SDU Research Journal

การสกัดใยอาหารจากเปลือกกล้วยน้ำว้าโดยใช้เอนไซม์และการนำไปประยุกต์ใช้ในผลิตภัณฑ์โยเกิร์ต

Extraction and Utilization of Dietary Fiber from Banana Peels

กนกกานต์ วีระกุล[1]*, จิราภรณ์ สอดจิตร์[2]
และเหรียญทอง สิงห์จานุสงค์[2]
[1]โรงเรียนการเรือน มหาวิทยาลัยสวนดุสิต
[2]คณะเกษตรศาสตร์ ทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม มหาวิทยาลัยนเรศวร

Kanokkan Weeragul[1]*, Chiraporn Sodchit[2] and Riantong Singganusong[2]
[1]School of Culinary Arts, Suan Dusit University
[2]Faculty of Agriculture, Natural Resources and Environment Naresuan University

---

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้เป็นการนำเปลือกกล้วยเหลือทิ้งจากการผลิตกล้วยตาก ในอำเภอบางกระทุ่ม และอำเภอบางระกำ จังหวัดพิษณุโลก มาใช้ประโยชน์ในอาหารโดยการสกัดสารสำคัญ ได้แก่ ใยอาหาร นำมาเติมในโยเกิร์ต เพื่อเพิ่มปริมาณใยอาหารที่มีประโยชน์ต่อร่างกาย การสกัดใยอาหารจากเปลือกกล้วยน้ำว้ามีกรรมวิธีที่เหมาะสม คือ นำเปลือกกล้วยน้ำว้ามาบดเปียกที่อุณหภูมิ 95 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 5 นาที จากนั้นอบแห้ง นำไปกำจัดไขมัน โดยใช้ตัวทำละลายเฮกเซน ที่อุณหภูมิ 90 องศาเซลเซียส 2 ครั้ง กำจัดแป้งโดยใช้เอนไซม์แอลฟา-อะไมเลส (α-amylase) และเอนไซม์กลูโคอะไมเลส (Glucoamylase) ความเข้มข้น 0.05% กำจัดโปรตีนโดยใช้เอนไซม์นิวเทรส (Neutrase®) ความเข้มข้น 10% จากนั้นอบแห้งที่อุณหภูมิ 50 องศาเซลเซียส จนความชื้นเท่ากับ 3.56% ได้เป็นใยอาหารสกัดจากเปลือกกล้วยน้ำว้า นำไปวิเคราะห์คุณภาพทางเคมี กายภาพ พบว่า มีปริมาณใยอาหารทั้งหมด 90.43% ค่าสี L* a* และ b* เท่ากับ 15.58, 8.45 และ 11.63 ตามลำดับ ค่าเปอร์เซ็นต์การอุ้มน้ำ pH และค่า a_w มีค่าเท่ากับ 9.52, 5.04 และ 0.31 ตามลำดับ นำใยอาหารที่สกัดได้ไปเสริมในผลิตภัณฑ์โยเกิร์ตโดยการแทนที่นมผงเพื่อเพิ่มปริมาณใยอาหาร ผลการทดสอบการยอมรับของผู้บริโภค พบว่าผลิตภัณฑ์โยเกิร์ตเสริมใยอาหารจากเปลือกกล้วยน้ำว้า 1% (w/w) ได้รับคะแนนความชอบโดยรวมสูงสุด

