ผลของของสภาวะการสกัดต่อคุณภาพของเส้นใยอาหารผงจากกากมะตูม
Effect of Extraction Conditions on the Quality of Dietary Fiber Powder from Bael Pulp (*Aegle Marmelos*) Residue

วิชมณี ยืนยงพุทธกาล1* สันทัด วิเชียรโชติ2 วัชรี บุญถนอม1 และ สุรางค์ ทองสุวรรณ์1
1ภาควิชาวิทยาศาสตร์การอาหาร คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยบูรพา ต.แสนสุข
อ.เมืองชลบุรี จ.ชลบุรี 20131
2สถานวิจัยผลิตภัณฑ์เสริมอาหารและอาหารเพื่อสุขภาพ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์
อ.หาดใหญ่ จ.สงขลา 90110
*E-mail: wich@buu.ac.th

บทคัดย่อ

จากการศึกษาผลของอุณหภูมิและเวลาในการสกัดด้วยน้ำต่อคุณภาพของเส้นใยอาหารผงจากกากมะตูม ได้แก่ สกัดด้วยน้ำที่ อุณหภูมิ 70 และ 90 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 1 และ 2 ชั่วโมง ผลการทดลอง พบว่า สภาวะการสกัดด้วยน้ำมีผลต่อปริมาณเส้นใยอาหารที่ไม่ละลายน้ำ ปริมาณเส้นใยอาหารที่ละลายน้ำ ปริมาณเส้นใยอาหารทั้งหมด ปริมาณน้ำตาลทั้งหมด และค่าสีของเส้นใยอาหารผงจากกากมะตูม อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$) โดยวิธีการสกัดด้วยน้ำที่เหมาะสมที่สุดที่ได้ปริมาณเส้นใยอาหารทั้งหมดมากที่สุด คือ การสกัดด้วยน้ำที่อุณหภูมิ 90 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 1 ชั่วโมง จากการศึกษาผลของการสกัดด้วยเอทานอลต่อคุณภาพของเส้นใยอาหารผงจากกากมะตูม พบว่า การสกัดกากมะตูมด้วยน้ำและเอทานอลร่วมกัน ทำให้ได้เส้นใยอาหารผงจากกากมะตูมที่มีปริมาณเส้นใยอาหารทั้งหมด ปริมาณเส้นใยอาหารที่ไม่ละลายน้ำ มากกว่าการสกัดด้วยน้ำเพียงอย่างเดียว ดังนั้นสภาวะที่เหมาะสมที่สุดสำหรับการสกัด คือ สกัดด้วยน้ำร่วมกับการสกัดด้วยเอทานอล

คำสำคัญ : เส้นใยอาหารผง, กากมะตูม, การสกัดด้วยน้ำ, การสกัดด้วยเอทานอล

Abstract

The effects of temperature and time of water extraction on the quality of dietary fiber powder from bael pulp residue were evaluated as following conditions: temperature 70°C and 90°C, time 1 and 2 hour. It was found that the condition of water extraction significantly affected the content of insoluble fiber, soluble fiber, total dietary fiber, total sugar and colors of bael pulp residue powder ($p<0.05$). The most appropriate water extraction condition which contained the highest content of total dietary fiber was at temperature of 90°C for 1 hour. Then the effect of ethanol extraction on the quality of dietary fiber powder from bael pulp residue was studied. It was found that the dietary fiber powder from water extraction combined with ethanol extraction contained higher content of total dietary fiber and insoluble dietary fiber than dietary fiber powder from water extraction alone. The optimum condition for extraction was water extraction combine with ethanol extraction.

Keywords: Dietary fiber powder, Bael pulp residue, Water extraction, Ethanol extraction

1. บทนำ

เส้นใยอาหาร (Dietary fiber) หมายถึง ส่วนผนังเซลล์ของพืช ที่ไม่ถูกย่อยในระบบทางเดินอาหาร จึงไม่ให้พลังงาน การบริโภคอาหารที่มีส่วนประกอบของเส้นใยอาหารมีประโยชน์ด้านการรักษาและป้องกันโรคเรื้อรังต่างๆ เช่น โรคหัวใจ โรคมะเร็งบางชนิด โรคเบาหวาน และความผิดปกติของระบบทางเดินอาหาร [1] Larrauri [2] กล่าวว่า เส้นใยอาหารในอุดมคติ (Ideal dietary fiber) ต้องมีคุณสมบัติที่สำคัญ ได้แก่ มี สี กลิ่น และกลิ่นรส ที่ดี มีองค์ประกอบสมดุล มีปริมาณสารออกฤทธิ์ทางชีวภาพที่เหมาะสม อายุการเก็บรักษานาน สามารถใช้เป็นส่วนผสมในอาหารได้และราคาเหมาะสม

ส่วนเหลือทิ้งจำพวกผักผลไม้ที่เกิดจากอุตสาหกรรม เป็นแหล่งที่ดีของเส้นใยอาหารและสามารถนำมาใช้เป็นส่วนผสมในอาหารได้ [3] มะตูมเป็นผลไม้ชนิดหนึ่งที่มีคุณค่าทางโภชนาการสูง เป็นแหล่งที่ดีของวิตามินและเกลือแร่ จัดอยู่ในกลุ่มพืชสมุนไพรที่มีสรรพคุณที่ดีต่อร่างกาย เช่น ช่วยรักษาโรคกระเพาะ ช่วยย่อยอาหารและลดความดันโลหิต [4], [5] จึงมีความนิยมนำมาแปรรูปเป็นผลิตภัณฑ์ชนิดต่าง ๆ เช่น เครื่องดื่มมะตูมผง ชามะตูม และมะตูมแช่อิ่ม เป็นต้น ในระดับอุตสาหกรรมมักนำมะตูมแห้งมาสกัดกลิ่นรสของมะตูม โดยใช้วิธีการต้มในน้ำร้อนหรือไอน้ำ แล้วทำให้เข้มข้นหรือทำให้เป็นผงแห้ง งานวิจัยนี้ต้องการนำกากมะตูมซึ่งเป็นส่วนเหลือทิ้งจากกระบวนการสกัดกลิ่นรสมาใช้ประโยชน์ต่อให้เต็มศักยภาพ โดยผลิตเป็นผงแห้งที่สะดวกพร้อมใช้งานในรูปแบบของเส้นใยอาหารเพื่อนำมาใช้เป็นส่วนประกอบของอาหารเพื่อสุขภาพ จากลักษณะสัณฐานวิทยาของผลมะตูม พบว่า ในส่วนของเปลือกและเนื้อเป็นองค์ประกอบของผนังเซลล์พืชส่วนเอพิคาร์พ (epicarp) มีโซคาร์พ (mesocarp) และเอ็นโดคาร์พ (endocarp) ซึ่งมีองค์ประกอบจำพวกเพคติน เฮมิเซลลูโลส และมิวซิเลจ จึงน่าจะเป็นแหล่งที่ดีของเส้นใยอาหารได้ อย่างไรก็ตามส่วนเปลือกและเนื้อมะตูมยังประกอบด้วยส่วนของเซลล์ที่มีรงควัตถุ ต่อมน้ำมันหอมระเหย วิตามิน แร่ธาตุ รวมถึงน้ำตาล และสารในกลุ่มอัลคาลอยด์ คูมาริน ฟลาโวนอยด์ และแทนนิน [6] นั่นแสดงว่าในส่วนกากมะตูมน่าจะยังคงมีสารอื่นที่มิใช่เส้นใยอาหารเป็นองค์ประกอบ

การสกัดเส้นใยอาหารจากผนังเซลล์ของพืชทำได้โดยใช้สารทำละลายชนิดต่าง ๆ เพื่อกำจัดสารอื่นที่มิใช่องค์ประกอบของเส้นใยอาหารออก เช่น การสกัดด้วยน้ำ การสกัดด้วยแอลกอฮอล์ เป็นต้น ซึ่งแต่ละวิธีจะมีวัตถุประสงค์หลักในการกำจัดสารแตกต่างกันจึงส่งผลต่อคุณภาพของเส้นใยที่สกัดได้ [7], [8] การสกัดด้วยน้ำนิยมใช้อุณหภูมิสูงประมาณ 60-90 องศาเซลเซียส เป็นการแยกส่วนประกอบที่ไม่ต้องการออกจากวัตถุดิบ โดยเฉพาะสารที่ละลายน้ำได้ เช่น น้ำตาลอิสระ กรดอิสระ และองค์ประกอบของสารอนินทรีย์ที่ละลายน้ำได้ และสามารถลดปริมาณจุลินทรีย์ในวัตถุดิบเริ่มต้นได้ อีกทางหนึ่ง [2] สำหรับการสกัดด้วยแอลกอฮอล์จัดเป็นการสกัดสารกลุ่มที่มีขั้วได้ดี ส่วนใหญ่มีจุดประสงค์เพื่อกำจัดสารให้สีและไขมันออกจากวัตถุดิบ [9] ตัวอย่างเช่น การสกัดเส้นใยอาหารจากเปลือกและกากมะละกอโดยใช้เอทานอลความเข้มข้น 96% เพียงอย่างเดียวทำให้ได้เส้นใยอาหารที่มีความบริสุทธิ์และยังมีการคงอยู่ของสารพฤกษเคมี[10] การสกัดเส้นใยอาหารจากกากองุ่นโดยใช้น้ำอุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียส โดยเตรียมตัวอย่างกากองุ่นผงให้มีอนุภาคขนาดเล็ก (น้อยกว่า 249 ไมครอน) สามารถสกัดได้เส้นใยอาหารที่มีสมบัติต้านอนุมูลอิสระได้ [11] งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาผลของอุณหภูมิและเวลาในการสกัดด้วยน้ำ รวมถึงผลของการสกัดด้วยเอทานอลต่อคุณภาพของเส้นใยอาหารผงจากกากมะตูม

