ผลของเอนไซม์ แอลฟา-อะไมเลส อัลคาเลส และอะไมโลกลูโคซิเดส ต่อการสกัดเส้นใยอาหารจากหน่อไม้ฝรั่งเศษเหลือ

Effect of α-amylase, Alcalase and Amyloglucosidase on Dietary Fiber Extraction from Asparagus by-products

เรวดี มีสัตย์* ภัทรวดี จ้อยสระคู และ ยุทธศักดิ์ สุบการี

ศูนย์เชี่ยวชาญนวัตกรรมอาหารสุขภาพ (ศนอ.) สถาบันวิจัยวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งประเทศไทย (วว.) ปทุมธานี 12120

Rewadee Meesat*, Phattarawadee Joysakoo, and Yuttasak Subkaree

Expert Centre of Innovative Health Food (InnoFood), Thailand Institute of Scientific and Technological Research (TISTR), Pathum Thani 12120

***Corresponding author:** Rewadee@tistr.or.th

Received: 27 September 2023/ Revised: 12 January 2024/ Accepted: 19 January 2024

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาผลของเอนไซม์แอลฟา-อะไมเลส อัลคาเลส และ อะไมโลกลูโคซิเดสต่อการสกัดเส้นใยอาหารจากหน่อไม้ฝรั่งเศษเหลือ (Asparagus by-product) จากการศึกษาพบว่าการเพิ่มปริมาณเอนไซม์แอลฟา-อะไมเลส อัลคาเลส และ อะไมโลกลูโคซิเดสไม่สามารถเพิ่มปริมาณเส้นใยอาหาร และไม่มีผลต่อคุณสมบัติของเส้นใยอาหารเชิงหน้าที่ในการอุ้มน้ำ อุ้มน้ำมัน การพองตัว และการละลายน้ำได้อย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$) นอกจากนั้นการสกัดด้วยเอนไซม์ทั้งสามชนิดให้ปริมาณเส้นใยอาหารไม่แตกต่างจากการสกัดโดยไม่ใช้เอนไซม์ แต่การสกัดด้วยเอนไซม์แอลฟา-อะไมเลสและอัลคาเลส จะให้เส้นใยอาหารที่มีคุณสมบัติเชิงหน้าที่ในการอุ้มน้ำ อุ้มน้ำมัน และการพองตัวสูงกว่าการสกัดโดยไม่ใช้เอนไซม์อย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$) ยกเว้นการสกัดด้วยเอนไซม์อะไมโลกลูโคซิเดสที่ให้คุณสมบัติเชิงหน้าที่ไม่แตกต่างจากการสกัดโดยไม่ใช้เอนไซม์ การสกัดเส้นใยอาหารด้วยวิธีการใช้และไม่ใช้เอนไซม์จะให้ปริมาณเส้นใยอาหารทั้งหมด และคุณสมบัติเชิงหน้าที่ในการอุ้มน้ำและอุ้มน้ำมันสูงกว่าวัตถุดิบหน่อไม้ฝรั่งเศษเหลือเริ่มต้นอย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$) โดยวัตถุดิบหน่อไม้ฝรั่งเศษเหลือเริ่มต้นมีปริมาณเส้นใยอาหารทั้งหมดร้อยละ 62.4 – 66.9 โดยน้ำหนัก จะเพิ่มขึ้นเป็นร้อยละ 74.7 – 86.8 โดยน้ำหนัก หลังผ่านการสกัด ส่งผลให้เส้นใยอาหารที่ได้มีคุณสมบัติเชิงหน้าที่ในการอุ้มน้ำเพิ่มขึ้นจาก 5.6 – 6.3 กรัมน้ำต่อกรัมเส้นใย เป็น 7.3 – 8.8 กรัมน้ำต่อกรัมเส้นใย และคุณสมบัติในการอุ้มน้ำมันเพิ่มขึ้นจาก 1.4 – 1.9 กรัมน้ำมันต่อกรัมเส้นใย เป็น 4.0 – 5.7 กรัมน้ำมันต่อกรัมเส้นใย ผลนี้แสดงให้เห็นว่าชนิดของเอนไซม์มีผลต่อคุณสมบัติเชิงหน้าที่ในการอุ้มน้ำ อุ้มน้ำมัน และการพองตัวของเส้นใยอาหาร และการสกัดมีผลทำให้ได้ปริมาณเส้นใยอาหารและคุณสมบัติเชิงหน้าที่ในการอุ้มน้ำและอุ้มน้ำมันเพิ่มขึ้นเมื่อเปรียบเทียบกับวัตถุดิบที่ไม่ผ่านการสกัด

คำสำคัญ: เส้นใยอาหาร หน่อไม้ฝรั่งเศษเหลือ การสกัดด้วยเอนไซม์ คุณสมบัติเชิงหน้าที่

Abstract

This research aimed to investigate the effect of α-amylase, alcalase and amyloglucosidase on dietary fiber extraction from asparagus by-product. The results showed that increasing dosage in α-amylase, alcalase and amyloglucosidase did not significantly increase dietary fiber content ($p \leq 0.05$) and did not significantly affect the functional properties of dietary fiber including water holding capacity (WHC), oil holding capacity (OHC), swelling capacity (SC) and water-soluble index (WSI). Moreover, there were no significant differences in dietary fiber content between enzymatic of all enzymes and non-enzymatic extraction. However, the dietary fiber from α-amylase and alcalase extraction had significantly greater WHC, OHC, and SC ($p \leq 0.05$) compared with non-enzymatic extraction, whereas no significant differences were observed from amyloglucosidase extraction. The dietary fiber after enzymatic and non-enzymatic extraction presented a significantly higher content of total dietary fiber (TDF) and functional properties of WHC and OHC ($p \leq 0.05$) than initial asparagus by-products. The TDF content of initial asparagus by-products increased from 62.4 – 66.9 % (w/w) to 74.7 – 86.8 % (w/w) after extraction. The WHC increased from 5.6 – 6.3 to 7.3 – 8.8 g water/g fiber and OHC increased from 1.4 – 1.9 to 4.0 – 5.7 g oil/g fiber. These results indicate that the enzyme type has the effect on the functional properties of WHC, OHC and SC of dietary fiber. In addition, the extraction plays an important role in the increase of TDF content and greater functional properties of WHC and OHC in comparison with non-extraction material.

Keywords: Dietary fibers, asparagus by-product, enzymatic extraction, functional properties

บทนำ

หน่อไม้ฝรั่งเป็นพืชเศรษฐกิจที่สำคัญและนิยมปลูกกันมากในประเทศไทย เป็นพืชที่มีราคาดี (120 – 140 บาทต่อกิโลกรัม) มีความต้องการในตลาดสูง [1, 2] ปัจจุบันประเทศไทยมีพื้นที่การเพาะปลูกหน่อไม้ฝรั่ง 8,908 ไร่ มีผลผลิตออกสู่ตลาด 8,271 ตันต่อปี [3] อย่างไรก็ตามในระหว่างการผลิตหน่อไม้ฝรั่งจะมีวัสดุเศษเหลือรวมถึงผลผลิตที่ไม่ได้มาตรฐาน (เกรดต่ำ/ตกเกรด) ประมาณร้อยละ 30 – 50 [4] วัสดุเศษเหลือเหล่านี้บางส่วนจะถูกทิ้งเกิดเป็นมลภาวะต่อสิ่งแวดล้อม และบางส่วนถูกนำไปใช้เป็นอาหารสัตว์และปุ๋ย ทั้งๆ ที่หน่อไม้ฝรั่งเศษเหลือมีสารอาหารและสารออกฤทธิ์ทางชีวภาพสูง อีกทั้งมีปริมาณเส้นใยอาหารค่อนข้างสูงด้วย โดยหน่อไม้ฝรั่งเศษเหลือมีปริมาณเส้นใยอาหารทั้งหมด (Total dietary fiber) ประมาณร้อยละ 58 – 79 โดยน้ำหนักแห้ง ดังนั้นหน่อไม้ฝรั่งเศษเหลือจึงเป็นวัตถุดิบที่มีความน่าสนใจในการนำมาผลิตเป็นเส้นใยอาหารที่มีมูลค่าสูง โดยเฉพาะเส้นใยอาหารที่มีฤทธิ์ทางชีวภาพ (Bioactive dietary fiber) [4-8]

เส้นใยอาหารเป็นโพลิเมอร์ที่ต้านทานต่อการย่อยด้วยเอนไซม์ในลำไส้เล็ก แต่สามารถหมักได้เล็กน้อยหรือหมักทั้งหมดในลำไส้ใหญ่ เส้นใยอาหารมีคุณสมบัติเชิงหน้าที่ในการอุ้มน้ำและการพองตัวช่วยให้รู้สึกอิ่มนานกว่าปกติทำให้สามารถลดได้ทั้งปริมาณอาหารและพลังงาน ซึ่งจะช่วยลดคอเลสเตอรอล ลดน้ำตาลในเลือด และลดโรคอ้วนได้ อีกทั้งช่วยให้กากอาหารนิ่ม ปริมาตรมาก ขับถ่ายสะดวก ช่วยป้องกันโรคในระบบทางเดินอาหารได้ เส้นใยอาหารมีคุณสมบัติในการอุ้มน้ำมันช่วยดึงน้ำมันจากอาหารที่รับประทานด้วยการขับถ่ายซึ่งจะช่วยป้องกันโรคหลอดเลือดและหัวใจ [9]

