Bulletin of Applied Sciences, Vol. 13 No. 1 January - June 2024: 66 - 78

5

ผลของการเตรียมวัตถุดิบ ปริมาณวัตถุดิบ ความเข้มข้นของเอนไซม์ และระยะเวลาการสกัดต่อผลผลิตเส้นใยอาหารที่ละลายน้ำได้จากเศษเหลือทิ้งหน่อไม้ฝรั่ง

The effect of material pretreatment, substrate content, enzyme concentration and extraction time on yield of soluble dietary fiber from asparagus by-product

เรวดี มีสัตย์[1*], ยุทธศักดิ์ สุบการี[1]
Rewadee Meesat[1*], Yuttasak Subkaree[1]
รับบทความ 22 ธันวาคม 2566 แก้ไขบทความ 27 กุมพาพันธ์ 2567 ยอมรับตีพิมพ์ 4 มีนาคม 2567

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาผลของการเตรียมวัตถุดิบ (อุณหภูมิและการบดเปียก) ปริมาณวัตถุดิบ ความเข้มข้นเอนไซม์ (เซลลูเลสและเฮมิเซลลูเลส) และ ระยะเวลาการสกัดต่อผลผลิตเส้นใยอาหารที่ละลายน้ำได้จากเศษเหลือทิ้งหน่อไม้ฝรั่ง จากการศึกษาพบว่าการเตรียมวัตถุดิบ (อุณหภูมิและการบดเปียก) ปริมาณวัตถุดิบ ปริมาณเอนไซม์ (เซลลูเลสและเฮมิเซลลูเลส) และระยะเวลาการสกัดมีผลต่อผลผลิตเส้นใยอาหารที่ละลายน้ำได้จากเศษเหลือทิ้งหน่อไม้ฝรั่งอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$) สภาวะการสกัดที่ได้จากการศึกษาในครั้งนี้ คือ การเตรียมวัตถุดิบปริมาณ 1:20 (เศษเหลือทิ้งหน่อไม้ฝรั่งต่อน้ำ) ที่อุณหภูมิ 121 องศาเซลเซียส ความดัน 15 ปอนด์ต่อตารางนิ้ว เป็นเวลา 15 นาที แล้วบดเปียกให้เป็นเนื้อเดียวกัน นำไปย่อยด้วยเอนไซม์เซลลูเลสปริมาณร้อยละ 2.5 โดยปริมาตรต่อน้ำหนัก และเฮมิเซลลูเลสร้อยละ 2.5 โดยปริมาตรต่อน้ำหนัก ที่พีเอช 4.6 อุณหภูมิ 50 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 4 ชั่วโมง สภาวะนี้ให้ผลผลิตเส้นใยอาหารที่ละลายน้ำได้ร้อยละ 11.26 ± 0.63 โดยน้ำหนัก โดยเส้นใยอาหารที่ละลายน้ำที่ได้จากการศึกษาในครั้งนี้มีปริมาณเส้นใยอาหารทั้งหมดร้อยละ 69.06 ± 0.40 โดยน้ำหนัก แบ่งเป็นเส้นใยอาหารที่ละลายน้ำได้ร้อยละ 67.97 ± 0.92 โดยน้ำหนัก และเส้นใยอาหารไม่ละลายน้ำร้อยละ 1.09 ± 0.53 โดยน้ำหนัก เส้นใยอาหารที่ละลายน้ำที่ได้มีความสามารถในการอุ้มน้ำ 1.40 ± 0.07 กรัมน้ำต่อกรัม ความสามารถในการอุ้มน้ำมัน 1.64 ± 0.42 กรัมน้ำมันต่อกรัม และความสามารถในการละลายน้ำร้อยละ 75.45 ± 0.25 โดยน้ำหนัก นอกจากนั้น เส้นใยอาหารที่ละลายน้ำได้มีความสามารถในการกำจัดอนุมูลอิสระ (IC_{50} เท่ากับ 2.31 มิลลิกรัมต่อมิลลิลิตร) ผลนี้แสดงให้เห็นว่าปัจจัยเหล่านี้มีผลต่อศักยภาพในการสกัดเส้นใยอาหารที่ละลายน้ำได้จากเศษเหลือทิ้งหน่อไม้ฝรั่ง

คำสำคัญ: เส้นใยอาหารที่ละลายน้ำได้ เศษเหลือทิ้งหน่อไม้ฝรั่ง การสกัดเส้นใยอาหารด้วยเอนไซม์

[1]ศูนย์เชี่ยวชาญนวัตกรรมอาหารสุขภาพ (ศนอ.) สถาบันวิจัยวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งประเทศไทย (วว.)

Abstract

This research aims to study the effect of material pretreatment (temperature and wet blending), substrate content, enzyme concentration (cellulase and hemicellulase) and extraction time on yield of soluble dietary fibers (SDF) from asparagus by-products. This study found that material pretreatment (temperature and wet blending), substrate content, enzyme concentration (cellulase and hemicellulase) and extraction time effected on SDF yield from asparagus by-products significantly ($p < 0.05$). The extraction condition from this study were material pretreatment of 1:20 (asparagus : water) at 121 ºC, 15 lb./sq. inch for 15 min, wet blending to slurry, hydrolysis by using 2.5%(v/w) of cellulase and 2.5%(v/w) of hemecellulase at pH 4.6, 50 ºC for 4 h. These condition gave 11.26 ± 0.63%(w/w) of SDF yield. The obtained SDF consisted of 69.06 ± 0.40%(w/w) of total dietary fiber (TDF) which classified to 67.97 ± 0.92%(w/w) of SDF and 1.09 ± 0.53%(w/w) of insoluble dietary fiber (IDF). The obtained SDF had 1.40 ± 0.07 g/g of water holding capacity, 1.64 ± 0.42 g/g of oil holding capacity and 75.45 ± 0.25%(w/w) of water solubility index. Moreover, the obtained SDF had antioxidant activity (IC_{50} 2.31 mg/mL). These results indicated that these conditions had effect on the potential of SDF extraction from asparagus by-products.

Keywords: Soluble dietary fibers, Asparagus by-products, Enzymatic dietary fiber extraction

[1]Expert Centre of Innovative Health Food (InnoFood), Thailand Institute of Scientific and Technological Research (TISTR)
[*]Corresponding author e-mail address: Rewadee@tistr.or.th

1. บทนำ (Introduction)

หน่อไม้ฝรั่ง (Asparagus) สายพันธุ์ *Asparagus officinalis* L. เป็นพืชที่นิยมนำมาบริโภคเป็นอาหาร เป็นพืชที่มีคุณค่าทางโภชนาการ และมีความสำคัญทางเศรษฐกิจ โดยในปี ค.ศ. 2017 หน่อไม้ฝรั่งทั่วโลกมีมูลค่า 20 พันล้านเหรียญสหรัฐ จะเพิ่มขึ้นเป็น 30 พันล้านเหรียญสหรัฐ ในปี ค.ศ. 2027 ประเทศที่มีการผลิตมากที่สุดคือ จีน ตามด้วย เปรู เม็กซิโก และเยอรมนี สำหรับประเทศไทยมีการผลิตหน่อไม้ฝรั่งติด 1 ใน 10 ของผู้ผลิตลำดับต้น ๆ ใกล้เคียงกับประเทศญี่ปุ่น และเนเธอร์แลนด์ [1] หน่อไม้ฝรั่งเป็นอีกวัตถุดิบหนึ่งที่ได้รับการพิจารณาว่ามีศักยภาพในการผลิตเส้นใยอาหาร เนื่องจากมีปริมาณเส้นใยอาหารค่อนข้างสูง (Fiber-rich food) โดยมีประมาณร้อยละ 60.7 - 79.0 โดยน้ำหนักแห้ง [1-3] นอกจากนั้นยังถูกจัดเป็นเส้นใยอาหารที่มีฤทธิ์ทางชีวภาพ (Bioactive dietary fiber) มีความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระเนื่องจากมีซา-โปนิน (Saponin) เมลานอย (Melanoidins) และไซโลโอลิโกแซคคาไรด์ (Xylooligosaccharides) สูง ส่งผลให้มีกลิ่นคล้ายกาแฟและโกโก้ ในกระบวนการผลิตหน่อไม้ฝรั่งไม่ว่าจะเป็นการผลิตหน่อไม้ฝรั่งสด หน่อไม้ฝรั่งกระป๋อง หน่อไม้ฝรั่งแช่แข็ง และหน่อไม้ฝรั่งแห้ง จะมีวัสดุเศษเหลือทิ้ง (By-products) จำนวนมากประมาณร้อยละ 30 - 50 โดยน้ำหนัก วัสดุเศษเหลือทิ้งเหล่านี้ถูกนำไปใช้เป็นอาหารสัตว์และปุ๋ยที่มีมูลค่าต่ำ บางส่วนจะถูกทิ้งเกิดเป็นมลภาวะต่อสิ่งแวดล้อม [1] วัสดุเศษเหลือทิ้งจากหน่อไม้ฝรั่งจึงมีความน่าสนใจในการนำมาผลิตเป็นเส้นใยอาหารที่มีมูลค่าสูง โดยเฉพาะเส้นใยอาหารที่มีฤทธิ์ทางชีวภาพ (Bioactive dietary fiber) [1,3]

