาย ๆ เซลล์เข้าด้วยกัน จนกลายเป็นโครงสร้างของผนังเซลล์ ในเนื้อไม้ผนังเซลล์มีความแข็งแรงมากและจะคงทนยาวนานไปอีกหลังจากพืชตายไปแล้ว พบว่าในเนื้อเยื่อพืชที่มีการเจริญเติบโตรวดเร็ว ผนังเซลล์สามารถยืดขยายได้หลายเท่าของขนาดปกติ ตัวอย่างเช่น พืชประเภทผัก ผนังเซลล์ของพืชที่เจริญเติบโตที่จะมีความหนา ทำให้มีรูปร่างผิดไปจากเดิม และมีสมบัติพิเศษเฉพาะ ดังนั้นเมื่อพืชเจริญเติบโตจึงสามารถจำแนกลักษณะผนังเซลล์พืชได้เป็น 2 ประเภท คือ ผนังเซลล์ปฐมภูมิ และผนังเซลล์ทุติยภูมิ

2.4 เบต้า–กลูแคน (β–glucan) เป็นพอลิแซคคาไรด์ที่ประกอบด้วยหน่อยของน้ำตาลกลูโคสเชื่อมต่อกันด้วยพันธะไกลโคไรด์ (glycosidic bond) ที่ตำแหน่งเบต้า 1–3 และเบต้า 1–4 โดยทั่วไปสามารถละลายน้ำได้ มีเพียงบางส่วนที่ไม่สามารถละลายน้ำได้ พบได้ในข้าวโอ๊ต ข้าวไรย์ และข้าวบาร์เลย์



ภาพ 8 โครงสร้างทางเคมีของมิวซิเลจ

ที่มา: Abdulbari et al., (2012)

ประโยชน์ของเส้นใยอาหาร

เส้นใยอาหารมีผลต่อระบบสรีรวิทยาของร่างกายในหลายด้าน ได้แก่ ลดระดับคอเลสเตอรอลในเลือด มีผลต่อระดับน้ำตาล ลดอัตราเสี่ยงการเป็นโรคหัวใจ ลดความอ้วน ป้องกันมะเร็ง โดยเฉพาะอย่างยิ่งการปรับปรุงหน้าที่ของลำไส้ใหญ่ เส้นใยอาหารจึงมีบทบาทในการบำบัดและป้องกันโรคต่าง ๆ (ปาริชาต, 2540)

1. **บทบาทของเส้นใยต่อโรคหัวใจ**

โรคหัวใจเป็นโรคที่เกิดจากหลอดเลือดหัวใจตีบหรือแคบลง เนื่องจากการพอกพูนของตะกรันไขมัน ทำให้เลือดผ่านไปลำบาก สำหรับกล้ามเนื้อหัวใจเป็นเนื้อเยื่อที่ไวต่อการขาดเลือดที่สุด เมื่อกล้ามเนื้อหัวใจขาดเลือดไปเลี้ยง ผู้ป่วยจะเกิดอาการเจ็บหน้าอก กล้ามเนื้อหัวใจตาย และหัวใจวายตามมา จากรายงานวิจัยที่ผ่านมาพบว่า เส้นใยอาหารสามารถป้องกันการพอกพูนของตะกรันไขมันในหลอดเลือดได้ โดยการลดคอเลสเตอรอล เมื่อไขมันในเลือดต่ำโอกาสที่จะเกิดอาการตีบตันของหลอดเลือดหัวใจจึงลดลง การทำงานเส้นใยจะไปดูดซับคอเลสเตอรอลในลำไส้เอาไว้ ทำให้ไขมันไม่ถูกดูดซึมและถูกขับถ่ายออกมานอกร่างกาย นอกจากนี้เส้นใยอาหารยังช่วยลดการสร้างคอเลสเตอรอลที่ตับ

2. **บทบาทของเส้นใยต่อโรคเบาหวาน**

ปัจจุบันเป็นที่ทราบว่า เบาหวานเกิดจากสาเหตุหลัก 2 ประการ คือ กรรมพันธุ์ และการบริโภคน้ำตาลมากเกินเป็นเวลานาน และหากเป็นแล้วจะสามารถถ่ายทอดทางพันธุกรรมได้ ในอาหารประเภทแป้งมีเส้นใยอาหารอยู่น้อยมาก และมักเป็นชนิดเชิงเดี่ยว ดังนั้น

จึงให้ได้ปริมาณน้ำตาลสูง ทำให้ระดับน้ำตาลในเลือดเพิ่มสูงขึ้นทันที ร่างกายจึงต้องการอินซูลินจำนวนมากในการนำพาน้ำตาลเข้าไปให้เซลล์ร่างกายได้ใช้ แต่การผลิตอินซูลินของร่างกายตามปกติจะผลิตได้ทีละน้อย ไม่เพียงพอต่อความต้องการ การรับประทานแบบนี้จึงเป็นการกระตุ้นให้ตับอ่อนทำงานหนัก ตับอ่อนจึงเสื่อมเร็ว สร้างอินซูลินได้น้อย และกลายเป็นเบาหวาน การกินอาหารที่มีเส้นใยอาหาร ซึ่งเป็นคาร์โบไฮเดรตเชิงซ้อน ย่อยได้ยากกว่าเสียเวลาในการย่อยนาน จึงเป็นการชะลอเวลาให้น้ำตาลที่รับพอดีกับเวลาของการหลั่งอินซูลิน นอกจากนี้เส้นใยยังสามารถซับเอาน้ำตาลไว้จำนวนหนึ่ง ทำให้น้ำตาลถูกดูดซึมเข้าไปในกระแสเลือดลดลง ดังนั้นเส้นใยอาหารจึงช่วยควบคุมปริมาณน้ำตาลที่จะถูกดูดซึมเข้าไปในร่างกายได้

3. บทบาทของเส้นใยต่อความอ้วน

จากรายงานวิจัยหลายฉบับพบว่า เส้นใยสามารถลดปริมาณแคลอรีที่ร่างกายดูดซึมจากอาหารได้ ทั้งนี้เพราะเส้นใยเร่งเวลาให้อาหารผ่านไปในลำไส้ได้และออกไปนอกร่างกายได้เร็วกว่าอาหารที่ไม่มีเส้นใย ดังนั้นโอกาสที่ผนังลำไส้จะดูดซึมสารอาหารเข้าไปจึงลดลง จึงเป็นสาเหตุให้น้ำหนักลด การรับประทานเส้นใยทำให้อิ่มท้องนาน เพราะเส้นใยจะอยู่ในกระเพาะได้นาน นอกจากนี้การรับประทานเส้นใยยังต้องใช้เวลาเคี้ยว อาหารอยู่ในปากนานทำให้อิ่มในรสชาติมากกว่าการเคี้ยวนิดเดียวแล้วกลืน เมื่อผู้รับประทานพอใจและอิ่มในรสชาติในแง่ของจิตวิทยาจะทำให้ไม่ค่อยอยากอาหารเพิ่ม

4. บทบาทของเส้นใยต่อมะเร็งลำไส้ใหญ่

มะเร็งลำไส้ใหญ่ เกิดจากการที่ลำไส้ใหญ่สัมผัสสารก่อมะเร็งเป็นเวลานาน โดยสาเหตุสำคัญเกิดจากการบริโภคโปรตีนจากเนื้อสัตว์และการกินไขมันสัตว์ ทำให้มีสารก่อมะเร็งตกค้างอยู่ในลำไส้เป็นเวลานาน เนื่องจากกากอาหารน้อย ระยะเวลาที่กากอาหารถูกกักเก็บในลำไส้ก็นานลำไส้ใหญ่จึงสัมผัสถูกสารก่อมะเร็งนานและก่อให้เกิดมะเร็งตามมาความสัมพันธ์ระหว่างเส้นใยกับมะเร็งลำไส้ใหญ่ยังมีส่วนเกี่ยวข้องกับน้ำดีด้วย เมื่อไขมันในลำไส้ใหญ่เพิ่มขึ้น เกลือของน้ำดีในกากอาหารก็เพิ่มขึ้นด้วย และแบคทีเรียในลำไส้ใหญ่จะทำหน้าที่ย่อยเกลือน้ำดีให้กลายเป็นสารก่อมะเร็งได้ หากมีกรดน้ำดีหลังออกมามากก็จะมีโอกาสเป็นมะเร็งลำไส้ใหญ่มากขึ้นด้วย และถ้ามีอาการท้องผูกร่วมด้วยก็จะยิ่งทำให้สารก่อมะเร็งจากน้ำดีสัมผัสถูกผนังลำไส้ใหญ่เป็นเวลานสน การบริโภคอาหารที่มีเส้นใยสูง ทำให้ท้องไม่ผูก ลำไส้ขับกากอาหารออกนอกร่างกายเร็ว โอกาสที่ลำไส้ใหญ่สัมผัสถูกสารก่อมะเร็งลดลง นอกจากนี้การมีกากอาหารมากก็เท่ากับเป็นการเจือจางสารก่อมะเร็งในของเสียลง ลดโอกาสการเกิดมะเร็งด้วย

5. บทบาทของเส้นใยต่ออาการท้องผูกและโรคริดสีดวงทวาร

ผู้สูงอายุที่บริโภคเส้นใยไม่เพียงพอมักมีอาการท้องผูกและโรคริดสีดวงทวาร เนื่องจากในการขับถ่ายของเสียออกนอกร่างกายต้องอาศัยปัจจัยสองประการ คือ ปริมาณกากอาหารที่มากพอและการเคลื่อนไหวของลำไส้ ปกติลำไส้จะบีบตัวเพื่อส่งอาหารภายในต่อไปให้ลำไส้ส่วนที่อยู่ถัดไป จนกระทั่งขับออกนอกร่างกาย ถ้าลำไส้ไม่เคลื่อนไหวของเสียภายในจะค้างอยู่ในลำไส้ทำให้เกิดอาการท้องผูกได้ และถ้ามีกากอาการไม่เพียงพอก็จะทำให้อาการรุนแรงมากขึ้น ซึ่งจะนำไปสู่โรคริดสีดวงทวารได้ ดังนั้นการรับประทานเส้นใยทำให้กากอาหารมีปริมาณเพิ่มขึ้นและถูกขับถ่ายออกนอกร่างกายเร็ว และเส้นใยยังสามารถดูดซับน้ำทำให้กากอาหารมีลักษณะนิ่มอีกด้วย

6. บทบาทของเส้นใยต่อสารพิษในร่างกายและแบคทีเรียในลำไส้ใหญ่

แบคทีเรียในลำไส้มีสองประเภท คือ แบคทีเรียที่ดีต่อร่างกาย ได้แก่ แลคโตบาซิลลัส ที่ช่วยในการย่อยนม และกลุ่มที่ช่วยสร้างวิตามินบี 12 ส่วนอีกกลุ่มคือ แบคทีเรียที่ไม่ก่อประโยชน์แก่ร่างกาย เช่น *Escherichia coli* ซึ่งอาศัยในลำไส้ใหญ่ *E. coli* จะย่อยกากอาหารที่เหลือไปถึงลำไส้ใหญ่โดยเฉพาะกากจากเนื้อสัตว์ ทำให้เกิดกลิ่นเหม็น สิ่งที่เหลือจากการย่อยเนื้อสัตว์ของ *E. coli* คือ สารประกอบไนโตรเจนตัวหนึ่งซึ่งเป็นสารก่อมะเร็ง ดังนั้นการรับประทานเนื้อมาก ๆ อาจไม่เป็นผลดี เนื่องจากร่างกายที่โตเต็มที่แล้วจะใช้โปรตีนไม่มากที่เหลือจึงต้องกำจัดทิ้ง ทำให้เกิดสารก่อมะเร็งจากการย่อยของ *E. coli* มากด้วย

จากรายงานวิจัยพบว่า เส้นใยอาหารสามารถเปลี่ยนแปลงจำนวนแบคทีเรียที่อยู่ในลำไส้ใหญ่ คือ ลดปริมาณของ *E. coli* ให้น้อยลง ทั้งนี้เพราะกากอาหารถูกขับออกนอกร่างกายเร็วขึ้น ทำให้ *E. coli* ไม่มีอาหาร จึงมีจำนวนลดลง นอกจากนี้เส้นใยยังสามารถดูดซับสารพิษในร่างกายและขับออกนอกร่างกายได้อีกด้วย

ในประเทศทางซีกโลกตะวันตก ได้มีการศึกษาเรื่องเส้นใยอาหารกันมากทั้งในด้านโภชนาการ โภชนะบำบัด รวมทั้งวิธีวิเคราะห์ปริมาณเส้นใยอาหารในตัวอย่างอาหารชนิดต่าง ๆ ความตื่นตัวและการยอมรับความสำคัญของเส้นใยอาหารเป็นผลให้มีบทบัญญัติเกี่ยวกับเส้นใยอาหารใน Nutrition Labeling and Education Act (NLEA) ซึ่งเป็นกฎหมายอาหารของประเทศสหรัฐอเมริกาที่ประกาศใช้ เมื่อวันที่ 6 มกราคม 2536 โดยกำหนดนิยามของเส้นใยอาหารว่าเป็นสารประกอบพอลิแซคคาไรด์และลิกนินที่ไม่ถูกย่อยด้วยน้ำย่อยในระบบทางเดินอาหารของมนุษย์ นั่นคือรวมถึงพอลิแซคคาไรด์ที่ไม่ใช่แป้ง (non–starch polysaccharide, NSP) แป้งที่

ต้านทานต่อการย่อย (resistant starch) และลิกนิน คำนิยามของเส้นใยอาหารที่ละลายน้ำได้ หมายถึง เส้นใยอาหารที่ไม่ละลายในสารละลายบัฟเฟอร์ที่ร้อน ส่วนเส้นใยอาหารทั้งหมด (total dietary fiber, TDF) หมายถึงผลรวมของเส้นใยอาหารที่ละลายได้และเส้นใยอาหารที่ไม่ละลาย

สมบัติเชิงหน้าที่ของเส้นใยอาหารละลายน้ำ

เนื่องจากมีการใช้เส้นใยอาหารที่ละลายน้ำเป็นส่วนประกอบอาหาร เพื่อทำหน้าที่ต่าง ๆ เช่น เป็นสารเพิ่มความหนืด (Thickener) สารให้ความคงตัว (Stabilizer) และอิมัลซิไฟเออร์ (Emulsifier) เป็นต้น ดังนั้นการศึกษาสมบัติของเส้นใยอาหารที่ละลายน้ำจึงเป็นสิ่งจำเป็นและมีความสำคัญ เพื่อเพิ่มการนำเส้นใยอาหารไปใช้ในผลิตภัณฑ์อาหารมากขึ้น (Sangmark and Noomhorm, 2003) ซึ่งเส้นใยอาหารที่ละลายน้ำมีสมบัติเชิงหน้าที่ (Functional food) ในอาหารที่สำคัญ ดังนี้ (ธนิกานต์, 2549; Elleuch et al., 2011)

1. ความหนืด (Viscosity) คือ ความสามารถในการต้านทานการไหลของของไหลเมื่อมีแรงมากระทำ ของไหลที่มีความหนืดสูงจะมีค่าความต้านทานต่อการไหลสูง ของไหลที่มีความหนืดต่ำจะมีค่าความต้านทานต่อการไหลต่ำ โดยความหนืดเป็นอัตราส่วนระหว่างความเค้นต่ออัตราเฉือน พอลิแซ็กคาไรด์เป็นสารที่มีความเหมาะสมในการใช้เพื่อเพิ่มความหนืดให้แก่ผลิตภัณฑ์อาหาร เส้นใยอาหารที่ละลายน้ำสามารถนำมาประยุกต์ใช้กับผลิตภัณฑ์อาหารเพื่อสุขภาพ เพื่อควบคุมลักษณะรีโอโลยี (Rheology) ด้านการละลายและการกระจายตัว เนื่องจากเส้นใยอาหารที่ละลายน้ำนั้นมีน้ำหนักโมเลกุลสูง มีพันธะที่ซับซ้อนและสามารถเกิดอันตรกิริยา (Interaction) ระหว่างพอลิเมอร์กับตัวทำละลายได้

2. การก่อเจล การก่อเจลของพอลิแซ็กคาไรด์จะเกี่ยวกับส่วนของสายพอลิเมอร์ที่บริเวณ junction zones ในการก่อเจลนั้นสายพอลิเมอร์ต้องมีโครงสร้างที่เป็นระเบียบ และสภาวะการก่อเจลต้องเหมาะสม เช่น ในกรณีของเพคติน การเกิดตาข่ายพอลิเมอร์ 3 มิติที่บริเวณ junction zones จะถูกเหนี่ยวนำ และทำให้คงตัวโดยแคลเซียมอิออน ซึ่งจะก่อพันธะไฮโดรเจนระหว่างสายพอลิเมอร์ เส้นใยอาหารที่ละลายน้ำ ได้แก่ เพคติน กัม มิวซิเลจ และเฮมิเซลลูโลสบางชนิดที่มีสมบัติในการจับกับน้ำ (Hydration properties) และพองตัว (Swelling) ทำให้มีความหนืดเพิ่มขึ้น และก่อเจลได้ดี ในขณะที่เซลลูโลสและเฮมิเซลลูโลสส่วนใหญ่ไม่ก่อเจล

3. การอุ้มน้ำ (Water holding capacity) ความสามารถในการอุ้มน้ำ เป็นสมบัติที่สำคัญของผลิตภัณฑ์อาหารต่าง ๆ เส้นใยอาหารมีองค์ประกอบเป็นพอลิแซ็กคาไรด์ ซึ่งเป็นพอลิแซ็กคาไรด์เป็นโมเลกุลที่ชอบน้ำ (Hydrophilic) เนื่องจากมีหมู่ไฮดรอกซิลอิสระเป็นจำนวนมาก ซึ่งสามารถสร้างพันธะไฮโดรเจนกับน้ำ ดังนั้นเส้นใยอาหารทั้งชนิดที่ละลายน้ำและไม่ละลายน้ำจึงสามารถอุ้มน้ำได้ (Spiller, 1975) Sosulski and Cadden (1982) พบว่า เส้นใยอาหารที่มีปริมาณเส้นใยอาหารที่ละลายน้ำสูง ได้แก่ เพคติน และมิวซิเลจส์ จะมีค่าความสามารถในการอุ้มน้ำสูงด้วย แต่เส้นใยอาหารที่มีองค์ประกอบที่เป็นสตาร์ชสูงจะมีค่าความสามารถในการอุ้มน้ำต่ำ เมื่อดูดซับน้ำจะทำให้สารละลายมีความหนืดเพิ่มขึ้น และบางครั้งอาจก่อเจลได้ด้วยเมื่ออยู่ในสภาวะที่เหมาะสม ขณะที่เส้นใยอาหารที่ไม่ละลายน้ำถึงแม้จะไม่สามารถก่อเจลได้ แต่ก็สามารถดูดซับน้ำไว้ในโครงสร้างได้เป็นปริมาณมาก

ความสามารถในการอุ้มน้ำของเส้นใยอาหารขึ้นอยู่กับองค์ประกอบทางเคมี โครงสร้าง และขนาดอนุภาคของเส้นใยอาหาร Parrott and Thrall (1978) พบว่าเส้นใยอาหารผงที่ผลิตเป็นการค้ายี่ห้อ Solka–Floc (เกรด SW40) ที่มีขนาดอนุภาค 60 ไมครอน มีค่าความสามารถในการอุ้มน้ำ 12.3–12.8 มิลลิลิตรน้ำต่อกรัมเส้นใยอาหาร ซึ่งสูงกว่าเส้นใยอาหารผงที่ผลิตเป็นการค้ายี่ห้อ Solka–Floc (เกรด BW100) ที่มีขนาดอนุภาค 40 ไมครอน ที่มีค่าความสามรถในอุ้มน้ำเพียง 3.2–4.8 มิลลิลิตรน้ำต่อกรัมเส้นใยอาหาร การลดขนาดเส้นใยอาหารโดยการบดส่งผลให้เส้นใยอาหารดูดซึมน้ำน้อยลง ความสามารถในการอุ้มน้ำลดลงเนื่องจากโครงสร้างที่มีรูพรุนถูกทำลาย ค่าความสามารถในการอุ้มน้ำของเซลลูโลสผงขึ้นอยู่กับขนาดความยาวของอนุภาคเซลลูโลสผง โดยเมื่อเพิ่มความความยาวของเซลลูโลสผงจาก 11 ไมครอนเป็น 290 ไมครอน ทำให้ค่าความสามารถในการอุ้มน้ำเพิ่มขึ้นจากประมาณ 4 เป็น 10 เท่า

4. ความคงตัวของอิมัลชั่น สารพวกพอลิแซ็กคาไรด์มีความสามารถในการเพิ่มความคงตัวของอิมัลชั่น (Stabilization of emulsions) ดังนั้นจึงมีการใช้พอลิแซ็กตาไรด์ในการคงตัวให้กับอาหารประเภทอิมัลชั่น ตัวอย่างของพอลิแซ็กคาไรด์เหล่านี้ เช่น อัลจิเนต กัวกัม และเพคติน เป็นต้น (Riaz, 1993)

วิธีการวิเคราะห์ปริมาณเส้นใยอาหาร

วิธีการวิเคราะห์ปริมาณเส้นใยอาหารได้รับการพัฒนาอย่างต่อเนื่อง เพราะการวิเคราะห์โดยวิธีใดวิธีหนึ่งไม่สามารถให้ผลการวิเคราะห์ที่ตอบสนองวัตถุประสงค์ต่าง ๆ ได้ทั้งหมด ปัจจุบันการวิเคราะห์ปริมาณเส้นใยอาหารมี 3 วิธีหลัก คือ

1. วิธี Enzymatic–gravimetric เป็นวิธีวิเคราะห์ที่ใช้เอนไซม์ในการย่อยตัวอย่าง แล้วชั่งน้ำหนักตัวอย่างที่เหลือจากการย่อย โดยนำค่าของชุดควบคุม (blank) ปริมาณโปรตีน และเถ้าของสิ่งที่เหลือจากการย่อยมาใช้ในการคำนวณปริมาณเส้นใยอาหาร

2. วิธี non– enzymatic–gravimetric เป็นวิธีที่ใช้สารละลายเคมีในการย่อย แล้วชั่งน้ำหนักตัวอย่างที่เหลือจากการย่อย

3. วิธี enzymatic chemical เป็นวิธีวิเคราะห์ที่ใช้เอนไซม์ในการย่อยตัวอย่าง แล้ววิเคราะห์สิ่งที่เหลือจากการสกัดด้วยวิธีทางเคมี คือ ย่อยพอลิแซคคาไรด์ด้วยกรดจนได้เป็นน้ำตาลเชิงเดี่ยวและวิเคราะห์น้ำตาลโดยใช้เทคนิคโครมาโทกราฟี ได้แก่ gas liquid chromatography (GC) หรือ high performance liquid chromatography (HPLC) ส่วนกรดยูโรนิกมักวิเคราะห์โดยใช้วิธีวัดสี (colorimetric method)

สำนักงานคณะกรรมการอาหารและยา และกระทรวงเกษตรของประเทศสหรัฐอเมริกาได้ประกาศใช้กฎหมาย NLEA โดยให้ใช้วิธีวิเคราะห์ปริมาณเส้นใยอาหารแบบวิธี enzymatic–gravimetric ตามวิธี official method of analysis ของ The association of official analytical chemists (AOAC) โดยให้เหตุผลว่าเป็นวิธีที่เหมาะสมที่สุดสำหรับการวิเคราะห์ที่เป็นประจำ (routine work) เพื่อใช้ผลวิเคราะห์นั้นแสดงคุณค่าทางโภชนาการที่ฉลากและการวิจัยที่เกี่ยวกับการควบคุมคุณภาพ

งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

ชวนิฏฐ์ และคณะ, (2548) ศึกษาวิธีการสกัดเพคตินจากเปลือกและกากผลส้มเหลือทิ้ง โดยพัฒนาเทคโนโลยีการผลิตเพคตินด้วยการหาสภาวะต่าง ๆ ที่เหมาะสมในการสกัด ได้แก่ อุณหภูมิ พีเอช ชนิดของกรด ปริมาณโซเดียมเฮกสะเมตาฟอสเฟต (SHMP) เวลาที่ใช้ในการสกัด และได้ทดลองปรับปรุงสีของเพคตินอีกด้วย ผลพบว่า สภาวะที่เหมาะสมในการสกัดเพคติน ได้แก่ อุณหภูมิ 80 องศาเซลเซียส ความเป็นกรด–ด่าง 3.0 โดยใช้กรดไฮโดรคลอริค (HCl) และปริมาณโซเดียมเฮกสะเมตาฟอสเฟต (SHMP) ร้อยละ 6 ของน้ำหนักเปลือกและกาก

ผลส้ม เป็นเวลา 90 นาที จากนั้นตกตะกอนเพคตินด้วยเอทานอลความเข้มข้นร้อยละ 95 และล้างตะกอน เพคตินด้วยเอทานอลความเข้มข้นร้อยละ 95 สลับกับอะซีโทน 3 ถึง 5 ครั้ง จะได้เพคตินที่ค่อนข้างบริสุทธิ์ และเมื่อตรวจสอบคุณสมบัติของเพคติน พบว่าเพคตินที่สกัดได้มีผลผลิตร้อยละ 18.48 ปริมาณความชื้นร้อยละ 7.79 ปริมาณเถ้าร้อยละ 5.42 ปริมาณกรดกาแลคทูโรนิคร้อยละ 66.25 และปริมาณเมทอกซิลร้อยละ 4.12 ซึ่งใกล้เคียงกับเพคตินระดับอุตสาหกรรม ยกเว้นปริมาณเถ้า ผลที่ได้อยู่ในช่วงของมาตรฐานเพคตินตามขอกำหนดคุณภาพหรือมาตรฐาน วัตถุเจือปนอาหารตามที่ The Joint / WHO Expert Committee on Food Additive (JECFA) ได้กำหนด

สิขรินทร์ (2545) ศึกษาการผลิตเส้นใยอาหารจากหัวกระเทียม (*Allium sativum* Lin.) งานวิจัยนี้มีจุดประสงค์เพื่อศึกษาวิธีการผลิตเส้นใยอาหารจากหัวกระเทียม ซึ่งได้เลือกกระเทียมพันธุ์ศรีสะเกษ เนื่องจากมีราคาถูกและปลูกกันมากในภาคตะวันออกเฉียงเหนือ ในขั้นต้นวิเคราะห์องค์ประกอบของหัวกระเทียมได้ ความชื้น โปรตีน ไขมัน เถ้า เส้นใยหยาบ และคาร์โบไฮเดรต เป็นร้อยละ 53.70 0.42 3.42 0.50 14.69 และ 27.27 ตามลำดับ ต่อมาศึกษาถึงวิธีการและสภาวะที่เหมาะสมในการกำจัดไขมันออกจากกระเทียม และทดสอบถึงปริมาณของสารอัลลิซินว่ามีฤทธิ์ฆ่าเชื้อจุลินทรีย์อยู่หรือไม่ โดยเชื้อ *Staphylococcus aureus* (LTH928) พบว่า วิธีการใช้ไอน้ำในการสกัดไขมันเป็นเวลา 3.5 ชั่วโมง ยังคงมีปริมาณของไขมันเหลืออยู่ในกระเทียมถึงร้อยละ 2.55 และอัลลิซินยังคงเหลือปริมาณมากพอที่จะฆ่าเชื้อจุลินทรีย์ได้ แต่วิธีการสกัดไขมันด้วยตัวทำละลายเอทานอลความเข้มข้นร้อยละ 95 พบว่าปริมาณไขมันในกระเทียมลดลงเหลือเพียงร้อยละ 0.51 เมื่อใช้อัตราส่วนของปริมาณเอทานอล (มล.) ต่อน้ำหนักกระเทียม (กรัม) เป็น 3 ต่อ 1 และใช้เวลาการแช่ 48 ชั่วโมง และอัลลิซินเหลืออยู่ปริมาณน้อยมากจนไม่เหลือฤทธิ์ฆ่าเชื้อจุลินทรีย์ได้ จึงเลือกวิธีการสกัดไขมันด้วยตัวทำละลายเอทานอลความเข้มข้นร้อยละ 95 ต่อมาศึกษาถึงการกำจัดแป้งโดยใช้เอนไซม์อัลฟาอะไมเลส (Termamyl 120L) โดยหาอุณหภูมิและค่าความเป็นกรด-ด่าง ที่เหมาะสมในการใช้เอนไซม์ พบว่าที่ 25 องศาเซลเซียส และความเป็นกรด-ด่าง 6.9 ตรวจวัดกิจกรรมของเอนไซม์ได้สูงประมาณร้อยละ 95 ของกิจกรรมสูงสุดและมีความคงตัวสูง จึงเลือกสภาวะนี้มาใช้ในการกำจัดแป้งออกจากกระเทียม โดยแปรผันปริมาณเอนไซม์เป็นร้อยละ 2.5 5.0 7.5 และ 10.0 โดยปริมาตร และใช้เวลาในการย่อยเป็น 12, 24 และ 48 ชั่วโมง ตามลำดับ พบว่าปริมาณเอนไซม์ร้อยละ 5.0 เวลาย่อย 24 ชั่วโมง ทำให้ปริมาณแป้งในกระเทียมเหลือน้อยที่สุด

