ผลของวิธีการสกัดต่อสมบัติทางเคมีกายภาพและสมบัติเชิงหน้าที่ของเส้นใยอาหารจากหน่อไม้เศษเหลือ

กมลลักษณ์ วิชาเร็ว

วิทยานิพนธ์เสนอมหาวิทยาลัยพะเยา เพื่อเป็นส่วนหนึ่งของการศึกษา
หลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชาเทคโนโลยีชีวภาพ
พฤษภาคม 2563

ลิขสิทธิ์เป็นของมหาวิทยาลัยพะเยา

ผลของวิธีการสกัดต่อสมบัติทางเคมีกายภาพและสมบัติเชิงหน้าที่
ของเส้นใยอาหารจากหน่อไม้เศษเหลือ

กมลลักษณ์ วิชาเร็ว

วิทยานิพนธ์เสนอมหาวิทยาลัยพะเยา เพื่อเป็นส่วนหนึ่งของการศึกษา
หลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชาเทคโนโลยีชีวภาพ
พฤษภาคม 2563
ลิขสิทธิ์เป็นของมหาวิทยาลัยพะเยา

EFFECT OF EXTRACTION METHODS ON THE PHYSICOCHEMICAL AND FUNCTIONAL PROPERTIES OF DIETARY FIBER FROM THE RESIDUAL BAMBOO SHOOTS

KAMONLAK WICHARAEW

A Thesis Submitted to University of Phayao
in Partial Fulfillment of the Requirements
for the Master of Science Degree in Biotechnology
May 2020
Copyright 2019 by University of Phayao

วิทยานิพนธ์
เรื่อง
ผลของวิธีการสกัดต่อสมบัติทางเคมีกายภาพและสมบัติเชิงหน้าที่
ของเส้นใยอาหารจากหน่อไม้เศษเหลือ

ของ กมลลักษณ์ วิชาเร็ว

ได้รับพิจารณาอนุมัติให้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษา
หลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาเทคโนโลยีชีวภาพ
ของมหาวิทยาลัยพะเยา

.... ประธานกรรมการสอบวิทยานิพนธ์
(ดร.สุกัญญา จีนเหนาะ)

.... ประธานที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์
(ดร. รวิสรา รื่นไวย์)

.... อาจารย์บัณฑิตศึกษามหาวิทยาลัยพะเยา
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. สุภาพร ภัสสร)

.... ผู้ทรงคุณวุฒิ
(ดร. สุกัญญา จีนเหนาะ)

.... คณบดีคณะเกษตรศาสตร์และทรัพยากรธรรมชาติ
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. บุญฤทธิ์ สินค้างาม)

เรื่อง: ผลของวิธีการสกัดต่อสมบัติทางเคมีกายภาพและสมบัติเชิงหน้าที่ของเส้นใยอาหารจากหน่อไม้เศษเหลือ

ผู้วิจัย: กมลลักษณ์ วิชาเร็ว, วิทยานิพนธ์: วท.ม. (เทคโนโลยีชีวภาพ), มหาวิทยาลัยพะเยา, 2562

อาจารย์ที่ปรึกษา: ดร. รวิสรา รื่นไวย์

คำสำคัญ หน่อไม้เศษเหลือ, หน่อไม้ผง, เส้นใยอาหาร, สมบัติทางเคมีกายภาพ, สมบัติเชิงหน้าที่

บทคัดย่อ

อุตสาหกรรมแปรรูปหน่อไม้สร้างเศษเหลือจากการตัดแต่งประมาณร้อยละ 50 ของหน่อไม้ทั้งหมดที่นำมาแปรรูป งานวิจัยนี้มีจุดประสงค์เพื่อศึกษาผลของวิธีการและสภาวะที่เหมาะสมในการผลิตเส้นใยอาหารจากหน่อไม้เศษเหลือส่วนฐานและปลายยอดต่อสมบัติทางเคมีกายภาพและสมบัติเชิงหน้าที่ของเส้นใยอาหาร จากการศึกษาวิธีการที่เหมาะสมในการผลิตหน่อไม้ผงจากหน่อไม้เศษเหลือ พบว่า หน่อไม้ผงจากหน่อไม้เศษเหลือส่วนฐานที่ได้จากการย่อยด้วยเอนไซม์อะไมเลสและโปรตีเอส (BSP-EN) ทำให้ได้ปริมาณของเส้นใยอาหารทั้งหมด (ร้อยละ 79.05) เส้นใยอาหารที่ละลายน้ำ (ร้อยละ 34.72) ความสามารถในการอุ้มน้ำ (15.08 กรัมต่อกรัม) และการพองตัว (7.23 มิลลิลิตรต่อกรัม) สูงสุด ตามลำดับ เมื่อศึกษาชนิดและลำดับของเอนไซม์ที่เหมาะสมในการผลิตเส้นใยอาหารจากหน่อไม้เศษเหลือ พบว่า เส้นใยอาหารจากหน่อไม้เศษเหลือส่วนฐานที่ผลิตได้จากกรรมวิธีการย่อยด้วยเอนไซม์อะไมเลส กลูโคอะไมเลส โปรตีเอส และไลเปส (AGP-L) ทำให้ได้ปริมาณเส้นใยอาหารที่ละลายน้ำ (ร้อยละ 5.33) ความสามารถในการอุ้มน้ำ (10.46 กรัมต่อกรัม) และการพองตัว (8.71 มิลลิลิตรต่อกรัม) มากที่สุด ขณะที่เส้นใยอาหารจากหน่อไม้เศษเหลือส่วนปลายยอดที่ผลิตได้จากกรรมวิธีการย่อยด้วยเอนไซม์อะไมเลส โปรตีเอส ไลเปส และกลูโคอะไมเลส (APL-G) ทำให้ได้ปริมาณเส้นใยอาหารที่ละลายน้ำ (ร้อยละ 7.20) ความสามารถในการอุ้มน้ำ (14.06 กรัมต่อกรัม) และการพองตัว (11.89 มิลลิลิตรต่อกรัม) สูงสุด เมื่อศึกษาสภาวะที่เหมาะสมในการผลิตเส้นใยอาหารจากหน่อไม้เศษเหลือส่วนฐานและปลายยอดด้วยวิธีพื้นผิวตอบสนอง พบว่า ความเข้มข้น และระยะเวลาในการสกัดของเอนไซม์ไลเปสมีผลต่อปริมาณผลผลิตทั้งหมดที่สกัดได้ และความสามารถในการอุ้มน้ำของเส้นใยอาหารจากหน่อไม้เศษเหลือส่วนฐาน โดยสภาวะที่เหมาะสมในการสกัด คือ ปริมาณของเอนไซม์ไลเปสที่ความเข้มข้น 3 ยูนิตต่อกรัม และระยะเวลาในการสกัด 39.61 นาที ทำให้ได้ปริมาณผลผลิตทั้งหมดที่สกัดได้ ร้อยละ 13.51 และความสามารถในการอุ้มน้ำ 10.21 กรัมต่อกรัม ดังนั้น กรรมวิธี AGP-L และ APL-G มีความเหมาะสมในการนำไปพัฒนากระบวนการผลิตเส้นใยอาหารจากหน่อไม้เศษเหลือส่วนฐานและปลายยอดในการศึกษาต่อไป

Title: EFFECT OF EXTRACTION METHODS ON THE PHYSICOCHEMICAL AND FUNCTIONAL PROPERTIES OF DIETARY FIBER FROM THE RESIDUAL BAMBOO SHOOTS

Author: Kamonlak Wicharaew, Thesis: M.Sc. (Biotechnology), University of Phayao, 2019

Advisor: Dr. Rawisara Ruenwai

Keyword Bamboo shoot wastes, Bamboo shoot powder, Dietary fiber, Physicochemical properties, Functional properties

ABSTRACT

About 50 percent of bamboo shoot wastes were generated from bamboo shoot industries. This study investigates the effect of extraction methods on the physicochemical and functional properties of dietary fiber from the bamboo shoot base and strip. The effect of appropriate methods for dietary fiber extraction from the bamboo shoot wastes indicated that enzymatic extraction (BSP-EN) of bamboo shoots base provided the highest total dietary fiber (79.05%), soluble dietary fiber (34.72%), water holding capacity (15.08 g/g) and swelling capacity (7.23 mL/g), respectively. Effects of types and order of the enzymes to extraction of dietary fiber from the bamboo shoot wastes showed that dietary fiber of bamboo shoot base obtained from AGP-L provide the highest soluble dietary fiber content (5.33%), water holding capacity (10.46 g/g) and swelling capacity (8.71 mL/g). By contrast the dietary fiber of bamboo shoot strip obtained from APL-G provide the highest soluble dietary fiber content (7.20%), water holding capacity (14.06 g/g) and swelling capacity (11.89 mL/g). The appropriate condition for dietary fiber extraction including the concentration and time of extraction by lipase had effect on the yield and water holding capacity of dietary fiber from the bamboo shoot base. The optimum extraction conditions determined from response surface methodology were concentration of lipase at 3 U/g and extraction time of 39.61 min. It could provide the predictive values of 13.51% yield of dietary fiber and 10.21 g/g water holding capacity, respectively. Therefore, AGP-L and APL-G are the appropriate methods to develop the extraction of dietary fiber from the bamboo shoot base and strip in the future studies.

กิตติกรรมประกาศ

ข้าพเจ้าขอขอบพระคุณ ดร.รวิสรา รื่นไวย์ ประธานกรรมการที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ เป็นอย่างยิ่งที่กรุณามอบทุนการศึกษาต่อในระดับบัณฑิตศึกษา ชี้แนะแนวทางในการเรียนรู้ ให้คำแนะนำ คำปรึกษา ตลอดจนตรวจแก้ไขข้อบกพร่องจนทำให้วิทยานิพนธ์ฉบับนี้เสร็จสมบูรณ์

ขอขอบพระคุณ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.สุภาพร ภัสสร คณะกรรมการที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ และ ดร.สุกัญญา จีนเหนาะ ประธานคณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์ที่กรุณาชี้แนะแนวทาง และคำแนะนำในการแก้ไขวิทยานิพน์ฉบับนี้ให้เสร็จสมบูรณ์ยิ่งขึ้น

ขอขอบพระคุณ ดร.ตระกูล พรหมจักร อาจารย์ประจำสาขาวิชาความปลอดภัยทางอาหาร คณาจารย์สาขาวิชาเทคโนโลยีชีวภาพ และนักวิทยาศาสตร์ คณะเกษตรศาสตร์และทรัพยากรธรรมชาติที่ได้ให้ความรู้ คำแนะนำเกี่ยวกับการใช้เครื่องมือ และเทคนิคการวิเคราะห์ต่าง ๆ ให้เสร็จสมบูรณ์ไปได้ด้วยดี

ขอขอบคุณสำนักงานพัฒนาการวิจัยการเกษตร (องค์การมหาชน) ร่วมกับบริษัท ฝางอินเตอร์ฟูดส์ จำกัด ที่สนับสนุนแผนงานวิจัย ภายใต้ทุนอุดหนุนการวิจัย ประจำปีงบประมาณ 2561 กลุ่มเรื่อง อาหารเพื่อเพิ่มคุณค่าและความปลอดภัยสำหรับผู้บริโภค และการค้า และขอขอบคุณมหาวิทยาลัยพะเยาที่ให้การสนับสนุนทุนอุดหนุนการทำวิทยานิพนธ์ ปีการศึกษา 2561 ตลอดจนคณะเกษตรศาสตร์และทรัพยากรธรรมชาติ และศูนย์เครื่องมือกลางมหาวิทยาลัยพะเยา ที่อำนวยความสะดวกทั้งสถานที่ และเครื่องมือในการปฏิบัติงาน

ขอกราบขอบพระคุณบิดา มารดา และครอบครัวที่สนับสนุนด้านการศึกษาที่ให้ความช่วยเหลือและกำลังใจด้วยดีเสมอมา

กมลลักษณ์ วิชาเร็ว

สารบัญ

หน้า

บทคัดย่อภาษาไทย .... ง

บทคัดย่อภาษาอังกฤษ .... จ

กิตติกรรมประกาศ .... ฉ

สารบัญ .... ช

สารบัญตาราง .... ฌ

สารบัญภาพ .... ฏ

บทที่ 1 บทนำ 1

ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา 1

วัตถุประสงค์ของการวิจัย 3

สมมติฐานของการวิจัย 3

ขอบเขตของการวิจัย 3

บทที่ 2 เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง 5

หน่อไม้ (Bamboo shoot) 5

เส้นใยอาหาร (Dietary fiber) 7

กระบวนการผลิตเส้นใยอาหารผง 21

วิธีการสกัดเส้นใยอาหาร 23

งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง 25

งานวิจัยในต่างประเทศ 26

บทที่ 3 วิธีดำเนินการวิจัย 29

ตัวอย่างที่ใช้ในการศึกษา 29

เครื่องมือและสารเคมีที่ใช้ในการวิจัย 29

การเก็บรวบรวมข้อมูล 32
การทดลองที่ 1 ศึกษาองค์ประกอบทางกายภาพและเคมีโดยประมาณของหน่อไม้ เศษเหลือ 33
การทดลองที่ 2 ศึกษาวิธีการที่เหมาะสมในการผลิตหน่อไม้ผงจากหน่อไม้เศษเหลือ ..33
การทดลองที่ 3 ศึกษาสภาวะที่เหมาะสมของเอนไซม์ในการผลิตเส้นใยอาหารจากหน่อไม้เศษเหลือ 38
การวิเคราะห์ข้อมูล 43
บทที่ 4 ผลการวิเคราะห์ข้อมูล 44
การศึกษาองค์ประกอบทางกายภาพและเคมีโดยประมาณของหน่อไม้เศษเหลือ 44
การศึกษาวิธีการที่เหมาะสมในการผลิตหน่อไม้ผง 46
การศึกษาสภาวะที่เหมาะสมในการผลิตเส้นใยอาหารจากหน่อไม้เศษเหลือ 59
บทที่ 5 บทสรุป 91
สรุปผลการวิจัย 91
อภิปรายผลการวิจัย 92
ข้อเสนอแนะ 102
ภาคผนวก 104
ภาคผนวก ก การวิเคราะห์สมบัติทางกายภาพ 105
ภาคผนวก ข การวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมีโดยประมาณ 106
ภาคผนวก ค ผลการวิเคราะห์ข้อมูล 112
บรรณานุกรม 120
ประวัติผู้วิจัย 127

สารบัญตาราง

หน้า

ตาราง 1 แสดงคุณค่าทางโภชนาการของหน่อไม้ในแต่ละสายพันธุ์ต่อน้ำหนักสด 100 กรัม 7

ตาราง 2 แสดงองค์ประกอบทางเคมีของเส้นใยอาหารในหน่อไม้ 14

ตาราง 3 แสดงสภาวะการสกัดเส้นใยอาหารจากหน่อไม้เศษเหลือส่วนฐาน และ ปลายยอด ด้วยเอนไซม์ชนิดที่แตกต่างกัน 41

ตาราง 4 แสดงชนิดและระดับของแต่ละปัจจัยที่ใช้ในการสกัดเส้นใยอาหารจากหน่อไม้ เศษเหลือส่วนฐานและปลายยอด 42

ตาราง 5 แสดงลำดับการทดลองแบบส่วนประสมกลาง (central composite design) ของการย่อยเส้นใยอาหารด้วยเอนไซม์ไลเปส ที่มี 2 ปัจจัย ปัจจัยละ 3 ระดับ และมีการทำซ้ำที่จุดกึ่งกลาง 2 ครั้ง..42

ตาราง 6 (ต่อ) 43

ตาราง 7 แสดงสมบัติทางกายภาพของหน่อไม้เศษเหลือส่วนฐาน และปลายยอด.................45

ตาราง 8 แสดงองค์ประกอบทางเคมีโดยประมาณของหน่อไม้เศษเหลือส่วนฐาน และปลายยอด 46

ตาราง 9 แสดงสมบัติทางกายภาพของหน่อไม้ผงจากหน่อไม้เศษเหลือส่วนฐาน ซึ่งได้ จากกรรมวิธีการผลิตที่แตกต่างกัน 48

ตาราง 10 แสดงสมบัติทางกายภาพของหน่อไม้ผงจากหน่อไม้เศษเหลือส่วนปลายยอด ซึ่งได้จากกรรมวิธีการผลิตที่แตกต่างกัน...49

ตาราง 11 แสดงปริมาณเส้นใยอาหารทั้งหมด เส้นใยอาหารที่ไม่ละลายน้ำ และเส้นใยอาหารที่ละลายน้ำจากหน่อไม้เศษเหลือส่วนฐาน และปลายยอด ซึ่งได้จากกรรมวิธีการผลิตที่แตกต่างกัน 52

ตาราง 12 แสดงองค์ประกอบทางเคมีโดยประมาณของหน่อไม้ผงจากหน่อไม้เศษเหลือ ส่วนฐาน และปลายยอด ซึ่งได้จากกรรมวิธีการผลิตที่เหมาะสม..58

ตาราง 13 แสดงสมบัติเชิงหน้าที่ของหน่อไม้ผงจากหน่อไม้เศษเหลือส่วนฐาน และ ปลายยอด ซึ่งได้จากกรรมวิธีการผลิตที่เหมาะสม 59

ตาราง 14 แสดงค่าสีของเส้นใยอาหารจากหน่อไม้เศษเหลือส่วนฐาน ซึ่งได้จากกรรมวิธีการผลิตที่แตกต่างกัน.................... 61

ตาราง 15 (ต่อ)....................62

ตาราง 16 แสดงค่าสีของเส้นใยอาหารจากหน่อไม้เศษเหลือส่วนปลายยอด ซึ่งได้จากกรรมวิธีการผลิตที่แตกต่างกัน 63

ตาราง 17 (ต่อ) 64

ตาราง 18 แสดงองค์ประกอบทางเคมีโดยประมาณของเส้นใยอาหารจากหน่อไม้ เศษเหลือส่วนฐาน และปลายยอด ซึ่งได้จากกรรมวิธีการที่เหมาะสม....................76

ตาราง 19 แสดงปริมาณผลผลิต เส้นใยอาหารทั้งหมด และสมบัติทางเคมีกายภาพของเส้นใยอาหารจากหน่อไม้เศษเหลือส่วนฐาน ซึ่งได้จากกรรมวิธี AGP-L....................79

ตาราง 20 (ต่อ) 80

ตาราง 21 แสดงค่าสัมประสิทธิ์การตัดสินใจ และการวิเคราะห์ความแปรปรวนของแบบจำลองค่าตอบสนองของปริมาณผลผลิต เส้นใยอาหารทั้งหมด และสมบัติทางเคมีกายภาพของเส้นใยอาหารจากหน่อไม้เศษเหลือส่วนฐาน ซึ่งได้จากกรรมวิธี AGP-L.................... 81

ตาราง 22 แสดงปริมาณผลผลิต เส้นใยอาหารทั้งหมด และสมบัติทางเคมีกายภาพของเส้นใยอาหารจากหน่อไม้เศษเหลือส่วนปลายยอด ซึ่งได้จากกรรมวิธี APL-G 87

ตาราง 23 (ต่อ) 88

ตาราง 24 แสดงค่าสัมประสิทธิ์การตัดสินใจ และการวิเคราะห์ความแปรปรวนของแบบจำลองค่าตอบสนองของปริมาณผลผลิต เส้นใยอาหารทั้งหมด และสมบัติทางเคมีกายภาพของเส้นใยอาหารจากหน่อไม้เศษเหลือส่วนปลายยอด ซึ่งได้จากกรรมวิธี APL-G 89

ตาราง 25 แสดงปริมาณความชื้น และผลผลิตของหน่อไม้ผงที่มีเส้นใยอาหารเป็นส่วนประกอบจากหน่อไม้เศษเหลือส่วนฐาน และปลายยอด ซึ่งได้จากกรรมวิธีการผลิตที่แตกต่างกัน.......112

ตาราง 26 แสดงปริมาณความชื้นและผลผลิตของเส้นใยอาหารจากหน่อไม้เศษเหลือส่วนฐาน และปลายยอด ซึ่งได้จากกรรมวิธีการผลิตด้วยเอนไซม์ที่แตกต่างกัน....................113

ตาราง 27 แสดงความสามารถในการอุ้มน้ำ พองตัว และอุ้มน้ำมันของหน่อไม้ผงที่มีเส้นใยอาหารเป็นส่วนประกอบจากหน่อไม้เศษเหลือส่วนฐาน และปลายยอด 115

ตาราง 28 แสดงความสามารถในการอุ้มน้ำ การพองตัว และการอุ้มน้ำมันของหน่อไม้ผงที่มีเส้นใยอาหารเป็นส่วนประกอบจากหน่อไม้เศษเหลือส่วนฐาน และ ปลายยอด 116

ตาราง 29 แสดงสมบัติเชิงหน้าที่ของเส้นใยอาหารจากหน่อไม้เศษเหลือส่วนฐาน และปลายยอด ซึ่งได้จากกรรมวิธีเหมาะสม..118

สารบัญภาพ

หน้า

ภาพ 1 แสดงลักษณะทางพฤกษศาสตร์ของไผ่ (ก) และหน่อไม้ (ข) 6

ภาพ 2 แสดงโครงสร้างทางเคมีของเส้นใยอาหารที่ละลายน้ำ ได้แก่ เพคติน (ก), เบตา-กลูแคน (ข) และกัวกัม (ค) 9

ภาพ 3 แสดงโครงสร้างทางเคมีของเส้นใยอาหารที่ไม่ละลายน้ำ ได้แก่ เซลลูโลส (ก) เฮมิเซลลูโลส (ข) และลิกนิน (ค) 11

ภาพ 4 แสดงหน่อไม้เศษเหลือส่วนฐาน (ก) และปลายยอด (ข) 29

ภาพ 5 แสดงแผนงานวิจัยผลของวิธีการสกัดต่อสมบัติทางเคมีกายภาพและสมบัติ เชิงหน้าที่ของเส้นใยอาหารจากหน่อไม้เศษเหลือ 32

ภาพ 6 แสดงการศึกษาชนิดและลำดับของเอนไซม์ที่เหมาะสมในการผลิตเส้นใยอาหาร จากหน่อไม้เศษเหลือ 40

ภาพ 7 แสดงปริมาณผลผลิตของหน่อไม้ผงจากหน่อไม้เศษเหลือส่วนฐาน และปลายยอด ...50

ภาพ 8 แสดงโครงสร้างทางจุลภาคของหน่อไม้ผงจากหน่อไม้เศษเหลือส่วนฐาน (ก) BSP-W (ข) BSP-CAA (ค) BSP-EAA (ง) และ BSP-EN (จ) 53

ภาพ 9 แสดงโครงสร้างทางจุลภาคของหน่อไม้ผงจากหน่อไม้เศษเหลือส่วนปลายยอด (ก) BSP-W (ข) BSP-CAA (ค) BSP-EAA (ง) และ BSP-EN (จ) 54

ภาพ 10 แสดงความสามารถในการอุ้มน้ำของหน่อไม้ผงจากหน่อไม้เศษเหลือ ส่วนฐาน และปลายยอด 55

ภาพ 11 แสดงความสามารถในการพองตัวของหน่อไม้ผงจากหน่อไม้เศษเหลือ ส่วนฐาน และปลายยอด 56

ภาพ 12 แสดงความสามารถในการจับน้ำมันของหน่อไม้ผงจากหน่อไม้เศษเหลือ ส่วนฐาน และปลายยอด 57

ภาพ 13 แสดงปริมาณผลผลิตของเส้นใยอาหารจากหน่อไม้เศษเหลือส่วนฐาน และปลายยอด ซึ่งได้จากกรรมวิธีการผลิตที่แตกต่างกัน 66

ภาพ 14 แสดงปริมาณเส้นใยอาหารทั้งหมด เส้นใยอาหารที่ไม่ละลายน้ำ และเส้นใยอาหารที่ละลายน้ำจากหน่อไม้เศษเหลือส่วนฐาน ซึ่งได้จากกรรมวิธี การผลิตที่แตกต่างกัน 67

ภาพ 15 แสดงปริมาณเส้นใยอาหารทั้งหมด เส้นใยอาหารที่ไม่ละลายน้ำ และเส้นใยอาหารที่ละลายน้ำจากหน่อไม้เศษเหลือส่วนปลายยอด ซึ่งได้จากกรรมวิธี.......................................68

ภาพ 16 แสดงโครงสร้างทางจุลภาคของเส้นใยอาหารจากหน่อไม้เศษเหลือส่วนฐาน ซึ่งได้จากกรรมวิธี AGP (ก) และ AGP-L (ข) 69

ภาพ 17 แสดงโครงสร้างทางจุลภาคของเส้นใยอาหารจากหน่อไม้เศษเหลือส่วน ปลายยอดซึ่งได้จากกรรมวิธี APL (ก) และ APL-G (ข)...70

ภาพ 18 แสดงความสามารถในการอุ้มน้ำของเส้นใยอาหารจากหน่อไม้เศษเหลือ ส่วนฐาน และปลายยอด ซึ่งได้จากกรรมวิธีการผลิตที่แตกต่างกัน...72

ภาพ 19 แสดงความสามารถในการพองตัวของเส้นใยอาหารจากหน่อไม้เศษเหลือ ส่วนฐาน และปลายยอด ซึ่งได้จากกรรมวิธีการผลิตที่แตกต่างกัน 73

ภาพ 20 แสดงความสามารถในการจับน้ำมันของเส้นใยอาหารจากหน่อไม้เศษเหลือ ส่วนฐาน และปลายยอด ซึ่งได้จากกรรมวิธีการผลิตที่แตกต่างกัน 74

ภาพ 21 แสดงสมบัติเชิงหน้าที่ของเส้นใยอาหารจากหน่อไม้เศษเหลือส่วนฐาน และปลายยอด ซึ่งได้จากกรรมวิธีการผลิตที่เหมาะสม 77

ภาพ 22 แสดงกราฟพื้นผิวตอบสนอง (3D surface plot) แสดงอิทธิพลร่วม ของความเข้มข้นของเอนไซม์ไลเปสและระยะเวลาในการสกัด ต่อปริมาณผลผลิตของเส้นใยอาหาร จากหน่อไม้เศษเหลือส่วนฐาน 83

ภาพ 23 แสดงกราฟพื้นผิวตอบสนอง (3D surface plot) แสดงอิทธิพลร่วมของความเข้มข้นของเอนไซม์ไลเปสและระยะเวลาในการสกัดต่อความสามารถ ในการอุ้มน้ำของเส้นใยอาหารจากหน่อไม้เศษเหลือส่วนฐาน...85

บทที่ 1

บทนำ

ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

หน่อไม้ (Bamboo shoot) เป็นพืชเศรษฐกิจชนิดหนึ่งของประเทศไทยที่มีการนำมาผลิตและแปรรูปในระดับอุตสาหกรรม เช่น หน่อไม้ดอง และหน่อไม้ต้มบรรจุปี๊บ เนื่องจากหน่อไม้สดมีระยะเวลาการเก็บรักษาสั้น ส่วนใหญ่จึงแปรรูปผลิตภัณฑ์เพื่อคงสภาพการเก็บรักษาและสามารถใช้บริโภคนอกฤดูกาลได้ ในปี พ.ศ. 2561 ประเทศไทยมีการส่งออกหน่อไม้กระป๋องแปรรูปคิดเป็นมูลค่ารวมทั้งสิ้น 416.5 ล้านบาทต่อปี ประเทศคู่ค้าที่สำคัญที่มีปริมาณการส่งออกสูงสุด 3 ลำดับแรก ได้แก่ สหรัฐอเมริกา ญี่ปุ่น และเกาหลีใต้ (ฐานข้อมูลสำนักงานปลัดกระทรวงพาณิชย์, 2561) ในการเตรียมหน่อไม้เพื่อผลิตหน่อไม้กระป๋องแปรรูปเริ่มจากการคัดเลือกหน่อไม้สด โดยนำมาปอกเปลือกแล้วทำการตัดส่วนโคนที่แก่ทิ้งไป จากนั้นทำการตัดแต่งให้เหลือความยาวประมาณ 15-20 เซนติเมตร จึงทำให้มีเศษหน่อไม้ที่เหลือทิ้งจากการตัดแต่งประมาณร้อยละ 50 (น้ำหนักสด) ของปริมาณหน่อไม้ที่นำมาแปรรูปทั้งหมด (30-50 เมตริกตันต่อวัน) โดยหน่อไม้เศษเหลือดังกล่าวไม่สามารถนำไปใช้ประโยชน์อื่น ๆ ได้ อีกทั้งยังส่งกลิ่นเหม็นเปรี้ยวให้กับสภาพแวดล้อมในบริเวณที่ทำการผลิต เมื่อหมักทิ้งไว้เป็นระยะเวลานาน ดังนั้น การสร้างมูลค่าเพิ่มให้กับหน่อไม้เศษเหลือจึงเป็นที่น่าสนใจสำหรับการนำมาใช้เป็นแหล่งวัตถุดิบตั้งต้นในการสกัดองค์ประกอบต่าง ๆ ที่เป็นประโยชน์ต่อสุขภาพ เนื่องจากเศษผักผลไม้ที่เหลือจากกระบวนการแปรรูปยังคงเป็นแหล่งที่อุดมด้วยเส้นใยอาหารและสารต้านอนุมูลอิสระ (Resende, Franca and Oliveira, 2019)

โดยทั่วไปหน่อไม้มีเส้นใยอาหารเป็นส่วนประกอบประมาณ 2.65-4.49 กรัม ต่อ 100 กรัมน้ำหนักสด (Chongtham, Bisht and Haorongbam, 2011) โดยมีองค์ประกอบเป็นพอลิเมอร์ของคาร์โบไฮเดรตที่ไม่สามารถย่อยสลายได้ด้วยเอนไซม์ในระบบทางเดินอาหารของมนุษย์ เช่น เซลลูโลส เฮมิเซลลูโลส ลิกนิน และเพคติน เส้นใยอาหารสามารถแบ่งออกตามการละลายเป็น 2 ประเภท ได้แก่ เส้นใยอาหารที่ไม่ละลายน้ำ (insoluble dietary fiber; IDF) และเส้นใยอาหารที่ละลายน้ำ (soluble dietary fiber; SDF) มีรายงานว่า IDF มีส่วนช่วยในการเพิ่มปริมาณของอุจจาระ และชะลอการลำเลียงกากอาหารภายในลำไส้ ในขณะที่ SDF สามารถก่อเจลและเพิ่มความหนืด ส่งผลในการรบกวนการดูดซึมกลูโคสและคอเลสเตอรอลเข้าสู่กระแสเลือด ดังนั้น เส้นใยอาหารจึงมีประโยชน์ต่อการลดความเสี่ยงของการเกิดโรคเรื้อรังต่าง ๆ เช่น โรคอ้วน โรคเบาหวานประเภทที่ 2 โรคหัวใจและหลอดเลือด และโรคมะเร็ง (Lin, et al., 2019)

นอกจากนี้มีรายงานว่าในองค์ประกอบของเส้นใยอาหารยังมีสารต้านอนุมูลอิสระบางชนิดที่เป็นประโยชน์ต่อร่างกาย เช่น สารประกอบฟีนอลิก และแคโรทีนอยด์ (Resende, et al., 2019) ทั้งนี้ชนิดและปริมาณของสารต้านอนุมูลอิสระขึ้นอยู่กับแหล่งที่มาของเส้นใยอาหาร นอกจากนี้ Zheng, et al. (2017) รายงานว่า หน่อไม้เป็นแหล่งที่อุดมด้วยเส้นใยอาหารที่มีสมบัติทางเคมีกายภาพเหนือกว่าพืชชนิดอื่น ๆ ได้แก่ ความสามารถในการจับกับน้ำ การพองตัว และการดูดซับสารต่าง ๆ นำไปสู่การเกิดสมบัติเชิงหน้าที่ที่เป็นประโยชน์ต่อสุขภาพ โดยส่งผลต่อการย่อยอาหาร ลดคอเลสเตอรอล และฟื้นฟูลำไส้ เป็นต้น การได้รับประโยชน์และประสิทธิผลของเส้นใยอาหารในปริมาณสูงนอกจากจะขึ้นอยู่กับการบริโภคยังเกี่ยวข้องกับกระบวนการเตรียมเส้นใยอาหาร เนื่องจากตัวแปรที่เกี่ยวข้องในแต่ละกรรมวิธีการผลิตมักจะส่งผลกระทบถึงองค์ประกอบ โครงสร้าง ขนาดของอนุภาค และสมบัติของเส้นใยอาหารที่ผลิตได้แตกต่างกัน (ธนิกานต์ สันต์สวัสดิ์, 2549)

ปัจจุบันการผลิตเส้นใยอาหารจากพืชชนิดต่าง ๆ สามารถทำได้หลายวิธี เช่น การสกัดด้วยน้ำ การใช้เอทานอล กรด เบส และการย่อยสลายด้วยเอนไซม์ ผลงานวิจัยของ (Rouhou, et al., 2018) พบว่า การสกัดเส้นใยอาหารทั้งหมดจากต้นกระบองเพชร โดยใช้น้ำที่อุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 1 ชั่วโมง ทำให้ได้ผลผลิตร้อยละ 85.81 โดยมีสัดส่วนของเส้นใยอาหารที่ไม่ละลายน้ำร้อยละ 80.80 และเส้นใยอาหารที่ละลายน้ำร้อยละ 5.01 มีสมบัติการอุ้มน้ำและการดูดซึมน้ำมันสูงสุดร้อยละ 5.20 และ 2.21 ตามลำดับ ในขณะที่การสกัดด้วยสารละลายเอทานอลที่ความเข้มข้นร้อยละ 80 เป็นเวลา 1 ชั่วโมง สามารถสกัดเส้นใยอาหารทั้งหมดร้อยละ 84.88 โดยมีสัดส่วนของเส้นใยอาหารที่ไม่ละลายน้ำร้อยละ 81.67 และเส้นใยอาหารที่ละลายน้ำร้อยละ 3.21 มีสมบัติการอุ้มน้ำ และการดูดซึมน้ำมันร้อยละ 4.9 และ 2.13 ตามลำดับ นอกจากนี้ การสกัดเส้นใยอาหารจากเปลือกหน่อไม้ด้วยเอนไซม์เซลลูเลสอะไมเลส และโปรตีเอส พบปริมาณเส้นใยอาหารทั้งหมดร้อยละ 64.88 มีสัดส่วนของเส้นใยอาหารที่ไม่ละลายน้ำร้อยละ 56.21 และเส้นใยอาหารที่ละลายน้ำร้อยละ 8.67 โดยเส้นใยอาหารที่ละลายน้ำมีสมบัติการอุ้มน้ำ การพองตัว การดูดซึมโซเดียมโคเลต และคอเลสเตอรอลสูงกว่าเส้นใยอาหารที่ไม่ละลายน้ำที่มีเพียงสมบัติการดูดซึมน้ำมัน และโซเดียมไนไตรท์สูงสุด (Luo, et al., 2017) ดังนั้นการศึกษากรรมวิธีการผลิตเส้นใยอาหารจากพืชเพื่อให้ได้เส้นใยอาหารที่มีคุณภาพจึงเป็นที่น่าสนใจสำหรับการนำมาประยุกต์ใช้เป็นส่วนประกอบในอาหารเพื่อสุขภาพ

อย่างไรก็ตาม ในประเทศไทยยังไม่พบข้อมูลเกี่ยวกับการศึกษาวิธีการผลิตเส้นใยอาหารจากหน่อไม้เศษเหลือ ดังนั้น งานวิจัยนี้จึงมุ่งเน้นที่จะศึกษากระบวนการที่เหมาะสมในการผลิตเส้นใยอาหารจากหน่อไม้ที่เป็นเศษเหลือจากกระบวนแปรรูปของโรงงานหน่อไม้บรรจุกระป๋อง ร่วมกับการประเมินสมบัติทางเคมีกายภาพและสมบัติเชิงหน้าที่ของเส้นใยอาหาร ซึ่งจะเป็นประโยชน์อย่างยิ่งถ้าสามารถนำเส้นใยอาหารที่ได้มาใช้ในการผลิตอาหารเพื่อสุขภาพ รวมทั้งยังเป็นการช่วยเพิ่มมูลค่าให้กับเศษหน่อไม้เหลือทิ้งของโรงงานอีกด้วย

วัตถุประสงค์ของการวิจัย

1. เพื่อศึกษาวิธีการและสภาวะที่เหมาะสมในการสกัดเส้นใยอาหารจากหน่อไม้เศษเหลือ ได้แก่ 1) หน่อไม้เศษเหลือส่วนฐาน และ 2) หน่อไม้เศษเหลือส่วนปลายยอด

2. เพื่อเปรียบเทียบปริมาณผลผลิต โครงสร้างทางจุลภาค สมบัติทางเคมีกายภาพ และสมบัติเชิงหน้าที่ของเส้นใยอาหารจากหน่อไม้เศษเหลือ ได้แก่ 1) หน่อไม้เศษเหลือส่วนฐาน และ 2) หน่อไม้เศษเหลือส่วนปลายยอด ที่ได้จากวิธีการสกัดที่แตกต่างกัน

สมมติฐานของการวิจัย

1. วิธีการและสภาวะที่แตกต่างกันในการสกัดเส้นใยอาหารจากหน่อไม้เศษเหลือ ได้แก่ 1) หน่อไม้เศษเหลือส่วนฐาน และ 2) หน่อไม้เศษเหลือส่วนปลายยอด ส่งผลต่อคุณภาพของเส้นใยอาหารที่ได้ต่างกัน

2. เส้นใยอาหารจากหน่อไม้เศษเหลือ ได้แก่ 1) หน่อไม้เศษเหลือส่วนฐาน และ 2) หน่อไม้เศษเหลือส่วนปลายยอด ที่ได้จากวิธีการสกัดที่แตกต่างกันมีปริมาณผลผลิตโครงสร้างทางจุลภาค สมบัติทางเคมีกายภาพ และสมบัติเชิงหน้าที่ต่างกัน

ขอบเขตของการวิจัย

1. ศึกษาองค์ประกอบทางกายภาพและเคมีโดยประมาณ ได้แก่ ค่าสี ความชื้น เถ้า ไขมัน โปรตีน เส้นใยอาหารทั้งหมด เส้นใยอาหารที่ไม่ละลายน้ำ และเส้นใยอาหารที่ละลายน้ำจากหน่อไม้เศษเหลือส่วนฐานและปลายยอด

2. ศึกษาวิธีการที่แตกต่างกันในการผลิตหน่อไม้ผงที่มีเส้นใยอาหารเป็นส่วนประกอบจากหน่อไม้เศษเหลือ โดยจัดสิ่งทดลองด้วยวิธีแฟคทอเรียลในแผนการทดลองแบบสุ่มสมบูรณ์ (factorial 2x4 in CRD) ประกอบด้วย 2 ปัจจัย ได้แก่ 1) หน่อไม้เศษเหลือส่วนฐาน และ 2) หน่อไม้เศษเหลือส่วนปลายยอด และมีทั้งหมด 4 สิ่งการทดลอง ได้แก่ การสกัดด้วยน้ำ

การแช่สารละลายกรดซิตริก การแช่สารละลายเอทานอล เบส และกรด และการย่อยด้วยเอนไซม์อะไมเลส และโปรตีเอส ทำการทดลอง 3 ซ้ำ

3. วิเคราะห์ปริมาณผลผลิต โครงสร้างทางจุลภาค สมบัติทางเคมีกายภาพ และสมบัติเชิงหน้าที่ของเส้นใยอาหาร ได้แก่ ปริมาณผลผลิต โครงสร้างทางจุลภาค ความสามารถในการอุ้มน้ำ การพองตัว และการจับน้ำมัน โดยกรรมวิธีการผลิตที่เหมาะสมถูกนำมาวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมีโดยประมาณ และสมบัติเชิงหน้าที่ของเส้นใยอาหาร ได้แก่ ความสามารถในการดูดซึมกลูโคส

4. ศึกษาชนิดและลำดับของเอนไซม์ที่เหมาะสมในการผลิตเส้นใยอาหารจากหน่อไม้เศษเหลือ จัดสิ่งทดลองด้วยวิธีแฟคทอเรียลในแผนการทดลองแบบสุ่มสมบูรณ์ (factorial 2x8 in CRD) ประกอบด้วย 2 ปัจจัย ได้แก่ 1) หน่อไม้เศษเหลือส่วนฐาน และ 2) หน่อไม้เศษเหลือส่วนปลายยอด มีทั้งหมด 8 สิ่งการทดลอง ได้แก่ 1) การย่อยด้วยเอนไซม์อะไมเลส โปรตีเอส และไลเปส 2) การย่อยด้วยเอนไซม์อะไมเลส โปรตีเอส ไลเปส และกลูโคอะไมเลส 3) การย่อยด้วยเอนไซม์อะไมเลส โปรตีเอส ไลเปส และไซลาเนส 4) การย่อยด้วยเอนไซม์อะไมเลส โปรตีเอส ไลเปส 5) การย่อยด้วยเอนไซม์อะไมเลส กลูโคอะไมเลส และโปรตีเอส 6) การย่อยด้วยเอนไซม์อะไมเลส กลูโคอะไมเลส โปรตีเอส และไลเปส 7) การย่อยด้วยเอนไซม์อะไมเลส กลูโคอะไมเลส โปรตีเอส และไซลาเนส และ 8) การย่อยด้วยเอนไซม์อะไมเลส กลูโคอะไมเลส โปรตีเอส และเซลลูเลส ทำการทดลอง 3 ซ้ำ แล้วนำมาวิเคราะห์สมบัติของเส้นใยอาหารเช่นเดียวกับข้อ 3

5. ศึกษาสภาวะที่เหมาะสมในการผลิตเส้นใยอาหารจากหน่อไม้เศษเหลือ ได้แก่ 1) หน่อไม้เศษเหลือส่วนฐาน และ 2) หน่อไม้เศษเหลือส่วนปลายยอด ด้วยวิธีพื้นผิวตอบสนอง (response surface methodology; RSM) ออกแบบการทดลองแบบส่วนประสมกลาง (central composite design; CCD) ประกอบด้วย 2 ปัจจัย โดยกำหนดปัจจัยละ 3 ระดับ ได้แก่ 1) ความเข้มข้นของเอนไซม์ไลเปส ได้แก่ 3, 6 และ 9 ยูนิตต่อกรัม และ 2) ระยะเวลาในการสกัดของเอนไซม์ไลเปส ได้แก่ 15, 30 และ 45 นาที ต่อค่าตอบสนอง ได้แก่ ปริมาณผลผลิตเส้นใยอาหาร และสมบัติทางเคมีกายภาพของเส้นใยอาหารที่สกัดได้

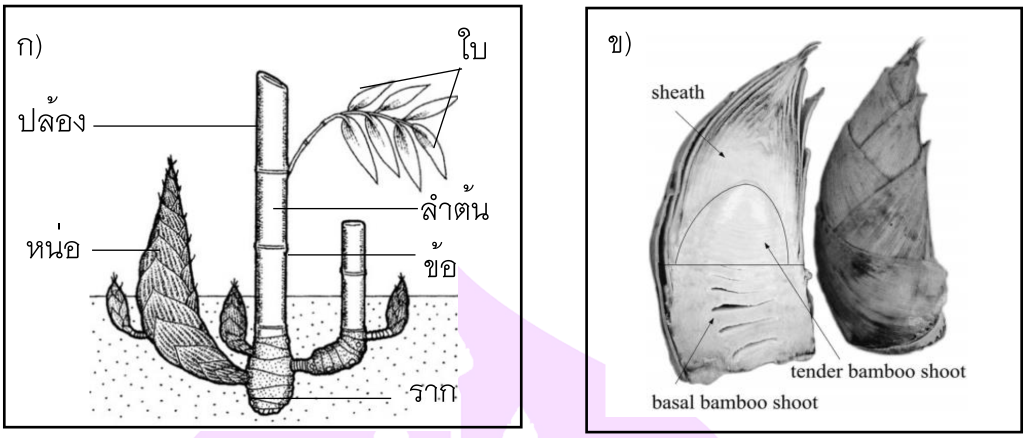
บทที่ 2
เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

งานวิจัยครั้งนี้ศึกษาวิธีการสกัดที่เหมาะสมในการผลิตเส้นใยอาหารจากหน่อไม้เศษเหลือส่วนฐาน และปลายยอดของโรงงานแปรรูปหน่อไม้ โดยศึกษาปัจจัยต่าง ๆ ที่เกี่ยวข้องกับการผลิต ควบคู่กับการวิเคราะห์สมบัติทางเคมีกายภาพ และสมบัติเชิงหน้าที่ของเส้นใยอาหารจากหน่อไม้เศษเหลือ ผู้วิจัยได้รวบรวมเอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง ดังนี้

หน่อไม้ (Bamboo shoot)

1. ลักษณะทางพฤกษศาสตร์

หน่อไม้มีชื่อสามัญว่า Bamboo Shoot จัดอยู่ในวงศ์ Poaceae เป็นผลผลิตจากไผ่ ซึ่งเป็นไม้ยืนต้นมีอายุยืนยาว ลำต้นแบ่งออกเป็นสองส่วน (ภาพ 1) คือ ลำต้นส่วนที่อยู่ใต้ดิน เรียกว่า เหง้า (rhizome) และลำต้นเหนือดิน มีหน่ออ่อนแตกเหง้าออกจากดินเป็นลำต้นเหนือดิน มีกาบหุ้มหน่อสีเหลืองอมเขียว ลำต้นตั้งตรง มีความสูงได้ถึง 50 เมตร มีขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางประมาณ 6-15 เซนติเมตร ส่วนของลำต้นมีข้อ (node) และปล้อง (internode) แตกแขนงออกไปตามแนวระดับ ลำต้นมีกาบหุ้มลำ (culm sheath) ช่วยป้องกันเมื่อลำยังอ่อน ใบ (leaf) มีรูปเรียวรีปลายแหลม อาจมีขนหรือไม่มีก็ได้ ดอก (floret) ออกเป็นช่อตามกิ่งและซอกใบ ก้านช่อดอกยาว มีดอกย่อยอยู่เป็นกระจุก มีลักษณะทรงยาว รี เล็ก กลีบดอกมีสีเหลืองนวล ก้านมีสีเขียว ลักษณะทางพฤกษศาสตร์ทั่วไป จะแตกต่างกันไปตามชนิดของพันธุ์ไผ่ สายพันธุ์ที่นิยมรับประทาน คือ ไผ่รวก ไผ่ตง และไผ่บงหวาน การเก็บเกี่ยวหน่อไม้ไผ่ โดยไผ่จะเริ่มแทงหน่อตั้งแต่เดือนพฤษภาคมถึงเดือนตุลาคม ช่วงที่มีหน่อออกมากจะอยู่ในช่วงประมาณเดือนกรกฎาคมถึงเดือนสิงหาคม ไผ่ที่มีอายุ 3 ปีขึ้นไปสามารถตัดหน่อได้วันเว้นวันในกรณีที่สวนไผ่สมบูรณ์เต็มที่ หรือตัดทุก 4-5 วัน (พิทักษ จันทรเจริญ, กิตติศักดิ์ วสันติวงศ์ และทรงพล การะเกต, 2546)



ภาพ 1 แสดงลักษณะทางพฤกษศาสตร์ของไผ่ (ก) และหน่อไม้ (ข)

ที่มา: Clumping bamboo (n.d) และ Lin, et al. (2018)

2. คุณค่าทางโภชนาการและโภชนเภสัชของหน่อไม้

หน่อไม้เป็นแหล่งที่อุดมด้วยคุณค่าทางสารอาหาร ได้แก่ โปรตีน คาร์โบไฮเดรต แร่ธาตุ และวิตามิน (ตารางที่ 1) มีปริมาณเส้นใยอาหารสูง 2.65-4.49 กรัม ต่อ 100 กรัม น้ำหนักสด โดยมีส่วนช่วยในการลดปริมาณคอเลสเตอรอลในเลือด มีสารพฤกษเคมี ได้แก่ ไฟโตสเตอรอล จัดเป็นสารในตระกูลที่มีโครงสร้างทางเคมีใกล้เคียงกับคอเลสเตอรอลที่พบในพืชทั่วไป โดยมี plant sterol และ plant stanol เป็นกลุ่มย่อย จัดเป็นโภชนเภสัชหรืออาหารที่มีสรรพคุณทางยา มีส่วนช่วยในการลดระดับคอเลสเตอรอล และมีสารสำคัญอีกชนิดหนึ่งที่พบในหน่อไม้ คือ สารประกอบฟีนอลิก ได้แก่ p-hydroxybenzoic acid, catechin, caffeic acid, chlorogenic acid, syringic acid, p-coumaric acid และ ferulic acid นอกจากนี้ หน่อไม้มีปริมาณไขมันต่ำ (2.46 กรัม ต่อ 100 กรัม) โดยมีส่วนช่วยในการลดความเสี่ยงต่อการเกิดโรคอ้วนเรื้อรัง ด้วยเหตุนี้จึงมีการนำหน่อไม้มาใช้เป็นอาหารเพื่อสุขภาพมากขึ้น เช่น การใช้หน่อไม้เป็นแหล่งของเส้นใยอาหารในผลิตภัณฑ์ขนมอบ ผลิตภัณฑ์จากเนื้อสัตว์ และเครื่องดื่มเพื่อสุขภาพ เป็นต้น (Chongtham, Bisht and Haorongbam, 2011; วราภรณ์ กุศลารักษ์, และ นิพัฒน์ ลิ้มสงวน, 2559)

ตาราง 1 แสดงคุณค่าทางโภชนาการของหน่อไม้ในแต่ละสายพันธุ์ต่อน้ำหนักสด 100 กรัม

ชนิดของหน่อไม้	เส้นใยอาหาร (กรัม)	โปรตีน (กรัม)	คาร์โบไฮเดรต (กรัม)	ไขมัน (กรัม)	วิตามิน C (มิลลิกรัม)	วิตามิน E (มิลลิกรัม)
B. bambos	3.54	3.57	5.42	0.50	1.90	0.61
B. kingiana	4.49	3.57	5.45	0.35	2.10	0.50
B. nutans	2.28	2.84	5.47	0.40	1.19	0.47
B. polymorpha	3.82	3.64	5.44	0.46	2.60	0.49
B. tulda	3.97	3.69	6.92	0.48	1.42	0.61
B. vulgaris	4.24	3.64	6.51	0.50	4.80	0.52
D. asper	3.54	3.59	4.90	0.40	3.20	0.91
D. brandisii	4.03	2.31	4.90	0.24	1.59	0.42
D. giganteus	2.65	3.11	5.10	0.39	3.28	0.69
D. hamiltonii	3.90	3.72	5.50	0.41	2.45	0.71

ที่มา: Chongtham, Bisht and Haorongbam. (2011)

เส้นใยอาหาร (Dietary fiber)

1. ความหมายของเส้นใยอาหาร

เส้นใยอาหาร หมายถึง ส่วนของผนังเซลล์พืชประกอบด้วยพอลิเมอร์ของคาร์โบไฮเดรตที่มีหน่วยโมโนเมอร์ 10 หน่วยขึ้นไป ต้านทานต่อการย่อยด้วยเอนไซม์ภายในระบบทางเดินอาหารของมนุษย์ ความหมายของเส้นใยอาหารสามารถแบ่งออกเป็น 3 ประเภท ได้แก่ 1) พอลิเมอร์ของคาร์โบไฮเดรตที่เป็นส่วนประกอบตามธรรมชาติของอาหารที่สามารถบริโภคได้ 2) พอลิเมอร์ของคาร์โบไฮเดรตที่ได้รับจากวัสดุธรรมชาติและนำมาผ่านกระบวนการปรับปรุงสมบัติ โดยใช้วิธีทางกายภาพ เคมี และชีวภาพ สามารถแสดงผลต่อกระบวนการทำงานของอวัยวะในร่างกายที่เป็นประโยชน์ต่อสุขภาพ และแสดงหลักฐานทางวิทยาศาสตร์ซึ่งเป็นที่ยอมรับโดยทั่วไป 3) พอลิเมอร์ของคาร์โบไฮเดรตสังเคราะห์ที่สามารถแสดงผลต่อกระบวนการทำงานของอวัยวะในร่างกายที่เป็นประโยชน์ต่อสุขภาพ ตามที่ได้แสดงหลักฐานทางวิทยาศาสตร์ซึ่งเป็นที่ยอมรับโดยทั่วไป (Phillips and Cui, 2011)

2. ประเภทของเส้นใยอาหาร

เส้นใยอาหารแบ่งตามความสามารถในการละลายได้ 2 ประเภท คือ เส้นใยอาหารที่สามารถละลายน้ำได้ (soluble dietary fiber; SDF) และเส้นใยอาหารที่ไม่สามารถละลายน้ำได้ (insoluble dietary fiber; IDF) ผลรวมของเส้นใยอาหารที่สามารถละลายน้ำได้และไม่สามารถละลายน้ำได้ เรียกว่า เส้นใยอาหารทั้งหมด (total dietary fiber; TDF)