2. วัสดุอุปกรณ์และวิธีการวิจัย

2.1 การเตรียมตัวอย่าง

รับกากมะตูมแช่แข็งจากบริษัท เอ็นเอสทีฟู้ด อินกรีเดียนท์ จำกัด เก็บรักษาโดยแช่แข็งที่อุณหภูมิ -18 องศาเซลเซียส จนกว่าจะนำมาใช้งาน ทำละลายโดยวางไว้ในตู้เย็น อุณหภูมิ 6±2 องศาเซลเซียส จนกว่าจะละลายหมด และวางบนตะแกรงให้สะเด็ดน้ำ กากมะตูมที่ได้รับจากบริษัทมีลักษณะเป็นชิ้นค่อนข้างใหญ่ นำมาบดลดขนาดโดยใช้เครื่องบดอาหาร จนได้ขนาดชิ้นเล็กลง (ขนาดประมาณ 0.5 x 0.5 เซนติเมตร) แสดงดัง Figure 1

Figure 1 Bale pulp residue received from factory (1) and milled bale pulp residue for the extraction

2.2 การศึกษาผลของอุณหภูมิและเวลาในการสกัดด้วยน้ำต่อคุณภาพของเส้นใยอาหารผงจากกากมะตูม

ศึกษาอุณหภูมิของการสกัด คือ 70 องศาเซลเซียส และ 90 องศาเซลเซียส และเวลาการสกัด คือ 1 ชั่วโมง และ 2 ชั่วโมง จัดสิ่งทดลองแบบ 2x2 factorial ได้ 4 สิ่งทดลอง และเปรียบเทียบกับตัวควบคุม คือ สิ่งทดลองที่ไม่ผ่านการสกัดด้วยน้ำ รวมเป็น 5 สิ่งทดลอง

การสกัดด้วยน้ำ

ดำเนินการโดยนำกากมะตูมที่บดลดขนาดแล้วมาสกัดด้วยน้ำ กำหนดอัตราส่วนระหว่าง กากมะตูม : น้ำ เท่ากับ 1 : 5 โดยน้ำหนักต่อปริมาตร เตรียมน้ำที่ใช้สกัดโดยนำไปให้ความร้อนด้วยเตาไฟฟ้าจนมีอุณหภูมิตามกำหนด แล้วนำกากมะตูมมาแช่ในน้ำตามเวลาที่กำหนด ควบคุมอุณหภูมิการสกัดโดยการแช่ในอ่างน้ำควบคุมอุณหภูมิ เมื่อครบเวลา กรองผ่านถุงผ้าไนล่อน แล้วบีบเอาของเหลวออก (ดัดแปลงจากวิธีของ Prakongpan และคณะ [9])

การทำแห้งและบดเป็นผง

นำกากมะตูมที่ผ่านและไม่ผ่านการสกัดด้วยน้ำมาเกลี่ยบนถาดสแตนเลส แล้วทำแห้งด้วยตู้อบลมร้อน (Memmert รุ่น ULE 500, ประเทศเยอรมนี) ที่อุณหภูมิ 60 ± 2 องศาเซลเซียส จนมีความชื้นสุดท้าย 6±1%) นำมาบดให้เป็นผง โดยใช้เครื่องบดอาหารแห้ง (โง้วฮวดหยู รุ่น XS-08B, ประเทศไทย) ร่อนผ่านตะแกรงขนาด 80 เมช บรรจุในถุงอะลูมิเนียมฟอยด์ และปิดผนึกแบบสุญญากาศ เก็บรักษาโดยแช่เย็นที่อุณหภูมิ 4±2 องศาเซลเซียส จนกว่าจะนำไปวิเคราะห์

2.3 การศึกษาผลของการสกัดด้วยเอทานอลต่อคุณภาพของเส้นใยอาหารผงจากกากมะตูม

ในขั้นตอนนี้ต้องการศึกษาผลการใช้และไม่ใช้การสกัดด้วยเอทานอลร่วมด้วยต่อคุณภาพของเส้นใยอาหารผงจากกากมะตูมที่ได้ ดังนั้นจึงมี 2 สิ่งทดลอง ได้แก่ การสกัดด้วยน้ำเพียงอย่างเดียว (ดำเนินการตามวิธีที่เลือกได้จากข้อ 2) และการสกัดด้วยน้ำและเอทานอล

การสกัดด้วยเอทานอล

เตรียมตัวอย่างและดำเนินการสกัดด้วยน้ำตามสภาวะที่เลือกได้จากข้อ 2 แล้วนำกากมะตูมที่เหลือจากการสกัดด้วยน้ำมาสกัดต่อด้วยเอทานอล โดยการแช่กากมะตูมในเอทานอลความเข้มข้น 95% กำหนดอัตราส่วนระหว่าง กากมะตูม:เอทานอล เท่ากับ 1 : 3 โดยน้ำหนักต่อปริมาตร สกัดด้วยการแช่กากมะตูมในเอทานอลเป็นเวลา 24 ชั่วโมง ที่อุณหภูมิห้อง เมื่อครบเวลากรองกากผ่านถุงผ้าไนล่อน แล้วบีบเอาของเหลวออก (ดัดแปลงจากวิธีของ Wachirasiri [10] Prakangpan และคณะ [9]) สำหรับการทำแห้งและบดเป็นผงดำเนินการเช่นเดียวกันกับข้อ 2.

2.4 การวิเคราะห์คุณภาพ

สุ่มตัวอย่างเส้นใยอาหารผงจากกากมะตูมที่ได้มาวิเคราะห์คุณภาพ ได้แก่ ปริมาณเส้นใยอาหารที่ไม่ละลายน้ำ ปริมาณเส้นใยอาหารที่ละลายน้ำ และปริมาณเส้นใยอาหารทั้งหมด [12] ปริมาณน้ำตาลทั้งหมดโดยวิธี Lane and Eynon volumetric method [13] และค่าสี วัดด้วยเครื่องวัดสี (Hunterlab รุ่น Mini Scan XP Plus) รายงานเป็นค่า L* a* และ b* รวมทั้งวิเคราะห์สมบัติเชิงหน้าที่บางประการ ได้แก่ ความสามารถในการละลาย ความสามารถในการอุ้มน้ำ และความสามารถในการอุ้มน้ำมัน (ดัดแปลงจากวิธีของ Fermandez [14])

2.5 การวิเคราะห์ทางสถิติ

สำหรับการศึกษาผลของอุณหภูมิและเวลาในการสกัดด้วยน้ำต่อคุณภาพของเส้นใยอาหารผงจากกากมะตูม วางแผนการทดลองแบบสุ่มสมบูรณ์ (Complete Randomize Design: CRD) และวิเคราะห์ความแปรปรวนของข้อมูล (ANOVA) ที่ระดับนัยสำคัญ 0.05 และเปรียบเทียบความแตกต่างของค่าเฉลี่ยของคุณภาพที่วัดได้จากทั้ง 5 สิ่งทดลอง โดยวิธี Duncan's New Multiple Range Test สำหรับการศึกษาผลของการสกัดด้วยเอทานอลต่อคุณภาพของเส้นใยอาหารผงจากกากมะตูม วิเคราะห์ความแตกต่างของค่าเฉลี่ยโดยใช้ T-test ที่ระดับนัยสำคัญ 0.05 โดยใช้โปรแกรม SPSS version 23