เส้นใยอาหาร (Dietary fibers) เป็นส่วนประกอบของผนังเซลล์พืชที่สามารถกินได้และต้านทานต่อการย่อยในระบบทางเดินอาหารของมนุษย์ เส้นใยอาหารสามารถแบ่งออกเป็น 2 ประเภท คือ เส้นใยอาหารที่ละลายน้ำได้ (Soluble dietary fiber; SDF) ได้แก่ เพกติน (Pectin) กัม (Gums) และ มิวซิเลจ (Mucilage) และเส้นใยอาหารที่ไม่ละลายน้ำ (Insoluble dietary fiber; IDF) ได้แก่ เซลลูโลส (Cellulose) เฮมิเซลลูโลส (Hemicellulose) และ ลิกนิน (Lignin) [4-5] เส้นใยอาหารมีคุณสมบัติในการอุ้มน้ำช่วยให้อิ่มท้องได้นานกว่าปกติทำให้สามารถลดได้ทั้งปริมาณอาหารและพลังงานช่วยลดคอเลสเตอรอล ลดน้ำตาลในเลือด และลดโรคอ้วนได้ คุณสมบัติในการอุ้มน้ำมันช่วยให้สามารถดึงน้ำมันจากอาหารที่รับประทานด้วยการขับถ่าย ซึ่งจะช่วยป้องกันโรคหลอดเลือดและหัวใจ เส้นใยอาหารที่ละลายน้ำได้จะมีคุณสมบัติและประโยชน์ที่ดีกว่าเส้นใยอาหารที่ไม่ละลายน้ำ เส้นใยอาหารที่ละลายน้ำได้มีคุณสมบัติในการละลายน้ำได้ดีช่วยให้สามารถการจับหรือดูดซับสารต่าง ๆ ที่ละลายน้ำได้ไม่ว่าจะเป็นโลหะหนัก แป้ง น้ำตาล และไขมัน จึงมีผลช่วยป้องกันการเกิดโรคเบาหวาน ไขมันในเลือดสูง และโรคหลอดเลือด เป็นต้น [6-7] อีกทั้งสามารถนำไปประยุกต์ใช้ในการผลิตได้หลากหลายรูปแบบทั้งผลิตภัณฑ์อาหารและเครื่องดื่ม และมีราคาที่สูงกว่าเส้นใยอาหารที่ไม่ละลายน้ำ อย่างไรก็ตามในธรรมชาติจะมีเส้นใยอาหารที่ละลายน้ำได้ค่อนข้างน้อย ประมาณร้อยละ 3 - 5 โดยน้ำหนัก [8] การพัฒนากระบวนการเปลี่ยนเส้นใยอาหารที่ไม่ละลายน้ำให้เป็นเส้นใยอาหารที่ละลายน้ำได้หรือกระบวนการสกัดเส้นใยอาหารที่ละลายน้ำได้กำลังได้รับความสนใจเพิ่มขึ้น

ในการเปลี่ยนเส้นใยอาหารที่ไม่ละลายน้ำให้เป็นเส้นใยอาหารที่ละลายน้ำได้จำเป็นต้องสลายพอลิเมอร์ขนาดใหญ่ของเซลลูโลส เฮมิเซลลูโลส และลิกนิน ให้มีขนาดเล็กจนสามารถละลายน้ำได้ กระบวนการสลายพอลิเมอร์ให้มีขนาดเล็กลงมีหลายวิธีไม่ว่าจะเป็น วิธีทางกายภาพ (Physical method) เช่น การลดขนาด การใช้ความร้อนและความดัน วิธีทางเคมี (Chemical method) เช่น การใช้กรดและด่าง วิธีทางชีวภาพ (Biological method) เช่น การใช้เอนไซม์และเชื้อจุลินทรีย์ และวิธีแบบผสม (Combine method) ซึ่งเป็นการใช้หลายวิธีรวมกัน จากที่กล่าวมาวิธีทางกายภาพเป็นกระบวนการที่ง่าย ใช้ระยะเวลาน้อย ต้นทุนต่ำ และมีปริมาณสารเคมีตกค้างน้อย วิธีทางเคมีจะใช้ระยะเวลาสั้นและสามารถดำเนินการที่อุณหภูมิห้องได้แต่จะได้ผลิตภัณฑ์ที่มีความบริสุทธิ์ต่ำและมีปริมาณสารเคมีตกค้างสูง ส่วนวิธีทางชีวภาพโดยเฉพาะการใช้เอนไซม์มีการใช้อย่างกว้างขวาง เป็นวิธีที่มีความจำเพาะสูง ใช้สภาวะปานกลาง ไม่รุนแรง (พีเอช 4 - 5 อุณหภูมิ 40 - 50 องศาเซลเซียส) และมีความเป็นมิตรกับสิ่งแวดล้อม แต่ข้อเสียคือเอนไซม์มีราคาค่อนข้างสูง สำหรับวิธีแบบผสมด้วยวิธีการทางกายภาพ (การลดขนาดและการให้ความร้อน) กับวิธีการทางชีวภาพ (การใช้เอนไซม์) เป็นวิธีการหนึ่งที่มีศักยภาพและให้ผลผลิตสูง การลดขนาดและการให้ความร้อนจะทำให้วัตถุดิบมีความอ่อนนุ่มและช่วยทำลายโครงสร้างพอลิเมอร์ที่มีความแข็งแรงส่งผลต่อเนื่องให้เอนไซม์สามารถแทรกซึมเข้าถึงและย่อยพอลิเมอร์ขนาดใหญ่ให้มีขนาดเล็กที่สามารถละลายน้ำได้ [8]

งานวิจัยนี้จะสกัดเส้นใยอาหารจากเศษเหลือทิ้งหน่อไม้ฝรั่งด้วยวิธีการแบบผสมผสานระหว่างวิธีทางกายภาพ (การบดเปียกและการให้ความร้อน) กับวิธีทางชีวภาพ (การใช้เอนไซม์) โดยมีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาสภาวะในการเตรียมวัตถุดิบ ปริมาณวัตถุดิบ ความเข้มข้นของเอนไซม์ (เซลลูเลสและเฮมิเซลลูเลส) และระยะเวลาในการสกัดต่อผลผลิตเส้นใยอาหารที่ละลายน้ำได้จากเศษเหลือทิ้งหน่อไม้ฝรั่ง

2. วิธีการวิจัย (Experimental methods)

2.1 วัตถุดิบเศษเหลือทิ้งหน่อไม้ฝรั่ง

วัตถุดิบเศษเหลือทิ้งหน่อไม้ฝรั่ง (Asparagus by-products) สายพันธุ์ *Asparagus officinalis* L. ได้รับจากกลุ่มเกษตรกรจังหวัดเพชรบูรณ์ มีขนาด 1 - 15 เซนติเมตร นำไปล้างทำความสะอาดและหั่นเป็นชิ้นขนาด 1 - 5 เซนติเมตร จากนั้นนำไปอบแห้งด้วยตู้อบลมร้อน (Memmert, เยอรมัน) ที่อุณหภูมิ 80 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 48 ชั่วโมง แล้วบดให้ละเอียดด้วยเครื่องบดสมุนไพร (Spring Green Evolution PG2500, จีน) และร่อนผ่านตะแกรงขนาด 30 เมช (0.60 มิลลิเมตร) ใส่ถุงซิป-ล็อคและเก็บรักษาไว้ที่อุณหภูมิห้อง วัตถุดิบเศษเหลือทิ้งหน่อไม้ฝรั่งมีปริมาณเส้นใยอาหารทั้งหมดร้อยละ 63.83 ± 0.37 โดยน้ำหนัก โดยมีเส้นใยอาหารไม่ละลายน้ำร้อยละ 58.30 ± 0.15 โดยน้ำหนักและ เส้นใยอาหารที่ละลายน้ำได้ร้อยละ 5.54 ± 0.32 โดยน้ำหนัก วิเคราะห์ด้วยวิธี Enzymatic and gravimetric method [9]

2.2 การศึกษาวิธีการสกัดเส้นใยอาหารที่ละลายน้ำได้จากเศษเหลือทิ้งหน่อไม้ฝรั่งด้วยเอนไซม์

2.2.1 การศึกษาผลของอุณหภูมิการเตรียมวัตถุดิบ

นำวัตถุดิบเศษเหลือทิ้งหน่อไม้ฝรั่งที่ผ่านการบดและร่อนแยกขนาดมาเติมน้ำให้ได้อัตราส่วน 1:10 (เศษเหลือทิ้งหน่อไม้ฝรั่งต่อน้ำ) จากนั้นนำไปให้ความร้อนที่อุณหภูมิ 25, 50 และ 90 องศาเซลเซียส ด้วยอ่างน้ำควบคุมอุณหภูมิ (Memmert, เยอรมัน) เป็นเวลา 1 ชั่วโมง และ 121 องศาเซลเซียส ความดัน 15 ปอนด์ต่อตารางนิ้ว ด้วยเครื่องนึ่งฆ่าเชื้อ (ALP, ญี่ปุ่น) เป็นเวลา 15 นาที นำเศษเหลือทิ้งหน่อไม้ฝรั่งที่ได้ไปปรับพีเอชเป็น 4.6 ด้วยสารละลายกรดไฮโดรคลอริกความเข้มข้น 1.0 โมลาร์ เติมเอนไซม์เซลลูเลสปริมาณร้อยละ 5.00 โดยปริมาตรต่อน้ำหนัก จากนั้นนำไปบ่มที่อุณหภูมิ 50 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 4 ชั่วโมง กรองแยกกากแล้วนำสารละลายที่ได้ไปตกตะกอนแยกเส้นใยอาหารที่ละลายน้ำได้ด้วยเอทานอลความเข้มข้นร้อยละ 95 ปริมาณ 4 เท่าของสารละลาย วางให้ตกตะกอนที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 1 ชั่วโมง กรองแยกตะกอนที่ได้แล้วนำไปอบแห้งที่อุณหภูมิ 105 องศาเซลเซียส คำนวณปริมาณผลผลิตเส้นใยอาหารที่ละลายน้ำจากสมการที่ 1

$$\text{ผลผลิตเส้นใยอาหารที่ละลายน้ำได้ (ร้อยละ)} = \frac{\text{ตะกอนเส้นใยอาหารที่ละลายน้ำได้ (กรัมแห้ง)} \times 100}{\text{ปริมาณวัตถุดิบ (กรัมแห้ง)}} \quad (1)$$