เพียงร้อยละ 0.41 (P≤0.05) โดยที่ใช้ปริมาณเอนไซม์และเวลาในการย่อยน้อยที่สุด ซึ่งมีค่าความสามารถในการอุ้มน้ำมันและน้ำมันเป็น 3.42 กรัมตัวอย่างต่อกรัมน้ำ และ 1.37 กรัมตัวอย่างต่อกรัมน้ำมัน ตามลำดับ และไม่มีการคายน้ำ ผลิตภัณฑ์เส้นใยกระเทียมผงที่ได้ร้อยละ 17.24 และปริมาณเส้นใยอาหารทั้งหมดเป็นร้อยละ 85.77 โดยแยกเป็นเส้นใยอาหารที่ละลายน้ำได้ร้อยละ 28.32 เซลลูโลส เฮมิเซลลูโลส และลิกนิน เป็นร้อยละ 32.16 22.89 และ 2.40 ตามลำดับ จากนั้นได้ทดลองนำเส้นใยอาหารที่ได้มาเติมลงในผลิตภัณฑ์ขนมปังจืด โดยระดับปริมาณเส้นใยอาหารที่เติมลงไปร้อยละ 10 ของน้ำหนักส่วนผสมทั้งหมดรวมน้ำ และมีคะแนนการยอมรับโดยรวมทางประสาทสัมผัสสูงที่สุด (P≤0.05)

Cheng et al., (2017) ศึกษาคุณสมบัติทางเคมีกายภาพ และสมบัติเชิงหน้าที่ของเส้นใยอาหารที่ละลายน้ำจากกากมันฝรั่งที่สกัดด้วยเอนไซม์เซลลูเลส ไซยาเนส และเซลลูเลส:ไซลาเนส กำจัดแป้งและโปรตีนด้วยเอนไซม์แอลฟา-อะไมเลส กลูโคซิเดส และอัลคาเลส ผลการศึกษาปริมาณเส้นใยอาหารที่ละลายน้ำที่ได้จากการสกัดด้วยเอนไซม์เซลลูเลส ไซยาเนส และเซลลูเลส:ไซลาเนส มีปริมาณเส้นใยอาหารที่ละลายน้ำร้อยละ 31.9, 25.7 และ 39.7 ตามลำดับ เมื่อเปรียบเทียบการใช้เอนไซม์ในการสกัดเส้นใยอาหารที่ละลายน้ำเพียงชนิดเดียวกับการใช้เอนไซม์สองชนิดร่วมกัน ให้น้ำหนักโมเลกุลและคุณสมบัติรีโอโลยี(ความหนืด)ที่แตกต่างกัน โดยเส้นใยอาหารที่ละลายน้ำที่สกัดด้วยเอนไซม์ไซลาเนสสามารถ ลดการดูดซับกลูโคส (GDRI) ได้ดีร้อยละ 32.98 สามารถยับยั้งกิจกรรมเอนไซม์แอลฟาอะไมเลสร้อยละ 56.2 และสามารถยับยั้งกิจกรรมของเอนไซม์ลิเพสร้อยละ 55.33 ในขณะที่เส้นใยอาหารที่ละลายน้ำที่สกัดด้วยเอนไซม์เซลลูเลสและไซลาเนสร่วมกัน มีความสามารถในการจับโซเดียมคลอเลต และฤทธิ์ในการต้านอนุมูลอิสระร้อยละ 72.2 และ 87.57 ตามลำดับ

Bayar et al., (2018) ศึกษาวิธีการที่เหมาะสมในการสกัดเพคตินด้วยเอนไซม์จากต้นกระบองเพชรทานผล (*Opuntia ficus indica*; OFI) บริเวณส่วนลำต้น (ที่เปลี่ยนแปลงไปมีลักษณะ หรือหน้าที่คล้ายใบ) โดยกำจัดส่วนที่เป็นเมือกหรือมิวซิเลจก่อนการสกัด (นำตัวอย่างละลายในน้ำกลั่นอุณหภูมิห้อง เป็นเวลา 90 นาที แล้วนำไปปั่นเหวี่ยงเพื่อแยกส่วนของเหลวเป็นมิวซิเลจ) การสกัดเพคตินจะสกัดด้วยเอนไซม์เซลลูเลสที่ใช้ร่วมกันกับเอนไซม์ไซลาเนส โดยออกแบบการทดลองแบบบ็อกซ์เบห์นเคน (Box behnken) ศึกษา 3 ปัจจัย ได้แก่ ปริมาณสารละลาย อัตราส่วนเอนไซม์เซลลูเลสต่อไซลาเนส และอัตราส่วนเอนไซม์ต่อตัวอย่าง ผลการศึกษาพบว่าวิธีการที่เหมาะสมในการสกัดเพคตินจากกระบองเพชรทานผลใช้ปริมาณ

ของสารละลาย 22 มิลลิลิตรต่อกรัม อัตราส่วนเอนไซม์เซลลูเลสต่อไซลาเนส 2:1 ยูนิต และอัตราส่วนเอนไซม์ต่อตัวอย่าง 4 ยูนิตต่อกรัม ผลผลิตของเพคตินเท่ากับ 17.91 เปอร์เซ็นต์ เพคตินที่สกัดได้จากต้นกระบองเพชรทานผลมีปริมาณเมธิลเลทต่ำ กรดยูโรนิกสูง คุณสมบัติการอุ้มน้ำและการละลายน้ำเท่ากับ 5.42 กรัมต่อกรัม และ 1.23 กรัมต่อกรัม ตามลำดับ มีสมบัติการเกิดโฟมอิมัลชั่น และที่สำคัญมีคุณสมบัติเป็นสารต้านอนุมูลอิสระ กระบวนการสกัดเพคตินด้วยเอนไซม์มีแนวโน้มที่จะเป็นทางเลือกในอุตสาหรรมอาหารต่อไป

Moczkowska et al., (2019) ศึกษาการสกัดเส้นใยอาหารละลายน้ำจากเมล็ดแฟลกซ์ 3 วิธี ได้แก่ การสกัดด้วยเอนไซม์ การสกัดด้วยเอนไซม์ร่วมกับการใช้คลื่นอัลตร้าโซนิค (อุณหภูมิ 20 และ 55 องศาเซลเซียส) และการสกัดด้วยด่าง (โซเดียมไฮดรอกไซด์) เนื่องจากเส้นใยอาหารละลายน้ำจากเมล็ดแฟลกซ์มีความหนืดต่ำ ซึ่งยังมีคุณสมบัติไม่เพียงพอในการเป็นส่วนประกอบในอาหาร ดังนั้นงานวิจัยนี้ มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาลักษณะทางเคมีกายภาพของเส้นใยอาหารละลายน้ำที่สกัดจากเมล็ดแฟลกซ์ ผลการศึกษาผลผลิตของเส้นใยอาหารละลายน้ำพบว่าการสกัดด้วยด่างให้ผลผลิตเท่ากับร้อยละ 17.65 แต่พบว่ามีการปนเปื้อนของโปรตีนในปริมาณสูง และมีปริมาณโปรตีนน้อยเมื่อสกัดด้วยเอนไซม์ และการสกัดด้วยเอนไซม์ร่วมกับการใช้คลื่นอัลตร้าโซนิคที่อุณหภูมิ 20 องศาเซลเซียส มีผลผลิตของเส้นใยอาหารละลายน้ำเท่ากับร้อยละ 61.13 และร้อยละ 61.53 ตามลำดับ และผลผลิตของเส้นใยอาหารละลายน้ำสูงที่สุดเมื่อสกัดด้วยเอนไซม์ร่วมกับการใช้คลื่นอัลตร้าโซนิคที่อุณหภูมิ 50 องศาเซลเซียส เท่ากับร้อยละ 68.90 ความหนืดเท่ากับ 14.09 พาสคัล และการเปลี่ยนแปลงทางความร้อนพีคต่ำสุดเท่ากับ 143.4 องศาเซลเซียส คุณสมบัติของความหนืดของเส้นใยอาหารละลายน้ำจากการสกัดทั้ง 3 วิธี ไม่แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิต

บทที่ 3

วิธีการดำเนินการวิจัย

ตัวอย่างที่ใช้ในการศึกษา

หน่อไม้เศษเหลือแบบชิ้นและแบบฝอยจากกระบวนการผลิตหน่อไม้กระป๋องแปรรูป ได้มาจากบริษัท ฝางอินเตอร์ฟูดส์ จำกัด เลขที่ 212 หมู่ 17 ต. เวียง อ. ฝาง จ. เชียงใหม่

อุปกรณ์ และเครื่องมือในการวิเคราะห์

2.1 เครื่องปั่น (Blender) (ยี่ห้อ TEFAL รุ่น BL317)

2.2 เตาเผา (muffle furnace) (ยี่ห้อ Thermolyne รุ่น FD1530M)

2.3 เครื่องวิเคราะห์เส้นใยหยาบ (Gerhardt fiber bag system)

2.4 เครื่องวัดการดูดกลืนแสง (UV-visible spectrophotometer) (ยี่ห้อ Biomate3 singe cell รุ่น 2K4L365001)

2.5 เครื่องชั่งละเอียด 4 ตำแหน่ง (Analytical balance) (ยี่ห้อ OHAUS รุ่น PA214)

2.6 เครื่องชั่งละเอียด 2 ตำแหน่ง (Analytical balance) (ยี่ห้อ OHAUS รุ่น PA4102)

2.7 เครื่องวัดความเป็นกรดด่าง (pH meter) (ยี่ห้อ LT LUTRON รุ่น pH-230SD)

2.8 เครื่องปั่นเหวี่ยงตกตะกอน (Centrifuge) (ยี่ห้อ ltettich รุ่น Universal 320)

2.9 ตู้อบลมร้อน (Hot air oven) (ยี่ห้อ Memmenrt รุ่น Model WNB Basia)

2.10 เครื่องวัดค่าแอคติวิตีของน้ำ (Water activity meter) (ยี่ห้อ Aqua lab รุ่น Series4TE)

2.11 เครื่องวิเคราะห์ไขมัน Soxtherm (soxhlet apparatus) (ยี่ห้อ VELP SCIENTIFICA รุ่น SER148)

2.12 เครื่องย่อยโปรตีน (ยี่ห้อ VELP รุ่น DK-8)

2.13 เครื่องกลั่นโปรตีน (Kjeldahl apparatus) (ยี่ห้อ VELP รุ่น UDK 149)

2.14 เครื่องทำแห้งแบบแช่เยือกแข็ง (Freeze dry) (ยี่ห้อ WELCH รุ่น 320015)

2.15 อ่างน้ำควบคุมอุณหภูมิ (Shaking Water Bath) (ยี่ห้อ Memmert รุ่น WNB 29)

2.16 ถ้วยกระเบื้อง (Crucible)

2.17 ปั๊มสูญญากาศ (Vacuum pump)

2.18 กรวยกรองบุชเนอร์ (Buchner funnel)

2.19 ขวดกรองสาร (Suction flask)

2.20 แหวนรองกรวย (Ring fupport)

2.21 แก้วกระบอก (Glass cylinder)

2.22 กระดาษกรองเบอร์ 1 (Filter paper No.1)

2.23 สายยางซิลิโคน (Silicon fube)

2.24 ตู้ดูดควัน (Fume hood)

2.25 หลอดเซนติฟิว (Centrifuge Tube) ขนาด 50 มิลลิลิตร

2.26 โถดูดความชื้น (Desiccator) (ยี่ห้อ Schott Duran รุ่น DN)

2.27 กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (Scanning electron microscope; SEM) (ยี่ห้อ FEI Model : Quanta 250)

สารเคมี และเชื้อจุลินทรีย์ในการวิเคราะห์

3.1 สารเคมีที่ใช้ในการวิเคราะห์โปรตีน

3.1.1 กรดซัลฟิวริก (Sulfuric acid) (ยี่ห้อ RCL labscan, AR grade)

3.1.2 โซเดียมไฮดรอกไซด์ (Sodium hydroxide) (ยี่ห้อ KemAus, AR grade)

3.1.3 คอปเปอร์ซัลเฟต (Copper sulfate) (ยี่ห้อ KemAus, AR grade)

3.1.4 โซเดียมซัลเฟต (Sodium sulfate) (ยี่ห้อ Qrec, AR grade)

3.1.5 กรดบอริก (Boric acid) (ยี่ห้อ Qrec, AR grade)

3.1.6 โบรโมครีซอลกรีน (Bromocresol green) (ยี่ห้อ Laba, AR grade)

3.1.7 เมทิลเรด (Methyl red) (ยี่ห้อ Laba, AR grade)

3.1.8 โซเดียมคาร์บอเนต (Sodium carbonate) (ยี่ห้อ Qrec, AR grade)

3.1.9 กรดไฮโดรคลอริก (Hydrochloric acid) (ยี่ห้อ RCL labscan, AR grade)

3.1.10 เอทานอล (Ethanol) (ยี่ห้อ RCL labscan, AR grade)

3.1.4 โพแทสเซียมซัลเฟต (Potassium sulfate) (ยี่ห้อ KemAus, AR grade)

3.2 สารเคมีที่ใช้ในการวิเคราะห์ไขมัน

3.2.1 ปิโตรเลียม อีเทอร์ (Petroleum ether) (ยี่ห้อ RCL labscan, AR grade)

3.3 สารเคมีที่ใช้ในการวิเคราะห์ปริมาณเส้นใยอาหาร

3.3.1 กรดซัลฟิวริก (Sulfuric acid) (ยี่ห้อ RCL labscan, AR grade)

3.3.2 โซเดียมไฮดรอกไซด์ (Sodium hydroxide) (ยี่ห้อ KemAus, AR grade)

3.3.3 เอทานอล (Ethanol) (ยี่ห้อ RCL labscan, AR grade)

3.3.4 ชุดวิเคราะห์ปริมาณเส้นใยอาหารทั้งหมดของ Megazyme (K-TDFR 07/11)

3.4 สารเคมีและเอนไซม์ที่ใช้ในการสกัดเส้นใยอาหารละลายน้ำ

3.4.1 เอทานอล (Ethanol) (องค์การสุรา, Food grade)

3.4.2 แอลฟา-อะไมเลส (α-amylase) (บริษัท XI'AN BIOF)

3.4.3 โปรตีเอส (Protease) (บริษัท XI'AN BIOF)

3.4.4 เซลลูเลส (Cellulase) (บริษัท SINOBIOS, industrial grade)

3.4.5 ไซลาเนส (Xylanase) (บริษัท SINOBIOS, industrial grade)

3.4.6 กลูโคซิเดส (Glucosidase) (บริษัท SINOBIOS, industrial grade)

3.5 เชื้อจุลินทรีย์ที่ใช้ในการวิเคราะห์ (ศูนย์จุลินทรีย์ สถาบันวิจัยวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งประเทศไทย)

3.5.1 *Lactobacillus plantarum* TISTR 2075

3.5.2 *Bifidobacterium longum subsp. Longum* TISTR 2195

ขั้นตอนการดำเนินงาน

1. การวิเคราะห์ส่วนประกอบทางเคมีและสมบัติทางกายภาพ

โดยนำหน่อไม้เศษเหลือ เป็นหน่อไม้จากการแปรรูปมาวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมีและสมบัติทางกายภาพ ได้แก่ ค่าสี วัดด้วยระบบ CIE L*, a*, b* แอคติวิตีของน้ำ (aw) ปริมาณโปรตีน ปริมาณไขมัน ปริมาณเถ้า (AOAC, 2000)

2. การสกัดเส้นใยอาหารที่ละลายน้ำโดยการใช้เอนไซม์ (ดัดแปลงจาก Cheng et al., 2017)

2.1 แผนการทดลอง วางแผนการทดลองแบบ Central composite design เพื่อศึกษาผลของ 3 ปัจจัย ได้แก่

1. เวลา (1, 2 และ 3 ชั่วโมง)
2. ปริมาณสารละลาย (300, 400 และ 500 มิลลิลิตร)
3. อัตราส่วนของเอนไซม์เซลลูเลส และ ไซลาเนส (1:1, 1:2, และ 2:1)

ตาราง 2 แผนการทดลอง

Treatment	เวลา (ชั่วโมง)	ปริมาณสารละลายที่ใช้สกัด (มิลลิลิตร)	อัตราส่วนเอนไซม์เซลลูเลส ต่อ ไซลาเนส
1312	1	300	1:2
1321	1	300	2:1
1411	1	400	1:1
1512	1	500	1:2
1521	1	500	2:1
2311	2	300	1:1
2412	2	400	1:2
2421	2	400	2:1
2411	2	400	1:1
2411	2	400	1:1
2411	2	400	1:1
2411	2	400	1:1
2511	2	500	1:1
3312	3	300	1:2
3321	3	300	2:1
3411	3	400	1:1
3512	3	500	1:2
3521	3	500	2:1

หมายเหตุ: อัตราส่วนเอนไซม์ (1 = 10,000 ยูนิต, 2 = 20,000 ยูนิต)

1) Treatment 1312 คือ ระยะเวลาสกัด 1 ชั่วโมง, สารละลาย 300 มิลลิลิตร, เอนไซม์เซลลูเลสต่อไซลาเนส 1:2

2) Treatment 1321 คือ ระยะเวลาสกัด 1 ชั่วโมง, สารละลาย 300 มิลลิลิตร, เอนไซม์เซลลูเลสต่อไซลาเนส 2:1

3) Treatment 1411 คือ ระยะเวลาสกัด 1 ชั่วโมง, สารละลาย 400 มิลลิลิตร, เอนไซม์เซลลูเลสต่อไซลาเนส 1:1

4) Treatment 1512 คือ ระยะเวลาสกัด 1 ชั่วโมง, สารละลาย 500 มิลลิลิตร, เอนไซม์เซลลูเลสต่อไซลาเนส 1:2

5) Treatment 1521 คือ ระยะเวลาสกัด 1 ชั่วโมง, สารละลาย 500 มิลลิลิตร, เอนไซม์เซลลูเลสต่อไซลาเนส 2:1

6) Treatment 2311 คือ ระยะเวลาสกัด 2 ชั่วโมง, สารละลาย 300 มิลลิลิตร, เอนไซม์เซลลูเลสต่อไซลาเนส 1:1

7) Treatment 2411 คือ ระยะเวลาสกัด 2 ชั่วโมง, สารละลาย 400 มิลลิลิตร, เอนไซม์เซลลูเลสต่อไซลาเนส 1:1

8) Treatment 2412 คือ ระยะเวลาสกัด 2 ชั่วโมง, สารละลาย 400 มิลลิลิตร, เอนไซม์เซลลูเลสต่อไซลาเนส 1:2

9) Treatment 2421 คือ ระยะเวลาสกัด 2 ชั่วโมง, สารละลาย 400 มิลลิลิตร, เอนไซม์เซลลูเลสต่อไซลาเนส 2:1

10) Treatment 2511 คือ ระยะเวลาสกัด 2 ชั่วโมง, สารละลาย 500 มิลลิลิตร, เอนไซม์เซลลูเลสต่อไซลาเนส 1:1

11) Treatment 3312 คือ ระยะเวลาสกัด 3 ชั่วโมง, สารละลาย 300 มิลลิลิตร, เอนไซม์เซลลูเลสต่อไซลาเนส 1:2

12) Treatment 3321 คือ ระยะเวลาสกัด 3 ชั่วโมง, สารละลาย 300 มิลลิลิตร, เอนไซม์เซลลูเลสต่อไซลาเนส 2:1

13) Treatment 3411 คือ ระยะเวลาสกัด 3 ชั่วโมง, สารละลาย 400 มิลลิลิตร, เอนไซม์เซลลูเลสต่อไซลาเนส 1:1

14) Treatment 3512 คือ ระยะเวลาสกัด 3 ชั่วโมง, สารละลาย 500 มิลลิลิตร, เอนไซม์เซลลูเลสต่อไซลาเนส 1:2

15) Treatment 3521 คือ ระยะเวลาสกัด 3 ชั่วโมง, สารละลาย 500 มิลลิลิตร, เอนไซม์เซลลูเลสต่อไซลาเนส 2:1

2.2 การสกัดเส้นใยอาหาร

1) ชั่งหน่อไม้เศษเหลือปั่นให้ละเอียด 100 กรัม เติมลงในสารละลายฟอสเฟตบัฟเฟอร์ที่ค่าความเป็นกรด-ด่าง 4.8 ในปริมาณ 300, 400 และ 500 มิลลิลิตร โดยทำการสกัด 18 การทดลอง (2 ซ้ำ)

2) เตรียมสารละลายฟอสเฟตบัฟเฟอร์ที่ค่าความเป็นกรด–ด่าง 4.8 ปริมาณ 300, 400 และ 500 มิลลิลิตร ใส่ในขวดโหลปรับความเป็นกรด–ด่าง เท่ากับ 4.8 แล้วเติมเอนไซม์เซลลูเลสและไซลาเนส (ในอัตราส่วนดังแผนการทดลอง) คนให้สารละลายเข้ากันและปรับค่าความเป็นกรด–ด่าง ให้ได้ 4.8 อีกครั้ง แล้วใส่หน่อไม้ที่ปั่นละเอียดลงไป

3) นำขวดโหลไปแช่ในอ่างควบคุมอุณหภูมิ (Shaking Water Bath) ที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส เขย่าที่ระดับ 3 (132 รอบต่อนาที) เวลา 1, 2 และ 3 ชั่วโมง

4) เมื่อครบเวลาเติมเอนไซม์อัลฟาอะไมเลส (Activity 2,700 ยูนิต) ปรับค่าความเป็นกรด–ด่าง เท่ากับ 5.5 แล้วนำไปแช่ต่อที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส เวลา 30 นาที

5) เมื่อครบเวลาเติมเอนไซม์กลูโคซิเดส (Activity 900 ยูนิต) ปรับค่าความเป็นกรด–ด่าง เท่ากับ 5.5 แล้วนำไปแช่ต่อที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส เวลา 30 นาที

6) เมื่อครบเวลาเติมเอนไซม์โปรติเอส (Activity 5,400 ยูนิต) ปรับค่าความเป็นกรด–ด่าง ให้ได้ 7.5 แล้วนำไปแช่ต่อที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส เวลา 30 นาที (วัด pH ครั้งสุดท้ายหลังการแช่) นำไปบ่มที่อุณหภูมิ 95 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 10 นาที (เพื่อยับยั้งการทำงานของเอนไซม์)

7) นำตัวอย่างกรองด้วยผ้าขาวบาง แยกส่วนที่เป็นของเหลวนำมาแบ่งใส่ในหลอดปั่นเหวี่ยงขนาด 50 มิลลิลิตร ปริมาตร 40 มิลลิลิตร นำไปปั่นเหวี่ยงเพื่อแยกชั้นของน้ำ และตะกอนออกจากกันที่ความเร็วรอบ 8,000 เป็นเวลา 20 นาที

8) เมื่อเสร็จนำส่วนของเหลวที่ได้จากการปั่นเหวี่ยงมากรองอีกครั้งด้วยกรวยกรองบุชเนอร์ บนกระดาษกรองเบอร์ 1 นำส่วนของเหลวที่ได้ตกตะกอนในขั้นตอนต่อไปและทิ้งส่วนที่เป็นตะกอน

9) นำของเหลวที่ได้ผสมกับแอลกอฮอล์ความเข้มข้นร้อยละ 95 ในอัตราส่วน 1:4 (น้ำตัวอย่าง 100 มิลลิลิตร: สารละลายเอทานอล 400 มิลลิลิตร) ใส่ขวดโหลตั้งทิ้งไว้ (17 ชั่วโมง)

10) เมื่อครบเวลานำมาดูดแอลกอฮอล์ความเข้มข้นร้อยละ 95 ออกด้วยไมโครปิเปต 10 มิลลิลิตร ล้างเศษตะกอนด้วยแอลกอฮอล์ความเข้มข้นร้อยละ 95 ปริมาตร 100 มิลลิลิตร จำนวน 2 ครั้ง นำเศษตะกอนแบ่งใส่หลอดปั่นเหวี่ยงที่ความเร็วรอบ 8,000 รอบ เป็นเวลา 20 นาที

11) เมื่อครบเวลา เทส่วนน้ำทิ้ง แล้วนำตะกอนตัวอย่างที่ได้หลังการปั่นเหวี่ยงไปใส่ในเครื่องอบแห้งแบบแช่เยือกแข็ง (Freeze Dryer) ใช้เวลา 8 ชั่วโมงในการทำให้ตะกอนแห้ง นำตะกอนแห้งที่ได้มาปั่นละเอียดและชั่งน้ำหนักตัวอย่างที่ได้

สูตรคำนวณหาปริมาณเส้นใยละลายน้ำ

$$\text{ปริมาณเส้นใยละลายน้ำ} = \frac{\text{น้ำหนักเส้นใยหลังอบแห้ง} \times 100}{\text{น้ำหนักตัวอย่าง}}$$

3. ศึกษาสมบัติทางเคมีกายภาพและสมบัติเชิงหน้าที่ของเส้นใยอาหารจากหน่อไม้เศษเหลือ

ศึกษาคุณสมบัติทางเคมีกายภาพโดยนำผงหน่อไม้เศษเหลือ มาวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมีและสมบัติทางกายภาพ ได้แก่ ค่าสี วัดด้วยระบบ CIE L*, a*, b* แอคติวิตีของน้ำ (a_w) ปริมาณโปรตีน ปริมาณไขมัน ปริมาณเส้นใยหยาบ ปริมาณเถ้า (AOAC, 2000) และสมบัติเชิงหน้าที่ของเส้นใยอาหารจากหน่อไม้เศษเหลือที่ได้จากกรรมวิธีการสกัดทั้ง 4 วิธี มีรายละเอียดดังนี้

3.1 ความสามารถการละลายน้ำ (Analysis of water solubility) ตามวิธีของ Cheng et al., 2017 โดยชั่งตัวอย่างแห้ง 1 กรัม (m_0) เติมลงในน้ำกลั่นปริมาตร 10 มิลลิลิตร กวนโดยใช้แท่งเหล็กกวนสาร เป็นเวลา 60 นาที ปั่นเหวี่ยงที่ความเร็ว 6,000 รอบต่อนาที เป็นเวลา 10 นาที ค่อย ๆ รินของเหลวออกจากหลอดเซนติฟิวก์ นำของเหลวไปอบแห้งที่อุณหภูมิ 105 องศาเซลเซียส จนกระทั่งไม่มีของเหลวระเหยออกไป หรือมีน้ำหนักคงที่ (m) ความสามารถการละลายน้ำถูกคำนวณตามสมการดังต่อไปนี้

สูตรคำนวณหาความสามารถในการละลายน้ำ

$$\text{ความสามารถในการละลายน้ำ} = \frac{m}{m_0}$$

เมื่อ m = น้ำหนักของส่วนใสหลังการอบแห้ง (กรัม)

m_0 = น้ำหนักของตัวอย่างแห้งเริ่มต้น (กรัม)

3.2 ความสามารถในการอุ้มน้ำ (Water holding capacity, WHC) ตามวิธีของ Zhang, et al. (2017) ชั่งตัวอย่าง 1 กรัม โดยน้ำหนักแห้ง (W_1) ใส่ในหลอดปั่นเหวี่ยงขนาด 50 มิลลิลิตร เติมน้ำกลั่นปริมาตร 20 มิลลิลิตร ผสมให้เข้ากันตั้งไว้ที่อุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 24 ชั่วโมง ปั่นเหวี่ยงที่ความเร็ว 3,000 รอบต่อนาที เป็นเวลา 20 นาที แยกส่วนใสทิ้ง และชั่งน้ำหนักส่วนที่ตกตะกอน (W_2) ความสามารถในการอุ้มน้ำคำนวณตามสูตรดังนี้

สูตรคำนวณหาความสามารถในการอุ้มน้ำ

$$\text{ความสามารถในการอุ้มน้ำ (กรัมต่อกรัม)} = \frac{(W_2 - W_1)}{W_1}$$

เมื่อ W_2 = น้ำหนักของตัวอย่างหลังบ่ม (กรัม)

W_1 = น้ำหนักของตัวอย่างแห้ง (กรัม)