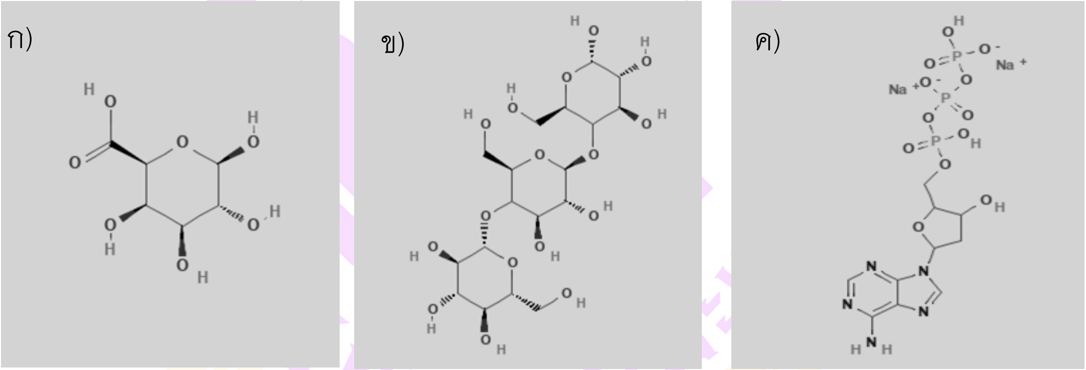
2.1 เส้นใยอาหารประเภทละลายน้ำได้ (soluble dietary fiber; SDF)

เส้นใยอาหารประเภทละลายน้ำได้ เป็นส่วนของเส้นใยอาหารที่มีสมบัติในการละลายน้ำ สามารถดูดซึมสารที่ละลายน้ำไว้กับโครงสร้าง เมื่อสัมผัสกับน้ำจะละลายและเกิดเป็นสารข้นหนืดที่สามารถเคลือบผนังกระเพาะอาหารและลำไส้ จึงทำให้ผนังกระเพาะอาหารและลำไส้หนามากขึ้น ส่งผลต่อการรบกวนการดูดซึมสารอาหารต่าง ๆ โดยเฉพาะอย่างยิ่งสารที่มีประจุ เช่น แป้ง น้ำตาล และไขมัน เป็นต้น จึงมีผลช่วยป้องกันหรือชะลอการเกิดโรคเบาหวาน และโรคไขมันในเลือดสูง โมเลกุลของเส้นใยอาหารมีส่วนประกอบที่เป็นกรดอิสระ ซึ่งเป็นส่วนที่ทำหน้าที่แลกเปลี่ยนประจุกับสารอื่น ๆ ที่มากับอาหาร โดยกลุ่มของกรดอิสระจะช่วยดูดซับ และดึงเอาสารพิษเหล่านี้ออกไปได้ นอกจากนี้ การเกิดเป็นสารข้นหนืดยังทำให้เส้นใยอาหารสามารถเพิ่มความหนืดของอาหารโดยรวม ชะลอการเคลื่อนตัวของอาหารทำให้อาหารอยู่ในระบบทางเดินอาหารนานขึ้น จึงรู้สึกอิ่มได้นาน และส่วนที่ไม่ถูกดูดซึมจะเหลือเป็นกากอาหารช่วยเพิ่มปริมาณของอุจจาระ แต่น้อยกว่ากลุ่มของเส้นใยอาหารชนิดที่ไม่ละลายน้ำซึ่งหากรับประทานเส้นใยอาหารชนิดนี้มากเกินไป หรือรับประทานติดต่อกันเป็นเวลานานอาจทำให้ร่างกายได้รับสารอาหารต่าง ๆ โดยเฉพาะวิตามิน และแร่ธาตุบางชนิดลดลงได้ ตัวอย่างเส้นใยอาหารประเภทที่ละลายน้ำได้ ได้แก่ เพคติน เบตา-กลูแคน กัม และมิวซิเลจ (สหขวัญ โรจนคุณธรรม, 2556)

2.1.1 เพคติน (pectin) เป็นพอลิแซ็กคาไรด์สายยาวที่ประกอบด้วยหน่วยของกรดกาแล็กทูโรนิก (D-galacturonic acid) ต่อกันด้วยพันธะไกลโคไซด์ที่ตำแหน่ง น้ำตาลแรมโนส และ น้ำตาลอะราบิโนส พบในชั้นมิดเดิลลาเมลลา (middle lamellae) ของผนังเซลล์พืชโดยรวมตัวอยู่กับเซลลูโลส ทำหน้าที่ยึดเกาะผนังเซลล์ให้ติดกัน สารประกอบเพคตินที่ถูกสร้างขึ้นในผนังเซลล์พืช คือ โปรโทเพคติน (protopectin) พบมากในผักและผลไม้ตระกูลส้ม ฝรั่ง และ แอปเปิล เป็นต้น (สหขวัญ โรจนคุณธรรม, 2556)

2.1.2 เบตา–กลูแคน (β-glucan) เป็นพอลิแซ็กคาไรด์ที่ประกอบด้วยหน่วยของน้ำตาลกลูโคสเชื่อมต่อกันด้วยพันธะไกลโคไซด์ (glycosidic bond) ที่ตำแหน่งเบตา 1–3 และเบตา 1–4 โดยทั่วไปสามารถละลายน้ำได้ มีเพียงบางส่วนที่ไม่สามารถละลายในน้ำ พบในข้าวโอต ข้าวไรย์ และ ข้าวบาร์เลย์ (รสิตา โอสถนานนท์, 2557)

2.1.3 กัม (Gum) เป็นพอลิแซ็กคาไรด์ที่มีน้ำหนักโมเลกุลสูง ส่วนใหญ่ได้จากพืช เมื่อละลายน้ำจะได้สารที่มีความข้นหนืดสูง กัมบางชนิดมีความสามารถในการอุ้มน้ำและป้องกันไม่ให้อาหารเกิดการแยกตัวของน้ำ (syneresis) ในระหว่างการเก็บรักษา เช่น กัมอะราบิก กัมแกตติ (gum ghatti) และ ทารากัม (tara gum) ส่วนกัมบางชนิดใช้เพิ่มความหนืด สารเพิ่มความคงตัว และสารทดแทนไขมันสำหรับอาหารที่มีไขมันต่ำ กัมสามารถแบ่งออกเป็นหลายประเภท ได้แก่ 1) กัมสังเคราะห์ เช่น แซนแทนกัม (xanthan gum) 2) กัมจากเมล็ดพืชตระกูลถั่ว (leguminosae seed) เช่น กัวร์กัม โลคัสต์บีนกัม (locustbean gum) พอลิแซ็กคาไรด์ที่ละลายน้ำได้จากถั่วเหลือง (water-soluble soybean polysaccharide; SSPS) และ ทารากัม เป็นต้น และ 3) กัมจากยางพืช (exudate gum) ได้แก่ กัมอะราบิก กัมแกตติ กัมทรา–กาแคนต์ และกัมคารายา (karaya gum) เป็นต้น (อาภัสรา แสงนาค, 2560)



ภาพ 2 แสดงโครงสร้างทางเคมีของเส้นใยอาหารที่ละลายน้ำ ได้แก่ เพคติน (ก), เบตา–กลูแคน (ข) และกัวกัม (ค)

ที่มา: National Institutes of Health (n.d)

2.2 เส้นใยอาหารประเภทที่ไม่ละลายน้ำ (insoluble dietary fiber; IDF)

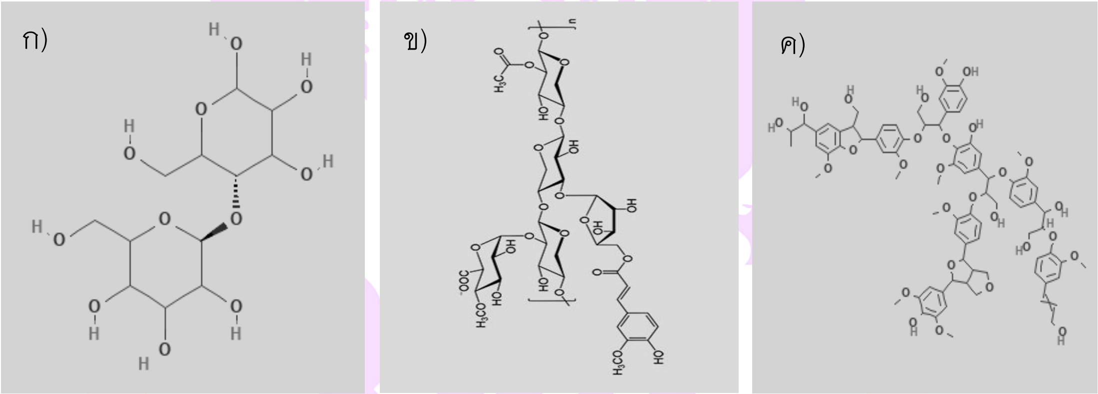
เส้นใยอาหารประเภทที่ไม่ละลายน้ำ เป็นส่วนที่สร้างความแข็งแรงของผนังเซลล์พืช มีสมบัติต้านทานต่อการหมักภายในลำไส้ใหญ่ของมนุษย์ โดยร่างกายไม่สามารถย่อยและดูดซึมเส้นใยอาหารเหล่านี้ได้ การลำเลียงจากกระเพาะอาหารไปสู่ลำไส้ใหญ่จึงเกิดขึ้นอย่างรวดเร็ว และพร้อมที่จะขับถ่ายออกมา เส้นใยอาหารเหล่านี้ดูดซับน้ำไว้กับตัว และเพิ่มปริมาณกากอาหาร ทำให้กากอาหารถูกขับออกจากอุจจาระโดยไม่ตกค้างอยู่ในลำไส้ใหญ่เป็นเวลานาน จัดเป็นเส้นใยอาหารชนิดที่ช่วยในการขับถ่าย ป้องกัน และรักษาอาการท้องผูกเป็นหลัก ตัวอย่างเส้นใยอาหารชนิดที่ไม่ละลายน้ำ ได้แก่ เซลลูโลส เฮมิเซลลูโลส และลิกนิน (สหขวัญ โรจนคุณธรรม, 2556)

2.2.1 เซลลูโลส (cellulose) เป็นโฮโมพอลิแซ็กคาไรด์สายตรงของน้ำตาลกลูโคส เชื่อมต่อกันด้วยพันธะไกลโคไซด์ (glycosidic bond) ที่ตำแหน่ง เบตา 1–4 มีน้ำหนักโมเลกุลสูง สายยาวตั้งแต่ 7,000 ถึง 15,000 หน่วย เป็นโครงสร้างพื้นฐานที่เรียกว่าเซลโลไบโอส (cellobiose) พอลิเมอร์ของเซลลูโลสเกาะกันตามแนวราบเชื่อมต่อกันด้วยพันธะไฮโดรเจนระหว่างหมู่ไฮดรอกซิล (–OH) ในโมเลกุลของน้ำตาลกลูโคส ทำให้โครงสร้างโมเลกุลของเซลลูโลสเป็นพอลิคริสตัลไลน์ (polycrystalline) ที่แข็งแรงยึดเกาะกันเป็นเส้นใย (fibrous) และเนื่องจากโครงสร้างโมเลกุลของเซลลูโลสในแต่ละหน่วยย่อยของน้ำตาลกลูโคสมีหมู่ไฮดรอกซิลเหลืออยู่ ซึ่งจะเกิดพันธะไฮโดรเจนระหว่างสายพอลิเมอร์ ทำให้โครงสร้างบางส่วนมีความเป็นผลึก จึงทนต่อการย่อยด้วยเอนไซม์หรือสารเคมีในระบบทางเดินอาหารของมนุษย์มากกว่าส่วนที่ไม่เป็นผลึก (non–crystalline หรือ amorphous) ทำให้โครงสร้างดูดซับน้ำได้น้อยจึงไม่สามารถละลายน้ำได้ ในขณะที่โมเลกุลของเซลลูโลสที่ไม่เป็นผลึกหรือไม่มีรูปร่างสามารถดูดซับน้ำ และเกิดการพองตัว ทำให้กากอาหารมีลักษณะนิ่ม (อาภัสรา แสงนาค, 2560)

2.2.2 เฮมิเซลลูโลส (hemicellulose) เป็นเฮทเทอโรพอลิแซ็กคาไรด์ ภายในโมเลกุลประกอบด้วยน้ำตาลโมเลกุลเดี่ยวหลายชนิด ตั้งแต่ 2–4 ชนิดขึ้นไป น้ำตาลโมเลกุลเดี่ยวที่พบในโมเลกุลของเฮมิเซลลูโลส ได้แก่ น้ำตาลเพนโทส (xylose และ arabinose) และน้ำตาลเฮกโซส (glucose, galactose, mannose, rhamnose, glucuronic, และกรด galacturonic โดยมีน้ำตาลไซโลส (xylose) เชื่อมต่อกันด้วยพันธะไกลโคไซด์ที่ตำแหน่งเบตา 1–4 เป็นโซ่หลักอาจมีน้ำตาลแมนโนส (mannose) กาแล็กโทส (galactose) หรือกลูโคส มาต่อกันเป็นโซ่หลักด้วย และมีน้ำตาลชนิดอื่นมาต่อกันเป็นโซ่สาขา หรือโซ่แขนง ได้แก่ น้ำตาลอะราบิโนส (arabinose) และ กรดกลูคูโลนิก (glucuronic acid) ความแตกต่างของเซลลูโลส และเฮมิเซลลูโลส คือ เฮมิเซลลูโลสสามารถละลายในสารละลายที่เป็นด่าง ในขณะที่เซลลูโลส

ไม่สามารถละลายได้ ในพืชสามารถพบเฮมิเซลลูโลสอยู่ร่วมกับเพคตินแทรกอยู่ในชั้นของผนังเซลล์ (รสิตา โอสถนานนท์, 2557)

2.2.3 ลิกนิน (lignin) เป็นพอลิแซ็กคาไรด์ที่มีโมเลกุลขนาดใหญ่ พบมากอันดับสองรองจากเซลลูโลส เป็นสารประกอบเชิงซ้อนของฟีนิลโพรเพน (phenyl propane) ประกอบด้วยโซ่โมเลกุลของออกซิจิเนสเตด ฟีนิลโพรเพน (oxygenated phenyl propane) สังเคราะห์จากอนุพันธ์ของแอลกอฮอล์ชนิดต่าง ๆ ได้แก่ คูมาริล (coumaryl) โคนิเฟอริล (coniferyl) และ ไซนาพิล (sinapyl) ไม่ถูกย่อยสลายทั้งในกรดและด่าง ลิกนินเป็นส่วนประกอบที่สำคัญของผนังเซลล์พืช ทำให้ผนังเซลล์พืชแข็งแรงอยู่รวมกับเซลลูโลสและเฮมิเซลลูโลส เป็นส่วนประกอบของเปลือก ซัง หรือส่วนที่เป็นเยื่อใยของราก ลำต้น เมื่อพืชมีอายุมากขึ้น ปริมาณลิกนินจะเพิ่มมากขึ้นด้วย (รสิตา โอสถนานนท์, 2557)



ภาพ 3 แสดงโครงสร้างทางเคมีของเส้นใยอาหารที่ไม่ละลายน้ำ ได้แก่ เซลลูโลส (ก) เฮมิเซลลูโลส (ข) และลิกนิน (ค)

ที่มา: National Institutes of Health (n.d) และ Clifford (n.d)

2.2.4 แป้งที่ทนต่อการย่อยด้วยเอนไซม์ (resistant starch) แป้งที่ทนต่อการย่อยชนิดสอง (RS2) เป็นแป้งที่ยังคงรูปร่างหรือคงสภาพอยู่ในเม็ดแป้งและมีความทนทานต่อการย่อยด้วยเอนไซม์ วัดปริมาณแป้งที่ทนต่อการย่อยจากความแตกต่างของปริมาณกลูโคสที่ถูกปล่อยออกมาระหว่างตัวอย่างอาหารที่ผ่านกระบวนการให้ความร้อนและทำให้เป็นเนื้อเดียวกัน (boiled homogenized food sample) กับตัวอย่างอาหารที่ไม่ผ่านกระบวนการใด ๆ (unboiled nonhomogenized food sample) ในแป้งดิบทั่วไปโมเลกุลภายในเม็ดแป้ง มีการอัดกัน

อย่างหนาแน่นในแนวของวงแหวนของเม็ดแป้งและดูดความชื้นได้ง่าย ซึ่งลักษณะเช่นนี้ ทำให้มีความต้านทานต่อการย่อยด้วยเอนไซม์ ตัวอย่างของแป้งชนิดนี้คือ แป้งจากกล้วยดิบ (สหขวัญ โรจนคุณธรรม, 2556)

3. แหล่งของเส้นใยอาหาร

เส้นใยอาหารเป็นองค์ประกอบที่สำคัญของอาหารเพื่อสุขภาพ โดยทั่วไปสามารถพบในอาหารจากพืชตามธรรมชาติ เช่น ธัญพืช ผัก ผลไม้ และถั่ว โดยปริมาณ โครงสร้าง องค์ประกอบทางเคมี และสมบัติทางเคมีกายภาพของเส้นใยอาหารขึ้นอยู่กับแหล่งที่มาของเส้นใยอาหาร มีรายละเอียดดังนี้

3.1 ธัญพืช (cereals) เช่น ข้าวบาร์เลย์ ข้าวโอ๊ต ข้าวโพด ข้าวสาลี และข้าว เป็นต้น ธัญพืชเป็นแหล่งที่ดีของเส้นใยอาหาร โดยปริมาณและองค์ประกอบของเส้นใยอาหารแตกต่างกันไปตามชนิด และกระบวนการแปรรูป เช่น เมล็ดธัญพืชขัดสีมีผลต่อการกำจัดส่วนของรำ (bran) ซึ่งประกอบไปด้วยเยื่ออาลูโรน (aleurone) และเยื่อชั้นนอกของเมล็ด เช่น เซลลูโลส และเฮมิเซลลูโลส จึงส่งผลต่อการสูญเสียเส้นใยอาหารที่สำคัญระหว่างกระบวนการแปรรูป (Esteban, Mollá and Benítez, 2017)

3.2 พืชตระกูลถั่ว (legumes) เช่น ถั่วดำ ถั่วเขียว ถั่วเหลือง เป็นต้น จัดเป็นแหล่งที่มีปริมาณเส้นใยอาหารสูง แตกต่างกันไปตามสายพันธุ์และชนิดของถั่ว ซึ่งส่วนใหญ่มีองค์ประกอบหลักของเส้นใยอาหารที่ไม่ละลายน้ำ ได้แก่ เซลลูโลส และเฮมิเซลลูโลส ร้อยละ 62-99 ของเส้นใยอาหารทั้งหมด โดยเฉพาะอย่างยิ่งในถั่วเหลืองและถั่วเขียวมีปริมาณเส้นใยอาหารสูงกว่าถั่วชนิดอื่น ๆ มากกว่าร้อยละ 40 และยังถูกนำมาใช้เป็นแหล่งผลิตโปรตีนจากพืช นอกจากนี้ กระบวนการแปรรูปเส้นใยอาหารจากพืชตระกูลถั่วส่วนใหญ่มีผลต่อปริมาณของเส้นใยอาหารที่ไม่แตกต่างกัน

3.3 ผลไม้ (fruits) เช่น ผลไม้ตระกูลเบอร์รี่ (ลูกเกดดำ ราสเบอร์รี่ และสตรอเบอร์รี่) ผลไม้ชนิดผลเดี่ยว (ลูกแพร์ มะม่วง และแอปเปิ้ล) ผลไม้ตระกูลแตง (เมล่อนและแตงโม) หรือผลไม้เขตร้อน (สับปะรด กล้วย และมะละกอ) เป็นต้น โดยมีปริมาณเส้นใยอาหารในผลไม้ประมาณร้อยละ 16 ของส่วนที่บริโภคได้ ขึ้นอยู่กับสายพันธุ์และชนิดของผลไม้ ส่วนใหญ่ประกอบด้วยเฮมิเซลลูโลส เพคติน พอลิแซ็กคาไรด์ และเซลลูโลส Li et al. (2002) รายงานว่าในสับปะรดสุกและฝรั่งมีปริมาณเส้นใยอาหารที่ละลายน้ำ 0.04 และ 1.5 กรัม ต่อ 100 กรัม ตามลำดับ ในขณะที่ปริมาณเส้นใยอาหารที่ไม่ละลายน้ำพบระหว่าง 0.3 และ 11.8 กรัม ต่อ 100 กรัม ของแตงโม และฝรั่งสุก ตามลำดับ

3.4 ผักและเห็ด (vegetables and mushroom) ส่วนใหญ่ประกอบด้วยเส้นใยอาหารที่ไม่ละลายน้ำ ชนิดของผัก เช่น อาร์ติโชก และบีทรูท มีปริมาณเส้นใยอาหารสูงกว่าผักชนิดอื่น ๆ (9.4 และ 7.8 กรัม ต่อ 100 กรัม ของส่วนที่กินได้ ตามลำดับ) ในขณะที่เห็ดทรัฟเฟิลมีปริมาณเส้นใยอาหารสูงกว่าเห็ดชนิดอื่น ๆ 16.5 กรัม ต่อ 100 กรัม ของส่วนที่กินได้ นอกจากนี้ผักตระกูลกะหล่ำ เช่น กะหล่ำปลี และบรอกโคลี มีปริมาณเส้นใยอาหารทั้งหมด 1.8-4.2 กรัม ต่อ 100 กรัมของส่วนที่กินได้ มีปริมาณเส้นใยอาหารที่ละลายน้ำ 0.3-0.5 กรัม ต่อ 100 กรัมของส่วนที่กินได้

4. เส้นใยอาหารจากหน่อไม้

หน่อไม้เป็นแหล่งที่อุดมด้วยเส้นใยอาหาร มีปริมาณสูงถึง 2.23-4.20 กรัม ต่อ 100 กรัมของน้ำหนักสด โดยหน่อไม้เป็นแหล่งของเส้นใยอาหารที่มีศักยภาพ เนื่องจากเป็นทางเลือกหนึ่งของเส้นใยอาหารที่มีต้นทุนการผลิตต่ำกว่าเส้นใยอาหารที่ได้จากแหล่งของธัญพืช ผลไม้ ผัก และถั่วชนิดต่าง ๆ ซึ่งมีปริมาณเพียงเล็กน้อย ต้องใช้วัตถุดิบจำนวนมากถึงจะได้รับปริมาณเส้นใยอาหารที่เพียงพอ Park and Jhon (2009) พบว่า การบริโภคเส้นใยอาหารจากหน่อไม้มีผลต่อการลดระดับคอเลสเตอรอลในเลือด และปรับปรุงการทำงานของลำไส้ในผู้หญิงที่มีสุขภาพดี นอกจากนี้ การเสริมอาหารด้วยเส้นใยอาหารจากหน่อไม้ (25 กรัมของเซลลูโลส) มีความสัมพันธ์ต่อการลดลงของปริมาณคอเลสเตอรอลทั้งหมด และคอเลสเตอรอลชนิดเลว (LDL-Cholesterol)

ชนิดของเส้นใยอาหารที่เป็นองค์ประกอบหลักในหน่อไม้ ได้แก่ เซลลูโลส เฮมิเซลลูโลส และลิกนิน ซึ่งมีในหน่อไม้ประมาณร้อยละ 90 โดยน้ำหนักสด (ตารางที่ 2) (Li, et al., 2010) พบว่า ปริมาณเซลลูโลสลดลงเมื่อหน่อไม้มีอายุเพิ่มขึ้น ในขณะที่ลิกนินมีปริมาณเพิ่มขึ้นตามอายุของหน่อไม้ นอกจากนี้ยังเกี่ยวข้องกับสายพันธุ์ของหน่อไม้ เช่น (Kuttiraja, et al., 2013) พบว่า องค์ประกอบของเส้นใยอาหารในไผ่ตง (*Dendrocalamus* sp.) ได้แก่ เซลลูโลส เฮมิเซลลูโลส และลิกนินร้อยละ 47, 16 และ 18 ตามลำดับ ในขณะที่พันธุ์ *Dendrocalamus asper* ประกอบด้วยเซลลูโลส เฮมิเซลลูโลส และลิกนินร้อยละ 41, 27 และ 27 ตามลำดับ (Leenakul and Tippayawong, 2010)

ตาราง 2 แสดงองค์ประกอบทางเคมีของเส้นใยอาหารในหน่อไม้

องค์ประกอบทางเคมีของเส้นใยอาหาร	ร้อยละ
เซลลูโลส	73.83
เฮมิเซลลูโลส	12.49
ลิกนิน	10.15
เพคติน	0.37

ที่มา: Li, et al. (2010)

5. ประโยชน์ของเส้นใยอาหาร

บทบาทของเส้นใยอาหารในร่างกาย ขึ้นอยู่กับแหล่งที่มา โครงสร้าง และสมบัติของแต่ละองค์ประกอบของเส้นใยอาหาร โดยโครงสร้างของเส้นใยอาหารมีลักษณะคล้ายฟองน้ำ และมีประจุอยู่ด้วย จึงสามารถจับกับสารอาหาร กรดน้ำดี สารพิษ และสารก่อมะเร็งต่าง ๆ ได้ดี โดยถูกดูดซับไว้บนพื้นผิวของเส้นใยอาหารในขณะที่เส้นใยอาหารเคลื่อนตัวผ่านระบบการย่อยและการดูดซึมอาหาร โดยเฉพาะส่วนของระบบลำไส้ (ธนิกานต์ สันต์สวัสดิ์, 2549) คุณประโยชน์ของเส้นใยอาหาร มีดังต่อไปนี้

5.1 ประโยชน์ต่อสุขภาพ

5.1.1 ผลต่อโรคหัวใจและหลอดเลือด เส้นใยอาหารทั้งหมด (total dietary fiber) สามารถจับกับกรดน้ำดี และส่วนประกอบของไมเซลล์ (micelle) เช่น มอโนกลีเซอไรด์ (monoglyceride) กรดไขมันอิสระ (free fatty acids) และคอเลสเตอรอล จึงสามารถลดการดูดซึมไขมันในการสังเคราะห์คอเลสเตอรอล และถูกขับออกผ่านอุจจาระ โดยเส้นใยอาหารที่ไม่ละลายน้ำ เช่น ลิกนิน สามารถจับกับกรดน้ำดีโดยตรงผ่านปฏิกิริยาที่ไม่ชอบน้ำ (hydrophobic) จึงถูกขับออกจากลำไส้ร่วมกับเส้นใยอาหาร นอกจากนี้ กรดไขมันอิสระและคอเลสเตอรอลที่ถูกจับด้วยเส้นใยอาหารที่ไม่ละลายน้ำ โดยไม่ถูกดูดซึมเข้าสู่ร่างกายจะถูกขับออกจากลำไส้เช่นกัน ในขณะที่เส้นใยอาหารที่ละลายน้ำ เช่น เพคติน และเบตา-กลูแคน เมื่อจับกับของเหลวข้นหนืดของอาหารที่ถูกย่อยจากกระเพาะอาหาร สามารถก่อเจลและเพิ่มความหนืดได้ดี ทำให้ลดอัตราการแพร่กระจายของกรดน้ำดี และรบกวนการทำงานของน้ำดีไม่ให้ผสานกับคอเลสเตอรอลเป็นไมเซลล์เพื่อดูดซึมต่อไป จึงส่งผลให้คอเลสเตอรอลเข้าสู่กระแสเลือดได้น้อยลง โดยมีส่วนช่วยในการลดความเสี่ยงของการเกิดโรคหัวใจและหลอดเลือด (Staffolo, et al., 2012; สถาพร งามอุโฆษ, 2558)

5.1.2 ผลต่อโรคเบาหวาน เส้นใยอาหารที่ละลายน้ำ จากการมีสมบัติการก่อเจล และเพิ่มความหนืดได้ดี จึงสามารถป้องกันการเกิดโรคอ้วน และโรคเบาหวานประเภทที่ 2 โดยลดการแพร่กระจายของกลูโคสไปสู่ผนังลำไส้เล็ก ทำให้กลูโคสถูกดูดซึมเข้าสู่กระแสเลือดได้ช้าลง ส่งผลให้ร่างกายหลั่งอินซูลินออกมาน้อยลง จึงมีส่วนช่วยในการควบคุมระดับน้ำตาลในเลือดที่เป็นสาเหตุของการเกิดโรคเบาหวาน

5.1.3 ผลต่อจุลินทรีย์ในลำไส้ เส้นใยอาหาร มีบทบาทสำคัญต่อการเพิ่มจำนวน และการเจริญเติบโตของจุลินทรีย์ประจำถิ่นที่อาศัยอยู่ในลำไส้ใหญ่ส่วนต้น เช่น *Bifidobacterium* spp. และ *Lactobacillus* spp. เมื่อมีการเจริญเติบโตมากขึ้นเชื้อแบคทีเรียในลำไส้ใหญ่จะย่อยสลายเส้นใยอาหาร โดยเฉพาะเส้นใยอาหารที่ละลายน้ำได้ผลผลิตสุดท้ายของการย่อยด้วยจุลินทรีย์ในลำไส้ คือ กรดไขมันสายสั้น (short chain fatty acids; SCFA) ได้แก่ อะซิเตท (acetate) โพรพิโอเนท (propionate) และบิวทิเรท (butyrate) ซึ่งจะส่งผลดีต่อลำไส้ใหญ่ เช่น ในผู้ป่วยที่มีภาวการณ์อักเสบของลำไส้ส่วนปลายระยะเรื้อรัง (chronic radiation proctitis; CRP) เนื่องจากกรดไขมันสายสั้นมีฤทธิ์ต้านการอักเสบ จึงมีส่วนช่วยในการหายของบาดแผลบริเวณเยื่อบุผิวลำไส้ โดยกระตุ้นการแบ่งตัวของเซลล์เยื่อบุ สามารถลดปริมาณเลือดออก และจากการประเมินด้วยการส่องกล้องทำให้ลำไส้ใหญ่มีลักษณะดีขึ้น (รัศมี เสริมสาธนสวัสดิ์ และ สถาพร มานัสสถิต, 2552) นอกจากนี้ ยังกระตุ้นให้มีการหลั่งเมือกจากเยื่อบุลำไส้ เพื่อเพิ่มความแข็งแรงของเยื่อบุลำไส้ และลดการเคลื่อนย้ายของจุลินทรีย์ในลำไส้เข้าสู่กระแสเลือด (รังสรรค์ ภูรยานนทชัย, 2551)

5.1.4 ผลต่อระบบภูมิคุ้มกัน จากผลการศึกษาของ พบว่า เส้นใยอาหารมีผลต่อระบบภูมิคุ้มกันของสุนัข โดยเส้นใยอาหารที่สามารถหมักภายในลำไส้ได้ดี จะทำให้เกิดการสร้างเซลล์ระบบภูมิคุ้มกัน (natural killer cell, IL-10 และ IgA) ช่วยส่งเสริมการเกิดสมดุลของเม็ดเลือดขาวในการทำลายพิษ และเพิ่มเซลล์เม็ดเลือดขาวที่มีผลต่อภูมิต้านทาน (T helper cell mitogen) ซึ่งอาจมีผลในการลดโรคต่าง ๆ ภายในลำไส้ นอกจากนี้เส้นใยอาหารยังสามารถทำปฏิกิริยากับเซลล์ระบบภูมิคุ้มกันได้โดยตรง โดยเซลล์ระบบภูมิคุ้มกันในเยื่อบุผิว และเดนดริติกเซลล์ (dendritic cell) มีตัวรับที่สามารถจับกับคาร์โบไฮเดรตที่จับกับเบตา-กลูแคนอยู่ ทำให้เกิดการลดลงของโปรตีนที่มีหน้าที่ในการกระตุ้นการอักเสบ (IL-12) และสามารถเพิ่มโปรตีนที่มีหน้าที่ยับยั้งการอักเสบ (IL-10) (วรรณคล เชื้อมงคล, 2556)

5.1.5 ผลต่อการป้องกันการเกิดโรคมะเร็ง เส้นใยอาหารที่ไม่ละลายน้ำสามารถชะลอการลำเลียงกากอาหารภายในลำไส้ได้ดี ทำให้ของเสียภายในระบบทางเดินอาหารถูกกำจัดออกผ่านอุจจาระ จึงมีผลต่อการลดความเสี่ยงการเกิดมะเร็งลำไส้ Staffolo, et al. (2012) รายงานว่า เส้นใยอาหารที่ไม่ละลายน้ำสามารถดูดซับสารก่อมะเร็งที่มีคุณสมบัติไม่ชอบน้ำ (hydrophobic) เนื่องจากเส้นใยอาหารที่ไม่ละลายน้ำมีองค์ประกอบของลิกนินที่มีโครงสร้างภายในประกอบด้วยสารประกอบฟีนอลิกจำนวนมาก ซึ่งมีสมบัติเป็นสารต้านอนุมูลอิสระ โดยสารประกอบฟีนอลิกจะถูกปลดปล่อยออกจากลิกนิน โดยการย่อยด้วยเอนไซม์จากจุลินทรีย์ในลำไส้ใหญ่

5.1.6 ผลต่อการย่อยและการดูดซึมในระบบทางเดินอาหาร เส้นใยอาหารที่ไม่ละลายน้ำไม่สลายตัวในลำไส้ใหญ่ สามารถจับกับน้ำได้ดี จึงช่วยเพิ่มปริมาณของอุจจาระภายในลำไส้ ส่งผลให้อุจจาระอ่อนนุ่มและเพิ่มความถี่ในการขับถ่ายมากขึ้น โดยมีผลต่อการป้องกันการเกิดโรคในระบบทางเดินอาหาร เช่น ท้องผูก (constipation) ริดสีดวงทวาร (hemorrhoids) และโรคถุงผนังลำไส้อักเสบ (diverticulitis) (บงกชรัตน์ เนาวกูล, 2553)

5.2 ประโยชน์ต่ออุตสาหกรรมอาหาร เส้นใยอาหารมักถูกเติมลงไปในผลิตภัณฑ์อาหารเพื่อเพิ่มประโยชน์ต่อสุขภาพ อาหารที่อุดมด้วยเส้นใยอาหารที่จำหน่ายในทางการค้าทั่วไป เช่น ผลิตภัณฑ์เนื้อ เบเกอรี่ นม และเครื่องดื่ม เมื่อเติมเส้นใยอาหารในผลิตภัณฑ์อาหารจะทำให้เกิดการเปลี่ยนส่วนประกอบอื่น ๆ เกิดการปรับเปลี่ยนลักษณะเดิมของอาหาร และสมบัติทางประสาทสัมผัส สมบัติของเส้นใยอาหารที่มีผลต่อคุณภาพผลิตภัณฑ์อาหาร ได้แก่ ความสามารถในการอุ้มน้ำ ความสามารถในการอุ้มไขมันหรือน้ำมัน การก่อเจล การยึดเกาะ การเกิดฟิล์ม และการเป็นอิมัลซิไฟเออร์ (emulsifier) ถูกนำมาใช้เป็นสารแต่งกลิ่น สารเพิ่มความคงตัว และสารเพิ่มความข้นหนืดในอาหารและเครื่องดื่มชนิดต่าง ๆ ปัจจัยที่มีผลต่อระดับการเปลี่ยนแปลงคุณภาพของเส้นใยอาหาร ได้แก่ ขนาดอนุภาค ความเข้มข้น การแปรรูป อุณหภูมิ และสมบัติของผลิตภัณฑ์อาหารนั้น ๆ โดยมีรายงานการใช้เส้นใยอาหารจากส้มเขียวหวานร้อยละ 1.5 ในไส้กรอกหมักแห้ง ช่วยลดปริมาณไขมันในส่วนประกอบอาหารโดยไม่มีผลต่อประสาทสัมผัส การใช้เส้นใยอาหารในผลิตภัณฑ์เบเกอรี่และอาหารว่าง เพื่อใช้ทดแทนแป้งและไขมันบางส่วนในผลิตภัณฑ์ ช่วยลดปริมาณแคลอรี่ โดยเพิ่มปริมาณของเส้นใยอาหาร (Chiewchan, 2018; Nassar, AbdEl-Hamied and El-Naggar, 2008)

6. สมบัติทางเคมีกายภาพและสมบัติเชิงหน้าที่ของเส้นใยอาหาร

สมบัติทางเคมีกายภาพของเส้นใยอาหาร ขึ้นอยู่กับแหล่งที่มาของเส้นใยอาหาร อัตราส่วนขององค์ประกอบ และขนาดอนุภาคของเส้นใยอาหาร นอกจากนี้ยังได้รับผลกระทบจากสภาวะในระหว่างการแปรรูปเส้นใยอาหาร เช่น อุณหภูมิ ความเป็นกรดด่าง ความหนาแน่นของประจุ เป็นต้น สมบัติต่าง ๆ เหล่านี้จะนำไปสู่การเกิดสมบัติเชิงหน้าที่ของเส้นใยอาหารที่จะเป็นประโยชน์ต่อสุขภาพ ดัชนีที่สามารถบ่งบอกถึงสมบัติทางเคมีกายภาพที่สำคัญของเส้นใยอาหาร ดังนี้

6.1 ความสามารถในการอุ้มน้ำ (Water holding capacity) ความสามารถในการอุ้มน้ำ หมายถึง ปริมาณของน้ำที่เส้นใยอาหาร 1 กรัม โดยน้ำหนักแห้ง สามารถสะสมไว้ภายใต้สภาวะเจาะจงของอุณหภูมิ เวลาที่ใช้แช่เส้นใยอาหารในน้ำ และความเร็วของการปั่นเหวี่ยง ซึ่งมีความสัมพันธ์โดยตรงกับโครงสร้างทางเคมีของพอลิแซ็กคาไรด์ โดยพอลิแซ็กคาไรด์เป็นโมเลกุลที่ชอบน้ำ เนื่องจากมีหมู่ไฮดรอกซิลอิสระเป็นจำนวนมาก จึงสามารถจับกับโมเลกุลของน้ำไว้ในโครงสร้างได้ดี นอกจากนี้ มีปัจจัยอื่น ๆ ที่เกี่ยวข้อง เช่น ขนาดของอนุภาค ลักษณะพื้นที่ผิว และสภาวะในกระบวนการแปรรูป เช่น ความพรุน พื้นผิว และ โครงสร้างทางจุลภาค (Wang, et al., 2017) Luo, et al. (2017) พบว่า ความสามารถในการอุ้มน้ำมีความสัมพันธ์เชิงบวกกับเส้นใยอาหารที่ละลายน้ำ เนื่องจากโครงสร้างมีส่วนที่ชอบน้ำ (hydrophilic groups) พื้นที่ผิว บริเวณที่จับกับน้ำ และความหนาแน่นรวมมากกว่าเส้นใยอาหารที่ไม่ละลายน้ำ จึงมีความสามารถในการอุ้มน้ำและการพองตัวสูง นอกจากนี้เส้นใยอาหารชนิดที่ละลายน้ำเมื่อดูดซับน้ำจะทำให้สารละลายมีความหนืดสูง และบางครั้งอาจก่อตัวเป็นเจลเมื่อมีสภาวะที่เหมาะสม (ธนิกานต์ สันต์สวัสดิ์, 2549)

6.2 ความสามารถในการพองตัว (swelling capacity) ความสามารถในการพองตัว หมายถึง อัตราส่วนของปริมาตรที่ถูกดูดซับโดยตัวอย่างที่แช่ในน้ำส่วนเกินหลังจากปรับสมดุลให้เท่ากับน้ำหนักจริง (Robertson, et al., 2000) ปัจจัยที่เกี่ยวข้องต่อความสามารถในการพองตัว ได้แก่ องค์ประกอบทางเคมี ขนาดของอนุภาค พื้นที่ผิวจำเพาะ ความหนาแน่นรวม และสภาวะในการสกัด Wang, et al. (2017) พบว่าการลดขนาดของเส้นใยอาหารด้วยตะแกรงขนาด 40-120 เมช มีค่าการพองตัวสูงขึ้นตามลำดับ แต่เมื่อลดขนาดของอนุภาคด้วยตะแกรงขนาด 120-200 เมช มีค่าการพองตัวลดลง ซึ่งสอดคล้องกับ Ma and Mu (2016) ศึกษาผลของวิธีการสกัด และการกระจายขนาดของอนุภาคต่อความสามารถในการพองตัวของเส้นใยอาหารจากกากยี่หร่า พบว่า ขนาดของอนุภาคที่ใหญ่ขึ้น (150 เมช) มีผลต่อการลดความสามารถในการพองตัว โดยทั่วไปความสามารถในการพองตัวจะสูงขึ้นตามปริมาณของ

เส้นใยอาหารที่ละลายน้ำโดยเฉพาะอย่างยิ่ง ได้แก่ เพคติน อย่างไรก็ตาม ความสามารถในการพองตัวอาจเกี่ยวข้องกับเส้นใยอาหารที่ไม่ละลายน้ำ โดยพบว่า ปริมาณเส้นใยอาหารที่ไม่ละลายน้ำจากหน่อไม้สูงขึ้น ทำให้มีค่าการพองตัวสูง (18.84-28.75 มิลลิกรัมต่อกรัม) เมื่อเทียบกับเส้นใยอาหารจากกากยี่หร่า (7.98 มิลลิกรัมต่อกรัม) และรำข้าว (6.08 มิลลิกรัมต่อกรัม) (Hu and Chen, 2006; Ma and Mu, 2016; Wang, et al., 2017) สมบัติการพองตัวสามารถวัดได้จากการแช่เส้นใยอาหารในน้ำข้ามคืนภายในกระบอกตวงที่มีปริมาตรคงที่ (volumetric cylinder)

6.3 ความสามารถในการจับกับน้ำมัน (oil-binding capacity) ความสามารถในการจับกับน้ำมัน มีบทบาทสำคัญต่อการป้องกันการสูญเสียน้ำมันในระหว่างกระบวนการแปรรูปอาหาร และลดระดับคอเลสเตอรอลในเลือดด้วยการจับกับไขมันหรือน้ำมันในระบบการย่อยอาหารของมนุษย์ ซึ่งเป็นสมบัติที่บอกถึงปริมาณของน้ำมันที่สะสมในเส้นใยอาหารหลังจากการผสมและบ่มเส้นใยอาหารในน้ำมัน จากนั้นปั่นเหวี่ยงแยกน้ำมันออก ความสามารถในการจับกับน้ำมันขึ้นอยู่กับลักษณะพื้นที่ผิว การมีส่วนที่ไม่ชอบน้ำ (hydrophobic groups) ของอนุภาคเส้นใยอาหาร และความหนาแน่นรวมของประจุ Wang, et al. (2017) พบว่า ความสามารถในการจับกับน้ำมันของเส้นใยอาหารจากหน่อไม้เพิ่มขึ้น เมื่อลดขนาดอนุภาคด้วยตะแกรงขนาด 40-120 เมช และมีค่าลดลง เมื่อเพิ่มขนาดอนุภาคด้วยตะแกรงขนาด 200 เมช Navarro-González, et al. (2011) รายงานว่าการที่เส้นใยอาหารจากเปลือกมะเขือเทศมีความสามารถในการดูดซับน้ำมันได้ต่ำ อาจเนื่องมาจากเส้นใยอาหารดังกล่าวถูกกำจัดส่วนประกอบที่เป็นลิกนินออก ในขณะที่เส้นใยอาหารจากเปลือกหน่อไม้มีความสามารถในการดูดซับน้ำมันได้สูงเนื่องจากเส้นใยอาหารที่ผลิตได้มีส่วนประกอบของลิกนินสูงกว่าร้อยละ 20 (Ma and Mu, 2016)

6.4 ความหนืด (viscosity) ความหนืด คือ การต้านการไหลของของเหลวนั้น ๆ เกิดจากปฏิสัมพันธ์ทางกายภาพของพอลิแซ็กคาไรด์ในสารละลาย เส้นใยอาหารที่ละลายน้ำได้ เช่น เพคติน กัม เบตา-กลูแคน เป็นองค์ประกอบหลักที่ช่วยเพิ่มความหนืดของสารละลาย โดยความหนืดขึ้นอยู่กับลักษณะภายในของพอลิแซ็กคาไรด์ ความเข้มข้นของพอลิแซ็กคาไรด์ ตัวทำละลาย และอุณหภูมิ โดยพอลิแซ็กคาไรด์ที่มีความเข้มข้นต่ำ โมเลกุลสามารถแยกจากกันได้ดี ทำให้การเคลื่อนที่เป็นไปได้อย่างอิสระ แต่ถ้ามีความเข้มข้นเพิ่มขึ้น โมเลกุลของพอลิแซ็กคาไรด์สัมผัสกันได้มากขึ้น แรงของโมเลกุลจะผ่านเข้าไประหว่างโมเลกุลของกันและกันเกิดเป็นเครือข่ายที่เชื่อมพันกัน เมื่อเกิดการเชื่อมพันกันความหนืดของสารละลายพอลิแซ็กคาไรด์ที่มีความเข้มข้นสูงจึงเพิ่มขึ้น ทั้งนี้ความหนืดของสารละลายพอลิแซ็กคาไรด์

ในน้ำต่ำกว่าของเหลวในระบบการย่อยอาหาร (กระเพาะอาหาร และลำไส้เล็ก) อาจมีความแตกต่างกันจากการรับประทาน โดยเฉพาะอย่างยิ่งปริมาตรรวมของการย่อยจะมีการปรับตัวในการตอบสนองการย่อยสารละลายที่มีความหนืด

6.5 ความสามารถในการดูดซึมสารอินทรีย์ (adsorption of organic matter) สารอินทรีย์ต่าง ๆ เช่น กรดน้ำดี (bile acid) คอเลสเตอรอล ยา สารก่อมะเร็ง และสารพิษต่าง ๆ จากโครงสร้างของเส้นใยอาหารที่เป็นที่ยึดเกาะของสารอินทรีย์เหล่านี้ก่อให้เกิดผลดีต่อร่างกาย โดยหลังจากที่เส้นใยอาหารถูกขับออกจากระบบลำไส้สารอินทรีย์ที่เกาะกับเส้นใยอาหารก็จะถูกขับออกจากร่างกายพร้อม ๆ กันทำให้ปริมาณและความเข้มข้นของสารอินทรีย์ดังกล่าวลดลง เช่น ลดระดับของคอเลสเตอรอลและซีรั่มที่มีอยู่ในเนื้อเยื่อ จากการศึกษาพบว่าองค์ประกอบทางเคมีจะมีผลต่อการยึดเกาะของสารเหล่านี้ เช่น ลิกนิน เพคติน และโพลี-แซ็กคาไรด์ที่มีความเป็นกรดจะสามารถดูดซึมกรดน้ำดีได้ดี ส่วนเซลลูโลสสามารถยึดเกาะสารเคมี 1, 2 ไดเมททิลไฮดราซีนที่เป็นสารก่อมะเร็งได้ดีกว่าเพคติน จากผลการดูดซับและแลกเปลี่ยนประจุกับสารอื่น ๆ ที่มากับอาหารพวกสารพิษ และอนุมูลอิสระต่าง ๆ ทำให้เส้นใยอาหารสามารถดึงเอาสารพิษเหล่านี้ออกจากอาหาร รวมทั้งการที่เส้นใยอาหารสามารถลดความหมักหมมของกากอาหารในลำไส้ด้วย จึงทำให้ลดโอกาสที่สารก่อมะเร็งเหล่านี้จะสัมผัสกับผนังลำไส้ได้ (สิริมา ชินสาร และกฤษณะ ชินสาร, 2557)

6.6 ความสามารถในการแลกเปลี่ยนประจุบวก (cation exchange capacity) เส้นใยอาหารประเภทโพลีแซ็กคาไรด์ที่มีหมู่คาร์บอกซีลอิสระทำให้โมเลกุลมีความเป็นกรด เช่น เพคติน และลิกนิน โดยมีความสามารถในการแลกเปลี่ยนประจุบวกกับเกลือแร่ และอิเลคโทรไลท์ต่าง ๆ ดังนั้นเมื่อเส้นใยอาหารขับออกจากร่างกาย จึงทำให้เกลือแร่และอิเลค-โทรไลท์เกาะกับโครงสร้างของเส้นใยอาหารเป็นจำนวนมาก อาจไปจับกับเกลือแร่ที่จำเป็นต่อร่างกาย เช่น แคลเซียม แมกนีเซียม เหล็ก และสังกะสี อย่างไรก็ตาม ยังไม่มีการยืนยันข้อมูลจากการวิจัยที่สนับสนุนในเรื่องของผลเสียต่อร่างกาย หากมีการบริโภคเส้นใยอาหารในปริมาณที่มากเกินไป อาจส่งผลเสียต่อการดูดซึม และการนำไปใช้ของเกลือแร่ต่าง ๆ ที่เป็นประโยชน์ต่อร่างกาย ปัจจัยที่มีผลต่อความสามารถนี้ ได้แก่ สารประกอบไนโตรเจน สารประกอบฟีนอล สารที่เกิดจากการเกิดปฏิกิริยาสีน้ำตาลที่ไม่เกี่ยวข้องกับเอนไซม์ (maillard) ได้แก่ สารประกอบกลูโคส-เอมีน และวิธีการเตรียมเส้นใยอาหาร เป็นต้น (สิริมา ชินสาร และกฤษณะ ชินสาร, 2557; อมรรัตน์ จงสวัสดิ์วรกูล และลัดดา เหมาะสุวรรณ, 2545)

6.7 ความสามารถในการย่อยสลายด้วยจุลินทรีย์ (ability to decompose by microorganisms) สมบัติที่สำคัญประการหนึ่งของเส้นใยอาหาร คือ ความสามารถในการเป็นสารตั้งต้น หรือเป็นสารอาหารสำหรับจุลินทรีย์ที่อยู่ในลำไส้ใหญ่ การย่อยสลายนี้ขึ้นอยู่กับชนิดของโพลีแซ็กคาไรด์ โดยความสามารถในการอุ้มน้ำและโครงสร้างของโพลีแซ็กคาไรด์ มีผลต่ออัตราการย่อยสลายของจุลินทรีย์ประจำถิ่น เช่น เพคติน มิวซิเลจ และกัมสามารถย่อยได้ดี ในขณะที่เซลลูโลสสามารถย่อยได้เพียงบางส่วนเท่านั้น เมื่อจุลินทรีย์ประจำถิ่นมีการเจริญเติบโตมากขึ้นจะย่อยสลายเส้นใยอาหารที่ละลายน้ำได้เป็นกรดไขมันชนิดสายสั้น (short chain fatty acid; SCFA) ซึ่งจุลินทรีย์สามารถนำไปใช้เป็นแหล่งพลังงานในการเจริญเติบโต และการย่อยสลายนี้จะทำให้สภาพความเป็นกรดด่างในลำไส้ใหญ่เปลี่ยนไป โดยจะมีความเป็นกรดมากขึ้น ซึ่งจะส่งผลโดยตรงต่อการทำงานของเอนไซม์จากจุลชีพ การทำงานของระบบลำไส้ที่ปกติเนื่องมาจากการทำงานของจุลินทรีย์ ดังนั้นในอาหารที่รับประทานจึงควรพิจารณาถึงชนิดและองค์ประกอบของเส้นใยอาหารที่มีอยู่ในอาหารนั้น ๆ เช่น ผักกาดขาวและกะหล่ำปลีสามารถย่อยสลายได้ถึงร้อยละ 90 ในขณะที่รำข้าวสาลีจะไม่ถูกย่อยสลาย นอกจากนี้ องค์ประกอบที่เป็นเฮมิเซลลูโลสมีแนวโน้มที่จะย่อยสลายได้มากกว่าเซลลูโลส (สิริมา ชินสาร และกฤษณะ ชินสาร, 2557)

กระบวนการผลิตเส้นใยอาหารผง

กระบวนการผลิตเส้นใยอาหาร โดยทั่วไปเริ่มจากการบดเปียกหรือบดหยาบเพื่อลดขนาดอนุภาคลง จากนั้นจะทำการเตรียมตัวอย่างเบื้องต้น เช่น การล้างวัตถุดิบด้วยน้ำร้อน แอลกอฮอล์ หรือการใช้ไอน้ำ เพื่อยับยั้งการทำงานของเอนไซม์ที่ทำให้เกิดปฏิกิริยาสีน้ำตาล ก่อนที่จะไปอบแห้งเพื่อลดความชื้น และบดให้ละเอียดเพื่อเป็นเส้นใยอาหารผง โดยรายละเอียดในแต่ละขั้นตอน มีดังนี้ (สหขวัญ โรจนคุณธรรม, 2556)