2.2.2 การศึกษาผลของปริมาณวัตถุดิบและการบดเปียก

นำวัตถุดิบเศษเหลือทิ้งหน่อไม้ฝรั่งที่ผ่านการบดและร่อนแยกขนาดมาเติมน้ำให้ได้อัตราส่วน 1:10 และ 1:20 (เศษเหลือทิ้งหน่อไม้ฝรั่งต่อน้ำ) จากนั้นนำไปให้ความร้อนที่อุณหภูมิ 121 องศาเซลเซียส ด้วยเครื่องนึ่งฆ่าเชื้อ (ALP, ญี่ปุ่น) เป็นเวลา 15 นาที นำเศษเหลือทิ้งหน่อไม้ฝรั่งที่ได้ไปบดเปียกให้เป็นเนื้อเดียวกันด้วยเครื่องปั่นผลไม้ (Philips, เนเธอร์แลนด์) แล้วปรับพีเอชเป็น 4.6 ด้วยสารละลายกรดไฮโดรคลอริกความเข้มข้น 1.0 โมลาร์ เติมเอนไซม์เซลลูเลสปริมาณร้อยละ 5.00 โดยปริมาตรต่อน้ำหนัก จากนั้นนำไปบ่มที่อุณหภูมิ 50 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 4 ชั่วโมง กรองแยกกากแล้วนำสารละลายที่ได้ไปตกตะกอนแยกเส้นใยอาหารที่ละลายน้ำได้ด้วยเอทานอลความเข้มข้นร้อยละ 95 ปริมาณ 4 เท่าของสารละลาย วางให้ตกตะกอนที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 1 ชั่วโมง กรองแยกตะกอนที่ได้แล้วนำไปอบแห้งที่อุณหภูมิ 105 องศาเซลเซียส คำนวณปริมาณผลผลิตเส้นใยอาหารที่ละลายน้ำจากสมการที่ 1

2.2.3 การศึกษาผลของปริมาณเอนไซม์เซลลูเลส

นำวัตถุดิบเศษเหลือทิ้งหน่อไม้ฝรั่งที่ผ่านการบดและร่อนแยกขนาดมาเติมน้ำให้ได้อัตราส่วน 1:20

(เศษเหลือทิ้งหน่อไม้ฝรั่งต่อน้ำ) จากนั้นนำไปให้ความร้อนที่อุณหภูมิ 121 องศาเซลเซียส ด้วยเครื่องนึ่งฆ่าเชื้อ (ALP, ญี่ปุ่น) เป็นเวลา 15 นาที นำเศษเหลือทิ้งหน่อไม้ฝรั่งที่ได้ไปบดเปียกให้เป็นเนื้อเดียวกันด้วยเครื่องปั่นผลไม้ (Philips, เนเธอร์แลนด์) แล้วปรับพีเอชเป็น 4.6 ด้วยสารละลายกรดไฮโดรคลอริกความเข้มข้น 1.0 โมลาร์ เติมเอนไซม์เซลลูเลส ปริมาณร้อยละ 0.00, 0.50, 1.00, 2.50 และ 5.00 โดยปริมาตรต่อน้ำหนัก จากนั้นนำไปบ่มที่อุณหภูมิ 50 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 4 ชั่วโมง กรองแยกกากแล้วนำสารละลายที่ได้ไปตกตะกอนแยกเส้นใยอาหารที่ละลายน้ำได้ด้วยเอทานอล ความเข้มข้นร้อยละ 95 ปริมาณ 4 เท่าของสารละลาย วางให้ตกตะกอนที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 1 ชั่วโมง กรองแยกตะกอนที่ได้แล้วนำไปอบแห้งที่อุณหภูมิ 105 องศาเซลเซียส คำนวณปริมาณผลผลิตเส้นใยอาหารที่ละลายน้ำจากสมการที่ 1

2.2.4 การศึกษาผลของปริมาณเอนไซม์เฮมิเซลลูเลส

นำวัตถุดิบเศษเหลือทิ้งหน่อไม้ฝรั่งที่ผ่านการบดและร่อนแยกขนาดมาเติมน้ำให้ได้อัตราส่วน 1:20 (เศษเหลือทิ้งหน่อไม้ฝรั่งต่อน้ำ) จากนั้นนำไปให้ความร้อนที่อุณหภูมิ 121 องศาเซลเซียส ด้วยเครื่องนึ่งฆ่าเชื้อ (ALP, ญี่ปุ่น) เป็นเวลา 15 นาที นำเศษเหลือทิ้งหน่อไม้ฝรั่งที่ได้ไปบดเปียกให้เป็นเนื้อเดียวกันด้วยเครื่องปั่นผลไม้ (Philips, เนเธอร์แลนด์) แล้วปรับพีเอชเป็น 4.6 ด้วยสารละลายกรดไฮโดรคลอริกความเข้มข้น 1.0 โมลาร์ เติมเอนไซม์เซลลูเลสปริมาณร้อยละ 2.50 โดยปริมาตรต่อน้ำหนัก และเฮมิเซลลูเลสปริมาณร้อยละ 0.00, 1.25, 2.50 และ 5.00 โดยปริมาตรต่อน้ำหนัก จากนั้นนำไปบ่มที่อุณหภูมิ 50 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 4 ชั่วโมง กรองแยกกากแล้วนำสารละลายที่ได้ไปตกตะกอนแยกเส้นใยอาหารที่ละลายน้ำได้ด้วยเอทานอลความเข้มข้นร้อยละ 95 ปริมาณ 4 เท่าของสารละลาย วางให้ตกตะกอนที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 1 ชั่วโมง กรองแยกตะกอนที่ได้แล้วนำไปอบแห้งที่อุณหภูมิ 105 องศาเซลเซียส คำนวณปริมาณผลผลิตเส้นใยอาหารที่ละลายน้ำจากสมการที่ 1

2.2.5 การศึกษาผลของระยะเวลาการสกัดด้วยเอนไซม์

นำวัตถุดิบเศษเหลือทิ้งหน่อไม้ฝรั่งที่ผ่านการบดและร่อนแยกขนาดมาเติมน้ำให้ได้อัตราส่วน 1:20 (เศษเหลือทิ้งหน่อไม้ฝรั่งต่อน้ำ) จากนั้นนำไปให้ความร้อนที่อุณหภูมิ 121 องศาเซลเซียส ด้วยเครื่องนึ่งฆ่าเชื้อ (ALP, ญี่ปุ่น) เป็นเวลา 15 นาที นำเศษเหลือทิ้งหน่อไม้ฝรั่งที่ได้ไปบดเปียกให้เป็นเนื้อเดียวกันด้วยเครื่องปั่นผลไม้ (Philips, เนเธอร์แลนด์) แล้วปรับพีเอชเป็น 4.6 ด้วยสารละลายกรดไฮโดรคลอริกความเข้มข้น 1.0 โมลาร์ เติมเอนไซม์เซลลูเลสปริมาณร้อยละ 2.50 โดยปริมาตรต่อน้ำหนัก และเฮมิเซลลูเลสปริมาณร้อยละ 2.50 โดยปริมาตรต่อน้ำหนัก จากนั้นนำไปบ่มที่อุณหภูมิ 50 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 2, 4, 6 และ 8 ชั่วโมง กรองแยกกากแล้วนำสารละลายที่ได้ไปตกตะกอนแยกเส้นใยอาหารที่ละลายน้ำได้ด้วยเอทานอลความเข้มข้นร้อยละ 95 ปริมาณ 4 เท่าของสารละลาย วางให้ตกตะกอนที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 1 ชั่วโมง กรองแยกตะกอนที่ได้แล้วนำไปอบแห้งที่อุณหภูมิ 105 องศาเซลเซียส คำนวณปริมาณผลผลิตเส้นใยอาหารที่ละลายน้ำจากสมการที่ 1

2.3 การวิเคราะห์ปริมาณและคุณภาพของเส้นใยอาหารที่ละลายน้ำได้

2.3.1 การวิเคราะห์ปริมาณเส้นใยอาหาร (Dietary fiber; DF)

วิเคราะห์ปริมาณเส้นใยอาหารทั้งหมด (Total dietary fiber; TDF) เส้นใยอาหารที่ไม่ละลายน้ำ (Insoluble dietary fiber; IDF) และเส้นใยอาหารที่ละลายน้ำได้ (Soluble dietary fiber; SDF) ด้วยวิธี Enzymatic and gravimetric method ตามวิธีการของ Prosky และคณะ [9] โดยใช้ Total Dietary Fiber Assay Kit (TDF-100A) (Megazyme, Ireland)

2.3.2 การวิเคราะห์ความสามารถในการอุ้มน้ำ (Water holding capacity; WHC)