3.3 ความสามารถในการอุ้มน้ำมัน (Oil binding capacity; OBC) ตามวิธีของ Zhang, et al. (2017) ชั่งตัวอย่าง 1 กรัม โดยน้ำหนักแห้ง (M_1) ใส่ในหลอดปั่นเหวี่ยง เติมน้ำมันดอกทานตะวันปริมาตร 10 มิลลิลิตร ผสมให้เข้ากัน และบ่มที่อุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 1 ชั่วโมง หลังจากนั้นนำไปปั่นเหวี่ยงที่ความเร็ว 4,000 รอบต่อนาที เป็นเวลา 15 นาที แยกส่วนใสทิ้ง และชั่งน้ำหนักส่วนที่ตกตะกอน (M_2) ความสามารถในการอุ้มน้ำมันคำนวณตามสูตร ดังนี้

สูตรคำนวณหาความสามารถในการอุ้มน้ำมัน

$$\text{ความสามารถในการอุ้มน้ำมัน (กรัมต่อกรัม)} = \frac{(M_2 - M_1)}{M_1}$$

เมื่อ M_2 = น้ำหนักของตัวอย่างหลังบ่ม (กรัม)

M_1 = น้ำหนักของตัวอย่างแห้ง (กรัม)

4. ศึกษาคุณสมบัติการดูดซับน้ำตาลกลูโคส (glucose absorption capacity: GAC) ของเส้นใยอาหารละลายน้ำที่สกัดด้วยเอนไซม์จากหน่อไม้เศษเหลือแบบชิ้นและฝอย (ดัดแปลงวิธีจาก Xuemei, et. al., 2019 และ Peerajit, et. al., 2012)

ชั่งเส้นใยอาหารละลายน้ำที่สกัดด้วยเอนไซม์ 1 กรัมผสมกับน้ำตาลกลูโคสที่ความเข้มข้น 10, 50, 100 และ 200 มิลลิโมลต่อลิตร ปริมาณ 100 มิลลิลิตร บ่มที่อุณหภูมิ 37 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 2 ชั่วโมง ทำการปั่นเหวี่ยงเพื่อนำส่วนใสมาทำการวิเคราะห์ปริมาณน้ำตาลโดยวัดด้วยชุดทดสอบ D-Glucose Assay Kit (GOPOD Format), Megazyme วัดการดูดกลืนแสงด้วยด้วยเครื่อง UV-visible spectrophotometer ที่ความยาวคลื่น 510 นาโนเมตร

สูตรคำนวณหาความสามารถในการดูดซับน้ำตาลกลูโคส

ค่าการดูดซับน้ำตาลกลูโคส (มิลลิโมลต่อกรัม) = $((C_1 - C_2) / W_1) * V_1$

เมื่อ C_1 = ความเข้มข้นของกลูโคสเริ่มต้น (มิลลิโมลต่อลิตร)

C_2 = ความเข้มข้นของกลูโคส ณ จุดสมดุล (มิลลิโมลต่อลิตร)

W_1 = น้ำหนักของเส้นใยอาหาร (กรัม)

V_1 = ปริมาตรของน้ำตาลกลูโคส (ลิตร)

5. ศึกษาลักษณะทางสัณฐานวิทยาด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (Scanning electron microscope; SEM)

ชั่งเส้นใยอาหารละลายน้ำที่สกัดด้วยเอนไซม์ 0.002 กรัม นำมาศึกษาสัณฐานวิทยาด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (SEM) โดยโรยผงเส้นใยอาหารละลายน้ำลงบนเทปกาวสองหน้าและเคลือบด้วยทอง ใช้ความต่างศักย์ 10 Kv

6. ศึกษาความสามารถในการเป็นพรีไบโอติก (ดัดแปลงจาก Ilaria et al., 2011) โดยใช้ความสามารถในการหมักของเชื้อโพรไบโอติก ได้แก่ *Lactobacillus plantarum* TISTR 2075 และ *Bifidobacterium longum subsp. Longum* TISTR 2195 มีวิธีการศึกษาดังนี้

6.1 การเตรียมเชื้อจุลินทรีย์

1) เลี้ยงเซลล์ *L. plantarum* TISTR 2075 และ *B. longum subsp. Longum* TISTR 2195 ในอาหารเหลว MRS และ MRS+ L-Cysteine 0.05% ตามลำดับ ที่อุณหภูมิ 37 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 24 และ 48 ชั่วโมง เขย่าที่ความเร็ว 130 รอบต่อนาที

2) นำเชื้อในอาหารเหลวมาทำการเจือจางด้วยน้ำกลั่นให้มีความเข้มข้นที่ 10^{-2}-10^{-7}

3) ปิเปตสารละลายข้อ 2) 100 ไมโครลิตร ลงตรงกลางบนอาหารเลี้ยงเชื้อ โดย *L. plantarum TISTR* 2075 เลี้ยงลงบนอาหารแข็ง MRS และ *B. longum subsp. Longum* TISTR 2195 เลี้ยงลงบนอาหารแข็ง MRS + L-Cysteine 0.05% ใน anaerobic jar ใชแทงแกวเกลี่ยเชื้อใหกระจายทั่วผิวหน้าของอาหารเลี้ยงเชื้อ ระวังอย่าให้โดยขอบจานเพาะเชื้อ วางหงายจานเพาะเชื้อไวนานประมาณ 15 นาที แล้วจึงคว่ำจานอาหารเลี้ยงเชื้อ ทำซ้ำ 3 จาน

4) นับจำนวนโคโลนีของเชื้อ *L. plantarum TISTR* 2075 และ *B. longum subsp. Longum* TISTR 2195 จากจานเพาะเลี้ยงที่มีจำนวน 10-250 โคโลนี และคำนวณเปน CFU/mL

6.2 การเพาะเลี้ยงจุลินทรีย์ร่วมกับเส้นใยอาหารละลายน้ำ

1) นำเชื้อ *L. plantarum TISTR* 2075 และ *B. longum subsp. Longum* TISTR 2195 ปริมาตร 100 ไมโครลิตร ($1x10^4$ CFU/mL) เลี้ยงร่วมกับเส้นใยอาหารที่ละลายน้ำปริมาณ 200 มิลลิกรัมในอาหารเหลว MRS และ MRS + L-Cysteine 0.05% ปริมาตร 10 มิลลิลิตร ที่อุณหภูมิ 37 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 0, 6, 24, 30 และ 48 ชั่วโมง เขย่าที่ความเร็ว 130 รอบต่อนาที

2) เมื่อครบกำหนดตามเวลาที่ตั้งไว้ ปิเปตสารละลายข้อ 1) 100 ไมโครลิตร ลงตรงกลางบนอาหารเลี้ยงเชื้อ (*L. plantarum TISTR* 2075 ลงบนอาหารแข็ง MRS และ *B. longum subsp. Longum* TISTR 2195 ลงบนอาหารแข็ง MRS+ L-Cysteine 0.05%) ใชแท่งแกวเกลี่ยเชื้อใหกระจายทั่วผิวหน้าของอาหารเลี้ยงเชื้อ ทำจำนวน 3 ซ้ำ

3) นับจำนวนโคโลนีของเชื้อ *L. plantarum TISTR* 2075 และ *B. longum subsp. Longum* TISTR 2195 จากจานเพาะเลี้ยงที่มีจำนวน 10-250 โคโลนี และคำนวณเปน CFU/mL

การวิเคราะห์ข้อมูล

นำข้อมูลที่วิเคราะห์ได้จากการทดลองหาค่าเฉลี่ย และส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน จากนั้นวิเคราะห์ความแปรปรวนทางเดียว (One-way ANOVA) ที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 โดยใช้โปรแกรมสำเร็จรูป

บทที่ 4

ผลการวิจัย

ผลการศึกษาวิธีการสกัดที่เหมาะสมในการสกัดเส้นใยอาหารละลายน้ำจากหน่อไม้เศษเหลือ 2 ประเภท ได้แก่ หน่อไม้เศษเหลือแบบชิ้น (ภาพ 9 (ก)) และแบบฝอย (ภาพ 9 (ข)) สกัดเส้นใยอาหารที่ละลายน้ำโดยการใช้เอนไซม์ ศึกษาผลของ 3 ปัจจัย ได้แก่ ระยะเวลาการสกัด (1, 2 และ 3 ชั่วโมง) ปริมาณของสารละลาย (300, 400 และ 500 มิลลิลิตร) อัตราส่วนเอนไซม์เซลลูเลสต่อไซลาเนส (1:1, 1:2 และ 2:1) แสดงผลการทดลองดังนี้

1. ผลการศึกษาองค์ประกอบทางกายภาพและเคมีโดยประมาณของหน่อไม้เศษเหลือของแบบชิ้นและแบบฝอย ได้แก่ ความชื้น แอคทีวิตี้ของน้ำ (a_w) ไขมัน เถ้า และ โปรตีน

2. ผลการศึกษาองค์ประกอบทางกายภาพและเคมีของเส้นใยอาหารละลายน้ำจากหน่อไม้เศษเหลือแบบชิ้นและแบบฝอยที่สกัดด้วยเอนไซม์ ได้แก่ ผลผลิตของเส้นใยอาหารละลายน้ำ แอคทีวิตี้ของน้ำ (aw) ค่าดัชนีความขาว ไขมัน เถ้า และ โปรตีน

3. ผลการศึกษาคุณสมบัติเชิงหน้าที่ของเส้นใยอาหารละลายน้ำที่สกัดด้วยเอนไซม์จากหน่อไม้เศษเหลือแบบชิ้นและฝอย ได้แก่ การละลายน้ำ (WS), การอุ้มน้ำ (WHC) และการอุ้มน้ำมัน (OBC)

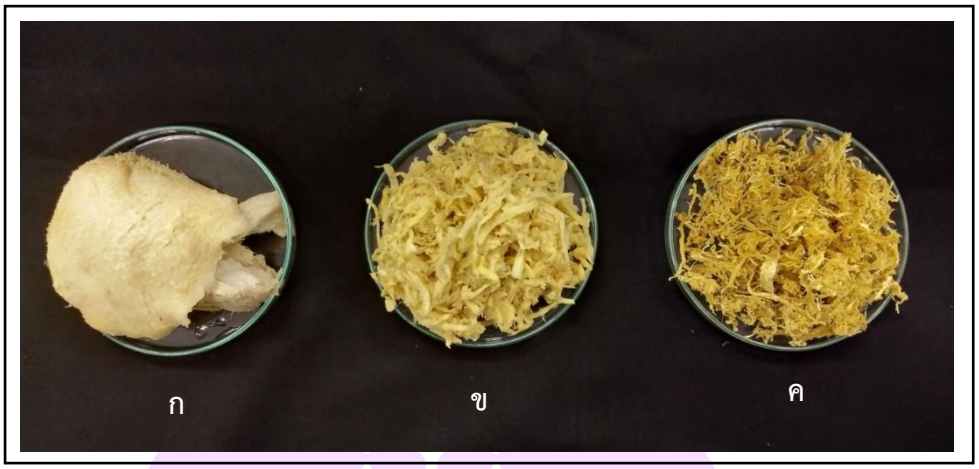
4. ผลการศึกษาคุณสมบัติการดูดซับน้ำตาลกลูโคส (glucose absorption capacity: GAC) ของเส้นใยอาหารละลายน้ำที่สกัดด้วยเอนไซม์จากหน่อไม้เศษเหลือแบบชิ้นและฝอย

5. ผลการวิเคราะห์ผลโดยวิธีพื้นผิวตอบสนอง (response surface methodology) ของเส้นใยอาหารละลายน้ำที่สกัดด้วยเอนไซม์จากหน่อไม้เศษเหลือแบบชิ้น และแบบฝอย

6. ผลการศึกษาลักษณะทางสัณฐานวิทยาด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (Scanning electron microscope; SEM)

7. ผลการศึกษาการเพาะเลี้ยงจุลินทรีย์ร่วมกับเส้นใยอาหารละลายน้ำแบบชิ้นและแบบฝอย

8. ผลเปรียบเทียบเส้นใยอาหารละลายน้ำ Treatment 1512 ที่สกัดได้จากหน่อไม้เศษเหลือแบบชิ้น และแบบฝอย



ภาพ 9 หน่อไม้เศษเหลือสด แบบชิ้นและแบบฝอย และหน่อไม้เศษเหลือที่ผ่านการอบแห้ง

หมายเหตุ: ก หมายถึง หน่อไม้เศษเหลือสดแบบชิ้น
ข หมายถึง หน่อไม้เศษเหลือสดแบบฝอย
ค หมายถึง หน่อไม้เศษเหลือที่ผ่านการอบแห้ง

ผลการศึกษาองค์ประกอบทางกายภาพและเคมีโดยประมาณของหน่อไม้เศษเหลือ

เมื่อนำตัวอย่างหน่อไม้เศษเหลือแบบชิ้นและแบบฝอย หั่นเป็นชิ้นขนาด 10 มิลลิเมตร นำไปวิเคราะห์ความชื้น และแอคทิวิตี้ของน้ำ (a_w) ผลการทดลองดังตาราง 3 และนำตัวอย่างหน่อไม้อบแห้งจากหน่อไม้เศษเหลือทั้งแบบชิ้นและแบบฝอย ที่ผ่านการอบด้วยอุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 12 ชั่วโมง นำมาปั่นให้ละเอียดนำมาวิเคราะห์ไขมัน โปรตีน และเถ้า (ตาราง 3)

ตาราง 3 ผลการศึกษาองค์ประกอบทางกายภาพและเคมีโดยประมาณของหน่อไม้เศษเหลือแบบชิ้น และแบบฝอย

องค์ประกอบทางกายภาพและเคมี	ร้อยละ	
	หน่อไม้เศษเหลือแบบชิ้น	หน่อไม้เศษเหลือแบบฝอย
ความชื้น	88.26 ± 0.50	77.56 ± 0.44
แอคทิวิตี้ของน้ำ (a_w)	0.99 ± 0.00	0.99 ± 0.00
ไขมัน	2.16 ± 0.19	1.59 ± 0.19
เถ้า	3.45 ± 0.05	2.51 ± 0.02
โปรตีน	9.72 ± 2.21	11.66 ± 1.53

จากตาราง 3 ผลขององค์ประกอบทางกายภาพและเคมีโดยประมาณของหน่อไม้เศษเหลือแบบชิ้นและแบบฝอย แสดงค่าความชื้น และแอคทิวิตี้ของน้ำ (a_w) ของหน่อไม้เศษเหลือแบบชิ้นเท่ากับ 88.26 และ 0.99 หน่อไม้เศษเหลือแบบฝอยเท่ากับ 77.56 และ 0.99 ตามลำดับ ค่าร้อยละไขมัน ร้อยละเถ้า และร้อยละโปรตีนของหน่อไม้เศษเหลือแบบชิ้นเท่ากับ 2.16, 3.45 และ 9.72 หน่อไม้เศษเหลือแบบฝอยเท่ากับ 1.59, 2.51 และ 11.66 ตามลำดับ

ผลการศึกษาองค์ประกอบทางกายภาพและเคมีของเส้นใยอาหารละลายน้ำจากหน่อไม้เศษเหลือแบบชิ้นและแบบฝอยที่สกัดด้วยเอนไซม์

สกัดเส้นใยอาหารที่ละลายน้ำโดยการใช้เอนไซม์เพื่อศึกษาผลของ 3 ปัจจัย ได้แก่ ระยะเวลาการสกัด (1, 2 และ 3 ชั่วโมง) ปริมาณของสารละลาย (300, 400 และ 500 มิลลิลิตร) อัตราส่วนเอนไซม์เซลลูเลสต่อไซลาเนส (1:1, 1:2 และ 2:1) โดยศึกษาตัวอย่างหน่อไม้เศษเหลือแบบชิ้นและแบบฝอยที่ผ่านการปั่นละเอียด 100 กรัม สกัดด้วยเอนไซม์เซลลูเลสต่อเอนไซม์ไซลาเนส เอนไซม์อะไมเลส เอนไซม์กลูโคซิเดส และเอนไซม์โปรติเอส ตามลำดับ ผลการศึกษาองค์ประกอบทางกายภาพและทางเคมีของเส้นใยอาหารละลายน้ำจากหน่อไม้เศษเหลือแบบชิ้น (ภาพ 10 ตาราง 4 และ 5 ตามลำดับ) และแบบฝอย (ตาราง 6 และ 7 ตามลำดับ)

ภาพ 10 เส้นใยอาหารละลายน้ำที่สกัดด้วยเอนไซม์จากหน่อไม้เศษเหลือแบบชิ้น

หมายเหตุ: ก หมายถึง เส้นใยอาหารละลายน้ำจาก treatment 1411
ข หมายถึง เส้นใยอาหารละลายน้ำจาก treatment 2411
ค หมายถึง เส้นใยอาหารละลายน้ำจาก treatment 3411

ตาราง 4 ผลการศึกษาองค์ประกอบทางกายภาพของเส้นใยอาหารละลายน้ำที่สกัดด้วยเอนไซม์จากหน่อไม้เศษเหลือแบบชิ้น

Treatment	ค่าเฉลี่ย ± ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน		
	ผลผลิต (กรัม ต่อ 100 กรัมน้ำหนักสด)	ค่าดัชนีความขาว	แอคทิวิตี้ของน้ำ (a_w)
1312	2.71^{de}± 0.06	90.92^{c} ± 0.27	0.42^{a} ± 0.01
1321	2.86^{de}± 0.24	90.83^{c} ± 0.04	0.44^{a} ± 0.01
1411	3.77^{de} ± 0.15	91.34^{b} ± 0.71	0.49^{c} ± 0.00
1512	4.27^{ab} ± 0.07	90.86^{c} ± 0.30	0.48^{c} ± 0.00
1521	4.27^{ab} ± 0.12	88.80^{de} ± 0.46	0.54^{e} ± 0.00
2311	2.39^{de} ± 0.22	92.59^{a} ± 0.13	0.44^{b} ± 0.00
2411	3.78^{cd} ± 0.32	84.59^{g} ± 0.35	0.55^{f} ± 0.00
2412	4.32^{ab} ± 0.46	82.20^{h} ± 0.47	0.57^{g} ± 0.00
2421	4.35^{ab}± 1.00	86.22^{fg} ± 0.33	0.62^{i} ± 0.00
2511	4.24^{ab} ± 0.36	88.72^{ef} ± 0.40	0.50^{d} ± 0.00
3312	3.16^{d}± 0.55	83.75^{g} ± 0.34	0.59^{h} ± 0.0
3321	2.27^{e} ± 0.22	89.97^{d} ± 0.52	0.51^{d} ± 0.00
3411	4.09^{dc}± 0.23	84.69^{g} ± 0.46	0.55^{f} ± 0.00
3512	5.10^{a}± 0.63	87.98^{ef} ± 0.34	0.55^{f} ± 0.00
3521	5.02^{a}± 0.38	84.61^{g} ± 0.34	0.62^{i} ± 0.00

หมายเหตุ: a–i หมายถึง ตัวอักษรที่แตกต่างกันในคอลัมน์มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ

จากตาราง 4 ผลการศึกษาองค์ประกอบทางกายภาพ และเคมีของเส้นใยอาหารละลายน้ำที่สกัดด้วยเอนไซม์จากหน่อไม้เศษเหลือแบบชิ้น พบว่าผลผลิต T3512 และ T3521 มีผลผลิตของเส้นใยอาหารละลายน้ำที่สูงเท่ากับ 5.10 กรัม และ 5.02 กรัมตามลำดับ แต่ไม่แตกต่างกันอย่างนัยสำคัญทางสถิติใน T1512, T1521, T2412, T2421 และ T2511 มีผลผลิตเท่ากับ 4.27, 4.27, 4.32, 4.35 และ 4.24 ตามลำดับ และผลผลิตของเส้นใยอาหารละลายน้ำน้อยที่สุดใน T3321 เท่ากับ 2.27 กรัม ค่าดัชนีความขาวสูงสุดของ T2311 มีค่าเท่ากับ 92.59 ค่าดัชนีความขาวน้อยสุดของ T2412 เท่ากับ 82.20 และแอคทิวิตี้ของน้ำ (a_w) สูงใน T2421 และ T3521 มีค่าเท่ากับ 0.62 แอคทิวิตี้ของน้ำน้อยสุดใน T1312 และ T1321 มีค่าเท่ากับ 0.42 และ 0.44 ตามลำดับ

ตาราง 5 ผลการศึกษาองค์ประกอบทางเคมีของเส้นใยอาหารละลายน้ำที่สกัดด้วยเอนไซม์จากหน่อไม้เศษเหลือแบบชิ้น

Treatment	ร้อยละ		
	ไขมัน	เถ้า	โปรตีน
1312	$0.36^{ef} \pm 0.09$	$65.67^{a} \pm 0.23$	$6.70^{fg} \pm 0.91$
1321	$0.38^{ef} \pm 0.03$	$66.47^{a} \pm 0.03$	$7.47^{g} \pm 1.01$
1411	$0.01^{a} \pm 0.01$	$74.55^{f} \pm 0.17$	$5.71^{ef} \pm 0.67$
1512	$0.17^{bc} \pm 0.01$	$71.36^{c} \pm 0.14$	$4.17^{de} \pm 0.38$
1521	$0.11^{ab} \pm 0.04$	$69.57^{b} \pm 0.05$	$1.92^{ab} \pm 0.18$
2311	$0.04^{a} \pm 0.02$	$74.40^{ef} \pm 0.15$	$3.40^{bd} \pm 0.50$
2411	$0.46^{fg} \pm 0.02$	$73.45^{df} \pm 0.92$	$4.10^{de} \pm 0.67$
2412	$0.61^{h} \pm 0.02$	$73.13^{d} \pm 0.85$	$2.33^{abc} \pm 0.06$
2421	$0.55^{gh} \pm 0.02$	$73.41^{de} \pm 0.18$	$1.78^{ab} \pm 0.47$
2511	$0.34^{de} \pm 0.07$	$80.14^{g} \pm 0.10$	$1.57^{a} \pm 0.06$
3312	$0.21^{bc} \pm 0.01$	$69.85^{b} \pm 0.20$	$4.83^{de} \pm 0.35$
3321	$0.23^{cd} \pm 0.04$	$69.55^{b} \pm 0.33$	$3.42^{bd} \pm 0.65$
3411	$0.19^{bc} \pm 0.02$	$72.43^{cd} \pm 0.34$	$3.46^{bd} \pm 0.48$
3512	$0.24^{cd} \pm 0.00$	$71.39^{c} \pm 0.19$	$3.94^{cd} \pm 0.67$
3521	$0.28^{ce} \pm 0.03$	$74.46^{ef} \pm 0.29$	$3.33^{bd} \pm 0.67$

หมายเหตุ: a–h หมายถึง ตัวอักษรที่แตกต่างกันในคอลัมน์มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ

จากตาราง 5 แสดงผลขององค์ประกอบทางเคมีของเส้นใยอาหารละลายน้ำที่สกัดด้วยเอนไซม์จากหน่อไม้เศษเหลือแบบชิ้นแสดงผลการทดลอง ได้แก่ ไขมัน เถ้าและโปรตีน พบว่าร้อยละไขมันน้อยสุดคือ T1411 และ T2311 มีค่าเท่ากับ 0.01 และ 0.04 ตามลำดับ ไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติใน T1521 มีค่าเท่ากับ 0.11 ร้อยละของเถ้าน้อยสุดคือ T1312 และ T1321 มีค่าเท่ากับ 65.67 และ 66.47 ตามลำดับ ร้อยละโปรตีนน้อยสุดคือ T2511 เท่ากับ 1.57 และไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติใน T2421, T1521 และ T2412 มีค่าเท่ากับ 1.78, 1.92 และ 2.33 ตามลำดับ

ตาราง 6 ผลการศึกษาองค์ประกอบทางกายภาพของเส้นใยอาหารละลายน้ำที่สกัดด้วยเอนไซม์จากหน่อไม้เศษเหลือแบบฝอย

Treatment	ผลผลิต (กรัมต่อ 100 กรัมน้ำหนักสด)	ค่าดัชนีความขาว	แอคทิวิตี้ของน้ำ (a_w)
1312	$3.69^{e} \pm 0.06$	$84.63^{bc} \pm 0.19$	$0.62^{b} \pm 0.00$
1321	$3.56^{e} \pm 0.35$	$83.70^{bc} \pm 0.42$	$0.56^{b} \pm 0.07$
1411	$2.97^{e} \pm 0.90$	$91.14^{ab} \pm 0.07$	$0.45^{a} \pm 0.01$
1512	$4.80^{de} \pm 0.40$	$93.50^{a} \pm 0.16$	$0.43^{a} \pm 0.01$
1521	$4.66^{de} \pm 0.12$	$91.01^{ab} \pm 0.11$	$0.43^{a} \pm 0.01$
2311	$3.39^{e} \pm 0.08$	$81.99^{df} \pm 0.09$	$0.60^{b} \pm 0.01$
2411	$5.12^{ce} \pm 0.07$	$82.08^{ef} \pm 0.21$	$0.62^{b} \pm 0.00$
2412	$4.78^{de} \pm 0.08$	$82.11^{ef} \pm 0.24$	$0.61^{b} \pm 0.01$
2421	$5.51^{bcd} \pm 0.35$	$83.47^{cde} \pm 0.35$	$0.61^{b} \pm 0.00$
2511	$6.67^{a} \pm 0.05$	$79.69^{h} \pm 0.28$	$0.61^{b} \pm 0.00$
3312	$3.40^{e} \pm 0.50$	$82.02^{ef} \pm 0.30$	$0.59^{b} \pm 0.00$
3321	$3.62^{e} \pm 0.46$	$81.34^{f} \pm 0.20$	$0.59^{b} \pm 0.05$
3411	$4.75^{de} \pm 0.00$	$84.73^{bc} \pm 0.25$	$0.57^{b} \pm 0.02$
3512	$5.82^{bc} \pm 0.41$	$83.32^{cd} \pm 0.12$	$0.61^{b} \pm 0.00$
3521	$6.29^{b} \pm 0.91$	$80.02^{g} \pm 1.66$	$0.61^{b} \pm 0.00$

หมายเหตุ: a–h หมายถึง ตัวอักษรที่แตกต่างกันในคอลัมน์มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ

จากตาราง 6 ผลการศึกษาองค์ประกอบทางกายภาพ และเคมีของเส้นใยอาหารละลายน้ำที่สกัดด้วยเอนไซม์จากหน่อไม้เศษเหลือแบบฝอย พบว่าผลผลิต T2511 มีผลผลิตของเส้นใยอาหารละลายน้ำที่สูงเท่ากับ 6.67 กรัม มีผลผลิตน้อยสุดของ T1411 เท่ากับ 2.97 กรัม ค่าดัชนีความขาวสูงสุดของ T1512 มีค่าเท่ากับ 93.50 และไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติใน T1411 และ T1521 มีค่าเท่ากับ 91.14 และ 91.01 ตามลำดับ ค่าดัชนีความขาวน้อยสุดของ T2511 เท่ากับ 79.69 และแอคทิวิตี้ของน้ำน้อยสุดและไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติใน T1411, T1512 และ T1521 มีค่าเท่ากับ 0.45, 0.43 และ 0.43 ตามลำดับ

ตาราง 7 ผลการศึกษาองค์ประกอบทางเคมีของเส้นใยอาหารละลายน้ำที่สกัดด้วยเอนไซม์จากหน่อไม้เศษเหลือแบบฝอย

Treatment	ร้อยละ		
	โปรตีน	ไขมัน	เถ้า
1312	$4.04^{fg} \pm 0.22$	$0.14^{ac} \pm 0.03$	$62.99^{e} \pm 1.14$
1321	$3.91^{eg} \pm 0.26$	$0.15^{ac} \pm 0.12$	$70.33^{f} \pm 1.93$
1411	$4.74^{g} \pm 0.49$	$0.29^{ac} \pm 0.01$	$47.62^{b} \pm 1.76$
1512	$3.39^{cef} \pm 0.56$	$0.40^{ce} \pm 0.02$	$43.86^{a} \pm 3.00$
1521	$3.78^{eg} \pm 0.49$	$0.35^{bce} \pm 0.08$	$69.70^{f} \pm 0.14$
2311	$2.36^{acd} \pm 0.01$	$0.28^{ac} \pm 0.06$	$55.49^{c} \pm 0.15$
2411	$2.58^{acd} \pm 0.14$	$0.32^{bcd} \pm 0.07$	$59.60^{de} \pm 0.03$
2412	$2.69^{acd} \pm 0.54$	$0.25^{ac} \pm 0.01$	$56.43^{cd} \pm 0.04$
2421	$2.43^{acd} \pm 0.19$	$0.60^{e} \pm 0.06$	$55.71^{c} \pm 0.07$
2511	$1.61^{a} \pm 0.20$	$0.57^{de} \pm 0.25$	$59.84^{de} \pm 0.20$
3312	$3.41^{def} \pm 0.35$	$0.10^{ab} \pm 0.00$	$57.49^{cd} \pm 0.76$
3321	$3.23^{cef} \pm 0.50$	$0.39^{ab} \pm 0.14$	$56.67^{cd} \pm 1.00$
3411	$2.34^{ac} \pm 0.13$	$0.04^{a} \pm 0.00$	$59.64^{de} \pm 0.29$
3512	$2.96^{bce} \pm 0.44$	$0.04^{a} \pm 0.00$	$57.99^{cd} \pm 1.01$
3521	$1.98^{ab} \pm 0.08$	$0.39^{e} \pm 0.14$	$55.30^{c} \pm 0.15$