1. การบดเปียก เป็นขั้นตอนการลดขนาดของวัตถุดิบลงเพื่อเตรียมการในขั้นตอนต่อไป โดยขนาดของอนุภาคนั้นจะต้องมีขนาดที่เหมาะสมไม่เล็กหรือใหญ่จนเกินไป เนื่องจากถ้าหากขนาดของอนุภาคเล็กทำให้วัตถุดิบอุ้มน้ำไว้มากในขั้นตอนของการล้าง ส่งผลให้ใช้เวลาในการอบแห้งนานขึ้นและผลผลิตสุดท้ายที่ได้ต่างกัน นอกจากนี้จะทำให้เกิดการสูญเสียองค์ประกอบบางชนิดที่ต้องการ เช่น เส้นใยอาหารที่ละลายน้ำได้หรือวิตามินที่ละลายน้ำได้ แต่หากขนาดของอนุภาคใหญ่มากจะทำให้ไม่สามารถกำจัดองค์ประกอบที่ไม่ต้องการ เช่น น้ำตาลอิสระ และยังทำให้ใช้เวลาในการอบแห้งนานขึ้น การล้างหรือการลวกเป็นขั้นตอนของการกำจัดองค์ประกอบที่ไม่ต้องการออกไปจากวัตถุดิบ เช่น น้ำตาล ไขมัน สารสี หรือเอนไซม์ที่ก่อให้เกิดปฏิกิริยาสีน้ำตาล เพื่อปรับปรุงคุณภาพสุดท้ายของเส้นใยอาหารผง และช่วยกำจัดจุลินทรีย์ที่ก่อให้เกิดโรค ในการกำจัดน้ำตาลออกจากวัตถุดิบสามารถทำได้โดยการล้างด้วยน้ำร้อน ส่วนการกำจัดไขมันนิยมใช้วิธีการสกัดด้วยตัวทำละลายพวกอีเทอร์ แอลกอฮอล์ และการกลั่นด้วยไอน้ำ โดยมีรายงานว่าในการผลิตเส้นใยอาหารผงจากหัวกระเทียมเพื่อให้ได้ปริมาณเส้นใยอาหารสูง และมีความบริสุทธิ์มากขึ้น จะต้องทำการแช่กระเทียมบดในสารละลายเอทานอลที่ความเข้มข้นร้อยละ 95 ในอัตราส่วน 1:3 โดยน้ำหนักต่อปริมาตร เพื่อกำจัดไขมัน และทำการกำจัดน้ำตาลด้วยสารละลายเอทานอลที่ความเข้มข้นร้อยละ 90 และ 80 ตามลำดับ นอกจากนี้ มีการใช้สารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ที่ความเข้มข้นร้อยละ 4.5-5.0 ที่อุณหภูมิ 100-200 องศาเซลเซียส ด้วยหม้อนึ่งความดัน (0.1-1.0 เมกะปาสคาล) ในการแยกซิลิกา และลิกนินจากเปลือกข้าวโอ๊ต ทำให้เส้นใยอาหารมีความบริสุทธิ์มากขึ้น ส่วนการกำจัดสารสีในวัตถุดิบสามารถทำได้โดยการแช่ในสารละลายแอลกอฮอล์ เช่น การกำจัดลิโมนินในเปลือกมะนาว โดยการแช่เปลือกมะนาวลงไปในสารละลายเอทานอลที่ความเข้มข้นร้อยละ 95 เป็นเวลา 30 นาที นอกจากนี้ การยับยั้งการทำงานของเอนไซม์ที่ก่อให้เกิดปฏิกิริยาสีน้ำตาล โดยการลวกด้วยน้ำร้อน หรือไอน้ำ

2. การทำแห้ง สามารถทำได้โดยการสะเด็ดน้ำ การบีบ หรือกระบวนการอื่น ๆ เช่น การอบแห้ง เพื่อลดความชื้นของวัตถุดิบหลังจากการล้างหรือการลวกช่วยยืดอายุการเก็บรักษาโดยที่ไม่ต้องเติมสารเคมีหรือสารวัตถุกันเสีย อีกทั้งยังช่วยลดต้นทุนค่าบรรจุภัณฑ์และค่าใช้จ่ายในการขนส่งด้วย ในการผลิตระดับอุตสาหกรรมการลดความชื้นจะใช้เครื่องอบแห้งซึ่งมีอยู่หลายชนิด เช่น เครื่องอบแห้งแบบลูกกลิ้งเดี่ยว เครื่องอบแห้งแบบลูกกลิ้งคู่ เครื่องอบแห้งแบบสายพาน การเลือกวิธีการทำแห้งที่เหมาะสมจะต้องพิจารณาจากคุณลักษณะของวัตถุดิบ โดยมีความชื้นสูงและปริมาณน้ำตาลต่ำเพื่อลดความเสียหายต่อคุณภาพของเส้นใยอาหารผงให้น้อยที่สุด Jongaroontaprangsee, et al. (2014) รายงานว่า การอบแห้งมีผลต่อโครงสร้างและสมบัติเชิงหน้าที่ของเส้นใยอาหาร โดยอ้างถึงผลงานวิจัยของ Femenia, et al. (1999) ศึกษาสมบัติทางน้ำของเส้นใยอาหารจากกะหล่ำดอก พบว่า เส้นใยอาหารผงที่ผลิตได้จากการอบแห้งที่อุณหภูมิ 75 องศาเซลเซียสมีความสามารถในการอุ้มน้ำและการพองตัวต่ำกว่าเส้นใยอาหารผงที่ผลิตได้ที่อุณหภูมิ 40 องศาเซลเซียสอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ เนื่องจากอุณหภูมิการอบแห้งส่งผลโดยตรงต่อโครงสร้างและสมบัติเชิงหน้าที่ของเส้นใยอาหาร ในทางตรงกันข้าม ผลงานวิจัยของ Jongaroontaprangsee, et al. (2014) ศึกษาผลของอุณหภูมิการอบแห้ง (60, 70 และ 80 องศาเซลเซียส) ต่อสมบัติทางน้ำของเส้นใยอาหารผงจากกากมะนาวเศษเหลือ พบว่า อุณหภูมิการอบแห้งที่แตกต่างกันไม่มีผลต่อปริมาณผลผลิต ความสามารถในการอุ้มน้ำ และการพองตัวของเส้นใยอาหาร ในขณะที่ Navarro-González, et al. (2011) พบว่า การอบแห้งเส้นใยอาหารจากโทงเทงฝรั่งที่อุณหภูมิ 50 องศาเซลเซียส มีความสามารถในการอุ้มน้ำสูงสุดเท่ากับ 47.4 กรัมต่อ 100 กรัมของน้ำ ชี้ให้เห็นว่า การอบแห้งที่อุณหภูมิดังกล่าวทำให้โครงสร้างของเนื้อเยื่อพืชเสียหายน้อยลงและยังคงมีปริมาณน้ำอยู่มาก ทั้งนี้เมื่อพิจารณาจากผลลัพธ์โดยรวม พบว่า การอบแห้งที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส อาจเป็นอุณหภูมิที่เหมาะสมเพื่อให้ได้ผลิตภัณฑ์สุดท้ายที่มีคุณภาพสูง

3. การบดแห้ง เป็นขั้นตอนการลดขนาดของเส้นใยอาหารหลังจากการทำแห้งเพื่อให้เหมาะสมต่อการนำไปใช้ในผลิตภัณฑ์อาหาร การบดแห้งอาจส่งผลต่อสมบัติในการอุ้มน้ำของเส้นใยอาหารผง ทำให้ลักษณะเนื้อสัมผัสของอาหารเปลี่ยนแปลงไป ขนาดอนุภาคของเส้นใยอาหารผงในทางการค้าโดยทั่วไปจะอยู่ระหว่าง 0.15-0.43 มิลลิเมตร

วิธีการสกัดเส้นใยอาหาร

การสกัดเส้นใยอาหารจากหน่อไม้ มีขั้นตอนการเตรียมวัตถุดิบเบื้องต้นคล้ายกัน คือ นำเศษหน่อไม้ มาล้างให้สะอาด กรณีที่หน่อไม้ไม่ผ่านการลวกมาก่อน ควรนำหน่อไม้ไปลวกในน้ำเดือดนาน 15–30 นาที เพื่อยับยั้งปฏิกิริยาของเอนไซม์ จากนั้นนำมาหั่นให้มีขนาด 0.5–1.5 เซนติเมตร ขั้นตอนต่อมาเป็นกระบวนการสกัด ซึ่งมีอยู่หลายวิธี ดังนี้

1. การแยกเส้นใยอาหารแบบหยาบ (coarse separation method) การแยกเส้นใยอาหารแบบหยาบส่วนใหญ่ทำได้โดยการตกตะกอนด้วยการปั่นเหวี่ยง ปริมาณเส้นใยอาหารจะเพิ่มขึ้นตามการเปลี่ยนแปลงปริมาณองค์ประกอบภายในวัตถุดิบ เช่น การลดปริมาณแป้ง และกรดไฟติก จึงทำให้เส้นใยอาหารมีความบริสุทธิ์ขึ้น ทั้งนี้วิธีการดังกล่าวเหมาะสำหรับการปรับสภาพวัตถุดิบเท่านั้น เนื่องจากเส้นใยอาหารที่ได้ยังคงมีความบริสุทธิ์ต่ำ วิธีการสกัดแบบหยาบ เช่น การสกัดด้วยน้ำ เป็นวิธีที่ง่ายที่สุดต่อการแยกเส้นใยอาหารที่ละลายน้ำได้ออกจากส่วนประกอบอื่น ๆ Rouhou, et al. (2018) ทำการสกัดเส้นใยอาหารจากกระบองเพชร โดยการแช่ในน้ำกลั่นที่อุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 30 นาที 1 และ 3 ชั่วโมง ปั่นเหวี่ยงเพื่อตกตะกอน แล้วล้างด้วยน้ำกลั่นจำนวนห้าครั้ง จากนั้นนำมาปั่นเหวี่ยงอีกครั้ง นำกากที่ได้อบแห้งที่อุณหภูมิ 40 องศาเซลเซียส

2. การแยกเส้นใยอาหารด้วยสารเคมี (chemical separation method) การแยกเส้นใยอาหารด้วยสารเคมี โดยการนำวัตถุดิบแช่ในสารละลายกรด ด่าง หรือเอทานอล บีบแยกกากสารละลายที่ได้จะถูกนำมาวิเคราะห์ปริมาณเส้นใยอาหารที่ละลายน้ำ โดยการปั่นเหวี่ยงเพื่อแยกตะกอน แล้วปรับค่าความเป็นกรดด่างให้เป็นกลาง จากนั้นตกตะกอนด้วยสารละลายเอทานอลเข้มข้น แล้วนำตะกอนที่ได้ทำให้แห้งด้วยการแช่เยือกแข็ง (freeze dry) ในขณะที่กากของวัตถุดิบที่ได้หลังจากการบีบแยกน้ำจะถูกนำมาวิเคราะห์ปริมาณเส้นใยอาหารที่ไม่ละลายน้ำ ตัวอย่างการแยกเส้นใยอาหารด้วยสารเคมี ดังนี้

Jafari, et al. (2017) สกัดเส้นใยอาหารที่ละลายน้ำจากกากแครอท โดยแช่ในสารละลายกรดซิตริก และปรับค่าความเป็นกรดด่าง 0.5–2.5 บ่มที่อุณหภูมิ 50–90 องศา-เซลเซียส เป็นเวลา 30–150 นาที ทำการกรองและทิ้งให้เย็นที่อุณหภูมิห้อง ตกตะกอนด้วยเอทานอล เป็นเวลา 20 ชั่วโมง ปั่นเหวี่ยงเพื่อแยกตะกอน แล้วนำตะกอนที่ได้อบแห้งที่อุณหภูมิ 40 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 16 ชั่วโมง

Ma and Mu (2016) สกัดเส้นใยอาหารทั้งหมดจากกากยี่หร่า โดยแช่ในสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ที่ความเข้มข้น 0.5 โมลาร์ กวนด้วยความเร็ว 200 รอบต่อนาที ที่อุณหภูมิ 50 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 2 ชั่วโมง ทำการปรับค่าความเป็นกรดด่างของสารละลายให้เป็น

กลาง ปั่นเหวี่ยงเพื่อแยกตะกอน จากนั้นนำตะกอนที่ได้ล้างด้วยน้ำกลั่นจำนวน 2 ครั้ง และทำให้แห้งด้วยตู้อบลมร้อนที่อุณหภูมิ 55 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 16 ชั่วโมง

3. การย่อยเส้นใยอาหารด้วยเอนไซม์ การย่อยเส้นใยอาหารด้วยเอนไซม์ ส่วนใหญ่นิยมใช้เอนไซม์อะไมเลส และ โปรตีเอส ในการย่อยสลายแป้งและโปรตีนออกจากองค์ประกอบของเส้นใยอาหาร นอกจากนี้ยังมีการใช้เอนไซม์ชนิดอื่น ๆ เพื่อย่อยสลายสารออกฤทธิ์ทางชีวภาพ หรือองค์ประกอบอื่น ๆ ที่ไม่ต้องการ เช่น การใช้เอนไซม์ไลเปสในการย่อยสลายไขมันในเส้นใยอาหาร และการใช้เอนไซม์ไซลาเนสในการย่อยสลายไซแลน ซึ่งเป็นองค์ประกอบที่พบในโครงสร้างของเฮมิเซลลูโลส ข้อดีของวิธีการนี้ คือ ไม่ใช้อุณหภูมิและความดันสูง ประหยัดพลังงาน ช่วยลดขั้นตอนการใช้เครื่องมือและอุปกรณ์ ไม่ก่อให้เกิดมลพิษต่อสิ่งแวดล้อม โดยวิธีการดังกล่าวเหมาะสำหรับวัตถุดิบที่มีปริมาณแป้งและโปรตีนสูง

4. การย่อยเส้นใยอาหารด้วยเอนไซม์ร่วมกับการใช้สารเคมี การย่อยเส้นใยอาหารด้วยเอนไซม์ร่วมกับการใช้สารเคมี เป็นการนำวัตถุดิบมาปรับสภาพในสารละลายเคมี เช่น ฟอสเฟตบัฟเฟอร์ แล้วทำการเติมเอนไซม์อะไมเลส โปรตีเอส กลูโคอะไมเลส และเซลลูเลส ภายใต้สภาวะความเป็นกรดด่างตามที่ต้องการเพื่อทำการย่อยสลายหรือลดส่วนประกอบบางอย่างในเส้นใยอาหาร ต่อมาทำการแช่ในตัวทำละลายอินทรีย์ เช่น เอทานอล หรือ อะซิโตน จากนั้นสารละลายดังกล่าวจะถูกกรอง ล้างด้วยน้ำ และทำให้แห้ง วิธีการนี้จะทำให้ได้เส้นใยอาหารที่มีความบริสุทธิ์สูง Zhu, et al. (2019) สกัดเส้นใยอาหารจากข้าวฟ่างหางกระรอก โดยแช่ในสารละลายบัฟเฟอร์ (pH 4.2) บ่มที่อุณหภูมิ 55 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 2 ชั่วโมง แล้วเติมเอนไซม์ไซลาเนส บ่มต่อที่อุณหภูมิ 45 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 2 ชั่วโมง จากนั้นนำไปแช่ในอ่างน้ำควบคุมอุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 15 นาที เพื่อระงับปฏิกิริยาของเอนไซม์ ต่อมาทำการตกตะกอนด้วยเอทานอลที่อุณหภูมิห้อง เป็นเวลา 24 ชั่วโมง กรองและล้าง แล้วจึงนำไปอบแห้ง

งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

ธนิกานต์ สันต์สวัสดิ์ (2549) ศึกษาตัวแปรที่เกี่ยวข้องกับกระบวนการผลิตต่อสมบัติทางกายภาพและเคมีของเส้นใยอาหารจากกากส้มเขียวหวานสด ร่วมกับเปรียบเทียบคุณสมบัติของเส้นใยอาหารผงที่ผลิตได้กับเส้นใยอาหารผงทางการค้า ผลการทดลอง พบว่ากากส้มเขียวหวานสดมีปริมาณเส้นใยอาหารทั้งหมดร้อยละ 48.70 โดยน้ำหนักแห้ง เมื่อศึกษาตัวแปรด้านการผลิต ได้แก่ ขนาดการหั่นชิ้น อัตราส่วนและจำนวนครั้งในการต้มล้างด้วยน้ำ อัตราส่วนและจำนวนครั้งในการแช่ในสารละลายเอทานอลความเข้มข้นร้อยละ 95 และขนาดของอนุภาคเส้นใยอาหารผงหลังการบด พบว่า กรรมวิธีการผลิตเส้นใยอาหารผงที่เหมาะสม คือ ใช้ขนาดการหั่นชิ้น 10 มิลลิลิตร ทำให้สะดวกในการกำจัดองค์ประกอบบางส่วนที่ไม่ต้องการ การต้มล้างด้วยน้ำ 2 ครั้ง โดยใช้อัตราส่วน 3:1 โดยปริมาตรต่อน้ำหนัก ช่วยกำจัดน้ำตาล ไขมัน และรงควัตถุบางชนิดในวัตถุดิบ ขนาดอนุภาคของเส้นใยอาหารผง 0.15-0.43 มิลลิเมตร เส้นใยอาหารที่ผลิตได้จากกรรมวิธีการผลิตที่เหมาะสมมีสีน้ำตาลอ่อน (ค่าสี L, a*และ b* เท่ากับ 82.73, 0.14 และ 22.91 ตามลำดับ) มีปริมาณเส้นใยอาหารที่ไม่ละลายน้ำและเส้นใยอาหารที่ละลายน้ำร้อยละ 56.27 และ 17.06 โดยน้ำหนักแห้ง ค่าการอุ้มน้ำ และค่าการอุ้มน้ำมัน 13.36 และ 2.01 กรัมน้ำต่อกรัมตัวอย่าง เมื่อเปรียบเทียบเส้นใยอาหารผงที่ผลิตได้ กับเซลลูโลสผงยี่ห้อ Solka-Floc เกรด 900 FCC พบว่า เส้นใยอาหารผงจากกากส้มเขียวหวานมีปริมาณเส้นใยอาหารที่ละลายน้ำ และค่าความสามารถในการอุ้มน้ำมันสูงกว่า

สหขวัญ โรจนคุณธรรม (2556) ศึกษาลักษณะเฉพาะทางเคมีและกายภาพของเส้นใยอาหารจากมะม่วงสายพันธุ์แก้วเขียว (*Mangifera indica* L.) และฝรั่งสายพันธุ์แป้นสีทอง (*Psidium guajava* L.) และศึกษาผลของวิธีการผลิตเส้นใยอาหาร 4 วิธี ได้แก่ 1) การผลิตเส้นใยอาหารแบบสด 2) การผลิตเส้นใยอาหารโดยทำแห้งด้วยตู้อบลมร้อนแบบถาด 3) การผลิตเส้นใยอาหารโดยทำแห้งแบบแช่เยือกแข็ง และ 4) การผลิตโดยทำให้เส้นใยอาหารเหลือเฉพาะส่วนของของแข็งที่ไม่ละลายในแอลกอฮอล์และไม่ผ่านการทำแห้ง ต่อลักษณะเฉพาะทางเคมีและกายภาพของเส้นใยอาหารดังกล่าว นอกจากนี้ยังศึกษาผลของเส้นใยอาหารเหล่านี้ต่อคุณสมบัติด้านเคมีกายภาพ และการถูกย่อยได้ของแป้งข้าวเจ้าอีกด้วย ผลการศึกษาพบว่าการผลิตเส้นใยอาหารแบบสดให้เส้นใยอาหารจากมะม่วง (FMDF) และฝรั่ง (FGDF) ที่มีปริมาณโปรตีน และไขมัน ($p \leq 0.05$) สูงที่สุด โดย FMDF มีปริมาณโปรตีนและไขมันร้อยละ 2.99 และ 1.04 ตามลำดับ ส่วน FGDF มีปริมาณโปรตีนและไขมันร้อยละ 5.51 และ 1.03 ตามลำดับ

FMDF และ FGDF มีปริมาณเส้นใยอาหารทั้งหมด (total dietary fiber; TDF) สูงกว่าเส้นใยอาหารจากกรรมวิธีการผลิตแบบอื่น ($p\leq0.05$) คิดเป็นร้อยละ 37.02 และ 94.73 ตามลำดับ

งานวิจัยในต่างประเทศ

Chen, et al. (2013) ศึกษาวิธีการเตรียมเส้นใยอาหารจากหน่อไม้ ด้วยเอนไซม์อะไมเลส และโปรตีเอส โดยนำหน่อไม้มาย่อยแป้งด้วยเอนไซม์อะไมเลสที่ความเข้มข้น 200 ยูนิตต่อกรัม ความเป็นกรดด่าง 7.5 ที่อุณหภูมิ 40 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 1 ชั่วโมง กรองและล้างด้วยน้ำ ปรับอุณหภูมิ 45 องศาเซลเซียส และความเป็นกรดด่าง 7.5 แล้วเติมเอนไซม์โปรตีเอสที่ความเข้มข้น 500 ยูนิตต่อกรัม เป็นเวลา 3 ชั่วโมง เพื่อย่อยโปรตีน กรองและล้างแล้วนำมาอบแห้งจนกระทั่งมีความชื้นร้อยละ 10 จากนั้นนำมาบดละเอียดและร่อนด้วยตะแกรงขนาด 40-60 เมช หรือนำไปบดละเอียดต่อและร่อนด้วยตะแกรงขนาด 400 เมช ผลการทดลอง พบว่า เส้นใยอาหารที่ผลิตได้มีปริมาณเส้นใยอาหารที่ไม่ละลายน้ำมากกว่าร้อยละ 70 มีความสามารถในการอุ้มน้ำ และการพองตัวมากกว่า 8 กรัมต่อกรัม และ 10 มิลลิลิตรต่อกรัม ตามลำดับ

Cheng, et al. (2017) ศึกษาสมบัติทางเคมีกายภาพและสมบัติเชิงหน้าที่ของเส้นใยอาหารที่ละลายน้ำ (SDF) จากกากมันฝรั่งที่ได้จากการสกัดด้วยเอนไซม์เซลลูเลส ไซลาเนส และเซลลูเลส ต่อไซลาเนส ต่อมากำจัดแป้งและโปรตีนด้วยเอนไซม์แอลฟา-อะไมเลส กลูโคซิเดส และโปรตีเอส แล้วนำมาวิเคราะห์ปริมาณโมโนแซ็กคาไรด์ การละลายน้ำ การกระจายน้ำหนักโมเลกุลสมบัติทางรีโอโลยี ดัชนีการดูดซึมกลูโคส การยับยั้งกิจกรรมเอนไซม์แอลฟา-อะไมเลสและไลเปสจากตับอ่อน การดูดซึมโซเดียมโคเลต และการตรวจสอบฤทธิ์การต้านอนุมูลอิสระผลการทดลอง พบว่า กากมันฝรั่งที่ได้จากการย่อยด้วยเอนไซม์เซลลูเลส ไซลาเนส และเซลลูเลสต่อไซลาเนส มีปริมาณเส้นใยอาหารที่ละลายน้ำร้อยละ 31.9, 25.7 และ 39.7 ตามลำดับ โดยเส้นใยอาหารที่ละลายน้ำที่ได้จากการย่อยด้วยเอนไซม์ไซลาเนสสามารถชะลอการดูดซึมกลูโคสได้ดีร้อยละ 32.98 สามารถยับยั้งกิจกรรมเอนไซม์แอลฟา-อะไมเลส และไลเปส ร้อยละ 56.2 และ 55.33 ตามลำดับ ในขณะที่เส้นใยอาหารที่ละลายน้ำที่ผลิตได้จากการย่อยด้วยเอนไซม์เซลลูเลสและไซลาเนสร่วมกัน มีความสามารถในการจับกับโซเดียมโคเลต และมีฤทธิ์การต้านอนุมูลร้อยละ 72.2 และ 87.57 ตามลำดับ

Hu and Chen (2006) ศึกษาวิธีการเตรียมเส้นใยอาหารผงจากหน่อไม้ด้วยสารละลายเอทานอล เบส และกรด โดยนำหน่อไม้มาสกัดสารอื่นออกโดยการแช่ในสารละลายเอทานอล ที่ความเข้มข้นร้อยละ 70 บ่มที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 1 ชั่วโมง

นำมาแช่ต่อในสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ที่ความเข้มข้นร้อยละ 0.4 เป็นเวลา 1 ชั่วโมง แล้วทำการเติมกรดซิตริกที่ความเข้มข้นร้อยละ 0.2-0.6 กรองและล้างด้วยน้ำ จากนั้นนำไปอบแห้งจนกระทั่ง มีความชื้นร้อยละ 10 แล้วบดละเอียดและร่อนด้วยตะแกรงขนาด 40-60 เมช หรือนำไปบดละเอียดต่อและร่อนด้วยตะแกรงขนาด 400 เมช ผลการทดลอง พบว่า เส้นใยอาหารที่ผลิตได้ มีปริมาณเส้นใยอาหารที่ไม่ละลายน้ำร้อยละ 70 มีความสามารถในการอุ้มน้ำ และการพองตัวเท่ากับ 7 กรัมต่อกรัม และ 8 มิลลิลิตรต่อกรัม ตามลำดับ

Liu (2007) ศึกษาวิธีการเตรียมเส้นใยอาหารผงจากหน่อไม้ด้วยความร้อนสูง โดยนำหน่อไม้เศษเหลือมาบดละเอียดแบบเปียก (colloid mill) จากนั้นใช้ความร้อน เพื่อทำให้เส้นใยอาหารอ่อนตัวลงที่อุณหภูมิ 90-126 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 40-70 นาที แล้วนำไปอบแห้งจนกระทั่งมีความชื้นร้อยละ 5-6 เมื่อนำเส้นใยอาหารที่ผลิตได้นำไปเสริมในเค้ก คุกกี้ และพาสต้า หลังทดสอบในกลุ่มผู้บริโภค พบว่า สามารถควบคุมการดูดซึมไขมันในลำไส้เล็กเข้าสู่ร่างกาย

Luo, et al. (2017) ศึกษาสมบัติทางน้ำ ความสามารถในการยึดเกาะของเส้นใยอาหารจากเปลือกหน่อไม้ และผลต่อการลดภาวะไขมันในเลือดในหนูทดลอง โดยสกัดเส้นใยอาหารจากเปลือกหน่อไม้ด้วยเอนไซม์เซลลูเลส อะไมเลส และโปรตีเอส แล้วศึกษาสมบัติทางเคมีกายภาพ ได้แก่ ความสามารถในการพองตัว การอุ้มน้ำ การจับกับน้ำมัน กรดน้ำดี คอเลสเตอรอล โซเดียมโคเลต และทดสอบการลดภาวะไขมันในเลือดของหนูทดลองที่มีภาวะไขมันในเลือดสูง ผลการทดลอง พบว่า เปลือกหน่อไม้มีปริมาณเส้นใยอาหารทั้งหมดร้อยละ 64.88 โดยมีสัดส่วนของเส้นใยอาหารที่ไม่ละลายน้ำและเส้นใยอาหารที่ละลายน้ำร้อยละ 56.21 และ 8.67 ตามลำดับ โดยเส้นใยอาหารที่ผลิตได้มีความสามารถในการพองตัว การอุ้มน้ำ การจับกับไขมัน คอเลสเตอรอล และกรดน้ำดีในการทดลองระดับห้องปฏิบัติการอย่างมีนัยสำคัญ และช่วยเมแทบอลิซึมไขมันในหนูทดลองที่มีภาวะไขมันในเลือดสูง โดยพบว่า การเสริมอาหารด้วยเส้นใยอาหารทั้ง 3 ชนิด ได้แก่ เส้นใยอาหารทั้งหมด เส้นใยอาหารที่ไม่ละลายน้ำ และเส้นใยอาหารที่ละลายน้ำในปริมาณร้อยละ 5 ของแต่ละการทดลอง สามารถลดน้ำหนักตัวหนูได้ 2.84 กรัม ลดระดับคอเลสเตอรอลทั้งหมด ไตรกลีเซอร์ไรด์ และคอเลสเตอรอลความหนาแน่นต่ำร้อยละ 31.53, 21.35 และ 31.53 ตามลำดับ ในขณะที่คอเลสเตอรอลความหนาแน่นสูงเพิ่มขึ้นร้อยละ 37.6 เมื่อเทียบกับกลุ่มควบคุม

Ma, et al. (2015) ศึกษาประสิทธิภาพในการสกัดเส้นใยอาหารจากกากยี่หร่า (*Cuminum cyminum* L.) ด้วยเอนไซม์อัลคาเลส ร่วมกับการปั่นผสมด้วยแรงเฉือน (shear emulsifying assisted enzymatic hydrolysis; SEAEH) แล้วนำไปศึกษาความสามารถในการ

ดูดซึมไขมัน กลูโคส และดัชนีการชะลอกรดน้ำดี ผลการทดลอง พบว่า สภาวะการสกัดที่เหมาะสมที่สุด โดยใช้อัตราส่วนของเอนไซม์ต่อสารตั้งต้นร้อยละ 4.5 ได้แก่ อุณหภูมิ 57 องศาเซลเซียส ค่าความเป็นกรด-ด่าง 7.7 และ เวลา 155 นาที ภายใต้สภาวะดังกล่าวประสิทธิภาพในการสกัดและปริมาณเส้นใยอาหารทั้งหมดจากกากยี่หร่าที่ผลิตได้ร้อยละ 95.12 และ 84.18 ตามลำดับ โดยมีองค์ประกอบของเฮมิเซลลูโลส และเซลลูโลสร้อยละ 37.25 และ 33.40 ตามลำดับ นอกจากนี้พบว่า FAC และ GAC เพิ่มขึ้น เมื่อลดขนาดของเส้นใยอาหาร (51-100 ไมโครเมตร) และเมื่อลดขนาดของเส้นใยอาหารต่ำกว่า 26 ไมโครเมตร มีผลต่อการเพิ่มการชะลอกรดน้ำดี

Wang, et al. (2013) ศึกษาวิธีการเตรียมเส้นใยอาหารผงเนื้อละเอียดจากหน่อไม้ด้วยสารละลายกรดซิตริก โดยนำหน่อไม้ลวกในน้ำเดือดที่อุณหภูมิ 90-100 องศาเซลเซียส จากนั้นนำมาบดเปียก แล้วแช่ในสารละลายกรดซิตริก เป็นเวลา 24-36 ชั่วโมง เพื่อกำจัดความฝาด กรองและล้างด้วยน้ำ นำไปอบแห้ง และบดละเอียดด้วยเครื่องบดอนุภาค (attrition mill) ผลการทดลอง พบว่า เส้นใยอาหารที่ผลิตได้มีเนื้อละเอียด (10 ไมโครเมตร) มีการกระจายตัวดี ปราศจากกลิ่น และรส ผลการทดลองหลังทดสอบในกลุ่มผู้บริโภค พบว่า สามารถเพิ่มการบีบตัวของกล้ามเนื้อภายในลำไส้ และมีฤทธิ์คล้ายยาระบาย ช่วยในการขับถ่าย

ทั้งนี้สภาวะและขั้นตอนการสกัดเส้นใยอาหารขึ้นอยู่กับส่วนประกอบทางเคมีอื่น ๆ ที่มีอยู่ในวัตถุดิบ ซึ่งส่งผลต่อความบริสุทธิ์และสมบัติของเส้นใยอาหารผงที่ผลิตได้ ทำให้สภาวะในการผลิตเส้นใยอาหารแตกต่างกันไปตามวัตถุดิบที่ใช้ ดังนั้น งานวิจัยนี้จึงต้องศึกษาเปรียบเทียบการสกัดเส้นใยอาหารจากหน่อไม้เศษเหลือส่วนฐาน และปลายยอดด้วยวิธีการที่แตกต่างกัน ดังนี้ 1) การสกัดด้วยน้ำ 2) การแช่สารละลายกรดซิตริก 3) การแช่สารละลายเอทานอล เบส และกรด และ 4) การย่อยด้วยเอนไซม์อะไมเลสและโปรตีเอส จากนั้นจึงหาสภาวะที่เหมาะสมในการสกัดเส้นใยอาหารต่อปริมาณผลผลิต โครงสร้างทางจุลภาคและสมบัติต่าง ๆ ของเส้นใยอาหารที่ผลิตได้จากหน่อไม้เศษเหลือส่วนฐาน และปลายยอด ได้แก่ ความสามารถในการอุ้มน้ำ การพองตัว การอุ้มน้ำมัน และการดูดซึมกลูโคส

บทที่ 3
วิธีดำเนินการวิจัย

งานวิจัยนี้ศึกษาวิธีการและสภาวะที่เหมาะสมในการสกัดเส้นใยอาหารจากหน่อไม้เศษเหลือส่วนฐานและปลายยอด ร่วมกับการวิเคราะห์ปริมาณผลผลิต โครงสร้างทางจุลภาค สมบัติทางเคมีกายภาพ สมบัติเชิงหน้าที่ของเส้นใยอาหารที่สกัดได้ โดยมีแนวทางดำเนินการวิจัย ดังนี้

ตัวอย่างที่ใช้ในการศึกษา

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

ภาพ 4 แสดงหน่อไม้เศษเหลือส่วนฐาน (ก) และปลายยอด (ข)

เครื่องมือและสารเคมีที่ใช้ในการวิจัย

1. อุปกรณ์และเครื่องมือในการวิเคราะห์

1.1 เครื่องแก้วต่าง ๆ

1.2 เครื่องย่อยโปรตีน และชุดวิเคราะห์โปรตีน (ยี่ห้อ VELP รุ่น DK-8)

1.3 เครื่องวิเคราะห์ไขมัน และชุดสกัด Soxtherm (ยี่ห้อ VELP SCIENTIFICA รุ่น SER148)

1.4 ตู้ดูดควัน (ยี่ห้อ GTech รุ่น GT-240TA)

1.5 เตาร้อน

1.6 เตาเผา (ยี่ห้อThermolyne รุ่น FD1530M)

1.7 ตู้อบลมร้อน (ยี่ห้อ Memmenrt รุ่น Model WNB Basia)

1.8 เครื่องชั่งละเอียดทศนิยม 2 ตำแหน่ง (ยี่ห้อ OHAUS รุ่น PA4102)

1.9 เครื่องชั่งละเอียดทศนิยม 4 ตำแหน่ง (ยี่ห้อ OHAUS รุ่น PA214)

1.10 เครื่องปั่น (ยี่ห้อ TEFAL รุ่น BL317)

1.11 อ่างน้ำควบคุมอุณหภูมิ (ยี่ห้อ Memmert รุ่น WNB 29)

1.12 เครื่องปั่นเหวี่ยงตกตะกอน (ยี่ห้อ Itettich รุ่น Universal 320)

1.13 เครื่องวัดความเป็นกรดด่าง (ยี่ห้อ LT LUTRON รุ่น pH-230SD)

1.14 เครื่องเขย่าสาร (ยี่ห้อ VISION รุ่น KMC-1300V)

1.15 เครื่องวัดการดูดกลืนแสง (ยี่ห้อ Biomate3 singe cell รุ่น 2K4L365001)

1.16 เครื่องวัดสี (ยี่ห้อ HunterLab รุ่น Color Quest XE)

1.17 กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (ยี่ห้อ FEI รุ่น Quanta 250)

2. สารเคมีที่ใช้ในการวิเคราะห์

2.1 สารเคมีที่ใช้ในการวิเคราะห์โปรตีน

2.1.1 โบรวีนซีรัมอัลบูมิน (bovine serum albumin)

2.1.2 คอปเปอร์ซัลเฟตเพนตระไฮเดรต (copper (II) sulphate pentahydrate)

2.1.3 โพแทสเซียมโซเดียมทาร์เทรต (sodium potassium tartrate)

2.1.4 โพแทสเซียมไอโอไดด์ (potassium iodide)

2.2 สารเคมีที่ใช้ในการวิเคราะห์ไขมัน

2.2.1 ปิโตรเลียม อีเทอร์ (petroleum ether)

2.3 สารเคมีที่ใช้ในการวิเคราะห์ความสามารถในการดูดซึมกลูโคส

2.3.1 กลูโคส (carboxymethyl cellulose; cmc)

2.3.2 ชุดวิเคราะห์ปริมาณน้ำตาลของ Megazyme (K-GLUC 08/18)

2.4 สารเคมีที่ใช้ในการวิเคราะห์ปริมาณเส้นใยอาหาร

2.4.1 กรดซัลฟิวริก (sulfuric acid)

2.4.2 โซเดียมไฮดรอกไซด์ (sodium hydroxide)

2.4.3 เอทานอล (ethanol)

2.4.4 ชุดวิเคราะห์ปริมาณเส้นใยอาหารทั้งหมดของ Megazyme (K-TDFR 07/11)

2.5 สารเคมีและเอนไซม์ที่ใช้ในการสกัดเส้นใยอาหารจากหน่อไม้เศษเหลือ

2.5.1 กรดซิตริก (citric acid)

2.5.2 เอทานอล (ethanol)

2.5.3 โซเดียมไฮดรอกไซด์ (sodium hydroxide)

2.5.4 กรดไฮโดรคลอริก (hydrochloric acid)

2.5.5 แอลฟา-อะไมเลส (Xi'an Biof Bio-technology Co.,Ltd)

2.5.6 โปรตีเอส (Xi'an Biof Bio-technology Co.,Ltd)

2.5.7 ไลเปส (Jinan Tiantian Xiang Co.,Ltd)

2.5.8 กลูโคอะไมเลส (SinoBios (Shanghai) Imp. & Exp.Co. , Ltd)

2.5.9 เซลลูเลส (SinoBios (Shanghai) Imp. & Exp.Co. , Ltd)

2.5.10 ไซลาเนส (SinoBios (Shanghai) Imp. & Exp.Co. , Ltd)

การเก็บรวบรวมข้อมูล

วิธีดำเนินการวิจัยแบ่งเป็น 5 การทดลอง โดยมีขั้นตอนการทดลองดังต่อไปนี้

หน่อไม้เศษเหลือส่วนฐาน และปลายยอด

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

การทดลองที่ 1

- ศึกษาองค์ประกอบทางกายภาพและเคมีโดยประมาณของหน่อไม้เศษเหลือส่วนฐานและปลายยอด ได้แก่ ค่าสี ความชื้น โปรตีน ไขมัน เถ้า เส้นใยอาหารทั้งหมด เส้นใยอาหารที่ละลายน้ำ และเส้นใยอาหารที่ไม่ละลายน้ำ

ผลลัพธ์

- ข้อมูลองค์ประกอบทางกายภาพและเคมีโดยประมาณของหน่อไม้เศษเหลือส่วนฐานและปลายยอด

การทดลองที่ 2

- ศึกษาเปรียบเทียบวิธีการสกัดเส้นใยอาหารจากหน่อไม้เศษเหลือส่วนฐานและปลายยอดที่แตกต่างกัน 4 วิธี ร่วมกับการวิเคราะห์โครงสร้างทางจุลภาค สมบัติทางเคมีกายภาพ และสมบัติเชิงหน้าที่ของเส้นใยอาหาร จัดสิ่งทดลองด้วยวิธีแฟคทอเรียล 2×4 ในแผนการทดลองแบบสุ่มสมบูรณ์ ทำการทดลอง 3 ซ้ำ แล้วนำวิธีการที่เหมาะสมมาวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมีโดยประมาณและสมบัติเชิงหน้าที่

ผลลัพธ์

- ข้อมูลกรรมวิธีการสกัดที่เหมาะสมสำหรับเส้นใยอาหารจากหน่อไม้เศษเหลือส่วนฐานและปลายยอด

การทดลองที่ 3

- ศึกษาชนิด และลำดับของปัจจัยที่เหมาะสมในการสกัดเส้นใยอาหารจากหน่อไม้เศษเหลือส่วนฐานและปลายยอดที่ได้จากการทดลองที่ 2 จัดสิ่งทดลองด้วยวิธีแฟคทอเรียลในแผนการทดลองแบบสุ่มสมบูรณ์ ทำการทดลอง 3ซ้ำ และวิเคราะห์สภาวะที่เหมาะสมด้วยวิธีพื้นผิวตอบสนอง (respond surface methodology; RSM)

ผลลัพธ์

- ข้อมูลสภาวะในการสกัดเส้นใยอาหารจากหน่อไม้เศษเหลือส่วนฐานและปลายยอด

ภาพ 5 แสดงแผนงานวิจัยผลของวิธีการสกัดต่อสมบัติทางเคมีกายภาพและสมบัติเชิงหน้าที่ของเส้นใยอาหารจากหน่อไม้เศษเหลือ

การทดลองที่ 1 ศึกษาองค์ประกอบทางกายภาพและเคมีโดยประมาณของหน่อไม้เศษเหลือ

นำหน่อไม้เศษเหลือส่วนฐานและปลายยอด มาวิเคราะห์สมบัติทางกายภาพ ได้แก่ ค่าสี วัดด้วยระบบ CIE (L*, a*, b*) องค์ประกอบทางเคมีโดยประมาณ ได้แก่ ความชื้น โปรตีน ไขมัน เถ้า เส้นใยอาหารทั้งหมด (TDF) เส้นใยอาหารที่ละลายน้ำ (SDF) และเส้นใยอาหารที่ไม่ละลายน้ำ (IDF) ทำการทดลอง 3 ซ้ำ (AOAC, 2011)

การทดลองที่ 2 ศึกษาวิธีการที่เหมาะสมในการผลิตหน่อไม้ผงจากหน่อไม้เศษเหลือ

ทำการศึกษาโดยจัดสิ่งทดลองด้วยวิธีแฟคทอเรียลในแผนการทดลองแบบสุ่มสมบูรณ์ (factorial 2x4 in CRD) เพื่อเปรียบเทียบวิธีการสกัดเส้นใยอาหารจากหน่อไม้เศษเหลือ ได้แก่ 1) หน่อไม้เศษเหลือส่วนฐาน และ 2) หน่อไม้เศษเหลือส่วนปลายยอด ทั้งหมด 4 กรรมวิธี ได้แก่

1) การสกัดด้วยน้ำ (BSP-W)
2) การแช่สารละลายกรดซิตริก (BSP-CA)
3) การแช่สารละลายเอทานอล เบส และกรด (BSP-EAA)
4) การย่อยด้วยเอนไซม์อะไมเลสและโปรตีเอส (BSP-EN)

วิเคราะห์โครงสร้างทางจุลภาค ปริมาณผลผลิต เส้นใยอาหาร และสมบัติทางเคมีกายภาพของเส้นใยอาหาร ได้แก่ ความสามารถในการอุ้มน้ำ การพองตัว และการจับน้ำมัน แล้วคัดเลือกวิธีการที่เหมาะสมเพื่อนำมาวิเคราะห์สมบัติทางกายภาพ ได้แก่ ค่าสี องค์ประกอบทางเคมีโดยประมาณ ได้แก่ ปริมาณความชื้น เถ้า ไขมัน และโปรตีน และสมบัติเชิงหน้าที่ ได้แก่ ความสามารถในการดูดซึมกลูโคส ทำการทดลอง 3 ซ้ำ โดยแบ่งการทดลองออกเป็น 3 ขั้นตอน ดังนี้

1. การเตรียมวัตถุดิบ

นำหน่อไม้เศษเหลือส่วนฐานและปลายยอดล้างด้วยน้ำให้สะอาด นำไปลวกในน้ำเดือด 90-100 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 15-30 นาที เพื่อยับยั้งปฏิกิริยาของเอนไซม์ จากนั้นนำมาหั่นให้มีความยาวขนาด 0.5-1.5 เซนติเมตร แล้วบีบน้ำออก เพื่อนำมาสกัดเส้นใยอาหารจากหน่อไม้เศษเหลือส่วนฐานและปลายยอด

2. การผลิตหน่อไม้ผงจากหน่อไม้เศษเหลือส่วนฐานและปลายยอด

กรรมวิธีการสกัดเส้นใยอาหารจากหน่อไม้เศษเหลือส่วนฐานและปลายยอด มีทั้งหมด 4 กรรมวิธี ได้แก่ การสกัดด้วยน้ำ การแช่ในสารละลายกรดซิตริก การแช่ในสารละลายเอทานอล เบส และกรด และการย่อยด้วยเอนไซม์อะไมเลสและโปรตีเอส มีรายละเอียดวิธีการดังนี้

2.1 การสกัดเส้นใยอาหารด้วยน้ำ

นำหน่อไม้เศษเหลือส่วนฐานและปลายยอดที่ได้จากข้อ 1 ชั่งให้ได้น้ำหนักประมาณ 100 กรัม เติมลงในน้ำกลั่นอัตราส่วน 1:3 โดยน้ำหนักต่อปริมาตร นำไปต้มในอ่างน้ำควบคุมอุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 90 นาที พร้อมเขย่า 130 รอบต่อนาที กรองและล้างด้วยน้ำกลั่นปริมาตร 300 มิลลิลิตร จำนวน 2 ครั้ง จากนั้นทำให้แห้งด้วยตู้อบลมร้อนที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 20 ชั่วโมง ปั่นให้ละเอียดและร่อนผ่านตะแกรงขนาด 35 เมช (ดัดแปลงจาก Liu, 2007)

2.2 การสกัดเส้นใยอาหารโดยการแช่สารละลายกรดซิตริก

นำหน่อไม้เศษเหลือส่วนฐานและปลายยอดที่ได้จากข้อ 1 ชั่งให้ได้น้ำหนักประมาณ 100 กรัม เติมลงในสารละลายกรดซิตริกที่ความเข้มข้นร้อยละ 1 ในอัตราส่วน 1:3 โดยน้ำหนักต่อปริมาตร นำไปแช่ในอ่างน้ำควบคุมอุณหภูมิ 80 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 90 นาที พร้อมเขย่า 130 รอบต่อนาที เพื่อขจัดความฝาดของหน่อไม้ กรองและล้างด้วยน้ำกลั่นปริมาตร 300 มิลลิลิตร จำนวน 2 ครั้ง จากนั้นทำให้แห้งด้วยตู้อบลมร้อนที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 20 ชั่วโมง ปั่นให้ละเอียดและร่อนผ่านตะแกรงขนาด 35 เมช (ดัดแปลงจาก Wang, et al., 2013)

2.3 การสกัดเส้นใยอาหารโดยการแช่สารละลายเอทานอล เบส และกรด

นำหน่อไม้เศษเหลือส่วนฐานและปลายยอดที่ได้จากข้อ 1 ชั่งให้ได้น้ำหนักประมาณ 100 กรัม เติมลงในสารละลายเอทานอลความเข้มข้นร้อยละ 70 ในอัตราส่วน 1:3 โดยน้ำหนักต่อปริมาตร นำไปแช่ในอ่างน้ำควบคุมอุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 1 ชั่วโมง จากนั้นนำมาแช่ในสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ และสารละลายกรดซิตริกที่ความเข้มข้นร้อยละ 0.4 ในอุณหภูมิห้อง เป็นเวลา 1 ชั่วโมง ตามลำดับ กรองและล้างด้วยน้ำกลั่นปริมาตร 300 มิลลิลิตร จำนวน 2 ครั้ง จากนั้นทำให้แห้งด้วยตู้อบลมร้อนที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 20 ชั่วโมง ปั่นให้ละเอียดและร่อนผ่านตะแกรงขนาด 35 เมช (ดัดแปลงจาก Hu and Chen, 2006)

2.4 การสกัดเส้นใยอาหารโดยการใช้เอนไซม์อะไมเลสและโปรตีเอส

นำหน่อไม้เศษเหลือส่วนฐานและปลายยอดที่ได้จากข้อ 1 ชั่งให้ได้น้ำหนักประมาณ 100 กรัม เติมลงในสารละลายฟอสเฟตบัฟเฟอร์ที่มีค่าความเป็นกรดด่างเท่ากับ 6.5 ในอัตราส่วน 1:3 โดยน้ำหนักต่อปริมาตร ทำการกำจัดแป้งโดยเติมเอนไซม์อะไมเลสที่ความเข้มข้น 200 ยูนิตต่อกรัม บ่มในอ่างน้ำควบคุมอุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 15 นาที พร้อมเขย่า 130 รอบต่อนาที กรองและล้างด้วยน้ำกลั่นปริมาตร 300 มิลลิลิตร จำนวน 2 ครั้ง ต่อมากำจัดโปรตีนโดยการเติมสารละลายฟอสเฟตบัฟเฟอร์ที่มีค่าความเป็นกรดด่างเท่ากับ 7.0 ในอัตราส่วน 1:3 โดยน้ำหนักต่อปริมาตร เติมเอนไซม์โปรตีเอสที่ความเข้มข้น 200 ยูนิตต่อกรัม บ่มในอ่างน้ำควบคุมอุณหภูมิ 40 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 30 นาที พร้อมเขย่า 130 รอบต่อนาที กรองและล้างด้วยน้ำกลั่นปริมาตร 300 มิลลิลิตร จำนวน 2 ครั้ง จากนั้นทำให้แห้งด้วยตู้อบลมร้อนที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 20 ชั่วโมง ปั่นให้ละเอียดและร่อนผ่านตะแกรงขนาด 35 เมช (ดัดแปลงจาก Chen, Wu and Gao, 2013)

3. ศึกษาสมบัติทางเคมีกายภาพและสมบัติเชิงหน้าที่ของเส้นใยอาหารจากหน่อไม้เศษเหลือ

ศึกษาสมบัติทางภายภาพ (ค่าสี) ปริมาณผลผลิต โครงสร้างทางจุลภาค สมบัติทางเคมีกายภาพและสมบัติเชิงหน้าที่ของเส้นใยอาหารจากหน่อไม้เศษเหลือส่วนฐานและปลายยอดที่ได้จากกรรมวิธีการสกัดที่แตกต่างกันทั้ง 4 วิธี ได้แก่ การสกัดด้วยน้ำ การแช่สารละลายกรดซิตริก การแช่สารละลายเอทานอล เบส และกรด และการย่อยด้วยเอนไซม์อะไมเลสและโปรตีเอส ทำการทดลอง 3 ซ้ำ มีรายละเอียด ดังนี้

3.1 สมบัติทางกายภาพ (physical properties) ได้แก่ ค่าสี วัดด้วยระบบ CIE (L*, a*, b*) โดยใช้เครื่องวัดสี ยี่ห้อ Hunter-Lab รุ่น Ultra scan Vis

3.2 โครงสร้างทางจุลภาค (microstructure) ศึกษาลักษณะทางสัณฐานวิทยาและลักษณะพื้นผิวของเส้นใยอาหารจากหน่อไม้เศษเหลือส่วนฐานและปลายยอด โดยใช้กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (scanning electron microscope; SEM) ยี่ห้อ FEI รุ่น Quanta 250 ที่กำลังขยาย 1,000 เท่า

3.3 ความสามารถในการอุ้มน้ำ (water holding capacity; WHC) ตามวิธีของ Luo, et al. (2017) ชั่งตัวอย่าง 1 กรัม โดยน้ำหนักแห้ง (w_1) ใส่ในหลอดปั่นเหวี่ยงขนาด 50 มิลลิลิตร เติมน้ำกลั่นปริมาตร 20 มิลลิลิตร ผสมให้เข้ากัน ตั้งไว้ที่อุณหภูมิห้อง เป็นเวลา 1 ชั่วโมง ปั่นเหวี่ยงที่ความเร็ว 3,000 รอบต่อนาที เป็นเวลา 20 นาที จากนั้นใช้ปิเปตดูดส่วนใส

ทิ้งและชั่งน้ำหนักส่วนที่ตกตะกอน (w_2) ความสามารถในการอุ้มน้ำคำนวณตามสูตรดังนี้ (Luo, et al., 2018)

ความสามารถในการอุ้มน้ำ (กรัมต่อกรัม) = $(w_2 - w_1) / w_1$

เมื่อ w_2 = น้ำหนักของตัวอย่างหลังปั่นเหวี่ยง (กรัม)
w_1 = น้ำหนักของตัวอย่างแห้ง (กรัม)

3.4 ความสามารถในการพองตัว (swelling capacity; SC) ตามวิธีของ Luo, et al. (2017) ชั่งตัวอย่าง 0.2 กรัม โดยน้ำหนักแห้ง (w_1) ใส่ในกระบอกตวงที่ทราบปริมาตรขนาด 10 มิลลิลิตร เติมน้ำกลั่นปริมาตร 5 มิลลิลิตร ผสมให้เข้ากันและบันทึกปริมาตรเริ่มต้น (v_0) ตั้งทิ้งไว้ที่อุณหภูมิห้อง เป็นเวลา 24 ชั่วโมง และวัดปริมาตรของเส้นใยอาหารหลังดูดซับน้ำ (v_1) ความสามารถในการพองตัวคำนวณตามสูตรดังนี้

ความสามารถในการพองตัว (มิลลิลิตรต่อกรัม) = $(v_1 - v_0) / w_1$

เมื่อ v_1 = ปริมาตรของเส้นใยอาหารหลังดูดซับน้ำ (มิลลิลิตร)
v_0 = ปริมาตรของเส้นใยอาหารเริ่มต้น (มิลลิลิตร)
w_1 = น้ำหนักของตัวอย่างแห้ง (กรัม)

3.5 ความสามารถในการจับน้ำมัน (oil binding capacity; OBC) ตามวิธีของ Luo, et al. (2017) ชั่งตัวอย่าง 1 กรัม โดยน้ำหนักแห้ง (w_1) ใส่ในหลอดปั่นเหวี่ยง เติมน้ำมันดอกทานตะวันปริมาตร 20 มิลลิลิตร ผสมให้เข้ากัน และบ่มที่อุณหภูมิ 37 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 1 ชั่วโมง จากนั้นนำไปปั่นเหวี่ยงที่ความเร็ว 10,000 รอบต่อนาที เป็นเวลา 30 นาที จากนั้นใช้ปิเปตดูดส่วนใสทิ้ง และชั่งน้ำหนักส่วนที่ตกตะกอน (w_2) ความสามารถในการจับน้ำมันคำนวณตามสูตรดังนี้ (Luo, et al., 2018)

ความสามารถในการจับน้ำมัน (กรัมต่อกรัม) = $(w_2 - w_1) / w_2$

เมื่อ w_2 = น้ำหนักของตัวอย่างหลังปั่นเหวี่ยง (กรัม)
w_1 = น้ำหนักของตัวอย่างแห้ง (กรัม)

3.6 ความสามารถในการดูดซึมกลูโคส (Glucose adsorption capacity; GAC) ดัดแปลงจากวิธีของ Luo, et al. (2018) ชั่งตัวอย่าง 0.25 กรัมเติมลงในสารละลายกลูโคสที่ความเข้มข้น 20 มิลลิโมลต่อลิตร ปริมาตร 25 มิลลิลิตร บ่มที่อุณหภูมิ 37 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 6 ชั่วโมง จากนั้น ปั่นเหวี่ยงที่ความเร็ว 4,000 รอบต่อนาที เป็นเวลา 15 นาที เก็บส่วนใสปริมาตร 1 มิลลิลิตร เพื่อนำมาวิเคราะห์หาปริมาณกลูโคสด้วยชุดทดสอบปริมาณน้ำตาล (megazyme, Ireland) ความสามารถในการดูดซึมกลูโคสคำนวณตามสูตรดังนี้ (Xue, et al., 2019)