วิเคราะห์ความสามารถในการอุ้มน้ำด้วยวิธีการดัดแปลงจาก Fuentes-alventosa และคณะ [3] ทำโดยการชั่งตัวอย่าง 0.25 กรัม (ตัวอย่างแห้ง) ใส่ในหลอดสำหรับปั่นเหวี่ยงขนาด 15 มิลลิลิตร แล้วเติมน้ำกลั่นปริมาณ 5 มิลลิลิตร ผสมให้เข้ากันแล้วบ่มที่อุณหภูมิห้องเป็นเวลา 24 ชั่วโมง จากนั้นปั่นเหวี่ยงด้วยเครื่องปั่นเหวี่ยง (HERMLE, เยอรมัน) ที่ความเร็ว 3,000 รอบต่อนาที เป็นเวลา 20 นาที เทส่วนใสแล้วชั่งน้ำหนักส่วนที่ตกตะกอน คำนวณความสามารถในการอุ้มน้ำในรูป กรัมน้ำต่อกรัมตัวอย่าง ตามสมการที่ 2

$$\text{ความสามารถในการอุ้มน้ำ (กรัมต่อกรัม)} = \frac{\text{น้ำหนักตัวอย่างที่เพิ่มขึ้นหลังปั่นเหวี่ยง (กรัมน้ำ)}}{\text{น้ำหนักตัวอย่างแห้ง (กรัมตัวอย่าง)}} \quad (2)$$

2.3.3 การวิเคราะห์ความสามารถในการอุ้มน้ำมัน (Oil holding capacity; OHC)

วิเคราะห์ความสามารถในการอุ้มน้ำมันจะใช้วิธีประยุกต์จากวิธีของ Fuentes-alventosa และคณะ [3] ทำโดยการชั่งตัวอย่าง 0.25 กรัม (ตัวอย่างแห้ง) ใส่ในหลอดสำหรับปั่นเหวี่ยงขนาด 15 มิลลิลิตร แล้วเติมน้ำมันถั่วเหลือง ปริมาณ 5 มิลลิลิตร ผสมให้เข้ากันแล้วบ่มที่อุณหภูมิห้องเป็นเวลา 24 ชั่วโมง จากนั้นนำไปปั่นเหวี่ยงด้วยเครื่องปั่นเหวี่ยง (HERMLE, เยอรมัน) ที่ความเร็ว 3,000 รอบต่อนาที เป็นเวลา 20 นาที เทส่วนใสแล้วชั่งน้ำหนักส่วนที่ตกตะกอน คำนวณความสามารถในการอุ้มน้ำมันในรูป กรัมน้ำมันต่อกรัมตัวอย่าง ตามสมการที่ 3

$$\text{ความสามารถในการอุ้มน้ำมัน (กรัมต่อกรัม)} = \frac{\text{น้ำหนักตัวอย่างที่เพิ่มขึ้นหลังปั่นเหวี่ยง (กรัมน้ำมัน)}}{\text{น้ำหนักตัวอย่างแห้ง (กรัมตัวอย่าง)}} \quad (3)$$

2.3.4 การวิเคราะห์ความสามารถในการละลายน้ำ (Water Solubility Index; WSI)

วิเคราะห์ความสามารถในการละลายน้ำจะใช้วิธีประยุกต์จากวิธีของ Cadavid และคณะ [10] โดยใช้กระบวนการเดียวกับการวิเคราะห์ความสามารถในการอุ้มน้ำ ทำโดยการชั่งตัวอย่าง 0.25 กรัม (ตัวอย่างแห้ง) ใส่ในหลอดสำหรับปั่นเหวี่ยงขนาด 15 มิลลิลิตร แล้วเติมน้ำกลั่นปริมาณ 5 มิลลิลิตร ผสมให้เข้ากันแล้วบ่มที่อุณหภูมิห้องเป็นเวลา 24 ชั่วโมง จากนั้นปั่นเหวี่ยงด้วยเครื่องปั่นเหวี่ยง (HERMLE, เยอรมัน) ที่ความเร็ว 3,000 รอบต่อนาที เป็นเวลา 20 นาที เทส่วนใสในครูซิเบิ้ลอะลูมิเนียมแล้วนำไปอบด้วยตู้อบลมร้อน (Memmert, เยอรมัน) ที่อุณหภูมิ 105 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 24 ชั่วโมง ชั่งน้ำหนักตะกอนที่ได้ และคำนวณความสามารถในการละลายน้ำในรูป ร้อยละโดยน้ำหนัก ตามสมการที่ 4

$$\text{ความสามารถในการละลายน้ำ (ร้อยละ)} = \frac{\text{น้ำหนักตะกอนที่ได้หลังอบ (กรัม)} \times 100}{\text{น้ำหนักตัวอย่างแห้ง (กรัมตัวอย่าง)}} \quad (4)$$

2.3.5 การวิเคราะห์ความสามารถในการกำจัดอนุมูลอิสระ (Antioxidant activity)

วิเคราะห์ความสามารถในการกำจัดอนุมูลอิสระด้วยวิธี DPPH radical scavenging assay โดยประยุกต์จากงานวิจัยของ Chen และคณะ [11] ทำการเตรียมสารละลายเส้นใยอาหารที่ละลายน้ำได้ความเข้มข้น 0.02 - 2.00 มิลลิกรัมต่อมิลลิลิตรแล้ว นำไปศึกษาความสามารถในการกำจัดอนุมูลอิสระโดยการดูดสารละลายฟอสเฟตบัฟเฟอร์ (0.02 M, pH 6.0) ปริมาณ 1.0 มิลลิลิตร ใส่ในหลอดทดลอง จากนั้นเติมสารละลาย 2,2- Diphenyl-1-picryl-hydrazyl radical (DPPH) ความเข้มข้น 0.2 มิลลิโมลาร์ ในเอทานอลร้อยละ 95 โดยปริมาตร ปริมาณ 1.0 มิลลิลิตร และเติมสารละลายตัวอย่างปริมาณ 1.0 มิลลิลิตร บ่มที่อุณหภูมิห้องในที่มืดเป็นเวลา 30 นาที นำไปวัดค่าการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 517 นาโนเมตร คำนวณความสามารถในการกำจัดอนุมูลอิสระ (ร้อยละ) ในแต่ละความเข้มข้นของสารละลายตัวอย่าง ตามสมการที่ 5 จากนั้นหาปริมาณความเข้มข้นของสารละลายตัวอย่าง (ในหน่วยมิลลิกรัมต่อมิลลิลิตร) ที่สามารถกำจัดอนุมูลอิสระได้ร้อยละ 50 (IC_{50})

$$\text{ความสามารถในการละลายน้ำ (ร้อยละ)} = \frac{\text{(Abs (DPPH) - Abs (sample))} \times 100}{\text{Abs (DPPH)}} \quad (5)$$

โดยที่ : Abs (DPPH) เป็นค่าการดูดกลืนแสงของ DPPH และ Abs (sample) เป็นค่าการดูดกลืนแสงของ DPPH ผสมกับตัวอย่าง

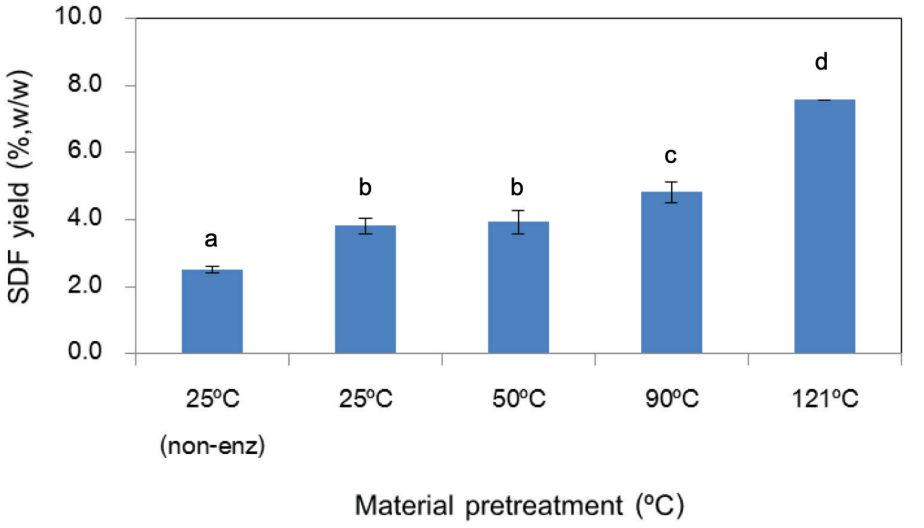
2.4 การวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติ

ทำการทดลองจำนวน 3 ซ้ำ (Replication) วิเคราะห์ความแปรปรวน (Analysis of Variance; ANOVA) และเปรียบเทียบความแตกต่างระหว่างค่าเฉลี่ยของแต่ละชุดการทดลองโดยวิธี Duncan's new multiple range test (DRMT) ที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 โดยใช้โปรแกรม สำเร็จรูป SPSS Statistic (Version 19.0) แสดงผลในรูป ค่าเฉลี่ย ± ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน

3. ผลและวิจารณ์ (Results and discussion)