หมายเหตุ: a–g หมายถึง ตัวอักษรที่แตกต่างกันในคอลัมน์มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ

จากตาราง 7 ผลขององค์ประกอบทางเคมี ได้แก่ โปรตีน ไขมัน และเถ้าของเส้นใยอาหารละลายน้ำที่สกัดด้วยเอนไซม์จากหน่อไม้เศษเหลือแบบชิ้นแสดงผลการทดลอง พบว่าร้อยละไขมันน้อยสุดคือ T3411 และ T3512 มีค่าเท่ากับ 0.04 และร้อยละไขมันไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติใน T1312, 1321, 1411, 2311, 3312 และ 3321 มีค่าเท่ากับ 0.14, 0.15, 0.29, 0.28, 0.10 และ 0.39 ตามลำดับ ร้อยละเถ้าน้อยสุดคือ T1512 มีค่าเท่ากับ 43.86 ร้อยละโปรตีนน้อยสุดคือ T2511 เท่ากับ 1.61 และไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติใน T2311, T2411, T2412, T2421, T3411 และ T3521 มีค่าเท่ากับ 2.36, 2.58, 2.69, 2.43, 2.34 และ 1.96 ตามลำดับ

ผลการศึกษาคุณสมบัติเชิงหน้าที่ของเส้นใยอาหารละลายน้ำที่สกัดด้วยเอนไซม์จากหน่อไม้เศษเหลือแบบชิ้นและฝอย ได้แก่ การละลายน้ำ (WS), การอุ้มน้ำ (WHC) และการอุ้มน้ำมัน (OBC)

คุณสมบัติเชิงหน้าที่ของเส้นใยอาหารละลายน้ำที่สกัดด้วยเอนไซม์จากหน่อไม้เศษเหลือแบบชิ้นและฝอย ได้แก่ การละลายน้ำ การอุ้มน้ำ และการอุ้มน้ำมัน ผลการทดลองแสดงดังตาราง 8 (แบบชิ้น) และ ตาราง 9 (แบบฝอย)

ตาราง 8 แสดงผลการศึกษาคุณสมบัติเชิงหน้าที่ของเส้นใยอาหารละลายน้ำที่สกัดด้วยเอนไซม์จากหน่อไม้เศษเหลือแบบชิ้น ได้แก่ การละลายน้ำ (WS) การอุ้มน้ำ (WHC) และการอุ้มน้ำมัน (OBC) ผลพบว่า เส้นใยอาหารละลายน้ำจาก T3321 มีคุณสมบัติการละลายน้ำของสูงสุด มีค่าเท่ากับ 0.81 กรัมต่อกรัม โดยไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติใน Treatment อื่น ๆ ยกเว้น T2511 ที่มีค่าการละลายน้ำน้อยที่สุดเท่ากับ 0.54 กรัมต่อกรัม คุณสมบัติการอุ้มน้ำของเส้นใยอาหารละลายน้ำจาก T1321 มีค่าสูงสุดเท่ากับ 22.45 กรัมต่อกรัมและไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติใน Treatment อื่น ๆ ยกเว้น T2421 ที่มีค่าการอุ้มน้ำของเส้นใยอาหารน้อยที่สุดเท่ากับ 19.78 กรัมต่อกรัม คุณสมบัติการอุ้มน้ำมันของเส้นใยอาหารที่ละลายน้ำจาก T3312 มีค่าสูงสุดเท่ากับ 12.30 กรัมต่อกรัม และไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติใน T1312, T1321 และ T2311 โดยมีค่าการอุ้มน้ำมันเท่ากับ 12.14, 12.10 และ 12.19 กรัมต่อกรัม ตามลำดับ

ตาราง 8 ผลการศึกษาคุณสมบัติเชิงหน้าที่ของเส้นใยอาหารละลายน้ำที่สกัดด้วยเอนไซม์จากหน่อไม้เศษเหลือแบบชิ้น

Treatment	การละลายน้ำ (กรัม/กรัม)	การอุ้มน้ำ (กรัม/กรัม)	การอุ้มน้ำมัน (กรัม/กรัม)
1312	$0.76^{ab} \pm 0.01$	$21.68^{ab} \pm 1.01$	$12.14^{abc} \pm 0.15$
1321	$0.68^{ab} \pm 0.01$	$22.45^{a} \pm 0.41$	$12.10^{abc} \pm 0.09$
1411	$0.71^{ab} \pm 0.03$	$21.14^{ac} \pm 0.64$	$11.85^{bde} \pm 0.01$
1512	$0.76^{ab} \pm 0.01$	$20.94^{ac} \pm 0.87$	$11.92^{bde} \pm 0.13$
1521	$0.77^{ab} \pm 0.01$	$20.70^{ac} \pm 0.70$	$11.97^{bd} \pm 0.14$
2311	$0.77^{ab} \pm 0.00$	$21.05^{ac} \pm 0.24$	$12.19^{ab} \pm 0.09$
2411	$0.68^{ab} \pm 0.01$	$21.90^{ab} \pm 1.03$	$12.01^{bd} \pm 0.12$
2412	$0.62^{ab} \pm 0.00$	$20.39^{bc} \pm 0.80$	$11.49^{ef} \pm 0.11$

หมายเหตุ: a–f หมายถึง ตัวอักษรที่แตกต่างกันในคอลัมน์มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ

ตาราง 8 (ต่อ)

Treatment	การละลายน้ำ (กรัม/กรัม)	การอุ้มน้ำ (กรัม/กรัม)	การอุ้มน้ำมัน (กรัม/กรัม)
2421	$0.66^{ab} \pm 0.00$	$19.78^{c} \pm 0.49$	$11.23^{f} \pm 0.25$
2511	$0.54^{b} \pm 0.34$	$20.61^{ac} \pm 0.64$	$11.62^{df} \pm 0.25$
3312	$0.78^{ab} \pm 0.01$	$20.87^{ac} \pm 0.43$	$12.30^{a} \pm 0.17$
3321	$0.81^{a} \pm 0.01$	$21.78^{ab} \pm 0.11$	$11.88^{bde} \pm 0.10$
3411	$0.70^{ab} \pm 0.02$	$20.93^{ac} \pm 0.25$	$11.75^{bf} \pm 0.05$
3512	$0.67^{ab} \pm 0.01$	$21.56^{ac} \pm 0.53$	$11.70^{cdf} \pm 0.20$
3521	$0.69^{ab} \pm 0.00$	$21.30^{ac} \pm 0.20$	$11.50^{ef} \pm 0.20$

ตาราง 9 แสดงผลการศึกษาคุณสมบัติเชิงหน้าที่ของเส้นใยอาหารละลายน้ำที่สกัดด้วยเอนไซม์จากหน่อไม้เศษเหลือแบบฝอย ได้แก่ การละลายน้ำ (WS) การอุ้มน้ำ (WHC) และการอุ้มน้ำมัน (OBC) พบว่า คุณสมบัติการละลายน้ำของเส้นใยอาหารที่ละลายน้ำสูงสุด T1512 เท่ากับ 0.82 กรัมต่อกรัม ไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติใน T1411, T1521 และ T2411 มีค่าเท่ากับ 0.77, 0.76 และ 0.72 ตามลำดับ การละลายน้ำของเส้นใยอาหารน้อยสุดคือ T2421 และ T3521 เท่ากับ 0.62 และ 0.60 กรัมต่อกรัม ตามลำดับ คุณสมบัติการอุ้มน้ำของเส้นใยอาหารที่ละลายน้ำ ผลการทดลองพบว่าไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ค่าการอุ้มน้ำสูงสุดคือ T1321 เท่ากับ 21.44 กรัมต่อกรัม และการอุ้มน้ำน้อยสุดคือ T1521 เท่ากับ 20.46 กรัมต่อกรัม คุณสมบัติการอุ้มน้ำมันของเส้นใยอาหารที่ละลายน้ำสูงสุดคือ T1411 เท่ากับ 12.80 กรัมต่อกรัม และไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติใน T1321, T1512, T1521, T2311, T2411, T2412, T2421, T3312, T3321, T3411 และ T3521 การอุ้มน้ำมันของเส้นใยอาหารละลายน้ำน้อยที่สุด T1312, T2511 และ T3512 เท่ากับ 11.21, 11.26 และ 11.30 กรัมต่อกรัม ตามลำดับ

ตาราง 9 ผลการศึกษาคุณสมบัติเชิงหน้าที่ของเส้นใยอาหารละลายน้ำที่สกัดด้วยเอนไซม์จากหน่อไม้เศษเหลือแบบฝอย

Treatment	การละลายน้ำ (กรัม/กรัม)	การอุ้มน้ำ (กรัม/กรัม)	การอุ้มน้ำมัน (กรัม/กรัม)
1312	$0.67^{bc} \pm 0.05$	$20.75^{a} \pm 0.87$	$11.21^{b} \pm 0.13$
1321	$0.68^{bc} \pm 0.04$	$21.44^{a} \pm 1.82$	$12.01^{ab} \pm 0.62$
1411	$0.77^{ab} \pm 0.02$	$20.72^{a} \pm 0.32$	$12.80^{a} \pm 0.58$
1512	$0.82^{a} \pm 0.05$	$20.99^{a} \pm 0.31$	$12.28^{ab} \pm 0.14$
1521	$0.76^{ab} \pm 0.03$	$20.49^{a} \pm 0.30$	$11.91^{ab} \pm 0.19$
2311	$0.69^{bc} \pm 0.05$	$21.14^{a} \pm 0.71$	$11.80^{ab} \pm 0.69$
2411	$0.72^{ac} \pm 0.04$	$20.71^{a} \pm 0.44$	$11.97^{ab} \pm 0.92$
2412	$0.66^{bc} \pm 0.05$	$20.68^{a} \pm 0.16$	$11.49^{ab} \pm 0.44$
2421	$0.62^{c} \pm 0.06$	$21.04^{a} \pm 0.07$	$11.42^{ab} \pm 0.68$
2511	$0.65^{bc} \pm 0.06$	$21.12^{a} \pm 0.62$	$11.26^{b} \pm 0.61$
3312	$0.67^{bc} \pm 0.04$	$20.55^{a} \pm 0.55$	$11.58^{ab} \pm 0.29$
3321	$0.67^{bc} \pm 0.05$	$21.08^{a} \pm 0.40$	$11.79^{ab} \pm 0.07$
3411	$0.68^{bc} \pm 0.02$	$21.15^{a} \pm 0.56$	$11.49^{ab} \pm 0.28$
3512	$0.67^{bc} \pm 0.04$	$20.90^{a} \pm 0.46$	$11.30^{b} \pm 0.44$
3521	$0.60^{c} \pm 0.04$	$21.05^{a} \pm 0.31$	$11.33^{ab} \pm 0.48$

หมายเหตุ: a–c หมายถึง ตัวอักษรที่แตกต่างกันในคอลัมน์มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ

ผลการศึกษาคุณสมบัติการดูดซับน้ำตาลกลูโคส (glucose absorption capacity: GAC) ของเส้นใยอาหารละลายน้ำที่สกัดด้วยเอนไซม์จากหน่อไม้เศษเหลือแบบชิ้นและแบบฝอย

ศึกษาคุณสมบัติการดูดซับน้ำตาลกลูโคสของเส้นใยอาหารละลายน้ำที่สกัดด้วยเอนไซม์จากหน่อไม้เศษเหลือแบบชิ้น (ตาราง 10) และแบบฝอย (ตาราง 11)

จากตาราง 10 ผลการศึกษาความสามารถในการดูดซับกลูโคสของเส้นใยอาหารละลายน้ำที่สกัดด้วยเอนไซม์จากหน่อไม้เศษเหลือแบบชิ้น โดยศึกษาความเข้มข้นของกลูโคส 4 ระดับ ได้แก่ 10, 50, 100 และ 200 มิลลิโมลต่อลิตร พบว่า ระดับความเข้มข้นกลูโคส 10 มิลลิโมลต่อลิตร เส้นใยอาหารละลายน้ำสามารถดูดซับกลูโคสสูงสุดคือ T1521 เท่ากับ 0.2054 มิลลิโมลต่อกรัม ความเข้มข้นกลูโคส 50 มิลลิโมลต่อลิตรเส้นใยอาหารละลายน้ำสามารถดูดซับกลูโคสสูงสุดคือ T2412 เท่ากับ 0.8993 มิลลิโมลต่อกรัม และไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติใน T3411 เท่ากับ 0.8254 มิลลิโมลต่อกรัม ความเข้มข้นกลูโคส 100 มิลลิโมลต่อลิตร เส้นใยอาหารละลายน้ำสามารถดูดซับกลูโคสสูงสุดคือ T2411 เท่ากับ 6.4677 มิลลิโมลต่อกรัม ความเข้มข้นกลูโคส 200 มิลลิโมลต่อลิตร เส้นใยอาหารละลายน้ำสามารถดูดซับกลูโคสสูงสุดคือ T2411 เท่ากับ 15.5108 มิลลิโมลต่อกรัม และไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติใน T1321 เท่ากับ 13.8106 มิลลิโมลต่อกรัม

ตาราง 10 ผลการศึกษาคุณสมบัติการดูดซับกลูโคสของเส้นใยอาหารละลายน้ำที่สกัดด้วยเอนไซม์จากหน่อไม้เศษเหลือแบบชิ้น

Treatment	การดูดซับกลูโคส (มิลลิโมลต่อกรัม)			
	10	50	100	200
1312	$0.1016^{def} \pm 0.0255$	$0.4355^{cd} \pm 0.0335$	$1.4554^{g} \pm 0.0075$	$10.6625^{h} \pm 0.0310$
1321	$0.0947^{efg} \pm 0.0070$	$0.2316^{d} \pm 0.0285$	$1.6046^{fg} \pm 0.0040$	$13.8106^{ab} \pm 0.0430$
1411	$0.1967^{bc} \pm 0.0060$	$0.6114^{ad} \pm 0.0150$	$2.6036^{bd} \pm 0.0380$	$13.2688^{cde} \pm 0.0370$
1512	$0.1039^{def} \pm 0.0380$	$0.3030^{d} \pm 0.0045$	$1.9528^{ef} \pm 0.0045$	$13.2434^{bc} \pm 0.0061$
1521	$0.2054^{a} \pm 0.0065$	$0.6878^{ac} \pm 0.0200$	$2.7073^{bc} \pm 0.0365$	$13.2000^{cd} \pm 0.0100$
2311	$0.1911^{bc} \pm 0.0435$	$0.4712^{bcd} \pm 0.0315$	$2.3721^{cde} \pm 0.0215$	$12.7522^{f} \pm 0.0260$
2411	$0.1156^{def} \pm 0.0285$	$0.4019^{f} \pm 0.0035$	$6.4677^{a} \pm 0.0145$	$15.5108^{a} \pm 0.0080$
2412	$0.1717^{bcd} \pm 0.0065$	$0.8993^{a} \pm 0.0135$	$2.2167^{de} \pm 0.0440$	$13.3205^{cde} \pm 0.0165$
2421	$0.0897^{efg} \pm 0.0260$	$0.3106^{cd} \pm 0.0230$	$2.0841^{ef} \pm 0.0070$	$13.1345^{df} \pm 0.0110$
2511	$0.1508^{be} \pm 0.0300$	$0.5273^{ad} \pm 0.0145$	$2.1657^{de} \pm 0.0770$	$13.4403^{cde} \pm 0.0180$
3312	$0.0310^{gh} \pm 0.0105$	$0.1883^{e} \pm 0.0030$	$4.3299^{b} \pm 0.0535$	$14.4547^{ef} \pm 0.0310$
3321	$0.0596^{fh} \pm 0.0065$	$0.0558^{e} \pm 0.0115$	$3.9874^{be} \pm 0.0065$	$13.5331^{g} \pm 0.0630$
3411	$0.1340^{ce} \pm 0.0265$	$0.8254^{ab} \pm 0.0000$	$2.4919^{be} \pm 0.0290$	$13.5219^{cd} \pm 0.0280$
3512	$0.0076^{h} \pm 0.0115$	$0.0986^{e} \pm 0.0690$	$4.1036^{bd} \pm 0.030$	$13.7064^{g} \pm 0.0015$
3521	$0.0550^{fh} \pm 0.0170$	$0.2923^{e} \pm 0.0045$	$4.2402^{bc} \pm 0.0225$	$14.9460^{bc} \pm 0.0255$

หมายเหตุ: a–h หมายถึง ตัวอักษรที่แตกต่างกันในคอลัมน์มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ

ตาราง 11 ผลการศึกษาคุณสมบัติการดูดซับกลูโคสของเส้นใยอาหารละลายน้ำที่สกัดด้วยเอนไซม์จากหน่อไม้เศษเหลือแบบฝอย

Treatment	การดูดซับกลูโคส (มิลลิโมลต่อกรัม)			
	10	50	100	200
1312	$0.0774^{i} \pm 0.0010$	$2.6645^{d} \pm 0.0001$	$7.0299^{c} \pm 0.0002$	$16.3783^{a} \pm 0.0030$
1321	$0.0550^{j} \pm 0.0025$	$2.2863^{f} \pm 0.0100$	$7.0436^{bc} \pm 0.0008$	$15.8405^{def} \pm 0.0210$
1411	$0.0805^{i} \pm 0.0010$	$2.7501^{cd} \pm 0.0010$	$7.4176^{a} \pm 0.0004$	$15.8605^{def} \pm 0.0125$
1512	$0.1365^{h} \pm 0.0020$	$2.5717^{de} \pm 0.0076$	$6.9398^{c} \pm 0.0200$	$15.3973^{fh} \pm 0.0140$
1521	$0.1376^{h} \pm 0.0020$	$3.0580^{ab} \pm 0.0045$	$7.2539^{ab} \pm 0.0005$	$15.8322^{cf} \pm 0.0126$
2311	$0.5362^{fg} \pm 0.0025$	$2.3841^{ef} \pm 0.0091$	$7.3240^{ac} \pm 0.0001$	$16.3916^{acd} \pm 0.0013$
2411	$0.5667^{cd} \pm 0.0050$	$2.3658^{ef} \pm 0.0495$	$7.3179^{ac} \pm 0.0220$	$16.5995^{a} \pm 0.0240$
2412	$0.9439^{a} \pm 0.0006$	$0.7490^{fg} \pm 0.0050$	$7.2613^{bc} \pm 0.0225$	$16.4752^{ac} \pm 0.0095$
2421	$0.8532^{b} \pm 0.0010$	$0.8203^{bc} \pm 0.0050$	$5.0802^{e} \pm 0.0035$	$16.0674^{defg} \pm 0.0085$
2511	$0.5219^{g} \pm 0.0000$	$0.7704^{fg} \pm 0.0050$	$5.5869^{f} \pm 0.0060$	$16.2448^{bce} \pm 0.0022$
3312	$0.1437^{h} \pm 0.0010$	$3.2058^{a} \pm 0.0180$	$6.8041^{d} \pm 0.0001$	$15.7391^{gh} \pm 0.0005$
3321	$0.1304^{h} \pm 0.0030$	$3.2078^{a} \pm 0.0047$	$7.2842^{d} \pm 0.0110$	$15.9593^{efg} \pm 0.0015$
3411	$0.5382^{de} \pm 0.0170$	$1.9703^{gh} \pm 0.0215$	$6.7628^{d} \pm 0.0275$	$16.0450^{cf} \pm 0.0352$
3512	$0.5580^{de} \pm 0.0057$	$1.8500^{h} \pm 0.0050$	$6.7796^{d} \pm 0.0507$	$15.7473^{h} \pm 0.0859$
3521	$0.5795^{c} \pm 0.0015$	$1.9539^{gh} \pm 0.1340$	$7.3179^{ac} \pm 0.0050$	$16.4038^{ab} \pm 0.0410$

หมายเหตุ: a–h หมายถึง ตัวอักษรที่แตกต่างกันในคอลัมน์มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ

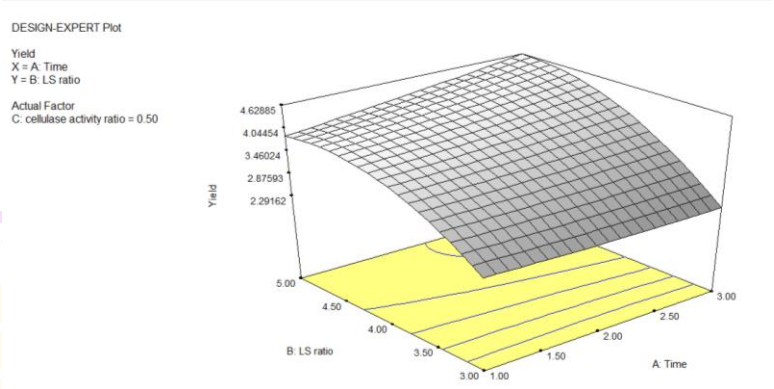
จากตาราง 11 แสดงผลการศึกษาความสามารถในการดูดซับกลูโคสของเส้นใยอาหารละลายน้ำที่สกัดด้วยเอนไซม์จากหน่อไม้เศษเหลือแบบชิ้น ศึกษาความเข้มข้นของกลูโคส 4 ระดับ ได้แก่ 10, 50, 100 และ 200 มิลลิโมลต่อลิตร พบว่า ที่ระดับความเข้มข้นกลูโคส 10 มิลลิโมลต่อลิตร เส้นใยอาหารละลายน้ำจาก T2412 สามารถดูดซับกลูโคสสูงสุด มีค่าเท่ากับ 0.9436 มิลลิโมลต่อกรัม ความเข้มข้นกลูโคส 50 มิลลิโมลต่อลิตร เส้นใยอาหารละลายน้ำสามารถดูดซับกลูโคสสูงสุดคือ T3321 เท่ากับ 3.2078 มิลลิโมลต่อกรัม และไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติใน T1521 เท่ากับ 3.0580 มิลลิโมลต่อกรัม ความเข้มข้นกลูโคส 100 มิลลิโมลต่อลิตร เส้นใยอาหารละลายน้ำสามารถดูดซับกลูโคสสูงสุดคือ T1411 เท่ากับ 7.4176 มิลลิโมลต่อกรัม และไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติใน T1521, T2311, T2411 และ T3521 เท่ากับ 7.2539, 7.3240, 7.3179 และ 7.3179 มิลลิโมลต่อกรัมตามลำดับ ความเข้มข้นกลูโคส 200 มิลลิโมลต่อลิตร เส้นใยอาหารละลายน้ำสามารถดูดซับกลูโคสสูงสุดคือ T1312 และ T2411 เท่ากับ 16.3783 และ 16.5995 มิลลิโมลต่อกรัม ตามลำดับ และไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติใน T2311, T2412 และ T3521 ซึ่งมีค่าเท่ากับ 16.3916, 16.4752 และ 16.4038 มิลลิโมลต่อกรัม ตามลำดับ

ผลการวิเคราะห์ผลโดยวิธีพื้นผิวตอบสนอง (response surface methodology)

5.1 ผลการวิเคราะห์ผลโดยวิธีพื้นผิวตอบสนอง (response surface methodology) **ของเส้นใยอาหารละลายน้ำที่สกัดด้วยเอนไซม์จากหน่อไม้เศษเหลือแบบชิ้น**

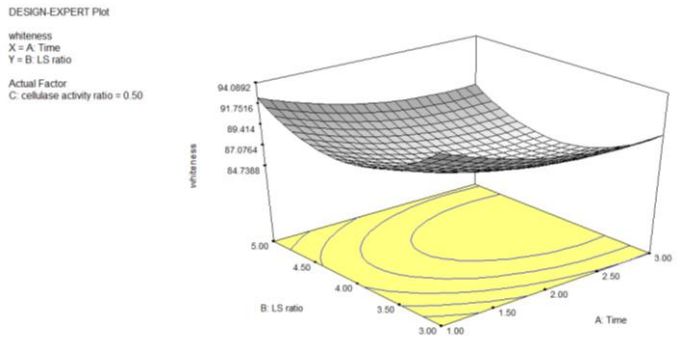
กราฟพื้นที่ผิวตอบสนองแสดงความสัมพันธ์ระหว่างเวลาการสกัด ปริมาณสารละลาย และอัตราส่วนของเอนไซม์ ที่มีผลต่อปริมาณผลผลิตของเส้นใยอาหารละลายน้ำ ค่าดัชนีความขาว แอคทิวิตี้ของน้ำ ร้อยละโปรตีน ไขมัน เถ้า คุณสมบัติละลายน้ำ คุณสมบัติอุ้มน้ำ และคุณสมบัติอุ้มน้ำมัน แสดงดังภาพ 11 –19

จากภาพ 11 กราฟรูปแสดงความสัมพันธ์ระหว่างเวลาการสกัด ปริมาณสารละลาย และอัตราส่วนของเอนไซม์ต่อปริมาณผลผลิตของเส้นใยอาหารละลายน้ำ พบว่า เมื่อระยะเวลาในการสกัดและปริมาณสารละลายในการสกัดเพิ่มขึ้น ในอัตราส่วนของเอนไซม์ที่แตกต่างกันนั้นมีผลให้ผลผลิตของเส้นใยอาหารละลายน้ำมีปริมาณเพิ่มขึ้นตามระยะเวลาการสกัดและปริมาณสารละลาย



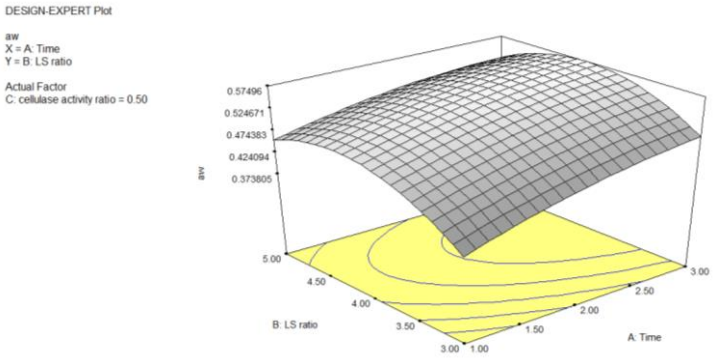
ภาพ 11 ความสัมพันธ์ระหว่างเวลาการสกัด ปริมาณสารละลาย และอัตราส่วนของเอนไซม์ต่อผลผลิตของเส้นใยอาหารละลายน้ำแบบชิ้น

จากภาพ 12 กราฟรูปแสดงความสัมพันธ์ระหว่างเวลาการสกัด ปริมาณสารละลาย และอัตราส่วนของเอนไซม์ต่อค่าดัชนีความขาว พบว่า ระยะเวลาในการสกัดที่น้อย (1 ชั่วโมง) ร่วมกับปริมาณสารละลายที่เพิ่มขึ้น จะส่งผลให้ผลค่าดัชนีความขาวของเส้นใยอาหารละลายน้ำมีค่าดัชนีความขาวสูงขึ้น



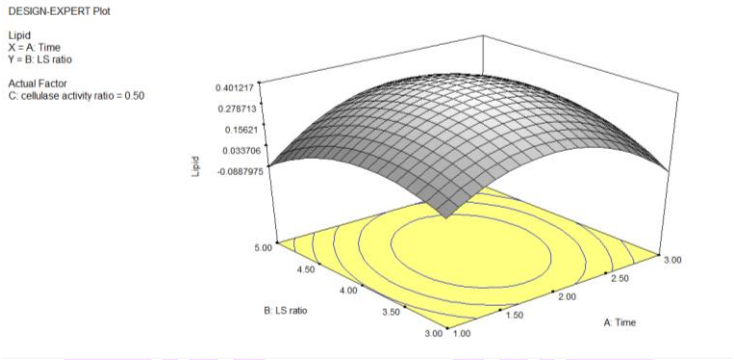
ภาพ 12 ความสัมพันธ์ระหว่างเวลาการสกัด ปริมาณสารละลาย และอัตราส่วนของเอนไซม์ต่อค่าดัชนีความขาวของเส้นใยอาหารละลายน้ำแบบชิ้น