คำสำคัญ : ใยอาหาร เปลือกกล้วย โยเกิร์ต

---

* ผู้ประสานงานหลัก (Corresponding Author)
e-mail: kanokkan_wee@dusit.ac.th

PUBLISHED

Abstract

The research goal was to study the use of fiber extracted from banana peels, by-products derived from the production of dried bananas in Bang Kratum and Bang Rakam distracts of the Phitsanulok province, for its application in food production. The extraction of dietary fiber from banana peel consisted of firstly, size reduction using a wet method at 95 $^{\circ}$C for 5 min. and drying, secondly, elimination of lipid using two hexane treatment at 90°C, then elimination of starch using α–amylase and glucoamylase at a concentration of 0.05% and finally, elimination of protein using nutrase® at a concentration of 10%. Treated peels were then dried at 50°C until moisture content of 3.56 was reached, then the dietary fiber from banana peel was extraction. A chemical and physical quality analysis of the product showed that it was 90.43% dietary fiber. The color in term of L* a* and b*, values were 15.58, 8.45 and 11.63, respectively. The water holding capacity, pH and water activity were 9.52, 5.04 and 0.31, respectively. The dietary fiber was added to the yogurt. At various concentration. The consumer acceptance test of yogurt with 1% addition dietary fiber from banana peel had the highest liking score.

Key words : Dietary Fiber, Banana peel, Yogurt

บทนำ

ปัจจุบันผู้บริโภคได้ตระหนักถึงความสำคัญของสุขภาพในแง่ของคุณค่าทางโภชนาการมากขึ้น ทั้งนี้ เนื่องจากการบริโภคอาหารที่ไม่ได้คุณภาพหรือมีคุณค่าอาหารที่ไม่ครบถ้วนนั้น อาจเกิดผลเสียต่อสุขภาพของผู้บริโภคอย่างไม่อาจหลีกเลี่ยงได้ เช่น เกิดโรคภัยต่างๆ ได้แก่ โรคอ้วน โรคหัวใจ โรคเบาหวาน เป็นต้น ซึ่งการมีสุขภาพที่ไม่ดี ส่งผลให้สูญเสียค่าใช้จ่ายในการรักษาพยาบาลเป็นจำนวนมาก ดังนั้นการเลือกบริโภคอาหารที่มีประโยชน์และมีคุณค่าทางโภชนาการที่ครบถ้วนจึงถือเป็นปัจจัยสำคัญที่จะทำให้ผู้บริโภคได้รับความปลอดภัยและช่วยลดอัตราความเสี่ยงที่อาจเกิดโรคร้ายต่างๆตามที่ได้กล่าวมาข้างต้นได้ ใยอาหารเป็นสารสำคัญที่ร่างกายต้องการและมีส่วนช่วยในการป้องกันการเกิดโรคในเบื้องต้น เช่น ช่วยควบคุมระดับน้ำตาลในเลือดของกลุ่มคนที่เป็นเบาหวานที่ดื้อต่อการรักษา ป้องกันและแก้ปัญหาท้องผูกอย่างได้ผล สามารถจับไขมัน คลอเลสเตอรอล และน้ำตาล ช่วยขับเคลื่อนและเป็นสารหล่อลื่นช่วยทำให้อุจจาระไหลเลื่อนในลำไส้ใหญ่ได้เร็วขึ้นและขับออกจากร่างกายมากขึ้น เป็นต้น

PUBLISHED

จากคุณสมบัติที่กล่าวข้างต้นจะเห็นได้ว่า เส้นใยอาหารมีประโยชน์ต่อมนุษย์เป็นอย่างมากและร่างกายขาดไม่ได้ แต่ในปัจจุบันกลับพบว่ามีผู้บริโภคอาหารที่มีองค์ประกอบของใยอาหาร เช่น ผักหรือผลไม้น้อยลง จึงทำให้เกิดการพัฒนาผลิตภัณฑ์เสริมใยอาหารออกมามากมาย เพื่อให้ผู้บริโภคได้รับปริมาณใยอาหารอย่างเพียงพอและจากการวิจัยของนักวิทยาศาสตร์การอาหารพบว่า เปลือกกล้วยน้ำว้ามีใยอาหารสูง สามารถนำไปสกัดและประยุกต์ใช้เป็นส่วนประกอบหรือเป็นสารเพิ่มความคงตัวในอุตสาหกรรมอาหาร ขนม เครื่องดื่มตลอดจนผลิตภัณฑ์เพื่อสุขภาพได้