3. ผลการวิจัย

3.1 ผลของอุณหภูมิและเวลาในการสกัดด้วยน้ำต่อคุณภาพของเส้นใยอาหารผงจากกากมะตูม

3.1.1 ปริมาณเส้นใยอาหารที่ไม่ละลายน้ำ

จาก Table 1 พบว่า ปริมาณเส้นใยอาหารที่ไม่ละลายน้ำของเส้นใยอาหารผงจากกากมะตูมที่ได้ มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$) เส้นใยอาหารผงจากกากมะตูมที่ผ่านการสกัดด้วยน้ำที่อุณหภูมิ 90 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 1 ชั่วโมง มีปริมาณเส้นใยอาหารที่ไม่ละลายน้ำมากที่สุด (72.03%) และเส้นใยอาหารผงจากกากมะตูมที่ไม่ผ่านการสกัดด้วยน้ำมี

ปริมาณเส้นใยอาหารที่ไม่ละลายน้ำน้อยที่สุด (32.59%) การสกัดด้วยน้ำมีผลในการกำจัดองค์ประกอบที่ไม่ใช่เส้นใยอาหารออกไปได้มาก เส้นใยอาหารจึงมีความบริสุทธิ์ขึ้น จึงมีโอกาสเหลือสัดส่วนปริมาณเส้นใยอาหารที่ไม่ละลายน้ำต่อน้ำหนักเส้นใยอาหารผงจากกากมะตูมที่ได้มากขึ้นนั่นเอง ในการสกัดด้วยน้ำมีผลทำให้องค์ประกอบที่ไม่ใช่เส้นใยอาหาร เช่น แร่ธาตุ วิตามิน และน้ำตาล ถูกกำจัดออกไปได้มากในระหว่างการสกัด ทำให้สัดส่วนองค์ประกอบทางเคมีอื่น ๆ ที่ไม่ใช่เส้นใยอาหารสูญเสียไปกับน้ำเพิ่มขึ้น จากผลการทดลอง พบว่า ที่เวลาในการสกัดเท่ากัน กากมะตูมที่สกัดด้วยน้ำอุณหภูมิ 90 องศาเซลเซียส มีปริมาณเส้นใยอาหารที่ไม่ละลายน้ำมากกว่าที่สกัดด้วยน้ำอุณหภูมิ 70 องศาเซลเซียส ทั้งนี้เนื่องจากการสกัดด้วยน้ำที่อุณหภูมิสูง เป็นการทำให้ผนังเซลล์พืชอ่อนนุ่มลง จึงมีโอกาสองค์ประกอบต่าง ๆ ออกจากวัตถุดิบมากับน้ำที่ใช้สกัดได้มากขึ้น Hengsawad [15] กล่าวว่า อุณหภูมิของน้ำที่ใช้ในการสกัดเป็นปัจจัยหนึ่งที่ทำให้สัมประสิทธิ์การแพร่ของของแข็งในเซลล์มากขึ้น มีผลทำให้อัตราการสกัดของแข็งสูงขึ้น ของแข็งในเซลล์จึงมีโอกาสถูกสกัดออกมาในน้ำได้ดีขึ้น ผลที่ได้สอดคล้องกับงานวิจัยของ Wachirasiri [10] ที่ศึกษากระบวนการสกัดเส้นใยอาหารจากเปลือกกล้วยน้ำว้า โดยในกระบวนการสกัดได้ใช้วิธีการเตรียมวัตถุดิบที่แตกต่างกัน 4 วิธี คือ การบดแห้ง การบดเปียก การบดเปียกร่วมกับการล้างน้ำที่อุณหภูมิห้อง และการบดเปียกร่วมกับการล้างน้ำร้อน พบว่า เส้นใยอาหารที่เตรียมโดยวิธีการบดเปียกร่วมกับการล้างน้ำร้อนที่อุณหภูมิ 95 องศาเซลเซียส มีปริมาณเส้นใยอาหารที่ไม่ละลายน้ำ (73.06%) สูงกว่าวิธีอื่นๆ (70.16%-71.37%) ซึ่งผลที่ได้แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$)

จากผลการทดลอง พบว่า ที่อุณหภูมิในการสกัดเท่ากัน กากมะตูมที่สกัดด้วยน้ำเป็นเวลา 1 ชั่วโมง มีปริมาณเส้นใยอาหารที่ไม่ละลายน้ำมากกว่าการสกัดเป็นเวลา 2 ชั่วโมง FAO [16] กล่าวว่า การใช้ระยะเวลาในการลวก ต้ม หรือสกัดด้วยความร้อนเพิ่มขึ้น มีแนวโน้มทำให้ปริมาณเส้นใยอาหารทุกชนิดลดลงได้ เนื่องจากการใช้ความร้อนอาจมีผลในการทำลายพันธะภายในสายพอลิแซคคาไรด์ (polysaccharide) ของเส้นใยอาหารทั้งที่มีสมบัติละลายน้ำและไม่ละลายน้ำ จนทำให้ขนาดของพอลิแซคคาไรด์สั้นลง และมีโอกาสเกิดการละลายน้ำได้มากขึ้น สำหรับผลการทดลองส่วนนี้จึงพบว่า การสกัดด้วยน้ำเป็นเวลานานถึง 2 ชั่วโมง อาจมีโอกาสทำให้เกิดการสูญเสียเส้นใยอาหารที่ไม่ละลายน้ำได้มากขึ้น จนทำให้มีปริมาณเส้นใยอาหารที่ไม่ละลายน้ำคงเหลืออยู่น้อยกว่าการสกัดเป็นเวลา 1 ชั่วโมง ผลที่ได้สอดคล้องกับงานวิจัยของ Wanlapa และคณะ [17] ที่ศึกษาผลของวิธีการเตรียมวัตถุดิบที่แตกต่างกัน 2 วิธี คือ การบดแห้งและการบดเปียกร่วมกับการศึกษาผลของระยะเวลาที่ใช้ในการลวกที่มีต่อองค์ประกอบทางเคมีและสมบัติเชิงหน้าที่ของเส้นใยอาหารจากเปลือกมะม่วงแก้ว พบว่า เส้นใยอาหารที่เตรียมโดยวิธีบดเปียกและใช้ระยะเวลาในการลวกเพิ่มขึ้น มีแนวโน้มทำให้ปริมาณเส้นใยอาหารที่ไม่ละลายน้ำ เส้นใยอาหารที่ละลายน้ำ และเส้นใยอาหารทั้งหมดมีปริมาณลดลง

Table 1 Insoluble dietary fiber (IDF) content of bael pulp powder from various water extraction conditions

Water extraction condition	IDF±SD (%db)
Control (without extraction)	32.59 ± 0.88^{d}
70°C, 1 h	66.37 ± 0.53^{b}
70°C, 2 h	62.15 ± 0.30^{c}
90°C, 1 h	72.03 ± 0.48^{a}
90°C, 2 h	67.87 ± 0.32^{b}

Different superscript letters in the same column are significantly different ($p<0.05$)

3.1.2 ปริมาณเส้นใยอาหารที่ละลายน้ำ

จาก Table 2 พบว่า ปริมาณเส้นใยอาหารที่ละลายน้ำของเส้นใยอาหารผงจากกากมะตูม มีปริมาณอยู่ในช่วง 8.67%-14.98% น้อยกว่าเส้นใยอาหารที่ไม่ละลายน้ำ ที่มีปริมาณอยู่ในช่วง 32.59%-72.03% ทั้งนี้เนื่องมาจากเส้นใยอาหารที่ละลายน้ำมีสมบัติในการละลายน้ำได้ โดยสามารถรวมตัวกับน้ำได้ดี จึงมีโอกาสถูกชะไปพร้อมกับน้ำที่ใช้ในการสกัดได้ง่าย ส่วนเส้นใยอาหารที่ไม่ละลายน้ำ มักเป็นพวกคาร์โบไฮเดรตเชิงซ้อน เช่น เซลลูโลส เฮมิเซลลูโลส และลิกนิน ซึ่งเป็นส่วนที่เป็นผนังเซลล์พืชที่มีสมบัติไม่ละลายน้ำ แต่มีความสามารถในการจับน้ำไว้ได้ จึงมีโอกาสสูญเสียไปในระหว่างการสกัดด้วยน้ำน้อยกว่า [15]