จากภาพ 13 กราฟรูปแสดงความสัมพันธ์ระหว่างเวลาการสกัด ปริมาณสารละลาย และอัตราส่วนของเอนไซม์ต่อค่าแอคทิวิตี้ของน้ำ พบว่า เมื่อระยะเวลาในการสกัดที่เพิ่มขึ้น ปริมาณสารละลายที่เพิ่มขึ้นส่งผลให้ผลค่าแอคทิวิตี้ของน้ำเพิ่มขึ้นตามเวลาการสกัดและปริมาณสารละลาย



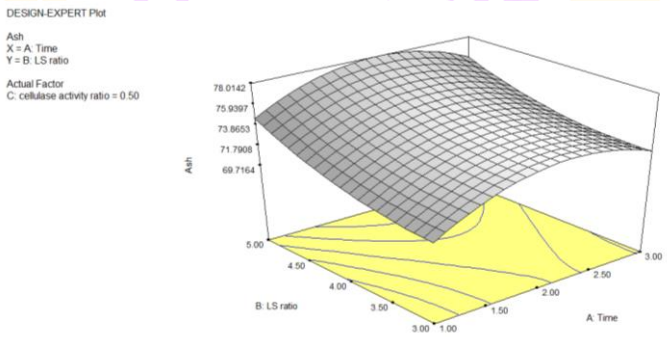
ภาพ 13 ความสัมพันธ์ระหว่างเวลาการสกัด ปริมาณสารละลาย และอัตราส่วนของเอนไซม์ต่อค่าแอคทิวิตี้ของน้ำของเส้นใยอาหารละลายน้ำแบบชิ้น

จากภาพ 14 กราฟรูปแสดงความสัมพันธ์ระหว่างเวลาการสกัด ปริมาณสารละลาย และอัตราส่วนของเอนไซม์ต่อร้อยละไขมัน พบว่าระยะเวลาการสกัด ปริมาณสารละลายและอัตราส่วนของเอนไซม์มีผลต่อร้อยละไขมันของเส้นใยอาหารละลายน้ำ เมื่อระยะเวลาการสกัดและปริมาณสารละลายเพิ่มขึ้นส่งผลให้ร้อยละของไขมันลดลง



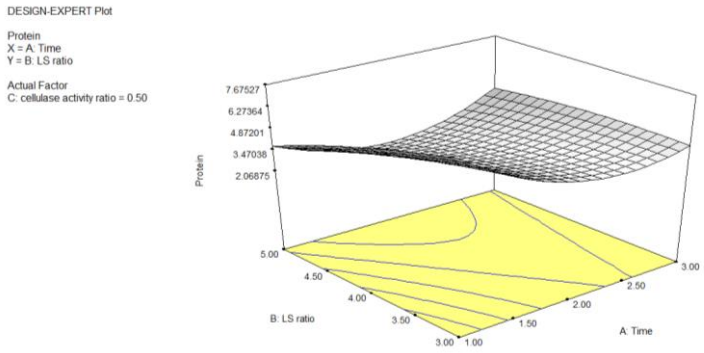
ภาพ 14 ความสัมพันธ์ระหว่างเวลาการสกัด ปริมาณสารละลาย และอัตราส่วนเอนไซม์ต่อร้อยละไขมันของเส้นใยอาหารละลายน้ำแบบชิ้น

จากภาพ 15 กราฟรูปแสดงความสัมพันธ์ระหว่างเวลาการสกัด ปริมาณสารละลาย และอัตราส่วนของเอนไซม์ต่อร้อยละเถ้า พบว่าเมื่อระยะเวลาการสกัด และปริมาณสารละลายเพิ่มขึ้นส่งผลให้ร้อยละของเถ้าเพิ่มขึ้นตามระยะเวลาการสกัดและปริมาณของสารละลาย



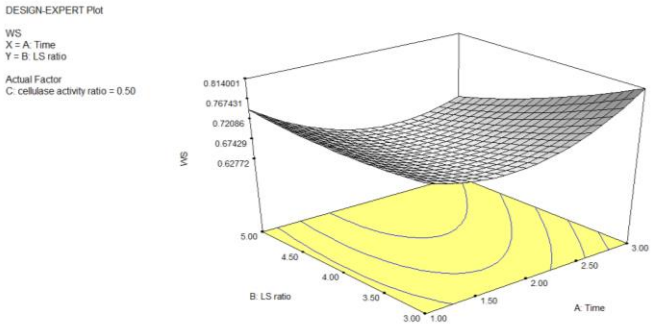
ภาพ 15 ความสัมพันธ์ระหว่างเวลาการสกัด ปริมาณสารละลาย และอัตราส่วนของเอนไซม์ต่อร้อยละเถ้าของเส้นใยอาหารละลายน้ำแบบชิ้น

จากภาพ 16 กราฟรูปแสดงความสัมพันธ์ระหว่างเวลาการสกัด ปริมาณสารละลาย และอัตราส่วนของเอนไซม์ต่อร้อยละโปรตีน พบว่าเมื่อระยะเวลาการสกัด และปริมาณสารละลายที่เพิ่มขึ้นส่งผลให้ร้อยละของโปรตีนลดลง



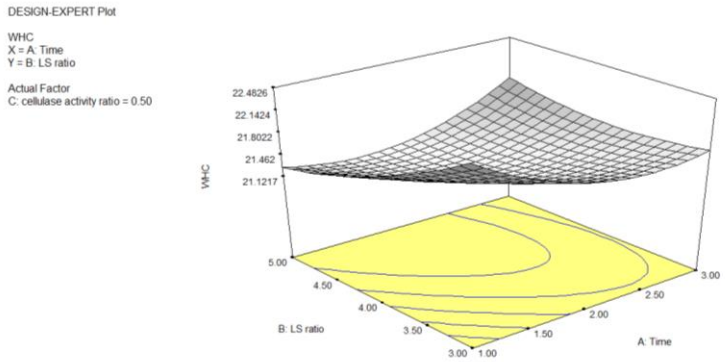
ภาพ 16 ความสัมพันธ์ระหว่างเวลาการสกัด ปริมาณสารละลาย และอัตราส่วนของเอนไซม์ต่อร้อยละโปรตีนของเส้นใยอาหารละลายน้ำแบบชิ้น

จากภาพ 17 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างเวลาการสกัด ปริมาณสารละลาย และอัตราส่วนของเอนไซม์ต่อคุณสมบัติการละลายน้ำ พบว่า ปริมาณสารละลายที่ใช้ในการสกัดเส้นใยอาหารส่งผลให้คุณสมบัติการละลายน้ำของเส้นใยอาหารละลายน้ำมีความสามารถในการละลายที่สูงขึ้น เมื่อใช้ปริมาณสารละลายที่เพิ่มขึ้น



ภาพ 17 ความสัมพันธ์ระหว่างเวลาการสกัด ปริมาณสารละลาย และอัตราส่วนของเอนไซม์ต่อคุณสมบัติการละลายน้ำของเส้นใยอาหารละลายน้ำแบบชิ้น

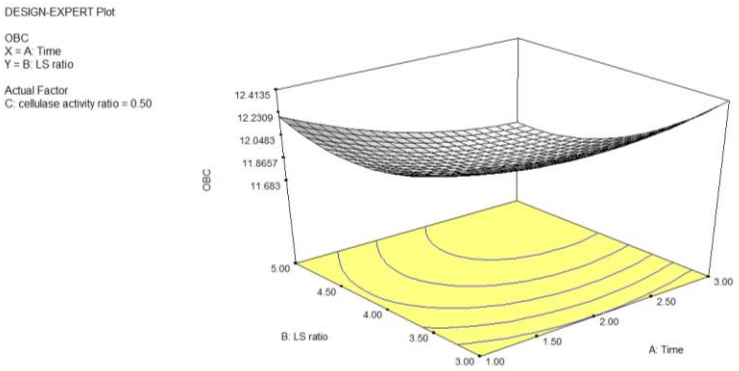
จากภาพ 18 กราฟรูปแสดงความสัมพันธ์ระหว่างเวลาการสกัด ปริมาณสารละลาย และอัตราส่วนของเอนไซม์ต่อคุณสมบัติการอุ้มน้ำ พบว่าระยะเวลา และปริมาณสารละลายที่ใช้ในการสกัดเส้นใยอาหารส่งผลให้คุณสมบัติการอุ้มของเส้นใยอาหารละลายน้ำเมื่อระยะเวลา และปริมาณสารละลายน้อยความสามารถในการอุ้มน้ำของเส้นใยอาหารเพิ่มสูงขึ้น



ภาพ 18 ความสัมพันธ์ระหว่างเวลาการสกัด ปริมาณสารละลาย และอัตราส่วนของเอนไซม์ต่อคุณสมบัติอุ้มน้ำของเส้นใยอาหารละลายน้ำแบบชิ้น

จากภาพ 19 กราฟรูปแสดงความสัมพันธ์ระหว่างเวลาการสกัด ปริมาณสารละลาย และอัตราส่วนของเอนไซม์ต่อคุณสมบัติการอุ้มน้ำมัน พบว่า ความสามารถในการอุ้มน้ำมันของเส้นใยอาหารจะเพิ่มขึ้นเมื่อใช้ระยะเวลาในการสกัดที่เพิ่มขึ้น และใช้ปริมาณสารละลายลดลง

จากกราฟรูปแสดงความสัมพันธ์ระหว่างเวลาการสกัด ปริมาณสารละลาย และอัตราส่วนของเอนไซม์ ต่อปริมาณผลผลิตของเส้นใยอาหารละลายน้ำ ค่าดัชนีความขาว แอคทิวิตี้ของน้ำ องค์ประกอบทางเคมี ได้แก่ ไขมัน เถ้า และโปรตีน และคุณสมบัติการละลายน้ำ การอุ้มน้ำ และการอุ้มน้ำมัน พบว่า เวลาการสกัด ปริมาณสารละลาย และอัตราส่วนของเอนไซม์ที่แตกต่างกันมีผลต่อปริมาณผลผลิตของเส้นใยอาหารละลายน้ำ ค่าดัชนีความขาว แอคทิวิตี้ของน้ำ ร้อยละโปรตีน และร้อยละเถ้า มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ

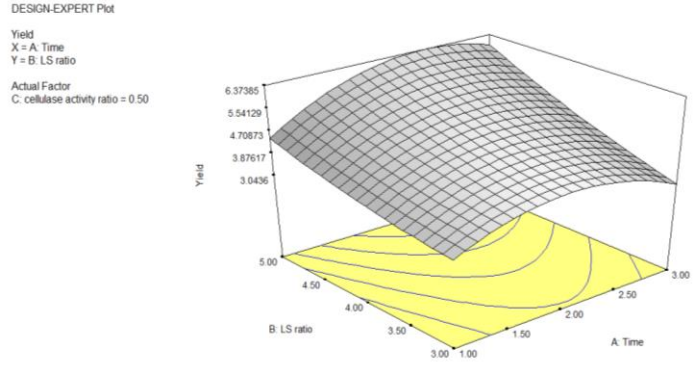


ภาพ 19 ความสัมพันธ์ระหว่างเวลาการสกัด ปริมาณสารละลาย และอัตราส่วนของเอนไซม์ต่อคุณสมบัติการอุ้มน้ำมันของเส้นใยอาหารละลายน้ำแบบชิ้น

5.2 ผลการวิเคราะห์ผลโดยวิธีพื้นผิวตอบสนอง (response surface methodology) ของเส้นใยอาหารละลายน้ำที่สกัดด้วยเอนไซม์จากหน่อไม้เศษเหลือแบบฝอย

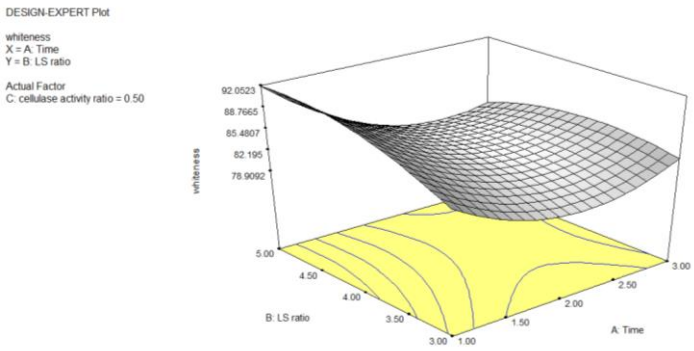
กราฟพื้นที่ผิวตอบสนองที่แสดงความสัมพันธ์ระหว่าง เวลาการสกัด ปริมาณสารละลาย และอัตราส่วนของเอนไซม์ ที่มีผลต่อปริมาณผลผลิตของเส้นใยอาหารละลายน้ำ ค่าดัชนีความขาว แอคทิวิตี้ของน้ำ ร้อยละโปรตีน ไขมัน เถ้า คุณสมบัติละลายน้ำ คุณสมบัติอุ้มน้ำ และคุณสมบัติอุ้มน้ำมัน แสดงดังภาพ 20 –28

จากภาพ 20 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างเวลาการสกัด ปริมาณสารละลาย และอัตราส่วนของเอนไซม์ต่อปริมาณผลผลิตของเส้นใยอาหารละลายน้ำ พบว่าเมื่อระยะเวลาในการสกัดและปริมาณสารละลายในการสกัดเพิ่มขึ้น ในอัตราส่วนของเอนไซม์ที่แตกต่างกันพบว่าผลผลิตของเส้นใยอาหารละลายน้ำมีปริมาณเพิ่มขึ้นตามระยะเวลาการสกัดและปริมาณสารละลาย



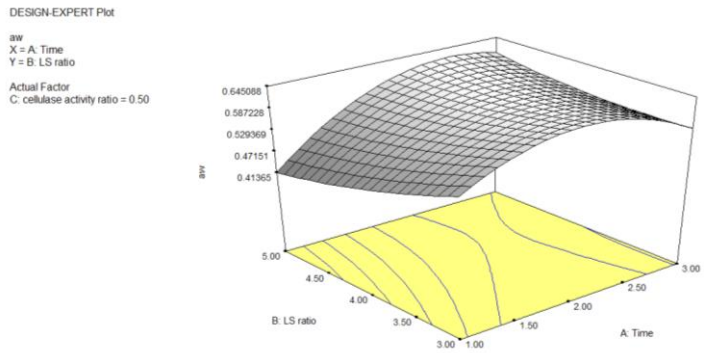
ภาพ 20 ความสัมพันธ์ระหว่างเวลาการสกัด ปริมาณสารละลาย และอัตราส่วนของเอนไซม์ต่อผลผลิตของเส้นใยอาหารละลายน้ำแบบฝอย

จากภาพ 21 กราฟรูปแสดงความสัมพันธ์ระหว่างเวลาการสกัด ปริมาณสารละลาย และอัตราส่วนของเอนไซม์ต่อค่าดัชนีความขาว พบว่า เมื่อระยะเวลาในการสกัดที่น้อย (1 ชั่วโมง) ในระดับของปริมาณสารละลายที่เพิ่มขึ้นส่งผลให้ผลค่าดัชนีความขาวของเส้นใยอาหารละลายน้ำมีค่าดัชนีความขาวสูงขึ้น



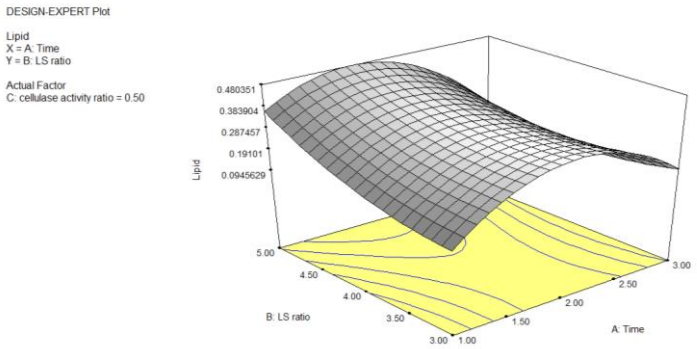
ภาพ 21 ความสัมพันธ์ระหว่างเวลาการสกัด ปริมาณสารละลาย และอัตราส่วนของเอนไซม์ต่อค่าดัชนีความขาวของเส้นใยอาหารละลายน้ำแบบฝอย

จากภาพ 22 กราฟรูปแสดงความสัมพันธ์ระหว่างเวลาการสกัด ปริมาณสารละลาย และอัตราส่วนของเอนไซม์ต่อค่าแอคทิวิตี้ของน้ำ พบว่าเมื่อระยะเวลาในการสกัดที่เพิ่มขึ้น ปริมาณสารละลายที่เพิ่มขึ้นส่งผลให้ผลค่าแอคทิวิตี้ของน้ำเพิ่มขึ้นตามเวลาการสกัดและปริมาณสารละลาย



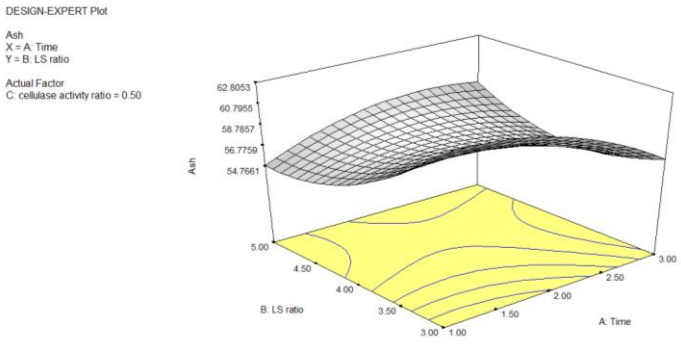
ภาพ 22 ความสัมพันธ์ระหว่างเวลาการสกัด ปริมาณสารละลาย และอัตราส่วนของเอนไซม์ต่อค่าแอคติวิตี้ของน้ำของเส้นใยอาหารละลายน้ำแบบฝอย

จากภาพ 23 กราฟรูปแสดงความสัมพันธ์ระหว่างเวลาการสกัด ปริมาณสารละลาย และอัตราส่วนของเอนไซม์ต่อร้อยละไขมัน พบว่า ปริมาณสารละลายและอัตราส่วนของเอนไซม์มีผลต่อร้อยละไขมันของเส้นใยอาหารละลายน้ำ เมื่อปริมาณสารละลายเพิ่มขึ้นส่งผลให้ร้อยละของไขมันเพิ่มขึ้นตามลำดับ



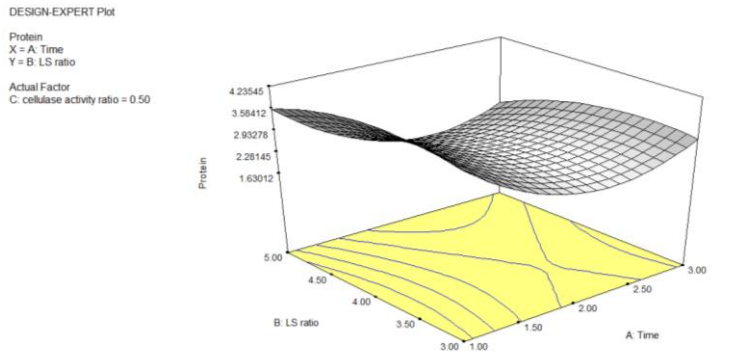
ภาพ 23 ความสัมพันธ์ระหว่างเวลาการสกัด ปริมาณสารละลาย และอัตราส่วนของเอนไซม์ต่อร้อยละไขมันของเส้นใยอาหารละลายน้ำแบบฝอย

จากภาพ 24 กราฟรูปแสดงความสัมพันธ์ระหว่างเวลาการสกัด ปริมาณสารละลาย และอัตราส่วนของเอนไซม์ต่อร้อยละเถ้า พบว่า ร้อยละเถ้าจะเพิ่มขึ้นเมื่อระยะเวลาในการสกัดเส้นใยเพิ่มขึ้น และปริมาณสารละลายที่น้อย



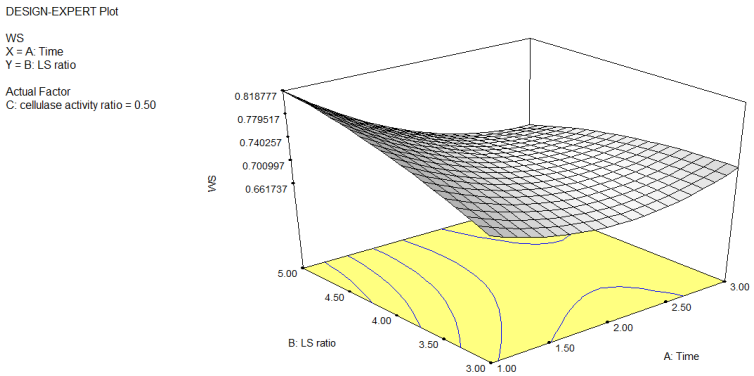
ภาพ 24 ความสัมพันธ์ระหว่างเวลาการสกัด ปริมาณสารละลาย และอัตราส่วนของเอนไซม์ต่อร้อยละเถ้าของเส้นใยอาหารละลายน้ำแบบฝอย

จากภาพ 25 กราฟรูปแสดงความสัมพันธ์ระหว่างเวลาการสกัด ปริมาณสารละลาย และอัตราส่วนของเอนไซม์ต่อร้อยละโปรตีน พบว่าเมื่อระยะเวลาการสกัดที่น้อย และปริมาณสารละลายที่เพิ่มขึ้นส่งผลให้ร้อยละของโปรตีนเพิ่มขึ้น



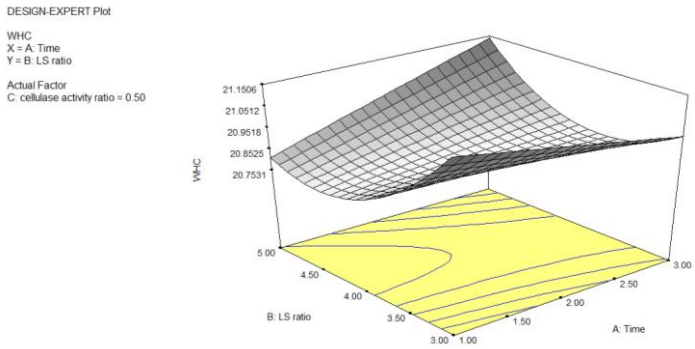
ภาพ 25 ความสัมพันธ์ระหว่างเวลาการสกัด ปริมาณสารละลาย และอัตราส่วนของเอนไซม์ต่อร้อยละโปรตีนของเส้นใยอาหารละลายน้ำแบบฝอย

จากภาพ 26 กราฟรูปแสดงความสัมพันธ์ระหว่างเวลาการสกัด ปริมาณสารละลาย และอัตราส่วนของเอนไซม์ต่อคุณสมบัติการละลายน้ำ พบว่าปริมาณสารละลายที่ใช้ในการสกัดเส้นใยอาหารส่งผลให้คุณสมบัติการละลายน้ำของเส้นใยอาหารละลายน้ำมีความสามารถในการละลายที่สูงขึ้น เมื่อใช้ปริมาณสารละลายที่เพิ่มขึ้น



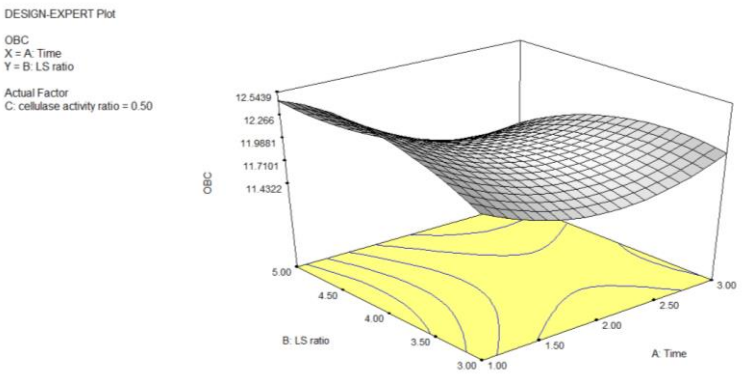
ภาพ 26 ความสัมพันธ์ระหว่างเวลาการสกัด ปริมาณสารละลาย และอัตราส่วนของเอนไซม์ต่อคุณสมบัติการละลายน้ำของเส้นใยอาหารละลายน้ำแบบฝอย

จากภาพ 27 กราฟรูปแสดงความสัมพันธ์ระหว่างเวลาการสกัด ปริมาณสารละลาย และอัตราส่วนของเอนไซม์ต่อคุณสมบัติการอุ้มน้ำ พบว่า ระยะเวลา และปริมาณสารละลายที่ใช้ในการสกัดเส้นใยอาหารส่งผลให้คุณสมบัติการอุ้มน้ำของเส้นใยอาหารละลายน้ำ เมื่อระยะเวลา และปริมาณสารละลายน้อยความสามารถในการอุ้มน้ำของเส้นใยอาหารเพิ่มสูงขึ้น



ภาพ 27 ความสัมพันธ์ระหว่างเวลาการสกัด ปริมาณสารละลาย และอัตราส่วนของเอนไซม์ต่อคุณสมบัติการอุ้มน้ำของเส้นใยอาหารละลายน้ำแบบฝอย

จากภาพ 28 กราฟรูปแสดงความสัมพันธ์ระหว่างเวลาการสกัด ปริมาณสารละลาย และอัตราส่วนของเอนไซม์ต่อคุณสมบัติการอุ้มน้ำมัน พบว่า ความสามารถในการอุ้มน้ำมันของเส้นใยอาหารจะเพิ่มขึ้นเมื่อใช้ระยะเวลาในการสกัดที่น้อย และใช้ปริมาณสารละลายเพิ่มขึ้น



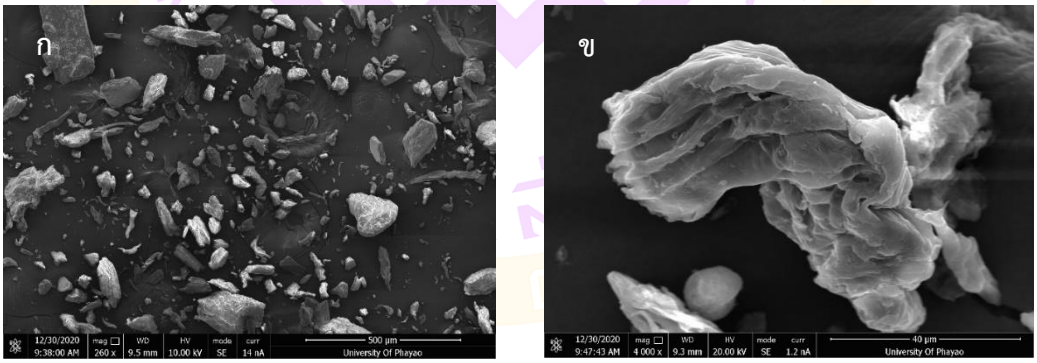
ภาพ 28 ความสัมพันธ์ระหว่างเวลาการสกัด ปริมาณสารละลาย และอัตราส่วนของเอนไซม์ต่อคุณสมบัติการอุ้มน้ำมันของเส้นใยอาหารละลายน้ำแบบฝอย

จากกราฟรูปแสดงความสัมพันธ์ระหว่างเวลาการสกัด ปริมาณสารละลาย และอัตราส่วนของเอนไซม์ของเส้นใยอาหารละลายน้ำแบบฝอยต่อปริมาณผลผลิตของเส้นใยอาหารละลายน้ำ ค่าดัชนีความขาว แอคทิวิตี้ของน้ำ องค์ประกอบทางเคมี ได้แก่ โปรตีน ไขมัน เถ้า และคุณสมบัติการละลายน้ำ การอุ้มน้ำ และการอุ้มน้ำมัน พบว่า เวลาการสกัด ปริมาณสารละลาย และอัตราส่วนของเอนไซม์ที่แตกต่างกันมีผลต่อปริมาณผลผลิตของเส้นใยอาหารละลายน้ำ ค่าดัชนีความขาว แอคทิวิตี้ของน้ำ ร้อยละโปรตีน และคุณสมบัติการละลายน้ำมีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ

ผลการศึกษาลักษณะทางสัณฐานวิทยาด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (Scanning electron microscope; SEM) ของเส้นใยอาหารละลายน้ำที่สกัดด้วยเอนไซม์จากหน่อไม้เศษเหลือแบบชิ้น และแบบฝอย