ความสามารถในการดูดซึมกลูโคส (มิลลิกรัมต่อมิลลิกรัม) = $(C_O - C_S) / W_S * V_G$

เมื่อ C_O = ความเข้มข้นของสารละลายกลูโคสเริ่มต้น (มิลลิกรัมต่อมิลลิลิตร)
C_S = ความเข้มข้นของสารละลายกลูโคสหลังปั่นเหวี่ยง (มิลลิกรัมต่อมิลลิลิตร)
W = น้ำหนักของตัวอย่าง (มิลลิกรัม)
V_G = ปริมาตรของสารละลายกลูโคส (มิลลิลิตร)

จากการทดลองที่ 2 การย่อยด้วยเอนไซม์อะไมเลส และโปรตีเอส (BSP-EN) ทำให้ได้หน่อไม้ผงที่มีเส้นใยอาหารชนิดที่ละลายน้ำ และสมบัติทางเคมีกายภาพ ได้แก่ ความสามารถในการอุ้มน้ำ และการพองตัวสูงสุดอย่างมีนัยสำคัญ จึงถูกคัดเลือกเพื่อนำมาศึกษาสภาวะที่เหมาะสมของเอนไซม์ในการผลิตเส้นใยอาหารจากหน่อไม้เศษเหลือส่วนฐานและหน่อไม้เศษเหลือส่วนปลายยอดในการทดลองที่ 3

การทดลองที่ 3 ศึกษาสภาวะที่เหมาะสมของเอนไซม์ในการผลิตเส้นใยอาหารจากหน่อไม้เศษเหลือ

ศึกษาชนิด และลำดับของเอนไซม์ที่เหมาะสมในการผลิตเส้นใยอาหารจากหน่อไม้เศษเหลือ โดยจัดสิ่งทดลองด้วยวิธีแฟคทอเรียลในแผนการทดลองแบบสุ่มสมบูรณ์ (factorial in CRD) ประกอบด้วย 2 ปัจจัย ได้แก่ 1) หน่อไม้เศษเหลือส่วนฐาน และ 2) หน่อไม้เศษเหลือส่วนปลายยอด มีทั้งหมด 8 สิ่งทดลอง ทำการทดลอง 3 ซ้ำ แล้วนำมาศึกษาสภาวะที่เหมาะสมของเอนไซม์ไลเปส ด้วยวิธีพื้นผิวตอบสนอง (response surface methodology; RSM) วางแผนการทดลองแบบประสมกลาง (central composite design; CCD) วิเคราะห์อิทธิพลร่วมของตัวแปรอิสระ ได้แก่ 1) ความเข้มข้นของเอนไซม์ไลเปส และ 2) ระยะเวลาในการสกัดของเอนไซม์ไลเปส ที่มีผลต่อค่าตอบสนอง ได้แก่ ปริมาณผลผลิต เส้นใยอาหารทั้งหมด และสมบัติทางเคมีกายภาพของเส้นใยอาหารจากหน่อไม้เศษเหลือส่วนฐาน และหน่อไม้เศษเหลือส่วนปลายยอด โดยมีรายละเอียด ดังนี้

3.1 ศึกษาชนิดและลำดับของปัจจัยที่เหมาะสมในการสกัดเส้นใยอาหารจากหน่อไม้เศษเหลือ

ศึกษาชนิดและลำดับของปัจจัยที่เหมาะสมในการสกัดเส้นใยอาหารจากหน่อไม้เศษเหลือส่วนฐานและปลายยอดทั้งหมด 8 สิ่งทดลอง โดยดัดแปลงจาก Lin, et al. (2019) มีรายละเอียด ดังนี้

1) การย่อยด้วยเอนไซม์อะไมเลส โปรตีเอส และไลเปส (APL)
2) การย่อยด้วยเอนไซม์อะไมเลส โปรตีเอส ไลเปส และกลูโคอะไมเลส (APL-G)
3) การย่อยด้วยเอนไซม์อะไมเลส โปรตีเอส ไลเปส และไซลาเนส (APL-X)
4) การย่อยด้วยเอนไซม์อะไมเลส โปรตีเอส ไลเปส และเซลลูเลส (APL-C)
5) การย่อยด้วยเอนไซม์อะไมเลส กลูโคอะไมเลส โปรตีเอส (AGP)
6) การย่อยด้วยเอนไซม์อะไมเลส กลูโคอะไมเลส โปรตีเอส และไลเปส (AGP-L)
7) การย่อยด้วยเอนไซม์อะไมเลส กลูโคอะไมเลส โปรตีเอส และไซลาเนส (AGP-X)
8) การย่อยด้วยเอนไซม์อะไมเลส กลูโคอะไมเลส โปรตีเอส และเซลลูเลส (AGP-C)

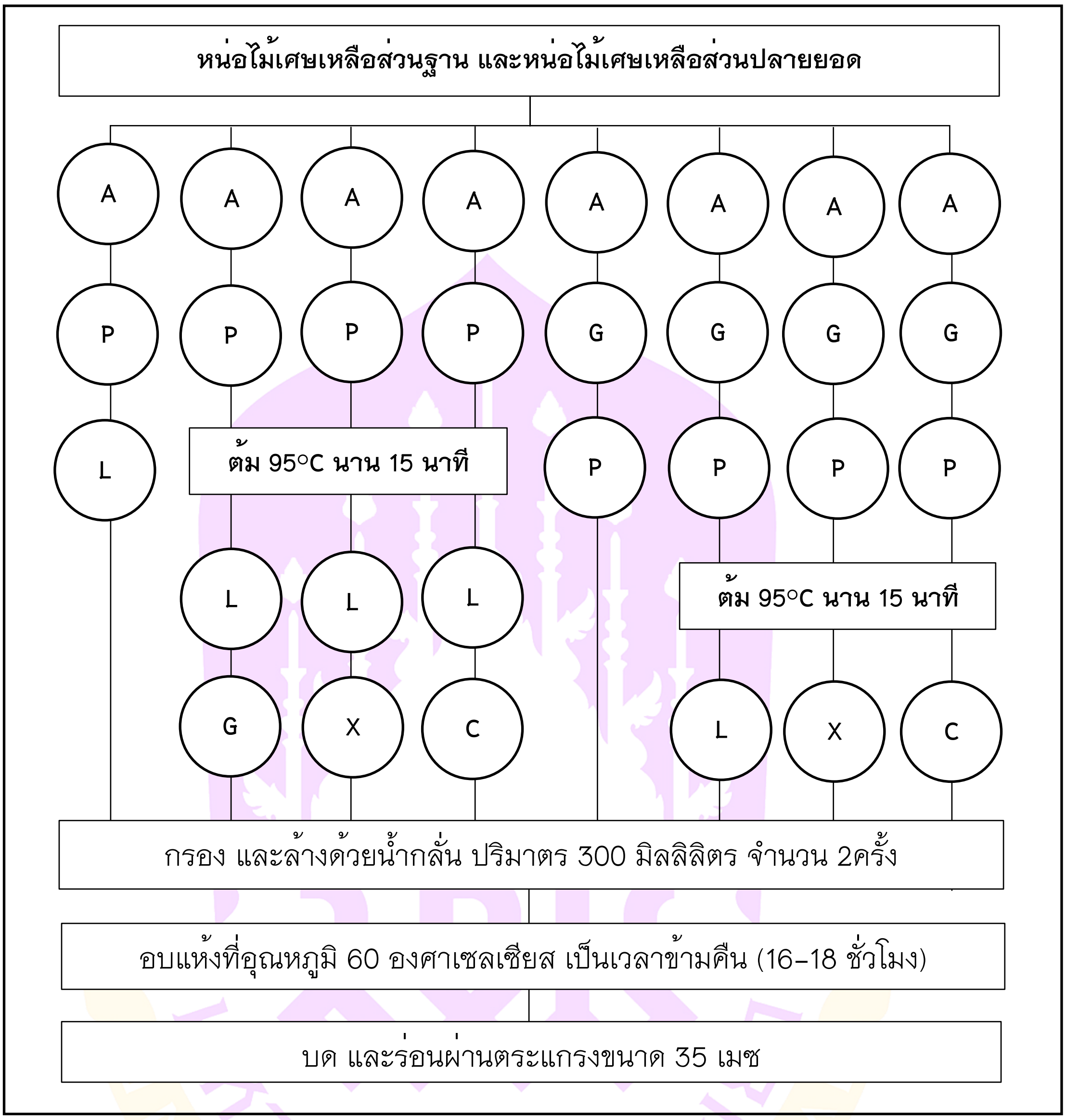
โดยมีขั้นตอนการเตรียมตัวอย่าง การวิเคราะห์ปริมาณผลผลิต โครงสร้างทางจุลภาค (scanning electron microscope; SEM) สมบัติทางเคมีกายภาพ และสมบัติเชิงหน้าที่ของเส้นใยอาหารเช่นเดียวกับการทดลองที่ 2 (ข้อ 1 และ 3) ทำการทดลอง 3 ซ้ำ มีขั้นตอนดังนี้

1. การเตรียมวัตถุดิบ

นำหน่อไม้เศษเหลือส่วนฐานและปลายยอดล้างด้วยน้ำให้สะอาด นำไปลวกในน้ำเดือด 90-100 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 15-30 นาที เพื่อยับยั้งปฏิกิริยาของเอนไซม์ จากนั้นนำมาหั่นให้มีความยาวขนาด 0.5-1.5 เซนติเมตร แล้วบีบน้ำออก ขั้นตอนต่อมาทำการสกัดเส้นใยอาหารจากหน่อไม้เศษเหลือส่วนฐานและปลายยอด ดังนี้

2. การผลิตเส้นใยอาหารจากหน่อไม้เศษเหลือ

กรรมวิธีการผลิตเส้นใยอาหารจากหน่อไม้เศษเหลือมีทั้งหมด 8 สิ่งทดลอง ได้แก่ 1) การย่อยด้วยเอนไซม์อะไมเลส โปรตีเอส และไลเปส 2) การย่อยด้วยเอนไซม์อะไมเลส โปรตีเอส ไลเปส และกลูโคอะไมเลส 3) การย่อยด้วยเอนไซม์อะไมเลส โปรตีเอส ไลเปส และไซลาเนส 4) การย่อยด้วยเอนไซม์อะไมเลส โปรตีเอส ไลเปส และเซลลูเลส 5) การย่อยด้วยเอนไซม์อะไมเลส กลูโคอะไมเลส และโปรตีเอส 6) การย่อยด้วยเอนไซม์อะไมเลส กลูโค-อะไมเลส โปรตีเอส และไลเปส 7) การย่อยด้วยเอนไซม์อะไมเลส กลูโคอะไมเลส โปรตีเอส และไซลาเนส 8) การย่อยด้วยเอนไซม์อะไมเลส กลูโคอะไมเลส โปรตีเอส และเซลลูเลส มีรายละเอียดวิธีการ ดังแสดงในภาพ 9 และตาราง 3 โดยเส้นใยอาหารที่ผลิตได้วิเคราะห์สมบัติทางกายภาพ องค์ประกอบทางเคมีโดยประมาณ ปริมาณผลผลิต โครงสร้างทางจุลภาค สมบัติทางเคมีกายภาพ และสมบัติเชิงหน้าที่ของเส้นใยอาหารเช่นเดียวกันกับการทดลองที่ 1 และ 2 (ข้อ 3)



ภาพ 6 แสดงการศึกษาชนิดและลำดับของเอนไซม์ที่เหมาะสมในการผลิตเส้นใยอาหารจากหน่อไม้เศษเหลือ

หมายเหตุ: A; อะไมเลส, P; โปรตีเอส, L; ไลเปส, G; กลูโคอะไมเลส, X; ไซลาเนส, C; เซลลูเลส

ตาราง 3 แสดงสภาวะการสกัดเส้นใยอาหารจากหน่อไม้เศษเหลือส่วนฐาน และปลายยอด ด้วยเอนไซม์ชนิดที่แตกต่างกัน

ชนิดของเอนไซม์	ความเข้มข้น (ยูนิตต่อกรัม)	pH	อุณหภูมิ (°C)	เวลา (นาที)
อะไมเลส	150	5.5	95	30
กลูโคอะไมเลส	50	5.5	60	30
โปรตีเอส	300	7.5	55	30
ไลเปส	3	7.5	55	30
ไซลาเนส	300	3.8	50	120
เซลลูเลส	300	4.5	60	60

3.2 ศึกษาสภาวะที่เหมาะสมในการสกัดเส้นใยอาหารจากหน่อไม้เศษเหลือ

จากผลการทดลองที่ 3 ข้อ 2 พบว่า เส้นใยอาหารจากหน่อไม้เศษเหลือส่วนฐานและปลายยอดที่ได้จากกรรมวิธีที่เหมาะสม ผลการทดลองทำการศึกษาสภาวะของปัจจัยในการสกัดเส้นใยอาหารจากหน่อไม้เศษเหลือด้วยวิธีพื้นผิวตอบสนอง (response surface methodology; RSM) วางแผนการทดลองแบบประสมกลาง (central composite design; CCD) วิเคราะห์อิทธิพลร่วมของตัวแปรอิสระ (ปัจจัย) ที่มีผลต่อสมบัติทางเคมีกายภาพ และสมบัติเชิงหน้าที่ของเส้นใยอาหารจากหน่อไม้เศษเหลือส่วนฐาน และปลายยอด (ค่าตอบสนอง) โดยปัจจัยและช่วงในการศึกษา คือ ความเข้มข้นของเอนไซม์ (x_1) ที่ระดับ 3, 6 และ 9 ยูนิตต่อกรัม และระยะเวลาในการสกัด (x_2) ที่ระดับ 15, 30 และ 45 นาที มีขั้นตอนการดำเนินงาน ดังนี้

1) การกำหนดระดับของปัจจัยที่ใช้ในการสกัดเส้นใยอาหารจากหน่อไม้เศษเหลือส่วนฐานและปลายยอด

การกำหนดระดับของปัจจัย โดยพิจารณาจากผลการทดลองที่ 3 ข้อ 2 ชนิดของปัจจัยที่ต้องการศึกษา คือ เอนไซม์ไลเปส ซึ่งระดับของปัจจัยที่ใช้ในการสกัดเส้นใยอาหารจากหน่อไม้เศษเหลือส่วนฐานและปลายยอด มี 3 ระดับ คือ ระดับต่ำ (–1) ระดับกลาง (0) และระดับสูง (1) ดังแสดงในตารางที่ 4

ตาราง 4 แสดงชนิดและระดับของแต่ละปัจจัยที่ใช้ในการสกัดเส้นใยอาหารจากหน่อไม้เศษเหลือส่วนฐานและปลายยอด

ตัวแปรอิสระ (independent variables)	ตัวแปรรหัส (coded variable) และตัวแปรจริง (actual variable)		
	-1	0	1
ความเข้มข้นของเอนไซม์ (x_1) (ยูนิตต่อกรัม)	3	6	9
ระยะเวลาในการสกัด (x_2) (นาที)	15	30	45

2) การออกแบบการทดลองแบบประสมกลาง (central composite design; CCD)

การสกัดเส้นใยอาหารจากหน่อไม้เศษเหลือส่วนฐานและปลายยอด โดยใช้โปรแกรมสำเร็จรูปทางสถิติกำหนดลำดับการทดลอง ออกแบบการทดลองแบบส่วนประสมกลาง (central composite design; CCD) มีทั้งหมด 2 ปัจจัย แต่ละปัจจัยมี 3 ระดับ และมีการทำซ้ำที่จุดกึ่งกลาง 2 ซ้ำ ดังนั้น จึงมีจำนวนหน่วยทดลองทั้งหมด 18 หน่วย ดังแสดงในตารางที่ 5

ตาราง 5 แสดงลำดับการทดลองแบบส่วนประสมกลาง (central composite design) ของการย่อยเส้นใยอาหารด้วยเอนไซม์ไลเปส ที่มี 2 ปัจจัย ปัจจัยละ 3 ระดับ และมีการทำซ้ำที่จุดกึ่งกลาง 2 ครั้ง

การทดลอง	เวลา (X_1)	ความเข้มข้น (X_2)
1	15	3
2	15	3
3	45	3
4	45	3
5	15	9
6	15	9
7	45	9
8	45	9
9	15	6
10	15	6
11	45	6
12	45	6

ตาราง 6 (ต่อ)

การทดลอง	เวลา (X_1)	ความเข้มข้น (X_2)
13	30	3
14	30	3
15	30	9
16	30	9
17	30	6
18	30	6

3) การสกัดเส้นใยอาหารจากหน่อไม้เศษเหลือส่วนฐานและปลายยอด

ทำการสกัดเส้นใยอาหารจากหน่อไม้เศษเหลือส่วนฐานและปลายยอด ตามลำดับการทดลองที่กำหนดไว้ในข้อ 3.2.2 โดยนำหน่อไม้เศษเหลือส่วนฐาน และปลายยอด ที่ได้จากการทดลองที่ 3 ข้อ 1 ชั่งให้ได้น้ำหนักประมาณ 100 กรัม ทำการย่อยด้วยเอนไซม์ อะไมเลส กลูโคอะไมเลส และโปรตีเอสเช่นเดียวกับการทดลองที่ 3 ข้อ 2.2.1 ตรวจสอบค่า ความเป็นกรดด่างเท่ากับ 7.5 เติมเอนไซม์ไลเปสที่ความเข้มข้นและระยะเวลาในการสกัดตาม แบบการทดลอง (ตาราง 5) บ่มในอ่างน้ำควบคุมอุณหภูมิ 55 องศาเซลเซียส พร้อมเขย่า 130 รอบต่อนาที กรองผ่านผ้าไนลอน แล้วนำกากของเส้นใยอาหารล้างด้วยน้ำกลั่นปริมาตร 300 มิลลิลิตร จำนวน 2 ครั้ง ทำให้แห้งด้วยตู้อบลมร้อนที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส เป็น เวลา 20 ชั่วโมง ปั่นให้ละเอียดและร่อนผ่านตะแกรงขนาด 35 เมช (ดัดแปลงจาก Lin, et al., 2019)

จากนั้น นำเส้นใยอาหารที่สกัดได้วิเคราะห์ปริมาณผลผลิต โครงสร้างทาง จุลภาค สมบัติทางเคมีกายภาพและสมบัติเชิงหน้าที่ของเส้นใยอาหารเช่นเดียวกับการทดลองที่ 2 ข้อ 3

การวิเคราะห์ข้อมูล

นำข้อมูลที่วิเคราะห์ได้จากการทดลองมาหาค่าเฉลี่ย และส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน จากนั้นวิเคราะห์ความแปรปรวนแบบทางเดียว (One-way ANOVA) และเปรียบเทียบค่าเฉลี่ย เป็นรายคู่ตามวิธีของ Duncan Multiple Range Test (DMRT) ที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 โดยใช้โปรแกรมสำเร็จรูปทางสถิติ SPSS Version 15.0

บทที่ 4
ผลการวิเคราะห์ข้อมูล

ศึกษาวิธีการที่เหมาะสมในการสกัดเส้นใยอาหารจากหน่อไม้เศษเหลือส่วนฐาน และปลายยอดต่อสมบัติทางเคมีกายภาพ และสมบัติเชิงหน้าที่ของเส้นใยอาหาร โดยเปรียบเทียบปริมาณผลผลิต โครงสร้างทางจุลภาค ความสามารถในการอุ้มน้ำ การพองตัว การจับน้ำมัน และการดูดซึมกลูโคส จากนั้น ศึกษาชนิดและลำดับของปัจจัยที่เหมาะสมด้วยวิธีแฟคทอเรียลในแผนการทดลองแบบสุ่มสมบูรณ์ (factorial in CRD) แล้วศึกษาสภาวะที่เหมาะสมด้วยวิธีพื้นผิวตอบสนอง (response surface methodology; RSM) เพื่อวิเคราะห์อิทธิพลร่วมของหลายตัวแปรอิสระที่มีผลต่อสมบัติทางเคมีกายภาพและสมบัติเชิงหน้าที่ของเส้นใยอาหารจากหน่อไม้เศษเหลือส่วนฐาน และปลายยอด มีผลการวิจัย ดังนี้

การศึกษาองค์ประกอบทางกายภาพและเคมีโดยประมาณของหน่อไม้เศษเหลือ

ศึกษาสมบัติทางกายภาพ และองค์ประกอบทางเคมีโดยประมาณของหน่อไม้เศษเหลือส่วนฐาน และปลายยอด เพื่อใช้เป็นข้อมูลประกอบในการศึกษาขั้นตอนต่อไป

1. สมบัติทางกายภาพของหน่อไม้เศษเหลือ

สมบัติทางกายภาพของหน่อไม้เศษเหลือส่วนฐาน และปลายยอดที่ผ่านการอบแห้งที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียสเป็นเวลาข้ามคืน พบว่า ค่าสี L* a* b* และค่าความสว่าง (whiteness) ของหน่อไม้เศษเหลือส่วนฐานและปลายยอด มีค่าอยู่ในช่วง 81.63–83.04, 1.10–2.17, 21.46–23.96 และ 70.62–71.67 ตามลำดับ (ตาราง 8) หน่อไม้เศษเหลือส่วนปลายยอดมีค่าสี L* และ b* สูงกว่าหน่อไม้เศษเหลือส่วนฐานอย่างมีนัยสำคัญ ($p < 0.05$) โดยมีค่าเป็นบวก แสดงถึงค่าสีขาวและเหลือง ตามลำดับ ขณะที่หน่อไม้เศษเหลือส่วนฐานมีค่าสี a* สูงกว่าหน่อไม้เศษเหลือส่วนปลายยอดอย่างมีนัยสำคัญ ($p < 0.05$) มีค่าเป็นบวก แสดงถึงค่าสีแดง ทั้งนี้หน่อไม้เศษเหลือส่วนฐาน และปลายยอด มีค่าความสว่างไม่แตกต่างกันทางสถิติ ($p < 0.05$)

ตาราง 7 แสดงสมบัติทางกายภาพของหน่อไม้เศษเหลือส่วนฐาน และปลายยอด

ชนิดของหน่อไม้	ค่าสี			
	L*	a*	b*	Whiteness
หน่อไม้เศษเหลือส่วนฐาน	81.63±0.36[b]	2.17±0.38[a]	21.46±0.43[b]	71.67±0.59[a]
หน่อไม้เศษเหลือส่วนปลายยอด	83.04±0.12[a]	1.10±0.04[b]	23.96±0.74[a]	70.62±0.58[a]

หมายเหตุ: ค่าเฉลี่ย±ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน (n=3), ตัวเลขที่มีกลุ่มอักษร (a, b) ในแนวตั้งเดียวกันกำกับต่างกันแสดงถึงความแตกต่างทางสถิติ ($p \leq 0.05$)

2. องค์ประกอบทางเคมีโดยประมาณของหน่อไม้เศษเหลือ

ศึกษาองค์ประกอบทางเคมีโดยประมาณของหน่อไม้เศษเหลือ ได้แก่ ปริมาณความชื้น เถ้า โปรตีน ไขมัน เส้นใยอาหารทั้งหมด เส้นใยอาหารที่ไม่ละลายน้ำ และเส้นใยอาหารที่ละลายน้ำ พบว่า หน่อไม้เศษเหลือส่วนฐาน และปลายยอดมีองค์ประกอบทางเคมีโดยประมาณแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$) ดังแสดงในตาราง 9 โดยหน่อไม้เศษเหลือส่วนฐานมีปริมาณความชื้น เถ้า และไขมันสูงกว่าหน่อไม้เศษเหลือส่วนปลายยอด ขณะที่หน่อไม้เศษเหลือส่วนปลายยอดมีปริมาณโปรตีน เส้นใยอาหารทั้งหมด และเส้นใยอาหารที่ไม่ละลายน้ำสูงกว่าหน่อไม้เศษเหลือส่วนฐาน

ตาราง 8 แสดงองค์ประกอบทางเคมีโดยประมาณของหน่อไม้เศษเหลือส่วนฐาน และปลายยอด

องค์ประกอบทางเคมี (ร้อยละโดยน้ำหนักแห้ง)	ชนิดของหน่อไม้	
	ส่วนฐาน	ส่วนปลายยอด
ความชื้น	88.26 ± 0.50[a]	82.58 ± 0.27[b]
เถ้า	3.45 ± 0.05[a]	1.90 ± 0.02[b]
โปรตีน	0.80 ± 0.07[b]	1.25 ± 0.12[a]
ไขมัน	2.16 ± 0.19[a]	1.59 ± 0.18[b]
เส้นใยอาหารทั้งหมด (TDF)	7.33 ± 0.10[b]	12.01 ± 0.05[a]
เส้นใยอาหารที่ไม่ละลายน้ำ (IDF)	7.17 ± 0.05[b]	11.74 ± 0.31[a]
เส้นใยอาหารที่ละลายน้ำ (SDF)	0.16 ± 0.11[a]	0.32 ± 0.31[a]

หมายเหตุ: ค่าเฉลี่ย ± ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน (n=3), ตัวเลขที่มีกลุ่มอักษร (a, b) ในแนวนอนเดียวกันกำกับต่างกันแสดงถึงความแตกต่างทางสถิติ ($p \leq 0.05$)

การศึกษาวิธีการที่เหมาะสมในการผลิตหน่อไม้ผง

ศึกษาวิธีการที่เหมาะสมในการผลิตหน่อไม้ผงจากหน่อไม้เศษเหลือส่วนฐาน และปลายยอด ได้แก่ การสกัดด้วยน้ำ (BSP-W) การแช่สารละลายกรดซิตริก (BSP-CA) การแช่สารละลายเอทานอล เบส และกรด (BSP-EAA) และการย่อยด้วยเอนไซม์อะไมเลส และโปร-ตีเอส (BSP-EN) โดยนำหน่อไม้ผงดำเนินการวิเคราะห์ค่าสี ปริมาณผลผลิต สมบัติทางเคมีกายภาพ และสมบัติเชิงหน้าที่ของเส้นใยอาหาร มีผลการทดลอง ดังนี้

1. สมบัติทางกายภาพของหน่อไม้ผง

นำหน่อไม้ผงจากหน่อไม้เศษเหลือส่วนฐาน และปลายยอด ซึ่งได้จากกรรมวิธีการผลิตที่แตกต่างกันมาดำเนินการวัดค่าสีด้วยเครื่องวัดสีในระบบ CIE รายงานผลเป็นค่า L* a* และ b* มีผลการทดลอง ดังนี้

1.1 สมบัติทางกายภาพของหน่อไม้ผงจากหน่อไม้เศษเหลือส่วนฐาน

สีของส่วนผสมที่ใช้ในอาหาร คือ ค่าคงที่แสดงคุณภาพที่สำคัญ ซึ่งมีผลต่อการประยุกต์ใช้เส้นใยอาหารในอุตสาหกรรมอาหารหรืออุตสาหกรรมอื่น ๆ (Meng, et al., 2019) สมบัติทางกายภาพของหน่อไม้ผงจากหน่อไม้เศษเหลือส่วนฐาน ซึ่งได้จากกรรมวิธีการผลิตที่แตกต่างกัน พบว่า ค่าสี L* a* b* และความสว่าง (whiteness) มีค่าอยู่ในช่วง 79.48-82.44, -0.13-1.20, 16.38-23.09 และ 69.77-74.53 ตามลำดับ (ตาราง 9) หน่อไม้ผงที่ได้

จากกรรมวิธีการผลิตทั้งสี่ มีค่าสี L* ไม่แตกต่างกันทางสถิติ (p < 0.05) หน่อไม้ผงที่ได้จากกรรมวิธี BSP-EAA มีค่าสี a* สูงกว่าหน่อไม้ผงที่ได้จากกรรมวิธีอื่น ๆ อย่างมีนัยสำคัญ (p< 0.05) โดยมีค่าเป็นบวก แสดงถึงค่าสีแดง นอกจากนี้ หน่อไม้ผงที่ได้จากกรรมวิธีดังกล่าวยังมีค่าสี b* ต่ำกว่าหน่อไม้ผงจากกรรมวิธีอื่น ๆ อย่างมีนัยสำคัญ (p < 0.05) โดยมีค่าเป็นบวก แสดงถึงค่าสีเหลืองค่อนสีน้ำเงินหรือมีค่าสีเหลืองน้อยกว่าหน่อไม้ผงที่ได้จากกรรมวิธีอื่น ๆ หน่อไม้ผงที่ผลิตได้จากกรรมวิธี BSP-EAA มีค่าความสว่างสูงกว่าหน่อไม้ผงที่ได้จากกรรมวิธีอื่น ๆ อย่างมีนัยสำคัญ (p < 0.05)

1.2 สมบัติทางกายภาพของหน่อไม้ผงจากหน่อไม้เศษเหลือส่วนปลายยอด

สมบัติทางกายภาพของหน่อไม้ผงจากหน่อไม้เศษเหลือส่วนปลายยอด ซึ่งได้จากกรรมวิธีการผลิตที่แตกต่างกัน พบว่า ค่าสี L*, a* b* และความสว่าง (whiteness) มีค่าอยู่ในช่วง 77.97-78.75, 0.15-1.19, 20.36-25.75 และ 66.61-70.01 (ตาราง 10) หน่อไม้ผงที่ได้จากกรรมวิธีการผลิตทั้งสี่ มีค่าสี L* และความสว่างไม่แตกต่างกันทางสถิติ (p < 0.05) หน่อไม้ผงที่ได้จากกรรมวิธี BSP-EAA มีค่าสี a* สูงกว่าหน่อไม้ผงที่ได้จากกรรมวิธีอื่น ๆ อย่างมีนัยสำคัญ (p < 0.05) โดยมีค่าเป็นบวก แสดงถึงค่าสีแดง นอกจากนี้ หน่อไม้ผงที่ได้จากกรรมวิธี BSP-W และ BSP-EN มีค่าสี b* ไม่แตกต่างกันทางสถิติ (p < 0.05) โดยมีค่าเป็นบวก แสดงถึงค่าสีเหลือง ทั้งนี้ ค่าสี b* ของหน่อไม้ผงที่ได้จากกรรมวิธีทั้งสองสูงกว่าหน่อไม้ผงที่ได้จากกรรมวิธีอื่น ๆ อย่างมีนัยสำคัญ (p < 0.05)

ตาราง 9 แสดงสมบัติทางกายภาพของหน่อไม้ผงจากหน่อไม้เศษเหลือส่วนฐาน ซึ่งได้จากกรรมวิธีการผลิตที่แตกต่างกัน

กรรมวิธี	หน่อไม้ผง	ค่าสี			
		L*	a*	b*	ความสว่าง
BSP-W		78.75±0.31^{a}	0.15±0.29^{c}	25.75±0.51^{a}	66.61±0.37^{a}
BSP-CA		78.39±0.59^{a}	0.53±0.10^{b}	23.62±2.93^{ab}	67.96±2.53^{a}
BSP-EAA		78.03±1.18^{a}	1.19±0.08^{a}	20.36±2.39^{b}	70.01±2.49^{a}
BSP-EN		77.97±0.82^{a}	0.36±0.31^{b}	24.47±0.30^{a}	67.07±0.77^{a}

หมายเหตุ: ค่าเฉลี่ย ± ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน (n=3), ตัวเลขที่มีกลุ่มอักษร (a, b) ในแนวตั้งเดียวกันกำกับต่างกันแสดงถึงความแตกต่างทางสถิติ ($p \leq 0.05$), BSP-W; การสกัดด้วยน้ำ, BSP-CA; การแช่กรดซิตริก, BSP-EAA; การแช่สารละลายเอทานอล เบส และกรด และ BSP-EN; การย่อยด้วยเอนไซม์อะไมเลสและโปรตีเอส

ตาราง 10 แสดงสมบัติทางกายภาพของหน่อไม้ผงจากหน่อไม้เศษเหลือส่วนปลายยอดซึ่งได้จากกรรมวิธีการผลิตที่แตกต่างกัน

กรรมวิธี	หน่อไม้ผง	ค่าสี			
		L*	a*	b*	ความสว่าง
BSP-W		79.48 ± 1.77^{a}	-0.13 ± 0.41^{b}	22.19 ± 1.16^{a}	69.77 ± 2.04^{b}
BSP-CA		81.53 ± 2.44^{a}	$0.49 \pm 0.72a^{b}$	23.09 ± 1.73^{a}	70.41 ± 2.87^{b}
BSP-EAA		80.54 ± 0.49^{a}	1.20 ± 0.01^{a}	16.38 ± 0.70^{b}	74.53 ± 0.82^{a}
BSP-EN		82.44 ± 1.15^{a}	0.60 ± 0.40^{ab}	22.38 ± 0.94^{a}	71.54 ± 1.39^{ab}

หมายเหตุ: ค่าเฉลี่ย ± ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน (n=3), ตัวเลขที่มีกลุ่มอักษร (a, b) ในแนวตั้งเดียวกันกำกับต่างกันแสดงถึงความแตกต่างทางสถิติ ($p \leq 0.05$), BSP-W; การสกัดด้วยน้ำ, BSP-CA; การแช่กรดซิตริก, BSP-EAA; การแช่สารละลายเอทานอล เบส และกรด และ BSP-EN; การย่อยด้วยเอนไซม์อะไมเลสและโปรตีเอส

2. ปริมาณผลผลิตของหน่อไม้ผง

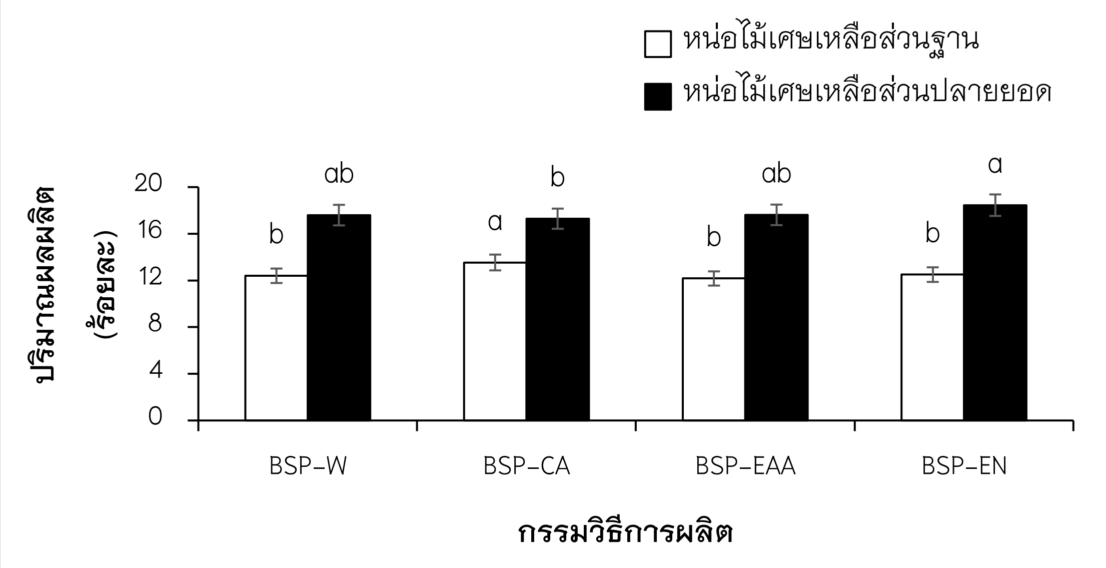
หน่อไม้ผงจากหน่อไม้เศษเหลือส่วนฐาน และปลายยอด ซึ่งได้จากกรรมวิธีการผลิตที่แตกต่างกันถูกดำเนินการวิเคราะห์ปริมาณผลผลิต มีผลการทดลอง ดังนี้

2.1 ปริมาณผลผลิตของหน่อไม้ผงจากหน่อไม้เศษเหลือส่วนฐาน

ปริมาณผลผลิตของหน่อไม้ผงจากหน่อไม้เศษเหลือส่วนฐาน ซึ่งได้จากกรรมวิธีการผลิตที่แตกต่างกัน พบว่า ปริมาณผลผลิตของหน่อไม้ผงจากหน่อไม้เศษเหลือส่วนฐาน มีค่าอยู่ในช่วงร้อยละ 12.17-13.54 โดยน้ำหนักเปียก (ภาพ 7) โดยหน่อไม้ผงที่ได้จากกรรมวิธี BSP-CA มีปริมาณผลผลิตสูงกว่าหน่อไม้ผงที่ได้จากกรรมวิธีอื่น ๆ อย่างมีนัยสำคัญ ($p < 0.05$) คิดเป็นร้อยละ 13.54

2.2 ปริมาณผลผลิตของหน่อไม้ผงจากหน่อไม้เศษเหลือส่วนปลายยอด

ปริมาณผลผลิตของหน่อไม้ผงจากหน่อไม้เศษเหลือส่วนปลายยอด ซึ่งได้จากกรรมวิธีการผลิตที่แตกต่างกัน พบว่า หน่อไม้ผงจากหน่อไม้เศษเหลือส่วนปลายยอด มีปริมาณผลผลิตอยู่ในช่วงร้อยละ 17.29-18.45 โดยน้ำหนักเปียก (ภาพ 7) โดยหน่อไม้ผงที่ได้จากกรรมวิธี BSP-EN มีปริมาณผลผลิตสูงกว่าหน่อไม้ผงที่ได้จากกรรมวิธีอื่น ๆ อย่างมีนัยสำคัญ ($p < 0.05$) คิดเป็นร้อยละ 18.45



ภาพ 7 แสดงปริมาณผลผลิตของหน่อไม้ผงจากหน่อไม้เศษเหลือส่วนฐานและปลายยอด

3. ปริมาณเส้นใยอาหารของหน่อไม้ผง

ปริมาณเส้นใยอาหารทั้งหมด เส้นใยอาหารที่ไม่ละลายน้ำ และเส้นใยอาหารที่ละลายน้ำของหน่อไม้ผงจากหน่อไม้เศษเหลือส่วนฐาน และปลายยอด มีผลการทดลอง ดังนี้

3.1 ปริมาณเส้นใยอาหารของหน่อไม้ผงจากหน่อไม้เศษเหลือส่วนฐาน

ปริมาณเส้นใยอาหารของหน่อไม้ผงจากหน่อไม้เศษเหลือส่วนฐาน ซึ่งได้จากกรรมวิธีการผลิตที่แตกต่างกัน พบว่า ปริมาณเส้นใยอาหารทั้งหมด เส้นใยอาหารที่ไม่ละลาย และเส้นใยอาหารที่ละลายน้ำ มีค่าอยู่ในช่วงร้อยละ 68.55–79.05, 44.33–68.86 และ 1.09–34.72 ตามลำดับ (ตาราง 11) หน่อไม้ผงจากหน่อไม้เศษเหลือส่วนฐานที่ได้จากกรรมวิธีการผลิตที่แตกต่างกัน มีปริมาณเส้นใยอาหารทั้งหมดไม่แตกต่างกันทางสถิติ ($p < 0.05$) โดยหน่อไม้ผงที่ได้จากกรรมวิธี BSP–EN มีปริมาณเส้นใยอาหารที่ไม่ละลายน้ำต่ำกว่าหน่อไม้ผงที่ได้จากกรรมวิธีอื่น ๆ อย่างมีนัยสำคัญ ($p > 0.05$) คิดเป็นร้อยละ 44.33 นอกจากนี้ หน่อไม้ผงที่ได้จากกรรมวิธี BSP–EN ยังมีปริมาณเส้นใยอาหารที่ละลายน้ำสูงกว่าหน่อไม้ผงที่ได้จากกรรมวิธีอื่น ๆ อย่างมีนัยสำคัญ ($p < 0.05$) คิดเป็นร้อยละ 34.72

3.2 ปริมาณเส้นใยอาหารของหน่อไม้ผงจากหน่อไม้เศษเหลือส่วนปลายยอด

ปริมาณเส้นใยอาหารทั้งหมด เส้นใยอาหารที่ไม่ละลายน้ำ และเส้นใยอาหารที่ละลายน้ำของหน่อไม้ผงจากหน่อไม้เศษเหลือส่วนปลายยอด ซึ่งได้จากกรรมวิธีการผลิตที่แตกต่างกัน พบว่า ปริมาณเส้นใยอาหารทั้งหมด เส้นใยอาหารที่ไม่ละลายน้ำ และเส้นใยอาหารที่ละลายน้ำ มีค่าอยู่ในช่วงร้อยละ 67.07–73.02, 47.81–69.25 และ 1.96–19.28 ตามลำดับ (ตาราง 11) โดย BSP–EAA มีปริมาณเส้นใยอาหารทั้งหมดสูงกว่าหน่อไม้ผงที่ได้จากกรรมวิธีอื่น ๆ อย่างมีนัยสำคัญ ($p < 0.05$) คิดเป็นร้อยละ 73.02 หน่อไม้ผงที่ได้จากกรรมวิธี BSP–CA มีปริมาณเส้นใยอาหารที่ไม่ละลายน้ำสูงกว่าหน่อไม้ผงที่ได้จากกรรมวิธีอื่น ๆ อย่างมีนัยสำคัญ ($p < 0.05$) คิดเป็นร้อยละ 69.25 หน่อไม้ผงที่ได้จากกรรมวิธี BSP–EN และ BSP–EAA มีปริมาณเส้นใยอาหารที่ละลายน้ำไม่แตกต่างกันทางสถิติ ($p < 0.05$) คิดเป็นร้อยละ 19.28 และ 13.90 ตามลำดับ โดยหน่อไม้ผงที่ได้จากกรรมวิธีการผลิตทั้งสองมีปริมาณเส้นใยอาหารที่ละลายน้ำสูงกว่าหน่อไม้ผงจากกรรมวิธี BSP–W และ CA อย่างมีนัยสำคัญ ($p < 0.05$)

ตาราง 11 แสดงปริมาณเส้นใยอาหารทั้งหมด เส้นใยอาหารที่ไม่ละลายน้ำ และเส้นใยอาหารที่ละลายน้ำจากหน่อไม้เศษเหลือส่วนฐาน และปลายยอด ซึ่งได้จากกรรมวิธีการผลิตที่แตกต่างกัน

กรรมวิธีการผลิต	ปริมาณของเส้นใยอาหาร (ร้อยละโดยน้ำหนักแห้ง)		
	เส้นใยอาหารทั้งหมด	เส้นใยอาหารที่ไม่ละลายน้ำ	เส้นใยอาหารที่ละลายน้ำ
หน่อไม้เศษเหลือส่วนฐาน			
BSP-W	72.97±1.78[a]	68.86±0.81[a]	4.11±0.96[c]
BSP-CA	68.55±1.41[a]	67.46±0.16[a]	1.09±1.25[d]
BSP-EAA	75.37±0.35[a]	59.13±1.02 [a]	16.24±0.67[b]
BSP-EN	79.05±8.45[a]	44.33±7.49[b]	34.72±0.95[a]
หน่อไม้เศษเหลือส่วนปลายยอด			
BSP-W	69.82±0.34[b]	67.57±3.11[ab]	2.25±2.77[b]
BSP-CA	71.21±1.09[ab]	69.25±0.80[a]	1.96±1.89[b]
BSP-EAA	73.02±1.15[a]	59.12±5.83[b]	13.90±6.98[a]
BSP-EN	67.09±0.49[c]	47.81±0.31[c]	19.28±0.18[a]

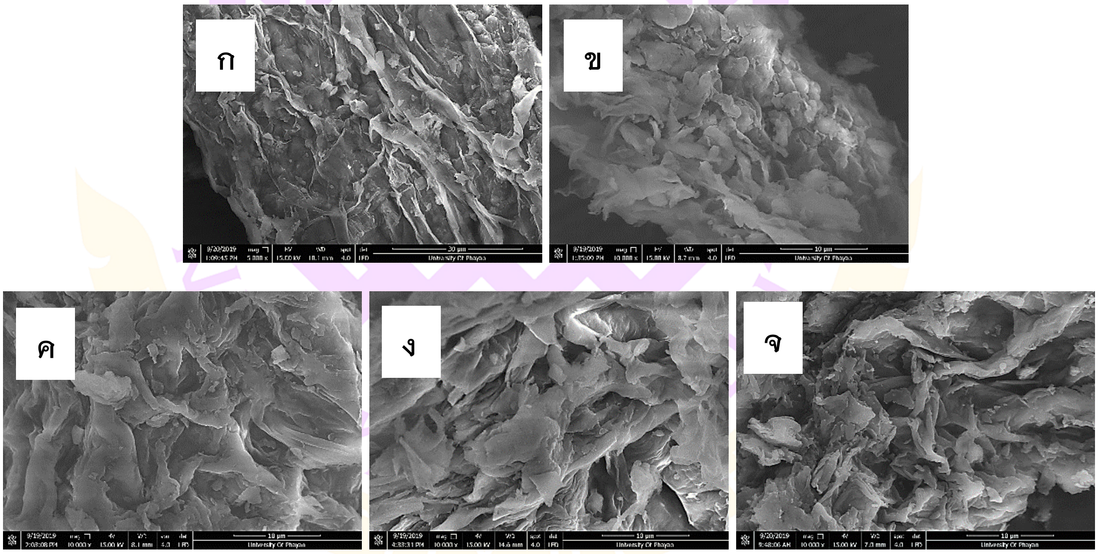
หมายเหตุ: ค่าเฉลี่ย ± ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน (n=3), ตัวเลขที่มีกลุ่มอักษร (a, b, c) ในแนวตั้งเดียวกันกำกับต่างกันแสดงถึงความแตกต่างทางสถิติ ($p \leq 0.05$), BSP-W; การสกัดด้วยน้ำ, BSP-CA; การแช่กรดซิตริก, BSP-EAA; การแช่สารละลายเอทานอล เบส และกรด และ BSP-EN; การย่อยด้วยเอนไซม์อะไมเลส และโปรตีเอส

4. โครงสร้างทางจุลภาคของหน่อไม้ผง

หน่อไม้ผงจากหน่อไม้เศษเหลือส่วนฐาน และปลายยอด ซึ่งได้จากกรรมวิธีการผลิตที่แตกต่างกันถูกดำเนินการวิเคราะห์โครงสร้างทางจุลภาค โดยเปรียบเทียบกับหน่อไม้เศษเหลือส่วนฐาน และปลายยอดที่ไม่ผ่านกรรมวิธีการผลิต มีผลการทดลอง ดังนี้

4.1 โครงสร้างทางจุลภาคของหน่อไม้ผงจากหน่อไม้เศษเหลือส่วนฐาน

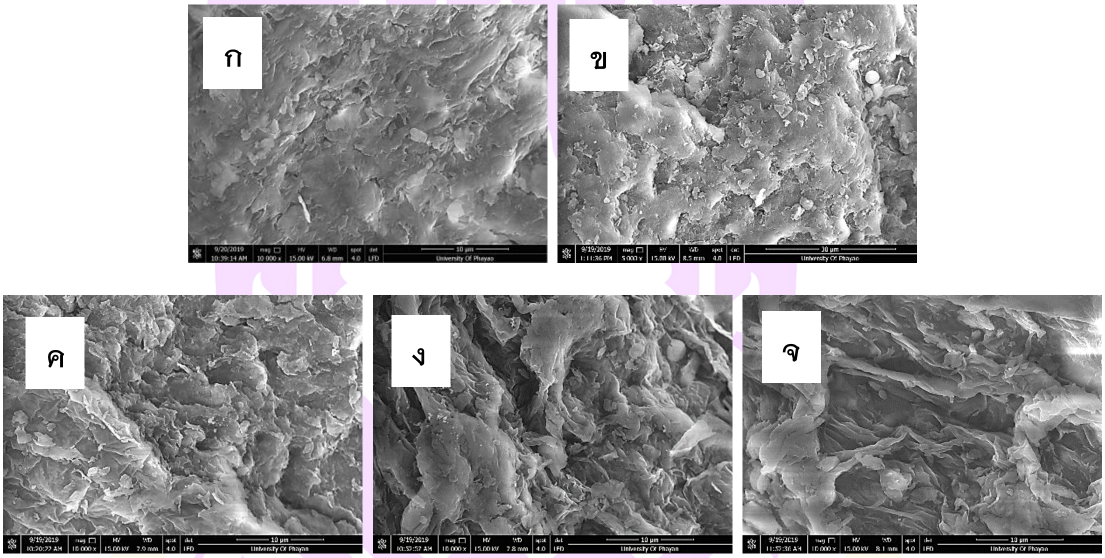
โครงสร้างทางจุลภาคของหน่อไม้ผงจากหน่อไม้เศษเหลือส่วนฐาน ซึ่งได้จากกรรมวิธีการผลิตที่แตกต่างกัน ภายใต้กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนที่กำลังขยาย 10,000 เท่า พบว่า โครงสร้างทางจุลภาคของหน่อไม้เศษเหลือส่วนฐานระหว่างก่อนและหลังการสกัดแตกต่างกันอย่างชัดเจน (ภาพ 8) โดยหน่อไม้เศษเหลือส่วนฐานมีโครงสร้างที่อัดกันแน่น และมีพื้นที่ผิวค่อนข้างเรียบ ในทางตรงกันข้าม โครงสร้างพื้นผิวของหน่อไม้ผงที่ได้ภายหลังจากการสกัดมีการคลายตัวมากขึ้น แสดงให้เห็นถึงองค์ประกอบบางส่วนที่หายไป ทำให้มีพื้นที่ผิวขรุขระและไม่สม่ำเสมอ สังเกตได้อย่างชัดเจนจาก BSP-EN โครงสร้างพื้นผิวเกิดการแตกหักของอนุภาค มีพื้นที่ผิวขรุขระ และเกิดร่องลึก จึงมองเห็นการยึดเกาะของเส้นใยมากขึ้น



ภาพ 8 แสดงโครงสร้างทางจุลภาคของหน่อไม้ผงจากหน่อไม้เศษเหลือส่วนฐาน (ก) BSP-W (ข) BSP-CAA (ค) BSP-EAA (ง) และ BSP-EN (จ)

4.2 โครงสร้างทางจุลภาคของหน่อไม้จากหน่อไม้เศษเหลือส่วนปลายยอด

โครงสร้างทางจุลภาคของหน่อไม้ผงจากหน่อไม้เศษเหลือส่วนปลายยอด ซึ่งได้จากกรรมวิธีการผลิตที่แตกต่างกัน ภายใต้กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนที่กำลังขยาย 10,000 เท่า พบว่า หน่อไม้ผงที่ได้จากกรรมวิธีการผลิตทั้งสี่ มีโครงสร้างพื้นผิวแตกต่างกันอย่างชัดเจน (ภาพ 9) โดยพื้นที่ผิวของหน่อไม้เศษเหลือส่วนปลายยอดมีลักษณะเป็นเกล็ดเกาะรวมตัวกันแน่นเป็นแผ่นปกคลุมอยู่บนโครงสร้าง ภายหลังจากการสกัด โครงสร้างพื้นที่ผิวถูกทำลายแสดงให้เห็นเป็นหลุมและมีรอยแตกมากขึ้น และพบสารมีรูปทรงกลมบนพื้นผิวของตัวอย่างที่ได้จากกรรมวิธี BSP-W, BSP-CA และ BSP-EAA



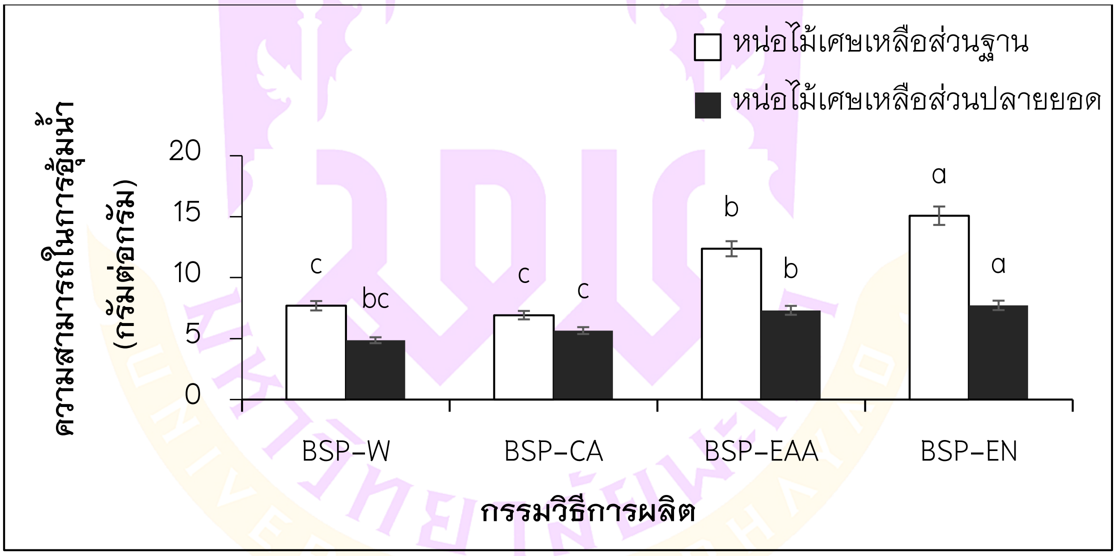
ภาพ 9 แสดงโครงสร้างทางจุลภาคของหน่อไม้ผงจากหน่อไม้เศษเหลือส่วนปลายยอด (ก) BSP-W (ข) BSP-CAA (ค) BSP-EAA (ง) และ BSP-EN (จ)

5. สมบัติทางเคมีกายภาพของหน่อไม้ผง

หน่อไม้ผงจากหน่อไม้เศษเหลือส่วนฐาน และปลายยอด ซึ่งได้จากกรรมวิธีการผลิตที่แตกต่างกันถูกดำเนินการวิเคราะห์สมบัติทางเคมีกายภาพ ได้แก่ ความสามารถในการอุ้มน้ำ การพองตัว และการอุ้มน้ำมัน มีผลการทดลอง ดังนี้