การสกัดเส้นใยอาหารสามารถทำได้หลายวิธี ไม่ว่าจะเป็น การสกัดด้วยน้ำ (Water extraction) การสกัดด้วยเอทานอล (Ethanol extraction) การสกัดด้วยกรด (Acid extraction) การสกัดด้วยด่าง (Alkaline extraction) และการสกัดด้วยเอนไซม์ (Enzymatic extraction) เป็นต้น [10] อย่างไรก็ตามการสกัดด้วยน้ำ (Water extraction) และการสกัดด้วยเอนไซม์ (Enzymatic extraction) เป็นแนวทางที่ดีและมีศักยภาพ สามารถให้เส้นใยอาหารที่มีความปลอดภัยและมีความ

เหมาะสมต่อการนำไปประยุกต์ใช้เป็นวัสดุเจือปนในอาหาร การสกัดเส้นใยอาหารจากหน่อไม้ด้วยเอนไซม์แอลฟา-อะไมเลสร่วมกับโปรติเอสจะให้เส้นใยอาหารที่มีความบริสุทธิ์สูงและมีคุณสมบัติเชิงหน้าที่ดีกว่าการสกัดด้วยน้ำ การสกัดด้วยกรดซิตริก และการสกัดด้วยเอทานอลร่วมกับเบสและกรด ทั้งนี้เพราะการสกัดด้วยเอนไซม์จะให้ปริมาณเส้นใยอาหารละลายน้ำสูงกว่าการสกัดด้วยวิธีอื่นๆ โดยเส้นใยอาหารที่ได้มีปริมาณเส้นใยอาหารละลายน้ำสูงถึงร้อยละ 34.72 มีความสามารถในการอุ้มน้ำและการพองตัว 15.08 กรัมน้ำต่อกรัมเส้นใย และ 7.23 มิลลิลิตรต่อกรัม ตามลำดับ [10]

อย่างไรก็ตามยังไม่มีรายงานการศึกษาการสกัดเส้นใยอาหารจากหน่อไม้ฝรั่งเศษเหลือด้วยเอนไซม์ วัตถุดิบหน่อไม้ฝรั่งเศษเหลือนอกจากจะมีปริมาณเส้นใยอาหารสูงแล้วยังมีองค์ประกอบอื่นๆ ด้วย โดยเฉพาะคาร์โบไฮเดรตและโปรตีน [7, 9, 11, 12] การใช้เอนไซม์แอลฟา-อะไมเลสและอะไมโลกลูโคซิเดสจะช่วยกำจัดคาร์โบไฮเดรตจำพวกแป้ง ส่วนการใช้เอนไซม์อัลคาเลสจะช่วยกำจัดโปรตีนส่งผลให้ได้ปริมาณเส้นใยอาหารที่มีความบริสุทธิ์มากขึ้นและมีคุณสมบัติเชิงหน้าที่ในการอุ้มน้ำและอุ้มน้ำมันดีขึ้น ดังนั้นในงานวิจัยฉบับนี้จะศึกษาผลของเอนไซม์แอลฟา-อะไมเลส อัลคาเลส และอะไมโลกลูโคซิเดส ต่อการสกัดเส้นใยอาหารจากหน่อไม้ฝรั่งเศษเหลือสายพันธุ์ *Asparagus officinalis* L. เพื่อให้ได้เส้นใยอาหารที่มีความบริสุทธิ์สูงขึ้นและมีคุณสมบัติเชิงหน้าที่ในการอุ้มน้ำและอุ้มน้ำมันดีขึ้น สามารถนำไปใช้เป็นวัสดุเจือปนในอาหารและเครื่องดื่ม

วิธีดำเนินการวิจัย

วัตถุดิบและเอนไซม์

วัตถุดิบหน่อไม้ฝรั่งเศษเหลือ (Asparagus by-products) สายพันธุ์ *Asparagus officinalis* L. ได้รับจากกลุ่มเกษตรกรจังหวัดเพชรบูรณ์ ขนาดประมาณ 1 – 15 เซนติเมตร นำไปล้างทำความสะอาดและหั่นเป็นชิ้นขนาดประมาณ 1 – 5 เซนติเมตร จากนั้นนำไปอบแห้งด้วยตู้อบลมร้อน (Memmert, เยอรมัน) ที่อุณหภูมิ 80 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 48 ชั่วโมง แล้วบดให้ละเอียดด้วยเครื่องบดสมุนไพร (Spring Green Evolution PG2500, จีน) และร่อนผ่านตะแกรงขนาด 30 เมช (0.60 มิลลิเมตร) ใส่ถุงซิปล็อคและเก็บรักษาไว้ที่อุณหภูมิห้อง

เอนไซม์ แอลฟา-อะไมเลส (α-amylase BAN 480L) และ อะไมโลกลูโคซิเดส (Amyloglucosidase AMG® 1100 BG IF) ยี่ห้อ Brenntag ได้รับความอนุเคราะห์จากบริษัท Brenntag Ingredients (Thailand) Public Company Limited สภาวะที่เหมาะสมในการทำงานพีเอช 6.0 – 7.0 อุณหภูมิ 70 – 90 องศาเซลเซียส และ พีเอช 4.5 อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส ตามลำดับ เอนไซม์อัลคาเลส (Alcalase 2.4 FG) ยี่ห้อ Brenntag บริษัท Brenntag Ingredients (Thailand) Public Company Limited สภาวะที่เหมาะสมในการทำงานพีเอช 7.0 – 9.0 อุณหภูมิ 30 – 65 องศาเซลเซียส

การสกัดเส้นใยอาหารด้วยเอนไซม์แอลฟา-อะไมเลส (α-amylase)

นำหน่อไม้ฝรั่งเศษเหลือที่ผ่านการบดและร่อนแยกขนาดเติมน้ำกลั่นให้ได้อัตราส่วน 1:10 (หน่อไม้ฝรั่งเศษเหลือต่อน้ำ) ปรับพีเอชเป็น 7.0 ด้วยสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ความเข้มข้น 1.0 นอร์มอล จากนั้นเติมเอนไซม์แอลฟา-อะไมเลส (α-amylase BAN 480L) ปริมาณ 0.010, 0.025 และ 0.050 มิลลิลิตรต่อกรัม บ่มที่อุณหภูมิ 75 องศาเซลเซียส ด้วยอ่างน้ำควบคุมอุณหภูมิ (Memmert, เยอรมัน) เป็นระยะเวลา 60 นาที การสกัดโดยไม่ใช้เอนไซม์ (non-enzymatic extraction) ดำเนินการที่พีเอช 7.0 และอุณหภูมิ 75 องศาเซลเซียส กรองตัวอย่างด้วยผ้ากรองไนลอน แล้วนำกากที่เหลือไปอบแห้งที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 48 ชั่วโมง ปั่นให้เป็นผงด้วยเครื่องปั่นผลไม้ (Philips, เนเธอร์แลนด์) นำไปวิเคราะห์ปริมาณเส้นใยอาหาร และคุณสมบัติในการอุ้มน้ำ อุ้มน้ำมัน การพองตัว และการละลายน้ำ

การสกัดเส้นใยอาหารด้วยเอนไซม์อัลคาเลส (Alcalase)

ดำเนินการทดลองเช่นเดียวกับข้างต้น แต่ปรับพีเอชเป็น 8.0 และบ่มที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส เติมเอนไซม์อัลคาเลส (Alcalase 2.4 FG) ปริมาณ 0.025, 0.050 และ 0.100 มิลลิลิตรต่อกรัม การสกัดโดยไม่ใช้เอนไซม์ (non-enzymatic extraction) ดำเนินการที่พีเอช 8.0 และอุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส

การสกัดเส้นใยอาหารด้วยเอนไซม์อะไมโลกลูโคซิเดส (Amyloglucosidase)

ดำเนินการทดลองเช่นเดียวกับข้างต้น แต่ปรับพีเอชเป็น 4.5 ด้วยสารละลายกรดไฮโดรคลอริกความเข้มข้น 1.0 นอร์มอล และบ่มที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส เติมเอนไซม์อะไมโลกลูโคซิเดส (Amyloglucosidase AMG® 1100 BG IF) ปริมาณ 0.13, 0.27 และ 0.40 มิลลิกรัมต่อกรัม การสกัดโดยไม่ใช้เอนไซม์ (non-enzymatic extraction) ดำเนินการที่พีเอช 4.5 และอุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส

การวิเคราะห์ปริมาณเส้นใยอาหาร (Dietary fiber; DF)