3.1 ผลการศึกษาอุณหภูมิการเตรียมวัตถุดิบต่อผลผลิตเส้นใยอาหารที่ละลายน้ำได้

จากการศึกษาการเตรียมวัตถุดิบเศษเหลือทิ้งหน่อไม้ฝรั่งในอัตราส่วน 1:10 (เศษเหลือทิ้งหน่อไม้ฝรั่งต่อน้ำ) ที่อุณหภูมิ 25 - 121 องศาเซลเซียส แล้วนำไปย่อยด้วยเอนไซม์เซลลูเลสปริมาณร้อยละ 5.0 โดยปริมาตรต่อน้ำหนัก ที่พีเอช 4.6 อุณหภูมิ 50 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 4 ชั่วโมง จะให้ผลผลิตเส้นใยอาหารที่ละลายน้ำตามรูปที่ 1 จากการศึกษาพบว่าเมื่ออุณหภูมิการเตรียมวัตถุดิบสูงขึ้นจะสามารถสกัดเส้นใยอาหารละลายน้ำได้มากขึ้น และการเตรียมวัตถุดิบที่อุณหภูมิ 121 องศาเซลเซียส ความดัน 15 ปอนด์ต่อตารางนิ้ว จะให้ปริมาณเส้นใยอาหารละลายน้ำสูงที่สุด เมื่ออุณหภูมิสูงขึ้นจะทำให้สารต่าง ๆ เช่น แป้ง โปรตีน และไขมัน รวมถึงเส้นใยอาหารละลายน้ำ สามารถละลายได้มากขึ้นและถูกสกัดออกจากวัตถุดิบเศษเหลือทิ้งหน่อไม้ฝรั่ง นอกจากนั้น เมื่ออุณหภูมิสูงขึ้นจะทำให้โครงสร้างของเส้นใยอาหารที่ไม่ละลายน้ำ (เซลลูโลส เฮมิเซลลูโลส และลิกนิน) บางส่วนถูกทำลาย สิ่งเหล่านี้จะทำให้วัตถุดิบเศษเหลือทิ้งหน่อไม้ฝรั่งมีความอ่อนนุ่มและมีความเป็นรูพรุนมากขึ้น [8] เมื่อวัตถุดิบมีความเป็นรูพรุ่นและอ่อนนุ่มจะทำให้เอนไซม์เซลลูเลสสามารถแทรกซึมเข้าถึงโครงสร้างพอลิเมอร์ขนาดใหญ่ของเซลลูโลสและย่อยให้เป็นพอลิเมอร์ขนาดเล็กที่สามารถละลายน้ำได้ ดังนั้นจากการศึกษาจึงคัดเลือกให้การเตรียมวัตถุดิบที่อุณหภูมิ 121 องศาเซลเซียส ความดัน 15 ปอนด์ต่อตารางนิ้ว เป็นอุณหภูมิที่เหมาะสมในการเตรียมวัตถุดิบเศษเหลือทิ้งหน่อไม้ฝรั่งสำหรับการสกัดเส้นใยอาหารที่ละลายน้ำได้

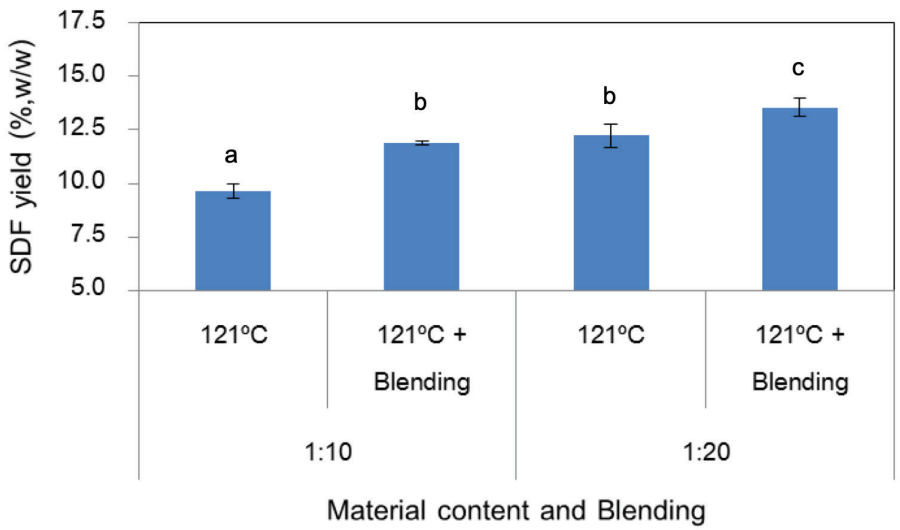


รูปที่ 1 ผลของอุณหภูมิการเตรียมวัตถุดิบต่อผลผลิตเส้นใยอาหารที่ละลายน้ำได้จากเศษเหลือทิ้งหน่อไม้ฝรั่ง

3.2 ผลการศึกษาปริมาณวัตถุดิบและการบดเปียกต่อผลผลิตเส้นใยอาหารที่ละลายน้ำได้

จากการศึกษาการเตรียมวัตถุดิบเศษเหลือทิ้งหน่อไม้ฝรั่งที่อัตราส่วน 1:10 และ 1:20 (เศษเหลือทิ้งหน่อไม้ฝรั่งต่อน้ำ) ด้วยอุณหภูมิ 121 องศาเซลเซียส ความดัน 15 ปอนด์ต่อตารางนิ้ว เป็นเวลา 15 นาที และการบดเปียกให้เป็นเนื้อเดียวกันด้วยเครื่องปั่นผลไม้ แล้วนำไปย่อยด้วยเอนไซม์เซลลูเลสปริมาณร้อยละ 5.0 โดยปริมาตรต่อน้ำหนัก ที่พีเอช 4.6 อุณหภูมิ 50 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 4 ชั่วโมง จะให้ผลผลิตเส้นใยอาหารที่ละลายน้ำตามรูปที่ 2 จากการศึกษาพบว่าการเตรียมวัตถุดิบ 1:20 (เศษเหลือทิ้งหน่อไม้ฝรั่งต่อน้ำ) จะให้ปริมาณผลผลิตเส้นใยอาหารที่ละลายน้ำได้สูงกว่าการเตรียมวัตถุดิบ 1:10 (เศษเหลือทิ้งหน่อไม้ฝรั่งต่อน้ำ) และการบดเปียกให้เป็นเนื้อเดียวกันด้วยเครื่องปั่นผลไม้จะให้ปริมาณผลผลิตเส้นใยอาหารที่ละลายน้ำได้สูงกว่าการไม่บดเปียกอย่างมีนัยสำคัญ ทั้งนี้ เป็นเพราะเมื่อปริมาณวัตถุดิบน้อยลงหรือมีปริมาณน้ำมากขึ้นจะทำให้สารต่าง ๆ เช่น โปรตีน น้ำตาล แร่ธาตุ รวมถึงเส้นใยอาหารละลายน้ำ สามารถละลายได้มากขึ้น เมื่อสารต่าง ๆ ละลายหรือถูกสกัดออกมาได้มากขึ้นจะทำให้วัตถุดิบเศษเหลือทิ้งหน่อไม้ฝรั่งมีความเป็นรูพรุนมากขึ้น

จะทำให้เอนไซม์เซลลูเลสสามารถแทรกซึมเข้าถึงโครงสร้างของเซลลูโลสและย่อยให้สามารถละลายน้ำได้ นอกจากนั้น เมื่อปริมาณวัตถุดิบน้อยลงหรือมีปริมาณน้ำมากขึ้นจะทำให้ระบบมีความหนืดน้อยลงซึ่งจะส่งผลให้เกิดการไหลและการเคลื่อนที่ของเอนไซม์เข้าหาวัตถุดิบได้ดีขึ้นเกิดการย่อยได้ดีขึ้น ผลนี้สอดคล้องกับการศึกษาของ Hu and Zhao [6] ซึ่งพบว่าเมื่อปริมาณสัดส่วนน้ำมากขึ้นจะสามารถสกัดเส้นใยอาหารละลายน้ำได้มากขึ้น แต่อย่างไรก็ตามเมื่อปริมาณสัดส่วนน้ำมากกว่า 1:45 จะไม่สามารถสกัดเส้นใยอาหารละลายน้ำได้เพิ่มขึ้น สำหรับการบดเปียกให้เป็นเนื้อเดียวกันด้วยเครื่องปั่นผลไม้หลังจากการเตรียมวัตถุดิบนอกจากจะช่วยทำให้สารต่าง ๆ สามารถละลายได้มากขึ้นแล้วยังสามารถทำให้ขนาดของเศษเหลือทิ้งหน่อไม้ฝรั่งเล็กลงด้วยซึ่งจะช่วยเพิ่มความเป็นรูพรุน พื้นที่ผิว และเกิดการถ่ายเทมวลได้ดีขึ้น สิ่งเหล่านี้จะช่วยส่งผลให้เอนไซม์เซลลูเลสสามารถแทรกซึมเข้าถึงเซลลูโลสและย่อยได้ง่ายขึ้น ผลนี้สอดคล้องกับการศึกษาของ Hu and Zhao [6] ซึ่งพบว่าการใช้ความเร็วรอบในการปั่นเพิ่มมากขึ้นจะทำให้กากสับปะรด (Pineapple pomace) มีขนาดเล็กลง มีพื้นที่ผิวมากขึ้น เกิดการถ่ายเทสารได้ดีขึ้น และส่งผลให้สามารถสกัดเส้นใยอาหารละลายน้ำได้มากขึ้น อย่างไรก็ตาม การใช้ความเร็วที่มากเกินไปอาจจะทำให้เส้นใยอาหารที่ละลายน้ำเกิดการสลายตัวมากด้วยเช่นกัน และอาจจะทำให้เกิดการสูญเสียเส้นใยอาหารละลายน้ำได้ โดย Hu and Zhao [6] ระบุว่าการเพิ่มความเร็วในการตัดจาก 5,000 เป็น 9,000 รอบต่อนาที จะทำให้ได้ผลผลิตเส้นใยอาหารละลายน้ำมากขึ้น แต่เมื่อเพิ่มมากกว่า 9,000 รอบต่อนาที จะทำให้ได้ปริมาณเส้นใยอาหารละลายน้ำลดลง นอกจากนั้น ระยะเวลาในการตัดหรือปั่นมีผลต่อปริมาณเส้นใยอาหารละลายน้ำด้วย การตัดหรือปั่นเป็นเวลา 10 ถึง 20 นาที จะให้ปริมาณเส้นใยอาหารละลายน้ำเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็ว แต่เมื่อใช้ระยะเวลานานกว่า 20 นาที จะให้ปริมาณเส้นใยอาหารละลายน้ำลดลง ระยะเวลาที่นานเกินไปทำให้เกิดการทำลายเส้นใยอาหารละลายน้ำได้ ดังนั้น จากการศึกษาจึงคัดเลือกให้การใช้ปริมาณเศษเหลือทิ้งหน่อไม้ฝรั่ง 1:20 (เศษเหลือทิ้งหน่อไม้ฝรั่งต่อน้ำ) และการบดเปียกให้เป็นเนื้อเดียวกันด้วยเครื่องปั่นผลไม้ มีความเหมาะสมต่อการสกัดเส้นใยอาหารจากเศษเหลือทิ้งหน่อไม้ฝรั่ง ทั้งนี้ เพราะการใช้ปริมาณวัตถุดิบ 1:20 (วัตถุดิบต่อน้ำ) ให้ผลผลิตสูง ส่วนการใช้ปริมาณวัตถุดิบมากกว่า 1:20 (วัตถุดิบต่อน้ำ) จะต้องใช้เอทานอลปริมาณมากในการตกตะกอนเส้นใยอาหารที่ละลายน้ำได้จากสารละลาย ทำให้มีต้นทุนค่อนข้างสูง