5.1 ความสามารถในการอุ้มน้ำของหน่อไม้ผงที่จากหน่อไม้เศษเหลือส่วนฐาน และปลายยอด

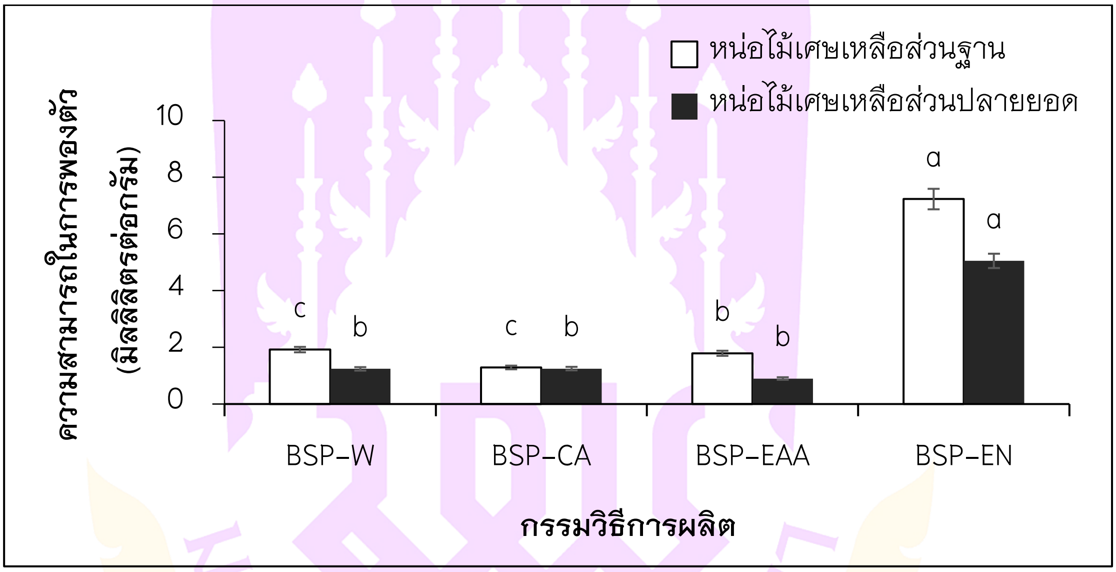
ความสามารถในการอุ้มน้ำของหน่อไม้ผงจากหน่อไม้เศษเหลือส่วนฐาน และปลายยอด ซึ่งได้จากกรรมวิธีการผลิตที่แตกต่างกัน พบว่า หน่อไม้ผงจากหน่อไม้เศษเหลือส่วนฐาน และปลายยอดมีความสามารถในการอุ้มน้ำอยู่ในช่วง 5.18–15.08 และ 4.87–7.73 กรัมต่อกรัม ตามลำดับ (ภาพ 10) โดยหน่อไม้ผงจากหน่อไม้เศษเหลือส่วนฐาน และปลายยอดที่ได้จากกรรมวิธี BSP-EN มีความสามารถในการอุ้มน้ำสูงกว่าหน่อไม้ผงที่ได้จากกรรมวิธีอื่น ๆ อย่างมีนัยสำคัญ ($p < 0.05$) โดยมีค่าเท่ากับ 15.08 และ 7.73 กรัมต่อกรัม ตามลำดับ



ภาพ 10 แสดงความสามารถในการอุ้มน้ำของหน่อไม้ผงจากหน่อไม้เศษเหลือส่วนฐาน และปลายยอด

5.2 ความสามารถในการพองตัวของหน่อไม้ผงจากหน่อไม้เศษเหลือส่วนฐานและปลายยอด

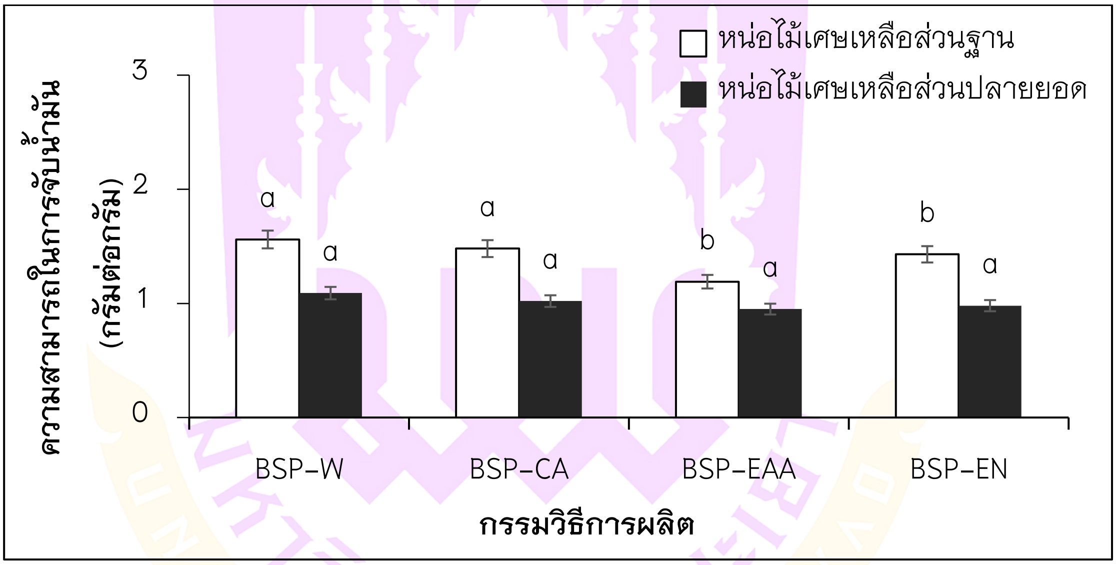
ความสามารถในการพองตัวของหน่อไม้ผงจากหน่อไม้เศษเหลือส่วนฐานและปลายยอด ซึ่งได้จากกรรมวิธีการผลิตที่แตกต่างกัน พบว่า หน่อไม้ผงจากหน่อไม้เศษเหลือส่วนฐานและปลายยอด มีความสามารถในการพองตัวอยู่ในช่วง 1.29-7.23 และ 0.90-5.05 มิลลิลิตรต่อกรัม ตามลำดับ (ภาพ 13) หน่อไม้ผงจากหน่อไม้เศษเหลือส่วนฐาน และปลายยอดที่ได้จากกรรมวิธี BSP-EN มีความสามารถในการพองตัวสูงกว่าหน่อไม้ผงที่ได้จากกรรมวิธีอื่น ๆ อย่างมีนัยสำคัญ ($p < 0.05$) โดยมีค่าเท่ากับ 7.23 และ 5.05 มิลลิลิตรต่อกรัม ตามลำดับ



ภาพ 11 แสดงความสามารถในการพองตัวของหน่อไม้ผงจากหน่อไม้เศษเหลือส่วนฐาน และปลายยอด

5.3 ความสามารถในการอุ้มน้ำมันของหน่อไม้ผงที่จากหน่อไม้เศษเหลือส่วนฐาน และปลายยอด

ความสามารถในการอุ้มน้ำมันของหน่อไม้ผงจากหน่อไม้เศษเหลือส่วนฐาน และปลายยอด ซึ่งได้จากกรรมวิธีการผลิตที่แตกต่างกัน พบว่า หน่อไม้ผงจากหน่อไม้เศษเหลือส่วนฐาน และปลายยอด มีความสามารถในการอุ้มน้ำมันอยู่ในช่วง 1.19–1.56 และ 0.95–1.09 กรัมต่อกรัม ตามลำดับ (ภาพ 12) โดยหน่อไม้ผงจากหน่อไม้เศษเหลือส่วนฐานที่ได้จากกรรมวิธี BSP–W และ BSP–CA มีความสามารถในการอุ้มน้ำมันสูงกว่าหน่อไม้ผงที่ได้จากกรรมวิธี BSP–EN และ BSP–EAA อย่างมีนัยสำคัญ ($p < 0.05$) โดยมีค่าเท่ากับ 1.56 และ 1.48 กรัมต่อกรัม ตามลำดับ ขณะที่หน่อไม้ผงจากหน่อไม้เศษเหลือส่วนปลายยอดที่ได้จากกรรมวิธีการผลิตทั้งสี่มีความสามารถในการอุ้มน้ำมันไม่แตกต่างกันทางสถิติ ($p > 0.05$)



ภาพ 12 แสดงความสามารถในการจับน้ำมันของหน่อไม้ผงจากหน่อไม้เศษเหลือส่วนฐาน และปลายยอด

6. องค์ประกอบทางเคมีโดยประมาณของหน่อไม้ผง

หน่อไม้ผงจากหน่อไม้เศษเหลือส่วนฐาน และปลายยอด ซึ่งได้จากกรรมวิธีการผลิตที่เหมาะสม พบว่า ปริมาณความชื้น เถ้า โปรตีน และไขมันของหน่อไม้ผงจากหน่อไม้เศษเหลือส่วนฐาน และปลายยอด มีค่าอยู่ในช่วงร้อยละ 0.14-0.28, 4.73-10.49, 1.74-2.47 และ 2.34-3.81 โดยน้ำหนักแห้ง ตามลำดับ (ตาราง 12) หน่อไม้ผงจากหน่อไม้เศษเหลือส่วนฐาน มีปริมาณเถ้า และโปรตีนสูงกว่าหน่อไม้ผงจากหน่อไม้เศษเหลือส่วนปลายยอดอย่างมีนัยสำคัญ ($p < 0.05$) ในขณะที่หน่อไม้ผงจากหน่อไม้เศษเหลือส่วนปลายยอด มีปริมาณไขมันสูงกว่าหน่อไม้ผงจากหน่อไม้เศษเหลือส่วนฐานอย่างมีนัยสำคัญ ($p < 0.05$) ทั้งนี้ หน่อไม้ผงจากหน่อไม้เศษเหลือทั้งสองมีปริมาณความชื้นไม่แตกต่างกันทางสถิติ ($p > 0.05$)

ตาราง 12 แสดงองค์ประกอบทางเคมีโดยประมาณของหน่อไม้ผงจากหน่อไม้เศษเหลือส่วนฐาน และปลายยอด ซึ่งได้จากกรรมวิธีการผลิตที่เหมาะสม

องค์ประกอบทางเคมีโดยประมาณ	กรรมวิธีการผลิต (BSP-EN)	
	หน่อไม้เศษเหลือส่วนฐาน	หน่อไม้เศษเหลือส่วนปลายยอด
ความชื้น (%)	0.14 ± 0.13^{a}	0.28 ± 0.14^{a}
เถ้า (%)	10.49 ± 0.11^{a}	4.73 ± 0.16^{b}
โปรตีน (%)	2.47 ± 0.19^{a}	1.74 ± 0.04^{b}
ไขมัน (%)	2.34 ± 0.18^{b}	3.81 ± 0.19^{a}

หมายเหตุ: ค่าเฉลี่ย ± ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน (n=3), ตัวเลขที่มีกลุ่มอักษร (a, b) ในแนวนอนเดียวกันกำกับต่างกันแสดงถึงความแตกต่างทางสถิติ ($p \leq 0.05$), BSP-EN; การย่อยด้วยเอนไซม์อะไมเลส และโปรตีเอส

7. สมบัติเชิงหน้าที่ของหน่อไม้ผง

หน่อไม้ผงจากหน่อไม้เศษเหลือส่วนฐาน และปลายยอด ซึ่งได้จากกรรมวิธีการผลิตที่เหมาะสม คือ BSP-EN ถูกดำเนินการวิเคราะห์สมบัติเชิงหน้าที่ ได้แก่ ความสามารถในการดูดซึมกลูโคส พบว่า หน่อไม้ผงจากหน่อไม้เศษเหลือส่วนฐาน และปลายยอด มีความสามารถในการดูดซึมกลูโคสแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$) (ตาราง 13) โดยหน่อไม้ผงจากหน่อไม้เศษเหลือส่วนปลายยอด มีความสามารถในการดูดซึมกลูโคสสูงกว่าหน่อไม้ผงจากหน่อไม้เศษเหลือส่วนฐาน ($p < 0.05$) โดยมีค่าเท่ากับ 24 ไมโครกรัมต่อมิลลิกรัม

ตาราง 13 แสดงสมบัติเชิงหน้าที่ของหน่อไม้ผงจากหน่อไม้เศษเหลือส่วนฐาน และปลายยอด ซึ่งได้จากกรรมวิธีการผลิตที่เหมาะสม

ชนิดของเส้นใยอาหาร	ความสามารถในการดูดซึมกลูโคส (ไมโครกรัมต่อมิลลิกรัม)	
	หน่อไม้เศษเหลือส่วนฐาน	หน่อไม้เศษเหลือส่วนปลายยอด
BSP-EN	0.42±0.11[b]	1.69±0.77[a]

หมายเหตุ: ค่าเฉลี่ย ± ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน (n=3), ตัวเลขที่มีกลุ่มอักษร (a, b) ในแนวนอนเดียวกันกำกับต่างกันแสดงถึงความแตกต่างทางสถิติ ($p \leq 0.05$), BSP-EN; การย่อยด้วยเอนไซม์อะไมเลส และโปรตีเอส

จากผลการศึกษาวิธีการที่เหมาะสมในการผลิตหน่อไม้ผงจากหน่อไม้เศษเหลือ ได้แก่ 1) หน่อไม้เศษเหลือส่วนฐาน และ 2) หน่อไม้เศษเหลือส่วนปลายยอด ทั้งหมด 4 กรรมวิธี ได้แก่ 1) การสกัดด้วยน้ำ 2) การแช่สารละลายกรดซิตริก 3) การแช่สารละลายเอทานอล เบส และกรด และ 4) การใช้เอนไซม์อะไมเลส และโปรตีเอส พบว่า กรรมวิธีการย่อยด้วยเอนไซม์อะไมเลส และโปรตีเอส (BSP-EN) ได้หน่อไม้ผงจากหน่อไม้เศษเหลือส่วนฐาน และหน่อไม้เศษเหลือส่วนปลายยอดที่มีปริมาณเส้นใยอาหารที่ละลายน้ำ และสมบัติทางเคมีกายภาพ ได้แก่ ความสามารถในการอุ้มน้ำ และการพองตัวสูงขึ้น เมื่อเทียบกับหน่อไม้ผงจากกรรมวิธีอื่น ๆ ดังนั้น กรรมวิธี BSP-EN จึงมีความเหมาะสมในการนำมาศึกษาชนิดและลำดับของเอนไซม์ในการผลิตเส้นใยอาหารจากหน่อไม้เศษเหลือทั้งสองในการทดลองที่ 3 โดยมีผลการทดลองดังต่อไปนี้

การศึกษาสภาวะที่เหมาะสมในการผลิตเส้นใยอาหารจากหน่อไม้เศษเหลือ

ศึกษาชนิดและลำดับของปัจจัยที่เหมาะสมในการผลิตเส้นใยอาหารจากหน่อไม้เศษเหลือส่วนฐาน และปลายยอดต่อสมบัติทางเคมีกายภาพ และสมบัติเชิงหน้าที่ของเส้นใยอาหาร ร่วมกับการวิเคราะห์สมบัติทางกายภาพ ได้แก่ ค่าสี องค์ประกอบทางเคมีโดยประมาณ ได้แก่ ปริมาณความชื้น เถ้า โปรตีน และไขมัน ปริมาณผลผลิต และโครงสร้างทางจุลภาคของเส้นใยอาหารจากหน่อไม้เศษเหลือส่วนฐาน และปลายยอด แล้วนำมาศึกษาสภาวะที่เหมาะสมด้วยวิธีพื้นผิวตอบสนอง (response surface methodology; RSM) วิเคราะห์อิทธิพลร่วมของตัวแปรอิสระที่มีผลต่อค่าตอบสนอง ได้แก่ สมบัติทางเคมีกายภาพ และสมบัติเชิงหน้าที่ของเส้นใยอาหาร

1. สมบัติทางกายภาพของเส้นใยอาหารจากหน่อไม้เศษเหลือ

เส้นใยอาหารจากหน่อไม้เศษเหลือส่วนฐาน และปลายยอด ซึ่งได้จากกรรมวิธีการผลิตที่แตกต่างกันถูกดำเนินการวัดค่าสีด้วยเครื่องวัดสีในระบบ CIE รายงานผลเป็นค่า L* a* และ b* มีผลการทดลอง ดังนี้

1.1 สมบัติทางกายภาพของเส้นใยอาหารจากหน่อไม้เศษเหลือส่วนฐาน

สมบัติทางกายภาพของเส้นใยอาหารจากหน่อไม้เศษเหลือส่วนฐาน ซึ่งได้จากกรรมวิธีการผลิตที่แตกต่างกัน พบว่า ค่าสี L* a* b* และความสว่าง มีค่าอยู่ในช่วง 79.55-85.28, -0.11-3.05, 19.92-26.41 และ 66.50-75.23 ตามลำดับ (ตาราง 14) เส้นใยอาหารที่ได้จากกรรมวิธี APL-X และ APL-G มีค่าสี L* ไม่แตกต่างกันทางสถิติ ($p < 0.05$) โดยมีค่าเป็นบวก แสดงถึงค่าสีขาว เส้นใยอาหารที่ได้จากกรรมวิธีการผลิตทั้งสองมีค่าสี L* สูงกว่าเส้นใยอาหารที่ได้จากกรรมวิธีอื่น ๆ อย่างมีนัยสำคัญ ($p < 0.05$) เส้นใยอาหารที่ผลิตได้จากกรรมวิธี AGP-L มีค่าสี a* สูงกว่าเส้นใยอาหารที่ได้จากกรรมวิธีอื่น ๆ อย่างมีนัยสำคัญ ($p < 0.05$) โดยมีค่าเป็นบวก แสดงถึงค่าสีแดง เช่นเดียวกันกับค่าสี b* เส้นใยอาหารที่ได้จากกรรมวิธีการดังกล่าวมีค่าสี b* สูงกว่าเส้นใยอาหารที่ได้จากกรรมวิธีอื่น ๆ อย่างมีนัยสำคัญ ($p < 0.05$) โดยมีค่าเป็นบวก แสดงถึงค่าสีเหลือง เส้นใยอาหารที่ได้จากกรรมวิธี APL-X และ APL-G มีค่าความสว่างไม่แตกต่างกันทางสถิติ ($p < 0.05$) อย่างไรก็ตาม เส้นใยอาหารที่ได้จากกรรมวิธีการผลิตทั้งสอง มีค่าความสว่างสูงกว่าเส้นใยอาหารที่ได้จากกรรมวิธีอื่น ๆ อย่างมีนัยสำคัญ ($p < 0.05$)

1.2 สมบัติทางกายภาพของเส้นใยอาหารจากหน่อไม้เศษเหลือส่วนปลายยอด

สมบัติทางกายภาพโดยประมาณของเส้นใยอาหารจากหน่อไม้เศษเหลือส่วนปลายยอด ซึ่งได้จากกรรมวิธีการผลิตที่แตกต่างกัน พบว่า ค่าสี L* a* b* และความสว่าง มีค่าอยู่ในช่วง 75.39-80.31, 1.36-4.26, 24.22-25.98 และ 64.55-68.09 ตามลำดับ (ตาราง 14) โดยเส้นใยอาหารที่ได้จากกรรมวิธี APL-X มีค่าสี L* สูงกว่าเส้นใยอาหารที่ได้จากกรรมวิธีอื่น ๆ อย่างมีนัยสำคัญ ($p < 0.05$) โดยมีค่าเป็นบวก แสดงถึงค่าสีขาว เส้นใยอาหารที่ได้จากกรรมวิธี AGP-L และ AGP มีค่าสี a* ไม่แตกต่างกันทางสถิติ ($p < 0.05$) โดยมีค่าเป็นบวก แสดงถึงค่าสีแดง เส้นใยอาหารที่ได้จากกรรมวิธีทั้งสองมีค่าสี a* สูงกว่าเส้นใยอาหารที่ได้จากกรรมวิธีอื่น ๆ อย่างมีนัยสำคัญ ($p < 0.05$) เส้นใยอาหารที่ได้จากกรรมวิธี APL มีค่าสี b* สูงกว่าเส้นใยอาหารที่ได้จากกรรมวิธีอื่น ๆ อย่างมีนัยสำคัญ ($p < 0.05$) โดยมีค่าเป็นบวก แสดงถึงค่าสีเหลือง การผลิตเส้นใยอาหารด้วยกรรมวิธี AGP-X มีค่าความสว่างสูงกว่าเส้นใยอาหารที่ได้จากกรรมวิธีอื่น ๆ อย่างมีนัยสำคัญ ($p < 0.05$)

ตาราง 14 แสดงค่าสีของเส้นใยอาหารจากหน่อไม้เศษเหลือส่วนฐาน ซึ่งได้จากกรรมวิธีการผลิตที่แตกต่างกัน

กรรมวิธี	เส้นใยอาหาร	ค่าสี			
		L*	a*	b*	ความสว่าง
APL		82.77±0.37^{b}	2.39±0.31^{b}	21.44±0.39^{cd}	72.38±0.38^{b}
APL-G		84.65±0.30^{a}	1.05±0.22^{c}	20.65±0.56^{de}	74.25±0.60^{a}
APL-X		85.28±0.52^{a}	-0.11±0.16^{d}	19.92±0.30^{e}	75.23±0.52^{a}
APL-C		82.27±1.10^{b}	1.43±0.10^{c}	22.04±0.25^{c}	71.68±0.89^{b}
AGP		80.05±0.54^{d}	2.95±0.41^{ab}	26.41±0.55^{a}	66.77±0.69^{d}
AGP-L		79.55±0.84^{d}	3.05±0.37^{a}	26.35±0.57^{a}	66.50±0.97^{d}

ตาราง 15 (ต่อ)

กรรมวิธี	เส้นใยอาหาร	ค่าสี			
		L*	a*	b*	ความสว่าง
AGP-X		81.40±1.29^{bc}	1.26±0.60^{c}	25.19±1.01^{b}	68.65±1.45^{c}
AGP-C		81.68±1.17^{b}	1.35±0.32^{c}	25.07±0.74^{b}	68.92±1.30^{c}

หมายเหตุ: ค่าเฉลี่ย ± ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน (n=3), ตัวเลขที่มีกลุ่มอักษร (a, b, c, d, e) ในแนวตั้งเดียวกันกำกับต่างกันแสดงถึงความแตกต่างทางสถิติ ($p \leq 0.05$), APL; เอนไซม์อะไมเลส, โปรตีเอส และไลเปส, APL-X; เอนไซม์อะไมเลส,โปรตีเอส, ไลเปส และไซลาเนส, APL-G; เอนไซม์อะไมเลส, โปรตีเอส, ไลเปส และกลูโค-อะไมเลส, APL-C; เอนไซม์อะไมเลส, โปรตีเอส, ไลเปส และเซลลูเลส, AGP; อะไมเลส, กลูโคอะไมเลส และโปรตีเอส, AGP-L; อะไมเลส, กลูโคอะไมเลส, โปรตีเอส และไลเปส, AGP-X; อะไมเลส, กลูโคอะไมเลส, โปรตีเอส และไซลาเนส, AGP-C; อะไมเลส, กลูโคอะไมเลส, โปรตีเอส และเซลลูเลส

ตาราง 16 แสดงค่าสีของเส้นใยอาหารจากหน่อไม้เศษเหลือส่วนปลายยอด ซึ่งได้จากกรรมวิธีการผลิตที่แตกต่างกัน

กรรมวิธี	เส้นใยอาหาร	ค่าสี			
		L*	a*	b*	ความสว่าง
APL		79.61 ± 1.43^{ab}	1.72 ± 0.61^{bc}	25.98 ± 1.34^{a}	66.92 ± 1.96^{ab}
APL-G		77.45 ± 1.20^{c}	1.77 ± 0.50^{bc}	24.56 ± 0.26^{c}	66.60 ± 0.76^{ab}
APL-X		80.31 ± 1.13^{a}	1.36 ± 0.41^{c}	25.91 ± 0.39^{ab}	67.42 ± 0.86^{ab}
APL-C		77.89 ± 0.74^{bcd}	1.78 ± 0.09^{bc}	24.49 ± 0.68^{c}	66.95 ± 0.75^{ab}
AGP		76.15 ± 0.93^{de}	3.61 ± 0.42^{a}	24.22 ± 0.75^{c}	65.80 ± 0.21^{bc}
AGP-L		75.39 ± 0.35^{e}	4.26 ± 0.22^{a}	25.15 ± 0.49^{abc}	64.55 ± 0.13^{c}

ตาราง 17 (ต่อ)

กรรมวิธี	เส้นใยอาหาร	ค่าสี			
		L*	a*	b*	ความสว่าง
AGP-X		79.31±0.40^{ab}	1.64±0.26^{bc}	24.23±0.42^{c}	68.09±0.28^{a}
AGP-C		78.03±1.10^{bc}	2.36±0.46^{b}	24.72±0.21^{bc}	66.84±0.90^{ab}

หมายเหตุ: ค่าเฉลี่ย ± ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน (n=3), ตัวเลขที่มีกลุ่มอักษร (a, b, c, d, e) ในแนวตั้งเดียวกันกำกับต่างกันแสดงถึงความแตกต่างทางสถิติ ($p \leq 0.05$), APL; เอนไซม์อะไมเลส, โปรตีเอส และไลเปส, APL-X; เอนไซม์อะไมเลส,โปรตีเอส, ไลเปส และไซลาเนส, APL-G; เอนไซม์อะไมเลส, โปรตีเอส, ไลเปส และกลูโค-อะไมเลส, APL-C; เอนไซม์อะไมเลส, โปรตีเอส, ไลเปส และเซลลูเลส, AGP; อะไมเลส, กลูโคอะไมเลส และโปรตีเอส, AGP-L; อะไมเลส, กลูโคอะไมเลส, โปรตีเอส และไลเปส, AGP-X; อะไมเลส, กลูโคอะไมเลส, โปรตีเอส และไซลาเนส , AGP-C; อะไมเลส, กลูโคอะไมเลส, โปรตีเอส และเซลลูเลส

2. ปริมาณผลผลิตของเส้นใยอาหารจากหน่อไม้เศษเหลือ ซึ่งได้จากการย่อยด้วยเอนไซม์ชนิดที่แตกต่างกัน

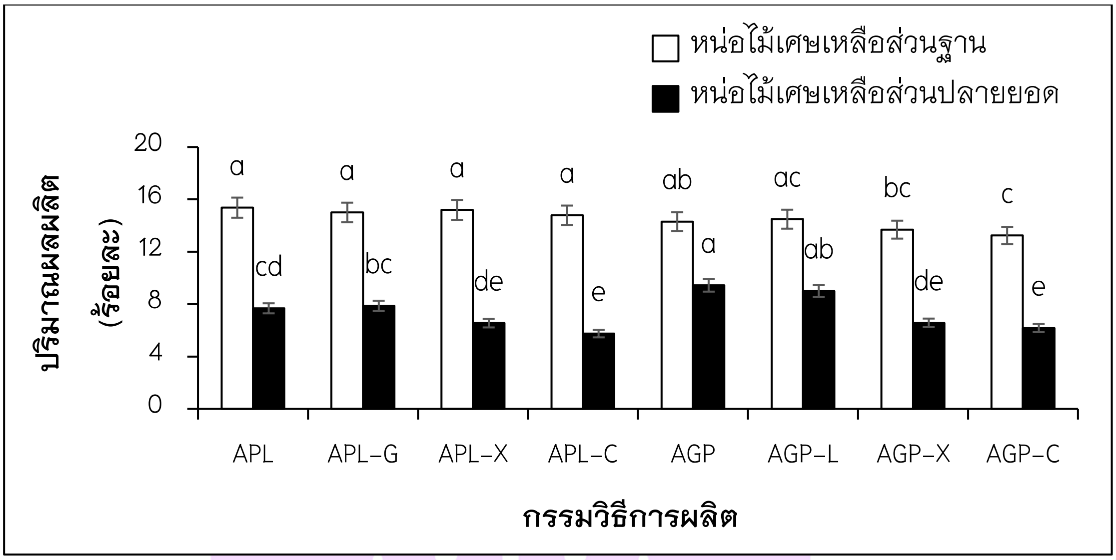
เส้นใยอาหารจากหน่อไม้เศษเหลือส่วนฐาน และปลายยอด ซึ่งได้จากกรรมวิธีการผลิตที่แตกต่างกันถูกดำเนินการวิเคราะห์ปริมาณผลผลิต มีผลการทดลอง ดังนี้

2.1 ปริมาณผลผลิตของเส้นใยอาหารจากหน่อไม้เศษเหลือส่วนฐาน

ปริมาณผลผลิตของเส้นใยอาหารจากหน่อไม้เศษเหลือส่วนฐาน ซึ่งได้จากกรรมวิธีการผลิตที่แตกต่างกัน พบว่า ปริมาณผลผลิตของเส้นใยอาหารจากหน่อไม้เศษเหลือส่วนฐาน มีค่าอยู่ในช่วงร้อยละ 13.24-15.37 โดยน้ำหนักเปียก (ภาพ 13) โดยเส้นใยอาหารได้จากกรรมวิธี APL, APL-G, APL-C, APL-X AGP และ AGP-L มีปริมาณผลผลิตไม่แตกต่างกันทางสถิติ ($p < 0.05$) คิดเป็นร้อยละ 15.37,15.20, 15.00, 14.79, 14.30 และ 14.49 ตามลำดับ โดยเส้นใยอาหารที่ได้จากกรรมวิธีการผลิตทั้งสี่มีปริมาณผลผลิตสูงกว่าเส้นใยอาหารที่ได้จากกรรมวิธี AGP-X, และ AGP-C อย่างมีนัยสำคัญ ($p < 0.05$)

2.2 ปริมาณผลผลิตของเส้นใยอาหารจากหน่อไม้เศษเหลือส่วนปลายยอด

ปริมาณผลผลิตของเส้นใยอาหารจากหน่อไม้เศษเหลือส่วนปลายยอด ซึ่งได้จากกรรมวิธีการผลิตที่แตกต่างกัน พบว่า ปริมาณผลผลิตของเส้นใยอาหารจากหน่อไม้เศษเหลือส่วนปลายยอด มีค่าอยู่ในช่วงร้อยละ 5.75-9.43 โดยน้ำหนักเปียก (ภาพ 13) โดยเส้นใยอาหารที่ได้จากกรรมวิธี AGP และ AGP-L มีปริมาณผลผลิตไม่แตกต่างกันทางสถิติ ($p > 0.05$) คิดเป็นร้อยละ 9.43 และ 9.0 ตามลำดับ โดยเส้นใยอาหารที่ได้จากกรรมวิธีทั้งสองมีปริมาณผลผลิตสูงกว่าเส้นใยอาหารที่ได้จากกรรมวิธีอื่น ๆ อย่างมีนัยสำคัญ ($p < 0.05$)



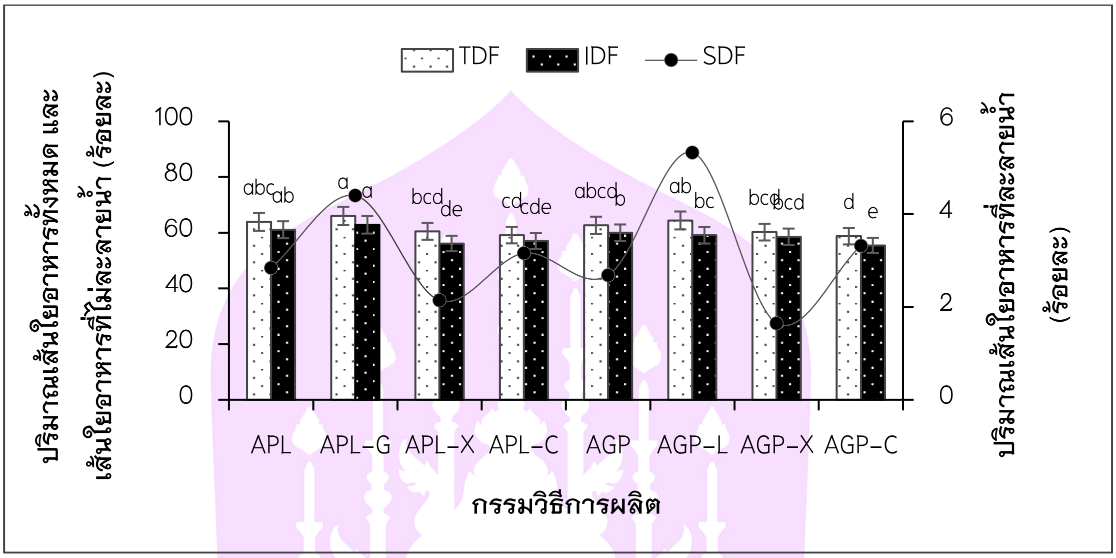
ภาพ 13 แสดงปริมาณผลผลิตของเส้นใยอาหารจากหน่อไม้เศษเหลือส่วนฐาน และปลายยอด ซึ่งได้จากกรรมวิธีการผลิตที่แตกต่างกัน

3. ปริมาณเส้นใยอาหารของหน่อไม้เศษเหลือ ซึ่งได้จากการย่อยด้วยเอนไซม์ชนิดที่แตกต่างกัน

ปริมาณเส้นใยอาหารทั้งหมด เส้นใยอาหารที่ไม่ละลายน้ำ และเส้นใยอาหารที่ละลายน้ำของเส้นใยอาหารจากหน่อไม้เศษเหลือส่วนฐาน และปลายยอด มีผลการทดลองดังนี้

3.1 ปริมาณเส้นใยอาหาร ปริมาณเส้นใยอาหารที่สกัดได้จากหน่อไม้เศษเหลือส่วนฐาน ซึ่งได้จากกรรมวิธีการผลิตที่แตกต่างกัน พบว่า ปริมาณเส้นใยอาหารทั้งหมด เส้นใยอาหารที่ไม่ละลายน้ำ และเส้นใยอาหารที่ละลายน้ำของหน่อไม้เศษเหลือส่วนฐาน มีค่าอยู่ในช่วงร้อยละ 58.73-66.00, 55.42-62.84 และ 1.65-4.40 ตามลำดับ (ภาพ 14) เส้นใยอาหารที่ได้จากกรรมวิธี APL-G และ AGP-L มีปริมาณเส้นใยอาหารทั้งหมดไม่แตกต่างกันทางสถิติ ($p > 0.05$) คิดเป็นร้อยละ 66 และ 64.41 โดยเส้นใยอาหารจากกรรมวิธีทั้งสอง มีปริมาณเส้นใยอาหารทั้งหมดสูงกว่าเส้นใยอาหารที่ได้จากกรรมวิธีอื่น ๆ อย่างมีนัยสำคัญ ($p < 0.05$) นอกจากนี้ เส้นใยอาหารที่ได้จากกรรมวิธี APL และ APL-G มีปริมาณเส้นใยอาหารที่ไม่ละลายน้ำไม่แตกต่างกันทางสถิติ ($p > 0.05$) คิดเป็นร้อยละ 61.06 และ 62.84 ตามลำดับ โดยเส้นใยอาหารจากกรรมวิธีทั้งสองมีปริมาณเส้นใยอาหารที่ไม่ละลายน้ำสูงกว่าเส้นใยอาหารที่ได้จากกรรมวิธีอื่น ๆ อย่างมีนัยสำคัญ ($p < 0.05$) อย่างไรก็ตาม เส้นใยอาหารจากหน่อไม้

เศษเหลือส่วนฐานที่ได้จากกรรมวิธีการผลิตทั้งหมด มีปริมาณเส้นใยอาหารที่ละลายน้ำไม่แตกต่างกันทางสถิติ ($p > 0.05$)

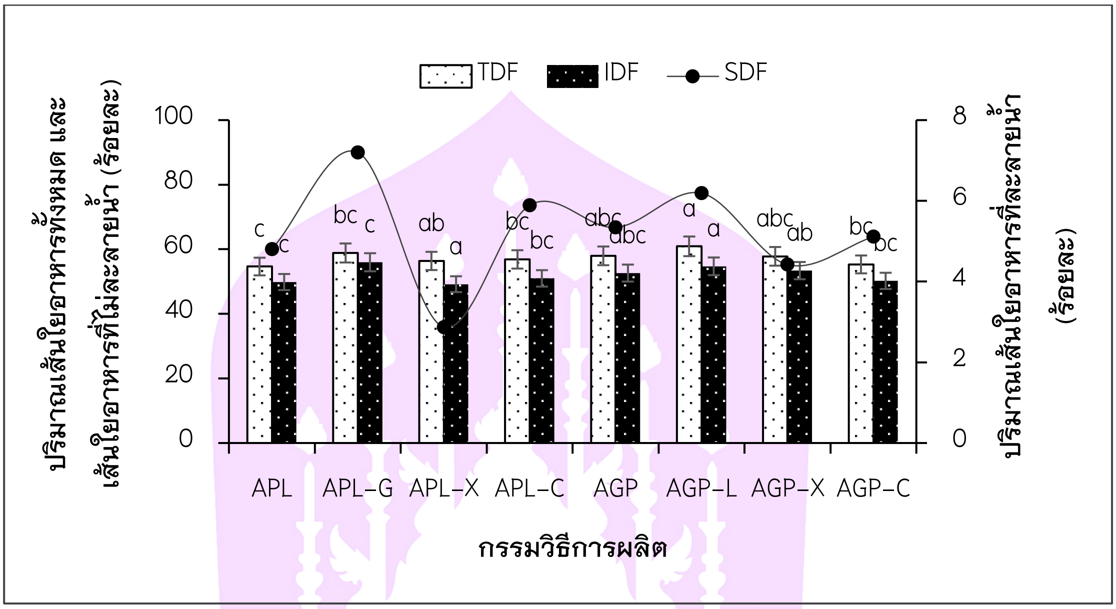


ภาพ 14 แสดงปริมาณเส้นใยอาหารทั้งหมด เส้นใยอาหารที่ไม่ละลายน้ำ และเส้นใยอาหารที่ละลายน้ำจากหน่อไม้เศษเหลือส่วนฐาน ซึ่งได้จากกรรมวิธีการผลิตที่แตกต่างกัน

3.2 ปริมาณเส้นใยอาหารจากหน่อไม้เศษเหลือส่วนปลายยอด

ปริมาณเส้นใยอาหารจากหน่อไม้เศษเหลือส่วนปลายยอด ซึ่งได้จากกรรมวิธีการผลิตที่แตกต่างกัน พบว่า ปริมาณเส้นใยอาหารทั้งหมด เส้นใยอาหารที่ไม่ละลายน้ำ และเส้นใยอาหารที่ละลายน้ำของเส้นใยอาหารจากหน่อไม้เศษเหลือส่วนปลายยอด มีค่าอยู่ในช่วงร้อยละ 54.65-60.91, 49.18-55.98 และ 2.87-7.20 ตามลำดับ (ภาพ 15) โดยเส้นใยอาหารที่ได้จากกรรมวิธี APL-X และ AGP-L มีปริมาณเส้นใยอาหารทั้งหมดไม่แตกต่างกันทางสถิติ ($p > 0.05$) คิดเป็นร้อยละ 56.38 และ 58.85 ตามลำดับ โดยเส้นใยอาหารที่ได้จากกรรมวิธีทั้งสองมีปริมาณเส้นใยอาหารทั้งหมดสูงกว่าเส้นใยอาหารที่ได้จากกรรมวิธีอื่น ๆ อย่างมีนัยสำคัญ ($p < 0.05$) นอกจากนี้ เส้นใยอาหารที่ได้จากกรรมวิธีทั้งสอง และกรรมวิธี AGP-X มีปริมาณเส้นใยอาหารที่ไม่ละลายน้ำไม่แตกต่างกันทางสถิติ ($p > 0.05$) คิดเป็นร้อยละ 49.18, 55.98 และ 53.39 โดยเส้นใยอาหารที่ได้จากกรรมวิธีการผลิตทั้งสามมีปริมาณเส้นใยอาหารที่ไม่ละลายน้ำสูงกว่าเส้นใยอาหารที่ได้จากกรรมวิธีอื่น ๆ อย่างมีนัยสำคัญ ($p < 0.05$)

นอกจากนี้ เส้นใยอาหารที่ได้จากกรรมวิธี APL-G มีปริมาณเส้นใยอาหารที่ละลายน้ำสูงกว่าเส้นใยอาหารที่ได้จากกรรมวิธีอื่น ๆ อย่างมีนัยสำคัญ ($p < 0.05$) คิดเป็นร้อยละ 7.20



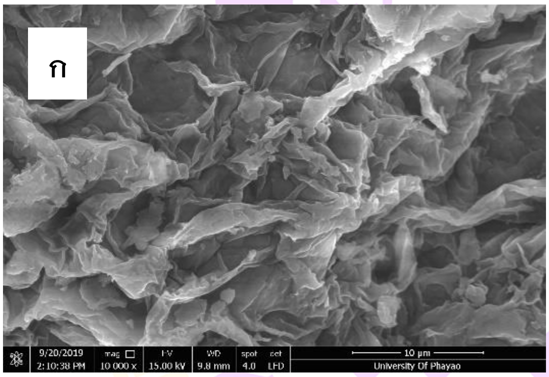
ภาพ 15 แสดงปริมาณเส้นใยอาหารทั้งหมด เส้นใยอาหารที่ไม่ละลายน้ำ และเส้นใยอาหารที่ละลายน้ำจากหน่อไม้เศษเหลือส่วนปลายยอด ซึ่งได้จากกรรมวิธีการผลิตที่แตกต่างกัน

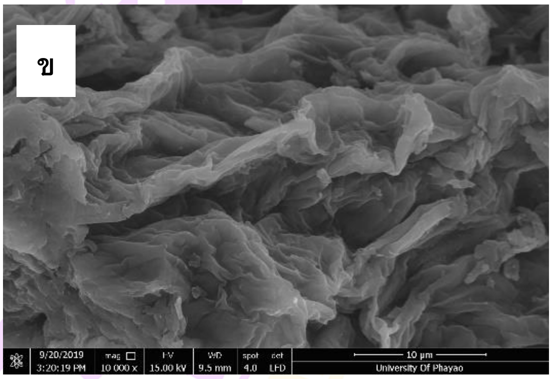
4. โครงสร้างทางจุลภาคของเส้นใยอาหารจากหน่อไม้เศษเหลือ

เส้นใยอาหารจากหน่อไม้เศษเหลือส่วนฐาน และปลายยอดถูกคัดเลือกมาจากกรรมวิธีการผลิตที่เหมาะสมภายใต้กรรมวิธีการผลิตที่แตกต่างกันถูกดำเนินการวิเคราะห์โครงสร้างทางจุลภาค มีผลการทดลอง ดังนี้

4.1 โครงสร้างทางจุลภาคของเส้นใยอาหารจากหน่อไม้เศษเหลือส่วนฐาน

เมื่อพิจารณาโครงสร้างพื้นผิวของเส้นใยอาหารจากหน่อไม้เศษเหลือส่วนฐานซึ่งได้จากการกรรมวิธีการผลิตที่เหมาะสม (ภาพ 16) โดยเปรียบเทียบระหว่างก่อนและหลังการย่อยด้วยเอนไซม์ไลเปส ด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนที่กำลังขยาย 10,000 เท่า พบว่าโครงสร้างทางจุลภาคของหน่อไม้เศษเหลือส่วนฐานระหว่างก่อนและหลังการย่อยด้วยเอนไซม์ไลเปสมีความแตกต่างกันอย่างชัดเจน โดยเส้นใยอาหารที่ได้จากกรรมวิธี AGP-L พื้นผิวโครงสร้างมีการคลายตัวมากขึ้น เกิดการแตกหักของอนุภาค มีลักษณะเป็นรูพรุน และเกิดร่องลึก เมื่อเทียบกับเส้นใยอาหารจากกรรมวิธี AGP

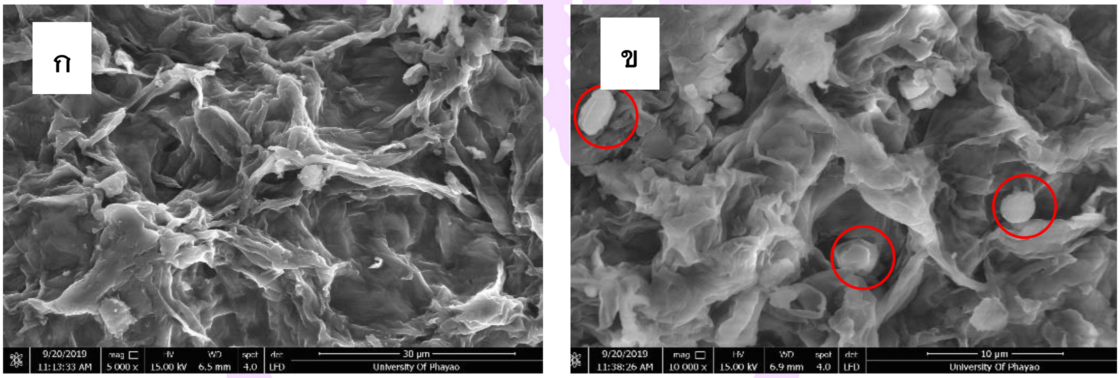




ภาพ 16 แสดงโครงสร้างทางจุลภาคของเส้นใยอาหารจากหน่อไม้เศษเหลือส่วนฐาน ซึ่งได้จากกรรมวิธี AGP (ก) และ AGP-L (ข)

4.2 โครงสร้างทางจุลภาคของเส้นใยอาหารจากหน่อไม้เศษเหลือส่วนปลายยอด

เมื่อพิจารณาโครงสร้างพื้นผิวของเส้นใยอาหารจากหน่อไม้เศษเหลือส่วนปลายยอด ซึ่งได้จากกรรมวิธีการผลิตที่เหมาะสม โดยเปรียบเทียบระหว่างก่อนและหลังการย่อยด้วยเอนไซม์กลูโคอะไมเลส ภายใต้กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนที่กำลังขยาย 10,000 เท่า พบว่า เส้นใยอาหารจากหน่อไม้เศษเหลือส่วนปลายยอดที่ได้จากกรรมวิธี APL โครงสร้างพื้นผิวมีการคลายตัว เกิดการแตกหักของอนุภาค ดังแสดงในภาพ 17 (ก) ขณะที่เส้นใยอาหารจากหน่อไม้เศษเหลือส่วนปลายยอดที่ได้จากกรรมวิธี APL-G โครงสร้างพื้นผิวมีรูพรุน เกิดร่องลึกมากขึ้น นอกจากนี้ พบสารทรงกลมอยู่บนพื้นผิวของอนุภาค ดังแสดงในภาพ 17 (ข)



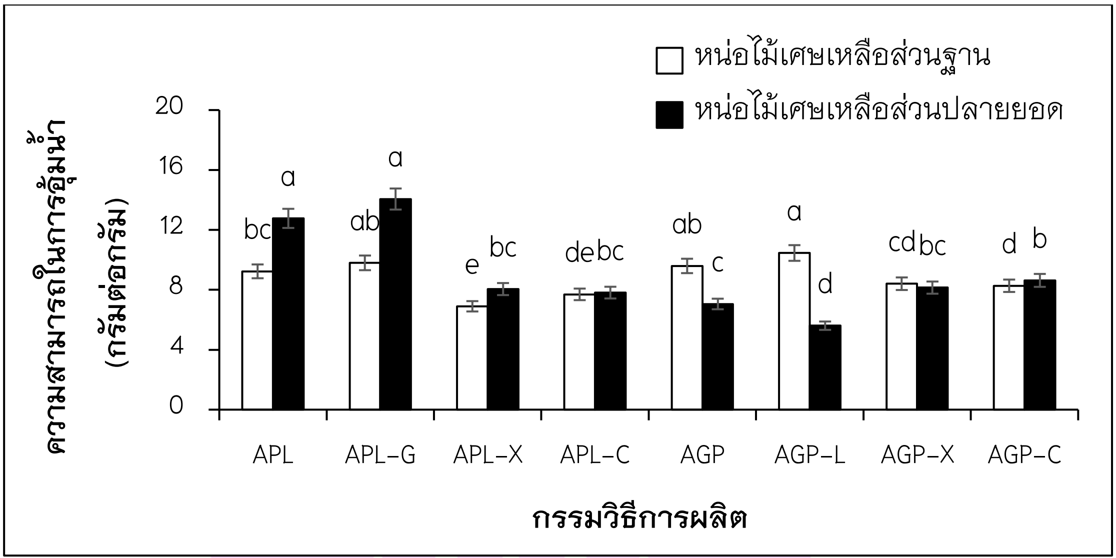
ภาพ 17 แสดงโครงสร้างทางจุลภาคของเส้นใยอาหารจากหน่อไม้เศษเหลือส่วนปลายยอดซึ่งได้จากกรรมวิธี APL (ก) และ APL-G (ข)

5. สมบัติทางเคมีกายภาพของเส้นใยอาหารจากหน่อไม้เศษเหลือ

เส้นใยอาหารจากหน่อไม้เศษเหลือส่วนฐาน และปลายยอด ซึ่งได้จากกรรมวิธีการผลิตที่แตกต่างกันถูกดำเนินการวิเคราะห์สมบัติทางเคมีกายภาพ ได้แก่ ความสามารถในการอุ้มน้ำ การพองตัว และการอุ้มน้ำมัน มีผลการทดลอง ดังนี้

5.1 ความสามารถในการอุ้มน้ำของเส้นใยอาหารจากหน่อไม้เศษเหลือส่วนฐานและปลายยอด

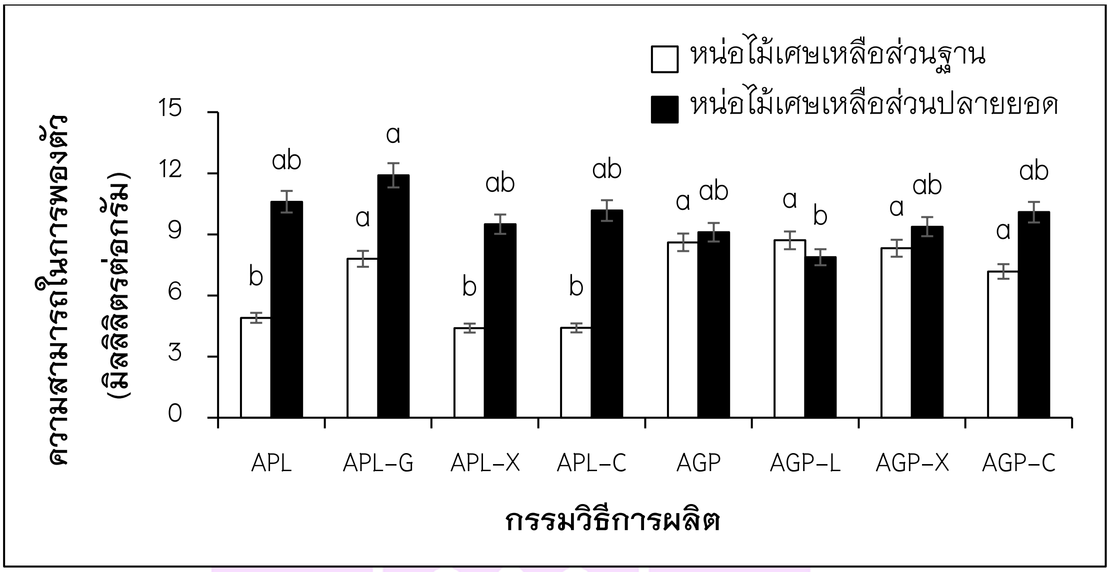
เมื่อพิจารณาความสามารถในการอุ้มน้ำของเส้นใยอาหารจากหน่อไม้เศษเหลือส่วนฐาน และปลายยอด ซึ่งได้จากกรรมวิธีการผลิตที่แตกต่างกัน พบว่า ความสามารถในการอุ้มน้ำของเส้นใยอาหารจากหน่อไม้เศษเหลือส่วนฐาน และปลายยอด มีค่าอยู่ในช่วง 6.85-10.46 และ 7.05-14.06 กรัมต่อกรัม ตามลำดับ (ภาพ 18) โดยเส้นใยอาหารจากหน่อไม้เศษเหลือส่วนฐานที่ได้จากกรรมวิธี AGP และ AGP-L มีความสามารถในการอุ้มน้ำไม่แตกต่างกันทางสถิติ ($p > 0.05$) โดยมีค่าเท่ากับ 9.59 และ 10.46 กรัมต่อกรัม โดยเส้นใยอาหารที่ได้จากกรรมวิธีการผลิตทั้งสองมีความสามารถในการอุ้มน้ำสูงกว่าเส้นใยอาหารที่ได้จากกรรมวิธีอื่น ๆ อย่างมีนัยสำคัญ ($p < 0.05$) ในขณะที่เส้นใยอาหารจากหน่อไม้เศษเหลือส่วนปลายยอดที่ได้จากกรรมวิธี APL และ APL-G มีความสามารถในการอุ้มน้ำไม่แตกต่างกันทางสถิติ ($p > 0.05$) โดยมีค่าเท่ากับ 12.77 และ 14.06 กรัมต่อกรัม ตามลำดับ ทั้งนี้ เส้นใยอาหารที่ได้จากกรรมวิธีการผลิตทั้งสองมีความสามารถในการอุ้มน้ำสูงกว่าเส้นใยอาหารที่ได้จากกรรมวิธีอื่น ๆ อย่างมีนัยสำคัญ ($p < 0.05$)