การวิเคราะห์ปริมาณเส้นใยอาหารทั้งหมด (Total dietary fiber; TDF) เส้นใยอาหารไม่ละลายน้ำ (Insoluble dietary fiber; IDF) และเส้นใยอาหารที่ละลายน้ำ (Soluble dietary fiber; SDF) ดำเนินการด้วยวิธี Enzymatic and gravimetric method ตามวิธีของ Prosky และคณะ [13] โดยใช้ Total Dietary Fiber Assay Kit (TDF-100A) ของบริษัท Megazyme โดยการชั่งตัวอย่างปริมาณ 1.0000 กรัม จากนั้นเติมฟอสเฟตบับเฟอร์พีเอช 6.0 ปริมาณ 50 มิลลิลิตร แล้วเติมเอนไซม์อะไมเลสปริมาณ 0.1 มิลลิลิตร บ่มที่อุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียส (Memmert, เยอรมัน) เขย่าทุกๆ 5 นาที เป็นระยะเวลา 30 นาที ทำให้เย็นและปรับพีเอชเป็น 7.5 ด้วยสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ความเข้มข้น 0.275 นอร์มอล แล้วเติมเอนไซม์โปรติเอส ปริมาณ 0.1 มิลลิลิตร บ่มที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส ในอ่างน้ำควบคุมอุณหภูมิ (Memmert, เยอรมัน) เป็นเวลา 30 นาที แล้วปรับพีเอชเป็น 4.0 – 4.6 ด้วยสารละลายกรดไฮโดรคลอริกความเข้มข้น 0.325 นอร์มอล แล้วเติมเอนไซม์กลูโคอะไมเลสปริมาณ 0.1 มิลลิลิตร บ่มที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส ในอ่างน้ำควบคุมอุณหภูมิ (Memmert, เยอรมัน) เป็นเวลา 30 นาที กรองแยกสารละลายด้วยกรวยกรองแก้วที่มีสารช่วยกรอง ของแข็งที่เหลือ (เส้นใยไม่ละลายน้ำ) นำไปล้างด้วยเอทานอลร้อยละ 78 ปริมาณ 20 มิลลิลิตร 3 รอบ ต่อด้วยเอทานอลร้อยละ 95 ปริมาณ 10 มิลลิลิตร 2 รอบ และอะซิโตน 1 รอบ นำไปอบที่อุณหภูมิ 105 องศาเซลเซียส แล้วชั่งน้ำหนัก และนำของแข็งที่เหลือไปวิเคราะห์ปริมาณโปรตีนและเถ้า สำหรับสารละลายที่กรองแยกได้ (เส้นใยละลายน้ำ) นำมาเติมเอทานอลร้อยละ 95 ปริมาณ 4 เท่าของปริมาตรสารละลาย แล้วบ่มที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส (Memmert, เยอรมัน) เป็นเวลา 60 นาที กรองแยกและทำตามกระบวนการข้างต้น คำนวณปริมาณเส้นใยอาหารทั้งหมด เส้นใยอาหารไม่ละลายน้ำ และเส้นใยอาหารละลายน้ำในรูปร้อยละตามสมการ

$$\text{ปริมาณเส้นใยไม่ละลายน้ำ (\%w/w)} = \frac{\text{(น้ำหนักเส้นใยไม่ละลายน้ำหลังอบ – โปรตีน – เถ้า) x 100}}{\text{ตัวอย่างแห้ง (กรัม)}}$$

$$\text{ปริมาณเส้นใยละลายน้ำ (\%w/w)} = \frac{\text{(น้ำหนักเส้นใยละลายน้ำหลังอบ – โปรตีน – เถ้า) x 100}}{\text{ตัวอย่างแห้ง (กรัม)}}$$

$$\text{ปริมาณเส้นใยทั้งหมด (\%w/w)} = \text{ปริมาณเส้นใยไม่ละลายน้ำ + ปริมาณเส้นใยละลายน้ำ}$$

การวิเคราะห์คุณสมบัติเชิงหน้าที่ (Functional properties)

การวิเคราะห์ความสามารถในการอุ้มน้ำ (Water holding capacity; WHC)

การวิเคราะห์ความสามารถในการอุ้มน้ำประยุกต์จากวิธีของ Fuentes-alventosa และคณะ [6] โดยการชั่งตัวอย่าง 0.25 กรัมตัวอย่างแห้ง ใส่ในหลอดสำหรับปั่นเหวี่ยงแล้วเติมน้ำกลั่นปริมาตร 5 มิลลิลิตร ผสมให้เข้ากันแล้วบ่มที่อุณหภูมิห้องเป็นเวลา 24 ชั่วโมง จากนั้นปั่นเหวี่ยงด้วยเครื่องปั่นเหวี่ยง (HERMLE, เยอรมัน) ที่ความเร็ว 3,000 รอบต่อนาที เป็นเวลา 20 นาที เทส่วนใสทิ้งแล้วชั่งน้ำหนักส่วนที่ตกตะกอน คำนวณความสามารถในการอุ้มน้ำในรูป กรัมน้ำต่อกรัมตัวอย่าง (g/g) ตามสูตรดังนี้

$$\text{ความสามารถในการอุ้มน้ำ (g/g)} = \frac{\text{น้ำหนักตัวอย่างที่เพิ่มขึ้นหลังปั่นเหวี่ยง (กรัมน้ำ)}}{\text{น้ำหนักตัวอย่างแห้ง (กรัมเส้นใย)}}$$

การวิเคราะห์ความสามารถในการอุ้มน้ำมัน (Oil holding capacity; OHC)

การวิเคราะห์ความสามารถในการจับน้ำมันประยุกต์จากวิธีของ Fuentes-alventosa และคณะ [6] โดยการชั่งตัวอย่าง 0.25 กรัมตัวอย่างแห้ง ใส่ในหลอดสำหรับปั่นเหวี่ยงแล้วเติมน้ำมันถั่วเหลืองปริมาตร 5 มิลลิลิตร ผสมให้เข้ากันแล้วบ่มที่อุณหภูมิห้องเป็นเวลา 24 ชั่วโมง จากนั้นนำไปปั่นเหวี่ยงด้วยเครื่องปั่นเหวี่ยง (HERMLE, เยอรมัน) ที่ความเร็ว 3,000 รอบต่อนาที เป็นเวลา 20 นาที เทส่วนใสทิ้งแล้วชั่งน้ำหนักส่วนที่ตกตะกอน คำนวณความสามารถในการอุ้มน้ำมันในรูปกรัมน้ำมันต่อกรัมตัวอย่าง (g/g) ตามสูตรดังนี้

$$\text{ความสามารถในการอุ้มน้ำมัน (g/g)} = \frac{\text{น้ำหนักตัวอย่างที่เพิ่มขึ้นหลังปั่นเหวี่ยง (กรัมน้ำมัน)}}{\text{น้ำหนักตัวอย่างแห้ง (กรัมเส้นใย)}}$$

การวิเคราะห์ความสามารถในการพองตัว (Swelling capacity; SC)

การวิเคราะห์ความสามารถในการพองตัวประยุกต์จากวิธีของ Cadavid และคณะ [14] โดยการชั่งตัวอย่าง 0.25 กรัมตัวอย่างแห้ง ใส่ในหลอดสำหรับปั่นเหวี่ยงแล้วเติมน้ำกลั่นปริมาตร 5 มิลลิลิตร ผสมให้เข้ากันแล้วตั้งทิ้งไว้ที่อุณหภูมิห้องเป็นเวลา 24 ชั่วโมง คำนวนความสามารถในการพองตัวในรูป มิลลิลิตรต่อกรัมตัวอย่าง (mL/g) ตามสูตรดังนี้

$$\text{ความสามารถในการพองตัว (mL/g)} = \frac{\text{ปริมาตรที่เพิ่มขึ้น (มิลลิลิตร)}}{\text{น้ำหนักตัวอย่างแห้ง (กรัม)}}$$

การวิเคราะห์ความสามารถในการละลาย (Water Solubility Index; WSI)

การวิเคราะห์ความสามารถในการละลายประยุกต์จากวิธีของ Cadavid และคณะ [14] โดยใช้กระบวนการเดียวกับการวิเคราะห์ความสามารถในการอุ้มน้ำ โดยการชั่งตัวอย่าง 0.25 กรัมตัวอย่างแห้ง ใส่ในหลอดสำหรับปั่นเหวี่ยงแล้วเติมน้ำกลั่นปริมาตร 5 มิลลิลิตร ผสมให้เข้ากันแล้วบ่มที่อุณหภูมิห้องเป็นเวลา 24 ชั่วโมง จากนั้นปั่นเหวี่ยงด้วยเครื่องปั่นเหวี่ยง (HERMLE, เยอรมัน) ที่ความเร็ว 3,000 รอบต่อนาที เป็นเวลา 20 นาที เทส่วนใสในครูซิเบิ้ลอะลูมิเนียมแล้วนำไปอบที่ 105 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 24 ชั่วโมง ชั่งน้ำหนักตะกอนที่ได้ และคำนวนความสามารถในการละลายน้ำในรูป ร้อยละโดยน้ำหนัก (%w/w) ตามสูตรดังนี้

$$\text{ความสามารถในการละลายน้ำ (\%w/w)} = \frac{\text{น้ำหนักตะกอนที่ได้หลังอบ (กรัม)} \times 100}{\text{น้ำหนักตัวอย่างแห้ง (กรัม)}}$$

การวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติ

ทำการทดลองจำนวน 3 ซ้ำ วิเคราะห์ความแปรปรวน (Analysis of Variance; ANOVA) และเปรียบเทียบความแตกต่างระหว่างค่าเฉลี่ยของแต่ละทรีทเมนท์โดยวิธี Duncan's new multiple range test ที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 โดยใช้โปรแกรมสำเร็จรูป SPSS Statistic (Version 19.0) แสดงผลในรูป ค่าเฉลี่ย $\pm$ ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน

ผลการวิจัย

วัตถุดิบหน่อไม้ฝรั่งเศษเหลือ (Asparagus byproduct)