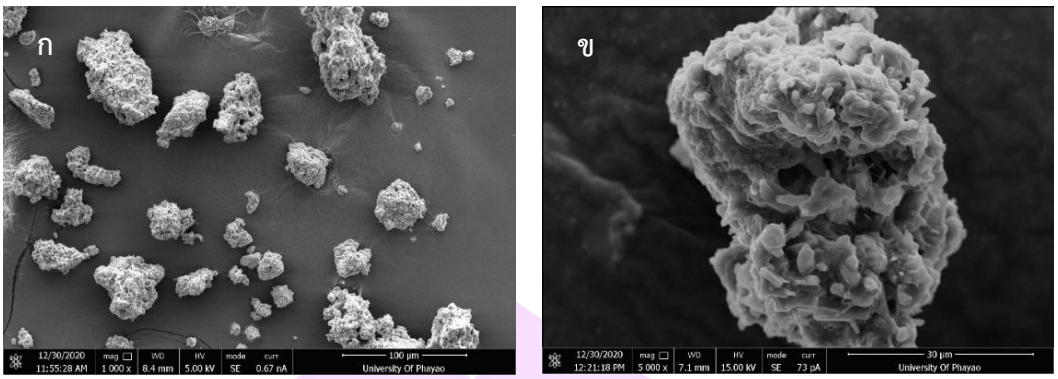
1. ผลการศึกษาลักษณะทางสัณฐานวิทยาด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (Scanning electron microscope; SEM) ของเส้นใยอาหารละลายน้ำที่สกัดด้วยเอนไซม์จากหน่อไม้เศษเหลือแบบชิ้น

ทำการสุ่มตัวอย่างในการทดสอบ เวลาการสกัด ปริมาณสารละลาย และอัตราส่วนของเอนไซม์ที่แตกต่างกันได้แก่ Treatment 1512, Treatment 2511 และ Treatment 3521 โดยเทียบลักษณะทางสัณฐานกับเพคตินทางการค้า



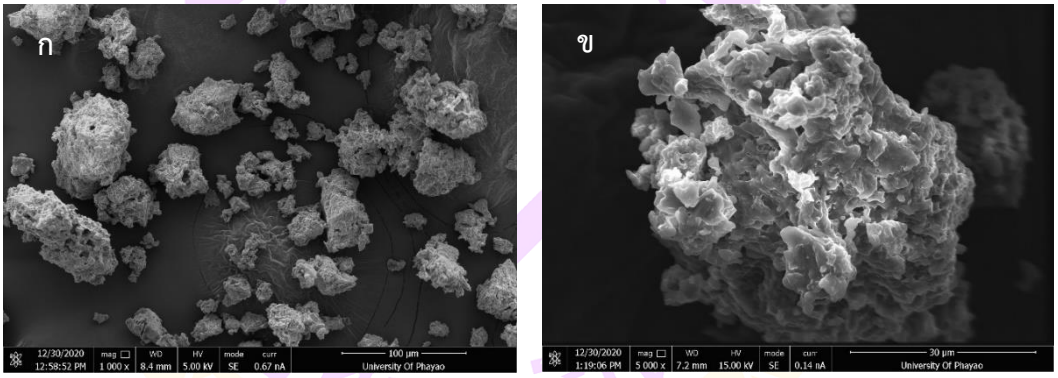
ภาพ 29 ลักษณะโครงสร้างทางสัณฐานวิทยาของเส้นใยอาหารละลายน้ำเพคตินจากบริษัทการค้า

หมายเหตุ: ก เส้นใยอาหารละลายน้ำเพคตินจากบริษัทการค้า กำลังขยาย 260 เท่า,
ข เส้นใยอาหารละลายน้ำเพคตินจากบริษัทการค้า กำลังขยาย 4,000 เท่า



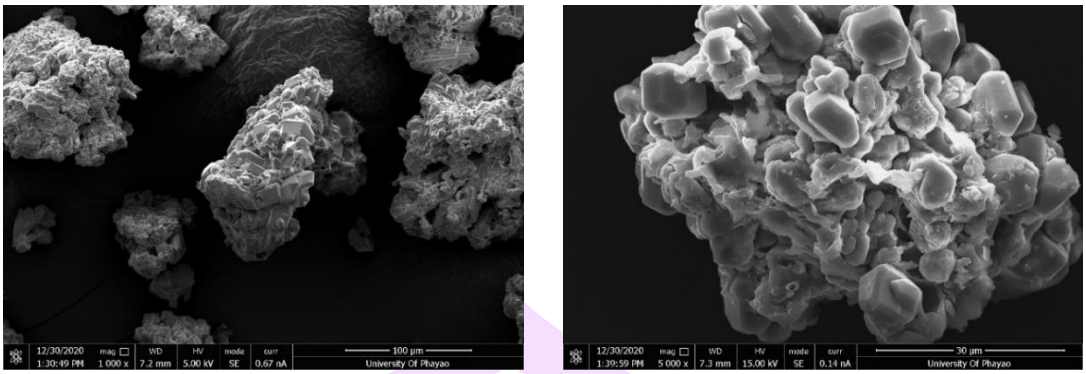
ภาพ 30 ลักษณะโครงสร้างทางสัณฐานวิทยาของเส้นใยอาหารละลายน้ำแบบชิ้นจาก Treatment 1512

หมายเหตุ: ก เส้นใยอาหารละลายน้ำแบบชิ้นจาก Treatment 1512 กำลังขยาย 1,000 เท่า
ข เส้นใยอาหารละลายน้ำแบบชิ้นจาก Treatment 1512 กำลังขยาย 5,000 เท่า



ภาพ 31 ลักษณะโครงสร้างทางสัณฐานวิทยาของเส้นใยอาหารละลายน้ำแบบชิ้นจาก Treatment 2511

หมายเหตุ: ก เส้นใยอาหารละลายน้ำแบบชิ้นจาก Treatment 2511 กำลังขยาย 1,000 เท่า,
ข เส้นใยอาหารละลายน้ำแบบชิ้นจาก Treatment 2511 กำลังขยาย 5,000 เท่า

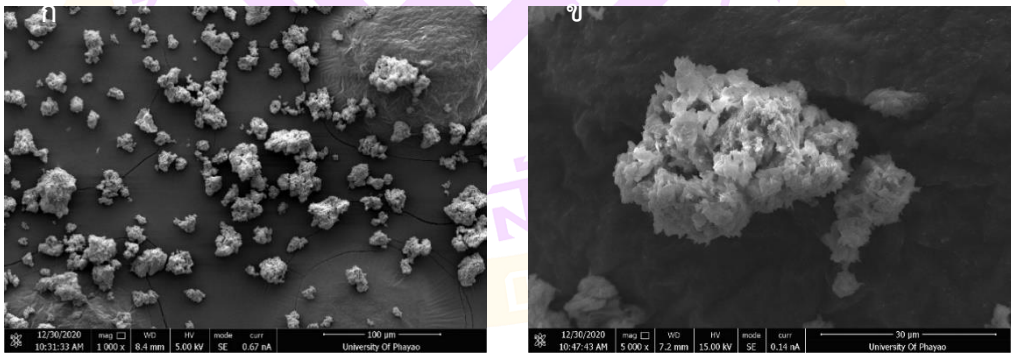


ภาพ 32 ลักษณะโครงสร้างทางสัณฐานวิทยาของเส้นใยอาหารละลายน้ำแบบชิ้นจาก Treatment 3521

หมายเหตุ: ก เส้นใยอาหารละลายน้ำแบบชิ้นจาก Treatment 3521 กำลังขยาย 1,000 เท่า, ข เส้นใยอาหารละลายน้ำแบบชิ้นจาก Treatment 3521 กำลังขยาย 5,000 เท่า

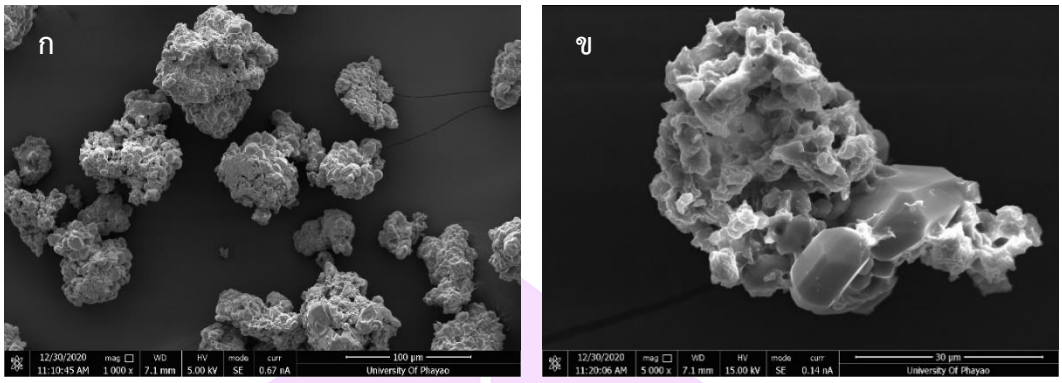
2. ผลการศึกษาลักษณะทางสัณฐานวิทยาด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (Scanning electron microscope; SEM) ของเส้นใยอาหารละลายน้ำที่สกัดด้วยเอนไซม์จากหน่อไม้เศษเหลือแบบฝอย

สุ่มตัวอย่างในการทดสอบ เวลาการสกัด ปริมาณสารละลาย และอัตราส่วนของเอนไซม์ที่แตกต่างกันได้แก่ Treatment 1512, Treatment 2511 และ Treatment 3521



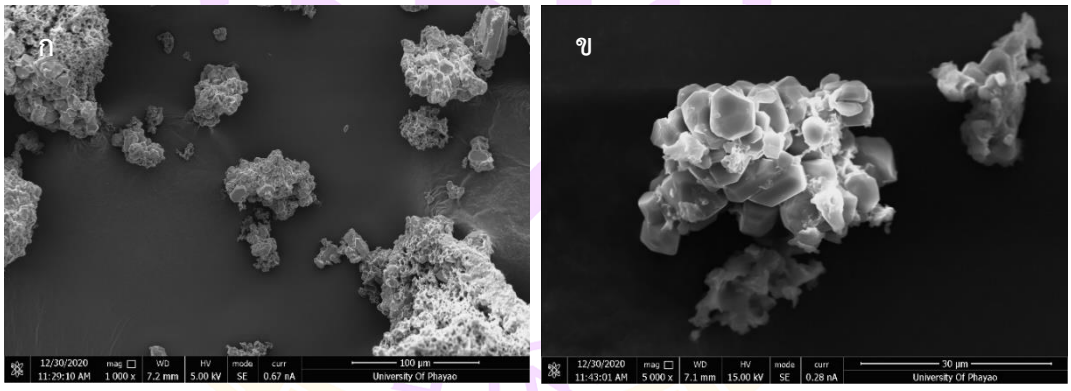
ภาพ 33 ลักษณะโครงสร้างทางสัณฐานวิทยาของเส้นใยอาหารละลายน้ำแบบฝอย Treatment 1512

หมายเหตุ: ก เส้นใยอาหารละลายน้ำแบบฝอยจาก Treatment 1512 กำลังขยาย 1,000 เท่า ข เส้นใยอาหารละลายน้ำแบบฝอยจาก Treatment 1512 กำลังขยาย 5,000 เท่า



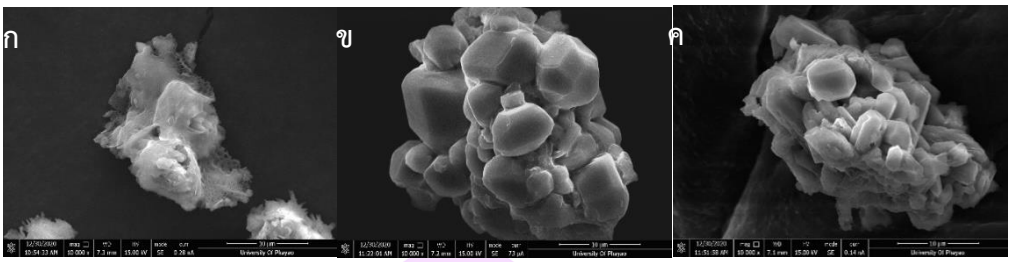
ภาพ 34 ลักษณะโครงสร้างทางสัณฐานวิทยาของเส้นใยอาหารละลายน้ำแบบฝอยจาก Treatment 2511

หมายเหตุ: ก เส้นใยอาหารละลายน้ำแบบฝอยจาก Treatment 2511 กำลังขยาย 1,000 เท่า
ข เส้นใยอาหารละลายน้ำแบบฝอยจาก Treatment 2511 กำลังขยาย 5,000 เท่า



ภาพ 35 ลักษณะโครงสร้างทางสัณฐานวิทยาของเส้นใยอาหารละลายน้ำแบบฝอยจาก Treatment 3521

หมายเหตุ: ก เส้นใยอาหารละลายน้ำแบบฝอยจาก Treatment 3521 กำลังขยาย 1,000 เท่า
ข เส้นใยอาหารละลายน้ำแบบฝอยจาก Treatment 3521 กำลังขยาย 5,000 เท่า



ภาพ 36 ลักษณะโครงสร้างทางสัณฐานวิทยาของเส้นใยอาหารละลายน้ำแบบฝอย กำลังขยาย 10,000 เท่า

หมายเหตุ: ก เส้นใยอาหารละลายน้ำแบบฝอยจาก Treatment 1512 กำลังขยาย 10,000 เท่า
ข เส้นใยอาหารละลายน้ำแบบฝอยจาก Treatment 2511 กำลังขยาย 10,000 เท่า
ค เส้นใยอาหารละลายน้ำแบบฝอยจาก Treatment 3521 กำลังขยาย 10,000 เท่า

ผลการศึกษาการเพาะเลี้ยงจุลินทรีย์ร่วมกับเส้นใยอาหารละลายน้ำแบบชิ้น และแบบฝอย

ศึกษาความสามารถในการเป็นพรีไบโอติกของเส้นใยอาหารละลายน้ำต่อจุลินทรีย์ *Lactobacillus plantarum* TISTR 2075 และ *Bifidobacterium longum subsp. Longum* TISTR 2195 โดยเพาะเลี้ยงจุลินทรีย์ร่วมกับเส้นใยอาหารละลายน้ำแบบชิ้น และแบบฝอย

จากการศึกษาความสามารถในการเป็นพรีไบโอติกของเส้นใยอาหารละลายน้ำต่อจุลินทรีย์ *L. plantarum* TISTR 2075 และ *B. longum subsp. Longum* TISTR 2195 โดยเพาะเลี้ยงจุลินทรีย์ร่วมกับเส้นใยอาหารละลายน้ำที่ได้จากการสกัดหน่อไม้เศษเหลือแบบชิ้นและหน่อไม้เศษเหลือแบบฝอย เมื่อเพาะเลี้ยงจุลินทรีย์ *L. plantarum* TISTR 2075 ร่วมเส้นใยอาหารละลายน้ำแบบชิ้น T1512, T2411 และ T3411 บ่มที่อุณหภูมิ 37 องศาเซลเซียสเป็นเวลา 24 ชั่วโมง พบว่าเส้นใยอาหารละลายน้ำทั้ง 3 ตัวอย่างจำนวนของเชื้อมีมากกว่า 300 โคโลนี (ไม่สามารถคำนวณเป็น CFU/mL ได้) และเมื่อนำเส้นใยละลายน้ำแบบชิ้นเลี้ยงร่วมกับเชื้อ *B. longum subsp. Longum* TISTR 2195 บ่มที่อุณหภูมิ 37 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 48 ชั่วโมงในสภาวะไร้อากาศพบว่า T2411 มีค่าเฉลี่ยปริมาณเชื้อจุลินทรีย์เท่ากับ 2.07×10^9 CFU/mL มีค่าเฉลี่ยปริมาณเชื้อมากกว่ากลุ่มควบคุมคือ 4.4×10^8 CFU/mL เลี้ยงร่วมกับเส้นใยอาหารละลายน้ำแบบชิ้น T1512 และ T3411 มีค่าเฉลี่ยปริมาณเชื้อจุลินทรีย์เท่ากับ 7.65×10^7 และ 2.48×10^8 CFU/mL ตามลำดับ และเมื่อเพาะเลี้ยงจุลินทรีย์ *L. plantarum* TISTR 2075 และเชื้อจุลินทรีย์ *B. longum subsp. Longum* TISTR 2195 ร่วมเส้นใยอาหารละลายน้ำแบบฝอย ได้แก่ T1512, T2411 และ T3411 พบว่าเส้นใยอาหารละลายน้ำทั้ง 3 ตัวอย่างจำนวนของเชื้อมีมากกว่า 300 โคโลนี (ไม่สามารถคำนวณเป็น CFU/mL ได้)

ตาราง 12 ปริมาณเชื้อ *Lactocacillus plantarum, Escherichia coli* และ *Bifidobacterium longum sub.longum* ในระยะเวลา 0, 6, 24 และ 48 ชั่วโมง (กลุ่มควบคุม)

กลุ่มควบคุม	CFU/mL			
	0 ชั่วโมง	6 ชั่วโมง	24 ชั่วโมง	48 ชั่วโมง
Lactocacillus plantarum	5.08×10^6	4.85×10^6	2.83×10^9	2.85×10^8
Escherichia coli	1×10^7	1×10^8	4.78×10^7	8.66×10^7
Bifidobacterium longum sub.longum	–	–	–	4.40×10^8

ตาราง 13 ปริมาณเชื้อ *Lactocacillus plantarum, Escherichia coli* และ *Bifidobacterium longum sub.longum* เพาะเลี้ยงกับเส้นใยอาหารละลายน้ำแบบชิ้น

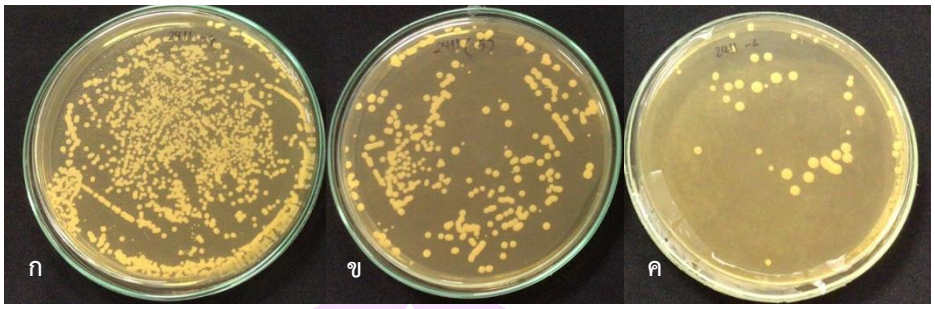
จุลินทรีย์เพาะร่วมกับเส้นใยอาหารละลายน้ำแบบชิ้น	Treatment (CFU/mL)		
	1512	2411	3411
Lactocacillus plantarum (24 ชั่วโมง)	TNTC	TNTC	TNTC
Escherichia coli (24 ชั่วโมง)	1.73×10^9	1.93×10^9	1.25×10^9
Bifidobacterium longum sub.longum (48 ชั่วโมง)	7.65×10^7	2.07×10^9	2.48×10^8

หมายเหตุ : TNTC (too numerous to count) หมายถึงจำนวนเชื้อมีมากกว่า 300 โคโลนี

ตาราง 14 ปริมาณเชื้อ *Lactocacillus plantarum, Escherichia coli* และ *Bifidobacterium longum sub.longum* เพาะเลี้ยงกับเส้นใยอาหารละลายน้ำแบบฝอย

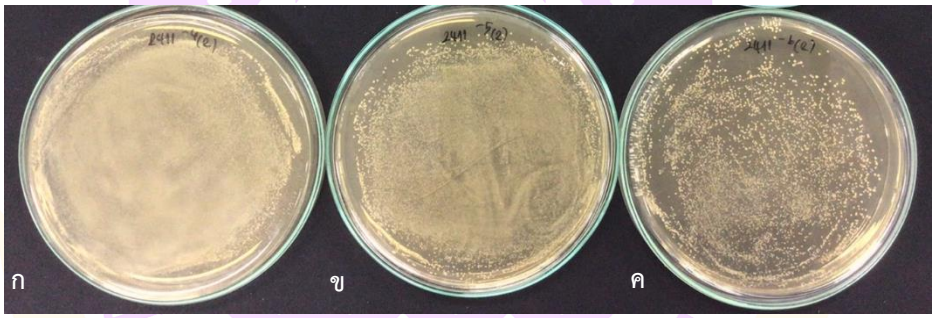
จุลินทรีย์เพาะร่วมกับเส้นใยอาหารละลายน้ำแบบฝอย	Treatment		
	1512	2411	3411
Lactocacillus plantarum (24 ชั่วโมง)	TNTC	TNTC	TNTC
Escherichia coli (24 ชั่วโมง)	6.6×10^8	1.40×10^9	9.7×10^8
Bifidobacterium longum sub.longum (48 ชั่วโมง)	TNTC	TNTC	TNTC

หมายเหตุ: TNTC (too numerous to count) หมายถึงจำนวนเชื้อมีมากกว่า 300 โคโลนี



ภาพ 37 ลักษณะโคโลนีของเชื้อ *Bifidobacterium longum sub.longum* ที่เจริญบนอาหาร MRS (ชุดควบคุม)

หมายเหตุ: ก โคโลนีของเชื้อ *Bifidobacterium longum sub.longum* ความเจือจาง 10^{-4} (ชุดควบคุม)
ข โคโลนีของเชื้อ *Bifidobacterium longum sub.longum* ความเจือจาง 10^{-5} (ชุดควบคุม)
ค โคโลนีของเชื้อ *Bifidobacterium longum sub.longum* ความเจือจาง 10^{-6} (ชุดควบคุม)



ภาพ 38 ลักษณะโคโลนีของเชื้อ *Bifidobacterium longum sub.longum* เลี้ยงรวมเส้นใยอาหารละลายน้ำ Treatment 2411 ที่เจริญบนอาหาร MRS

หมายเหตุ: ก โคโลนีของเชื้อ *Bifidobacterium longum sub.longum* เลี้ยงรวมเสนใยอาหารละลายน้ำ **Treatment** 2411 ความเจือจาง 10^{-4}
ข โคโลนีของเชื้อ *Bifidobacterium longum sub.longum* เลี้ยงรวมเสนใยอาหารละลายน้ำ **Treatment** 2411 ความเจือจาง 10^{-5}
ค โคโลนีของเชื้อ *Bifidobacterium longum sub.longum* เลี้ยงรวมเสนใยอาหารละลายน้ำ **Treatment** 2411 ความเจือจาง 10^{-6}

ผลเปรียบเทียบเส้นใยอาหารละลายน้ำ Treatment 1512 ที่สกัดได้จากหน่อไม้เศษเหลือแบบชิ้น และแบบฝอย

ศึกษาวิธีการที่เหมาะสมในการสกัดเส้นใยอาหารละลายน้ำที่สกัดจากหน่อไม้เศษเหลือแบบชิ้น และแบบฝอยด้วยเอนไซม์ศึกษา 3 ปัจจัย ได้แก่ ระยะเวลาการสกัด ปริมาณสารละลาย และอัตราส่วนของเอนไซม์เซลลูเลสต่อไซลาเนส พบว่า T1512 มีผลผลิตของเส้นใยอาหารละลายน้ำ ค่าดัชนีความขาว ค่าแอคทิวิตี้ของน้ำ ร้อยละไขมัน ร้อยละเถ้า ร้อยละโปรตีน และคุณสมบัติเชิงหน้าที่ ได้แก่ การละลายน้ำ การอุ้มน้ำ การจับน้ำมัน และการดูดซับกลูโคสที่เหมาะสมในการสกัดเส้นใยอาหารละลายน้ำจากหน่อไม้เศษเหลือ

จากตาราง 15 แสดงผลเปรียบเทียบองค์ประกอบทางกายภาพเคมี และคุณสมบัติเชิงหน้าที่ของเส้นใยอาหารละลายน้ำ Treatment 1512 (ระยะเวลาการสกัด 1 ชั่วโมง, ปริมาณสารละลาย 500 มิลลิลิตร และอัตราส่วนเอนไซม์เซลลูเลสต่อไซลาเนส 1:2) ที่สกัดได้จากหน่อไม้เศษเหลือแบบชิ้น และแบบฝอย พบว่า เส้นใยอาหารละลายน้ำแบบฝอยมีผลการวิเคราะห์องค์ประกอบทางกายภาพเคมี และคุณสมบัติเชิงหน้าที่ดีกว่าเส้นใยอาหารละลายน้ำแบบชิ้น ผลผลิตของเส้นใยอาหารละลายน้ำแบบฝอยเท่ากับ 4.80 กรัม และผลผลิตของเส้นใยอาหารละลายน้ำแบบชิ้นเท่ากับ 4.27 กรัม ค่าดัชนีความขาวแสดงถึงความขาวของสี ผลผลิตของเส้นใยอาหารละลายน้ำพบว่าเส้นใยอาหารละลายน้ำแบบฝอยเท่ากับ 93.50 และค่าดัชนีความขาวของเส้นใยอาหารละลายน้ำแบบชิ้นเท่ากับ 90.86 ค่าแอคทิวิตี้ของน้ำในผลผลิตเส้นใยอาหารละลายน้ำเป็นค่าที่แสดงระดับพลังงานของน้ำมีความสำคัญต่ออายุการเก็บรักษา การเสื่อมเสีย และความปลอดภัยของอาหารพบว่าเส้นใยอาหารละลายน้ำแบบชิ้นและแบบฝอยมีค่าเท่ากับ 0.48 และ 0.43 ตามลำดับ ค่าร้อยละไขมัน ร้อยละเถ้า และร้อยละโปรตีนของเส้นใยอาหารละลายน้ำชิ้นเท่ากับ 0.17, 4.17 และ 71.36 ตามลำดับ ซึ่งเส้นใยอาหารละลายน้ำแบบฝอยมีค่าร้อยละไขมัน ร้อยละเถ้า และร้อยละโปรตีนเท่ากับ 0.40, 3.39 และ 43.86 ตามลำดับ คุณสมบัติเชิงหน้าที่ ได้แก่ การละลายน้ำ การอุ้มน้ำ และการจับน้ำมัน เส้นใยอาหารละลายน้ำแบบฝอยให้คุณสมบัติการละลายน้ำ การอุ้มน้ำ และการจับน้ำมันที่ดีกว่าเส้นใยอาหารละลายน้ำแบบชิ้นมีค่าเท่ากับ 0.82, 20.99 และ 12.28 กรัม/กรัม ตามลำดับเทียบกับเส้นใยอาหารละลายน้ำแบบชิ้นมีค่าเท่ากับ 0.76, 20.94 และ11.92 กรัม/กรัม ตามลำดับ คุณสมบัติการดูดซับกลูโคสของเส้นใยอาหารละลายน้ำแบบชิ้นและแบบฝอย พบว่า ในระดับความเข้มข้นกลูโคส 10, 50, 100 และ 200 มิลลิโมลต่อลิตร เส้นใยอาหารละลายน้ำแบบชิ้นสามารถดูดซับกลูโคสเท่ากับ 0.10, 0.30, 1.95 และ 13.24 มิลลิโมลต่อกรัม ตามลำดับ เทียบกับเส้นใยอาหารละลายน้ำแบบฝอยเท่ากับ 0.13, 2.57, 6.93 และ 15.39

มิลลิโมลต่อกรัม ตามลำดับ ซึ่งเส้นใยอาหารละลายน้ำทั้งสองชนิดสามารถดูดซับกลูโคสเพิ่มขึ้นเมื่อความเข้มข้นของสารละลายกลูโคสเพิ่มขึ้น โดยเส้นใยอาหารละลายน้ำแบบฝอยสามารถดูดซับกลูโคสได้ดีกว่าเส้นใยอาหารละลายน้ำแบบชิ้น

ตาราง 15 ผลเปรียบเทียบองค์ประกอบทางกายภาพเคมี และคุณสมบัติเชิงหน้าที่ของเส้นใยอาหารละลายน้ำที่สกัดจากหน่อไม้เศษเหลือแบบชิ้นและแบบฝอยด้วย Treatment 1512

องค์ประกอบทางกายภาพเคมี และคุณสมบัติเชิงหน้าที่ ของเส้นใยอาหารละลายน้ำ	หน่อไม้เศษเหลือแบบชิ้น	หน่อไม้เศษเหลือแบบฝอย
ผลผลิต (กรัม)	4.27 ± 0.07	4.80 ± 0.40
ค่าดัชนีความขาว	90.86 ± 0.30	93.50 ± 0.16
แอคทิวิตี้ของน้ำ	0.48 ± 0.00	0.43 ± 0.01
ร้อยละไขมัน	0.17 ± 0.01	0.40 ± 0.02
ร้อยละเถ้า	71.36 ± 0.14	43.86 ± 3.00
ร้อยละโปรตีน	4.17 ± 0.38	3.39 ± 0.56
การละลายน้ำ (กรัม/ กรัม)	0.76 ± 0.01	0.82 ± 0.05
การอุ้มน้ำ (กรัม/กรัม)	20.94 ± 0.87	20.99 ± 0.31
การจับน้ำมัน (กรัม/กรัม)	11.92 ± 0.13	12.28 ± 0.14
การดูดซับกลูโคส (มิลลิโมลต่อกรัม)		
ความเข้มข้นกลูโคส 10 มิลลิโมลต่อลิตร	0.10 ± 0.03	0.13 ± 0.00
ความเข้มข้นกลูโคส 50 มิลลิโมลต่อลิตร	0.30 ± 0.00	2.57 ± 0.00
ความเข้มข้นกลูโคส 100 มิลลิโมลต่อลิตร	1.95 ± 0.00	6.93 ± 0.02
ความเข้มข้นกลูโคส 200 มิลลิโมลต่อลิตร	13.24 ± 0.00	15.39 ± 0.01