ภาพ 18 แสดงความสามารถในการอุ้มน้ำของเส้นใยอาหารจากหน่อไม้เศษเหลือส่วนฐาน และปลายยอด ซึ่งได้จากกรรมวิธีการผลิตที่แตกต่างกัน

5.2 ความสามารถในการพองตัวของเส้นใยอาหารจากหน่อไม้เศษเหลือส่วนฐานและปลายยอด

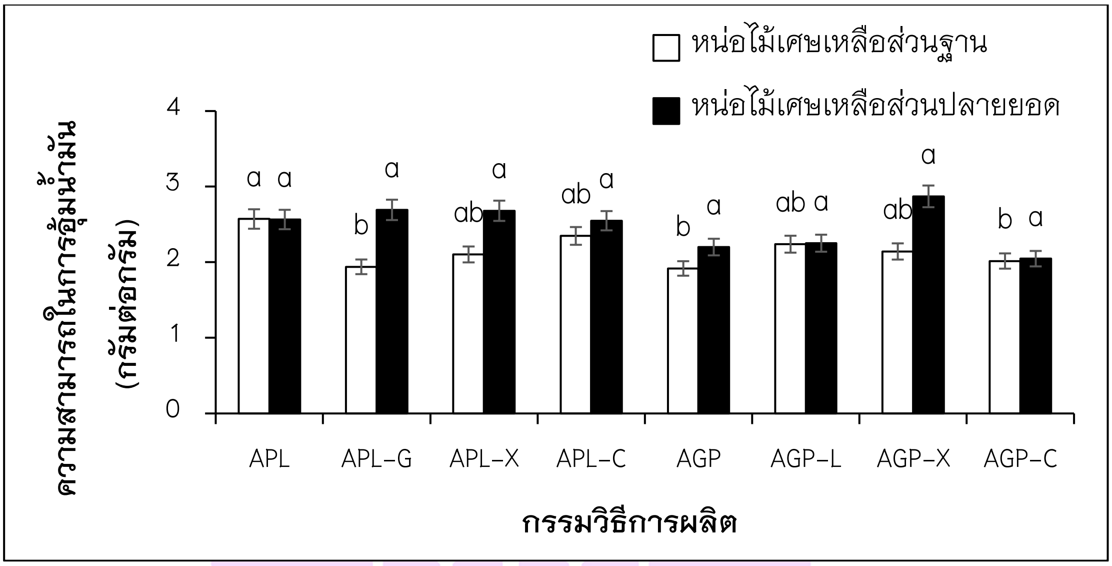
เมื่อพิจารณาความสามารถในการพองตัวของเส้นใยอาหารจากหน่อไม้เศษเหลือส่วนฐาน และปลายยอด ซึ่งได้จากกรรมวิธีการผลิตที่แตกต่างกัน พบว่าความสามารถในการพองตัวของเส้นใยอาหารจากหน่อไม้เศษเหลือส่วนฐาน และปลายยอด มีค่าอยู่ในช่วง 4.40-8.70 และ 7.88-11.89 มิลลิลิตรต่อกรัม ตามลำดับ (ภาพ 19) เส้นใยอาหารจากหน่อไม้เศษเหลือส่วนฐานที่ได้จากกรรมวิธี APL-G, AGP, AGP-L, AGP-X และ AGP-C มีความสามารถในการพองตัวไม่แตกต่างกันทางสถิติ ($p > 0.05$) โดยมีค่าเท่ากับ 7.80, 8.61, 8.71, 8.32 และ 7.18 มิลลิลิตรต่อกรัม ตามลำดับ ในขณะที่เส้นใยอาหารจากหน่อไม้เศษเหลือส่วนปลายยอดที่ได้จากกรรมวิธี APL, APL-G, APL-X, AGP, AGP-X และ AGP-C มีความสามารถในการพองตัวไม่แตกต่างกันทางสถิติ ($p > 0.05$) โดยมีค่าเท่ากับ 10.6, 11.9, 9.5, 10.2, 9.1, 9.4 และ 10.1 มิลลิลิตรต่อกรัม ตามลำดับ โดยเส้นใยอาหารที่ได้จากกรรมวิธีการผลิตทั้งเจ็ดมีความสามารถในการพองตัวสูงกว่าเส้นใยอาหารที่ได้จากกรรมวิธี AGP-L อย่างมีนัยสำคัญ ($p < 0.05$)



ภาพ 19 แสดงความสามารถในการพองตัวของเส้นใยอาหารจากหน่อไม้เศษเหลือส่วนฐาน และปลายยอด ซึ่งได้จากกรรมวิธีการผลิตที่แตกต่างกัน

5.3 ความสามารถในการอุ้มน้ำมันของเส้นใยอาหารจากหน่อไม้เศษเหลือ

ความสามารถในการอุ้มน้ำมันของเส้นใยอาหารจากหน่อไม้เศษเหลือส่วนฐาน และปลายยอด ซึ่งได้จากกรรมวิธีการผลิตที่แตกต่างกัน พบว่า ความสามารถในการอุ้มน้ำมันของเส้นใยอาหารจากหน่อไม้เศษเหลือส่วนฐาน และปลายยอด มีค่าอยู่ในช่วง 1.92-2.57 และ 2.20-2.68 กรัมต่อกรัม ตามลำดับ (ภาพ 20) เส้นใยอาหารจากหน่อไม้เศษเหลือส่วนฐานที่ได้จากกรรมวิธี APL, APL-X, APL-C, AGP-L, และ AGP-X มีความสามารถในการอุ้มน้ำมันไม่แตกต่างกันทางสถิติ ($p > 0.05$) โดยมีค่าเท่ากับ 2.57, 2.10, 2.35, 2.24 และ 2.14 กรัมต่อกรัม ตามลำดับ โดยเส้นใยอาหารที่ได้จากกรรมวิธีการผลิตทั้งห้ามีความสามารถในการอุ้มน้ำมันสูงกว่าเส้นใยอาหารที่ได้จากกรรมวิธีอื่น ๆ อย่างมีนัยสำคัญ ($p < 0.05$) ขณะที่เส้นใยอาหารจากหน่อไม้เศษเหลือส่วนปลายยอดที่ได้จากกรรมวิธีการผลิตทั้งหมดมีความสามารถในการอุ้มน้ำมันไม่แตกต่างกันทางสถิติ ($p > 0.05$)



ภาพ 20 แสดงความสามารถในการจับน้ำมันของเส้นใยอาหารจากหน่อไม้เศษเหลือส่วนฐาน และปลายยอด ซึ่งได้จากกรรมวิธีการผลิตที่แตกต่างกัน

จากการศึกษาชนิด และลำดับของเอนไซม์ที่เหมาะสมในการผลิตเส้นใยอาหารจากหน่อไม้เศษเหลือ ได้แก่ 1) หน่อไม้เศษเหลือส่วนฐาน และ 2) หน่อไม้เศษเหลือส่วนปลายยอด ทั้งหมด 8 กรรมวิธี พบว่า เส้นใยอาหารจากหน่อไม้เศษเหลือส่วนฐานที่ได้จากกรรมวิธี AGP-L และหน่อไม้เศษเหลือส่วนปลายยอด ได้แก่ กรรมวิธี APL-G มีปริมาณเส้นใยอาหารที่ละลายน้ำ และสมบัติทางกายภาพ ได้แก่ ความสามารถในการอุ้มน้ำ และการพองตัวสูงสุด เมื่อเทียบกับเส้นใยอาหารที่ผลิตได้จากกรรมวิธีอื่น ๆ ดังนั้น จึงมีความเหมาะสมในการศึกษาองค์ประกอบทางเคมีโดยประมาณ และสมบัติทางกายภาพ ได้แก่ ความสามารถในการดูดซึมกลูโคสของเส้นใยอาหาร โดยมีผลการทดลอง ดังต่อไปนี้

6. องค์ประกอบทางเคมีโดยประมาณของเส้นใยอาหารจากหน่อไม้เศษเหลือ

เส้นใยอาหารจากหน่อไม้เศษเหลือส่วนฐาน และปลายยอดที่ได้จากกรรมวิธีการผลิตที่เหมาะสม ถูกดำเนินการวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมีโดยประมาณด้วยวิธี AOAC (2011) โดยเปรียบเทียบกับเส้นใยอาหารจากหน่อไม้เศษเหลือส่วนฐาน และปลายยอดที่ได้จากกรรมวิธี AGP และ APL ตามลำดับ มีผลการทดลอง ดังนี้

6.1 องค์ประกอบทางเคมีโดยประมาณของเส้นใยอาหารจากหน่อไม้เศษเหลือส่วนฐาน

องค์ประกอบทางเคมีโดยประมาณของเส้นใยอาหารจากหน่อไม้เศษเหลือส่วนฐาน ซึ่งได้จากกรรมวิธีการผลิตที่เหมาะสม พบว่า เส้นใยอาหารจากหน่อไม้เศษเหลือส่วนฐานที่ได้จากกรรมวิธี AGP-L มีปริมาณเถ้าสูงกว่าเส้นใยอาหารจากหน่อไม้เศษเหลือส่วนฐานที่ได้จากกรรมวิธี AGP อย่างมีนัยสำคัญ ($p < 0.05$) ดังแสดงในตาราง 18 เส้นใยอาหารจากหน่อไม้เศษเหลือส่วนฐานที่ได้จากกรรมวิธี AGP-L มีปริมาณโปรตีนลดลงเมื่อเทียบกับเส้นใยอาหารจากหน่อไม้เศษเหลือส่วนฐานที่ได้จากกรรมวิธี AGP ทั้งนี้ ปริมาณความชื้น และไขมันไม่แตกต่างกันทางสถิติ ($p > 0.05$)

6.2 องค์ประกอบทางเคมีโดยประมาณของเส้นใยอาหารจากหน่อไม้เศษเหลือส่วนปลายยอด

องค์ประกอบทางเคมีโดยประมาณของเส้นใยอาหารจากหน่อไม้เศษเหลือส่วนปลายยอด ซึ่งได้จากกรรมวิธีการผลิตที่เหมาะสม พบว่า เส้นใยอาหารจากหน่อไม้เศษเหลือส่วนปลายยอดที่ได้จากกรรมวิธี APL-G มีปริมาณเถ้า โปรตีน และไขมันแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($p < 0.05$) ดังแสดงในตาราง 18 โดยเส้นใยอาหารจากหน่อไม้เศษเหลือส่วนปลายยอดที่ได้จากกรรมวิธี APL-G มีปริมาณเถ้า และโปรตีนสูงกว่าเส้นใยอาหารจากหน่อไม้เศษเหลือส่วนปลายยอดที่ได้จากกรรมวิธี APL อย่างมีนัยสำคัญ ($p < 0.05$) นอกจากนี้ เส้นใยอาหารจากหน่อไม้เศษเหลือส่วนปลายยอดที่ได้จากกรรมวิธี APL-G มีปริมาณไขมันลดลงเมื่อเทียบกับเส้นใยอาหารจากหน่อไม้เศษเหลือส่วนปลายยอดที่ได้จากกรรมวิธี APL

ตาราง 18 แสดงองค์ประกอบทางเคมีโดยประมาณของเส้นใยอาหารจากหน่อไม้เศษเหลือส่วนฐาน และปลายยอด ซึ่งได้จากกรรมวิธีการที่เหมาะสม

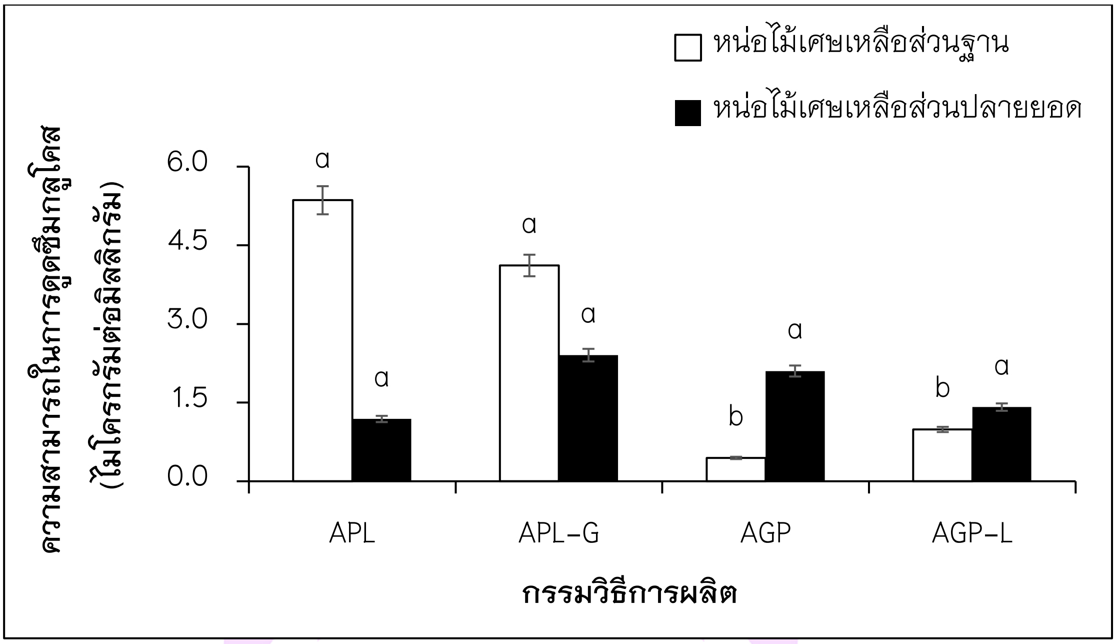
ชนิดของเส้นใยอาหาร	องค์ประกอบทางเคมีโดยประมาณ (ร้อยละโดยน้ำหนักแห้ง)			
	ความชื้น	เถ้า	โปรตีน	ไขมัน
หน่อไม้เศษเหลือส่วนฐาน				
AGP	1.06±0.39[a]	10.87±0.30[b]	1.98±0.13[a]	2.59±0.01[a]
AGP-L	0.52±0.17[a]	13.27±0.05[a]	1.12±0.01[b]	1.55±0.01[a]
หน่อไม้เศษเหลือส่วนปลายยอด				
APL	1.92±0.39[a]	7.21±0.07[b]	0.59±0.02[b]	1.62±0.13[a]
APL-G	1.87±0.10[a]	8.12±0.14[a]	0.94±0.14[a]	1.35±0.09[b]

หมายเหตุ: ค่าเฉลี่ย ± ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน (n=3), ตัวเลขที่มีกลุ่มอักษร (a, b) ในแนวตั้งเดียวกันกำกับต่างกันในหน่อไม้เศษเหลือแบบชิ้นและแบบหั่นฝอยแสดงถึงความแตกต่างทางสถิติ ($p \leq 0.05$), AGP; เอนไซม์อะไมเลส, กลูโคอะไมเลส และโปรตีเอส, AGP-L; เอนไซม์อะไมเลส, กลูโคอะไมเลส, โปรตีเอส และไลเปส, APL; เอนไซม์อะไมเลส,โปรตีเอส และไลเปส, APL-G; เอนไซม์อะไมเลส, โปรตีเอส, ไลเปส และกลูโคอะไมเลส, AGP; อะไมเลส, กลูโคอะไมเลส และโปรตีเอส, AGP-L; อะไมเลส, กลูโคอะไมเลส, โปรตีเอส และไลเปส, AGP-X; อะไมเลส, กลูโคอะไมเลส, โปรตีเอส และไซลาเนส, AGP-C; อะไมเลส, กลูโค-อะไมเลส, โปรตีเอส และเซลลูเลส

7. สมบัติเชิงหน้าที่ของเส้นใยอาหารจากหน่อไม้เศษเหลือ

เส้นใยอาหารจากหน่อไม้เศษเหลือส่วนฐาน และปลายยอดที่ได้จากกรรมวิธีการผลิตที่เหมาะสม ได้แก่ AGP, AGP-L, APL และ APL-G ตามลำดับ ถูกดำเนินการวิเคราะห์ และเปรียบเทียบสมบัติเชิงหน้าที่ คือ ความสามารถในการดูดซึมกลูโคส จากภาพ 21 พบว่าความสามารถในการดูดซึมกลูโคสของเส้นใยอาหารจากหน่อไม้เศษเหลือส่วนฐาน และปลายยอด มีค่าอยู่ในช่วง 0.45-5.36 และ 0.19-2.41 ไมโครกรัมต่อมิลลิกรัม ตามลำดับ โดยเส้นใยอาหารจากหน่อไม้เศษเหลือส่วนฐานที่ได้จากกรรมวิธี APL และ APL-G มีความสามารถในการดูดซึมกลูโคสไม่แตกต่างกันทางสถิติ ($p > 0.05$) โดยมีค่าเท่ากับ 5.36 และ 4.12 ไมโครกรัมต่อมิลลิกรัม ตามลำดับ เส้นใยอาหารจากหน่อไม้เศษเหลือส่วนฐานที่ได้จากกรรมวิธีการผลิตทั้งสองมีความสามารถในการดูดซึมกลูโคสสูงกว่าเส้นใยอาหารจากหน่อไม้เศษเหลือส่วนฐานที่

ได้จากกรรมวิธี AGP และ AGP-L อย่างมีนัยสำคัญ ($p > 0.05$) ขณะที่เส้นใยอาหารจากหน่อไม้เศษเหลือส่วนปลายยอดที่ได้จากกรรมวิธีการผลิตทั้งสี่มีความสามารถในการดูดซึมกลูโคสไม่แตกต่างกันทางสถิติ ($p > 0.05$)



ภาพ 21 แสดงสมบัติเชิงหน้าที่ของเส้นใยอาหารจากหน่อไม้เศษเหลือส่วนฐานและปลายยอดซึ่งได้จากกรรมวิธีการผลิตที่เหมาะสม

จากการศึกษาชนิด และลำดับของเอนไซม์ที่เหมาะสมในการผลิตเส้นใยอาหารจากหน่อไม้เศษเหลือ พบว่า เส้นใยอาหารจากหน่อไม้เศษเหลือส่วนฐานที่ได้จากกรรมวิธี AGP-L และหน่อไม้เศษเหลือส่วนปลายยอด ได้แก่ กรรมวิธี APL-G มีปริมาณเส้นใยอาหารที่ละลายน้ำและสมบัติทางกายภาพ ได้แก่ ความสามารถในการอุ้มน้ำ และการพองตัวสูงสุด เมื่อเทียบกับเส้นใยอาหารที่ผลิตได้จากกรรมวิธีอื่น ๆ ดังนั้น จึงถูกคัดเลือกเพื่อนำมาศึกษาสภาวะที่เหมาะสมของเอนไซม์ไลเปสในการผลิตเส้นใยอาหารจากหน่อไม้เศษเหลือ โดยมีผลการทดลอง ดังต่อไปนี้

8. ศึกษาสภาวะที่เหมาะสมในการผลิตเส้นใยอาหาร ด้วยวิธีพื้นผิวตอบสนอง (response surface methodology; RSM)

ศึกษาสภาวะที่เหมาะสมของความเข้มข้นของเอนไซม์ และระยะเวลาในการสกัดเส้นใยอาหารจากหน่อไม้เศษเหลือส่วนฐาน และปลายยอด วางแผนการทดลองแบบพื้นผิวตอบสนอง (respond surface methodology; RSM) ออกแบบการทดลองด้วยวิธีส่วนประสมกลาง (central composite design; CCD) โดยศึกษาผลของปัจจัยอิสระ 2 ปัจจัย คือ ความเข้มข้นของเอนไซม์ไลเปส และ ระยะเวลาในการสกัดต่อปริมาณผลผลิต เส้นใยอาหารทั้งหมด และสมบัติเชิงหน้าที่ของเส้นใยอาหาร ได้แก่ ความสามารถในการอุ้มน้ำ การพองตัว และการอุ้มน้ำมัน มีผลการทดลอง ดังนี้

การวิเคราะห์พื้นผิวตอบสนอง

8.1 ค่าสัมประสิทธิของการตัดสินใจ และการวิเคราะห์ความแปรปรวนของแบบจำลองของค่าตอบสนองของปัจจัยอิสระในการผลิตเส้นใยอาหารจากหน่อไม้เศษเหลือส่วนฐาน

การวิเคราะห์ความแปรปรวนเป็นการตรวจสอบแหล่งผันแปรของแบบจำลองระหว่างค่าตอบสนอง ได้แก่ ปริมาณผลผลิต เส้นใยอาหาร และสมบัติทางเคมีกายภาพของเส้นใยอาหารจากหน่อไม้เศษเหลือส่วนฐานที่ได้จากกรรมวิธี AGP-L เมื่อพิจารณาความสัมพันธ์ระหว่างค่าตอบสนองและตัวแปรอิสระ พบว่า ปริมาณผลผลิต และความสามารถในการอุ้มน้ำมีความสัมพันธ์กับความเข้มข้นของเอนไซม์ไลเปส และระยะเวลาในการสกัดอย่างมีนัยสำคัญ ($p < 0.05$) เมื่อพิจารณาความเหมาะสมของแบบจำลองถดถอย (lack of fit) ด้วยการเปรียบเทียบค่า P-value ที่ระดับนัยสำคัญ 0.05 พบว่า แบบจำลองถดถอยที่เหมาะสมของปริมาณผลผลิต และความสามารถในการอุ้มของเส้นใยอาหารจากหน่อไม้เศษเหลือส่วนฐานที่ได้จากกรรมวิธี AGP-L คือ แบบจำลองพหุนามกำลังสอง (quadratic model) ($p > 0.05$) แสดงให้เห็นว่าแบบจำลองนี้มีความเหมาะสมสำหรับอธิบายปริมาณผลผลิตทั้งหมดที่สกัดได้ และความสามารถในการอุ้มน้ำของเส้นใยอาหารจากหน่อไม้เศษเหลือส่วนฐานที่ได้จากกรรมวิธี AGP-L โดยผลการทดลอง และค่าสัมประสิทธิ์ของตัวแปรอิสระ P-value และสัมประสิทธิ์การตัดสินใจ ดังแสดงในตาราง 19-21

ตาราง 19 แสดงปริมาณผลผลิต เส้นใยอาหารทั้งหมด และสมบัติทางเคมีกายภาพของเส้นใยอาหารจากหน่อไม้เศษเหลือส่วนฐานซึ่งได้จากกรรมวิธี AGP-L

การทดลอง	ระดับตัวแปรอิสระ: เวลา (นาที)	ระดับตัวแปรอิสระ: ความเข้มข้น (U/g)	ปริมาณผลผลิต (กรัม): ค่าจากการทดลอง	ปริมาณผลผลิต (กรัม): ค่าจากการทำนาย	TDF: ค่าจากการทดลอง	TDF: ค่าจากการทำนาย	IDF: ค่าจากการทดลอง	IDF: ค่าจากการทำนาย	SDF: ค่าจากการทดลอง	SDF: ค่าจากการทำนาย	WHC (กรัมต่อกรัม): ค่าจากการทดลอง	WHC (กรัมต่อกรัม): ค่าจากการทำนาย	SC (มิลลิลิตรต่อกรัม): ค่าจากการทดลอง	SC (มิลลิลิตรต่อกรัม): ค่าจากการทำนาย	OBC (กรัมต่อกรัม): ค่าจากการทดลอง	OBC (กรัมต่อกรัม): ค่าจากการทำนาย
					ปริมาณเส้นใยอาหาร (ร้อยละโดยน้ำหนักแห้ง)						สมบัติทางเคมีกายภาพ					
1	0 (30)	1 (9)	11.79	11.28	62.29	63.47	58.34	59.82	3.95	3.45	7.98	9.61	7.63	10.79	2.4	1.89
2	1 (45)	1 (9)	11.1	11.28	65.14	63.47	60.49	59.82	4.65	3.45	9.35	9.61	6.83	10.79	2.18	1.89
3	1 (45)	-1 (3)	11.91	12.38	60.85	60.12	57.84	58.83	3.01	1.89	11.04	11.38	3.9	8.15	2.18	2.2
4	0 (30)	0 (6)	11.92	12.38	60.11	60.12	57.74	58.83	2.37	1.89	8.62	11.38	5.96	8.15	2.23	2.2
5	1 (45)	-1 (3)	12.72	11.8	58.4	61.38	54.29	60.16	4.11	4.09	11.43	10.18	10.13	9.29	2.14	2.21
6	0 (30)	0 (6)	11.51	11.8	63.8	61.38	63.8	60.16	6.85	4.09	7.02	10.18	6.83	9.29	2.01	2.21
7	-1 (15)	1 (9)	12	12.07	62.27	63.41	57.98	59.16	4.29	4.04	10.9	8.83	13.58	6.66	2.06	2.2
8	-1 (15)	0 (6)	11.51	12.07	64.23	63.41	57.75	59.16	6.48	4.04	9.68	8.83	8.85	6.66	2.3	2.2
9	0 (30)	1 (9)	10.9	11.48	63.3	63.38	59.02	56.84	4.28	7.3	6.91	8.9	7.13	8.8	2.06	2.05
10	-1 (15)	1 (9)	11.09	11.48	63.53	63.38	57.69	56.84	5.84	7.3	9.98	8.9	6.75	8.8	2.19	2.05
11	-1 (15)	0 (6)	10.67	12.17	60.73	62.72	56.91	55.85	3.83	6.5	8.08	9.12	6.91	6.17	2.09	2.2
12	1 (45)	0 (6)	15.22	12.17	64.33	62.72	59.45	55.85	4.88	6.5	7.91	9.12	7.67	6.17	2.1	2.2
13	-1 (15)	-1 (3)	14.51	14.09	63.01	63.7	58.26	56.97	4.74	6.34	9.71	9.06	16.53	9.47	1.69	2.05

หมายเหตุ: ตัวเลขนอกวงเล็บเป็นตัวแปรรหัส (coded variable) และตัวเลขในวงเล็บเป็นตัวแปรจริง (actual variable)

ตาราง 20 (ต่อ)

การทดลอง	ระดับตัวแปรอิสระ		ปริมาณผลผลิต (กรัม)		ปริมาณเส้นใยอาหาร (ร้อยละโดยน้ำหนักแห้ง)						สมบัติทางเคมีกายภาพ					
	เวลา (นาที)	ความเข้มข้น (U/g)			TDF		IDF		SDF		WHC (กรัมต่อกรัม)		SC (มิลลิลิตรต่อกรัม)		OBC (กรัมต่อกรัม)	
			ค่าจากการทดลอง	ค่าจากการทำนาย	ค่าจากการทดลอง	ค่าจากการทำนาย	ค่าจากการทดลอง	ค่าจากการทำนาย	ค่าจากการทดลอง	ค่าจากการทำนาย	ค่าจากการทดลอง	ค่าจากการทำนาย	ค่าจากการทดลอง	ค่าจากการทำนาย	ค่าจากการทดลอง	ค่าจากการทำนาย
14	1 (45)	1 (9)	14.26	14.09	63.19	63.7	58.57	56.97	4.62	6.34	9.03	9.06	5.92	9.47	2.13	2.05
15	0 (30)	−1 (3)	14.26	14.19	64.79	64.29	60.01	57.31	4.78	7.74	8.88	8.07	8.68	7.97	1.95	2.2
16	1 (45)	0 (6)	14.12	14.19	64.67	64.29	59.43	57.31	5.24	7.74	9.88	8.07	8.7	7.97	2.43	2.2
17	−1 (15)	−1 (3)	14.14	14.08	63.99	64.95	55.25	53.99	8.74	10.57	9.02	7.58	6.34	7.49	1.93	2.13
18	0 (30)	−1 (3)	13.43	14.08	66.22	64.95	45.04	53.99	21.18	10.57	10	7.58	11.24	7.49	2.18	2.13

หมายเหตุ: ตัวเลขนอกวงเล็บเป็นตัวแปรรหัส (coded variable) และตัวเลขในวงเล็บเป็นตัวแปรจริง (actual variable)

ตาราง 21 แสดงค่าสัมประสิทธิ์การตัดสินใจ และการวิเคราะห์ความแปรปรวนของแบบจำลองค่าตอบสนองของปริมาณผลผลิต เส้นใยอาหารทั้งหมด และสมบัติทางเคมีกายภาพของเส้นใยอาหารจากหน่อไม้เศษเหลือส่วนฐาน ซึ่งได้จากกรรมวิธี AGP-L

แบบจำลองถดถอย	ปริมาณผลผลิต (กรัม)	ปริมาณเส้นใยอาหาร (ร้อยละโดยน้ำหนักแห้ง)			สมบัติทางเคมีกายภาพ		
		TDF	IDF	SDF	WHC (g/g)	SC (mL/g)	OBC (g/g)
สัมประสิทธิ์ของค่ารหัส							
A	0.34	-0.33	-0.50	-0.40	0.11	-1.32	0.08
B	0.05	0.30	0.17	0.70	-0.49	-0.75	0.08
A2	-2.26	-1.90	2.35	-3.67	1.43	-	-
B2	0.06	-0.95	3.15	-3.53	0.99	1.24	-
A×B	-0.21	1.35	-	0.38	-0.78	-	-0.08
P - value							
Model	0.03	0.08	0.35	0.25	0.01	0.31	0.07
Lack of fit	0.55	0.91	0.28	0.08	0.50	0.88	0.64
R2	0.60	0.52	0.27	0.39	0.71	0.22	0.38

หมายเหตุ: Yield; ปริมาณผลผลิต, TDF; เส้นใยอาหารทั้งหมด, WHC; ความสามารถในการอุ้มน้ำ; SC; ความสามารถในการพองตัว และ OBC; ความสามารถในการอุ้มน้ำมัน

8.1.1 การศึกษาผลของปัจจัยต่อค่าตอบสนองของเส้นใยอาหารจากหน่อไม้เศษเหลือส่วนฐาน

8.1.1.1 การศึกษาผลของปัจจัยต่อปริมาณผลผลิต

จากการทดลอง พบว่า ปริมาณผลผลิตอยู่ในช่วงร้อยละ 10.67-15.22 ดังแสดงในตาราง 19-20 จากการทดลองทั้งหมดปริมาณผลผลิตที่มีค่าต่ำสุดอยู่ในการทดลองที่ 11 มีค่าเท่ากับร้อยละ 10.67 ซึ่งทำการทดลองภายใต้ความเข้มข้นของเอนไซม์ไลเปส เท่ากับ 6 ยูนิตต่อกรัม และระยะเวลาการสกัด เท่ากับ 45 นาที .ขณะที่ปริมาณผลผลิตสูงสุดอยู่ในการทดลองที่ 12 มีค่าเท่ากับร้อยละ 15.22 สภาวะการทดลองภายใต้ความเข้มข้นของเอนไซม์ไลเปส เท่ากับ 6 ยูนิตต่อกรัม และระยะเวลาการสกัด เท่ากับ 45 นาที

1) การสร้างสมการทำนายปริมาณผลผลิตที่สกัดได้จากหน่อไม้เศษเหลือส่วนฐาน

การสร้างสมการทำนายปริมาณผลผลิตที่สกัดได้จากหน่อไม้เศษเหลือส่วนฐาน โดยนำค่าของปัจจัยที่ได้จากการวิเคราะห์สัมประสิทธิ์ของสมการถดถอยของปริมาณผลผลิตที่สกัดได้จากหน่อไม้เศษเหลือส่วนฐานในตาราง 22 มาเขียนให้อยู่ในรูปของสมการ ดังนี้

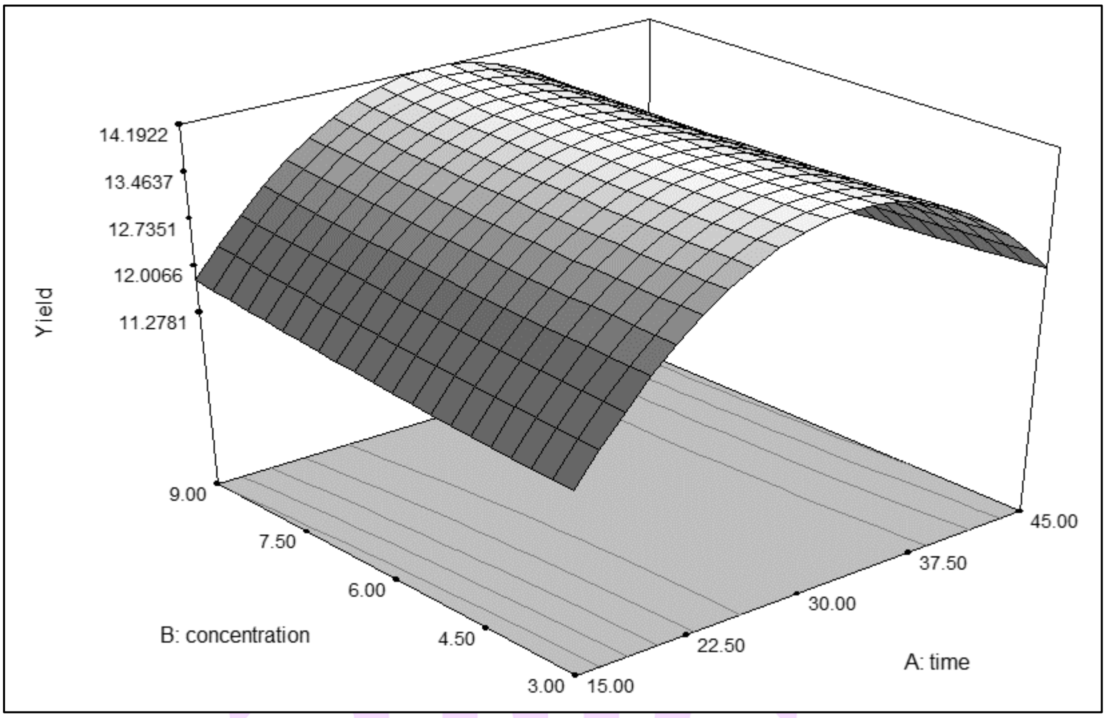
$$\text{ปริมาณผลผลิต} = +3.66222 +0.65278*A +0.076944*B -0.010037*A^2 +6.57407E-003*B^2 -4.61111E-003*A*B \quad \text{สมการที่ 1}$$

เมื่อพิจารณาการขาดความเหมาะสมของสมการ (lack of fit) ในตาราง 21 พบว่าค่า P-value ของ lack of fit มีค่าเท่ากับ 0.5514 ซึ่งมีค่ามากกว่า 0.05 สามารถสรุปได้ว่าแบบจำลองนี้มีตัวแปรเพียงพอในสมการ จึงสามารถนำสมการข้างต้นมาใช้ในการทำนายปริมาณผลผลิตที่สกัดได้จากหน่อไม้เศษเหลือส่วนฐาน

2) การสร้างพื้นผิวตอบสนองของปริมาณผลผลิตที่สกัดได้จากหน่อไม้เศษเหลือส่วนฐาน

เมื่อได้สมการสำหรับทำนายปริมาณผลผลิตที่สกัดได้จากหน่อไม้เศษเหลือส่วนฐาน จึงนำมาสร้างกราฟพื้นผิวตอบสนองปริมาณผลผลิตที่สกัดได้ (ภาพ 22) เมื่อพิจารณาความสัมพันธ์ระหว่างค่าตอบสนองและตัวแปรอิสระ พบว่า ปริมาณผลผลิตของเส้นใยอาหารจากหน่อไม้เศษเหลือส่วนฐาน มีความสัมพันธ์กับระยะเวลาในการสกัดในรูปแบบกำลังสอง (quadratic model) ดังสมการที่ 1 โดยมีค่าสัมประสิทธิ์การตัดสินใจ

(R^2) เท่ากับ 0.6021 จากสมการจะเห็นได้ว่า ระยะเวลามีผลต่อการเพิ่มขึ้นของปริมาณผลผลิต แต่เมื่อใช้ระยะเวลาที่นานขึ้นส่งผลต่อการลดลงของปริมาณผลผลิต ทั้งนี้ ความเข้มข้นของเอนไซม์ไลเปสไม่มีผลต่อปริมาณผลผลิต



ภาพ 22 แสดงกราฟพื้นผิวตอบสนอง (3D surface plot) แสดงอิทธิพลร่วม ของความเข้มข้นของเอนไซม์ไลเปสและระยะเวลาในการสกัด ต่อปริมาณผลผลิตของเส้นใยอาหาร จากหน่อไม้เศษเหลือส่วนฐาน

8.1.1.2 การศึกษาผลของปัจจัยต่อความสามารถในการอุ้มน้ำ

จากการทดลอง พบว่า ความสามารถในการอุ้มน้ำ มีค่าอยู่ในช่วง 6.91-11.43 ดังแสดงในตาราง 19-20 จากการทดลองทั้งหมดความสามารถในการอุ้มน้ำที่มีค่าต่ำสุดอยู่ในการทดลองที่ 16 มีค่าเท่ากับ 6.91 ซึ่งทำการทดลองภายใต้ความเข้มข้นของเอนไซม์ไลเปส เท่ากับ 9 ยูนิตต่อกรัม และระยะเวลาการสกัด เท่ากับ 30 นาที ขณะที่ความสามารถในการอุ้มน้ำสูงสุดอยู่ในการทดลองที่ 4 มีค่าเท่ากับร้อยละ 11.43 สภาวะการทดลองภายใต้ความเข้มข้นของเอนไซม์ไลเปส เท่ากับ 3 ยูนิตต่อกรัม และระยะเวลาการสกัด เท่ากับ 45 นาที

1) การสร้างสมการทำนายความสามารถในการอุ้มน้ำของเส้นใยอาหารที่สกัดได้จากหน่อไม้เศษเหลือส่วนฐาน

การสร้างสมการทำนายความสามารถในการอุ้มน้ำของเส้นใยอาหารที่สกัดได้จากหน่อไม้เศษเหลือส่วนฐาน โดยนำค่าของปัจจัยที่ได้จากการวิเคราะห์สัมประสิทธิ์ของสมการถดถอยของความสามารถในการอุ้มน้ำของเส้นใยอาหารที่สกัดได้จากหน่อไม้เศษเหลือส่วนฐาน ในตาราง 18 มาเขียนให้อยู่ในรูปของสมการ ดังนี้

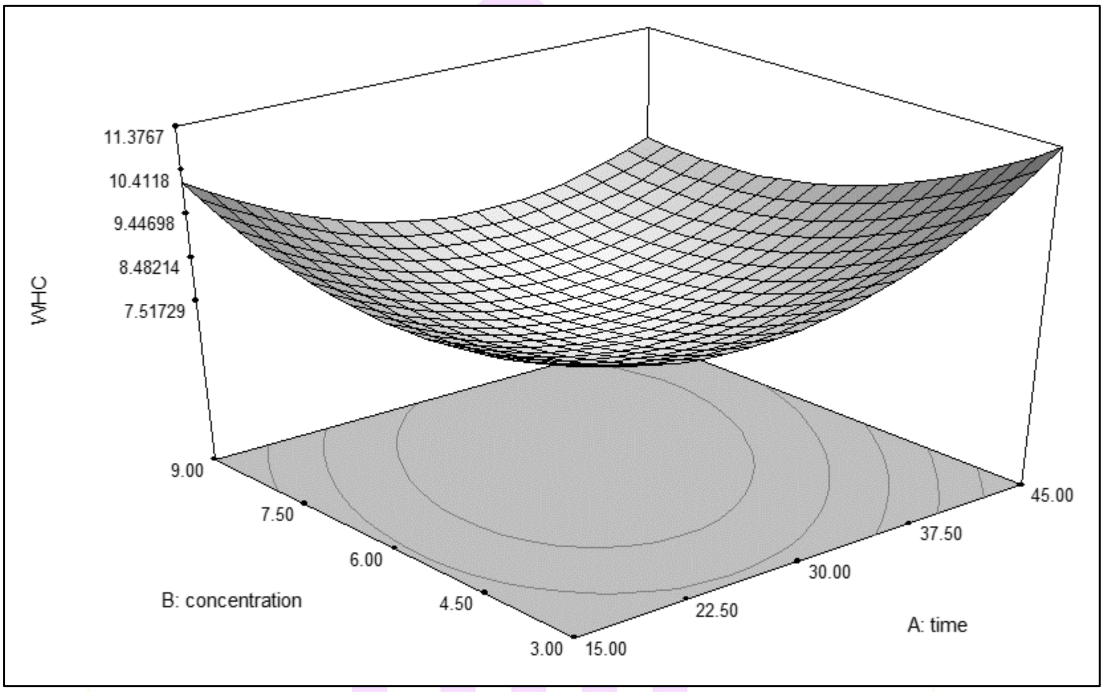
$$\text{ความสามารถในการอุ้มน้ำ} = +14.91333 - 0.27094*A - 0.96139*B + 6.36667E{-}003*A^2 + 0.10972*B^2 - 0.017333*A*B \quad \text{สมการที่ 2}$$

เมื่อพิจารณาการขาดความเหมาะสมของสมการ (lack of fit) ในตาราง 21 พบว่าค่า P-value ของ lack of fit มีค่าเท่ากับ 0.4995 ซึ่งมีค่าใกล้เคียง 0.05 มาก สามารถสรุปได้ว่าแบบจำลองนี้มีตัวแปรเพียงพอในสมการ จึงสามารถนำสมการข้างต้นมาใช้ในการทำนายความสามารถในการอุ้มน้ำของเส้นใยอาหารที่สกัดได้จากหน่อไม้เศษเหลือส่วนฐาน

2) การสร้างพื้นผิวตอบสนองของความสามารถในการอุ้มน้ำของเส้นใยอาหารที่สกัดได้จากหน่อไม้เศษเหลือส่วนฐาน

เมื่อได้สมการสำหรับทำนายความสามารถในการอุ้มน้ำของเส้นใยอาหารที่สกัดได้จากหน่อไม้เศษเหลือส่วนฐาน จึงนำมาสร้างกราฟพื้นผิวตอบสนองความสามารถในการอุ้มน้ำของเส้นใยอาหารที่สกัดได้ (ภาพ 23) เมื่อพิจารณาความสัมพันธ์ระหว่างค่าตอบสนองและตัวแปรอิสระ พบว่า ความสามารถในการอุ้มน้ำของเส้นใยอาหารจากหน่อไม้เศษเหลือส่วนฐาน มีความสัมพันธ์กับความเข้มข้นของเอนไซม์ไลเปสและระยะเวลาใน

การสกัดในรูปแบบพหุนามกำลังสอง (quadratic model) ดังสมการที่ 2 โดยมีค่าสัมประสิทธิ์การตัดสินใจ (R^2) เท่ากับ 0.7063 จากสมการจะเห็นได้ว่า ความสามารถในการอุ้มน้ำของเส้นใยอาหารจากหน่อไม้เศษเหลือส่วนฐานเพิ่มขึ้น เมื่อความเข้มข้นของเอนไซม์ไลเปสและระยะเวลาในการสกัดลดลง



ภาพ 23 แสดงกราฟพื้นผิวตอบสนอง (3D surface plot) แสดงอิทธิพลร่วมของความเข้มข้นของเอนไซม์ไลเปสและระยะเวลาในการสกัดต่อความสามารถในการอุ้มน้ำของเส้นใยอาหารจากหน่อไม้เศษเหลือส่วนฐาน

8.2 การวิเคราะห์ความแปรปรวนของแบบจำลองสหสัมพันธ์กำลังสองของค่าตอบสนองของปัจจัยในการผลิตเส้นใยอาหารจากหน่อไม้เศษเหลือส่วนปลายยอด

การวิเคราะห์ความแปรปรวนเป็นการตรวจสอบแหล่งผันแปรของแบบจำลองระหว่างค่าตอบสนอง ได้แก่ ปริมาณผลผลิต เส้นใยอาหาร และสมบัติทางเคมีกายภาพของเส้นใยอาหารจากหน่อไม้เศษเหลือส่วนปลายยอดที่ได้จากกรรมวิธี APL-G เมื่อพิจารณาความสัมพันธ์ระหว่างค่าตอบสนองและตัวแปรอิสระ พบว่า ความเข้มข้นของเอนไซม์ไลเปสและระยะเวลาในการสกัดไม่มีผลต่อค่าตอบสนองของเส้นใยอาหารจากหน่อไม้เศษเหลือส่วนปลายยอด ($p > 0.05$) ในรูปเชิงเส้น (linear model) พหุนามกำลังสอง (quadratic model) และอิทธิพลร่วมของสองปัจจัย (two factor interaction model; 2FI model) เมื่อพิจารณาความเหมาะสมของแบบจำลองถดถอย (lack of fit) ด้วยการเปรียบเทียบค่า P-value กับระดับนัยสำคัญ 0.05 ($p > 0.05$) แม้ว่าแบบจำลองดังกล่าวมีตัวแปรในสมการที่เพียงพอสามารถนำมาใช้ในการทำนายค่าตอบสนองต่าง ๆ อย่างไรก็ตาม ค่าสัมประสิทธิ์ในการตัดสินใจ (coefficient of determination; R2) ของแต่ละค่าตอบสนองมีค่าต่ำ แสดงให้เห็นว่าแบบจำลองถดถอยดังกล่าวไม่เหมาะสมในการนำมาอธิบายค่าตอบสนองในการผลิตเส้นใยอาหารจากหน่อไม้เศษเหลือส่วนปลายยอดด้วยกรรมวิธี APL-G โดยผลการทดลอง และค่าสัมประสิทธิ์ของตัวแปรอิสระ P-value และสัมประสิทธิ์การตัดสินใจ ดังแสดงในตาราง 22-24

ตาราง 22 แสดงปริมาณผลผลิต เส้นใยอาหารทั้งหมด และสมบัติทางเคมีกายภาพของเส้นใยอาหารจากหน่อไม้เศษเหลือส่วนปลายยอด ซึ่งได้จากกรรมวิธี APL-G

การทดลอง	ระดับตัวแปรอิสระ		ปริมาณผลผลิต (กรัม)		ปริมาณเส้นใยอาหาร (ร้อยละโดยน้ำหนักแห้ง)						สมบัติทางเคมีกายภาพ					
	เวลา (นาที)	ความเข้มข้น (U/g)			TDF		IDF		SDF		WHC (กรัมต่อกรัม)		SC (กรัมต่อกรัม)		OBC (กรัมต่อกรัม)	
			ค่าจากการทดลอง	ค่าจากการทำนาย	ค่าจากการทดลอง	ค่าจากการทำนาย	ค่าจากการทดลอง	ค่าจากการทำนาย	ค่าจากการทดลอง	ค่าจากการทำนาย	ค่าจากการทดลอง	ค่าจากการทำนาย	ค่าจากการทดลอง	ค่าจากการทำนาย	ค่าจากการทดลอง	ค่าจากการทำนาย
1	-1(15)	-1(3)	7.59	6.81	70.65	65.48	63.8	61.43	6.85	6.21	10.92	11.32	15.91	14.25	2.72	2.74
2	-1(15)	-1(3)	6.06	6.81	64.33	67.18	59.45	61.43	4.88	6.21	11.31	11.32	12.75	14.25	2.68	2.74
3	1(45)	-1(3)	6.38	6.85	60.73	61.2	56.91	56.2	3.83	4.23	10.61	10.95	12.05	15.07	2.73	2.97
4	1(45)	-1(3)	7.34	6.85	62.29	61.2	58.34	56.2	3.95	4.23	11.58	10.95	18.87	15.07	3.15	2.97
5	-1(15)	1(9)	7.18	7.01	65.14	62.69	60.49	59.29	4.65	4.17	11.85	11.32	16.61	17.06	2.9	2.71
6	-1(15)	1(9)	6.86	7.01	60.85	62.69	57.84	59.29	3.01	4.17	11.32	11.32	17.67	17.06	2.46	2.71
7	1(45)	1(9)	6.69	7.25	63.53	63.05	57.69	57.03	5.84	5.57	12.11	10.95	13.12	13.45	2.84	2.8
8	1(45)	1(9)	7.83	7.25	63.19	63.05	58.57	57.03	4.62	5.57	11.73	10.95	14.55	13.45	2.69	2.8
9	-1(15)	0(6)	7.29	7.18	60.11	63.79	57.74	57.92	2.37	2.65	9.9	11.32	15.74	14.93	2.78	2.96
10	-1(15)	0(6)	7.02	7.18	62.27	61.81	57.98	57.92	4.29	2.65	12.63	11.32	13.78	14.93	3.28	2.96
11	1(45)	0(6)	5.77	6.17	63.01	65.23	58.26	54.18	4.74	12.28	10.76	10.95	13.92	13.54	2.85	2.66
12	1(45)	0(6)	6.51	6.17	66.22	65.23	45.04	54.18	21.18	12.28	8.92	10.95	11.61	13.54	2.6	2.66
13	0(30)	-1(3)	7.04	7.44	64.79	62.21	60.01	58.77	4.78	3.77	11.35	11.76	15.07	16.45	3.12	2.82

หมายเหตุ: ตัวเลขนอกวงเล็บเป็นตัวแปรรหัส (coded variable) และตัวเลขในวงเล็บเป็นตัวแปรจริง (actual variable)

ตาราง 23 (ต่อ)

การทดลอง	ระดับตัวแปรอิสระ		ปริมาณผลผลิต (กรัม)		ปริมาณเส้นใยอาหาร (ร้อยละโดยน้ำหนักแห้ง)						สมบัติทางเคมีกายภาพ					
	เวลา (นาที)	ความเข้มข้น (U/g)			TDF		IDF		SDF		WHC (กรัมต่อกรัม)		SC (มิลลิกรัมต่อกรัมม)		OBC (กรัมต่อกรัม)	
			ค่าจากการทดลอง	ค่าจากการทำนาย	ค่าจากการทดลอง	ค่าจากการทำนาย	ค่าจากการทดลอง	ค่าจากการทำนาย	ค่าจากการทดลอง	ค่าจากการทำนาย	ค่าจากการทดลอง	ค่าจากการทำนาย	ค่าจากการทดลอง	ค่าจากการทำนาย	ค่าจากการทดลอง	ค่าจากการทำนาย
14	0(30)	–1(3)	7.79	7.44	58.4	62.21	54.29	58.77	4.11	3.77	11.89	11.76	16.88	16.45	2.65	2.82
15	0(30)	1(9)	6.92	6.78	63.3	64.26	59.02	58.11	4.28	5.83	13.05	11.76	13.27	12.68	2.58	2.82
16	0(30)	1(9)	6.59	6.78	63.99	64.26	55.25	58.11	8.74	5.83	8.9	11.76	11.15	12.68	3.2	2.82
17	0(30)	0(6)	6.99	6.81	64.67	63.22	59.43	56	5.24	7.22	11.16	11.76	13.3	13.85	2.81	2.83
18	0(30)	0(6)	6.75	6.81	64.23	63.22	57.75	56	6.48	7.22	14.23	11.76	16.29	13.85	2.57	2.83

หมายเหตุ: ตัวเลขนอกวงเล็บเป็นตัวแปรรหัส (coded variable) และตัวเลขในวงเล็บเป็นตัวแปรจริง (actual variable)

ตาราง 24 แสดงค่าสัมประสิทธิ์การตัดสินใจ และการวิเคราะห์ความแปรปรวนของแบบจำลองค่าตอบสนองของปริมาณผลผลิต เส้นใยอาหารทั้งหมด และสมบัติทางเคมีกายภาพของเส้นใยอาหารจากหน่อไม้เศษเหลือส่วนปลายยอด ซึ่งได้จากกรรมวิธี APL-G

แบบจำลองถดถอย	ปริมาณผลผลิต (กรัม)	ปริมาณเส้นใยอาหาร (ร้อยละโดยน้ำหนักแห้ง)			สมบัติทางเคมีกายภาพ		
		TDF	IDF	SDF	WHC (กรัมต่อกรัม)	SC (มิลลิลิตรอกรัม)	OBC (กรัมต่อกรัม)
สัมประสิทธิ์ของค่ารหัส							
A	-0.51	1.71	-1.87	4.82	-0.19	-0.70	-
B	-0.33	1.03	-0.33	1.03	-	-1.88	-0.03
A2	-0.14	0.30	0.05	0.25	-0.63	0.39	-
B2	0.30	0.02	2.44	-2.42	-	0.72	-
A×B	0.05	1.59	0.74	0.84	-	-1.11	-
A2×B	0.48	-1.69	-	-1.21	-	2.18	-
A×B2	0.58	-3.12	-	-4.96	-	-	-
P - value							
Model	0.48	0.38	0.44	0.42	0.60	0.34	0.66
Lack of fit	0.84	0.33	0.46	0.50	0.74	0.63	0.84
R2	0.41	0.46	0.30	0.44	0.07	0.41	0.01

หมายเหตุ: Yield; ปริมาณผลผลิต, TDF; เส้นใยอาหารทั้งหมด, IDF; เส้นใยอาหารที่ไม่ละลายน้ำ, SDF; เส้นใยอาหารที่ละลายน้ำ, WHC; ความสามารถในการอุ้มน้ำ; SC; ความสามารถในการพองตัว และ OBC; ความสามารถในการอุ้มน้ำมัน

การวิเคราะห์สภาวะที่เหมาะสมด้วยวิธีพื้นผิวตอบสนอง (response optimization)

การวิเคราะห์เพื่อหาสภาวะที่เหมาะสมของแต่ละปัจจัยในการผลิตเส้นใยอาหารจากหน่อไม้เศษเหลือส่วนฐาน และปลายยอด เพื่อให้ได้เส้นใยอาหารที่มีคุณภาพมากที่สุด โดยมีค่าการตอบสนองสูงสุด ด้วยโปรแกรม design expert เวอร์ชั่น 6.0.11 จากผลการวิเคราะห์ พบว่า แต่ละปัจจัย ได้แก่ ความเข้มข้น และระยะเวลาในการสกัดเส้นใยอาหารของเอนไซม์ไลเปสมีผลต่อค่าตอบสนองของเส้นใยอาหารจากหน่อไม้เศษเหลือส่วนฐาน โดยสภาวะที่เหมาะสมที่สุดในการย่อยเส้นใยอาหารจากหน่อไม้เศษเหลือส่วนฐานด้วยเอนไซม์ไลเปส คือ ความเข้มข้น 3 ยูนิตต่อกรัม และระยะเวลาในการสกัด 39.61 นาที ได้ปริมาณผลผลิตทั้งหมดที่สกัดได้ ร้อยละ 13.51 และความสามารถในการอุ้มน้ำ 10.21 กรัมต่อกรัม