วัตถุดิบหน่อไม้ฝรั่งเศษเหลือที่ใช้ในการศึกษาครั้งนี้มีปริมาณเส้นใยอาหารทั้งหมด (TDF) ร้อยละ 63.83 ± 0.37 โดยน้ำหนัก (ตารางที่ 1) ใกล้เคียงกับการศึกษาของ Iwassa และคณะ [11] (เส้นใยอาหารทั้งหมดร้อยละ 63.4 โดยน้ำหนัก) แต่สูงกว่าการศึกษาอื่นๆ ที่มีเส้นใยอาหารทั้งหมดร้อยละ 47.86 – 58.10 โดยน้ำหนัก [7, 9, 12] นอกจากนั้นปริมาณเส้นใยอาหารทั้งหมดจะใกล้เคียงกับปริมาณคาร์โบไฮเดรตปริมาณร้อยละ 72.69 โดยน้ำหนัก บ่งบอกได้ว่าคาร์โบไฮเดรตเกือบทั้งหมดใน

หน่อไม้ฝรั่งเศษเหลือเป็นเส้นใยอาหาร โดยส่วนที่เหลืออีกเล็กน้อยอาจจะเป็นแป้งและน้ำตาล [9, 11, 12, 15] เส้นใยอาหารในหน่อไม้ฝรั่งเศษเหลือส่วนใหญ่เป็นเส้นใยอาหารที่ไม่ละลายน้ำสูงถึงร้อยละ 58.30 ± 0.15 โดยน้ำหนักแห้ง โดยมีเส้นใยอาหารที่ละลายน้ำเพียงร้อยละ 5.54 ± 0.32 โดยน้ำหนักแห้ง ปริมาณเส้นใยอาหารที่ไม่ละลายน้ำใกล้เคียงกับการศึกษาของ Iwassa และคณะ [9, 11] (เส้นใยอาหารไม่ละลายน้ำร้อยละ 55.85 – 57.2 โดยน้ำหนัก) แต่สูงกว่าการศึกษาของ Laidens และคณะ [12] และ Redondo-Cuenca และคณะ [7] ที่มีเส้นใยอาหารไม่ละลายน้ำร้อยละ 44.42 – 45.72 โดยน้ำหนัก ส่วนปริมาณเส้นใยอาหารที่ละลายน้ำสูงกว่าการศึกษาของ Iwassa และคณะ [9] และ Laidens และคณะ [12] (เส้นใยอาหารละลายน้ำร้อยละ 1.33 – 2.99 โดยน้ำหนัก) แต่ต่ำกว่าการศึกษาของ Redondo-Cuenca และคณะ [7] ที่มีเส้นใยอาหารละลายน้ำร้อยละ 12.38 โดยน้ำหนัก ทั้งนี้ปริมาณเส้นใยอาหารจะแตกต่างกันขึ้นอยู่กับแหล่งผลิตและสภาวะการปลูก [15]

หน่อไม้ฝรั่งเศษเหลือมีปริมาณองค์ประกอบของเส้นใยอาหารที่แตกต่างกันส่งผลให้มีคุณสมบัติเชิงหน้าที่ในการอุ้มน้ำ อุ้มน้ำมัน การพองตัว และการละลายน้ำแตกต่างกันด้วย หน่อไม้ฝรั่งเศษเหลือที่ใช้ในการศึกษาครั้งนี้มีความสามารถในการอุ้มน้ำและอุ้มน้ำมันต่ำกว่าหน่อไม้ฝรั่งเศษเหลือจากการศึกษาอื่นๆ (ตารางที่ 1) โดยเฉพาะความสามารถในการอุ้มน้ำมันที่ต่ำกว่าการศึกษาอื่นๆ หลายเท่าตัว ทั้งนี้อาจเป็นเพราะหน่อไม้ฝรั่งเศษเหลือที่ใช้ในการศึกษาครั้งนี้มีความเป็นรูพรุนต่ำ มีโครงสร้างส่วนไม่ชอบน้ำ (Hydrophobic) หรือโครงสร้างที่สามารถจับกับน้ำมันต่ำ และโครงสร้างที่สามารถจับกับน้ำมันอาจถูกปิดกั้นจากองค์ประกอบอื่นโดยเฉพาะน้ำตาล แป้ง โปรตีน ไขมัน และเถ้าที่แทรกอยู่ การสกัดองค์ประกอบเหล่านี้ออกจะทำให้เส้นใยอาหารมีคุณสมบัติเชิงหน้าที่ดีขึ้น [6, 9, 11, 12, 14]

ตารางที่ 1 ปริมาณเส้นใยอาหารและคุณสมบัติเชิงหน้าที่ของวัตถุดิบหน่อไม้ฝรั่งเศสเหลือเปรียบเทียบกับงานวิจัยอื่นๆ

Properties	This project	Iwassa และคณะ [9]	Iwassa และคณะ [11]	Laidens และคณะ [12]	Redondo-Cuenca และคณะ [7]
Protein (%,w/w)	16.56 ± 0.04	16.63 ± 0.12	11.3 ± 0.4	19.91 ± 0.14	11.92 ± 0.08
Carbohydrate (%,w/w)	72.51 ± 0.18	17.10 ± 0.34 (sugar)	3.4 ± 0.1 (Sugar)	28.44 ± 0.46 (sugar)	28.88 ± 0.08
Fat (%,w/w)	2.29 ± 0.01	-	-	-	1.38 ± 0.28
Ash (%,w/w)	8.39 ± 0.02	6.37 ± 0.03	6.4 ± 0.1	6.10 ± 0.39	4.89 ± 0.07
TDF (%,w/w)	63.83 ± 0.37	57.18	63.4	47.86 ± 0.63	58.10 ± 0.35
IDF (%,w/w)	58.30 ± 0.15	55.85 ± 0.15	57.2 ± 0.2	44.42 ± 0.63	45.72 ± 0.28
SDF (%,w/w)	5.54 ± 0.32	1.33 ± 0.11	6.2 ± 0.3	2.99 ± 0.02	12.38 ± 0.56
WHC (g/g)	6.02 ± 0.34	8.64 ± 0.09	11.8 ± 0.1	7.12 ± 0.10	-
OHC (g/g)	1.64 ± 0.19	3.31 ± 0.19	6.1 ± 0.3	3.70 ± 0.50	-
SC (mL/g)	6.31 ± 0.41	3.31 ± 0.19	-	17.60 ± 0.10	-
WSI (%,w/w)	23.30 ± 1.92	4.47 ± 0.10	7.6 ± 0.3	27.92 ± 0.04	-

หมายเหตุ : TDF คือ Total Dietary Fiber, IDF คือ Insoluble Dietary Fiber, SDF คือ Soluble Dietary Fiber, WHC คือ Water Holding Capacity, OHC คือ Oil Holding Capacity, SC คือ Swelling Capacity, WSI คือ Water Soluble Index

การสกัดเส้นใยอาหารด้วยเอนไซม์แอลฟา-อะไมเลส (α-amylase)

จากศึกษาการสกัดเส้นใยอาหารจากหน่อไม้ฝรั่งเศษเหลือด้วยเอนไซม์แอลฟา-อะไมเลส พบว่าการเพิ่มปริมาณเอนไซม์แอลฟา-อะไมเลสไม่สามารถเพิ่มปริมาณเส้นใยอาหารได้ (ตารางที่ 2) อีกทั้งปริมาณเส้นใยอาหารที่ได้จากการสกัดด้วยเอนไซม์แอลฟา-อะไมเลสไม่แตกต่างจากการสกัดโดยไม่ใช้เอนไซม์ (non-Enzymatic extraction) ทั้งนี้อาจเป็นเพราะหน่อไม้ฝรั่งเศษเหลือมีปริมาณแป้งน้อย โดยจากการศึกษาของ Takahashi และคณะ [15] พบว่าหน่อไม้ฝรั่งมีปริมาณแป้งเพียงร้อยละ

1.0 – 1.5 โดยน้ำหนักแห้ง ด้วยเหตุนี้จึงอาจจะส่งผลให้การสกัดด้วยเอนไซม์แอลฟา-อะไมเลสที่มีเป้าหมายในการกำจัดแป้งให้ผลไม่แตกต่างจากการสกัดโดยไม่ใช้เอนไซม์ การเพิ่มปริมาณเอนไซม์แอลฟา-อะไมเลสจะให้เส้นใยอาหารที่มีคุณสมบัติเชิงหน้าที่ในการอุ้มน้ำ อุ้มน้ำมัน การพองตัว และการละลายน้ำไม่แตกต่างกัน ทั้งนี้เป็นเพราะเส้นใยอาหารที่ได้หลังผ่านการสกัดมีปริมาณเส้นใยอาหารทั้งหมด เส้นใยอาหารไม่ละลายน้ำ และเส้นใยอาหารละลายน้ำไม่แตกต่างกัน แต่อย่างไรก็ตามเส้นใยอาหารที่ผ่านการสกัดด้วยเอนไซม์แอลฟา-อะไมเลสมีคุณสมบัติเชิงหน้าที่ในการอุ้มน้ำ อุ้มน้ำมัน และการพองตัวสูงกว่าการสกัดโดยไม่ใช้เอนไซม์เล็กน้อย อาจเนื่องมาจากการใช้เอนไซม์แอลฟา-อะไมเลสทำให้โครงสร้างที่ชอบน้ำ (Hydrophilic) และโครงสร้างที่ชอบน้ำมัน (Hydrophobic) มีประสิทธิภาพมากขึ้น [9]