จากการสำรวจข้อมูลโดยสำนักงานพัฒนาที่ดินจังหวัดพิษณุโลก พบว่าอำเภอบางกระทุ่ม และอำเภอบางระกำ จังหวัดพิษณุโลก มีพื้นที่ในการปลูกกล้วยน้ำว้ามากกว่า 400,000 ไร่ มีผลิตผล 7,000 กิโลกรัมต่อไร่ต่อปี และมีวัตถุดิบในการผลิตผลิตภัณฑ์จากกล้วย เช่น กล้วยตาก กล้วยกวน กล้วยอบกรอบ และผลิตภัณฑ์กล้วยอื่นๆ ประมาณ 60 - 70 ตันต่อวัน จากกระบวนการแปรรูปกล้วยดังกล่าว ก่อให้เกิดเปลือกกล้วยเหลือทิ้ง หวี และก้านเครือกล้วย ซึ่งเป็นขยะประมาณ 3-5 ตันต่อวัน ทำให้เกิดปัญหาต่อสภาพแวดล้อม เช่น ส่งกลิ่นเหม็น และเป็นแหล่งแพร่กระจายของเชื้อโรค องค์การบริหารส่วนตำบลต้องใช้งบประมาณในการกำจัดขยะประมาณ 10,500 - 22,500 บาทต่อวัน (150 บาทต่อตันต่อวัน) อย่างไรก็ตาม ขยะเหล่านี้มีการนำไปใช้ประโยชน์ เช่น การผลิตถ่านและถ่านกัมมันต์จากเปลือกกล้วย การทำปุ๋ยหมักจากเปลือกกล้วย แต่ขยะดังกล่าวยังมีเหลืออยู่และก่อให้เกิดปัญหาต่อสภาพแวดล้อม จึงได้ศึกษาแนวทางในการลดปัญหาของขยะจากเปลือกกล้วย และการเพิ่มมูลค่าของเปลือกกล้วยด้วยการนำมาสกัดใยอาหารที่มีประโยชน์ต่อสุขภาพและมีศักยภาพสำหรับการนำมาใช้ในอุตสาหกรรมอาหาร

การสกัดใยอาหารจากเปลือกกล้วยน้ำว้า โดยทั่วไปมี 2 วิธี ได้แก่การกำจัดองค์ประกอบอื่นๆ ในเปลือกกล้วยน้ำว้าที่ไม่ต้องการออกไปจนเหลือแต่ใยอาหารโดยวิธีการใช้สารเคมี และวิธีการใช้เอนไซม์ (Wachirasiri, 2007) เนื่องจากใยอาหาร (Dietary fiber) หมายถึงใยอาหารที่ทนต่อเอนไซม์ต่างๆ ในระบบทางเดินอาหาร และบางส่วนอาจถูกทำลายได้ด้วยกรด หรือด่าง ดังนั้นเพื่อเป็นการรักษาคุณสมบัติที่ดีของใยอาหาร งานวิจัยนี้จึงใช้การสกัดใยอาหารจากเปลือกกล้วยน้ำว้าโดยการกำจัดองค์ประกอบอื่นๆ ออกด้วยเอนไซม์

วัตถุประสงค์

1. การสกัดใยอาหารจากเปลือกกล้วยน้ำว้าโดยใช้เอนไซม์
2. การเสริมเส้นใยอาหารจากเปลือกกล้วยน้ำว้าในโยเกิร์ต

PUBLISHED

อุปกรณ์และวิธีการวิจัย

1. อุปกรณ์และเครื่องมือ

1.1 อุปกรณ์และเครื่องมือ

1.1.1 ตู้อบลมร้อน (Hot air oven, D 06060, model 400 Memmert/ Germany)

1.1.2 เครื่องปั่นผสม (Mixer, HR 1799/ Netherland)

1.1.3 เครื่องวัดเนื้อสัมผัส (Texture Analyzer, TA-XT2i/ Sciencetific promotion/ England)

1.1.4 เครื่องวัดความหนืด (Bookfield synerolectric viscometer/ RVDV-II$^+$/ U.S.A.)