จากผลการทดลอง พบว่า ปริมาณเส้นใยอาหารที่ละลายน้ำของเส้นใยอาหารผงจากกากมะตูมที่ได้ มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$) เส้นใยอาหารผงจากกากมะตูมที่ไม่ผ่านการสกัดด้วยน้ำมีปริมาณเส้นใยอาหารที่ละลายน้ำมากที่สุด (14.98%) รองลงมาคือ การสกัดด้วยน้ำที่อุณหภูมิ 70 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 1 ชั่วโมง (12.70%) การสกัดด้วยน้ำที่อุณหภูมิ 70 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 2 ชั่วโมง (11.33%) การสกัดด้วยน้ำที่อุณหภูมิ 90 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 1 ชั่วโมง (10.53%) และการสกัดที่อุณหภูมิ 90 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 2 ชั่วโมง (8.67%) ตามลำดับ โดยพบว่า ปริมาณเส้นใยอาหารที่ละลายน้ำ มีแนวโน้มลดลงอย่างต่อเนื่อง เมื่อใช้สภาวะในการสกัดด้วยน้ำที่รุนแรงขึ้น ทั้งนี้อาจเนื่องมาจากอุณหภูมิในการสกัดที่สูงขึ้น และระยะเวลาในการสกัดที่นานขึ้น มีโอกาสทำให้เส้นใยอาหารที่ละลายน้ำได้ที่มีอยู่ในกากมะตูม เช่น เพคติน มิวซิเลจส์ สามารถละลายน้ำและสูญเสียไปกับน้ำได้มากขึ้น [18] เส้นใยอาหารที่ละลายน้ำได้ มีสมบัติรวมตัวกับน้ำได้ในปริมาณมาก จึงสามารถอุ้มน้ำไว้ในโครงสร้างได้มาก และสามารถถูกชะออกไปพร้อมกับน้ำที่ใช้ในการสกัด นอกจากนี้การใช้สภาวะการสกัดที่รุนแรง เช่น อุณหภูมิสูง เวลานาน จึงมีโอกาสทำให้ผนังเซลล์พืชอ่อนนุ่มและเพิ่มโอกาสให้เส้นใยอาหารที่ละลายน้ำได้ถูกชะไปพร้อมกับน้ำที่ใช้ในการสกัดได้มากขึ้น [15], [19] ผลที่ได้สอดคล้องกับงานวิจัยของ Wachirasiri [10] ที่ศึกษากระบวนการสกัดเส้นใยอาหาร จากเปลือกกล้วยน้ำว้า โดยในกระบวนการสกัดได้ใช้วิธีการเตรียมวัตถุดิบที่แตกต่างกัน 4 วิธี คือการบดแห้ง การบดเปียก การบดเปียกร่วมกับการล้างน้ำที่อุณหภูมิห้อง และการบดเปียกร่วมกับการล้างน้ำร้อน พบว่า เส้นใยอาหารที่เตรียมโดยวิธีการบดเปียกร่วมกับการล้างน้ำร้อนที่อุณหภูมิ 95 องศาเซลเซียส มีปริมาณเส้นใยอาหารที่ละลายน้ำ (16.29%) น้อยกว่าวิธีอื่น ๆ (17.10% -17.84%) ซึ่งผลที่ได้แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$)

Table 2 Soluble dietary fiber (SDF) content of bael pulp powder from various water extraction conditions

Water extraction condition	SDF±SD (%db)
Control (without extraction)	14.98 ± 0.39^{a}
70°C, 1 h	12.70 ± 0.12^{b}
70°C, 2 h	11.33 ± 0.10^{c}
90°C, 1 h	10.53 ± 0.08^{d}
90°C, 2 h	8.67 ± 0.24^{e}

Different superscript letters in the same column are significantly different ($p<0.05$)

3.1.3 ปริมาณเส้นใยอาหารทั้งหมด

จาก Table 3 พบว่า ปริมาณเส้นใยอาหารทั้งหมดของเส้นใยอาหารผงจากกากมะตูมที่ได้ มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$) โดยปริมาณเส้นใยอาหารทั้งหมด คำนวณได้จาก ผลรวมของปริมาณเส้นใยอาหารที่ไม่ละลายน้ำและปริมาณเส้นใยอาหารที่ละลายน้ำ จากผลการทดลอง พบว่า เส้นใยอาหารผงจากกากมะตูมที่ผ่านการสกัดด้วยน้ำที่อุณหภูมิ 90 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 1 ชั่วโมง มีปริมาณเส้นใยอาหารทั้งหมดมากที่สุด (82.56%) รองลงมาคือ การสกัดด้วยน้ำที่อุณหภูมิ 70 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 1 ชั่วโมง (79.07%) การสกัดด้วยน้ำที่อุณหภูมิ 90 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 2 ชั่วโมง (76.54%) การสกัดด้วยน้ำที่อุณหภูมิ 70 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 2 ชั่วโมง (73.48%) และการไม่ผ่านการสกัดด้วยน้ำ (47.57%) ตามลำดับ

Table 3 Total dietary fiber (TDF) content of bael pulp powder from various water extraction conditions

Water extraction condition	TDF±SD (%db)
Control (without extraction)	47.57 ± 0.55^{e}
70°C, 1 h	79.07 ± 0.41^{b}
70°C, 2 h	73.48 ± 0.40^{d}
90°C, 1 h	82.56 ± 0.54^{a}
90°C, 2 h	76.54 ± 0.37^{c}

Different superscript letters in the same column are significantly different ($p<0.05$)

จากผลการทดลองจึงเป็นการยืนยันให้เห็นว่า การผลิตเส้นใยอาหารผงจากกากมะตูม โดยการสกัดด้วยน้ำสามารถกำจัดองค์ประกอบอื่นที่ไม่ใช่เส้นใยอาหารออกได้ เป็นผลให้เส้นใยอาหารผงที่ได้มีความบริสุทธิ์สูงขึ้น จึงมีสัดส่วนของปริมาณเส้นใยอาหารทั้งหมดต่อน้ำหนักเส้นใยอาหารผงจากกากมะตูมที่ได้มากขึ้น โดยพบว่าปริมาณเส้นใยอาหารทั้งหมดของเส้นใยอาหารผงจากกากมะตูมที่ผ่านการสกัดด้วยน้ำ อยู่ในช่วง 73.48%-82.56% ซึ่งมากกว่าปริมาณเส้นใยอาหารทั้งหมดของเส้นใยอาหารผงจากกากมะตูมที่ไม่ผ่านการสกัดด้วยน้ำ (ตัวควบคุม) ที่มีปริมาณเพียง 47.57% คิดเป็นปริมาณเส้นใยอาหารทั้งหมดที่เพิ่มขึ้น 54.47%-73.55% อย่างไรก็ตาม พบข้อสังเกตจากผลการทดลองว่า การสกัดด้วยน้ำมีผลให้ปริมาณเส้นใยอาหารที่ละลายน้ำได้ (8.67%-12.70%) ลดลงเมื่อเทียบกับตัวควบคุม (14.98%) ดังนั้นอาจเป็นข้อจำกัดของการสกัดด้วยน้ำที่ควรคำนึงถึงอีกประการหนึ่ง หากต้องการรักษาปริมาณเส้นใยอาหารที่ละลายน้ำได้ให้คงอยู่ในปริมาณมาก

3.1.4 ปริมาณน้ำตาลทั้งหมด

จาก Table 4 พบว่า ปริมาณน้ำตาลทั้งหมดของเส้นใยอาหารผงจากกากมะตูมที่ได้จากการสกัดด้วยน้ำ (0.57%-0.76%) มีปริมาณน้อยกว่าการไม่ผ่านการสกัดด้วยน้ำ (5.59%) ซึ่งแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$) จากผลการทดลองจึงเป็นการยืนยันให้เห็นว่ากากมะตูมมีน้ำตาลเป็นองค์ประกอบ และสามารถกำจัดได้ด้วยการสกัดด้วยน้ำ โดยคิดเป็นปริมาณน้ำตาลทั้งหมดที่ลดลงถึง 89.80%-86.40%

ในผลมะตูมมีน้ำตาลอิสระเป็นส่วนประกอบอยู่หลายชนิด ได้แก่ อะราบิโนส (arabinose) กาแลกโตส (galactose) และกลูโคส (glucose) นอกจากนี้โดยปกติเส้นใยอาหารที่สามารถละลายน้ำได้ เช่น เพกติน มิวซิเลจส์ และเบต้ากลูแคน มีน้ำตาลเป็นองค์ประกอบอยู่ในโมเลกุลด้วย [1] ซึ่งน้ำตาลอิสระที่มีอยู่ในผลมะตูมมีสมบัติในการละลายน้ำได้ดี มีรายงานว่า น้ำตาลอะราบิโนสและน้ำตาลกลูโคสมีความสามารถในการละลายได้สูงในน้ำ รวมทั้งน้ำตาลกาแลกโตสมีความสามารถในการ

ละลายได้สูงมากในน้ำร้อน [20] ผลที่ได้สอดคล้องกับงานวิจัยของ Larrauri และคณะ [21] ที่รายงานว่า การเตรียมขั้นต้นโดยการนำเปลือกมะม่วงสดมาล้างด้วยน้ำร้อนที่อุณหภูมิ 95 องศาเซลเซียส สามารถกำจัดน้ำตาลได้ถึง 87%