บทที่ 5
บทสรุป

ศึกษาสมบัติทางกายภาพและองค์ประกอบทางเคมีโดยประมาณของหน่อไม้เศษเหลือส่วนฐานและปลายยอด เพื่อใช้เป็นแนวทางในการผลิตเส้นใยอาหารจากหน่อไม้เศษเหลือส่วนฐานและปลายยอด ทั้งหมด 4 กรรมวิธี และคัดเลือกกรรมวิธีการผลิตที่เหมาะสมเพื่อนำมาศึกษาชนิด และลำดับของปัจจัยที่เหมาะสมต่อปริมาณผลผลิต โครงสร้างทางจุลภาค สมบัติทางเคมีกายภาพ และสมบัติเชิงหน้าที่ของเส้นใยอาหาร ร่วมกับการศึกษาสภาวะที่เหมาะสมในการผลิตเส้นใยอาหารจากหน่อไม้เศษเหลือส่วนฐานและปลายยอดในระดับอุตสาหกรรม โดยวิธีพื้นผิวตอบสนอง สามารถสรุปผลการทดลองได้ ดังนี้

สรุปผลการวิจัย

1. การศึกษาองค์ประกอบทางกายภาพและเคมีโดยประมาณของหน่อไม้เศษเหลือ

จากการศึกษาสมบัติทางกายภาพ และองค์ประกอบทางเคมีโดยประมาณของหน่อไม้เศษเหลือส่วนฐาน และปลายยอด พบว่า หน่อไม้เศษเหลือส่วนฐาน มีสมบัติทางกายภาพ ได้แก่ ค่าความสว่าง และองค์ประกอบหลักทางเคมีโดยประมาณ ได้แก่ ปริมาณความชื้น เถ้า และไขมันสูงกว่าหน่อไม้เศษเหลือส่วนปลายยอด ซึ่งมีองค์ประกอบหลักทางเคมีโดยประมาณ ได้แก่ ปริมาณโปรตีน เส้นใยอาหารอาหารที่ไม่ละลายน้ำ และเส้นใยอาหารที่ละลายน้ำ ทั้งนี้ หน่อไม้เศษเหลือส่วนฐานและปลายยอดมีปริมาณเส้นใยอาหารที่ละลายน้ำ (SDF) ไม่แตกต่างกันทางสถิติ ($p > 0.05$)

2. การศึกษาวิธีการที่เหมาะสมในการผลิตหน่อไม้ผงที่มีเส้นใยอาหารเป็นส่วนประกอบ

จากการศึกษาวิธีการที่เหมาะสมในการผลิตหน่อไม้ผงที่มีเส้นใยอาหารเป็นส่วนประกอบจากหน่อไม้เศษเหลือส่วนฐานและปลายยอด ทั้งหมด 4 กรรมวิธี ได้แก่ การสกัดด้วยน้ำ (BSP-W) การแช่สารละลายกรดซิตริก (BSP-CA) การแช่สารละลายเอทานอล เบส และกรด (BSP-EAA) และการย่อยด้วยเอนไซม์อะไมเลส และโปรตีเอส (BSP-EN) พบว่า กรรมวิธี BSP-EN มีผลต่อปริมาณเส้นใยอาหารที่ละลายน้ำ (SDF) สามารถเปลี่ยนแปลงโครงสร้างทางจุลภาคให้มีลักษณะเป็นรูพรุน และเกิดร่องลึก จึงนำไปสู่การเพิ่มสมบัติทางเคมีกายภาพ ได้แก่ ความสามารถในการอุ้มน้ำ และการพองตัว อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ

($p < 0.05$) ดังนั้น กรรมวิธี BSP-EN จึงมีความเหมาะสมที่จะนำมาศึกษาชนิดและลำดับของเอนไซม์ในการสกัดเส้นใยอาหารจากหน่อไม้เศษเหลือส่วนฐานและปลายยอดในการศึกษาขั้นต่อไป

3. การศึกษาสภาวะที่เหมาะสมในการผลิตเส้นใยอาหารจากหน่อไม้เศษเหลือ

จากการศึกษาชนิดและลำดับของเอนไซม์ในการผลิตเส้นใยอาหารจากหน่อไม้เศษเหลือส่วนฐานและปลายยอด ทั้งหมด 8 กรรมวิธี ได้แก่ AGP, AGP-L, AGP-X, AGP-C, APL, APL-G, APL-X และ APL-C พบว่า เส้นใยอาหารจากหน่อไม้เศษเหลือส่วนฐาน และปลายยอดที่ผลิตได้จากการย่อยด้วยเอนไซม์ไลเปส ได้แก่ กรรมวิธี AGP-L และ APL-G ตามลำดับ มีผลต่อการเปลี่ยนแปลงโครงสร้างทางจุลภาคของเส้นใยอาหาร โดยทำให้พื้นที่ผิวมีลักษณะเป็นรูพรุน และร่องลึก สามารถสังเกตเห็นโครงสร้างที่เป็นโครงข่ายของเส้นใยอาหารได้อย่างชัดเจน ด้วยลักษณะดังกล่าว จึงมีส่วนช่วยเพิ่มความสามารถในการอุ้มน้ำ และการพองตัวของเส้นใยอาหารได้อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$) ดังนั้น กรรมวิธีทั้งสองจึงมีความเหมาะสมที่จะนำมาศึกษาศึกษาสภาวะที่เหมาะสมของเอนไซม์ไลเปสในการผลิตเส้นใยอาหารจากหน่อไม้เศษเหลือส่วนฐาน และปลายยอด ด้วยวิธีพื้นผิวตอบสนอง โดย พบว่า ความเข้มข้นของเอนไซม์ไลเปส และระยะเวลาในการสกัดมีผลต่อปริมาณผลผลิตและความสามารถในการอุ้มน้ำของเส้นใยอาหารจากหน่อไม้เศษเหลือส่วนฐานที่ผลิตจากกรรมวิธี AGP-L สภาวะที่เหมาะสมในการย่อยเส้นใยอาหารจากหน่อไม้เศษเหลือส่วนฐานด้วยเอนไซม์ไลเปส คือ ความเข้มข้น 3 ยูนิตต่อกรัม และระยะเวลา 39.61 นาที ทำให้ได้เส้นใยอาหารที่มีปริมาณผลผลิตทั้งหมดที่สกัดได้ เท่ากับ 13.51 กรัมโดยน้ำหนักแห้ง และความสามารถในการอุ้มน้ำ เท่ากับ 10.21 กรัมต่อกรัม ตามลำดับ

อภิปรายผลการวิจัย

1. การศึกษาสมบัติทางกายภาพ และเคมีโดยประมาณของหน่อไม้เศษเหลือ

1.1 สมบัติทางกายภาพของหน่อไม้เศษเหลือ

จากผลการศึกษาสมบัติทางกายภาพของหน่อไม้เศษเหลือส่วนฐาน และปลายยอด พบว่า หน่อไม้เศษเหลือส่วนฐาน มีค่าสี a^* สูงสุดแสดงให้เห็นว่าหน่อไม้เศษเหลือส่วนฐานมีสีแดงมากกว่าหน่อไม้เศษเหลือส่วนปลายยอด ซึ่งมีค่าสี L^* และ b^* สูงสุด แสดงให้เห็นว่าหน่อไม้เศษเหลือส่วนปลายยอดมีสีขาวและเหลือง ทั้งนี้ หน่อไม้เศษเหลือส่วนฐานและปลายยอด มีค่าความสว่างไม่แตกต่างกันทางสถิติ ($p > 0.05$) โดยมีค่าเท่ากับ 71.67 และ 70.62 ตามลำดับ ค่าความสว่างของหน่อไม้เศษเหลือ มีค่าต่ำกว่าเส้นใยอาหารจาก

ฟางข้าวบักวีต 59.94-84.83 (Meng, et al., 2019) อาจเนื่องจากสภาวะภายใต้กระบวนการอบแห้ง จึงทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงสีของวัตถุดิบ

1.2 องค์ประกอบทางเคมีโดยประมาณของหน่อไม้เศษเหลือ

จากผลการศึกษาองค์ประกอบทางเคมีโดยประมาณของหน่อไม้เศษเหลือส่วนฐานและปลายยอด พบว่า หน่อไม้เศษเหลือส่วนฐาน มีปริมาณความชื้น เถ้า และไขมันสูงกว่าหน่อไม้เศษเหลือส่วนปลายยอด ซึ่งมีปริมาณโปรตีน เส้นใยอาหารทั้งหมด และเส้นใยอาหารที่ไม่ละลายน้ำสูงสุด สอดคล้องกับผลการวิจัยของ Lin, et al. (2018) รายงานว่า ปลายยอดของหน่อไม้มีปริมาณโปรตีนสูงเมื่อเทียบกับเปลือกและฐาน ซึ่งมีปริมาณไขมันสูง นอกจากนี้จะเห็นได้ว่าปริมาณเส้นใยอาหารทั้งหมดเพิ่มขึ้นเมื่อปริมาณความชื้นลดลง โดย Ullah, et al. (2018) รายงานว่า ปริมาณเส้นใยอาหารมีการเปลี่ยนแปลงไปตามปริมาณความชื้นของวัตถุดิบ จึงส่งผลให้มีอัตราส่วนของเส้นใยอาหารทั้งหมดแตกต่างกัน นอกจากนี้หน่อไม้เศษเหลือส่วนฐานและปลายยอดมีปริมาณเส้นใยอาหารที่ละลายน้ำไม่แตกต่างกันทางสถิติ ($p > 0.05$) อาจเกี่ยวข้องกับกระบวนการแปรรูปหน่อไม้ โดยหน่อไม้ทั้งหมดถูกนำมาต้มในน้ำที่อุณหภูมิสูง โดยฐานของหน่อไม้ถูกตัดทิ้งก่อนนำมาแปรรูปจึงได้เป็นหน่อไม้เศษเหลือส่วนฐาน ในขณะที่ปลายยอดของหน่อไม้ถูกนำมาหั่นให้มีขนาดเล็กลงส่วนที่เหลือจากการหั่น คือ หน่อไม้เศษเหลือส่วนปลายยอด การให้ความร้อนที่อุณหภูมิสูงและการลดขนาดของวัตถุดิบอาจช่วยกระตุ้นการปลดปล่อยองค์ประกอบของเส้นใยอาหารที่ละลายน้ำ ส่งผลให้หน่อไม้เศษเหลือทั้งสองมีปริมาณเส้นใยอาหารที่ละลายน้ำลดลง

2. การศึกษาวิธีการที่เหมาะสมในการผลิตหน่อไม้ผง

2.1 สมบัติทางกายภาพของหน่อไม้ผง

จากผลการศึกษาสมบัติทางกายภาพของหน่อไม้ผง พบว่า หน่อไม้ผงจากหน่อไม้เศษเหลือส่วนฐานที่ได้จากกรรมวิธี BSP-EAA มีค่าความสว่างสูงกว่าหน่อไม้ผงที่ได้จากกรรมวิธีการผลิตอื่น ๆ ขณะที่หน่อไม้ผงจากหน่อไม้เศษเหลือส่วนปลายยอดที่ได้จากกรรมวิธีการผลิตทั้งสี่ไม่แตกต่างกัน นอกจากนี้ พบว่า BSP-EAA ของหน่อไม้ผงจากหน่อไม้เศษเหลือส่วนฐาน มีค่าสี a* เพิ่มขึ้น และมีค่าสี b* ลดลงอย่างมีนัยสำคัญ ($p < 0.05$) โดย ธนิกานต์ สันต์สวัสดิ์ (2549) รายงานว่า ค่าสี b* ที่ลดลง อาจเนื่องจากอัตราส่วนของสารละลายเอทานอลเพิ่มขึ้น ทำให้แคโรทีนอยด์ซึ่งเป็นสารสีในกากส้มเขียวหวานละลายออกมามากขึ้น ดังนั้น จึงเป็นไปได้ว่าการแช่ในสารละลายเอทานอลในกรรมวิธี BSP-EAA สามารถชะสารสีที่มีอยู่ในหน่อไม้ออกมาได้มากทำให้มีค่าสีแดง และเหลืองลดลง นอกจากนี้ เมื่อเทียบค่าสีขาว (L*) ของหน่อไม้ผง พบว่า มีค่าต่ำกว่าเส้นใยอาหารจากถั่ว (black eye) (84.22) และ

ฟางข้าวบัควีท (89.88) (Diedericks and Jideani, 2015; Meng, et al., 2019) อาจเนื่องจากการเกิดสีน้ำตาลชนิดที่ไม่เกี่ยวข้องกับเอนไซม์ (maillard reaction) โดยกระบวนการเกิดออกซิเดชันจากการสัมผัสกันระหว่างออกซิเจนกับเส้นใยอาหารภายใต้กระบวนการผลิต (Zhang, et al., 2018) เช่นเดียวกันกับ Ullah, et al. (2019) รายงานว่า อุณหภูมิสูงอาจทำให้เกิดปฏิกิริยาสีน้ำตาลชนิดที่ไม่เกี่ยวข้องกับเอนไซม์ภายใต้กระบวนการผลิตเส้นใยอาหาร จึงทำให้ผลิตภัณฑ์ที่ได้มีสีเข้มหรือมีค่าความสว่างลดลง

2.2 ปริมาณผลผลิตของหน่อไม้ผง

จากการวิเคราะห์ปริมาณผลผลิตของหน่อไม้ผงจากหน่อไม้เศษเหลือ พบว่า หน่อไม้ผงจากหน่อไม้เศษเหลือส่วนปลายยอดมีปริมาณผลผลิตสูงกว่าหน่อไม้ผงจากหน่อไม้เศษเหลือส่วนฐาน ซึ่งอาจเป็นไปได้ว่าปริมาณผลผลิตแปรผกผันตามปริมาณความชื้น ทั้งนี้จากผลการศึกษาองค์ประกอบทางเคมีโดยประมาณของหน่อไม้เศษเหลือ พบว่า หน่อไม้เศษเหลือส่วนฐานมีปริมาณความชื้น เท่ากับร้อยละ 88.26 ขณะที่หน่อไม้เศษเหลือส่วนปลายยอดมีปริมาณความชื้น เท่ากับร้อยละ 82.58 โดยน้ำหนักเปียก จากข้อมูลดังกล่าวแสดงให้เห็นว่าหน่อไม้เศษเหลือส่วนฐานมีปริมาณความชื้นสูงกว่าหน่อไม้เศษเหลือส่วนปลายยอด กล่าวคือ หน่อไม้เศษเหลือส่วนฐานมีโมเลกุลของน้ำสูงกว่าโมเลกุลของแข็งในวัตถุดิบ เมื่อนำมากำจัดส่วนประกอบต่าง ๆ ภายใต้การสกัด จึงทำให้มีปริมาณผลผลิตน้อยกว่าหน่อไม้เศษเหลือส่วนปลายยอด สอดคล้องกับการรายงานของ Ullah, et al. (2018) รายงานว่าปริมาณผลผลิตมีความสัมพันธ์กับปริมาณความชื้นที่แตกต่างกันในวัตถุดิบก่อนนำมาสกัดเส้นใยอาหาร

2.3 ปริมาณเส้นใยอาหารของหน่อไม้ผง

จากการวิเคราะห์ปริมาณเส้นใยอาหารของหน่อไม้ผง พบว่า หน่อไม้ผงจากหน่อไม้เศษเหลือส่วนฐาน และปลายยอดที่ได้จากกรรมวิธี BSP-EN มีปริมาณเส้นใยอาหารที่ละลายน้ำสูงสุด จากผลการทดลองแสดงให้เห็นว่า การใช้เอนไซม์อะไมเลส และโปรตีเอส (BSP-EN) มีประสิทธิภาพในการเพิ่มปริมาณเส้นใยอาหารที่ละลายน้ำได้สูงกว่ากรรมวิธีการผลิตอื่น ๆ แสดงให้เห็นว่า เอนไซม์ทั้งสองชนิดสามารถย่อยสลาย หรือกำจัดส่วนประกอบอื่น ๆ ที่ไม่ใช่เส้นใยอาหาร เช่น แป้ง และโปรตีน จึงอาจมีส่วนช่วยในการปลดปล่อยเส้นใยอาหารที่ละลายน้ำออกจากโครงสร้างของวัตถุดิบ (Zhang, et al., 2018) ปริมาณเส้นใยอาหารของหน่อไม้เศษเหลือในการศึกษานี้สูงกว่าเส้นใยอาหารทั้งหมด และเส้นใยอาหารที่ละลายน้ำของยี่หร่าที่ได้จากการย่อยด้วยเอนไซม์ (ร้อยละ 75.58 และ 7.85 ตามลำดับ) และการสกัดด้วยด่าง (ร้อยละ 62.14 และ 0.42 ตามลำดับ) นอกจากนี้ยังสูงกว่าเส้นใยอาหารทั้งหมด

และเส้นใยอาหารที่ละลายน้ำจากถั่ววอลนัทที่สกัดได้จากการใช้แรงเฉือนร่วมกับการย่อยด้วยเอนไซม์ (SEDF) การย่อยด้วยเอนไซม์ (EEDF) และการสกัดด้วยด่าง (AEDF) ได้แก่ เส้นใยอาหารทั้งหมด (ร้อยละ 69.59, 61.73 และ 58.11 ตามลำดับ) และเส้นใยอาหารที่ละลายน้ำ (ร้อยละ 6.53, 3.85 และ 0.88 ตามลำดับ) (Khan, et al., 2018; Ma and Mu, 2016)

2.4 โครงสร้างทางจุลภาคของหน่อไม้ผง

จากการศึกษาโครงสร้างทางจุลภาคของหน่อไม้ผง พบว่า หน่อไม้ผงจากหน่อไม้เศษเหลือส่วนฐาน และปลายยอดที่ได้จากกรรมวิธีการผลิตที่แตกต่างกัน มีโครงสร้างทางจุลภาคในระดับการถูกทำลายที่ต่างกัน สามารถสังเกตได้อย่างชัดเจนจากหน่อไม้ผงจากหน่อไม้เศษเหลือส่วนฐาน และปลายยอดที่ได้จากกรรมวิธี BSP-EN เนื่องจากโครงสร้างพื้นผิวมีลักษณะขรุขระ และเกิดร่องลึก จึงปรากฏโครงข่ายของเส้นใยอาหารได้อย่างชัดเจนมากขึ้น คาดว่าเป็นผลมาจากการย่อยสลายแป้ง และโปรตีนบางส่วนที่ติดอยู่บริเวณโดยรอบของเส้นใยอาหารโดยเอนไซม์อะไมเลส และโปรตีเอส นอกจากนี้ พบสารรูปทรงกลมบนพื้นผิวของหน่อไม้ผงจากหน่อไม้เศษเหลือส่วนปลายยอดที่ได้จากกรรมวิธี BSP-W, BSP-CA และ BSP-EAA โดย Zhu, et al. (2019) รายงานว่า สารทรงกลมที่พบบนพื้นผิวของเส้นใยอาหารจากรำข้าวฟ่างหางกระรอกที่ได้จากการย่อยด้วยเอนไซม์ คาดว่าเป็นตะกอนของโปรตีนหรือเม็ดสตาร์ชขนาดเล็ก จากผลการทดลองดังกล่าวแสดงให้เห็นว่าหน่อไม้ผงจากหน่อไม้เศษเหลือส่วนฐาน และปลายยอดที่ผ่านการย่อยด้วยเอนไซม์อะไมเลสและโปรตีเอสสามารถกำจัดโปรตีน และแป้งที่ติดอยู่บริเวณโครงสร้างของเส้นใยอาหารได้อย่างมีประสิทธิภาพ อาจเป็นไปได้ว่าโครงสร้างลักษณะนี้ก่อให้เกิดสมบัติการดูดซับของเส้นใยอาหาร เช่น ความสามารถในการอุ้มน้ำ การพองตัว และการอุ้มน้ำมันได้ดีกว่าหน่อไม้ผงที่มีเส้นใยอาหารเป็นส่วนประกอบที่ได้จากกรรมวิธีการผลิตอื่น ๆ

2.5 สมบัติทางเคมีกายภาพของหน่อไม้ผง

จากการทดสอบความสามารถในการอุ้มน้ำของหน่อไม้ผง พบว่า กรรมวิธี BSP-EN มีประสิทธิภาพในการเพิ่มความสามารถในการอุ้มน้ำของหน่อไม้ผงจากหน่อไม้เศษเหลือส่วนฐาน และปลายยอด โดยความสามารถในการอุ้มน้ำของหน่อไม้ผงจากหน่อไม้เศษเหลือสูงกว่าเส้นใยอาหารที่สกัดได้จากเปลือกมะม่วง (11.40 g/g) มะพร้าว (10.71 กรัมต่อกรัม) ยี่หร่า (6.26 กรัมต่อกรัม) เปลือกหน่อไม้ (5.90 กรัมต่อกรัม) รำข้าวฟ่างที่หมักด้วย *Bacillus natto* (4.4 กรัมต่อกรัม) และรำข้าวฟ่างหางกระรอก (3.24 กรัมต่อกรัม) (Chau, Chien and Chen, 2005; Chu, et al., 2019; Luo, et al., 2017; Ma, et al., 2015; Zhu, et al., 2018) ความสามารถในการอุ้มน้ำของเส้นใยอาหารขึ้นอยู่กับขนาดของอนุภาค สภาวะในการผลิต

ลักษณะพื้นผิว เช่น โครงสร้างทางจุลภาค ความพรุน และความหนาแน่นของประจุ เป็นต้น นอกจากนี้ ความสามารถในการอุ้มน้ำของเส้นใยอาหารยังเพิ่มขึ้นตามปริมาณของเส้นใยอาหารที่ละลายน้ำโดยเฉพาะเพคติน (Ma, et al., 2015) Chen, et al. (2019) รายงานว่าเส้นใยอาหารที่มีความสามารถในการอุ้มน้ำสูงเหมาะสำหรับนำไปใช้ในอุตสาหกรรมอาหาร เนื่องจากมีความเป็นไปได้ที่จะใช้เป็นสารที่ทำให้เกิดการคงตัว สารที่ทำให้เกิดเจล และสารปรับแต่งพื้นผิว

จากการทดสอบความสามารถในการพองตัวของหน่อไม้ผง พบว่า กรรมวิธี BSP-EN มีประสิทธิภาพเพิ่มความสามารถในการพองตัวของหน่อไม้ผงจากหน่อไม้เศษเหลือส่วนฐาน และปลายยอด โดยความสามารถในการพองตัวของหน่อไม้ผงในการศึกษานี้สอดคล้องกับเส้นใยอาหารทั้งหมดจากเปลือกหน่อไม้ (7.16 มิลลิลิตรต่อกรัม) ทั้งนี้ ผลการทดลองดังกล่าวยังคงต่ำกว่าเส้นใยอาหารจากยี่หร่าที่ผ่านการร่อนด้วยตะแกรงขนาด 120 เมซ (7.98 มิลลิลิตรต่อกรัม) (Luo, et al., 2017; Ma and Mu, 2016) ความสามารถในการพองตัวของเส้นใยอาหารเกี่ยวข้องกับลักษณะทางโครงสร้าง (การกระจายขนาดของอนุภาค พื้นที่ผิว และความหนาแน่นรวม) และองค์ประกอบทางเคมี ซึ่งอาจได้รับผลกระทบจากการปรับสภาพและวิธีการสกัดเส้นใยอาหาร (Lan, et al., 2012; Wuttipalakorn, Srichumpuang and Chiewchan, 2009; Yalegama, et al., 2013) เส้นใยอาหารที่มีความสามารถในการพองตัวสูงเกี่ยวข้องกับการกระจายตัวที่มีความหนาแน่นต่ำ ขนาดของอนุภาคที่เล็กลง มีพื้นที่ผิวขนาดใหญ่ และมีความสัมพันธ์เชิงบวกกับปริมาณเส้นใยอาหารทั้งหมด และเส้นใยอาหารที่ไม่ละลายน้ำ (López-Marcos, et al., 2015) จากผลการทดลองข้างต้นแสดงให้เห็นว่าความสามารถในการอุ้มน้ำ และการพองตัวของหน่อไม้ผงจากหน่อไม้เศษเหลือส่วนฐานสูงกว่าหน่อไม้เศษเหลือส่วนปลายยอด อาจเกิดจากการเตรียมตัวอย่างก่อนการแปรรูป เนื่องจากหน่อไม้เศษเหลือส่วนฐานถูกต้มในน้ำเดือดเพียงครั้งเดียวก่อนการเก็บรักษา ในขณะที่หน่อไม้เศษเหลือส่วนปลายยอดภายหลังจากการต้มในน้ำเดือดถูกนำมาหั่นให้มีขนาดเล็กลงแล้วนำไปต้มก่อนการแปรรูปอีกครั้ง ดังนั้น จึงเป็นไปได้ว่าการให้ความร้อนและการลดขนาดของอนุภาคทำให้สูญเสียปริมาณเส้นใยอาหารที่ละลายน้ำในหน่อไม้เศษเหลือส่วนปลายยอด ซึ่งส่งผลโดยตรงต่อสมบัติทางน้ำของเส้นใยอาหาร

จากการทดสอบความสามารถในการอุ้มน้ำมันของหน่อไม้ผง พบว่า กรรมวิธี BSP-W และ BSP-CA มีประสิทธิภาพเพิ่มความสามารถการอุ้มน้ำมันของหน่อไม้ผงจากหน่อไม้เศษเหลือส่วนฐาน โดยความสามารถในการอุ้มน้ำมันของหน่อไม้ผงจากหน่อไม้เศษเหลือ มีค่าต่ำกว่าเส้นใยอาหารจากเปลือกหน่อไม้ และยี่หร่า โดยมีค่าเท่ากับ 4.74

และ 6.12–7.25 กรัมต่อกรัม ตามลำดับ (Luo, et al., 2017; Ma and Mu, 2016) โดย Ma and Mu (2016) อ้างถึง Navarro-González, et al. (2011) รายงานว่า เส้นใยอาหารจากมะเขือเทศที่มีความสามารถในการอุ้มน้ำต่ำ เนื่องจากมีปริมาณลิกนินในวัตถุดิบอยู่น้อย ดังนั้น อาจเป็นไปได้ว่าหน่อไม้เศษเหลือส่วนปลายยอดมีปริมาณลิกนินต่ำกว่าหน่อไม้เศษเหลือส่วนฐาน จึงทำให้มีความสามารถในการอุ้มน้ำมันลดลง

2.6 องค์ประกอบทางเคมีโดยประมาณของหน่อไม้ผง

จากการวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมีโดยประมาณของหน่อไม้ผง พบว่า หน่อไม้ผงจากหน่อไม้เศษเหลือส่วนฐาน มีองค์ประกอบทางเคมีโดยประมาณ ได้แก่ ปริมาณความชื้น เถ้า และโปรตีนสูงสุด ขณะที่หน่อไม้ผงจากหน่อไม้เศษเหลือส่วนปลายยอดมีปริมาณไขมันสูงสุด องค์ประกอบทางเคมีโดยประมาณของหน่อไม้ผงจากหน่อไม้เศษเหลือทั้งสองมีปริมาณความชื้น โปรตีน และไขมันต่ำกว่าเส้นใยอาหารจากเปลือกมะเขือเทศ โดยมีค่าเท่ากับ 5.71, 13.30, 6.01 ร้อยละโดยน้ำหนักแห้ง ตามลำดับ ทั้งนี้ มีปริมาณเถ้าสูงกว่าเปลือกมะเขือเทศ (3.01 ร้อยละโดยน้ำหนักแห้ง) (Navarro-González, et al., 2011) อย่างไรก็ตาม ปริมาณเถ้าจากผลการทดลองนี้มีค่าต่ำกว่าเส้นใยอาหารจากต้นกระบองเพชร (*Opuntia ficus indica*) โดยมีค่าเท่ากับ 23.31 ร้อยละโดยน้ำหนักแห้ง (Rouhou, et al., 2018)

2.7 สมบัติเชิงหน้าที่ของหน่อไม้ผง

จากการทดสอบความสามารถในการดูดซึมกลูโคสของหน่อไม้ผง พบว่า หน่อไม้ผงจากหน่อไม้เศษเหลือส่วนฐานมีความสามารถในการดูดซึมกลูโคสสูงกว่าหน่อไม้ผงจากหน่อไม้เศษเหลือส่วนปลายยอด โดยความสามารถในการดูดซึมกลูโคสของหน่อไม้ผงที่ได้ในการศึกษานี้มีค่าต่ำกว่าเส้นใยอาหารจากกากเห็ดหอม (*Lentinula edodes*) (0.67 มิลลิกรัมต่อกรัม) ทั้งนี้ ความสามารถในการดูดซึมกลูโคสอาจเกี่ยวข้องกับการอัดขึ้นรูปของเส้นใยอาหาร สามารถปรับปรุงความพรุน และพื้นที่ผิวจำเพาะของอนุภาค จึงช่วยดักจับโมเลกุลของกลูโคสผ่านโครงข่ายของเส้นใยอาหาร (Xue, et al., 2019)

3. การศึกษาสภาวะที่เหมาะสมของเอนไซม์ในการผลิตเส้นใยอาหารจากหน่อไม้เศษเหลือ

3.1 สมบัติทางกายภาพของเส้นใยอาหารจากหน่อไม้เศษเหลือ

สีของส่วนผสมในอาหาร คือ ค่าแสดงคุณภาพที่สำคัญ ซึ่งส่งผลต่อการนำไปใช้ในอุตสาหกรรมอาหาร และอุตสาหกรรมอื่น ๆ ได้อย่างมีประสิทธิภาพ (Ullah, et al., 2018) จากผลการวิเคราะห์สมบัติทางกายภาพของเส้นใยอาหารจากหน่อไม้เศษเหลือ พบว่า กรรมวิธี APL-X และ APL-G มีประสิทธิภาพเพิ่มความสว่างของเส้นใยอาหาร

จากหน่อไม้เศษเหลือส่วนฐาน (85.28 และ 84.65) เช่นเดียวกันกับเส้นใยอาหารจากหน่อไม้เศษเหลือส่วนปลายยอดที่ได้จากกรรมวิธี APL-X (80.31) ทั้งนี้ ค่าความสว่าง (L*) ของเส้นใยอาหารจากหน่อไม้เศษเหลือในการศึกษานี้สูงกว่าเส้นใยอาหารจากผลบูริติ (*Mauritia flexuosa* L. f.) (53.13-62.38) และต่ำกว่าเส้นใยอาหารที่ละลายน้ำจากเมล็ดเฟล็กซ์ (75.19-81.56) (Moczkowskaa, et al., 2019; Resende, et al., 2019)

3.2 ปริมาณผลผลิตของเส้นใยอาหารจากหน่อไม้เศษเหลือ

จากผลการวิเคราะห์ปริมาณผลผลิตของเส้นใยอาหารจากหน่อไม้เศษเหลือ พบว่า กรรมวิธี APL-G, APL-X และ APL-C มีผลต่อปริมาณผลผลิตของเส้นใยอาหารจากหน่อไม้เศษเหลือส่วนฐาน และกรรมวิธี AGP มีผลต่อปริมาณผลผลิตของเส้นใยอาหารจากหน่อไม้เศษเหลือส่วนปลายยอด ทั้งนี้ ปริมาณผลผลิตของเส้นใยอาหารจากหน่อไม้เศษเหลือสูงกว่าเส้นใยอาหารจากกากหน่อไม้ (*Chimonobambusa quadrangularis*) (ร้อยละ 7.25-8.68 โดยน้ำหนักแห้ง) และต่ำกว่าเส้นใยอาหารจากต้นกระบองเพชร (ร้อยละ 47.25-49.80 โดยน้ำหนักแห้ง) (Chen, et al., 2019; Rouhou, et al., 2018)

3.3 ปริมาณเส้นใยอาหารที่สกัดได้จากหน่อไม้เศษเหลือ

จากการวิเคราะห์ปริมาณเส้นใยอาหารจากหน่อไม้เศษเหลือ พบว่า เส้นใยอาหารจากหน่อไม้เศษเหลือส่วนฐานที่ได้จากกรรมวิธี APL-G มีผลต่อปริมาณเส้นใยอาหารทั้งหมด (ร้อยละ 66) และเส้นใยอาหารที่ไม่ละลายน้ำ (ร้อยละ 62.84) ตามลำดับ จากผลการทดลองดังกล่าวจะเห็นได้ว่า APL-G สามารถเพิ่มปริมาณเส้นใยอาหารที่ไม่ละลายน้ำ ซึ่งอาจเกี่ยวข้องกับประสิทธิภาพการย่อยสลายองค์ประกอบทางเคมีต่าง ๆ รวมทั้งเส้นใยอาหารที่ละลายน้ำภายใต้กระบวนการผลิตเส้นใยอาหารด้วยชนิดและลำดับการย่อยสลายของเอนไซม์ชนิดต่าง ๆ อย่างเหมาะสม โดยองค์ประกอบทางเคมีต่าง ๆ ถูกชะผ่านน้ำที่ใช้ล้างในกระบวนการผลิต จึงมีส่วนช่วยเพิ่มปริมาณเส้นใยอาหารที่ไม่ละลายน้ำมากขึ้น โดย (Dang and Vasanthan, 2019) รายงานว่า การล้างด้วยน้ำช่วยลดระดับแป้ง โปรตีน ไขมัน เส้นใยอาหารที่ละลายน้ำ กรดไฟติก ฟอสฟอรัส และเถ้า ในขณะที่ปริมาณเส้นใยอาหารทั้งหมด เส้นใยอาหารที่ไม่ละลายน้ำ และเพนโตซานเพิ่มขึ้น ขณะที่เส้นใยอาหารจากหน่อไม้เศษเหลือส่วนปลายยอดที่ได้จากกรรมวิธี AGP-L, APL-X และ APL-X มีผลต่อการเพิ่มปริมาณเส้นใยอาหารทั้งหมด (ร้อยละ 60.91) เส้นใยอาหารที่ไม่ละลายน้ำ (ร้อยละ 54.72-55.98) และเส้นใยอาหารที่ละลายน้ำ (ร้อยละ 7.20) ปริมาณเส้นใยอาหารของหน่อไม้เศษเหลือในการศึกษานี้มีค่าต่ำกว่าที่รายงานไว้โดย Zhu, et al. (2018) พบว่า รำข้าวฟ่างหางกระรอก (*Setaria italic*) มีปริมาณเส้นใยอาหารทั้งหมด เส้นใยอาหารที่ไม่ละลายน้ำ และเส้นใยอาหารที่ละลายน้ำ

เท่ากับร้อยละ 79.22, 77.57 และ 1.75 ตามลำดับ แต่มีค่าสูงกว่าเส้นใยอาหารจากแป้งและเมล็ดควินัว (ร้อยละ 9.54-16.43, 5.66-13.20 และ 3.23-3.88), ผักโขม (ร้อยละ 11.15-13.02, 6.59-9.51 และ 3.51-4.56) และลูกเดือย (ร้อยละ 9.52-11.71, 7.91-9.73 และ 1.62-1.99) (Kurek, et al., 2018)

3.4 สมบัติทางเคมีกายภาพของเส้นใยอาหารจากหน่อไม้เศษเหลือ

จากการทดสอบความสามารถในการอุ้มน้ำของเส้นใยอาหารจากหน่อไม้เศษเหลือ พบว่า กรรมวิธี AGP-L มีผลต่อความสามารถในการอุ้มน้ำของเส้นใยอาหารจากหน่อไม้เศษเหลือส่วนฐาน (10.46 กรัมต่อกรัม) และกรรมวิธี APL-G และ APL มีผลต่อความสามารถในการอุ้มน้ำของเส้นใยอาหารจากหน่อไม้เศษเหลือส่วนปลายยอด (14.06 และ 12.77 กรัมต่อกรัม ตามลำดับ) ความสามารถในการอุ้มน้ำของเส้นใยอาหารจากหน่อไม้เศษเหลือสูงกว่าเส้นใยอาหารที่ไม่ละลายน้ำจากรำข้าว (2.6-3.2 กรัมต่อกรัม) กากมะพร้าว (8.92-13.87 กรัมต่อกรัม) กระบองเพชร (4.9-5.11 กรัมต่อกรัม) รำข้าวฟ่างหางกระรอก (*Setaria italic*) (3.24 กรัมต่อกรัม) มะม่วง (6.4 กรัมต่อกรัม) และฝรั่ง (10.2 กรัมต่อกรัม) แต่มีค่าต่ำกว่าเส้นใยอาหารที่ไม่ละลายน้ำจากฟางข้างบัควีต (16.5 กรัมต่อกรัม) และ สับปะรด (14.6 กรัมต่อกรัม) โดย Wen, et al. (2017) รายงานว่า ความสามารถในการอุ้มน้ำของเส้นใยอาหารที่เพิ่มขึ้น อาจเนื่องจากการมีเส้นใยอาหารที่ละลายน้ำ และมีโครงสร้างพื้นผิวคล้ายรวงผึ้ง ซึ่งเป็นผลมาจากการทำลายโครงสร้างของวัสดุประเภทลิกโนเซลลูโลส (lignocellulose) เกิดการกำจัดแป้ง โปรตีน และเฮมิเซลลูโลส จึงมีส่วนช่วยในการปรับปรุงพื้นที่ผิวจำเพาะและแสดงกลุ่มที่ชอบน้ำมากขึ้น นอกจากนี้ Yu, et al. (2018) รายงานว่า การย่อยด้วยเอนไซม์สามารถปลดปล่อยสารกลุ่มที่มีขั้ว และไม่มีขั้วจำนวนมาก จึงช่วยเพิ่มความสามารถในการอุ้มน้ำและน้ำมันของเส้นใยอาหารจากกากแครอท (*Daucus carota* Linn. var. Sativa Hoffm.)

จากการทดสอบความสามารถในการพองตัวของเส้นใยอาหารจากหน่อไม้เศษเหลือ พบว่า กรรมวิธี AGP-L, AGP-X, AGP, APL-G และ AGP-C มีผลต่อความสามารถในการพองตัวของเส้นใยอาหารจากหน่อไม้เศษเหลือส่วนฐาน (7.18-8.32 กรัมต่อกรัม) ตามลำดับ และ APL-G มีผลต่อความสามารถในการพองตัวของเส้นใยอาหารจากหน่อไม้เศษเหลือส่วนปลายยอด (11.89 มิลลิลิตรต่อกรัม) โดยความสามารถในการพองตัวของเส้นใยอาหารจากหน่อไม้เศษเหลือสูงกว่าเส้นใยอาหารทั้งหมดจากเปลือกหน่อไม้ (4.01 มิลลิลิตรต่อกรัม) มะม่วง (4.6 มิลลิลิตรต่อกรัม) เสารส (7.2 มิลลิลิตรต่อกรัม) ฝรั่ง (1.4 มิลลิลิตรต่อกรัม) สับปะรด (6.6 มิลลิลิตรต่อกรัม) และเส้นใยอาหารที่ไม่ละลายน้ำจากรำข้าวฟ่างหางกระรอก

(2.06 มิลลิลิตรต่อกรัม) แต่มีค่าต่ำกว่าเส้นใยอาหารจากกากมะพร้าว (4.80–18.05 มิลลิลิตรต่อกรัม) และกากโสม (15.05 มิลลิลิตรต่อกรัม) เส้นใยอาหาร (โดยเฉพาะอย่างยิ่งเส้นใยอาหารชนิดที่ไม่ละลายน้ำ) จะก่อตัวเป็นโครงสร้างส่วนที่ชอบน้ำ (hydrophilic matrix) สามารถสัมผัสกับน้ำได้มากขึ้นผ่านพันธะไฮโดรเจน จึงสามารถกักเก็บน้ำไว้ในโครงสร้าง นอกจากนี้ เมื่อพอลิแซ็กคาไรด์สัมผัสกับน้ำช่องว่างภายในโครงสร้างจะก่อตัวเสมือนผลึกเป็นสาเหตุทำให้เกิดการบวมของเส้นใยอาหาร (Benitez, et al., 2019)

จากการทดสอบความสามารถในการอุ้มน้ำมันของเส้นใยอาหารจากหน่อไม้เศษเหลือ พบว่า กรรมวิธี APL มีผลต่อความสามารถในการอุ้มน้ำมันของเส้นใยอาหารจากหน่อไม้เศษเหลือส่วนฐาน (2.57 กรัมต่อกรัม) ขณะที่เส้นใยอาหารจากหน่อไม้เศษเหลือส่วนปลายยอดที่ได้จากกรรมวิธีการผลิตที่แตกต่างกัน มีความสามารถในการอุ้มน้ำมันไม่ต่างกัน ($p > 0.05$) โดยความสามารถในการอุ้มน้ำมันของเส้นใยอาหารขึ้นอยู่กับลักษณะพื้นผิว ความหนาแน่นของประจุโดยรวม และส่วนที่ไม่ชอบน้ำของอนุภาคเส้นใยอาหาร (Zheng and Li, 2018) โครงสร้างพื้นผิวของเส้นใยอาหารจากหน่อไม้เศษเหลือส่วนฐานและปลายยอดที่ได้จากกรรมวิธี AGP-L และ APL-G ตามลำดับ มีลักษณะเป็นรูพรุน และร่องลึกมากกว่าเส้นใยอาหารที่ได้จากกรรมวิธีการผลิตอื่น ๆ ส่งผลให้มีพื้นที่ผิวจำเพาะมากขึ้น ช่วยปรับปรุงลักษณะพื้นที่ผิว จึงทำให้มีความสามารถในการอุ้มน้ำมันได้ดีกว่าหน่อไม้ผงที่มีเส้นใยอาหารเป็นส่วนประกอบ และเส้นใยอาหารจากพืชชนิดอื่น ๆ เช่น พีช (2.4 กรัมต่อกรัม) ข้าวโอ๊ต (2.0 กรัมต่อกรัม) ส้ม (Valencia) (1.3 กรัมต่อกรัม) ฝรั่ง (0.7 กรัมต่อกรัม) สับปะรด (0.7 กรัมต่อกรัม) เสาวรส (0.9 กรัมต่อกรัม) และมะม่วง (1.6 กรัมต่อกรัม) ตามผลการศึกษาของ Zhang, et al. (2019) เส้นใยอาหารที่ได้จากการย่อยด้วยเอนไซม์มีความสามารถในการอุ้มน้ำมันสูงสุด เนื่องจากมีลักษณะพื้นที่ผิวจำเพาะ และการแตกตัวของกลุ่มสารที่มีขั้วและไม่มีขั้วของเส้นใยอาหาร

3.5 องค์ประกอบทางเคมีโดยประมาณของเส้นใยอาหารจากหน่อไม้เศษเหลือ

จากการวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมีโดยประมาณของเส้นใยอาหารจากหน่อไม้เศษเหลือ พบว่า องค์ประกอบทางเคมีโดยประมาณของเส้นใยอาหารจากหน่อไม้เศษเหลือส่วนฐานและปลายยอดที่ได้จากกรรมวิธีการผลิตที่เหมาะสม มีปริมาณเถ้าใกล้เคียงกับเส้นใยอาหารที่ได้จากรำข้าว โดยมีค่าเท่ากับร้อยละ 3.1–15.6 โดยน้ำหนักแห้ง (Dang and Vasanthan, 2019) นอกจากนี้ มีปริมาณโปรตีนและไขมันต่ำกว่าเส้นใยอาหารที่ได้จากรำข้าวฟ่างที่ผ่านการหมักด้วยเชื้อแบคทีเรีย (*Bacillus natto*) (ร้อยละ 2.1–4.3 และ 2.9–3.6

โดยน้ำหนักแห้ง) และรำข้าว (ร้อยละ 14.5-17.8 และ 4.3-22.9 โดยน้ำหนักแห้ง) (Chu, et al., 2019; Dang and Vasanthan, 2019)

3.6 สมบัติเชิงหน้าที่ของเส้นใยอาหารจากหน่อไม้เศษเหลือ

จากการทดสอบความสามารถในการดูดซึมกลูโคสของเส้นใยอาหารจากหน่อไม้เศษเหลือ เมื่อพิจารณาร่วมกับโครงสร้างทางจุลภาคของเส้นใยอาหารจากหน่อไม้เศษเหลือ แสดงให้เห็นว่า เส้นใยอาหารจากหน่อไม้เศษเหลือส่วนฐาน และปลายยอดที่ได้จากกรรมวิธีการผลิตทั้งสี่สามารถย่อยสลายองค์ประกอบต่าง ๆ ทำให้อนุภาคของเส้นใยอาหารเกิดการแตกหัก มีรูพรุน และร่องลึก ส่งผลให้มีพื้นที่ผิวจำเพาะของเส้นใยอาหารที่มีขนาดใหญ่ขึ้น ทั้งนี้ ความสามารถในการดูดซึมกลูโคสของเส้นใยอาหารจากหน่อไม้เศษเหลือต่ำกว่าเส้นใยอาหารที่สกัดได้จากกากเห็ดหอม (*Lentinula edodes*) โดยมีค่าเท่ากับ 670 ไมโครกรัมต่อมิลลิกรัม (Xue, et al., 2019) ความสามารถในการดูดซึมกลูโคสของเส้นใยอาหารอาจเกี่ยวข้องกับความหนืด ความมีรูพรุน และพื้นที่ผิวจำเพาะของเส้นใยอาหาร เนื่องจากปัจจัยดังกล่าวมีส่วนช่วยในการกักเก็บโมเลกุลของกลูโคสไว้ในโครงสร้างของเส้นใยอาหาร จึงช่วยเพิ่มความสามารถในการดูดซึมและลดอัตราการแพร่กระจายของกลูโคส ความสามารถในการดูดซึมกลูโคสของเส้นใยอาหารอาจเกี่ยวข้องกับการมีพื้นที่ผิว หรือความพรุนเพิ่มขึ้นบนอนุภาคของเส้นใยอาหาร โดยโมเลกุลของกลูโคสในน้ำย่อยสามารถจับกับเส้นใยอาหารที่ไม่ละลายน้ำจึงมีส่วนช่วยในการลดระดับน้ำตาลในเลือด (Luo, et al., 2018)

3.7 โครงสร้างทางจุลภาคของเส้นใยอาหารจากหน่อไม้เศษเหลือ

จากการวิเคราะห์โครงสร้างทางจุลภาคของเส้นใยอาหารจากหน่อไม้เศษเหลือ พบว่า เส้นใยอาหารจากหน่อไม้เศษเหลือส่วนฐาน และปลายยอดที่ได้จากกรรมวิธีการผลิตที่แตกต่างกัน มีโครงสร้างทางจุลภาคต่างกัน โดยเส้นใยอาหารจากหน่อไม้เศษเหลือส่วนฐาน และปลายยอดที่ได้จากกรรมวิธี AGP-L และ APL-G ตามลำดับ มีพื้นผิวลักษณะเป็นรูพรุน และร่องลึกมากกว่ากรรมวิธีการผลิตอื่น ๆ นอกจากนี้ พบว่า เส้นใยอาหารจากกรรมวิธี APL-G มีสารทรงกลมอยู่บนพื้นผิว โดย Zhu, et al. (2018) ศึกษาโครงสร้างทางจุลภาคของเส้นใยอาหารจากรำข้าวฟ่างที่ผ่านการย่อยด้วยเอนไซม์ไซลาเนส โดยก่อนการย่อยเส้นใยอาหารด้วยเอนไซม์ไซลาเนสมีสารทรงกลมติดอยู่บนพื้นผิวของโครงสร้าง ซึ่งคาดว่าเป็นอนุภาคของโปรตีนหรือเม็ดแป้ง จึงเป็นไปได้ว่าเส้นใยอาหารที่ได้จากกรรมวิธี APL-G สามารถย่อยโมเลกุลขนาดใหญ่ของโปรตีนและแป้งให้เป็นโมเลกุลเล็กลงและปลดปล่อยออกจากโครงสร้างของเส้นใยอาหาร

3.8 สภาวะที่เหมาะสมในการผลิตเส้นใยอาหาร ด้วยวิธีพื้นผิวตอบสนอง (response surface methodology; RSM)

จากการวิเคราะห์ความสัมพันธ์ระหว่างค่าตอบสนอง และตัวแปรต้นในการผลิตเส้นใยอาหารจากหน่อไม้เศษเหลือส่วนฐาน พบว่า ระยะเวลาในการสกัดของเอนไซม์ไลเปสมีผลต่อปริมาณผลผลิตของเส้นใยอาหารจากหน่อไม้เศษเหลือส่วนฐาน โดยปริมาณผลผลิตของเส้นใยอาหารจากหน่อไม้เศษเหลือส่วนฐานเพิ่มขึ้นตามระยะเวลาในการสกัด แต่เมื่อระยะเวลาในการสกัดนานขึ้นส่งผลให้ปริมาณผลผลิตลดลง เช่นเดียวกันกับผลการทดลองของ Ma, et al. (2015) พบว่า ประสิทธิภาพในการสกัดเส้นใยอาหารเพิ่มขึ้นตามระยะเวลาในการทำปฏิกิริยา แต่จะลดลงเมื่อใช้ระยะเวลาเพิ่มขึ้นขึ้น ผลการทดลองนี้แสดงให้เห็นว่าการเพิ่มระยะเวลาในการสกัดอาจส่งผลต่อการเพิ่มกิจกรรมของเอนไซม์ไลเปส ประกอบกับภายใต้อุณหภูมิคงที่อาจกระตุ้นการสลายตัวของส่วนประกอบต่าง ๆ ให้อยู่ในรูปของโมเลกุลที่ละลายน้ำได้ ดังนั้นส่วนประกอบต่าง ๆ จึงถูกกำจัดออกจากเส้นใยอาหารผ่านน้ำที่ใช้ล้างในกระบวนการผลิตได้ง่ายขึ้น ส่งผลให้มีปริมาณผลผลิตลดลง นอกจากนี้ พบว่า ความเข้มข้น และระยะเวลาในการสกัดมีผลต่อความสามารถในการอุ้มน้ำของเส้นใยอาหารจากหน่อไม้เศษเหลือส่วนฐาน โดยความสามารถในการอุ้มน้ำของเส้นใยอาหารจากหน่อไม้เศษเหลือฐานเพิ่มขึ้น เมื่อความเข้มข้นของเอนไซม์ไลเปสและระยะเวลาในการสกัดลดลง เนื่องจากเอนไซม์ไลเปสมีบทบาทในการย่อยโมเลกุลของไขมันไปเป็นอนุภาคคอลลอยด์ที่จำเป็นในการดูดซึมไขมันหรือน้ำมันต่าง ๆ (Mccleary, 2018) อาจเป็นไปได้ว่า ความเข้มข้นของเอนไซม์ไลเปสที่ระยะเวลาในการสกัดนานขึ้นอาจส่งผลต่อการเพิ่มประสิทธิภาพการย่อยสลายของเอนไซม์ ทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงโครงสร้างพื้นผิว และความหนาแน่นของประจุโดยรวม ซึ่งอาจได้รับผลกระทบจากปัจจัยต่าง ๆ ได้แก่ ปัจจัยภายใน เช่น โครงสร้างทางเคมีของตัวอย่าง และปัจจัยภายนอก เช่น ความเป็นกรดด่าง อุณหภูมิ และความแข็งแรงของไอออน เป็นต้น (Bayar, Friji and Kammoun, 2017)

ข้อเสนอแนะ

ข้อเสนอแนะในการนำผลการวิจัยไปใช้

การเปรียบเทียบกรรมวิธีการผลิตที่เหมาะสมต่อสมบัติทางเคมีกายภาพ และสมบัติเชิงหน้าที่ของเส้นใยอาหารจากหน่อไม้เศษเหลือส่วนฐาน และปลายยอดในการศึกษาครั้งนี้ อาจเป็นประโยชน์สำหรับการนำมาใช้เป็นแนวทางในการปรับปรุงคุณภาพ และการศึกษาเพื่อทำความเข้าใจเกี่ยวกับความสัมพันธ์ระหว่างโครงสร้าง และฤทธิ์ทางชีวภาพของเส้นใย

อาหารในการศึกษาขั้นต่อไป และเนื่องจากเส้นใยอาหารจากหน่อไม้เศษเหลือที่ผลิตได้ มีความสามารถในการอุ้มน้ำ พองตัว และอุ้มน้ำมันได้ดี จึงเป็นที่น่าสนใจในการนำเส้นใยอาหารไปใช้เป็นส่วนประกอบเพื่อเสริมโภชนาการ และปรับปรุงคุณภาพของผลิตภัณฑ์อาหารชนิดต่าง ๆ เช่น ผลิตภัณฑ์ขนมอบ อาหารเช้าซีเรียล และบะหมี่กึ่งสำเร็จรูป เป็นต้น