1.1.5 ตะแกรงร่อนขนาด 120 เมช

1.1.6 เครื่องวัดค่า pH (pH meter, Horiba D – 51/ Japan)

1.1.7 เครื่องวัดค่าสี (Handy Colorimeter NR – 3000/ Japan)

1.1.8 เครื่องเหวี่ยงแยก (Centrifuge, Beckman/ USA)

1.1.9 เครื่องวิเคราะห์ปริมาณไขมัน (Soxtec Auto Extraction Unit / tecator 2050/ Sweden)

1.1.10 เตาเผาเถ้า (Muffle furnace 6010 Thermolyne/ U.S.A.)

1.1.11 เครื่องวิเคราะห์ปริมาณโปรตีน (Buchi Digestion Unit B-435/Switzerland)

2. วิธีการวิจัย

2.1 การวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมีของเปลือกกล้วยน้ำว้า

วิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมี ได้แก่ แป้ง โปรตีน ไขมัน เถ้า ความชื้น (AOAC, 2002) และใยอาหารทั้งหมด (AOAC, 1997)

2.2 การเตรียมวัตถุดิบ

นำเปลือกกล้วยน้ำว้าสุกระดับที่ 7 (ชื่อวิทยาศาสตร์ *Musa* spp.) ที่ได้มาจากการผลิตกล้วยตากในอำเภอบางกระทุ่ม จังหวัดพิษณุโลก มาล้างทำความสะอาด บดเปียกด้วยเครื่องปั่นความเร็วสูง (อัตราส่วนเปลือกกล้วยน้ำว้า : น้ำ เท่ากับ 1: 20) กรองแยกกาก ล้างด้วยน้ำร้อนอุณหภูมิ 95 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 5 นาที กรองแยกกาก จากนั้นอบด้วยเครื่องทำแห้งแบบถาด อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส จนความชื้นไม่เกินร้อยละ 12

2.3 การผลิตใยอาหารจากเปลือกกล้วยน้ำว้า

2.3.1 การกำจัดไขมันโดยใช้ตัวทำละลายอินทรีย์

นำเปลือกกล้วยน้ำว้าที่ได้จากข้อ 2.2 มากำจัดไขมันโดยใช้สารละลายเฮกเซนความเข้มข้น 90 (%w/v) (Merck, Germany) ปริมาตร 50 มิลลิลิตร เป็นตัวทำละลาย ในชุดสกัดไขมันเป็น

PUBLISHED

เวลา 16 ชั่วโมง จากนั้นนำตัวอย่างที่ได้ไปอบแห้งในตู้อบลมร้อนที่อุณหภูมิ 50 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 2 ชั่วโมง สกัดซ้ำ 2 ครั้ง

2.3.2 การกำจัดแป้งและโปรตีนด้วยเอนไซม์ (ดัดแปลงจากวิธีของ พัชราภรณ์, 2550)

2.3.2.1 การกำจัดแป้งด้วยเอนไซม์เอนไซม์แอลฟา – อะไมเลส (Termamyl 120L Type LS) และเอนไซม์กลูโคอะไมเลส (Fluka, Switzerland)

นำเปลือกกล้วยน้ำว้าที่ผ่านการกำจัดไขมันในข้อ 2.3.1 มากำจัดแป้งโดยใช้เอนไซม์แอลฟา – อะไมเลส ที่ความเข้มข้น 3 ระดับ ได้แก่ 0.025, 0.05 และ 1 (%w/v) ตามลำดับ วิธีการคือ เติมน้ำกลั่นลงในเปลือกกล้วยน้ำว้า ในอัตราส่วนเปลือกกล้วยน้ำว้า : น้ำ เท่ากับ 1:20 ปรับ pH ให้เท่ากับ 5.8 ด้วยสารละลายกรดไฮโดรคลอริกความเข้มข้น 0.325 M (Merck, Germany)