ในการศึกษาครั้งนี้ใช้เอนไซม์แอลฟา-อะไมเลสปริมาณ 0.01 – 0.05 มิลลิลิตรต่อกรัม ซึ่งเป็นปริมาณที่น้อยกว่าปริมาณที่ให้ผลดีในการสกัดเส้นใยอาหารจากเปลือกกล้วย (0.10 มิลลิลิตรต่อกรัม) ที่มีปริมาณแป้งค่อนข้างสูง [16] เป็นปริมาณที่เหมาะสมและเพียงพอต่อการสกัดเส้นใยอาหารจากหน่อไม้ฝรั่งเศษเหลือที่มีปริมาณแป้งไม่สูงมาก ดังนั้นในการศึกษาครั้งนี้สรุปได้ว่าการใช้เอนไซม์แอลฟา-อะไมเลสไม่สามารถเพิ่มปริมาณเส้นใยอาหารได้ แต่สามารถเพิ่มคุณสมบัติเชิงหน้าที่ในการอุ้มน้ำ อุ้มน้ำมัน และการพองตัวของเส้นใยอาหารได้เมื่อเทียบกับการสกัดโดยไม่ใช้เอนไซม์

การสกัดโดยใช้และไม่ใช้เอนไซม์เอนไซม์แอลฟา-อะไมเลสจะให้ปริมาณเส้นใยอาหารและคุณสมบัติเชิงหน้าที่ในการอุ้มน้ำและอุ้มน้ำมันเพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$) เมื่อเปรียบเทียบกับวัตถุดิบหน่อไม้ฝรั่งเศษเหลือเริ่มต้น ทั้งนี้เพราะการสกัดสามารถกำจัดน้ำตาล เถ้า ไขมัน และโปรตีน ส่งผลให้มีเส้นใยอาหารที่สามารถจับกับน้ำและน้ำมันได้มากขึ้น [6, 9, 11, 12, 14] อย่างไรก็ตามการสกัดจะทำให้เส้นใยอาหารที่ได้มีความสามารถในการพองตัวและการละลายน้ำน้อยลง โดยการพองตัวน้อยลงเพราะเส้นใยอาหารที่ได้มีปริมาตรเริ่มต้นสูงส่วนวัตถุดิบหน่อไม้ฝรั่งมีปริมาตรเริ่มต้นต่ำแต่ปริมาตรสุดท้ายหลังแช่น้ำไม่แตกต่างกันมาก การละลายน้ำน้อยลงเพราะในระหว่างการสกัดองค์ประกอบที่ละลายน้ำได้ (น้ำตาล โปรตีน และเถ้า) ถูกกำจัดออกไป [9, 11]

ตารางที่ 2 ปริมาณเส้นใยอาหารและคุณสมบัติเชิงหน้าที่ของเส้นใยอาหารที่ได้จากการสกัดหน่อไม้ฝรั่งเศษเหลือด้วยเอนไซม์แอลฟา-อะไมเลส (α-amylase)

Dietary fiber and properties	non-Extraction	non-Enzymatic extraction	α-amylase-Enzymatic extraction		
			0.010 mL/g	0.025 mL/g	0.050 mL/g
TDF (%,w/w)	66.89 ± 1.05a	84.51 ± 0.27c	86.80 ± 1.59d	83.85 ± 0.16c	85.44 ± 0.50cd
IDF (%,w/w)	59.68±0.36a	80.45±0.45b	82.81±1.40c	80.12±0.34b	81.83±0.18c
SDF (%,w/w)	7.20 ± 0.80b	4.06 ± 0.18a	3.99 ± 0.27a	3.73 ± 0.18a	3.61 ± 0.32a
WHC (g water/g)	5.92 ± 0.12a	8.02 ± 0.03b	8.82 ± 0.07c	8.88 ± 0.15b	8.82 ± 0.09bc
OHC (g oil/g)	1.89 ± 0.01a	5.33 ± 0.15b	5.67 ± 0.06c	5.54 ± 0.09c	5.67 ± 0.13c
SC (mL/g)	6.19 ± 0.52c	3.47 ± 0.17a	4.45 ± 0.20b	4.37 ± 0.08b	4.47 ± 0.32b
WSI (%,w/w)	25.38 ± 0.44b	8.73 ± 0.43a	8.24 ± 1.00a	8.35 ± 0.03a	8.23 ± 0.59a

หมายเหตุ : ค่าเฉลี่ย ± ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน a, b และ c แสดงความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) ในแนวนอนเดียวกัน, การสกัดโดยไม่ใช้เอนไซม์ (non-enzymatic extraction) ดำเนินการที่พีเอช 7.0 และอุณหภูมิ 75 องศาเซลเซียส

การสกัดเส้นใยอาหารด้วยเอนไซม์อัลคาเลส (Alcalase)

จากการสกัดเส้นใยอาหารจากหน่อไม้ฝรั่งเศษเหลือด้วยเอนไซม์อัลคาเลส พบว่าการเพิ่มปริมาณเอนไซม์อัลคาเลสไม่สามารถเพิ่มปริมาณเส้นใยอาหารหลังการสกัดได้ อีกทั้งปริมาณเส้นใยอาหารที่ได้จากการสกัดด้วยเอนไซม์อัลคาเลสไม่แตกต่างจากการสกัดโดยไม่ใช้เอนไซม์ (non-Enzyme extraction) (ตารางที่ 3) เอนไซม์อัลคาเลสเป็นเอนไซม์ชนิดเอนโดโปรติเอส (Endoprotease) ที่มีประสิทธิภาพในการย่อยโปรตีนและมีการนำไปใช้ในการสกัดโปรตีนจากพืชหลายชนิดไม่ว่าจะเป็นรำข้าว

ถั่วเหลือง และเปลือกกล้วย เป็นต้น [17] แต่ในการสกัดครั้งนี้กลับส่งผลให้ได้ปริมาณเส้นใยอาหารหลังจากการสกัดไม่แตกต่างจากการสกัดโดยไม่ใช้เอนไซม์ (non-Enzyme extraction) บ่งบอกได้ว่าเอนไซม์อัลคาเลสไม่สามารถกำจัดโปรตีนออกจากหน่อไม้ฝรั่งเศษเหลือได้ ทั้งนี้อาจเป็นเพราะวัตถุดิบหน่อไม้ฝรั่งเศษเหลือไม่ผ่านการปรับสภาพวัตถุดิบ (Pretreatment) ซึ่งเป็นขั้นตอนสำคัญทำให้วัตถุดิบอ่อนนุ่มและเป็นรูพรุนเพิ่มขึ้นทำให้เอนไซม์อัลคาเลสสามารถเข้าถึงและย่อยโปรตีนได้ [16, 18] การใช้เอนไซม์อัลคาเลสเพิ่มขึ้นจะให้เส้นใยอาหารที่มีคุณสมบัติเชิงหน้าที่ในการอุ้มน้ำ อุ้มน้ำมัน การพองตัว และการละลายน้ำไม่แตกต่างกัน ทั้งนี้เพราะเส้นใยอาหารที่ได้มีปริมาณเส้นใยอาหารที่ไม่ละลายน้ำและเส้นใยอาหารที่ละลายน้ำไม่แตกต่างกัน แต่อย่างไรก็ตามเส้นใยอาหารที่ได้จากการสกัดด้วยเอนไซม์อัลคาเลสมีคุณสมบัติในการอุ้มน้ำ อุ้มน้ำมัน และการพองตัวสูงกว่าเส้นใยอาหารที่ผ่านการสกัดโดยไม่ใช้เอนไซม์เล็กน้อย ทั้งนี้อาจเป็นเพราะการใช้เอนไซม์อัลคาเลสทำให้โครงสร้างที่ถูกปิดกั้นจากโปรตีนโดยเฉพาะโครงสร้างที่สามารถจับกับน้ำและน้ำมันมีประสิทธิภาพดีขึ้นเล็กน้อย [6, 9, 11, 12, 14]

ในการศึกษาครั้งนี้ใช้เอนไซม์อัลคาเลสช่วง 0.025 – 0.100 มิลลิลิตรต่อกรัม เป็นปริมาณที่ใกล้เคียงกับที่ใช้ในการวิเคราะห์ปริมาณเส้นใยอาหาร [13] เป็นปริมาณที่เหมาะสมและเพียงพอต่อการสกัดเส้นใยอาหารจากหน่อไม้ฝรั่งเศษเหลือ ดังนั้นในการศึกษาครั้งนี้สรุปได้ว่าการใช้เอนไซม์อัลคาเลสไม่สามารถเพิ่มปริมาณเส้นใยอาหารได้ แต่สามารถเพิ่มคุณสมบัติเชิงหน้าที่ในการอุ้มน้ำ อุ้มน้ำมัน และการพองตัวของเส้นใยอาหารได้เมื่อเทียบกับการสกัดโดยไม่ใช้เอนไซม์

การสกัดโดยใช้และไม่ใช้เอนไซม์อัลคาเลสจะให้ปริมาณเส้นใยอาหารและคุณสมบัติเชิงหน้าที่ในการอุ้มน้ำและอุ้มน้ำมันเพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$) เมื่อเปรียบเทียบกับวัตถุดิบหน่อไม้ฝรั่งเศษเหลือเริ่มต้น ทั้งนี้เพราะการสกัดสามารถกำจัดน้ำตาล เถ้า ไขมัน และโปรตีน ส่งผลให้มีเส้นใยอาหารที่สามารถจับกับน้ำและน้ำมันได้มากขึ้น [6, 9, 11, 12, 14] อย่างไรก็ตามการสกัดจะทำให้เส้นใยอาหารที่ได้มีความสามารถในการพองตัวและการละลายน้ำน้อยลง โดยการพองตัวน้อยลงเพราะเส้นใยอาหารที่ได้มีปริมาตรเริ่มต้นสูงส่วนวัตถุดิบหน่อไม้ฝรั่งมีปริมาตรเริ่มต้นต่ำแต่ปริมาตรสุดท้ายหลังแช่น้ำไม่แตกต่างกันมาก การละลายน้ำน้อยลงเพราะในระหว่างการสกัดองค์ประกอบที่ละลายน้ำได้ (น้ำตาล โปรตีน และเถ้า) ถูกกำจัดออกไป [9, 11]