จากผลการทดลอง พบว่า ที่อุณหภูมิในการสกัดเท่ากัน กากมะตูมที่สกัดด้วยน้ำเป็นเวลา 2 ชั่วโมง สามารถกำจัดน้ำตาลได้มากว่าการสกัดด้วยน้ำเป็นเวลา 1 ชั่วโมง เนื่องมาจากการใช้ระยะเวลาในการลวก ต้ม หรือสกัดด้วยความร้อนเพิ่มขึ้น มีโอกาสทำให้ผนังเซลล์พืชอ่อนนุ่ม [15], [19] จึงทำให้น้ำตาลที่คงอยู่ในกากมะตูมมีโอกาสถูกชะออกมาในน้ำที่ใช้สกัดได้มากขึ้น

1.5 ค่าสี

เส้นใยอาหารผงจากกากมะตูมที่ไม่ผ่านและผ่านการสกัดด้วยน้ำที่สภาวะต่างๆ แสดงดัง Figure 2 จากการสังเกตด้วยตาเปล่า พบว่า เส้นใยอาหารผงจากกากมะตูมที่ไม่ผ่านการสกัดด้วยน้ำมีสีน้ำตาลคล้ำกว่าที่ผ่านการสกัดที่สุด เมื่อนำเส้นใยอาหารผงจากกากมะตูมทุกสิ่งทดลองมาวัดค่าสีด้วยเครื่องวัดค่าสีในระบบ CIE รายงานเป็นค่า L* a* และ b* ได้ผลการทดลองแสดงดัง Figure 3 พบว่า ค่า a* มีค่าเป็นบวก (+) แสดงถึงค่าสีแดง และค่า b* มีค่าเป็นบวก (+) แสดงถึงค่าสีเหลือง และพบว่า ค่าสี L* a* และ b* ของเส้นใยอาหารผงจากน้ำร้อนอุณหภูมิ 95 องศาเซลเซียส มีความสว่างมากกว่าเส้นใยอาหารที่ไม่ผ่านการล้างน้ำร้อน

Suvimol และ Pranee [22] และ Maity และคณะ [23] กล่าวว่า กากมะตูมมีรงควัตถุในกลุ่มแคโรทีนอยด์ (carotenoid) แอนโทไซยานิน (anthocyanin) และฟลาโวนอยด์ (flavonoid) โดยรงควัตถุต่างๆ มีโอกาสสูญเสียไปในระหว่างการผลิตเส้นใยอาหารได้ รงควัตถุในกลุ่มแคโรทีนอยด์ซึ่งให้สีส้มเหลือง แม้มีสมบัติไม่สามารถละลายได้ในน้ำ แต่ความร้อนมีผลทำให้แคโรทีนอยด์เปลี่ยนโครงสร้างได้ โดยปกติแคโรทีนอยด์จะมีโครงสร้างอยู่ในรูปทรานส์ (trans) ซึ่งมีสีเข้ม เมื่อได้รับความร้อนที่อุณหภูมิสูงแคโรทีนอยด์จะเปลี่ยนโครงสร้างอยู่ในรูปซิส (cis) เพิ่มมากขึ้น จะทำให้สีอ่อนลง [22] ส่วนรงควัตถุในกลุ่มแอนโทไซยานิน ซึ่งให้สีแดงม่วง การให้ความร้อนในสภาวะที่มีออกซิเจนจะมีผลช่วยเร่งปฏิกิริยาการสลายตัวของแอนโทไซยานินได้ ทำให้สีแดงจางลงได้ [24]

นอกจากนี้แอนโทไซยานิน มีสมบัติในการละลายน้ำได้ จึงมีโอกาสถูกชะออกมาในน้ำที่ใช้สกัดได้ [20] ดังนั้นเส้นใยอาหารที่ได้จากการผ่านการสกัดด้วยน้ำจึงกากมะตูมที่ มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$) เส้นใยอาหารผงจากกากมะตูมที่ไม่ผ่านการสกัดด้วยน้ำมีค่าความสว่างต่ำที่สุด (L* 66.74) ในขณะที่มีค่าสีแดง (a* 8.50) และค่าสีเหลือง (b* 27.55) สูงที่สุด ($p<0.05$) ส่วนเส้นใยอาหารผงจากกากมะตูมที่ผ่านการสกัดด้วยน้ำที่อุณหภูมิ 90 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 2 ชั่วโมง ซึ่งเป็นสภาวะที่รุนแรงที่สุด มีค่าความสว่างสูงที่สุด (L* 72.10) ในขณะที่มีค่าสีแดง (a* 5.85) และค่าสีเหลือง (b* 21.27) ต่ำที่สุด ($p<0.05$) แสดงให้เห็นแนวโน้มว่าเส้นใยอาหารผงจากกากมะตูมที่ผ่านการสกัดด้วยน้ำมีสีที่สว่างขึ้น มีความเป็นสีแดงและเหลืองลดลง ซึ่งสอดคล้องกับสีที่มองเห็นด้วยตาเปล่า

จากผลการทดลอง พบว่า ที่อุณหภูมิในการสกัดเท่ากัน หากใช้เวลาในการสกัดเพิ่มขึ้นมีแนวโน้มให้ค่า L* เพิ่มขึ้น ในขณะที่ค่า a* และ b* ลดลง ($p<0.05$) และที่เวลาการสกัดเท่ากันหากใช้อุณหภูมิในการสกัดเพิ่มขึ้นมีแนวโน้มให้ค่า L* เพิ่มขึ้น ในขณะที่ค่า a* และ b* ลดลง ($p<0.05$) การที่เส้นใยอาหารผงจากกากมะตูมที่ผ่านการสกัดด้วยน้ำมีความสว่างเพิ่มขึ้น มีความเป็นสีแดงและเหลืองลดลง หรือกล่าวได้ว่ามีสีอ่อนลง ผลที่ได้สอดคล้องกับงานวิจัยของ Wachirasiri [10] ได้ศึกษาการสกัดเส้นใยอาหารจากเปลือกกล้วยน้ำว้า พบว่า เส้นใยอาหารที่ผ่านการเตรียมด้วยวิธีการที่การบดเปียกร่วมกับการล้างโอกาสให้รงควัตถุในกากมะตูมสูญเสียไปได้มากกว่าไม่ผ่านการสกัดด้วยน้ำ

จากผลการทดลอง พบว่า สภาวะที่เหมาะสมที่สุด คือ การสกัดกากมะตูมด้วยน้ำที่อุณหภูมิ 90 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 1 ชั่วโมง ทำให้ได้ปริมาณเส้นใยอาหารทั้งหมดสูงที่สุด (82.56%โดยน้ำหนักแห้ง) ($p<0.05$) และมีปริมาณน้ำตาลทั้งหมด เท่ากับ 0.71±% โดยเส้นใยอาหารผงจากกากมะตูมที่ได้มีสีน้ำตาลอ่อน

Table 3 Total sugar content of bael pulp powder from various water extraction conditio

Water extraction condition	Total sugar ±SD (%db)
Control (without extraction)	5.59 ± 0.08^{a}
70°C, 1 h	0.76 ± 0.01^{b}
70°C, 2 h	0.59 ± 0.01^{c}
90°C, 1 h	0.71 ± 0.01^{b}
90°C, 2 h	0.57 ± 0.01^{c}

Different superscript letters in the same column are significantly different ($p<0.05$)

Figure 2 Bael pulp powder from various water extraction conditions: 1) control 2) 70°C, 1 h 3) 70°C, 2 h 4) 90°C, 1 h 5) 90°C, 2 h

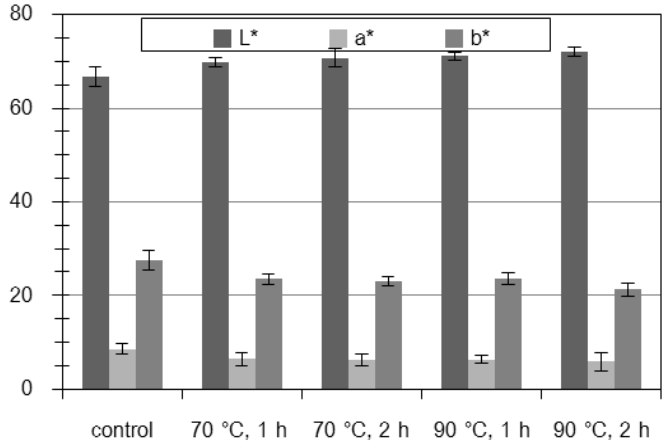

Figure 3 Color value (L* a* and b*) of bael pulp powder from various water extraction conditions

3.2 ผลของการสกัดด้วยเอทานอลต่อคุณภาพของเส้นใยอาหารผงจากกากมะตูม

3.2.1 ปริมาณเส้นใยอาหารที่ไม่ละลายน้ำ

จาก Figure 4 พบว่า ปริมาณเส้นใยอาหารที่ไม่ละลายน้ำของเส้นใยอาหารผงจากกากมะตูมที่ได้แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$) โดยเส้นใยอาหารผงจากกากมะตูมที่ผ่านการสกัดด้วยน้ำและ