เติมเอนไซม์แอลฟา – อะไมเลส โดยให้ความร้อนเปลือกกล้วยน้ำว้าที่อุณหภูมิ 95 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 30 นาที จากนั้น ปรับ pH ให้อยู่ในช่วง 4-4.5 ด้วยสารละลายกรดไฮโดรคลอลิก

เติมเอนไซม์กลูโคอะไมเลส ที่ความเข้มข้น 3 ระดับ ได้แก่ 0.025, 0.05 และ 1 (%w/v) ตามลำดับ ให้ความร้อนที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 30 นาที

กรองแยกส่วนที่เป็นกากนำไปอบในตู้อบลมร้อนที่อุณหภูมิ 50 องศาเซลเซียส จนได้ความชื้นไม่เกินร้อยละ 12 จากนั้นนำไปวิเคราะห์หาปริมาณแป้ง แล้วเลือกระดับความเข้มข้นของเอนไซม์ที่ทำให้ปริมาณแป้งเหลือน้อยที่สุด

2.3.2.2 การกำจัดโปรตีนด้วยเอนไซม์นิวเทรส

นำผงเปลือกกล้วยน้ำว้าที่ผ่านการกำจัดไขมันและแป้งแล้วมากำจัดโปรตีนโดยใช้เอนไซม์นิวเทรส (Novozymes®) ที่ความเข้มข้น 2 ระดับ ได้แก่ 0.5, และ 1.0 (%w/v) (0.5 units/g) ตามลำดับ วิธีการคือ เติมน้ำกลั่นลงในเปลือกกล้วยน้ำว้าที่ได้จากข้อ 2.3.2.1 ในอัตราส่วน 1:20 ปรับ pH ให้เท่ากับ 7.5 ด้วยสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ความเข้มข้น 0.275 N (Merck, Germany)

เติมเอนไซม์นิวเทรส และให้ความร้อนเปลือกกล้วยน้ำว้าที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 30 นาที ปรับ pH ให้เท่ากับ 7 ด้วยสารละลายไฮโดรคลอริกความเข้มข้น 2 M กรองสารละลายที่ได้ แยกส่วนกากนำไปอบในตู้อบลมร้อนที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส จนความชื้นเท่ากับร้อยละ 12 บดละเอียดด้วยเครื่องปั่นของแห้งร่อนผ่านตะแกรงขนาด 80 เมช จากนั้นนำไปวิเคราะห์หาปริมาณโปรตีนที่เหลือ แล้วเลือกตัวอย่างที่มีปริมาณโปรตีนน้อยที่สุด

2.4 การวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมีของใยอาหารจากเปลือกกล้วยน้ำว้า

2.4.1 ปริมาณแป้ง (Starch) ด้วย Polarimetric method (AOAC, 2005)

2.4.2 ปริมาณใยอาหารทั้งหมด (Total dietary fiber) ด้วยวิธี Enzymatic and gravimetric method (AOAC, 1997)

PUBLISHED

2.4.3 ปริมาณโปรตีน (AOAC, 2005)

2.4.4 ปริมาณไขมัน (AOAC, 2005)

2.4.5 ปริมาณเถ้า (AOAC, 2005)

2.5 การวิเคราะห์คุณสมบัติทางกายภาพของใยอาหารจากเปลือกกล้วยน้ำว้า

2.5.1 ความสามารถในการอุ้มน้ำ (Water holding capacity, WHC) ตามวิธี Committee on Codex Specification (1981) โดยชั่งตัวอย่างใยอาหาร 2 กรัม เติมน้ำกลั่น 30 มิลลิลิตร ตั้งทิ้งไว้ที่อุณหภูมิห้องนาน 10 นาที จากนั้นนำไปปั่นเหลี่ยงด้วยความเร็ว 2,000 รอบต่อนาที นาน 15 นาที แยกของเหลวออก ชั่งน้ำหนักตัวอย่าง

2.5.2 ค่า pH (pH meter, Horiba D – 51/ Japan)