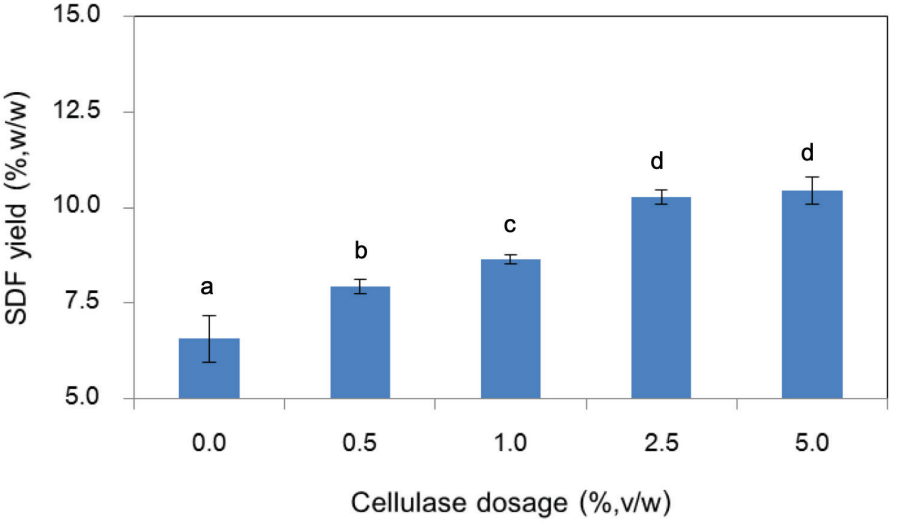


รูปที่ 2 ผลของปริมาณวัตถุดิบและการบดเปียกต่อผลผลิตเส้นใยอาหารที่ละลายน้ำได้จากเศษเหลือทิ้งหน่อไม้ฝรั่ง

3.3 ผลการศึกษาปริมาณเอนไซม์เซลลูเลสต่อผลผลิตเส้นใยอาหารที่ละลายน้ำได้

จากการศึกษาการสกัดเส้นใยอาหารที่ละลายน้ำได้จากวัตถุดิบเศษเหลือทิ้งหน่อไม้ฝรั่งที่ผ่านการเตรียมในอัตราส่วน 1:20 (เศษเหลือทิ้งหน่อไม้ฝรั่งต่อน้ำ) ที่อุณหภูมิ 121 องศาเซลเซียส ความดัน 15 ปอนด์ต่อตารางนิ้ว เป็นเวลา 15 นาที และการบดเปียกให้เป็นเนื้อเดียวกันด้วยเครื่องปั่นผลไม้ ด้วยเอนไซม์เซลลูเลสปริมาณร้อยละ 0.00, 0.50, 1.00,

2.50 และ 5.00 โดยปริมาตรต่อน้ำหนัก ที่พีเอช 4.6 อุณหภูมิ 50 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 4 ชั่วโมง จะให้ผลผลิตเส้นใยอาหารที่ละลายน้ำตามรูปที่ 3 จากการศึกษาพบว่าเมื่อปริมาณเอนไซม์เซลลูเลสเพิ่มขึ้นจากร้อยละ 0.00 เป็น 2.50 โดยปริมาตรต่อน้ำหนัก จะสามารถสกัดเส้นใยอาหารที่ละลายน้ำได้เพิ่มขึ้น ทั้งนี้ เพราะเมื่อปริมาณเอนไซม์เซลลูเลสเพิ่มขึ้นจะสามารถย่อยเซลลูโลสได้มากขึ้น อย่างไรก็ตาม เมื่อปริมาณเอนไซม์เซลลูเลสสูงถึงร้อยละ 5.00 โดยปริมาตรต่อน้ำหนักจะให้ปริมาณเส้นใยอาหารที่ละลายน้ำได้ไม่แตกต่างจากปริมาณเอนไซม์เซลลูเลสร้อยละ 2.50 โดยปริมาตรต่อน้ำหนัก ทั้งนี้เพราะเมื่อมีเอนไซม์เซลลูเลสปริมาณมากจะทำให้เกิดการย่อยเซลลูโลสที่มากเกินไป เส้นใยอาหารที่ละลายน้ำได้ที่ได้จากการย่อยเซลลูโลสถูกย่อยต่อจนกลายเป็นน้ำตาลโมเลกุลเดี่ยว ผลที่ได้สอดคล้องกับการศึกษาของ Hu and Zhao [6], Qi และคณะ [12] และ Chen และคณะ [7] ซึ่งพบว่าเมื่อปริมาณเอนไซม์เซลลูเลสเพิ่มขึ้นจะสกัดเส้นใยอาหารที่ละลายน้ำได้มากขึ้นแต่เมื่อมีปริมาณเอนไซม์มากเกินไปจะให้เส้นใยอาหารที่ละลายน้ำได้ลดลง อย่างไรก็ตาม ปริมาณเอนไซม์ที่เหมาะสมจะแตกต่างกันไปขึ้นอยู่กับหลายปัจจัย เช่น ลักษณะวัตถุดิบ ปริมาณวัตถุดิบที่ใช้ การเตรียมวัตถุดิบ ปริมาณของเอนไซม์ และประสิทธิภาพของเอนไซม์ เป็นต้น ในการย่อยกากสับปะรดปริมาณเอนไซม์เซลลูเลสที่เหมาะสมคือร้อยละ 5.00 โดยปริมาตรต่อน้ำหนัก [6] การย่อยฝักถั่วเหลืองปริมาณเอนไซม์เซลลูเลสที่เหมาะสมคือร้อยละ 0.30 โดยปริมาตรต่อน้ำหนัก [12] การย่อยรำข้าวเหนียว (Glutinous rice bran) ปริมาณเอนไซม์ที่เหมาะสมคือ 9,000 ยูนิตต่อกรัม [7] สำหรับในการศึกษาครั้งนี้การใช้เอนไซม์เซลลูเลสปริมาณร้อยละ 2.50 โดยปริมาตรต่อน้ำหนัก ให้ผลผลิตแตกต่างจากการใช้เอนไซม์เซลลูเลสปริมาณร้อยละ 5.0 โดยปริมาตรต่อน้ำหนัก อย่างไม่มีนัยสำคัญ ($p > 0.05$)

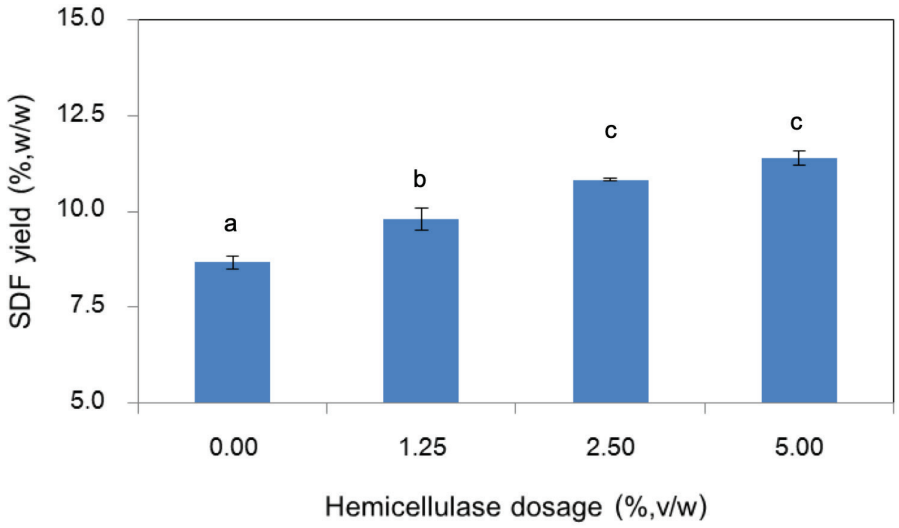


รูปที่ 3 ผลของปริมาณเอนไซม์เซลลูเลสต่อผลผลิตเส้นใยอาหารที่ละลายน้ำได้จากเศษเหลือทิ้งหน่อไม้ฝรั่ง