ข้อเสนอแนะในการวิจัยครั้งต่อไป

เส้นใยอาหารจากหน่อไม้เศษเหลือ มีค่าความสว่างต่ำเมื่อเทียบกับเส้นใยอาหารที่ผลิตได้จากวัตถุดิบชนิดอื่น ๆ และยังคงมีกลิ่นของหน่อไม้ จึงควรมีการศึกษาเกี่ยวกับชนิด อัตราส่วน และลำดับการเติมตัวทำละลายที่เหมาะสมในการกำจัดสารสี และกลิ่นออกจากเส้นใยอาหาร โดยไม่ส่งผลกระทบต่อปริมาณผลผลิต เส้นใยอาหารทั้งหมด สมบัติทางเคมีกายภาพ และสมบัติเชิงหน้าที่ของเส้นใยอาหาร นอกจากนี้ ควรมีการประเมินผลการตอบสนองของสมบัติเชิงหน้าที่อื่น ๆ ทั้งในระดับห้องปฏิบัติการ และในระบบทางเดินอาหารของสิ่งมีชีวิต เช่น ความสามารถในการดูดซึมคอเลสเตอรอล กรดน้ำดี โซเดียมไนไตรท์ และความสามารถในการยับยั้งกิจกรรมของเอนไซม์แอลฟาอะไมเลส เพื่อใช้เป็นข้อมูลยืนยันประสิทธิภาพของเส้นใยอาหารจากหน่อไม้เศษเหลือ สำหรับการนำไปใช้เป็นส่วนประกอบในอาหารเพื่อสุขภาพ

ภาคผนวก

ภาคผนวก ก การวิเคราะห์สมบัติทางกายภาพ

การวิเคราะห์ค่าสี ด้วยระบบ CIE (L*, a*, b*)

ระบบสี CIE หรือ CIELAB เป็นระบบการวัดสีในรูปค่าสี L*, a* และ b* โดยค่า L* แสดงถึงความมืดและสว่าง (Darkness / Lightness) ค่า a* แสดงถึงสีแดงและสีเขียว (Redness / Greenness) และค่า b* แสดงถึงสีเหลืองและสีน้ำเงิน (Yellowness / Blueness) โดยกำหนดความหมายของค่าที่วัดได้ ดังนี้

ค่า L*	0	หมายถึง ความมืด (Darkness)
	100	หมายถึง ความสว่าง (Lightness)
ค่า a*	+	หมายถึง สีแดง (Redness)
	–	หมายถึง สีเขียว (Greenness)
ค่า b*	+	หมายถึง สีเหลือง (Yellowness)
	–	หมายถึง สีน้ำเงิน (Blueness)

ก่อนการวัดค่าสีของตัวอย่างทำการปรับมาตรฐานเครื่อง (Calibration) โดยใช้แผ่นกระเบื้องสีขาวมาตรฐาน (White blank; L* = 97.67, a* = –0.18 และ b* = 1.84) และวัดค่าสีของตัวอย่าง โดยบรรจุลงในภาชนะใส ทำการทดลอง 3 ซ้ำ

ภาคผนวก ข การวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมีโดยประมาณ

การวิเคราะห์ปริมาณความชื้น (moisture content)

วิเคราะห์ปริมาณความชื้น (moisture content) ตามวิธีของ AOAC (2011) อบถ้วยใส่ตัวอย่าง (moisture can) ในตู้อบลมร้อนที่อุณหภูมิ 130 ±3 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 1 ชั่วโมง ปล่อยให้เย็นในโถดูดความชื้น ชั่งถ้วยใส่ตัวอย่างพร้อมฝา ด้วยเครื่องชั่งละเอียด (ทศนิยม 4 ตำแหน่ง) และบันทึกน้ำหนัก (w_1) ชั่งตัวอย่าง 2 กรัม ลงในถ้วยใส่ตัวอย่าง ด้วยเครื่องชั่งละเอียด (ทศนิยม 4 ตำแหน่ง) และบันทึกน้ำหนัก (w_0) นำไปอบในตู้อบลมร้อนที่อุณหภูมิ 130±3 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 1 ชั่วโมง ปล่อยให้เย็นในโถดูดความชื้น ชั่งน้ำหนักหลังอบด้วยเครื่องชั่งละเอียด (ทศนิยม 4 ตำแหน่ง) และบันทึกน้ำหนัก (w_2) โดยมีสูตรการคำนวณหาปริมาณความชื้น ดังนี้

ปริมาณความชื้น (% น้ำหนักเปียก, % wet basis)

$$= \frac{(W_0 + W_1 - W_2)\times 100}{w_0}$$

w_0 = น้ำหนักตัวอย่าง (g)

w_1 = น้ำหนักถ้วยใส่ตัวอย่าง (g)

w_2 = น้ำหนักหลังอบ (g)

ปริมาณความชื้น (% น้ำหนักแห้ง, % dry basis)

$$= \frac{(W_0 + W_1 - W_2)\times 100}{w_2 - w_1}$$

w_0 = น้ำหนักตัวอย่าง (g)

w_1 = น้ำหนักถ้วยใส่ตัวอย่าง (g)

w_2 = น้ำหนักหลังอบ (g)

การวิเคราะห์ปริมาณเถ้า (ash)

วิเคราะห์หาปริมาณเถ้า (ash) ตามวิธีของ AOAC (2011) เผาถ้วยกระเบื้องในเตาเผาที่อุณหภูมิ 550 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 1 ชั่วโมง ปล่อยให้เย็นในโถดูดความชื้น ชั่งถ้วยกระเบื้อง ด้วยเครื่องชั่งละเอียด (ทศนิยม 4 ตำแหน่ง) และบันทึกน้ำหนัก (w_1) ชั่งตัวอย่าง 3-5 กรัม ด้วยเครื่องชั่งละเอียด (ทศนิยม 4 ตำแหน่ง) และบันทึกน้ำหนัก (w_0) นำไปเผาในเตาเผาที่อุณหภูมิ 550 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 4 ชั่วโมง หรือจนกระทั่งได้เถ้าสีขาวทั้งหมด ปล่อยให้เย็นในโถดูดความชื้น ชั่งน้ำหนักหลังเผา ด้วยเครื่องชั่งละเอียด (ทศนิยม 4 ตำแหน่ง) และบันทึกน้ำหนัก (w_2) โดยมีสูตรการคำนวณหาปริมาณเถ้า ดังนี้

$$\text{ปริมาณเถ้า (\%)} = \frac{(w_2 - w_1)\times 100}{w_0}$$

w_0 = น้ำหนักตัวอย่าง (g)

w_1 = น้ำหนักถ้วยกระเบื้อง (g)

w_2 = น้ำหนักหลังเผา (g)

การวิเคราะห์ปริมาณไขมัน (lipid)

การวิเคราะห์หาปริมาณไขมัน (lipid) ตามวิธีของ AOAC (2011) อบกระบอกแก้วก้นกลมในตู้อบลมร้อนที่อุณหภูมิ 103-105 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 1 ชั่วโมง ปล่อยให้เย็นในโถดูดความชื้น ชั่งน้ำหนักกระบอกแก้วก้นกลม ด้วยเครื่องชั่งละเอียด (ทศนิยม 4 ตำแหน่ง) และบันทึกน้ำหนัก (w_1) ชั่งตัวอย่าง 3 กรัม (w_0) บนกระดาษกรองที่ปราศจากไขมัน ด้วยเครื่องชั่งละเอียด (ทศนิยม 4 ตำแหน่ง) และบันทึกน้ำหนัก ห่อกระดาษกรองแล้วใส่ลงไปในทิมเบิล อุดทิมเบิลด้วยสำลีที่ปราศจากไขมัน จากนั้น นำทิมเบิลใส่ลงไปในส่วนที่เป็นไซฟอนของเครื่องสกัดไขมัน (soxtherm apparatus) เติมปิโตเลียมอีเทอร์ลงในกระบอกแก้วก้นกลม ปริมาตร 150 มิลลิลิตร สกัดไขมันด้วยชุดวิเคราะห์ปริมาณไขมันในอาหาร ยี่ห้อ : VELP รุ่น : SER148/6 จากนั้นนำกระบอกแก้วก้นกลมที่มีไขมันอบในตู้อบลมร้อนที่อุณหภูมิ 125 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 30 นาที ปล่อยให้เย็นในโถดูดความชื้น ชั่งน้ำหนักกระบอกแก้วก้นกลมที่มีไขมันหลังอบ ด้วยเครื่องชั่งละเอียด (ทศนิยม 4 ตำแหน่ง) และบันทึกน้ำหนัก (w_2) โดยมีสูตรการคำนวณหาปริมาณไขมัน ดังนี้

$$\text{ปริมาณไขมันหยาบ (\%)} = \frac{(w_2 - w_1) \times 100}{w_0}$$

w_0 = น้ำหนักตัวอย่าง (g)

w_1 = น้ำหนักกระบอกแก้วก้นกลม (g)

w_2 = น้ำหนักหลังอบ (g)

การวิเคราะห์ปริมาณโปรตีน (protein)

การวิเคราะห์หาปริมาณโปรตีน (protein) โดยวิธีไบยูเรต (AOAC, 2011) มีขั้นตอนการวิเคราะห์ ดังนี้

1. การเตรียมสารละลาย

1) การเตรียมสารละลายไบยูเรต

ชั่งคอปเปอร์ซัลเฟตเพนตระไฮเดรต (copper (II) sulphate pentahydrate) จำนวน 1.5 กรัม และโพแทสเซียมโซเดียมทาร์เทรต (sodium potassium tartrate) จำนวน 6 กรัม ละลายในน้ำกลั่น ปริมาตร 500 มิลลิลิตร เติมสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ที่ความเข้มข้นร้อยละ 10 ปริมาตร 300 มิลลิลิตร เติมโพแทสเซียมไอโอไดด์ จำนวน 1 กรัม ปรับปริมาตรด้วยน้ำกลั่นให้ครบ 1 ลิตร

2) การเตรียมสารละลายมาตรฐาน

ชั่งโบรวีนซีรัมอัลบูมิน (bovine serum albumin) จำนวน 100 มิลลิกรัม ละลายในน้ำกลั่น และปรับปริมาตรให้ครบ 10 มิลลิลิตร ได้สารละลายมาตรฐานโบรวีนซีรัมอัลบูมินที่ความเข้มข้น 10 มิลลิกรัมต่อมิลลิลิตร ทำการเจือจางสารละลายมาตรฐานให้ได้ความเข้มข้นต่าง ๆ ได้แก่ 0, 1, 2, 3 และ 4 มิลลิกรัมต่อมิลลิลิตร โดยนำสารละลายโบรวีนซีรัมอัลบูมินที่ความเข้มข้น 10 มิลลิกรัมต่อมิลลิลิตร ปริมาตร 50, 100, 150 และ 200 ไมโครลิตร ปรับปริมาตรด้วยน้ำกลั่นให้ครบ 0.5 มิลลิลิตร

3) การเตรียมสารละลายตัวอย่าง

ชั่งตัวอย่าง จำนวน 1 กรัม เติมลงในน้ำกลั่น ปริมาตร 20 มิลลิลิตร ปั่นผสมให้เข้ากัน แล้วนำสารละลายตัวอย่างที่ได้ปั่นเหวี่ยงที่ความเร็ว 10,000 รอบต่อนาที ดูดส่วนใสปริมาตร 0.5 มิลลิลิตร ทำการทดลอง 3 ซ้ำ

2. วิธีการวิเคราะห์

เติมสารละลายไบยูเรท ปริมาตร 2.5 มิลลิลิตร ลงในสารละลายมาตราฐานโปรตีนที่ความเข้มข้นต่าง ๆ และสารละลายตัวอย่าง ปริมาตร 0.5 มิลลิลิตร โดยใช้น้ำกลั่นเป็นสารละลายควบคุม (blank) จะได้ปริมาตรทั้งหมด เท่ากับ 3 มิลลิลิตร ผสมให้เข้ากันด้วยเครื่องเขย่าสาร (vortex) บ่มที่อุณหภูมิห้อง เป็นเวลา 30 นาที แล้วนำไปวัดค่าการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 510 นาโนเมตร นำผลการวิเคราะห์ที่ได้มาสร้างกราฟมาตรฐานระหว่างค่าการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 510 นาโนเมตรกับความเข้มข้นของโบรวีนซีรัมอัลบูมิน

การวิเคราะห์ปริมาณเส้นใยอาหารทั้งหมด (total dietary fiber)

วิเคราะห์หาปริมาณเส้นใยอาหารทั้งหมดโดยใช้ชุดทดสอบของ Megazyme ชั่งตัวอย่าง 1 กรัม ลงในบีกเกอร์ ขนาด 400 มิลลิลิตร เติมสารละลายบัฟเฟอร์ MES-TRIS ที่อุณหภูมิ 24 องศาเซลเซียส ค่าความเป็นกรดด่างเท่ากับ 8.2 ปริมาตร 40 มิลลิลิตร กวนจนกระทั่งตัวอย่างละลายในสารละลาย จากนั้นเติมสารละลายแอลฟาอะไมเลส ปริมาตร 50 ไมโครลิตร ในขณะเดียวกันกวนที่ความเร็วต่ำ แล้วบ่มในอ่างน้ำควบคุมอุณหภูมิที่ 95-100 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 35 นาที พร้อมเขย่าอย่างต่อเนื่อง จากนั้น ทำให้เย็นลงที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส ขูดรอบบีกเกอร์ด้วยช้อนตักสาร และล้างด้วยน้ำกลั่น ปริมาตร 10 มิลลิลิตร เติมสารละลายโปรตีเอส ปริมาตร100 ไมโครลิตร บ่มในอ่างน้ำควบคุมอุณหภูมิที่ 60 ± 1 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 30 นาที ปรับค่าความเป็นกรดด่างเท่ากับ 4.1-4.8 โดยเติมสารละลายกรดไฮโดรคลอริกที่ความเข้มข้น 0.561 นอร์มัล ปริมาตร 5 มิลลิลิตร จากนั้นเติมสารละลายอะไมโลกลูโคซิเดส ปริมาตร 200 ไมโครลิตร บ่มในอ่างน้ำควบคุมอุณหภูมิที่ 60 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 30 นาที พร้อมเขย่าอย่างต่อเนื่อง นำสารละลายตัวอย่างที่ได้กรองผ่านแก้วกรอง (fritted crucible) โดยใช้ร่วมกับปั๊มแบบสุญญากาศ นำสารละลายตัวอย่างที่ผ่านการกรองเติมสารละลายเอทานอลที่ความเข้มข้นร้อยละ 95 ที่อุณหภูมิ 60 องศา-เซลเซียส ปริมาตร 225 มิลลิลิตร โดยปริมาตรของเอทานอลต่อตัวอย่าง ควรอยู่ในอัตราส่วน 4 ต่อ 1 ตั้งทิ้งไว้ที่อุณหภูมิห้อง เป็นเวลา 1 ชั่วโมง ทำการกรองผ่านแก้วกรอง (fritted crucible) ล้างตะกอนด้วยเอทานอลที่ความเข้มข้นร้อยละ 78 และ 95 และอะซิโตน ปริมาตรอย่างละ 15 มิลลิลิตร ตามลำดับ นำตะกอนที่ได้อบแห้งข้ามคืนที่อุณหภูมิ 103 องศาเซลเซียส ปล่อยให้เย็นในโถดูดความชื้น เป็นเวลา 1 ชั่วโมง จากนั้นนำไปวิเคราะห์หาปริมาณเถ้า และโปรตีนด้วยวิธีไบยูเรต (biuret) แล้วคำนวนหาปริมาณเส้นใยอาหารทั้งหมด

การวิเคราะห์ปริมาณเส้นใยอาหารที่ไม่ละลายน้ำ (Insoluble dietary fiber)

วิเคราะห์หาปริมาณเส้นใยอาหารทั้งหมดโดยใช้ชุดทดสอบของ Megazyme ชั่งตัวอย่าง 1 กรัม ลงในบีกเกอร์ ขนาด 400 มิลลิลิตร เติมสารละลายบัฟเฟอร์ MES-TRIS ที่อุณหภูมิ 24 องศาเซลเซียส ค่าความเป็นกรดด่างเท่ากับ 8.2 ปริมาตร 40 มิลลิลิตร กวนจนกระทั่งตัวอย่างละลายในสารละลาย จากนั้นเติมสารละลายแอลฟาอะไมเลส ปริมาตร 50 ไมโครลิตร ขณะเดียวกันกวนที่ความเร็วต่ำ แล้วบ่มในอ่างน้ำควบคุมอุณหภูมิที่ 95-100 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 35 นาที พร้อมเขย่าอย่างต่อเนื่อง จากนั้น ทำให้เย็นลงที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส ขูดรอบบีกเกอร์ด้วยช้อนตักสาร และล้างด้วยน้ำกลั่น ปริมาตร 10 มิลลิลิตร เติมสารละลายโปรตีเอส ปริมาตร 100 ไมโครลิตร บ่มในอ่างน้ำควบคุมอุณหภูมิที่ 60 ± 1 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 30 นาที ปรับค่าความเป็นกรดด่างเท่ากับ 4.1-4.8 โดยเติมสารละลายกรดไฮโดรคลอริกที่ความเข้มข้น 0.561 นอร์มัล ปริมาตร 5 มิลลิลิตร จากนั้นเติมสารละลายอะไมโลกลูโคซิเดส ปริมาตร 200 ไมโครลิตร บ่มในอ่างน้ำควบคุมอุณหภูมิที่ 60 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 30 นาที พร้อมเขย่าอย่างต่อเนื่อง นำสารละลายตัวอย่างที่ได้กรองผ่านแก้วกรอง (fritted crucible) โดยใช้ร่วมกับปั๊มแบบสุญญากาศ ล้างตะกอนด้วยน้ำกลั่นที่อุณหภูมิ 70 องศาเซลเซียส ปริมาตร 10 มิลลิลิตร แล้วล้างด้วยเอทานอลที่ความเข้มข้นร้อยละ 95 และอะซิโตน ปริมาตรอย่างละ 10 มิลลิลิตร ตามลำดับ นำตะกอนที่ได้อบแห้งในตู้อบลมร้อน เป็นเวลาข้ามคืน ที่อุณหภูมิ 103 องศาเซลเซียส ปล่อยให้เย็นในโถดูดความชื้น เป็นเวลา 1 ชั่วโมง วิเคราะห์หาปริมาณเถ้า และโปรตีนด้วยวิธีไบยูเรท (biuret) คำนวณหาปริมาณเส้นใยอาหารที่ไม่ละลายน้ำ

การวิเคราะห์ปริมาณเส้นใยอาหารที่ละลายน้ำ (Soluble dietary fiber)

วิเคราะห์หาปริมาณเส้นใยอาหารทั้งหมดโดยใช้ชุดทดสอบของ Megazyme ชั่งตัวอย่าง 1 กรัม ลงในบีกเกอร์ ขนาด 400 มิลลิลิตร เติมสารละลายบัฟเฟอร์ MES-TRIS ที่อุณหภูมิ 24 องศาเซลเซียส ค่าความเป็นกรดด่างเท่ากับ 8.2 ปริมาตร 40 มิลลิลิตร กวนจนกระทั่งตัวอย่างละลายในสารละลาย จากนั้นเติมสารละลายแอลฟาอะไมเลส ปริมาตร 50 ไมโครลิตร ขณะเดียวกันกวนที่ความเร็วต่ำ แล้วบ่มในอ่างน้ำควบคุมอุณหภูมิที่ 95-100 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 35 นาที พร้อมเขย่าอย่างต่อเนื่อง จากนั้น ทำให้เย็นลงที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส ขูดรอบบีกเกอร์ด้วยช้อนตักสาร และล้างด้วยน้ำกลั่น ปริมาตร 10 มิลลิลิตร เติมสารละลายโปรตีเอส ปริมาตร100 ไมโครลิตร บ่มในอ่างน้ำควบคุมอุณหภูมิที่ 60 ± 1 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 30 นาที ปรับค่าความเป็นกรดด่างเท่ากับ 4.1-4.8 โดยเติม

สารละลายกรดไฮโดรคลอริกที่ความเข้มข้น 0.561 นอร์มัล ปริมาตร 5 มิลลิลิตร จากนั้นเติมสารละลายอะไมโลกลูโคซิเดส ปริมาตร 200 ไมโครลิตร บ่มในอ่างน้ำควบคุมอุณหภูมิที่ 60 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 30 นาที พร้อมเขย่าอย่างต่อเนื่อง กรองสารละลายตัวอย่างผ่านแก้วกรอง (fritted crucible) โดยใช้ร่วมกับปั๊มแบบสุญญากาศ ล้างตะกอนด้วยสารละลายเอทานอลที่ความเข้มข้นร้อยละ 78 และ 95 และอะซิโตน ปริมาตรอย่างละ 15 มิลลิลิตร ตามลำดับ นำตะกอนที่ได้อบแห้งในตู้อบลมร้อนที่อุณหภูมิ 103 องศาเซลเซียส เป็นเวลาข้ามคืน ทำให้เย็นในโถดูดความชื้น เป็นเวลา 1 ชั่วโมง จากนั้นนำไปวิเคราะห์เถ้า และโปรตีนด้วยวิธีไบยูเรท (biuret) แล้วคำนวณหาปริมาณเส้นใยอาหารที่ละลายน้ำ

ภาคผนวก ค ผลการวิเคราะห์ข้อมูล

ปริมาณผลผลิต (yield)

หน่อไม้ผงที่มีเส้นใยอาหารเป็นส่วนประกอบ และเส้นใยอาหารจากหน่อไม้เศษเหลือส่วนฐาน และปลายยอด ซึ่งได้จากกรรมวิธีการผลิตต่าง ๆ ถูกนำมาเปรียบเทียบปริมาณผลผลิตที่สกัดได้ มีผลการทดลองดังแสดงในตาราง 25 และ 26

1. ปริมาณความชื้น และผลผลิตของหน่อไม้ผงที่มีเส้นใยอาหารเป็นส่วนประกอบจากหน่อไม้เศษเหลือส่วนฐาน และปลายยอด

ตาราง 25 แสดงปริมาณความชื้น และผลผลิตของหน่อไม้ผงที่มีเส้นใยอาหารเป็นส่วนประกอบจากหน่อไม้เศษเหลือส่วนฐาน และปลายยอด ซึ่งได้จากกรรมวิธีการผลิตที่แตกต่างกัน

กรรมวิธีการผลิต	ร้อยละโดยน้ำหนักเปียก	
	ความชื้น	ผลผลิต
หน่อไม้เศษเหลือส่วนฐาน		
BSP–W	3.27±0.07^{a}	12.40±0.22^{b}
BSP–CA	2.28±0.18^{a}	13.54±0.15^{a}
BSP–EAA	2.46±0.17^{a}	12.17±0.38^{b}
BSP–EN	1.69±0.19^{a}	12.50±0.24^{b}
หน่อไม้เศษเหลือส่วนปลายยอด		
BSP–W	3.20±0.08^{ab}	17.60±0.21^{ab}
BSP–CA	3.61±0.21^{a}	17.29±0.16^{b}
BSP–EAA	2.55±0.17^{bc}	17.62±0.22^{ab}
BSP–EN	1.94±0.41^{c}	18.45±0.36^{a}

หมายเหตุ: ค่าเฉลี่ย ± ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน (n=3), ตัวเลขที่มีกลุ่มอักษร (a, b) ในแนวตั้งเดียวกันกำกับต่างกันแสดงถึงความแตกต่างทางสถิติ ($p \leq 0.05$), BSP–W; การสกัดด้วยน้ำ, BSP–CA; การแช่กรดซิตริก, BSP–EAA; การแช่สารละลายเอทานอล เบส และกรด และ BSP–EN; การย่อยด้วยเอนไซม์อะไมเลสและโปรตีเอส

2. ปริมาณความชื้น และผลผลิตของเส้นใยอาหารจากหน่อไม้เศษเหลือส่วนฐาน และปลายยอด

ตาราง 26 แสดงปริมาณความชื้นและผลผลิตของเส้นใยอาหารจากหน่อไม้เศษเหลือส่วนฐาน และปลายยอด ซึ่งได้จากกรรมวิธีการผลิตด้วยเอนไซม์ที่แตกต่างกัน

กรรมวิธีการผลิตด้วยเอนไซม์	ร้อยละโดยน้ำหนักเปียก	
	ความชื้น	ผลผลิต
หน่อไม้เศษเหลือส่วนฐาน		
APL	2.19±0.10[b]	15.37±0.22[a]
APL-X	1.74±0.40[b]	15.20±0.15[a]
APL-G	1.98±0.27[b]	15.00±0.38[a]
ALP-C	1.75±1.02[b]	14.79±0.24[a]
AGP	3.62±0.55[a]	14.30±0.27[ab]
AGP-L	3.76±0.91[a]	13.69±0.20[bc]
AGP-X	4.43±0.33[a]	14.49±0.80[b]
AGP-C	3.59±0.05[a]	13.24±0.37[c]
หน่อไม้เศษเหลือส่วนปลายยอด		
APL	3.11±1.00[ab]	7.68±1.21[cd]
APL-X	2.46±0.20[abc]	7.87±1.31[bc]
APL-G	2.58±0.25[abc]	6.55±0.23[de]
ALP-C	2.21±0.12[bc]	5.75±0.19[e]
AGP	2.75±0.84[abc]	9.43±0.06[a]
AGP-L	1.75±0.04[c]	9.00±0.26[ab]
AGP-X	2.90±0.75[acb]	6.57±0.40[de]
AGP-C	3.58±0.96[a]	6.17±0.35[e]

หมายเหตุ: ค่าเฉลี่ย ± ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน (n=3), ตัวเลขที่มีกลุ่มอักษร (a, b, c) ในแนวตั้งเดียวกันกำกับต่างกันแสดงถึงความแตกต่างทางสถิติ ($p \leq 0.05$), APL; เอนไซม์อะไมเลส,โปรตีเอส และไลเปส, APL-X; เอนไซม์อะไมเลส, โปรตีเอส, ไลเปส และไซลาเนส, APL-G; เอนไซม์อะไมเลส,โปรตีเอส, ไลเปส

และกลูโคอะไมเลส, APL–C; เอนไซม์อะไมเลส,โปรตีเอส, ไลเปส และเซลลูเลส, AGP; อะไมเลส, กลูโคอะไมเลส และโปรตีเอส, AGP–L; อะไมเลส, กลูโค-อะไมเลส, โปรตีเอส และไลเปส, AGP–X; อะไมเลส, กลูโคอะไมเลส, โปรตีเอส และไซลาเนส, AGP–C; อะไมเลส, กลูโคอะไมเลส, โปรตีเอส และเซลลูเลส

สมบัติทางเคมีกายภาพ (physicochemical properties)

หน่อไม้ผงที่มีเส้นใยอาหารเป็นส่วนประกอบ และเส้นใยอาหารจากหน่อไม้เศษเหลือส่วนฐานและปลายยอด ซึ่งได้จากกรรมวิธีการผลิตต่าง ๆ ถูกนำมาเปรียบเทียบสมบัติทางเคมีกายภาพ ได้แก่ ความสามารถในการอุ้มน้ำ พองตัว และอุ้มน้ำมัน มีผลการทดลองดังแสดงในตาราง 27 และ 28

1. สมบัติทางเคมีกายภาพของหน่อไม้ผงที่มีเส้นใยอาหารเป็นส่วนประกอบจากหน่อไม้เศษเหลือส่วนฐาน และปลายยอด

ตาราง 27 แสดงความสามารถในการอุ้มน้ำ พองตัว และอุ้มน้ำมันของหน่อไม้ผงที่มีเส้นใยอาหารเป็นส่วนประกอบจากหน่อไม้เศษเหลือส่วนฐาน และปลายยอด

กรรมวิธีการผลิต	WHC (กรัมต่อกรัม)	SC (มิลลิลิตรต่อกรัม)	OBC (กรัมต่อกรัม)
หน่อไม้เศษเหลือส่วนฐาน			
BSP-W	6.04±0.14[bc]	1.92±0.47[b]	1.56±0.03[a]
BSP-CA	5.18±0.14[c]	1.29±0.55[b]	1.48±0.07[a]
BSP-EAA	12.37±0.35[b]	1.79±0.74[b]	1.19±0.10[b]
BSP-EN	15.08±0.23[a]	7.23±1.53[a]	1.43±0.06[b]
หน่อไม้เศษเหลือส่วนปลายยอด			
BSP-W	4.87±0.15[b]	1.24±0.48[b]	1.09±0.03[a]
BSP-CA	5.66±0.33[b]	1.25±1.08[b]	1.02±0.10[a]
BSP-EAA	7.32±0.20[b]	0.90±0.03[b]	0.95±0.04[a]
BSP-EN	7.73±0.83[a]	5.05±0.18[a]	0.98±0.07[a]

หมายเหตุ: ค่าเฉลี่ย ± ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน (n=3), ตัวเลขที่มีกลุ่มอักษร (a, b) ในแนวตั้งเดียวกันกำกับต่างกันแสดงถึงความแตกต่างทางสถิติ ($p \leq 0.05$), BSP-W; การสกัดด้วยน้ำ, BSP-CA; การแช่กรดซิตริก, BSP-EAA; การแช่สารละลายเอทานอล เบส และกรด และ BSP-EN; การย่อยด้วยเอนไซม์อะไมเลสและโปรตีเอส, AGP; อะไมเลส, กลูโคอะไมเลส และโปรตีเอส, AGP-L; อะไมเลส, กลูโคอะไมเลส, โปรตีเอส และไลเปส, AGP-X; อะไมเลส, กลูโค-อะไมเลส, โปรตีเอส และไซลาเนส, AGP-C; อะไมเลส, กลูโคอะไมเลส, โปรตีเอส และเซลลูเลส

2. สมบัติทางเคมีกายภาพของเส้นใยอาหารจากหน่อไม้เศษเหลือส่วนฐาน และปลายยอด

ตาราง 28 แสดงความสามารถในการอุ้มน้ำ การพองตัว และการอุ้มน้ำมันของหน่อไม้ผงที่มีเส้นใยอาหารเป็นส่วนประกอบจากหน่อไม้เศษเหลือส่วนฐาน และปลายยอด

กรรมวิธีการผลิตด้วยเอนไซม์	WHC (กรัมต่อกรัม)	SC (มิลลิลิตรต่อกรัม)	OBC (กรัมต่อกรัม)
หน่อไม้เศษเหลือส่วนฐาน			
APL	9.23±0.15[bc]	4.93±0.11[b]	2.57±0.21[a]
APL-G	9.80±0.59[ab]	7.76±0.95[a]	1.94±0.10[ab]
APL-X	6.85±0.71[e]	4.40±0.00[b]	2.10±0.51[ab]
ALP-C	7.70±0.46[de]	4.44±0.86[b]	2.35±0.48[ab]
AGP	9.59±0.72[ab]	8.61±1.10[a]	1.92±0.38[b]
AGP-L	10.46±0.37[a]	8.71±0.30[a]	2.24±0.45[ab]
AGP-X	8.41±0.57[cd]	8.32±1.76[a]	2.14±0.26[ab]
AGP-C	8.27±0.35[d]	7.18±1.00[a]	2.02±0.31[ab]
หน่อไม้เศษเหลือส่วนปลายยอด			
APL	12.77±0.60[a]	10.60±4.56[ab]	2.57±0.35[a]
APL-X	14.06±1.80[a]	11.89±2.11[a]	2.68±0.77[a]
APL-G	8.05±0.64[bc]	9.49±0.58[ab]	2.69±0.22[a]
ALP-C	7.82±0.28[bc]	10.17±1.84[ab]	2.55±0.26[a]
AGP	7.05±0.70[c]	9.10±0.63[ab]	2.20±0.11[a]
AGP-L	5.61±0.30[d]	7.88±0.65[ab]	2.25±0.16[a]
AGP-X	8.15±0.20[bc]	9.38±0.81[ab]	2.87±1.17[a]
AGP-C	8.63±0.31[b]	10.09±0.42[ab]	2.05±0.99[a]

หมายเหตุ: ค่าเฉลี่ย ± ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน (n=3), ตัวเลขที่มีกลุ่มอักษร (a, b, c, d, e) ในแนวตั้งเดียวกันกำกับต่างกันแสดงถึงความแตกต่างทางสถิติ ($p \leq 0.05$), APL; เอนไซม์อะไมเลส,โปรตีเอส และไลเปส, APL-X; เอนไซม์อะไมเลส,โปรตีเอส, ไลเปส และไซลาเนส, APL-G; เอนไซม์อะไมเลส,โปรตีเอส, ไลเปส และกลูโค-อะไมเลส, APL-C; เอนไซม์อะไมเลส,โปรตีเอส, ไลเปส และเซลลูเลส, AGP; อะไมเลส, กลูโคอะไมเลส และโปรตีเอส, AGP-L; อะไมเลส, กลูโคอะไมเลส,

โปรตีเอส และไลเปส, AGP–X; อะไมเลส, กลูโคอะไมเลส, โปรตีเอส และไซลาเนส
, AGP–C; อะไมเลส, กลูโคอะไมเลส, โปรตีเอส และเซลลูเลส

มหาวิทยาลัยพะเยา
UNIVERSITY OF PHAYAO

สมบัติทางเชิงหน้าที่ (functional properties)

เส้นใยอาหารจากหน่อไม้เศษเหลือส่วนฐานและปลายยอด ซึ่งได้จากกรรมวิธีการผลิตที่เหมาะสม ได้แก่ APL-G และ AGP-L ตามลำดับ ถูกนำมาเปรียบเทียบสมบัติเชิงหน้าที่ของเส้นใยอาหารร่วมกับกรรมวิธีการผลิตกลุ่มควบคุม ได้แก่ APL และ AGP ตามลำดับ มีผลการทดลองดังแสดงในตาราง 29

ตาราง 29 แสดงสมบัติเชิงหน้าที่ของเส้นใยอาหารจากหน่อไม้เศษเหลือส่วนฐานและปลายยอด ซึ่งได้จากกรรมวิธีเหมาะสม

กรรมวิธีการผลิตด้วยเอนไซม์	ความสามารถในการดูดซึมกลูโคส (µg/mg)
หน่อไม้เศษเหลือส่วนฐาน	
APL	5.36±1.56^{a}
APL-G	4.12±1.11^{b}
AGP	0.45±0.00^{c}
AGP-L	0.99±0.57^{bc}
หน่อไม้เศษเหลือส่วนปลายยอด	
APL	1.19±0.20^{bc}
APL-G	2.41±0.29^{b}
AGP	2.10±1.62^{bc}
AGP-L	1.41±0.78^{bc}

หมายเหตุ: ข้อมูลแสดงเป็นค่าเฉลี่ย ± ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน (n=3), ตัวเลขที่มีกลุ่มอักษร (a, b) ในแนวตั้งเดียวกันกำกับต่างกันแสดงถึงความแตกต่างทางสถิติ ($p \leq 0.05$), APL; อะไมเลส โปรตีเอส และไลเปส, APL-X; อะไมเลส โปรตีเอส ไลเปส และไซลาเนส, APL-G; อะไมเลส โปรตีเอส ไลเปส และกลูโคอะไมเลส, APL-C; อะไมเลส โปรตีเอส ไลเปส และเซลูเลส. AGP; อะไมเลส กลูโคอะไมเลส และโปรตีเอส, AGP-L; อะไมเลส กลูโคอะไมเลส โปรตีเอส และไลเปส. AGP-X; อะไมเลส กลูโคอะไมเลส โปรตีเอส และไซลาเนส. AGP-C; อะไมเลส กลูโคอะไมเลส โปรตีเอส และเซลลูเลส, AGP; อะไมเลส, กลูโคอะไมเลส และโปรตีเอส, AGP-L; อะไมเลส, กลูโคอะไมเลส, โปรตีเอส และไลเปส, AGP-X;

อะไมเลส, กลูโคอะไมเลส, โปรตีเอส และไซลาเนส, AGP-C; อะไมเลส, กลูโค-อะไมเลส, โปรตีเอส และเซลลูเลส

บรรณานุกรม

AOAC. (2011). *Official methods of analysis 18th ed.* Gaithersburg: MD: Association of Official Analytical Chemists.

Bayar, N., Friji, M. and Kammoun, R. (2017). Optimization of enzymatic extraction of pectin from *Opuntia ficus indica* cladodes after mucilage removal. *Food Chemistry, 241*, 127-134.

Benitez, V., Rebollo-Hernanz, M., Hernanz, S., Chantres, S., Aguilera, Y. and Martin-Cabrejas, M. A. (2019). Coffee parchment as a new dietary fiber ingredient: Functional and physiological characterization. *Food Research International, 122*, 105-113.

Chau, C., Chien, P. and Chen, C. (2005). Influence of insoluble fiber fractions from carambola and carrot on intestinal enzymes and fecal bacterial enzymes in hamsters. *Nutrition Research, 25*(10), 947-957.

Chen, B., Cai, Y., Liu, T., Huang, L., Deng, X. and Zhao, Q. (2019). Improvements in physicochemical and emulsifying properties of insoluble soybean fiber by physical-chemical treatments. *Food Hydrocolloids, 93*, 167-175.

Chen, J., Gao, D., Yang, L. and Gao, Y. (2013). Effect of microfluidization process on the functional properties of insoluble dietary fiber. *Food Research International, 54*, 1821-1827.

Chen, Y. J., Wu, L. R. and Gao, G. B. (2013). CN Patent No. 104286878A.

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

Chiewchan, N. (2018). 10-Microstructure, constituents, and their relationship with quality and functionality of dietary fibers. *Food Microstructure and Its Relationship with Quality and Stability*, 193-216.

Chongtham, N., Bisht, M. S. and Haorongbam, S. (2011). Nutritional Properties of Bamboo Shoots: Potential and Prospects for Utilization as a Health Food. *Comprehensive*

Reviews in Food Scienceand Food Safety, 10, 153-169.

Chu, J., Zhao, H., Lu, Z., Lu, F., Bie, X. and Zhang, C. (2019). Improved physicochemical and functional properties of dietary fiber from millet bran fermented by *Bacillus natto*. *Food Chemistry, 294*, 79-86.

Clifford, C. B. (n.d). Hemicellulose. Retrieved from https://www.e-education.psu.edu/egee439/node/664

Clumping bamboo. (n.d). Clumping vs Running Bamboos. Bamboosourcery. Retrieved from http://bamboosourcery.com/project/runners-vs-clumpers/

Dang, T. T. and Vasanthan, T. (2019). Modification of rice bran dietary fiber concentrates using enzyme and extrusion cooking. *Food Hydrocolloids, 89*, 773-782.

Diedericks, C. F. and Jideani, V. A. (2015). Physicochemical and Functional Properties of Insoluble Dietary Fiber Isolated from Bambara Groundnut (*Vigna subterranea* [L.] Verdc.). *Journal of Food Science, 80*(9), 1933-1944.

Esteban, R. M., Mollá, E. and Benítez, V. (2017). *Chapter 7-Sources of Fiber*: ScienceDiect.

Femenia, A., Selvendran, R. R., Ring, S. G. and Robertson, J. A. (1999). Effects of Heat Treatment and Dehydration on Properties of Cauliflower Fiber. *Journal of Agricultural and Food Chemistry, 47*, 728-732.

Hu, L. F. and Chen, Y. J. (2006). CN Patent No. 101112239A.

Jafari, F., Khodaiyan, F., Kiani, H. and Hosseini, S. S. (2017). Pectin from carrot pomace: Optimization of extraction and physicochemical properties. *Carbohydrate Polymers, 157*, 1315-1322.

Jongaroontaprangsee, S., Tritrong, W., Chokanaporn, W., Methacanon, P., Devahastin, S. and Chiewchan, N. (2014). Effects of Drying Temperature and Particle Size on Hydration Properties of Dietary Fiber Powder from Lime and Cabbage By-Products. *Food Properties, 10*(4), 887-897.

Khan, G. M., Khan, N. M., Khan, Z. U., Ali, F., Jan, A. K., Muhammad, N., et al. (2018). Effect of extraction methods on structural, physiochemical and functional properties of dietary fiber from defatted walnut flour. *27*, 1015–1022.

Kurek, M. A., Karp, S., Wyrwisz, J. and Niu, Y. (2018). Physicochemical properties of dietary fibers extracted from gluten-free sources: quinoa (*Chenopodium quinoa*), amaranth

(*Amaranthus caudatus*) and millet (*Panicum miliaceum*). *Food Hydrocolloids, 85*, 321–330.

Kuttiraja, M., Sindhu, R., Soolankandath, E. V., Sandhya, S. V., Binod, P., Vani, S., et al. (2013). Bioethanol production from bamboo (Dendrocalamus sp.) process waste. *Biomass and Bioenergy, 59*, 142–150.

Lan, G., Chen, H., Chen, S. and Tian, J. (2012). Chemical composition and physicochemical properties of dietary fiber from *Polygonatum odoratum* as affected by different processing methods. *Food Research International, 49*, 406–410.

Leenakul, W. and Tippayawong, N. (2010). Dilute Acid Pretreatment of Bamboo for Fermentable Sugar Production. *Sustainable Energy & Environment, 1*, 117–120.

Li, L. J., Wang, Y. P., Wang, G., Cheng, H. T. and Han, Z. J. (2010). Evaluation of Properties of Natural Bamboo Fiber for Application in Summer Textiles. *Fiber Bioengineering and Informatics, 3*(2), 94–99.

Lin, Y., Chen, K., Tu, D., Yu, X., Dai, Z. and Shen, Q. (2019). Characterization of dietary fiber from wheat bran (*Triticum aestivum* L.) and its effect on the digestion of surimi protein. *LWT – Food Science and Technology, 102*, 106–112.

Lin, Z., Chen, J., Zhang, J. and Brooks, M. S. (2018). Potential for Value-Added Utilization of Bamboo Shoot Processing Waste Recommendations for a Biorefinery Approach. *Food and Bioprocess Technology, 11*, 901–912.

Liu, H. H. (2007). CN Patent No. 100584212C.

López-Marcos, M. C., Claudia, B., Viuda-Martos, M., Pérez-Alvarez, J. A. and Fernández-López, J. (2015). Properties of Dietary Fibers from Agroindustrial Coproducts as Source for Fiber-Enriched Foods. *Food Bioprocess Technol, 8*, 2400–2408.

Luo, X., Wang, Q., Fang, D., Zhuang, W., Chen, C., Jiang, W., et al. (2018). Modification of insoluble dietary fibers from bamboo shoot shell: Structural characterization and functional properties. *International Journal of Biological Macromolecules, 120*, 1461–1467.

Luo, X., Wang, Q., Zheng, B., Lin, L., Chen, B., Zheng, Y., et al. (2017). Hydration properties and binding capacities of dietary fibers from bamboo shoot shell and its hypolipidemic effects in mice. *Food and Chemical Toxicology, 109*, 1003–1009.

Ma, M., Mu, T., Sun, H., Zhang, M., Chen, J. and Yan, Z. (2015). Optimization of extraction efficiency by shear emulsifying assisted enzymatic hydrolysis and functional properties of dietary fiber from deoiled cumin (Cuminum cyminum L.). *Food Chemistry, 179*, 270–277.

Ma, M. M. and Mu, T. H. (2016). Effects of extraction methods and particle size distribution on the structural, physicochemical, and functional properties of dietary fiber from deoiled cumin. *Food Chemistry, 194*, 237–246.

Mccleary, D. J. (2018). The biophysics of digestion: lipids. *Current Opinion in Food Science, 21*, 1–6.

Meng, X., Liu, F., Xiao, Y., Cao, J., Wang, M. and Duan, X. (2019). Alterations in physicochemical and functional properties of buckwheat straw insoluble dietary fiber by alkaline hydrogen peroxide treatment. *Food Chemistry, 3*, 10029.

Moczkowskaa, M., Karpa, S., Niub, Y. and Kurek, M. A. (2019). Enzymatic, enzymatic-ultrasonic and alkaline extraction of soluble dietary fibre from flaxseed – A physicochemical approach. *Food Hydrocolloids, 90*, 105–112.

Nassar, A. G., AbdEl-Hamied, A. A. and El-Naggar, E. A. (2008). Effect of Citrus by-Products Flour Incorporation on Chemical, Rheological and Organolepic Characteristics of Biscuits. *Agricultural Sciences, 4*(5), 612–616.

National Institutes of Health. (n.d). Dietary fiber chemical structure. Retrieved from https://pubchemdocs.ncbi.nlm.nih.gov/about

Navarro-González, I., García-Valverde, V., García-Alonso, J. and Periago, M. J. (2011). Chemical profile, functional and antioxidant properties of tomato peel fiber. *Research International, 44*, 1528–1535.

Park, E. J. and Jhon, D. Y. (2009). Effects of bamboo shoot consumption on lipid profiles and bowel function in healthy young women. *Applied nutritional investigation, 25*, 723–728.

Phillips, G. O. and Cui, S. W. (2011). An introduction: Evolution and finalisation of the regulatory definition of dietary fibre. *Food Hydrocolloids, 25*(2), 139–143.

Resende, L. M., Franca, A. S. and Oliveira, L. S. (2019). Buriti (*Mauritia flexuosa* L. f.) fruit by-products flours: Evaluation as source of dietary fibers and natural antioxidants.

Food Chemistry, 270, 53-60. doi:https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2018.07.079

Robertson, J. A., de Monredon, F. D., Dysseler, P., Guillon, F., Amado, R. and Thibault, J. F. (2000). Hydration Properties of Dietary Fibre and Resistant Starch: a European Collaborative Study. *LWT-Food Science and Technology, 33*(2), 72-79.

Rouhou, M. C., Abdelmoumen, S., Thomas, S., Attia, H. and Ghorbel, D. (2018). Use of green chemistry methods in the extraction of dietary fibers from cactus rackets (*Opuntia ficus indica*): Structural and microstructural studies. *International Journal of Biological Macromolecules, 116*, 901-910.

Staffolo, M. D., Bevilacqua, A. E., Rodríguez, M. S. and Albertengo, L. (2012). *Dietary Fiber and Availability of Nutrients: A Case Study on Yoghurt as a Food Model.*: IntechOpen.

Ullah, I., Hu, Y., You, J., Yin, T., Xiong, S., Dina, Z., et al. (2019). Influence of okara dietary fiber with varying particle sizes on gelling properties, water state and microstructure of tofu gel. *Food Hydrocolloids, 89*, 512-522.

Ullah, I., Yin, T., Xiong, S., Huang, Q., Din, Z., Zhang, J., et al. (2018). Effects of thermal pre-treatment on physicochemical properties of nano-sized okara (soybean residue) insoluble dietary fiber prepared by wet media milling. *Journal of Food Engineering, 237*, 18-26.

Wang, C. H., Ma, Y. L., Zhu, D. Y., Wang, H., Ren, Y. F., Zhang, J. G., et al. (2017). Physicochemical and functional properties of dietary fiber from Bamboo Shoots (*Phyllostachys praecox*). *Food and Agriculture, 29*(7), 509-517.

Wang, J. H., Du, Y. Q., Sun, H. J., Liu, Y., Li, J. H. and Yao, Y. F. (2013). CN Patent No. 103355672B.

Wuttipalakorn, P., Srichumpuang, W. and Chiewchan, N. (2009). Effects of Pretreatment and Drying on Composition and Bitterness of High-Dietary-Fiber Powder from Lime Residues. *Drying Technology, 27*, 133–142.

Xue, Z., Ma, Q., Guo, Q., Santhanam, R. K., Gao, Z. and Chen, Z. (2019). Physicochemical and functional properties of extruded dietary fiber from mushroom *Lentinula edodes* residues. *Food Bioscience, 32*, 100452.

Yalegama, L. L. W. C., Karunaratne, D. N., Sivakanesan, R. and Jayasekara, C. (2013). Chemical and functional properties of fibre concentrates obtained from by-products of

coconut kernel. *Food Chemistry, 141*, 124–130.

Yu, G., Bei, J., Zhao, J., Lia, Q. and Cheng, C. (2018). Modification of carrot (*Daucus carota* Linn. var. Sativa Hoffm.) pomace insoluble dietary fiber with complex enzyme method, ultrafine comminution, and high hydrostatic pressure. *Food Chemistry, 257*, 333–340.

Zhang, H., Wang, H., Cao, X. and Wang, J. (2018). Preparation and modification of high dietary fiber flour: A review. *Food Research International, 113*, 24–35.

Zhang, M. Y., Liao, A. M., Thakur, K., Huang, J. H. and Zhang, J. G. W. (2019). Modification of wheat bran insoluble dietary fiber with carboxymethylation, complex enzymatic hydrolysis and ultrafine comminution. *Food Chemistry, 297*, 124983.

Zheng, J., Wu, J., Dai, Y., Kan, J. and Zhang, F. (2017). Influence of bamboo shoot dietary fiber on the rheological and textural properties of milk pudding. *LWT – Food Science and Technology, 84*, 364–369.

Zheng, Y. and Li, Y. (2018). Physicochemical and functional properties of coconut (*Cocos nucifera* L) cake dietary fibres: Effects of cellulase hydrolysis, acid treatment and particle size distribution. *Food Chemistry, 257*, 135–142.

Zhu, Y., Chu, J., Lu, Z., Lv, F., Bie, X., Zhang, C., et al. (2018). Physicochemical and functional properties of dietary fiber from foxtail millet (*Setaria italic*) bran. *Journal of Cereal Science, 79*, 456–461.

Zhu, Y., He, C., Fan, H., Lu, Z., Lu, F. and Zhao, H. (2019). Modification of foxtail millet (*Setaria italica*) bran dietary fiber by xylanase catalyzed hydrolysis improves its cholesterol–binding capacity. *LWT–Food Science and Technology, 101*, 463–468.

วราภรณ์ กุศลารักษ์. (2017). คุณค่าทางโภชนาการและโภชนเภสัชของหน่อไม้ไผ่บงหวาน. วารสารวิชาการเกษตร*, 33*(2), 169–178.

พิทักษ จันทรเจริญ. (2549). การวิเคราะห์การทำแห้งหนอไม้ไผตงโดยเครื่องอบแห้งชนิดถาด. (การศึกษาค้นคว้าด้วยตนเอง วท.บ.), มหาวิทยาลัยสวนดุสิต, กรุงเทพฯ.

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

บงกชรัตน์ เนาวกูล. (2553). การผลิตเส้นใยอาหารจากเปลือกในส้มโอที่ผ่านการลดความขม และการใช้ประโยชน์ในไอศกรีมนม. (วิทยานิพนธ์ วท.ม.), มหาวิทยาลัยเชียงใหม่,

เชียงใหม่.
รสิตา โอสถนานนท์. (2557). การผลิตเส้นใยอาหารผงจากลอนตาลแก่ (*Borassus flabellifer).* (การศึกษาค้นคว้าด้วยตนเอง วท.บ.), มหาวิทยาลัยรามคำแหง, กรุงเทพฯ.
รังสรรค์ ภูรยานนทชัย. (2551). การใช้อาหารประกอบใยอาหารในผู้ป่วยผู้ใหญ่ที่อยู่ในภาวะวิกฤต. สงขลานครินทร์เวชสาร, *26*(4), 399-407.
รัศมี เสริมสาธนสวัสดิ์ และ สถาพร มานัสสถิต. (2552). Radiation Proctitis. สมาคมแพทย์ระบบทางเดินอาหารแห่งประเทศไทย, *17*(81), 20-39.
วรรณคล เชื้อมงคล. (2556). ประโยชน์ของฟรุคโตโอลิโกแซคคาไรด์ในอาหารทางการแพทย์ The Use of Fructo-oligosaccharide (FOS) in Medical Foods. ไทยเภสัชศาสตร์และวิทยาการสุขภาพ, *8*(3), 122-128.
สถาพร งามอุโฆษ. (2558). กลไกของใยอาหารในการลดระดับโคเลสเตอรอล. . เทคนิคการแพทย์, *43*(2), 5203-5212.
สหขวัญ โรจนคุณธรรม. (2556). การจำแนกลักษณะเฉพาะและคุณประโยชน์เชิงสุขภาพของเส้นใยอาหารที่มีฤทธิ์ในการต้านอนุมูลอิสระจากมะม่วงและฝรั่ง. (วิทยานิพนธ์ วท.ม), มหาวิทยาลัยมหาสารคาม, มหาสารคาม.
สิริมา ชินสาร และกฤษณะ ชินสาร. (2557). การสกัดและใช้ประโยชน์เส้นใยอาหารและเซลลูโลสจากกากมะพร้าวเพื่อสร้างมูลค่าเพิ่มให้กับวัสดุเหลือใช้ทางการเกษตรและการสร้างตัวแบบเพื่อการพยากรณ์การถ่ายเทมวลสารระหว่างการทอด. (การศึกษาค้นคว้าด้วยตนเอง วท.บ), มหาวิทยาลัยบูรพา, ชลบุรี.
อมรรัตน์ จงสวัสดิ์วรกูล และลัดดา เหมาะสุวรรณ. (2545). Evidence-based Maillard reaction: focusing on parenteral nutrition. โภชนบำบัด, *13*(1), 3-11.
อาภัสรา แสงนาค. (2560). เส้นใยอาหาร กรุงเทพฯ: เท็กซ์ แอนด์ เจอร์นัล พับลิเคชั่น.

ประวัติผู้วิจัย

ชื่อ-สกุล	กมลลักษณ์ วิชาเร็ว
วัน เดือน ปี เกิด	19 มกราคม 2538
สถานที่เกิด	เชียงราย
วุฒิการศึกษา	พ. ศ 2560 วท.บ (ชีววิทยา) มหาวิทยาลัยราชภัฏเชียงราย, เชียงราย
ที่อยู่ปัจจุบัน	81 ม.10 ต.ปงน้อย อ. ดอยหลวง จ.เชียงราย 56110
ผลงานตีพิมพ์	Wicharaew, K., Prommajak, T and Ruenwai, R. (2019). Effect of Extraction Methods on The Physicochemical Properties of Fiber from Bamboo Shoot Waste. Malaysian Applied Biology Journal, 48(4), 39-45.
รางวัลที่ได้รับ	-