เอทานอลมีปริมาณเส้นใยอาหารที่ไม่ละลายน้ำ (81.19%) มากกว่าเส้นใยอาหารผงจากกากมะตูมที่ผ่านการสกัดด้วยน้ำเพียงขั้นตอนเดียว (70.87%) ทั้งนี้เนื่องจากขั้นตอนการสกัดด้วยเอทานอลสามารถกำจัดองค์ประกอบที่ไม่ใช่เส้นใยอาหารออกไปได้ โดยมักเป็นกลุ่มของสารให้สี สารให้กลิ่นรส และไขมัน ออกจากวัตถุดิบได้ [9]

จึงทำให้เส้นใยอาหารที่มีความบริสุทธิ์มากขึ้นและคงเหลือสัดส่วนปริมาณเส้นใยอาหารที่ไม่ละลายน้ำต่อน้ำหนักเส้นใยอาหารผงจากกากมะตูมที่ได้มากขึ้นนั่นเอง

3.2.2 ปริมาณเส้นใยอาหารที่ละลายน้ำ

จาก Figure 4 พบว่า ปริมาณเส้นใยอาหารที่ละลายน้ำของเส้นใยอาหารผงจากกากมะตูมที่ได้แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$) โดยเส้นใยอาหารผงจากกากมะตูมที่ผ่านการสกัดด้วยน้ำและเอทานอลมีปริมาณเส้นใยอาหารที่ละลายน้ำ (8.76%) น้อยกว่าเส้นใยอาหารผงจากกากมะตูมที่ผ่านการสกัดด้วยน้ำเพียงขั้นตอนเดียว (10.61%) อาจเนื่องมาจากเส้นอาหาร

ที่ละลายน้ำได้บางชนิดสามารถละลายได้ในเอทานอลด้วย เช่น เพคติน [25] ทำให้เส้นใยอาหารที่ละลายน้ำได้ จึงมีโอกาสถูกชะออกมาได้ นอกจากนี้ในขั้นตอนการสกัดด้วยเอทานอล ซึ่งใช้เวลาในการแช่ถึง 24 ชั่วโมง เพคตินซึ่งจัดเป็นเส้นใยอาหารที่ละลายน้ำได้ชนิดหนึ่งมีโอกาสถูกสกัดแยกออกมาได้มากขึ้นด้วย Aravantinos และOreopoulou [26] และ Pagan และคณะ [27] กล่าวว่า ในขั้นตอนการสกัดเพคตินออกจากวัสดุเศษเหลือพวกผักผลไม้ สามารถดำเนินการได้ด้วยหลักการที่สำคัญคือการตกตะกอนเพคตินด้วยเอทานอล เกิดเป็นลักษณะเจลที่สามารถกรองแยกออกมาได้ เนื่องจากเพคตินเป็นสารที่มีขั้วจึงละลายได้ดีในตัวทำละลายมีขั้ว โดยเฉพาะเอทานอล และเมื่อเอทานอลละลายหรือรวมตัวกับสารโมเลกุลขนาดใหญ่ (macromolecule) เช่น โปรตีนหรือเพคติน จะทำให้สารโมเลกุลขนาดใหญ่ตกตะกอน แข็งตัว เสียสภาพธรรมชาติ หรือเกิดลักษณะเจล เพราะเกิดการดึงน้ำมาไว้ในแอลกอฮอล์ได้มาก ดังนั้นการนำกากมะตูมที่ผ่านการสกัดด้วยน้ำมาสกัดซ้ำด้วยเอทานอลอีกครั้ง จึงมีโอกาสทำให้เส้นใยอาหารที่ละลายน้ำได้ เช่น เพคติน มีโอกาสสูญเสียไปได้มากขึ้น สอดคล้องกับผลการศึกษาการสกัดเส้นใยอาหารจากกากมะนาว พบว่า การเตรียมกากมะนาวด้วยการลวกร่วมกับการแช่เอทานอล ทำให้ได้เส้นใยอาหารผงที่มีปริมาณเส้นใยอาหารที่ละลายน้ำลดลง (30.36%) เมื่อเปรียบเทียบกับเส้นใยอาหารผงที่ไม่ผ่านการลวกร่วมกับการแช่ในเอทานอล [15]

3.2.3 ปริมาณเส้นใยอาหารทั้งหมด

จาก Figure 4 พบว่า ปริมาณเส้นใยอาหารทั้งหมดของเส้นใยอาหารผงจากกากมะตูมที่ได้ แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$) โดยเส้นใยอาหารผงจากกากมะตูมที่ผ่านการสกัดด้วยน้ำและเอทานอลมีปริมาณเส้นใยอาหารทั้งหมด (89.61%) มากกว่าเส้นใยอาหารผงจากกากมะตูมที่ผ่านการสกัดด้วยน้ำเพียงขั้นตอนเดียว (81.49%) จากผลการทดลองแสดงให้เห็นว่า เส้นใยอาหารผงจากกากมะตูมที่ผ่านการสกัดด้วยน้ำและเอทานอล มีปริมาณเส้นใยอาหารที่มีความบริสุทธิ์มากขึ้น คิดเป็นปริมาณเส้นใยอาหารทั้งหมดที่เพิ่มขึ้น 8.12% สอดคล้องกับผลการศึกษาการสกัดเส้นใยอาหารจากกากแครอทด้วยเอทานอลความเข้มข้น 95% เป็นเวลา 24 ชั่วโมง พบว่า การสกัดเส้นใยอาหารจากกากแครอทด้วยเอทานอล ได้ปริมาณเส้นใยอาหารทั้งหมด เท่ากับ 84.20% [28] และผลการศึกษาการสกัดเส้นใยอาหารจากกากมะนาว พบว่า การเตรียมกากมะนาวด้วยการลวกและแช่เอทานอล ได้ปริมาณเส้นใยอาหารทั้งหมดเท่ากับ 71.26% [29]

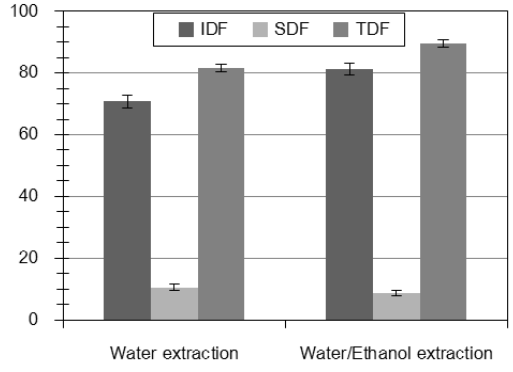

Figure 4 Dietary fiber composition content of bael pulp powder from water extraction combined with and without ethanol extraction

3.2.4 ปริมาณน้ำตาลทั้งหมด

จาก Table 4 พบว่า ปริมาณน้ำตาลทั้งหมดของเส้นใยอาหารผงจากกากมะตูมผงที่ได้แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$) โดยพบว่า เส้นใยอาหารผงจากกากมะตูมที่ผ่านการสกัดด้วยน้ำและเอทานอล มีปริมาณน้ำตาลทั้งหมด (0.41%) น้อยกว่าเส้นใยอาหารผงจากกากมะตูมที่ผ่านการสกัดด้วยน้ำเพียงขั้นตอนเดียว (0.71%) แสดงให้เห็นว่าการนำกากมะตูมที่ผ่านการสกัดด้วยน้ำมาสกัดต่อด้วยเอทานอล สามารถกำจัดน้ำตาลออกจากวัตถุดิบได้มากขึ้น ซึ่งน้ำตาลอิสระที่มีอยู่ในผลมะตูมมีสมบัติในการละลายได้ในเอทานอล โดยน้ำตาลอะราบิโนสและน้ำตาลกาแลกโตสสามารถละลายได้ในเอทานอลบางส่วน ในขณะที่น้ำตาลกลูโคสมีความสามารถละลายได้ในเอทานอลได้มาก [20] นอกจากนี้เนื่องมาจากเอทานอลเป็นตัวทำละลายที่ดี โดยเป็นสารที่มีขั้ว สามารถใช้สกัดสารสำคัญได้หลายชนิดและมีผลให้เนื้อเยื่อพืชอ่อนนุ่มลงได้มาก จึงสามารถสกัดสารต่าง ๆได้ง่ายขึ้น ในการผลิตเส้นใยอาหารจากหัวกระเทียม สามารถกำจัดแป้งออกจากกระเทียมโดยใช้เอนไซม์อัลฟาอะไมเลสไปทำการย่อย และกำจัดน้ำตาลโดยการสกัดด้วยสารละลายเอทานอลความเข้มข้น 80% และ 95% [30] นอกจากนี้การนำกากมะตูมมาแช่ต่อในเอทานอลความเข้มข้น 95% เป็นเวลา 24 ชั่วโมง อาจมีผลให้โครงสร้างเซลล์พืชเปลี่ยนแปลงไปได้ ซึ่งสอดคล้องกับการสังเกตระหว่างการทดลองนี้ ที่เห็นว่าชิ้นกากมะตูมที่แช่ในเอทานอลมีความนุ่มและยุ่ยมากขึ้น จึงอาจเอื้อต่อการแพร่ออกของน้ำตาลที่ยังหลงเหลืออยู่ได้มากขึ้น เป็นผลให้ปริมาณน้ำตาลทั้งหมดของเส้นใยอาหารผงจากกากมะตูมที่ผ่านการสกัดด้วยน้ำและเอทานอลมีปริมาณลดลง สอดคล้องกับผลการวิเคราะห์โครงสร้างระดับจุลภาพของเส้นใยอาหารผงจากกากมะนาว พบว่า เส้นใยอาหารผงที่ผ่านการลวกและแช่ด้วยเอทานอล มีความพรุนมากกว่าเส้นใยอาหารผงจากกากมะนาวที่ผ่านการลวกเพียงอย่างเดียว [29]