3.4 ผลการศึกษาปริมาณเอนไซม์เฮมิเซลลูเลสต่อผลผลิตเส้นใยอาหารที่ละลายน้ำได้

จากการศึกษาการสกัดเส้นใยอาหารที่ละลายน้ำได้จากวัตถุดิบเศษเหลือทิ้งหน่อไม้ฝรั่งที่ผ่านการเตรียมในอัตราส่วน 1:20 (เศษเหลือทิ้งหน่อไม้ฝรั่งต่อน้ำ) ที่อุณหภูมิ 121 องศาเซลเซียส ความดัน 15 ปอนด์ต่อตารางนิ้ว เป็นเวลา 15 นาที และการบดเปียกให้เป็นเนื้อเดียวกันด้วยเครื่องปั่นผลไม้ ด้วยเอนไซม์เซลลูเลสปริมาณร้อยละ 2.50 โดยปริมาตรต่อน้ำหนัก และเอนไซม์เฮมิเซลลูเลสร้อยละ 0.00, 1.25, 2.50 และ 5.00 โดยปริมาตรต่อน้ำหนัก ที่พีเอช 4.6 อุณหภูมิ 50 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 4 ชั่วโมง จะให้ผลผลิตเส้นใยอาหารที่ละลายน้ำตามรูปที่ 4 จากการศึกษาพบว่า เมื่อปริมาณเอนไซม์เฮมิเซลลูเลสเพิ่มขึ้นจากร้อยละ 0.00 เป็น 2.50 โดยปริมาตรต่อน้ำหนัก จะให้ผลผลิตเส้นใยอาหารที่ละลายน้ำได้มากขึ้นอย่างมีนัยสำคัญ ($p < 0.05$) แต่เมื่อปริมาณเอนไซม์เฮมิเซลลูเลสสูงถึงร้อยละ 5.00 โดยปริมาตรต่อน้ำหนัก จะให้ผลผลิตเส้นใยอาหารที่ละลายน้ำได้แตกต่างจากสกัดด้วยปริมารเอนไซม์ร้อยละ 2.50 โดยปริมาตรต่อน้ำหนัก อย่างไม่มีนัยสำคัญ ($p > 0.05$) เอนไซม์เฮมิเซลลูเลสสามารถเปลี่ยนเฮมิเซลลูโลสซึ่งเป็นเส้นใยอาหารไม่ละลายน้ำให้เป็นเส้นใยอาหารที่ละลาย

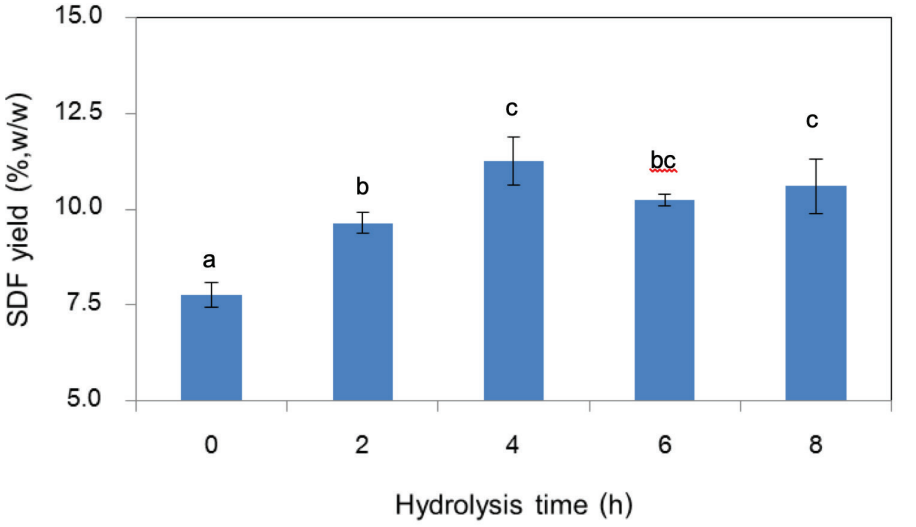
น้ำได้โดยการย่อยพอลิเมอร์สายยาวของเฮมิเซลลูโลสให้เป็นพอลิเมอร์สายสั้น ๆ ที่สามารถละลายน้ำได้ เมื่อเอนไซม์เฮมิเซลลูเลสมากขึ้นจะสามารถย่อยเฮมิเซลลูโลสให้เป็นเส้นใยอาหารที่ละลายน้ำได้มากขึ้น แต่อย่างไรก็ตาม เมื่อมีปริมาณเอนไซม์เฮมิเซลลูเลสมากเกินไปจะทำให้พอลิเมอร์ของเฮมิเซลลูโลสถูกย่อยจนกลายเป็นน้ำตาลจนทำให้เกิดการสูญเสียเส้นใยอาหารละลายน้ำลักษณะเช่นเดียวกับการย่อยด้วยเอนไซม์เซลลูเลส



รูปที่ 4 ผลของปริมาณเอนไซม์เฮมิเซลลูเลสต่อผลผลิตเส้นใยอาหารที่ละลายน้ำได้จากเศษเหลือทิ้งหน่อไม้ฝรั่ง

3.5 ผลการศึกษาระยะเวลาการย่อยด้วยเอนไซม์ต่อผลผลิตเส้นใยอาหารที่ละลายน้ำได้

จากการศึกษาการสกัดเส้นใยอาหารที่ละลายน้ำได้จากวัตถุดิบเศษเหลือทิ้งหน่อไม้ฝรั่งที่ผ่านการเตรียมในอัตราส่วน 1:20 (เศษเหลือทิ้งหน่อไม้ฝรั่งต่อน้ำ) ที่อุณหภูมิ 121 องศาเซลเซียส ความดัน 15 ปอนด์ต่อตารางนิ้ว เป็นเวลา 15 นาที และการบดเปียกให้เป็นเนื้อเดียวกันด้วยเครื่องปั่นผลไม้ ด้วยเอนไซม์เซลลูเลสปริมาณร้อยละ 2.50 โดยปริมาตรต่อน้ำหนัก และเอนไซม์เฮมิเซลลูเลสร้อยละ 2.50 โดยปริมาตรต่อน้ำหนัก ที่พีเอช 4.6 อุณหภูมิ 50 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 2, 4, 6 และ 8 ชั่วโมง จะให้ผลผลิตเส้นใยอาหารที่ละลายน้ำตามรูปที่ 5 จากการศึกษาพบว่าเมื่อระยะเวลาเพิ่มขึ้นจาก 0 เป็น 4 ชั่วโมง จะให้ปริมาณผลผลิตเส้นใยอาหารที่ละลายน้ำได้เพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญ ($p < 0.05$) แต่เมื่อใช้ระยะเวลาการย่อยนานขึ้นเป็น 6 และ 8 ชั่วโมง จะให้ปริมาณผลผลิตเส้นใยอาหารละลายน้ำแตกต่างจาก 4 ชั่วโมง อย่างไม่มีนัยสำคัญ ($p > 0.05$) ผลที่ได้ในการศึกษาครั้งนี้มีแนวโน้มสอดคล้องกับการศึกษาของ Hu and Zhao [6] และ Qi และคณะ [12] คือผลผลิตเส้นใยอาหารเพิ่มขึ้นเมื่อระยะเวลาเพิ่มขึ้นแต่ผลผลิตลดลงเมื่อใช้ระยะเวลานานเกินไป อย่างไรก็ตาม ระยะเวลาที่เหมาะสมในการย่อยจะแตกต่างกันไป การศึกษาของ Hu and Zhao [6] ระยะเวลาที่เหมาะสมในการย่อยคือ 2 ชั่วโมง ส่วนการศึกษาของ Qi และคณะ [12] ระยะเวลาที่เหมาะสมคือ 1 ชั่วโมง 30 นาที ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับหลายปัจจัย โดยเฉพาะปริมาณวัตถุดิบและปริมาณเอนไซม์ การศึกษาของ Hu and Zhao [6] ใช้ปริมาณวัตถุดิบ 1:45 (ปริมาณวัตถุดิบต่อน้ำ) ต่ำกว่าการศึกษาในครั้งนี้ที่ใช้ปริมาณวัตถุดิบ 1:20 (ปริมาณวัตถุดิบต่อน้ำ) ระยะเวลาการย่อยด้วยเอนไซม์เป็นอีกปัจจัยหนึ่งที่มีความสำคัญอย่างมากต่อผลผลิตเส้นใยอาหารที่ละลายน้ำได้ การย่อยพอลิเมอร์ของเซลลูโลสและเฮมิเซลลูโลสที่เป็นเส้นใยอาหารไม่ละลายน้ำให้เป็นเส้นใยอาหารที่ละลายน้ำได้ต้องใช้ระยะเวลาที่เหมาะสม เพราะหากใช้ระยะเวลาที่นานเกินไปจะทำให้เกิดการย่อยที่มากเกินไปจนกลายเป็นน้ำตาลโมเลกุลเดี่ยวและเกิดการสูญเสียเส้นใยอาหารที่ละลายน้ำได้ [6]



รูปที่ 5 ผลของระยะเวลาการย่อยด้วยเอนไซม์ต่อผลผลิตเส้นใยอาหารที่ละลายน้ำได้จากเศษเหลือทิ้งหน่อไม้ฝรั่ง