ตารางที่ 3 ปริมาณเส้นใยอาหารและคุณสมบัติเชิงหน้าที่ของเส้นใยอาหารที่ได้จากการสกัดหน่อไม้ฝรั่งเศษเหลือด้วยเอนไซม์อัลคาเลส

Dietary fiber and properties	non-Extraction	non-Enzymatic extraction	Alcalase-Enzymatic extraction		
			0.025 mL/g	0.050 mL/g	0.100 mL/g
TDF (%,w/w)	66.89 ± 1.05a	79.75 ± 0.81c	78.85 ± 0.93bc	78.00 ± 0.69b	77.81 ± 0.56b
IDF (%,w/w)	59.68 ± 0.36a	75.57 ± 1.00d	74.13 ± 0.50c	73.14 ± 0.46bc	72.90 ± 0.46b
SDF (%,w/w)	7.20 ± 0.80b	4.17 ± 0.19a	4.73 ± 0.43a	4.86 ± 0.38a	4.91 ± 0.19a
WHC (g water/g)	5.59 ± 0.17a	7.98 ± 0.35b	8.53 ± 0.20c	8.50 ± 0.39c	8.51 ± 0.24c
OHC (g oil/g)	1.40 ± 0.04a	4.15 ± 0.24b	4.95 ± 0.39c	5.05 ± 0.06c	5.08 ± 0.13c
SC (mL/g)	5.97 ± 0.24b	5.01 ± 0.23a	6.30 ± 0.47b	5.83 ± 0.75b	5.92 ± 0.06b
WSI (%,w/w)	22.86 ± 1.51b	10.24 ± 0.50a	11.21 ± 0.68a	11.47 ± 0.22a	11.20 ± 0.13a

หมายเหตุ : ค่าเฉลี่ย ± ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน a, b และ c แสดงความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) ในแนวนอนเดียวกัน, การสกัดโดยไม่ใช้เอนไซม์ (non-enzymatic extraction) ดำเนินการที่พีเอช 8.0 และอุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส

การสกัดเส้นใยอาหารด้วยเอนไซม์อะไมโลกลูโคซิเดส (Amyloglucosidase)

จากการศึกษาการสกัดเส้นใยอาหารจากหน่อไม้ฝรั่งเศษเหลือด้วยเอนไซม์อะไมโลกลูโคซิเดส พบว่าการเพิ่มปริมาณเอนไซม์อะไมโลกลูโคซิเดสไม่สามารถเพิ่มปริมาณเส้นใยอาหารได้ อีกทั้งปริมาณเส้นใยอาหารที่ได้ไม่แตกต่างจากการสกัดโดยไม่ใช้เอนไซม์ (non-Enzymatic extraction) (ตารางที่ 4) ผลที่ได้มีลักษณะเดียวกันกับการใช้เอนไซม์แอลฟา-อะไมเลส ทั้งนี้เป็นเพราะเอนไซม์อะไมโลกลูโคซิเดสเป็นเอนไซม์ย่อยแป้งเช่นเดียวกับเอนไซม์แอลฟา-อะไมเลส แต่จะตัดตรงตำแหน่งที่

แตกต่างกัน และเนื่องจากหน่อไม้ฝรั่งเศษเหลือที่ใช้อาจจะมีปริมาณแป้งน้อยจึงส่งผลให้การสกัดด้วยเอนไซม์อะไมโลกลูโคซิเดสให้ผลไม่แตกต่างจากการสกัดโดยไม่ใช้เอนไซม์ [15] นอกจากนั้นการเพิ่มปริมาณเอนไซม์อะไมโลกลูโคซิเดสจะให้เส้นใยอาหารที่มีคุณสมบัติเชิงหน้าที่ในการอุ้มน้ำ อุ้มน้ำมัน การพองตัว และการละลายน้ำไม่แตกต่างกัน และไม่แตกต่างจากการสกัดโดยไม่ใช้เอนไซม์ (non-enzymatic extraction) ทั้งนี้เพราะเส้นใยอาหารที่ได้หลังผ่านการสกัดมีปริมาณเส้นใยอาหารไม่แตกต่างกัน จึงมีคุณสมบัติเชิงหน้าที่ไม่แตกต่างกัน

ในการศึกษาครั้งนี้ใช้เอนไซม์อะไมโลกลูโคซิเดสปริมาณ 0.13 – 0.40 มิลลิกรัมต่อกรัม เป็นปริมาณที่ใกล้เคียงกับที่ให้ผลดีในการสกัดเส้นใยอาหารจากเปลือกกล้วย (0.1 มิลลิกรัมต่อกรัม) [16] เป็นปริมาณที่เหมาะสมและเพียงพอต่อการสกัดเส้นใยอาหารจากหน่อไม้ฝรั่งเศษเหลือ ดังนั้นในการศึกษาครั้งนี้สรุปได้ว่าการใช้เอนไซม์อะไมโลกลูโคซิเดสไม่สามารถเพิ่มปริมาณเส้นใยอาหารและคุณสมบัติเชิงหน้าที่ในการอุ้มน้ำ อุ้มน้ำมัน การพองตัว และการละลายน้ำได้เมื่อเทียบกับการสกัดโดยไม่ใช้เอนไซม์ (non-enzymatic extraction)

การสกัดโดยใช้และไม่ใช้เอนไซม์อะไมโลกลูโคซิเดสจะให้ปริมาณเส้นใยอาหารเพิ่มขึ้นและมีคุณสมบัติเชิงหน้าที่ในการอุ้มน้ำและอุ้มน้ำมันดีขึ้นเมื่อเทียบกับวัตถุดิบหน่อไม้ฝรั่งเศษเหลือที่ไม่ผ่านการ สกัด ทั้งนี้เพราะการสกัดสามารถกำจัดน้ำตาล เถ้า ไขมัน และโปรตีน ส่งผลให้มีเส้นใยอาหารที่สามารถจับกับน้ำและน้ำมันได้มากขึ้น [6, 9, 11, 12, 14] อย่างไรก็ตามการสกัดจะทำให้เส้นใยอาหารที่ได้มีความสามารถในการพองตัวและการละลายน้ำน้อยลง โดยการพองตัวน้อยลงเพราะเส้นใยอาหารที่ได้มีปริมาตรเริ่มต้นสูงส่วนวัตถุดิบหน่อไม้ฝรั่งมีปริมาตรเริ่มต้นต่ำแต่ปริมาตรสุดท้ายหลังแช่น้ำไม่แตกต่างกันมาก การละลายน้ำน้อยลงเพราะในระหว่างการสกัดองค์ประกอบที่ละลายน้ำได้ (น้ำตาล โปรตีน และเถ้า) ถูกกำจัดออกไป

ตารางที่ 4 ปริมาณเส้นใยอาหารและคุณสมบัติเชิงหน้าที่ของเส้นใยอาหารที่ได้จากการสกัดหน่อไม้ฝรั่งเศษเหลือด้วยเอนไซม์อะไมโลกลูโคซิเดส

Dietary fiber	non-	non-Enzymatic	AMG-Enzymatic extraction		
And properties	Extraction	extraction	0.13 mg/g	0.27 mg/g	0.40 mg/g
TDF (%,w/w)	62.35 ± 0.56a	82.96 ± 0.67b	82.87 ± 0.81b	84.10 ± 0.22b	82.06 ± 0.53b
IDF (%,w/w)	56.69 ± 0.31a	78.33 ± 0.84b	78.09 ± 0.98b	79.35 ± 0.18b	77.45 ± 0.22b
SDF (%,w/w)	5.66 ± 0.25b	4.63 ± 0.19a	4.78 ± 0.18a	4.75 ± 0.06a	4.60 ± 0.33a
WHC (g water/g)	6.28 ± 0.14a	7.35 ± 0.25b	7.39 ± 0.07b	7.53 ± 0.11b	7.28 ± 0.03b
OHC (g oil/g)	1.59 ± 0.14a	4.03 ± 0.11b	4.12 ± 0.21b	4.01 ± 0.07b	3.99 ± 0.28b
SC (mL/g)	6.55 ± 0.12b	5.51 ± 0.32a	5.83 ± 0.47a	6.28 ± 0.31ab	6.24 ± 0.32ab
WSI (%,w/w)	21.64 ± 1.17b	6.49 ± 0.49a	6.63 ± 1.08a	5.73 ± 0.36a	6.85 ± 0.32a

หมายเหตุ : ค่าเฉลี่ย ± ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน a, b และ c แสดงความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) ในแนวนอนเดียวกัน, การสกัดโดยไม่ใช้เอนไซม์ (non-enzymatic extraction) ดำเนินการที่พีเอช 4.5 และอุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส

อภิปรายและสรุปผลการวิจัย

หน่อไม้ฝรั่งเศษเหลือมีปริมาณเส้นใยอาหารสูงประมาณร้อยละ 63.83 ± 0.37 โดยน้ำหนัก มีความเหมาะสมในการนำมาผลิตเส้นใยอาหาร แต่อย่างไรก็ตามวัตถุดิบหน่อไม้ฝรั่งเศษเหลือยังมีคุณสมบัติเชิงหน้าที่ในการอุ้มน้ำและอุ้มน้ำมันค่อนข้างต่ำ โดยเฉพาะคุณสมบัติเชิงหน้าที่ในการอุ้มน้ำมัน กระบวนการสกัดเส้นใยอาหารนอกจากจะช่วยให้สามารถเพิ่มปริมาณเส้นใยอาหารแล้วยังสามารถเพิ่มคุณสมบัติเชิงหน้าที่ในการอุ้มน้ำและอุ้มน้ำมันได้ด้วย ซึ่งการเพิ่มคุณสมบัติเชิงหน้าที่เหล่านี้ให้สูงขึ้นจะทำให้เส้นใยอาหารมีคุณค่าทางอาหารในการช่วยป้องกันโรคในระบบทางเดินอาหาร ลดคอเลสเตอรอล ลดน้ำตาลในเลือด ลดโรคอ้วน และป้องกันโรคหลอดเลือดและหัวใจได้เพิ่มขึ้นด้วย [9]

การสกัดเส้นใยอาหารจากหน่อไม้ฝรั่งเศษเหลือด้วยเอนไซม์แอลฟา-อะไมเลส อัลคาเลส และอะไมโลกลูโคซิเดสให้ปริมาณเส้นใยไม่แตกต่างจากการสกัดโดยไม่ใช้เอนไซม์ ทั้งนี้อาจเป็นเพราะหน่อไม้ฝรั่งเศษเหลือมีปริมาณแป้งต่ำทำให้การสกัด

ด้วยเอนไซม์แอลฟา-อะไมเลส และอะไมโลกลูโคซิเดสมีผลต่อการสกัดเล็กน้อย ทำให้ได้ปริมาณเส้นใยอาหารไม่แตกต่างจากการสกัดโดยไม่ใช้เอนไซม์ ส่วนการสกัดด้วยเอนไซม์อัลคาเลสเนื่องจากวัตถุดิบหน่อไม้ฝรั่งเศษเหลือไม่ผ่านการปรับสภาพทำให้เอนไซม์อัลคาเลสเข้าถึงและย่อยโปรตีนได้ยากส่งผลให้ได้ปริมาณเส้นใยอาหารไม่แตกต่างจากการสกัดโดยไม่ใช้เอนไซม์ อย่างไรก็ตามการสกัดด้วยเอนไซม์แอลฟา-อะไมเลสและอัลคาเลสจะให้เส้นใยอาหารที่มีคุณสมบัติเชิงหน้าที่ในการอุ้มน้ำ อุ้มน้ำมัน และการพองตัวสูงกว่าการสกัดโดยไม่ใช้เอนไซม์ ส่วนการสกัดด้วยเอนไซม์อะไมโลกลูโคซิเดสให้คุณสมบัติเชิงหน้าที่ไม่แตกต่างจากการสกัดโดยไม่ใช้เอนไซม์

การสกัดไม่ว่าจะเป็นการสกัดโดยใช้หรือไม่ใช้เอนไซม์จะให้ปริมาณเส้นใยอาหารเพิ่มขึ้น และมีคุณสมบัติเชิงหน้าที่ในการอุ้มน้ำและอุ้มน้ำมันเพิ่มอย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$) เมื่อเทียบกับวัตถุดิบหน่อไม้ฝรั่งเศษเหลือที่ไม่ผ่านการสกัด ทั้งนี้เพราะการสกัดสามารถกำจัดองค์ประกอบต่างๆ เช่น น้ำตาล เถ้า สารประกอบฟีนอลิก และโปรตีน ที่คอยปิดกั้นโครงสร้างที่สามารถจับกับน้ำและน้ำมัน ซึ่งนอกจากจะทำให้เส้นใยอาหารที่ได้มีปริมาณเส้นใยอาหารเพิ่มขึ้นแล้ว ยังทำให้เส้นใยอาหารที่ได้มีประสิทธิภาพในการจับกับน้ำและน้ำมันเพิ่มขึ้นด้วย องค์ประกอบเหล่านี้ (น้ำตาล เถ้า สารประกอบฟีนอลิก และโปรตีน) เป็นองค์ประกอบที่สามารถละลายน้ำได้ดี โดยจากการศึกษาความสามารถในการละลายน้ำพบว่าวัตถุดิบหน่อไม้ฝรั่งเศษเหลือมีความสามารถในการละลายน้ำสูงถึงร้อยละ 23.30 โดยน้ำหนัก โดยเฉพาะน้ำตาลที่มีปริมาณสูงถึงร้อยละ 17 – 28 โดยน้ำหนัก [9, 12] ซึ่งอาจจะมีทั้งน้ำตาลโมเลกุลเดี่ยวและโมเลกุลคู่ เช่น กลูโคส ฟรุกโตส และซูโครส เป็นต้น [7, 8]

เส้นใยอาหารหลังผ่านการสกัดจะมีปริมาณเส้นใยอาหารทั้งหมดเพิ่มขึ้นจากร้อยละ 62.4 – 66.9 เป็นร้อยละ 74.7 – 86.8 โดยน้ำหนัก ส่งผลให้เส้นใยอาหารที่ได้มีคุณสมบัติเชิงหน้าที่ในการอุ้มน้ำเพิ่มขึ้นจาก 5.6 – 6.3 กรัมน้ำต่อกรัมเส้นใย เป็น 7.3 – 8.8 กรัมน้ำต่อกรัมเส้นใย และคุณสมบัติในการอุ้มน้ำมันเพิ่มขึ้นจาก 1.4 – 1.9 กรัมน้ำมันต่อกรัมเส้นใย เป็น 4.0 – 5.7 กรัมน้ำมันต่อกรัมเส้นใย ตามลำดับ ทั้งนี้เป็นเพราะเส้นใยอาหารที่ผ่านการสกัดอาจมีรูพรุนมากขึ้นเนื่องจากมีการกำจัดองค์ประกอบที่แทรกอยู่ทั้งในและนอกเซลล์ออกไปทำให้สามารถอุ้มน้ำและอุ้มน้ำมันได้เพิ่มขึ้น [6, 9, 11, 12, 14] และเนื่องจากมีการกำจัดองค์ประกอบบางอย่างออกไปทำให้โครงสร้างของเส้นใยอาหารที่สามารถจับกับน้ำ หรือ โครงสร้างส่วนที่ชอบน้ำ (Hydrophilic) และโครงสร้างที่สามารถจับกับน้ำมัน หรือ โครงสร้างส่วนไม่ชอบน้ำ (Hydrophobic) มีประสิทธิภาพในการจับน้ำและน้ำมันเพิ่มมากขึ้น [9, 11] นอกจากนั้นหลังผ่านการสกัดจะมีปริมาณเส้นใยอาหารเพิ่มขึ้นทำให้มีโครงสร้างในการจับกับน้ำและน้ำมันเพิ่มขึ้นตามไปด้วย เส้นใยอาหารที่ไม่ละลายน้ำได้แก่ เซลลูโลส เฮมิเซลลโลส และ ลิกนิน มีส่วนช่วยเพิ่มความสามารถในการอุ้มน้ำและอุ้มน้ำมัน [19] อย่างไรก็ตามเส้นใยอาหารหลังผ่านการสกัดจะมีความสามารถในการพองตัวและความสามารถในการละลายน้ำต่ำกว่าวัตถุดิบหน่อไม้ฝรั่งเศษเหลือเริ่มต้น โดยความสามารถในการพองตัวของเส้นใยอาหารที่ลดลงหลังผ่านการสกัดเกิดจากเส้นใยอาหารที่ผ่านการสกัดมีปริมาตรเริ่มต้นสูงกว่าวัตถุดิบหน่อไม้ฝรั่งเศษเหลือค่อนข้างมากทำให้เมื่อเติมน้ำจึงเกิดการพองตัวได้น้อยกว่า แต่อย่างไรก็ตามปริมาตรทั้งหมดของเส้นใยอาหารที่ผ่านการสกัดสูงกว่าวัตถุดิบหน่อไม้ฝรั่งเศษเหลือเมื่อเทียบในน้ำหนักที่เท่ากัน ส่วนคุณสมบัติในการละลายน้ำของเส้นใยอาหารที่ผ่านการสกัดจะลดลงเนื่องจากองค์ประกอบที่สามารถละลายน้ำได้ถูกกำจัดออกไประหว่างกระบวนการสกัด

ในการสกัดเส้นใยอาหารจากหน่อไม้ฝรั่งเศษเหลือในครั้งนี้จะให้ปริมาณเส้นใยอาหารทั้งหมดสูงกว่าจากการศึกษาของ Laidens และคณะ [12] และ Iwassa และคณะ [11] ใกล้เคียงกับการศึกษาของ Fuentes-alventosa และคณะ [6] แต่ต่ำกว่าจากการศึกษาของ Iwassa และคณะ [9] ส่วนคุณสมบัติเชิงหน้าที่ในการอุ้มน้ำและอุ้มน้ำมันจะต่ำกว่าการศึกษาที่ผ่านมาโดยส่วนใหญ่ (ตารางที่ 5) ทั้งนี้อาจเป็นเพราะหลังจากการเตรียมจะมีโครงสร้างในการจับกับน้ำและน้ำมันต่ำกว่า อีกทั้งวัตถุดิบหน่อไม้ฝรั่งเศษเหลือเริ่มต้นที่ใช้ในการศึกษาครั้งนี้มีคุณภาพต่ำกว่า อย่างเช่น จากการศึกษาของ Iwassa และคณะ [9, 11] และ Laidens และคณะ [12] พบว่าวัตถุดิบหน่อไม้ฝรั่งเศษเหลือเริ่มต้นก่อนการสกัดค่อนข้างมีคุณภาพในการจับกับน้ำและน้ำมันสูง ส่วนวัตถุดิบที่ใช้ในการศึกษาครั้งนี้มีคุณภาพในการจับน้ำกับน้ำมันต่ำ โดยเฉพาะคุณภาพในการจับกับน้ำมันที่มีเพียง 1.64 ± 0.19 กรัมน้ำมันต่อกรัมเส้นใย ต่ำกว่าการศึกษาอื่นๆ หลายเท่าตัว (ตารางที่ 1)