บทที่ 5

สรุป และอภิปรายผลการวิจัย

สรุป และอภิปรายผลการวิจัย

เมื่อนำตัวอย่างสดเศษเหลือแบบชิ้นและแบบฝอย ทำการสกัดเส้นใยอาหารละลายน้ำด้วยเอนไซม์ เพื่อศึกษาวิธีการที่เหมาะสมในการสกัดเส้นใยอาหารละลายน้ำ โดยสกัดเส้นใยอาหารศึกษา 3 ปัจจัย ได้แก่ ระยะเวลาการสกัด (1, 2 และ 3 ชั่วโมง) ปริมาตรของสารละลาย (300, 400 และ 500 มิลลิลิตร) และอัตราส่วนของเอนไซม์เซลลูเลสต่อไซลาเนส (1:1, 1:2 และ 2:1) โดยนำเส้นใยอาหารละลายน้ำที่สกัดได้มาทำการวิเคราะห์

1. องค์ประกอบทางกายภาพและเคมีของเส้นใยอาหารละลายน้ำจากหน่อไม้เศษเหลือแบบชิ้น และแบบฝอยที่สกัดด้วยเอนไซม์ ได้แก่ ผลผลิตของเส้นใยอาหารละลาย ค่าดัชนีความขาว แอคทิวิตี้ของน้ำ (a_w) ปริมาณปริมาณร้อยละไขมัน และปริมาณร้อยละเถ้า และปริมาณร้อยละโปรตีน

2. คุณสมบัติเชิงหน้าที่ของเส้นใยอาหารละลายน้ำที่สกัดด้วยเอนไซม์จากหน่อไม้เศษเหลือแบบชิ้นและฝอย ได้แก่ การละลายน้ำ (WS), การอุ้มน้ำ (WHC) และการจับน้ำมัน (OBC)

3. คุณสมบัติการดูดซับน้ำตาลกลูโคส (glucose absorption capacity: GAC) ของเส้นใยอาหารละลายน้ำที่สกัดด้วยเอนไซม์จากหน่อไม้เศษเหลือแบบชิ้นและฝอย

4. วิเคราะห์ผลโดยวิธีพื้นผิวตอบสนอง (response surface methodology) ของเส้นใยอาหารละลายน้ำที่สกัดด้วยเอนไซม์จากหน่อไม้เศษเหลือแบบชิ้น และแบบฝอย

5. ลักษณะทางสัณฐานวิทยาด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (Scanning electron microscope; SEM) ของเส้นใยอาหารละลายน้ำแบบชิ้น และแบบฝอย

6. คุณสมบัติการเป็นพรีไบโอติกของเส้นใยอาหารละลายน้ำแบบชิ้น และแบบฝอย โดยเลี้ยงร่วมกับจุลินทรีย์ *Lactobacillus plantarum* TISTR 2075 และ *Bifidobacterium longum subsp. Longum* TISTR 2195

ผลการวิเคราะห์พบว่า วิธีที่เหมาะสมในการสกัดเส้นใยอาหารละลายน้ำจากหน่อไม้เศษเหลือแบบชิ้นและแบบฝอย ได้แก่ Treatment 1512 ระยะเวลาสกัดเส้นใยอาหารละลายน้ำที่

1 ชั่วโมง ปริมาณสารละลาย 500 มิลลิลิตร และอัตราส่วนเอนไซม์เซลลูเลสต่อไซลาเนส เท่ากับ 1:2 มีองค์ประกอบทางกายภาพ เคมี คุณสมบัติเชิงหน้าที่ คุณสมบัติการดูดซับน้ำตาลกลูโคส และมีลักษณะทางสัณฐานวิทยาของเส้นใยอาหารละลายน้ำเหมาะสมที่สุด ซึ่งสอดคล้องกับผลการวิจัยของวิชมณี (2561) ที่ศึกษาผลของสภาวะการสกัดต่อคุณภาพของเส้นใยอาหารผงจากกากมะตูม ผลพบว่า เมื่อสกัดเส้นใยอาหารจากกากมะตูมที่อุณหภูมิ 70 องศาเซลเซียส เป็นระยะ 1 ชั่วโมงในอัตราส่วนกากมะตูมต่อน้ำเท่ากับ 1:5 ให้ปริมาณผลผลิตเส้นใยอาหารละลายน้ำเท่ากับร้อยละ 12.70 มากกว่าการสกัดเส้นใยอาหารละลายน้ำที่ใช้ระยะเวลา 2 ชั่วโมง ในอัตราส่วนกากมะตูมต่อน้ำ และอุณหภูมิที่เท่ากัน ได้ร้อยละผลผลิตเท่ากับ 11.33 และสอดคล้องกับการศึกษาของ Cheng et al., (2017) ศึกษาการสกัดเส้นใยอาหารละลายน้ำจากเปลือกของมันฝรั่งด้วยเอนไซม์ พบว่า การสกัดด้วยการใช้เอนไซม์เซลลูเลสร่วมกับเอนไซม์ไซลาเนสทำให้ผลผลิตของเส้นใยอาหารเพิ่มขึ้นเท่ากับร้อยละ 39.7 เมื่อเทียบกับสกัดด้วยเอนไซม์เซลลูเลสได้ผลผลิตเพียงร้อยละ 31.9 และสกัดด้วยเอนไซม์ไซลาเนสได้ผลผลิตร้อยละ 25.7 เนื่องด้วยโครงสร้างหลักของผนังเซลล์พืชทั่วไปประกอบด้วยเซลลูโลส เฮมิเซลลูโลส และเพคติน เซลลูโลสและเฮมิเซลลูโลสจัดเป็นโพลีแซคคาไรด์ และเป็นเส้นใยอาหารที่ไม่ละลายน้ำ เซลลูโลสประกอบด้วยโมโนเมอร์กลูโคส ในขณะที่เฮมิเซลลูโลสประกอบด้วยพอลิเมอร์หลายชนิด เซลลูโลสเป็นพอลิเมอร์เชิงเส้น ในขณะที่เฮมิเซลลูโลสเป็นพอลิเมอร์เชื่อมโยง (ห้องปฏิบัติการวิเคราะห์ค่าทางน้ำตาลและสารอนุพันธ์, 2564) การใช้เอนไซม์ร่วมกันส่งผลให้การจับตัวของโครงสร้างของเซลลูโลสและเฮมิเซลลูโลสลดลง ผนังเซลล์ถูกไฮโดรไลซ์เป็นพอลิแซ็กคาไรด์ที่ละลายได้ ทั้งนี้ เส้นใยอาหารละลายน้ำมีคุณสมบัติในการละลายน้ำ สามารถรวมตัวกับน้ำได้ดีจึงมีโอกาสถูกชะล้างไปพร้อมกับน้ำที่ใช้ในการสกัดได้ง่าย นอกจากนี้สภาวะในการสกัดที่ใช้ระยะเวลานานทำให้ผนังเซลล์พืชอ่อนนุ่ม เพิ่มโอกาสให้เส้นใยอาหารที่ละลายน้ำได้ถูกชะล้างไปพร้อมกับน้ำที่ใช้ในการสกัดมากขึ้น (Hengsawad, 2002; Dabhade et al., 1980)

วิเคราะห์ผลการทดลองโดยวิธีพื้นผิวตอบสนองของเส้นใยอาหารละลายน้ำแบบชิ้นและแบบฝอยต่อ 3 ปัจจัย ได้แก่ ระยะเวลาการสกัด ปริมาณสารละลาย และอัตราส่วนเอนไซม์เซลลูเลสต่อไซลาเนส ส่งผลต่อคุณภาพของผลผลิตของเส้นใยอาหารละลายน้ำ องค์ประกอบทางกายภาพ องค์ประกอบทางเคมี และคุณสมบัติเชิงหน้าที่อย่างมีนัยสำคัญ พบว่า ระยะเวลาการสกัดเส้นใยอาหารละลายน้ำส่งผลต่อองค์ประกอบทางกายภาพ ได้แก่

ค่าดัชนีความขาว และค่าแอคทิวิตี้ของน้ำมีค่าเพิ่มสูงขึ้นตามลำดับ ค่าดัชนีความขาวที่แสดงถึงความขาวของสีผลิตภัณฑ์เส้นใยอาหารละลายน้ำที่สกัดได้จากหน่อไม้เศษเหลือแบบชิ้นและแบบฝอยมีลักษณะเป็นผงสีขาวจนถึงออกสีเหลืองอ่อน มีค่าดัชนีความขาวสูงเท่ากับ 93.50 ในผลการทดลอง T1512 พบว่า เมื่อใช้ระยะเวลาการสกัดเส้นใยที่เพิ่มขึ้นเป็น 3 ชั่วโมงทำให้เส้นใยอาหารมีสีเหลืองอ่อน และมีผลต่อค่าแอคทิวิตี้ของน้ำ (ค่าที่แสดงระดับพลังงานของน้ำมีความสำคัญต่ออายุการเก็บรักษา การเสื่อมเสีย และความปลอดภัยของอาหาร) โดยมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 0.52 ซึ่งจัดเป็นอาหารแห้งอยู่ในระดับที่จุลินทรีย์ทุกชนิดไม่สามารถเจริญได้ (U.S. Food & Drug, 2014) โดยค่าแอคทิวิตี้ของน้ำจะเพิ่มขึ้นตามระยะเวลาการสกัดเส้นใยอาหาร โดยสกัดเส้นใยอาหารละลายน้ำเป็นระยะเวลา 1 ชั่วโมงมีค่าเฉลี่ยอยู่ที่ 0.43 และ 3 ชั่วโมงมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 0.60 ผลผลิตเส้นใยอาหารละลายน้ำที่สกัดจากเศษเหลือหน่อไม้แบบชิ้นและแบบฝอย มีค่าเฉลี่ยอยู่ที่ร้อยละ 5 ของน้ำหนักสด 100 กรัม ซึ่งสอดคล้องกับการศึกษาของ Wang, et al., (2017) ที่สกัดเส้นใยอาหารละลายน้ำจากหน่อไม้ไผ่ญี่ปุ่น (*Phyllostachys praecox*) ด้วยเอนไซม์ พบว่า ได้ผลผลิตเส้นใยอาหารละลายน้ำร้อยละ 6.66

คุณสมบัติเชิงหน้าที่ ได้แก่ การละลายน้ำ การอุ้มน้ำ และการจับน้ำมัน และคุณสมบัติการดูดซับน้ำตาลกลูโคสของเส้นใยอาหารละลายน้ำที่สกัดด้วยเอนไซม์จากหน่อไม้เศษเหลือแบบชิ้นและแบบฝอย โดยค่าการละลายน้ำ การอุ้มน้ำ และการจับน้ำมันของเส้นใยอาหารละลายน้ำแบบชิ้น มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 0.70, 21.14 และ 11.80 กรัมต่อกรัม ตามลำดับ และเส้นใยอาหารละลายน้ำแบบฝอย มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 0.69, 20.92 และ 11.69 กรัมต่อกรัม ตามลำดับ และคุณสมบัติการดูดซับน้ำตาลกลูโคสระดับความเข้มข้น 10, 50, 100 และ 200 มิลลิโมลต่อลิตรของเส้นใยอาหารละลายน้ำแบบชิ้น มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 0.1139, 4227, 2.9855 และ 13.5004 มิลลิโมลต่อกรัม ตามลำดับ และการดูดซับน้ำตาลกลูโคสของเส้นใยอาหารละลายน้ำแบบฝอย มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 0.3906, 2.1739, 6.8802 และ 16.0654 มิลลิโมลต่อกรัม ตามลำดับ โดยมีคุณสมบัติเชิงหน้าที่และการดูดซับน้ำตาลที่ดีกว่าเมื่อเปรียบเทียบกับการศึกษาของ Wang, et al., (2017) ที่ได้ทำการสกัดเส้นใยอาหารละลายน้ำจากหน่อไม้ไผ่ญี่ปุ่น มีคุณสมบัติการละลายน้ำเท่ากับ 18.84–28.75 มิลลิลิตรต่อกรัม คุณสมบัติการอุ้มน้ำและการจับน้ำมันเท่ากับ 11.24–15.13 และ 6.71–10.15 กรัมต่อกรัม ตามลำดับ เส้นใยอาหารละลายน้ำมีความสามารถในการรวมตัวกับน้ำทำให้เกิดความหนืดหรือเกิดการก่อเจลขึ้นภายในกระเพาะอาหาร ดังนั้น การบริโภคอาหารที่มีส่วนประกอบพวกแร่ธาตุ คอเลสเตอรอลและ

น้ำตาลจะชะลอการดูดซึมขององค์ประกอบดังกล่าวเข้าสู่ร่างกายให้ช้าลงได้ การบริโภคเส้นใยอาหารในกลุ่มนี้จึงสามารถควบคุมระดับน้ำตาลในเลือด รวมทั้งช่วยลดระดับคอเลสเตอรอลได้ (กุหลาบ, 2564)

ผลขององค์ประกอบทางเคมี ได้แก่ ร้อยละไขมัน เถ้า และร้อยละโปรตีนของเส้นใยอาหารละลายน้ำแบบชิ้น (T1512) มีค่าเฉลี่ยร้อยละเท่ากับ 0.17, 71.36 และ 4.17 ตามลำดับ และเส้นใยอาหารละลายน้ำแบบฝอย (T1512) ค่าเฉลี่ยร้อยละไขมัน เถ้า และร้อยละโปรตีนของเส้นใยอาหารละลายน้ำเท่ากับ 0.40, 43.86 และ 3.39 ตามลำดับ พบว่า มีค่าเฉลี่ยร้อยละไขมันและโปรตีนลดลงเมื่อเทียบกับองค์ประกอบทางเคมีของหน่อไม้เศษเหลือแบบชิ้นและแบบฝอยก่อนการสกัดเส้นใยอาหารละลายน้ำ มีค่าร้อยละไขมันเท่ากับ 2.16 และ 1.59 ตามลำดับ และร้อยละโปรตีนเท่ากับ 9.72 และ 11.66 ตามลำดับ พบว่า ผลร้อยละของเถ้าของเส้นใยอาหารละลายน้ำแบบชิ้นและแบบฝอยเพิ่มสูงกว่าค่าที่ได้จากหน่อไม้เศษเหลือก่อนการสกัด ซึ่งมีการศึกษาของ Xie et al., (1980) ศึกษาองค์ประกอบทางเคมีกายภาพและลักษณะโครงสร้างของเส้นใยอาหารละลายน้ำจากเศษเหลือมันม่วงและมันหวานสีเหลืองด้วยเอนไซม์ในสารละลายบัฟเฟอร์ MES–Tris พบว่า เส้นใยอาหารละลายน้ำจากมันม่วงและมันหวานสีเหลืองมีค่าเถ้าสูงถึงร้อยละ 30.9 และ 31.3 ซึ่งอาจเกิดจากการตกค้างของสารละลายบัฟเฟอร์ที่มีส่วนของสารอนินทรีย์หลงเหลืออยู่ภายหลังจากการเผาไหม้หรือเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันอย่างสมบูรณ์ของสารประกอบอินทรีย์ต่าง ๆ ในเส้นใยอาหารละลายน้ำกับออกซิเจนได้เป็นสารประกอบออกไซด์ที่ระเหยได้ เถ้าที่เหลืออยู่เป็นออกไซด์ของแร่ธาตุต่าง ๆ ที่ระเหยไม่ได้ ของแข็งที่เหลืออยู่ภายหลังการเผาจะเป็นออกไซด์ของโลหะ ดังนั้นปริมาณเถ้าจึงเป็นตัวบ่งชี้ปริมาณของส่วนประกอบที่เป็นอนินทรีย์ (inorganic constituents) (พิมพ์เพ็ญ และนิธิยา, 2555)

ลักษณะทางสัณฐานวิทยาของเส้นใยอาหารละลายน้ำที่สกัดด้วยเอนไซม์จากหน่อไม้เศษเหลือแบบชิ้นและแบบฝอย มีลักษณะเป็นรูพรุน และเมื่อสกัดเส้นใยอาหารละลายน้ำด้วยเอนไซม์เซลลูเลสและเอนไซม์ไซลาเนสในระยะเวลาที่เพิ่มขึ้น เส้นใยอาหารจะมีโครงสร้างเป็นผลึกขนาดใหญ่เกาะเป็นกลุ่มก้อน เนื่องจากเส้นใยอาหารละลายน้ำที่ได้จากการสกัดด้วยเอนไซม์ และการทำแห้งแบบแช่เยือกแข็งส่งผลให้เกิดการเปลี่ยนแปลงของโครงสร้างเส้นใยอาหารและทำให้มีความสามารถในการอุ้มน้ำได้มากขึ้น (Vázquez-Gutiérrez, 2011) จากลักษณะการจับเป็นกลุ่มก้อนของเส้นใยอาหาร Treatment 2511 และ Treatment 3521

อาจเกิดการรีโทรเกรเดชัน (retrogradation) หรือการคืนตัวขององค์ประกอบทางเคมีในเส้นใยอาหารทำให้เกิดโครงสร้างลักษณะเป็นผลึก (กล้าณรงค์ ศรีรอด และเกื้อกูล ปิยะจอมขวัญ. 2546) ด้วยลักษณะทางสัณฐานวิทยาของเส้นใยอาหารที่มีลักษณะเป็นรูพรุน ส่งผลให้เซลล์จุลินทรีย์ที่เป็นเซลล์เดี่ยวหรือสายสั้น ๆ ยึดเกาะกับเส้นใยอาหารที่เป็นรูพรุนได้ดีกว่าเส้นใยอาหารที่มีลักษณะเป็นกลุ่มก้อน (ณัฐธญาณ์ ศรีสุวอ, 2559) จุลินทรีย์จะย่อยเส้นใยอาหารออกมาเป็นกรดไขมันสายสั้นและถูกดูดซึมผ่านผนังลำไส้ใหญ่เข้าไปอยู่ในเยื่อบุเพื่อนำไปใช้เป็นพลังงาน (Honest, 2561) ผลการศึกษาความสามารถในการเป็นพรีไบโอติกของเส้นใยอาหารละลายน้ำต่อจุลินทรีย์ *Lactobacillus plantarum* TISTR 2075 และ *Bifidobacterium longum subsp. Longum* TISTR 2195 พบว่า เมื่อเพาะเลี้ยงจุลินทรีย์ร่วมกับเส้นอาหารละลายน้ำแบบฝอยทั้ง 3 Treatment ได้แก่ 1512, 2411 และ 3411 เชื้อจุลินทรีย์สามารถเจริญได้ดีและมีจำนวนโคโลนีมากกว่า 300 โคโลนี แสดงให้เห็นว่า เส้นใยอาหารละลายน้ำที่ผลิตจากหน่อไม้เศษเหลือแบบฝอยสามารถส่งเสริมการเจริญของเชื้อโพรไบโอติกทั้งสองชนิดได้ โดยทั่วไปแล้วเส้นใยอาหารที่ละลายน้ำและไม่ละลายน้ำสามารถย่อยสลายได้ด้วยแบคทีเรียในลำไส้ แต่เส้นใยอาหารที่ละลายน้ำสามารถทำให้จุลินทรีย์นำไปใช้และเกิดกระบวนการหมักได้รวดเร็วและสมบูรณ์กว่าเส้นใยที่ไม่ละลายน้ำ ความสามารถในการหมักและคุณสมบัติการอุ้มน้ำของเส้นใยอาหารที่สูงขึ้นทำให้แบคทีเรียสามารถย่อยสลายได้ง่าย (Gebruers, et al., 2008) ปัจจุบันได้มีการนำไปพัฒนาใช้ในอุตสาหกรรมอาหารในรูปแบบต่าง ๆ เช่น เพิ่มเส้นใยอาหารในผลิตภัณฑ์นม เครื่องดื่ม ผลิตภัณฑ์ขนมอบ หรือผลิตภัณฑ์เสริมอาหาร (เอกลักษณ์, 2552)จากการศึกษาเส้นใยอาหารละลายน้ำจากหน่อไม้เศษเหลือมีศักยภาพในการนำไปใช้ในผลิตภัณฑ์อาหารเพื่อสุขภาพได้

ข้อเสนอแนะ

1. ในอนาคตถ้าวิจัยครั้งนี้ไปสามารถนำไปใช้ในการผลิตระดับอุตสาหกรรมซึ่งจำเป็นต้องใช้สารละลาย เช่น น้ำ และเอทานอลในปริมาณสูง จึงควรศึกษาหาวิธีการนำน้ำและ เอทานอลในการผลิตกลับมาใช้ได้อีกครั้ง หรือนำไปใช้ประโยชน์อื่น ๆ เพื่อเป็นการลดต้นทุนในการผลิต

2. จากการศึกษาวิธีการเหมาะสมในการสกัดเส้นใยอาหารครั้งนี้ อาจจะมีการศึกษาปัจจัยอื่น ๆ ที่นอกเหนือปัจจัยที่ศึกษาไปแล้ว เพื่อให้ได้เส้นใยอาหารละลายน้ำที่คุณสมบัติดีขึ้น

3. ศึกษาเพิ่มเติมถึงชนิด และองค์ประกอบของเส้นใยอาหารละลายน้ำที่สกัดได้

4. จากการศึกษาความเป็นพรีไบโอติกของเส้นใยอาหารละลายน้ำต่อการเจริญเติบโตของจุลินทรีย์โพรไบโอติกทั้งสองชนิดมีข้อจำกัดในเรื่องของอุปกรณ์ และสภาวะที่เหมาะสมในการเพาะเลี้ยงจุลินทรีย์ ดังนั้น ควรมีการศึกษาเพิ่มเติมถึงแอคทิวิตี้ของพรีไบโอติก และค่าความเป็นกรด–ด่างเพิ่มเติมหลังเลี้ยงจุลินทรีย์ร่วมกับเส้นใยอาหารละลายน้ำ

5. ศึกษาเพิ่มเติมถึงการประยุกต์ใช้เส้นใยอาหารละลายน้ำที่สกัดได้ในผลิตภัณฑ์อาหารและเครื่องดื่ม

บรรณานุกรม

กล้าณรงค์ ศรีรอด และเกื้อกูล ปิยะจอมขวัญ. (2546). **เทคโนโลยีแป้ง.** กรุงเทพฯ: สำนักพิมพ์มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

กุหลาบ สิทธิสวนจิก. (2564). **เส้นใยอาหารและการประยุกต์ใช้ในอาหาร**. สาขาวิชาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีการอาหาร คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี. กรุงเทพฯ: มหาวิทยาลัยราชภัฏบ้านสมเด็จเจ้าพระยา.

ชวนิฏฐ์ สิทธิดิลกรัตน์, พิลาณี ไวถนอมสัตย์, จิราพร เชื้อกูล และปริศนา สิริอาชา. (2548). **การผลิตเพคตินจากเปลือกและกากผลส้มเหลือทิ้ง (Production of Pectin from Orange Peel and Pomace)**. สถาบันค้นคว้าและพัฒนาผลิตผลทางการเกษตรและอุตสาหกรรมเกษตร. กรุงเทพฯ: มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

ณัฐธญาณ์ ศรีสุวอ. (2559). การใช้ข้าว (*Oryza sativa* L.) หุงสุกพันธุ์พื้นเมืองเป็นสารอาหารสำหรับโพรไบโอติก, **วารสารวิจัยและพัฒนา มจธ. ปีที่ 39**, 1, มกราคม–มีนาคม 2559, หน้า 51–61.

ธนิกานต์ สันต์สวัสดิ์. (2549). **การผลิตเส้นใยอาหารผงจากกากส้มเขียวหวาน**. วิทยานิพนธ์ วท.ม., มหาวิทยาลัยเชียงใหม่, เชียงใหม่.

นิรนาม. (2557). **ศูนย์สารสนเทศการเกษตร**. สำนักงานเศรษฐกิจการเกษตร กระทรวงเกษตรและสหกรณ์, หน้า 135.

ปาริชาติ สักกะทานุ. (2540). **คุณค่าอาหารเส้นใยป้องกันบำบัดสารพัดโรค** (พิมพ์ครั้งที่ 2). กรุงเทพฯ: สำนักพิมพ์รวมทรรศน์.

พิมพ์เพ็ญ พรเฉลิมพงศ์ และนิธิยา รัตนาปนนท์. (2555). Crude ash / เถ้าหยาบ. Food Network Solution ศูนย์เครือข่ายข้อมูลอาหารครบวงจร. สืบค้นเมื่อ 30 มีนาคม 2565, จาก https://www.foodnetworksolution.com/wiki/word/2736/crude-ash-เถ้าหยาบ

วิชมณี ยืนยงพุทธกาล, สันทัด วิเชียรโชติ, วัชรี บุญถนอม, และ สุรางค์ ทองสุวรรณ์. (2561). ผลของสภาวะการสกัดต่อคุณภาพของเส้นใยอาหารผงจากกากมะตูม, **วารสารวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยอุบลราชธานี ปีที่ 20**, 3, กันยายน–ธันวาคม 2561, หน้า 110–123.

ศูนย์เทคโนโลยีสารสนเทศและการสื่อสาร สำนักงานปลัดกระทรวงพานิชย์ โดยความร่วมมือจาก

กรมศุลกากร. (2561). **ตลาดส่งออก 15 อันดับแรกของไทยรายประเทศ หน่อไม้กระป๋อง แปรรูป**. สืบค้นเมื่อ 28 ธันวาคม 2561, จาก http: //www.ops3.moc.go.th/infor/MenuomTH/stru1_export /export_topn_re/report.asp.

สิขรินทร์ ก้อนในเมือง. (2545). การผลิตเส้นใยอาหารจากหัวกระเทียม (*Allium sativum* Lin.). **วารสารอาหาร**, 33(4), 283-291.

ห้องปฏิบัติการวิเคราะห์ค่าทางน้ำตาลและสารอนุพันธ์. (2564). **ความแตกต่างระหว่างเซลลูโลสและเฮมิเซลลูโลส**. สืบค้นเมื่อ 15 ธันวาคม 2564, จาก https://www.csdlabservices.com/2021/ความแตกต่างระหว่างเซลล์/

เอกลักษณ์ ทวีโรจนกุล. (2552). Probiotic & Prebiotic คู่หูกู้วิกฤต โรคในระบบทางเดินอาหาร, **วารสารส่งเสริมเทคโนโลยี ปีที่ 35**, ฉบับที่ 203, กุมภาพันธ์-มีนาคม 2552, หน้า 66-7

Abdulbari, H.A. and Kamarulizam, A.H. (2012). Grafted natural polymer as new drag reducing agent: An experimental approach. **Chemical Industry & Chemical Engineering Quarterly**, 18(3), 361-371.

Alam, M.M., Maniruzzaman, M. and Morshed, M. (2014). Application and Advances in Microprocessing of Natural Fiber (Jute)–Based Composites. **An Overview. Natural Resources**, 7, 108-114.

AOAC. (2000). **Official Methods of Analysis of AOAC International**. 17th ed., Maryland,

Bayar, N., Fruiji, M. and Kammoun, R., (2018). Optimization of enzymatic extraction of pactin from *Opuntia ficus indica* cladodes after mucilage removal. **Food chemistry**. (241) 127-134.

Botanicals Bamboo. (2018). **Bamboo Anatomy and Growth Habits**. สืบค้นเมื่อ 20 มกราคม 2562, จาก http://www.bamboobotanicals.ca/html/about-bamboo/bamboo -growth-habits.html?fbclid=IwAR3Z2qj8EvA7di7xGc7AMgQppe3Yx8rlZs3VmNlY aZ83FE6CZIo_9Q14qc8.

Brufau, G., Canela, M. A., Rafecas, M. (2008). Phytosterols: Physiologic and metabolic aspects related to cholesterol-lowering properties. **Nutrition Research (New York, N.Y.)**, 28(4), 217–225.

Chemistry libretexts. (2019). **Structure cellulose and starch**. สืบค้นเมื่อ 30 มกราคม 2562 จาก https://chem.libretexts.org/Bookshelves/Organic_Chemistry/Map%3A_Organic_Chemistry_(Smith)/Chapter_05%3A_Stereochemistry/5.01_Starch_and_Cellul .