3.2.5 ค่าสี

เมื่อนำเส้นใยอาหารผงจากกากมะตูมมาวัดค่าสีด้วยเครื่องวัดค่าสีในระบบ CIE รายงานเป็นค่า L* a* และ b* ได้ผลการทดลองแสดงดัง Table 5 และแสดงดัง Figure 5

จาก Table 4 พบว่า ค่าสี L* a* และ b* มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$) เส้นใยอาหารผงจากกากมะตูมที่ผ่านการสกัดด้วยน้ำและเอทานอล มีค่าความสว่าง (L* 70.23) มากกว่าเส้นใยอาหารผงจากกากมะตูมที่ผ่านการสกัดด้วยน้ำเพียงขั้นตอนเดียว (L* 69.68) ในขณะที่เส้นใยอาหารผงจากกากมะตูมที่ผ่านการสกัดด้วยน้ำและเอทานอล มีค่าสีแดง (a* 6.23) และค่าสีเหลือง (b* 22.05) น้อยกว่าเส้นใยอาหารผงจากกากมะตูมที่ผ่านการสกัดด้วยน้ำเพียงขั้นตอนเดียว (a* 6.32 และ b* 23.76) เนื่องจากรงควัตถุสำคัญที่ให้สีในกากมะตูมกลุ่มแคโรทีนอยด์ (carotenoid) และแอนโทไซยานิน (anthocyanin) มีสมบัติละลายได้ในเอทานอล [20] จึงมีโอกาสถูกชะออกไปได้ในระหว่างการนำกากมะตูมมาแช่ในเอทานอลเป็นเวลา 24 ชั่วโมง ซึ่งจากการสังเกต พบว่า ระหว่างการสกัดเอทานอลที่ใช้แช่กากมะตูม มีสีออกส้มแดง แสดงให้เห็นว่ารงควัตถุในกากมะตูมถูกสกัดออกมาด้วย สอดคล้องกับที่ Prakongpan และคณะ [9] กล่าวว่า เอทานอลเป็นตัวทำละลายที่สามารถสกัดสารให้สีและไขมันออกจากวัตถุดิบได้ จึงสามารถทำให้ได้เส้นใยอาหารที่มีความบริสุทธิ์มากขึ้น สอดคล้องกับที่นักวิจัยที่ได้กล่าวว่า เอทานอลเป็นตัวทำละลายที่สามารถสกัดรงควัตถุแคโรทีโนยด์และแอนโทไซยานินได้ จากการศึกษาการสกัดขมิ้นและกะหล่ำปลีม่วง เป็นต้น [31] ดังนั้นจากผลการทดลองจึงพบว่า เส้นใยอาหารผงจากกากมะตูมที่ผ่านการสกัดด้วยน้ำและเอทานอล จึงมีโอกาสถูกกำจัดรงควัตถุที่ให้สีได้มากกว่าเส้นใยอาหารผงจากกากมะตูมที่ผ่านการสกัดด้วยน้ำเพียงขั้นตอนเดียว จากผลการทดลอง

พบว่า การสกัดกากมะตูมด้วยน้ำและเอทานอล ทำให้ได้เส้นใยอาหารผงที่มีปริมาณเส้นใยอาหารทั้งหมด (89.61% โดยน้ำหนักแห้ง) มากกว่าเส้นใยอาหารผงที่ผ่านการสกัดด้วยน้ำเพียงอย่างเดียว ($p<0.05$) รวมถึงได้เส้นใยอาหารผงที่มีสีน้ำตาลอ่อนกว่า

Table 4 Total sugar content and color value (L* a* and b*) of bael pulp powder from water extraction combined with and without ethanol extraction

Quality	Water extraction	Water/Ethanol extraction
Total sugar (% db)[sig] (without extraction)	0.71 ± 0.01	0.41 ± 0.01
L* [sig]	69.68 ± 0.23	70.23 ± 0.81
a* [sig]	6.32 ± 0.03	6.23 ± 0.02
b* [sig]	23.76 ± 0.03	22.05 ± 0.17

[sig] Means are significantly different ($p<0.05$)

Figure 5 Bael pulp powder from 1) water extraction and 2) water/ethanol extraction

3.2.6 สมบัติเชิงหน้าที่บางประการ

จาก Table 5 พบว่า สมบัติเชิงหน้าที่ของเส้นใยอาหารผงจากกากมะตูมมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$) สมบัติเชิงหน้าที่ที่วิเคราะห์ในงานวิจัยนี้ ได้แก่ ความสามารถในการละลาย หมายถึง อัตราส่วนระหว่างปริมาณตัวถูกละลายต่อปริมาณตัวทำละลายในสารละลายอิ่มตัว ความสามารถในการอุ้มน้ำ หมายถึง ความสามารถในการดูดซับเก็บกักน้ำในโครงสร้างของเส้นใยอาหาร และความสามารถในการอุ้มน้ำมัน หมายถึง ความสามารถของอนุภาคที่มีส่วนประกอบของส่วนที่ชอบไขมัน (hydrophobic) ที่จะสามารถแทรกตัวตรึงกับส่วนที่เป็นน้ำมัน [14] จาก Table 5 พบว่า ความสามารถในการละลาย ความสามารถในการอุ้มน้ำ และความสามารถในการอุ้มน้ำมันของเส้นใยอาหารผงที่ผ่านการสกัดด้วยน้ำและเอทานอลมีค่าสูงกว่าเส้นใยอาหารผงจากกากมะตูมที่สกัดด้วยน้ำอย่างเดียว อาจเนื่องมาจากการนำกากมะตูมมาแช่ในเอทานอลความเข้มข้น 95% เป็นเวลา 24 ชั่วโมง อาจมีผลให้โครงสร้าง

Table 5 Solubility, water holding capacity (WHC) and oil binding capacity (OBC) of bael pulp powder from water extraction combined with and without ethanol extraction

Quality	Water extraction	Water/Ethanol extraction
Solubility (%)^{sig}	5.50 ± 0.44	12.60 ± 0.17
WHC (g water/g)^{sig}	3.21 ± 0.20	3.61 ± 0.28
OBC (g oil/g)^{sig}	1.35 ± 0.11	1.57 ± 0.20

^{sig} Means are significantly different ($p<0.05$)

เซลล์พืชเปลี่ยนแปลงไปได้ โดยมีความนุ่มและยุ่ยมากขึ้น โครงสร้างเป็นรูพรุนมากขึ้น และมีพื้นที่ผิวสัมผัสมากขึ้น จึงเพิ่มโอกาสให้เส้นใยอาหารผงสามารถละลายน้ำ อุ้มน้ำและอุ้มน้ำมันได้มากขึ้น ทำให้ค่าความสามารถในการละลาย ความสามารถในการอุ้มน้ำ และความสามารถในการอุ้มน้ำมันของเส้นใยอาหารผงเพิ่มขึ้น สอดคล้องกับการผลิตเส้นใยอาหารผงจากกากมะนาว พบว่า การเตรียมกากมะนาวด้วยการลวกและแช่เอทานอล มีผลทำให้โครงสร้างภายในระดับจุลภาคของเส้นใยอาหารผงมีความเป็นรูพรุนมากยิ่งขึ้น เมื่อเปรียบเทียบกับกากมะนาวสด และกากมะนาวที่ผ่านการลวกเพียงอย่างเดียว นอกจากนี้การนำกากมะตูมมาแช่ในเอทานอล สามารถทำให้องค์ประกอบส่วนที่ไม่ละลายน้ำ เช่น ไขมัน สารให้สี สารให้กลิ่นรส มีโอกาสถูกชะออกไปได้มากขึ้น จึงเพิ่มโอกาสการละลาย และการอุ้มน้ำได้ของเส้นใยได้มากขึ้นด้วย[29]