การศึกษาครั้งนี้จะให้สภาวะในการสกัดเส้นใยอาหารที่ละลายน้ำได้จากเศษเหลือทิ้งหน่อไม้ฝรั่ง คือ การใช้ปริมาณวัตถุดิบ 1:20 (เศษเหลือทิ้งหน่อไม้ฝรั่งต่อน้ำ) เตรียมที่อุณหภูมิ 121 องศาเซลเซียส ความดัน 15 ปอนด์ต่อตารางนิ้ว เป็นเวลา 15 นาที แล้วบดเปียกให้เป็นเนื้อเดียวกัน จากนั้นนำไปย่อยด้วยเอนไซม์เซลลูเลสปริมาณร้อยละ 2.5 โดยน้ำหนัก และเอนไซม์เฮมิเซลลูเลสร้อยละ 2.5 โดยน้ำหนัก ที่พีเอช 4.6 อุณหภูมิ 50 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 4 ชั่วโมง ภายใต้สภาวะนี้จะให้ผลผลิตเส้นใยอาหารที่ละลายน้ำได้ร้อยละ 11.26 ± 0.63 โดยน้ำหนัก มากกว่าการสกัดจากฝักถั่วเหลือง (Soy pods) ที่ให้ผลผลิตร้อยละ 6.72 โดยน้ำหนัก [12] และการสกัดจากกากสับปะรด (Pineapple pomace) ที่ให้ผลผลิต 8.76 โดยน้ำหนัก [6] ผลนี้แสดงให้เห็นว่าสภาวะหรือปัจจัยเหล่านี้มีผลต่อการสกัดเส้นใยอาหารที่ละลายน้ำได้จากเศษเหลือทิ้งหน่อไม้ฝรั่ง การศึกษาปัจจัยเหล่านี้จะสามารถเพิ่มศักยภาพในการสกัดเส้นใยอาหารที่ละลายน้ำได้ อย่างไรก็ตาม วิธีการนี้จะผลิตเส้นใยอาหารละลายน้ำได้ผลผลิตต่ำกว่าการผลิตจากรำข้าวเหนียว (Glutinous rice bran) และเยื่อมันฝรั่ง (Potato pulp) ซึ่งให้ปริมาณผลผลิตสูงถึงร้อยละ 34.87 ± 0.55 โดยน้ำหนัก [7] และ 39.7 โดยน้ำหนัก [13] ตามลำดับ ทั้งนี้ ส่วนหนึ่งอาจเป็นเพราะลักษณะของวัตถุดิบที่ต่างกัน วัตถุดิบรำข้าวเหนียวมีขนาดเล็ก นิ่ม และผ่านการสกัดน้ำมัน เยื่อมันฝรั่งมีขนาดเล็กและอ่อนนุ่ม ซึ่งอาจจะทำให้ง่ายต่อการสกัดเส้นใยอาหาร

3.6 คุณภาพของเส้นใยอาหารที่ละลายน้ำได้

เส้นใยอาหารที่ละลายน้ำที่ได้จากการศึกษาในครั้งนี้มีปริมาณเส้นใยอาหารทั้งหมดร้อยละ 69.06 ± 0.40 โดยน้ำหนัก ส่วนใหญ่เป็นเส้นใยอาหารที่ละลายน้ำได้ร้อยละ 67.97 ± 0.92 โดยน้ำหนัก มีเส้นใยอาหารไม่ละลายน้ำเพียงร้อยละ 1.09 ± 0.53 โดยน้ำหนัก เส้นใยอาหารที่ละลายน้ำที่ได้มีความสามารถในการอุ้มน้ำ 1.40 ± 0.07 กรัมน้ำต่อกรัม อุ้มน้ำมัน 1.64 ± 0.42 กรัมน้ำมันต่อกรัม และการละลายน้ำร้อยละ 75.45 ± 0.25 โดยน้ำหนัก และมีความสามารถในการกำจัดอนุมูลอิสระโดยมีค่า IC_{50} เท่ากับ 2.31 มิลลิกรัมต่อมิลลิลิตร ความสามารถในการอุ้มน้ำใกล้เคียงกับเส้นใยอาหารละลายน้ำที่สกัดได้จากรำข้าวเหนียว (1.81 - 2.12 กรัมต่อกรัม) ความสามารถในการอุ้มน้ำของเส้นใยอาหารละลายน้ำจะมีความสัมพันธ์โดยตรงกับความอิ่มท้องซึ่งจะมีประโยชน์ในการลดการบริโภคอาหาร [7] ทำให้สามารถลดได้ทั้งปริมาณอาหารและพลังงาน ซึ่งจะช่วยลดคอเลสเตอรอล ลดน้ำตาลในเลือด และลดโรคอ้วนได้ ความสามารถในการอุ้มน้ำมันช่วยให้เส้นใยอาหารมีความสามารถในการดึงน้ำมันจากอาหารที่รับประทานด้วยการขับถ่ายซึ่งจะช่วยป้องกันโรคหลอดเลือดและหัวใจ ความสามารถในการละลายน้ำช่วยให้เส้นใยอาหารที่ละลายน้ำได้มีคุณสมบัติในการจับหรือดูดซับสารต่าง ๆ ที่ละลายน้ำได้ไม่ว่าจะเป็นโลหะหนัก แป้ง น้ำตาล และไขมัน จึงมีผลช่วยป้องกันการเกิดโรคเบาหวาน ไขมันในเลือดสูง และโรคหลอดเลือด เป็นต้น [6,7]

4. สรุป (Conclusion)

ในการศึกษาครั้งนี้พบว่า อุณหภูมิการเตรียมวัตถุดิบ ปริมาณวัตถุดิบ การบดเปียก ปริมาณเอนไซม์ และระยะเวลามีผลต่อการสกัดเส้นใยอาหารละลายน้ำได้จากเศษเหลือทิ้งหน่อไม้ฝรั่ง และสภาวะการสกัดที่ได้จากการศึกษาในครั้งนี้คือ การใช้ปริมาณวัตถุดิบ 1:20 (เศษเหลือทิ้งหน่อไม้ฝรั่งต่อน้ำ) เตรียมที่อุณหภูมิ 121 องศาเซลเซียส ความดัน 15 ปอนด์ต่อตารางนิ้ว เป็นเวลา 15 นาที บดเปียกให้เป็นเนื้อเดียวกัน แล้วย่อยด้วยเอนไซม์เซลลูเลสปริมาณร้อยละ 2.5 โดยน้ำหนัก และเอนไซม์เฮมิเซลลูเลสร้อยละ 2.5 โดยน้ำหนัก ที่พีเอช 4.6 อุณหภูมิ 50 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 4 ชั่วโมง สภาวะนี้ให้ผลผลิตเส้นใยอาหารที่ละลายน้ำได้ร้อยละ 11.26 ± 0.63 โดยน้ำหนัก มีความสามารถในการอุ้มน้ำ อุ้มน้ำมัน และมีความสามารถทางชีวภาพใน นอกจากนั้น ยังมีความสามารถในการละลายสูงเหมาะสมต่อการนำไปประยุกต์ใช้เป็นส่วนผสมในผลิตภัณฑ์เครื่องดื่ม

5. กิตติกรรมประกาศ (Acknowledgement)

คณะผู้วิจัยขอขอบคุณกลุ่มเกษตรกรจังหวัดเพชรบูรณ์ที่ให้การสนับสนุนเศษเหลือทิ้งหน่อไม้ฝรั่งเพื่อใช้เป็นวัตถุดิบในงานวิจัยครั้งนี้

6. เอกสารอ้างอิง (References)

[1] Chitrakar B, Zhang M, Adhikari B. Asparagus (*Asparagus officinalis*): Processing effect on nutritional and phytochemical composition of spear and hard-stem byproducts. Trends Food Sci Technol. 2019;93:1-11.

[2] 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(17):1-23.

[3] 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.

[4] Dhingra D, Michael M, Rajput H, Patil RT. Dietary fibre in foods: a review. J Food Sci Technol. 2012;49(3):255-66.

[5] กมลลักษณ์ วิชาเร็ว. ผลของวิธีการสกัดต่อสมบัติทางเคมีกายภาพและสมบัติเชิงหน้าที่ของเส้นใยอาหารจากหน่อไม้เศษเหลือ. [วิทยานิพนธ์หลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต]. พะเยา: มหาวิทยาลัยพะเยา; 2563.

[6] Hu H, Zhao Q. Optimization extraction and functional properties of soluble dietary fiber from pineapple pomace obtained by shear homogenization-assisted extraction. RSC Adv. 2018;8(72):41117-30.

[7] Chen H, He S, Sun H, Li Q, Gao K, Miao X, Xiang J, Wu X, Gao L, Zhang Y. A comparative study on extraction and physicochemical properties of soluble dietary fiber from glutinous rice bran using different methods. Separations. 2023;10(2):1-13.

[8] Ma C, Ni L, Guo Z, Zeng H, Wu M, Zhang M, Zheng B. Principle and application of steam explosion technology in modification of food fiber. Foods. 2022;11(3370):1 - 19.

[9] Prosky L, Nils-Georg ASP, 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):1017-24.

[10] Cadavid ELA, Molina DAR, Valenzuela JRC. 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.

[11] Chen GT, Zhao L, Zhao LY, Cong T, Bao SF. *In vitro* study on antioxidant activities of peanut protein hydrolysate. J Sci Food Agric. 2007;87(2):357-62.

[12] Qi B, Jiang L, Li Y, Chen S, Sui X. Extract dietary fiber from the soy pods by chemistry enzymatic methods. Procedia Eng. 2011;15:4862-73.

[13] Cheng L, Zhang X, Hong Y, Li Z, Li C, Gu Z. Characterisation of physicochemical and functional properties of soluble dietary fibre from potato pulp obtained by enzyme-assisted extraction.Int J Biol Macromol. 2017;101:1004-11.