2.5.3 ปริมาณน้ำอิสระ (Aw) (AOAC, 1995)

2.5.4 ค่าสี วัดด้วยระบบ CIE L*, a*, b* (Handy Colorimeter NR – 3000/ Japan)

2.6 การผลิตโยเกิร์ตเสริมใยอาหารจากเปลือกกล้วยน้ำว้า

2.6.1 การเตรียมน้ำนม

วัตถุดิบที่ใช้ในการผลิตโยเกิร์ต ได้แก่ น้ำนมไขมันเต็ม และนมผงพร่องมันเนย 4.5% วัตถุดิบอื่นๆ ได้แก่ เจลาติน 0.33% (S 10-A Gelatin, 25F grade, 210-230g bloom) ใยอาหารจากเปลือกกล้วยน้ำว้า และน้ำตาล 4.5% กระบวนการผลิตโยเกิร์ตคือ ให้ความร้อนน้ำนมที่อุณหภูมิ 55-60 องศาเซลเซียส เติมนมผงพร่องมันเนย น้ำตาลทราย และใยอาหารจากเปลือกกล้วยน้ำว้าแทนที่นมผงพร่องมันเนย 0, 1, 3 และ 5 (%w/v) โดยน้ำหนักโยเกิร์ตตามลำดับ คนส่วนผสมให้เข้ากัน จากนั้นให้ความร้อนที่อุณหภูมิ 75 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 5 นาที นำส่วนผสมที่ได้ไปปั่นด้วยเครื่องปั่นความเร็วสูง เพื่อทำให้ส่วนผสมทั้งหมดละลายเข้ากันได้ดี พาสเจอร์ไรส์ที่อุณหภูมิ 92 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 7 นาที และเก็บรักษาที่อุณหภูมิตู้เย็นเป็นเวลาอย่างน้อย 12 ชั่วโมง ก่อนนำไปผลิตโยเกิร์ต

2.6.2 การผลิตโยเกิร์ต

เตรียมหัวเชื้อโยเกิร์ต โดยการเติมหัวเชื้อโยเกิร์ตแช่แข็ง ABT5 (Chr. Hansen A/S, HØrsholm, Denmark) ประกอบด้วย *Lactobacillus acidophilus-5* (LA-5), *Bifidobacteriam animalis* (Bb-12) และ *Streptococcus thermophilus-5* (ST-5) และ LGG, *Lactobacillus GG* (Valio Ltd., Finland) ลงในนมพาสเจอร์ไรซ์พร่องมันเนยอุณหภูมิ 42 องศาเซลเซียส เขย่าเบาๆ ให้เข้ากัน เติมลงในส่วนผสมน้ำนมที่อุณหภูมิ 42 องศาเซลเซียส ร้อยละ 0.025 คนเบาๆ ให้เข้ากัน ตั้งไว้ในอ่างน้ำควบคุมอุณหภูมิที่อุณหภูมิ 42 องศาเซลเซียส เป็นเวลาประมาณ 6 ชั่วโมง (pH 4.9) นำโยเกิร์ตตั้งทิ้งไว้ที่อุณหภูมิห้องเป็นเวลา 30 นาที จากนั้น นำไปคนด้วยเครื่องปั่นผสม เป็นเวลา 3 นาที ที่ความเร็ว 360 rpm บรรจุโยเกิร์ตลงในถ้วยพลาสติกที่ผ่านการฆ่าเชื้อและเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 3-5 องศาเซลเซียส

PUBLISHED

2.6.3 การวิเคราะห์คุณสมบัติทางเคมีและกายภาพของโยเกิร์ตเสริมใยอาหารจากเปลือกกล้วยน้ำว้า