ตารางที่ 5 ปริมาณและคุณสมบัติเชิงหน้าที่ของเส้นใยอาหารหลังจากการสกัดหน่อไม้ฝรั่งเศสเหลือด้วยวิธีการต่างๆ

Processes	This project	Laidens และคณะ [12]	Iwassa และคณะ [9]	Iwassa และคณะ [11]	Fuentes-Alventosa และคณะ [6]	Cadavid และคณะ [14]
Material preparation	Wash, cut, dried 80°C, 48h, ground, sieves to 0.60 mm	Cut, dried 60°C, 24h, ground, sieves to 0.4 mm	Cut, dried 60°C, 24h, ground, sieves to 32 mesh	Cut and ground with domestic blender	Fresh asparagus, kept at 4°C, 24h and cut	Wash with 2%(v/v) detergent, organic solution, cut, homogenized
Extraction condition	S/L ratio 1:10 (w/v), pH 4.5 – 8.0, 60 – 75°C, 60 min (Enzyme)	S/L ratio 1:20 (w/v) 125 rpm, 60°C, 30 min	Subcritical extraction 100°C, 100 bar, 30 min	S/L ratio 1:1 (w/v), Homogenizer 1.67 Hz, 25°C, 30 min	S/L ration 1:1 (w/v), Homogenized, 60°C, 90 min	S/L ratio 1:1 (w/v), Homogenized, 55.1°C, 60 min
TDF (%,w/w)	74.7 – 86.8	69.74±0.34	93.08	67.7	75.4-77.5	78.0
IDF (%,w/w)	77.2 – 82.8	63.07±0.33	74.87±0.15	61.3±1.2	65.2-66.8	-
SDF (%,w/w)	3.6 – 4.9	6.67±0.49	18.21±0.35	6.4±0.4	10.3-10.7	-
WHC (g water/g)	7.3 – 8.8	10.50±0.28	13.43±0.41	13.2±0.5	18.8-20.3	11.29
OHC (g oil/g)	4.0 – 5.7	7.77±0.21	6.76±0.07	7.2±0.1	7.61-8.19	5.12
SC (mL/g)	3.5 – 6.3	23.90±0.10	30.50±0.71	-	-	3.0
WSI (%,w/w)	5.8 – 12.0	5.98±0.03	0.85±0.21	4.1±0.2	22.6-23.4	10.99

กิตติกรรมประกาศ

คณะผู้วิจัยขอขอบคุณกลุ่มเกษตรกรจังหวัดเพชรบูรณ์ที่ให้การสนับสนุนหน่อไม้ฝรั่งเศษเหลือเพื่อใช้เป็นวัตถุดิบในงานวิจัยครั้งนี้

เอกสารอ้างอิง

1. วรนัฐ เสนีวงศ์ ณ อยุธยา, วรรณา สนั่นพานิชกุล. หน่อไม้ฝรั่งไทยกระจายไกลไปทั่วโลกด้วยวิธีการเพาะเลี้ยงเนื้อเยื่อพืช. [อินเตอร์เน็ต]. 2562 [เข้าถึงเมื่อ 29 ก.ย. 2565]. เข้าถึงได้จาก: https://www.technologychaoban.com/bullet-news-today/article_74713,
2. ตลาดไท. หน่อไม้ฝรั่ง B (ดอกตูม). [อินเตอร์เน็ต]. 2566 [เข้าถึงเมื่อ 16 ธ.ค. 2566]. เข้าถึงได้จาก: https://talaadthai.com/products/asparagus-9614-2537
3. สำนักงานเศรษฐกิจการเกษตร. หน่อไม้ฝรั่ง: เนื้อที่เพาะปลูก เนื้อที่เก็บเกี่ยว ผลผลิตและผลผลิตต่อไร่ รวมทั้งประเทศ ปี 2565. [อินเตอร์เน็ต]. 2566 [เข้าถึงเมื่อ 13 ธ.ค. 2566]. เข้าถึงได้จาก : https://www.oae.go.th/assets/portals/1/fileups/prcaidata/files/asparagus65.pdf

4. Chitrakar B, Zhang M, Adhikari B. Asparagus (*Asparagus officinalis*): Processing effect on nutritional and phytochemical composition of spear and hard-stem byproducts. Trends in Food Sci Technol 2019;93:1–11.
5. Pegiou E, Mumm R, Acharya P, de Vos RCH, Hall RD. Green and White Asparagus (*Asparagus officinalis*): A Source of Developmental, Chemical and Urinary Intrigue. Metabolites 2019;10(1):17.
6. Fuentes-Alventosa JM, Rodriguez-Gutirrez G, Jaramillo-Carmona S, Espejo-Calvo JA, Rodriguez-Arcos R, Fernandez-Bolanos J, Guillin-Bejarano R, Jiminez-Araujo A. Effect of extraction method on chemical composition and functional characteristics of high dietary fibre powders obtained from asparagus by-products. Food Chem 2009;113(2):665–71.
7. Redondo-Cuenca A, García-Alonso A, Rodríguez-Arcos R, Castro I, Alba C, Miguel Rodríguez J, Goni I. Nutritional composition of green asparagus (*Asparagus officinalis L.*), edible part and by-products, and assessment of their effect on the growth of human gut-associated bacteria. Food Res Int 2023;163:112284.
8. DiNardo A, Wu P, Chang S. Protein and polysaccharides extraction from discarded asparagus base. In: CSBE/SCGAB 2016 Annual Conference Halifax World Trade and Convention Centre, July 3-6, 2016; Nova Scotia, Canada; 2016. p. 1-8.
9. Iwassa IJ, Ribeiro IMS, Meurer EC, Cardozo-Filho L, Bolanho BC, Silva C. Effect of subcritical water processing on the extraction of compounds, composition, and functional properties of asparagus by-product. J Food Process Eng 2019;42(4):e13060.
10. กมลลักษณ์ วิชาเร็ว. ผลของวิธีการสกัดต่อสมบัติทางเคมีกายภาพและสมบัติเชิงหน้าที่ของเส้นใยอาหารจากหน่อไม้เศษเหลือ. วิทยานิพนธ์หลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาเทคโนโลยีชีวภาพ มหาวิทยาลัยพะเยา. พะเยา; 2563.
11. Iwassa IJ, Piai JF, Bolanho BC. Fiber concentrates from asparagus by-products: Microstructure, composition, functional and antioxidant properties. Food Sci Technol 2019;43:1-9.
12. Laidens CP, Iwassa IJ, Stevanato N, Zampar IC, Barros BCB, Silva C. Obtaining fermentable sugars and fiber concentrate from asparagus byproduct. J Food Process Preserv 2021;45(7):e15640.
13. Prosky L, Asp NG, Schweizer TF, Devries JW, Furda I. Determination of insoluble, soluble and total dietary fiber in foods and food products: Interlaboratory Study. J Assoc Off Anal Chem 1988;71(5):1017-23.
14. Cadavid ELA, Molina DAR, Cartagena J. Chemical, physicochemical and functional characteristics of dietary fiber obtained from asparagus Byproducts (*Asparagus officinalis* L.). Rev Fac Nal Agr Medellín 2015;68(1):7533-44.
15. Takahashi H, Yoshida C, Takeda T. Sugar composition in asparagus spears and its relationship to soil chemical properties. J Appl Glycosci 2019;66(1):47–50.
16. Wachirasiri P, Julakarangka S, Wanlapa S. The effects of banana peel preparations on the properties of banana peel dietary fibre concentrate. Songklanakarin J Sci Technol 2009;31(6):605-11.

17. กุลรภัส วชิรศิริ, โศรดา วัลภา, มณีรัตน์ มีพลอย, ดำรงชัย สิทธิสำอาง, ยุทธศักดิ์ สุบการี. ผลของปริมาณรำข้าวและเอนไซม์อัลคาเลสต่อระดับการย่อยโปรตีน ผลผลิต และฤทธิ์ทางชีวภาพในการกำจัดอนุมูลอิสระของเพปไทด์ไฮโดรไลเซทจากรำข้าวสกัดน้ำมัน. วารสารวิจัยและพัฒนา มจธ. 2564;44(3):427-42.

18. Daou C, Zhang H. Optimization of processing parameters for extraction of total, insoluble and soluble dietary fibers of defatted rice bran. Emir J Food Agric 2013;25(8):562-75.

19. โศรดา วัลภา, กุลรภัส วชิรศิริ, ดำรงชัย สิทธิสำอางค์, ฐิติชญา สุวรรณทัพ. ผลของกระบวนการเตรียมต่อองค์ประกอบทางเคมีและสมบัติเชิงหน้าที่ของใยอาหารจากเปลือกมะม่วงแก้ว. ว วิทย กษ 2552;40(3)(พิเศษ):141-4.