4. สรุปและเสนอแนะ

จากการศึกษาอุณหภูมิและเวลาในการสกัดกากมะตูมด้วยน้ำต่อคุณภาพของเส้นใยอาหารผงจากกากมะตูม พบว่า อุณหภูมิและเวลาในการสกัดด้วยน้ำ มีผลต่อปริมาณเส้นใยอาหารที่ไม่ละลายน้ำ ปริมาณเส้นใยอาหารที่ละลายน้ำ ปริมาณเส้นใยอาหารทั้งหมด และค่าสี อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$) โดยการสกัดด้วยน้ำที่อุณหภูมิ 90 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 1 ชั่วโมง มีความเหมาะสมที่สุด ได้เส้นใยอาหารผงจากกากมะตูมที่มีปริมาณเส้นใยอาหารทั้งหมดมากที่สุด เท่ากับ 82.56% (โดยน้ำหนักแห้ง) และจากการศึกษาผลของการสกัดด้วยเอทานอลร่วมด้วย โดยการนำกากมะตูมที่เหลือจากการสกัดด้วยน้ำ มาสกัดต่อด้วยการแช่ในเอทานอลความเข้มข้น 95% เป็นเวลา 24 ชั่วโมง พบว่า ได้เส้นใยอาหารผงที่มีปริมาณเส้นใยอาหารทั้งหมดเพิ่มขึ้นเป็น 89.61% (โดยน้ำหนักแห้ง) ข้อเสนอแนะสำหรับการวิจัยต่อไปคือควรมีการศึกษาการนำไปใช้เป็นส่วนประกอบในอาหารชนิดต่าง ๆ เช่น ผลิตภัณฑ์เบเกอรี่ ผลิตภัณฑ์อาหารทอด น้ำสลัด และไอศกรีม เป็นต้น

กิตติกรรมประกาศ

งานวิจัยนี้ได้รับการสนับสนุนทุนวิจัยจากงบประมาณเงินรายได้จากเงินอุดหนุนรัฐบาล (งบประมาณแผ่นดิน) ประจำปีงบประมาณ พ.ศ.2559 มหาวิทยาลัยบูรพา ผ่านสำนักงานคณะกรรมการการวิจัยแห่งชาติ เลขที่สัญญา 103/2559

เอกสารอ้างอิง

[1] Bongkochrat, N. 2010. **Production of dietary fiber from Pomelo's albedo with reduced bitterness and Its utilization in dairy Ice cream.** M.Sc. Thesis, Chiang Mai University. (*in Thai*)

[2] Larrauri, J.A. 1999. "New approaches in the preparation of high dietary fibre powder from fruit by-products". **Trends in Food Science and Technology**. 10: 3-8.

[3] Lario, Y. and et al. 2004. "Preparation of high dietary fiber powder from lemon juice by-products". **Innovative Food Science and Emerging Technologies**. 5: 113-117.

[4] Barthakur, N.N. and Arnold, N.P. 1989. "Certain organic and inorganic constituents inbael (Aegle marmelos Correa.) fruit". **Tropical Agriculture.** 66 (1): 65-68.

[5] Poonsawad, S. 2004. **Bale fruit : A versatile plant.** Bioscience project, Department of Science Service. (*in Thai*)

[6] Saeidnia, S. and et al. 2011. "A review on phytochemistry and medicinal properties of the genus Achillea". **Daru.** 19 (3):173-186.

[7] Udeye, V. and et al. 2010. **Extraction and Utilization of dietary fiber and cellulose from banana peels.** Research report, Bangkok, National Research Council of Thailand. (*in Thai*)

[8] Naowakul, B., Wirjantoro, T.I. and Phianmongkhol, A. 2013. "Effects of speed and time of wet milling on properties of dietary fiber powder from pomelo's albedo". **Food and Applied Bioscience Journal**. 1 (1): 34-48. (*in Thai*)

[9] Prakongpan, T., Nitithamyong, A. and Luangpituksa, P. 2002. "Extraction and application of dietary fiber and cellulose from pineapple cores". **Journal of Food science**. 67: 1308-1313.

[10] Zhang, W., Zeng, G., Pan, Y., Chen, W. Huang, W., Chen, H., nd Li, Y. 2017. "Properties of soluble dietary fiber-polysaccharide from papaya peel obtained through alkaline or ultrasound-assisted alkaline extraction". **Carbohydrate Polymers.** 172: 102-112.

[11] Beres, C. Simas-Tosin, F.F., Cabezudo, I. Freitas, S.P., Iacomini, M., Mellinger-Silva, C. and Cabral, L.M. 2016. "Antioxidant dietary fibre recovery from Brazilian Pinot noir grape pomace". **Food Chemistry**. 201: 145-152.

[12] AOAC. 2000. **Official Methods of Analysis of A.O.A.C. (17th ed.).** Gaithersburg: The Association of official Analysis Chemists.

[13] AOAC. 2002. **Official Methods of Analysis of AOAC International (18th ed.).** Gaithersburg, MD, USA: AOAC International.

[14] Fernandez, E., Schebor, C. and Chirife, J. (2003). Glass transition temperature of regular and lactose hydrolyzed milk powders. Lebensmittel-Wissenschaft and-Technologie. 36, 547-551.

[15] Hengsawad, D. 2002. “Dietary fiber for health”. **Food Journal.** 32: 157-159. (*in Thai*)

[16] FAO. 1998. **Carbohydrates in Human Nutrition.** Rome: Food and Agriculture Organization.

[17] Wanlapa, S. and et al. 2009. “Effect of Preparation Methods on Chemical Compositions and Functional Properties of Dietary Fiber from Mango Peel (*Mangifera indica* Linn.)”. **Agricultural Science Journal.** 40 (3): 141-144. (*in Thai*)

[18] Wennberg, M., Engqvist, G. and Nyman, E. 2003. “Effects of boiling on dietary fiber components in fresh and stored white cabbage (*Brassica oleracea* var. capitata)”. **Journal of Food Science.** 68 (5): 1615-1621.

[19] Dabhade, R.S. and Khedkar, D.M. 1980. “Studies on Drying and Dehydration of Raw Mangoes for Preparation of Mango Power (amchur)”. **Indian Food Packer**. 34 (3): 3-59.

[20] Rattanapanone, N. 2002. **Food Chemistry.** Bangkok: Odeon store Publishing. (*in Thai*)

[21] Larrauri, J.A. and et al. 1996. “Mango Peels as a New Tropical Fibre: Preparation and Characterization”. **LWT-Food Science and Technology**. 29 (8): 729-733.

[22] Suvimol, C. and Pranee, A. 2008. “Bioactive compounds and volatile compounds of Thai bael fruit (Aegle marmelos (L.) Correa) as a valuable source for functional food ingredients”. **International Food Research Journal.** 15: 45-63.

[23] Maity, P. and et al. 2009. “Biological activities of crude extracts and chemical constituents of bael, Aegle marmelos (L.) Corr”. **Indian Journal of Experimental Biology.** 47: 849-861.

[24] Cavalcanti, R.N., Santos, D.T. and Meireles, M.A.A. 2011. Nonthermal stabilization mechanisms of anthocyanins in model and food systems – an overview. **Food Research International.** 44 (2): 499-509.

[25] Jimenez-Escrig, A. and Sanchez-Machado, F.J. 2000. “Dietary fiber from edible seaweeds: chemical structur, physicochemical properties and effects on cholesterol metabolism”. **Nursing Research**. 20: 585-598.

[26] Aravantinos-Zafiris, G. and Oreopoulou, V. 1992, “The effect of nitric acid extraction variables on orange pectin”. **Journal of the Science of Food and Agriculture.** 60: 127-129.

[27] Pagan, J. and et al. 1999. “Quality of industrial pectin extracted from peach pomace at different pH and temperature”. **Journal of the Science of Food and Agriculture.** 79: 1038.

[28] Chaidet, T. 2007. **The study of extraction of dietary fiber and carotenoids from carrot pomace.** M.Sc. Thesis, Mahidol University. (*in Thai*)

[29] Chiewchan, N. 2013. **Effects of Processing Steps on Phytochemicals and Functional Properties of High Dietary Fiber Powder from Lime Residues.** Project**,** King Mongkut's University of Technology Thonburi. (*in Thai*)

[30] Konnaimaung, S. and Anprung, P. 2003. “Dietary fiber from garlic bulb Allium sativum Lin”. **Food Journal.** 33 (4): 283-291. (*in Thai*)

[31] Panpraneecharoen, S. and Pongpian, W. 2011. “The study of dyeing conditions with turmeric dye on cotton yarn”. **Phetchabun Rajabhat Journal.** 13 (1): 1-6. (*in Thai*)