Cheng, L., Zhang, X., Hong, Y., Li, Z., Li, C. and Gu Zhengbiao. (2017). Characterisation of physicochemical and functional properties of soluble dietary fiber from potato pulp obtained by enzyme–assisted extraction. **International Journal of Biological Macromolecules**, 101, 1004–1011.

Chongtham, N., Bisht, M.S., Haorongbam, S. (2011). Nutritional Properties of Bamboo Shoots: Potential and Prospects for Utilization as a Health Food. **Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety**, 10: 153–168.

Committee on Codex Specifications. (1981). Monographs. **Food Chemicals Condex**. Washington. DC.: National Academic Press.

Cumming, J.H. (1976). What is fiber. In G.A. Spiller and R.J. Amen (Eds.), **Fiber in human nutrition**. New York: Plenum press.

Dabhade, R.S. and Khedkar, D.M. (1980). Studies on drying and dehydration of raw mangoes for preparation of mango power (amchur). **Indian food packer**. 34(3), 3–59.

Dintzis, F.R. (1982). Dietary fiber analysis, concepts and problems. **Food Carbohydrates**. D.R. Lineback and G.E. Inglett (Eds.), AVI Publishing Company, Inc., Westport, CT, p. 323.

Doesburg, J.J. (1965). Pectic substances in fresh and preserved fruits and vegetables. In J.J. Doesburg (Ed.), **Institute for research on storage and processing of horticultural produce**. The Netherlands: Wogeningen.

Donde, D.M. and Miller, W. (1985). **Food applications of cellulose: Fiber–Rich Foods and Their Formulation, Marketing and Nutrition Advantages**. University of Delaware.

Dreher, M.L., Dreher, C.J. and Berry, J.W. (1984). Strach digestibility of foods: a nutritional perspective. **Critical Reviews in Food Science and Nutrition**, 20(1), 47–71.

Elleuch, M., Bedigian, D., Roiseux, O., Besbes, S., Blecker, C., and Attia, H. (2011). Dietary fiber and fiber rich by–product of food processing: Characterisation, technological functionality and commercial application: A review. **Food Chemistry**. 124(2): 411–42

Gebruers, K., Dornez, E., Boros, D., Fras, A., Dynkowska, W., Bedo, Z, Rakszegi, M., Delcour, J.A. and Courtin, C.M. (2008). Variation in the content of dietary fiber and components thereof in wheats in the HEALTHGRAIN diversity screen, **Journal of Agricultural and Food Chemistry,** 56(21), 9740–9749.

Gosselink, R.J.A., Dejong, E., Guran, B. and Abacherli, A. (2004). **Coordination network for lignin–standardisation, production and applications adapted to market requirement** (Ch. 20, pp. 121–129). Ind. Crops Prod.

Hengsawad, D. (2022). Dietary fiber for health. **Food journal**. 32, 157–159.

Honest. (2561). **ไฟเบอร์ เส้นใยอาหารมากคุณประโยชน์ทำให้รู้สึกอิ่มไม่มีพลังงาน**. สืบค้นเมื่อ 23 มกราคม 2562, จาก https://www.honestdocs.co/fiber–benefits–energy.

Ilaria et al., (2011). Prebiotic effect of soluble fibres from modern and old durum–type wheat varieties on *Lactobacillus* and *Bifidobacterium* strains. **Journal of the Science of Food and Agriculture**, 92, 2133–2140.

Kertesz, Z.I. (1963). Polyuronides. In M. Florkin and E. Stotz (Eda.), **Comprehesive Biochemistry**. London: Elsevier Publishing.

Kimura, K.K. (1977). The nutritional significance of dietary fiber. In K.K. Kimura (Ed.), **Bureau of Foods**. Washington, D.C.: FAD.

Lora, J.H. and Glasser, W.G. (2002). Recent industrial application of lignin: a sustainable alternative to nonrenewable materials. **Journal of Polymers and the Environment**, 10, 39–48.

Mann, J.I. and Cummings, J.H. (2009). Possible implications for health of the different definitions of dietary fiber, **Nutrition, Metabolism and Cardiovascular Diseases**,

19(3), 226–229.

Mark Golden. (2014). **The Science Behind QoR**. สืบค้นเมื่อ 25 ธันวาคม 2561, จาก https://www.justpaint.org/the-science-behind-qor/

Marotti, I., Bregola, V., Aloisio, I., Di Gioia, D., Bosi, S., Di Silvestro, R., Quinn, R. and Dinelli, G. (2012). Prebiotic effect of soluble fibres from modern and old durum-type wheat varieties on *Lactobacillus* and *Bifidobacterium* strains. **Journal of the Science of Food and Agriculture,** 92, 2133–2140.

Moczkowska, M., Karp, S., Niu, Y. and Kurek, M.A. (2019). Enzymatic, enzymetic-ultrasonic and alkaline extraction of soluble dietary fibre from flaxseed – A physicochemical approach. **Food Hydrocolloids**, 90, 105–112.

Parrott, M.E., and Thrall, B.E. (1978). Functional properties of various fibers: physical properties. **Journal of Food Science**, 43, 759–763.

Paul Vos. (2008). **Preclinical studies on the immune-modulatory effects of dietary oligosaccharides**. Wageningen, Ponsen & Looijen: BV.

Peerajit, P., Chiewchan, N. and Devahastin, S. (2012) Effects of pretreatment methods on health-related functional properties of high dietary fibre powder from lime residues. **Food Chemistry**, 132(4), 1891–1898.

Riaz Khan. (1993). **Low calorie food ingredients**. London: Blackie Acedemic & Professional.

Roehrig, K. L. (1988). The physiological effects of dietary fiber—a review. **Food Hydrocolloids**, 2(1), 1–18.

Sangnark, A., and Noomhorm, A. (2003). Effect of particle sizes on functional properties of dietary fiber prepared from sugar cane bagasse. **Food Chemistry**, 80, 221–229.

Selvendran, R.R. (1984). The plant cell walls as a source of dietary fiber: chemistry and structure. **The American Journal of Clinical Nutrition**, 39, 320–336.

Sosulski, F.W., and Cadden, A.M. (1982). Composition and physiological properties of several sources of dietary fiber. **Journal of Food Science**, 47, 1472–1477.

Southgate, D. and Englyst, H. (1985). Dietary fiber: chemistry, physical properties and analysis. In H. Trowell, D. Bukitt, and K. Heaton (Eds.), **Dietary fiber, fiber-depleted food and disease**, (pp. 31-53). London: Academic Press.

Spiller, G.A. and Amen, R.J. (1975). Dietary fiber in human nutrition. **Critical Reviews in Food Science and Nutrition**, 7, 39-70.

Sundar Raj, A.A., Rubila, S., Jayabalan, R. and Ranganathan, T.V. (2012). A review on pectin: Chemistry due to general properties of pectin and its pharmaceutical uses, **Scientific reports**, 1(12), 550 – 551.

Theander, O. (1977). The chemistry of dietary fiber. **Nutrition Reviews**, 35(3), 23-30.

Theander, O. and Amen, P. (1979). The chemistry, morphology and analysis of dietary fiber components. In G.E. Inglett and S.I. Falkenhag (Eds.), **Dietary Fiber: chemistry and Nutrition**, (pp. 215-244). New York: Academic Press.

Trowell, H. (1976). Definition of dietary fiber and hypothesis that it is a protective factor in certain diseases. **The American Journal of Clinical Nutrition**, 29, 417.

Trowell, H. (1985). Dietary fiber: a paradigm. **Dietary fiber, Fiber-Depleted Foods and Disease**. H. Trowell, D. Burkitt and K. Heaton (Eds.). Academic Press; London, pp. 1-20.

U.S. Food & Drug. (2014). **Water Activity (aw) in Foods**. สืบค้นเมื่อ 30 มีนาคม 2565, จาก https://www.fda.gov/inspections-compliance-enforcement-and-criminal-investigations/inspection-technical-guides/water-activity-aw-foods.

Valerie Rondone. (2012). **Why Bamboo was chosen**. สืบค้นเมื่อ 28 มกราคม 2562, จาก http://kiddococoon.blogspot.com/2012/09/why-bamboo-is-chosen.html.

Vázquez-Gutiérrez, J. L., Quiles, A., Hernando, I. and Pérez-Munuera, I. (2011). Changes in t microstructure and location of some bioactive compounds in persimmons treated by hi hydrostatic pressure, **Postharvest Biology and Technology**, 61, 137-144.

Wang, C.H., Ma, Y.L., Zhu, D.Y., Wang, H., Ren, Y.F. and Zhang, J.G. (2017). Physicochemical and functional properties of dietary fiber from bamboo shoot

(*Phyllostachys praecox*). **Emirates Journal of Food and Agriculture**, 29(7), 509–517.

Wichienchot, S., Jatupornpipat, M. and Rastall, R.A. (2010). Oligosaccharides of pitaya (dragon fruit) flesh and their prebiotic properties, **Food Chemistry**, 120(3), 850 – 857.

Xie, F., Zhang, W., Lan, X., Gong, S., Wu, J. and Wang, Z. (2017). Physicochemical properties and structural characteristics of soluble dietary fibers from yellow and purple fleshed potatoes by–product, **International journal of food properties**, 20(3), S2939–S2949.

Xuemei, M., Fang, L., Yao, X., Junwei, C., Min, W., Xuchang, D. (2019) Alterations in physicochemical and functional properties of buckwheat straw insoluble dietary fiber by alkaline hydrogen peroxide treatment, **Food Chemistry: X**, 3, 100029.

Zhang et al., (2013). Preparation and functional properties of protein from heat denatured soybean meal assisted by steam flash explosion with dilute acid soaking. **Journal of Food Engineering**, 119, 56–64.

Zhang et al., (2017). Properties of soluble dietary fiber polysaccharide from papaya peel obtained through alkaline or ultrasound–assisted alkaline extraction. **Carbohydrate Polymers**, 172, 102–112.

ภาคผนวก

ภาคผนวก ก อาหารเลี้ยงเชื้อ

1. De Man Rogosa Sharpe (MRS) Agar

Peptone Proteose	10.0 g
Meat extract	8.0 g
Yeast extract	4.0 g
D(+)Glucose	20.0 g
Sodium acetate	5.0 g
Triammonium citrate	2.0 g
Magnesium sulfate	0.2 g
Manganese sulfate	0.05 g
Dipotassium phosphate	2.0 g
Polysorbate 80	1.0 g
Agar	14.0 g

ชั่งอาหารเลี้ยงเชื้อ 66 กรัม ต่อน้ำกลั่น 1 ลิตร ละลายส่วนผสมและให้ความร้อนเป็นเวลา 1 นาที ถ่ายใส่ขวดนึ่งฆ่าเชื้อที่อุณหภูมิ 121 องศา เป็น 15 นาที

2. De Man Rogosa Sharpe (MRS) Agar + L-Cysteine 0.05%

ชั่งอาหารเลี้ยงเชื้อ 66 กรัม ต่อน้ำกลั่น 1 ลิตร ละลายส่วนผสมและให้ความร้อนเป็นเวลา 1 นาที ถ่ายใส่ขวดนึ่งฆ่าเชื้อที่อุณหภูมิ 121 องศา เป็น 15 นาที รออุณหภูมิเย็นลงที่ 50 องศา เติม L-Cysteine 0.05% และเขย่าให้สารละลายเข้ากัน

ภาคผนวก ข วิเคราะห์ทางกายภาพ

การวัดสี

เป็นการวัดค่าสี L* ค่าสี a* และค่าสี b* ของผลิตภัณฑ์ด้วยเครื่องวัดสี Ultra scan VIS spectrophotometer (Hunter associates Laboratory Inc., Reston, VA, USA) โดยค่า L* เป็นค่าดัชนีความขาว (lightness) a* เป็นค่าสีแดง และสีเขียว (redness/greenness) และ b* เป็นค่าสีเหลืองและสีน้ำเงิน (yellowness/blueness)

L คือ ค่าความสว่าง มีค่าอยู่ในช่วง 0 ถึง 100

a* คือ ค่าสีแดงและสีเขียว เมื่อ a* มีค่าบวก เป็นสีแดง

เมื่อ a* เป็นค่าลบ เป็นสีเขียว

b* คือ ค่าสีเหลืองและสีน้ำเงิน เมื่อ b* มีค่าบวก เป็นสีเหลือง

เมื่อ b* เป็นค่าลบ เป็นสีน้ำเงิน

ก่อนการวัดสีทุกครั้งต้องปรับมาตรฐานเครื่อง (calibration) โดยใช้แผ่นสีขาวมาตรฐาน (white blank; L = 97, a* = –0.18, b* = 1.84) แล้วจึงวัดสีของผลิตภัณฑ์

ภาคผนวก ค วิเคราะห์ทางเคมี

1.การวิเคราะห์ปริมาณความชื้น (AOAC, 2000)

1. อบกระป๋องอบความชื้นพร้อมฝาในตู้อบความร้อนแบบไฟฟ้า ที่อุณหภูมิ 100 ± 2 องศาเซลเซียส นาน 30 นาที ทำให้เย็นในโถดูดความชื้น นาน 30 นาที ชั่งน้ำหนัก (W1) ชั่งน้ำหนัก ตัวอย่าง 5 กรัม ใส่ในกระป๋องอบความชื้นที่อบเรียบร้อยแล้ว และชั่งน้ำหนัก (W2)

2. นำกระป๋องอบความชื้นพร้อมฝาโดยเปิดฝาออกไปอบที่ตู้อบไอร้อนแบบไฟฟ้าที่อุณหภูมิ 100 ± 2 องศาเซลเซียส นาน 3 ชั่วโมง

3. นำกระป๋องอบความชื้นออกจากตู้อบไอร้อนแบบไฟฟ้า โดยปิดฝาทันที และทำให้เย็น ในโถดูดความชื้น นาน 30 นาที ชั่งน้ำหนักที่แน่นอน

4. นำไปอบต่ออีก 1 ชั่วโมง จนได้น้ำหนักที่คงที่ (น้ำหนักที่คงที่หมายความว่าผลต่างของน้ำหนักที่ชั่งทั้งสองครั้งติดต่อกันไม่เกิน 2 มิลลิกรัม) (W3)

ปริมาณความชื้น (ร้อยละของน้ำหนัก) = (W2 – W3) x 100 / W2 – W1

เมื่อ W1 = น้ำหนักของกระป๋องอบความชื้น (กรัม)

W2 = น้ำหนักของกระป๋องอบความชื้นและตัวอย่างก่อนอบ (กรัม)

W3 = น้ำหนักของกระป๋องอบความชื้นและตัวอย่างหลังอบ (กรัม)

2. การวิเคราะห์ค่าวอเตอร์แอกทิวิตี (Water activity, aw)

ทำการวัดค่าวอเตอร์แอกทีวิตีด้วยเครื่อง AQUA LAB (Aqualab Model Series 3, USA) ก่อนทำการวัดให้เปิดเครื่องไว้เป็นเวลา 30 นาที จากนั้นทำการตรวจสอบความแม่นยำ (accuracy) ของเครื่องด้วยสารละลายโซเดียมคลอไรด์ (NaCl) ความเข้มข้น 6.0 โมลาร์ ให้มีค่าเท่ากับ 0.756 จึงใส่ตัวอย่างที่บดละเอียดลงในตลับสำหรับวัดตัวอย่างประมาณ 1 ใน 3 ของตลับ จากนั้นนำไปวางในเครื่องวัด รอจนกระทั่งเครื่องอ่านค่าวอเตอร์แอกทีวิตีจดบันทึกค่าที่วัดได้ ทำการวัด 3 ซ้ำ แล้วหาค่าเฉลี่ย และค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานของค่าวอเตอร์แอกทีวิตีที่ได้

3. การวิเคราะห์ปริมาณโปรตีน/ไนโตรเจนทั้งหมด โดยวิธีเจลดาห์ (Kjeldahl method) (AOAC,2000)

1. ชั่งตัวอย่างให้ได้น้ำหนักที่แน่นอน (0.5–2.0 กรัม) (W) ถ่ายตัวอย่างลงในหลอดย่อยโปรตีน ทำ blank ควบคู่ไปด้วย

2. เติมคะตะลิสต์ผสม จำนวน 8 กรัม และเติมกรดซัลฟิวริกเข้มข้น 20 มิลลิลิตร โดยเอียง หลอดยอยโปรตีนและค่อย ๆ รินกรดลงข้าง ๆ หลอด เพื่อล้างตัวอย่างที่อาจติดอยู่ข้างหลอดให้หมด และค่อย ๆ เขย่าตัวอย่างเบา ๆ

3. นำไปย่อยที่ชุดย่อยโปรตีน ใช้เวลาย่อยประมาณ 1 ชั่วโมง หรือจนกระทั่งสารละลายใส จึงปิดชุดย่อย รอจนกระทั่งสารละลายเย็นลงในอุณหภูมิห้อง ห้ามนำหลอดย่อยไปทำให้เย็นด้วยน้ำ เพราะจะทำให้หลอดยอยแตกได้

4. นำสารละลายที่ได้ต่อกับเครื่องกลั่นโปรตีน โดยนำขวดรูปชมพู่ที่มีกรดบอริกความเข้มข้นร้อยละ 4 โดยปริมาตร จำนวน 50 มิลลิลิตร และหยดอินดิเคเตอร์ผสมลงไป 6 ถึง 10 หยด เติมสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ความเข้มข้นร้อยละ 50 โดยปริมาตร ให้มากเกินพอ (ประมาณ 70– 90 มิลลิลิตร) ถ้าปริมาณด่างมากเกินพอสารละลายจะมีสีดำ ถ้ายังไม่เกิดสีดำให้เติมสารละลาย โซเดียมไฮดรอกไซด์เพิ่มอีก 5 ถึง 10 มิลลิลิตร

5. เปิดเครื่องเริ่มทำการกลั่น โดยทำ blank ก่อนตัวอย่าง นำสารละลายที่กลั่นได้ไปไทเทรต กับสารละลายมาตรฐานกรดซัลฟิวริกจนได้จุดยุติ คือสังเกตสีชมพูปรากฏขึ้นและสารละลายสีเทาอมม่วง

ปริมาณไนโตรเจน ร้อยละของน้ำหนัก = $(V_a - V_b) \times H_2SO_4$ (นอร์มอล) x 1.4007 / W

เมื่อ V_a = ปริมาตรของสารละลายมาตรฐานกรดซัลฟิวริกที่ใช้ในการไทเทรตตัวอย่าง (มิลลิลิตร)

V_b = ปริมาตรของสารละลายมาตรฐานกรดซัลฟิวริกที่ใช้ในการไทเทรต blank (มิลลิลิตร)

H_2SO_4 = ความเข้มข้นของสารละลายมาตรฐานกรดซัลฟิวริก (นอร์มอล)

W = น้ำหนักตัวอย่าง (กรัม)

ปริมาณโปรตีน (ร้อยละของน้ำหนัก) = ปริมาณไนโตรเจน (ร้อยละของน้ำหนัก) x ค่าแฟกเตอร์

เมื่อ ค่าแฟกเตอร์ของข้าวมีค่าเท่ากับ 5.95

ค่าแฟกเตอร์ของข้าวโพดมีค่าเท่ากับ 6.25

4. การวิเคราะห์ปริมาณไขมันโดยวิธีซอกห์เลท (Sohxlet extract method) (AOAC, 2000)

1. ชั่งตัวอย่างที่ผ่านการอบความชื้นแล้ว ด้วยน้ำหนักที่แน่นอน (0.5–1.0 กรัม) (W_1)

2. ถ่ายตัวอย่างลงในกระดาษกรองที่ผ่านการสกัดไขมันแล้วห่อให้เรียบร้อยนำไปใส่ในทิม เบอร์ (timber)

3. นำทิมเบอร์ใส่ในชุดกลั่นซอกห์เลท

4. เติมปิโตเลียมอีเทอร์ประมาณ 160 มิลลิลิตร ลงในขวดก้นกลมขนาด 250 มิลลิลิตร ที่ ผ่านการอบและชั่งน้ำหนักเรียบร้อยแล้ว (W_2)

5. เปิดเครื่องทำน้ำหล่อเย็นก่อนทำการสกัดประมาณ 30 นาที ตั้งอุณหภูมิ 10องศาเซลเซียส เปิดเตาหลุมให้ความร้อนตั้งระดับความร้อนที่ระดับ 4–5 ทำการสกัดไขมัน ตามเวลาที่เหมาะสมกับปริมาณไขมันในตัวอย่าง

6. เมื่อครบกำหนดเวลาให้ปิดเตาหลุมให้ความร้อน และระเหยปิโตเลียมอีเทอร์ออกจากตัวอย่างในตู้ดูดควัน (hood)

7. นำขวดก้นกลม อบต่อในตู้อบลมร้อนแบบไฟฟ้าที่อุณหภูมิ 102 ± 2 องศาเซลเซียส นาน 2 ชั่วโมง จากนั้นทำให้เย็นในโถดูดความชื้น ชั่งน้ำหนัก (W_3)

ปริมาณร้อยละของน้ำหนัก = ($W_3 - W_2$) x 100/ W_1

เมื่อ W1 = น้ำหนักของตัวอย่าง (กรัม)

W2= น้ำหนักของขวดก้นกลม (กรัม)

W3= น้ำหนักของขวดก้นกลมที่มีไขมัน (กรัม)

5. การวิเคราะห์ปริมาณเถ้า (AOAC, 2000)

1. เผาถ้วยกระเบื้องเคลือบในเตาเผาไฟฟ้า ที่อุณหภูมิ 525 องศาเซลเซียส ถึง 550 องศาเซลเซียส (เท่ากับอุณหภูมิที่ใช้เผาตัวอย่าง) นาน 30 นาที

2. ทำให้เย็นในโถดูดความชื้น ชั่งน้ำหนัก (W_1) และใส่ตัวอย่างในถ้วยกระเบื้องเคลือบ ชั่งให้ได้น้ำหนักแน่นอนประมาณ 2–3 กรัม (W_2)

3. นำไปเผาด้วยไฟอ่อนบนเตาไฟฟ้าหรือตะเกียงบุนเซน โดยเพิ่มความร้อนขึ้นทีละน้อย จนตัวอย่างไหม้เกรียมและเผาจนหมดควัน

4. จากนั้นนำไปเผาต่อในเตาเผาไฟฟ้าที่อุณหภูมิ 525 องศาเซลเซียส ถึง 550 องศาเซลเซียส จนได้เถ้าสีขาว (ใช้เวลา 2–3 ชั่วโมง) จากนั้นทำให้เย็นในโถดูดความชื้น

5. ถ้าเถ้าที่ได้ไม่ขาว ให้นำเถ้าออกมาจากเตาเผา ตั้งทิ้งไว้ให้เย็นแล้วหยดน้ำเล็กน้อยพอเปียกชุ่ม (ระวังอย่าให้เถ้าฟุ้งหรือกระเด็น) นำไประเหยให้แห้งบนเครื่องอังน้ำ และเผาซ้ำโดยใช้เวลาในเตาเผาไฟฟ้าเพียง 1 ชั่วโมง จนได้น้ำหนักคงที่ (น้ำหนักที่คงที่หมายความว่าผลต่างของ น้ำหนักที่ชั่งทั้งสองครั้งติดต่อกัน ไม่เกิน 2 มิลลิกรัม) ชั่งน้ำหนักที่ได้ (W_3)

ปริมาณเถ้าทั้งหมด (ร้อยละของน้ำหนัก) = (W3 – W1) x 100/ (W2 – W1)

เมื่อ W_1 = น้ำหนักถ้วยกระเบื้องเคลือบ (กรัม)

W_2 = น้ำหนักถ้วยกระเบื้องเคลือบและตัวอย่าง (กรัม)

W_3 = น้ำหนักถ้วยกระเบื้องเคลือบและเถ้า (กรัม)

ภาคผนวก ง ขั้นตอนการสกัดเส้นใยอาหารละลายน้ำจากหน่อไม้เศษเหลือ

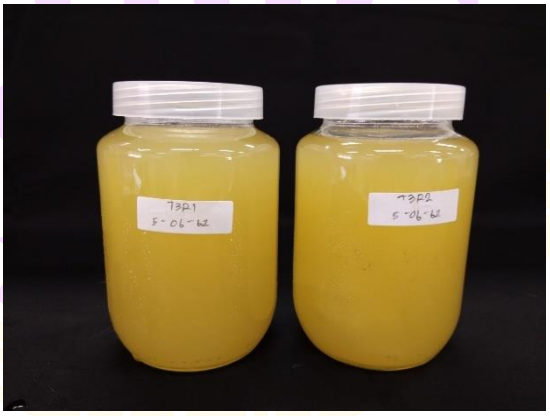
ภาพ 39 หน่อไม้เศษเหลือ (แบบชิ้น) ได้จากการตัดแต่งหน่อไม้สดก่อนเข้ากระบวนการผลิต

ภาพ 40 หน่อไม้เศษเหลือ (แบบฝอย) ได้จากกระบวนการผลิตหั่นฝอยหน่อไม้สด

ภาพ 41 การเตรียมหน่อไม้สดปั่นละเอียดก่อนการสกัดเส้นใยอาหาร

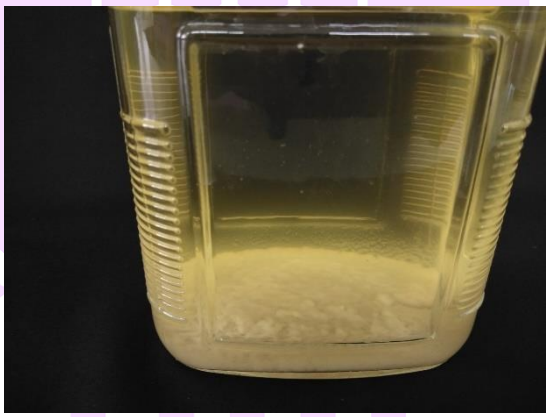
ภาพ 42 การสกัดเส้นใยอาหารละลายน้ำด้วยเอนไซม์จากหน่อไม้สด 100 กรัม

หมายเหตุ: ก หมายถึง สกัดเส้นใยอาหารด้วยเอนไซม์อัลฟาอะไมเลส ที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส เวลา 30 นาที
ข สกัดเส้นใยอาหารด้วยเอนไซม์กลูโคซิเดสที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส เวลา 30 นาที
ค โปรติเอส ที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส เวลา 30 นาที และนำไปบ่มที่อุณหภูมิ 95 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 10 นาที (เพื่อยับยั้งการทำงานของเอนไซม์)



ภาพ 43 ส่วนของเหลวที่ได้จากการกรองด้วยผ้าขาวบาง หลังการสกัดด้วยเอนไซม์

ภาพ 44 ปั่นเหวี่ยงของเหลวที่ได้หลังการสกัดด้วยเอนไซม์



ภาพ 45 ตะกอนเส้นใยอาหารละลายน้ำหลังจากตกตะกอนด้วยแอลกอฮอล์ 95 เปอร์เซ็นต์ ในอัตราส่วน 1:4 (น้ำตัวอย่าง 100 มิลลิลิตร: สารละลายเอทานอล 400 มิลลิลิตร)

ภาพ 46 ลักษณะของเส้นใยอาหารละลายน้ำภายใต้กล้องสเตอริโอไมโครสโคป

ประวัติผู้วิจัย

ชื่อ-สกุล	ลลิตา ลามะพรม
วัน เดือน ปี เกิด	12 พฤษภาคม 2538
สถานที่เกิด	เชียงใหม่
วุฒิการศึกษา	พ.ศ. 2560-ปัจจุบัน ปริญญาโท หลักสูตรวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาเทคโนโลยีชีวภาพ คณะเกษตรศาสตร์และทรัพยากรธรรมชาติ มหาวิทยาลัยพะเยา จังหวัดพะเยา พ.ศ. 2556-2559 ปริญญาตรี หลักสูตรวิทยาศาสตรบัณฑิต คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏเชียงราย
ที่อยู่ปัจจุบัน	197 หมู่ 14 ต.แม่เจดีย์ใหม่ อ.เวียงป่าเป้า จ.เชียงราย 57260
ผลงานตีพิมพ์	ลลิตา ลามะพรม, ตระกูล พรหมจักร และรวิสรา รื่นไวย์. (2564). ผลของเส้นใยอาหารละลายน้ำที่สกัดด้วยเอนไซม์จากหน่อไม้เศษเหลือต่อการเจริญเติบโตของจุลินทรีย์ Lactobacillus plantarum TISTR 2075 และ Bifidobacterium longum subsp. Longum TISTR 2195. การประชุมวิชาการระดับชาติ ครั้งที่ 7 “วิจัยและพัฒนา นวัตกรรมสู่สังคมวิถีใหม่อย่างยั่งยืน. วิทยาลัยเทคโนโลยีสยาม, หน้า 41-51.
รางวัลที่ได้รับ	-