2.6.3.1 การวิเคราะห์ความหนืด เมื่อเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 3-5 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 14 วัน โดยใช้เครื่อง Brookfield synerolectric viscometer ใช้เข็มชนิด T-bar type D เบอร์ 4 ด้วยความเร็วรอบ 10 rpm ที่อุณหภูมิโยเกิร์ตเท่ากับ 10-12 องศาเซลเซียส อ่านค่าหลังจากเข็มหมุนไปเป็นเวลา 40 วินาที หน่วย cP

2.6.3.2 การวิเคราะห์ความเป็นกรดด่างของโยเกิร์ต โดยวัดค่า pH ของโยเกิร์ตในวันที่ 14 ของการเก็บรักษา

2.6.3.3 การวิเคราะห์การแยกตัวของของเหลวในโยเกิร์ต (Syneresis) โดยการชั่งน้ำหนักโยเกิร์ตที่เก็บไว้ที่อุณหภูมิ 3-5 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 14 วัน ปริมาณ 100 กรัม เทลงในตะแกรงขนาด 120 เมซ ที่มีกรวย (Funnel) อยู่ด้านล่างต่อเข้ากับกระบอกตวง ตั้งทิ้งไว้ที่อุณหภูมิห้องเป็นเวลา 2 ชั่วโมง อ่านค่าปริมาตรของของเหลวภายในกระบอกตวง

2.6.3.4 การวิเคราะห์ค่าสี ด้วยเครื่องวัดค่าสี วัดด้วยระบบ CIE L*, a*, b* โดยเก็บโยเกิร์ตไว้ที่อุณหภูมิ 3-5 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 14 วัน

2.6.4 การวิเคราะห์การยอมรับทางประสาทสัมผัสของโยเกิร์ตเสริมใยอาหารจากเปลือกกล้วยน้ำว้า ที่มีการแทนที่นมผงในสูตรปริมาณ 0% (สูตรควบคุม) 1, 3 และ 5% โดยทดสอบคุณภาพทางประสาทสัมผัส แบบ 9 – Point Hedonic Scale ทางด้านสี กลิ่นรส ความหวาน เนื้อสัมผัส ลักษณะปรากฏ และความชอบโดยรวม โดยใช้ผู้ทดสอบชิมจำนวน 50 คน

3. การวางแผนการทดลองและการวิเคราะห์ทางสถิติ

การวิเคราะห์ทางเคมีและกายภาพวางแผนการทดลองแบบ Completely Randomized Design (CRD) โดยทำการทดลอง 3 ซ้ำ และการวิเคราะห์ทางประสาทสัมผัสวางแผนการทดลองแบบ Factorial in Randomised Completed Block Design (RCBD) นำข้อมูลที่วิเคราะห์ได้จากการทดลองมาหาค่าเฉลี่ย และวิเคราะห์ความแปรปรวน (One – Way ANOVA) เมื่อพบความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 โดยทดสอบความแตกต่างระหว่างค่าเฉลี่ยโดยวิธี Duncan's Multiple Range Test (DMRT) โดยใช้โปรแกรมสำเร็จรูปทางสถิติวิเคราะห์ SPSS Version 17.0

PUBLISHED

ผลและอภิปรายผลการวิจัย

1. การผลิตใยอาหารจากเปลือกกล้วยน้ำว้า

1.1 องค์ประกอบทางเคมีของเปลือกกล้วยน้ำว้าสุก

เมื่อวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมีของเปลือกกล้วยน้ำว้าสุกระยะที่ 7 พบว่า เปลือกกล้วยน้ำว้าสุกมีน้ำเป็นองค์ประกอบหลัก 87% ซึ่งเป็นปริมาณที่สูงมาก ดังนั้นในกระบวนการผลิตใยอาหารผงจึงจำเป็นต้องมีการอบแห้งเพื่อลดความชื้นจนอยู่ในปริมาณที่เหมาะสม เพื่อไม่ให้เกิดการเปลี่ยนแปลงทางเคมี กายภาพ และจุลินทรีย์ ระหว่างการขนส่งและการเก็บรักษา อย่างไรก็ตาม หากนำเปลือกกล้วยไปผลิตใยอาหารในระดับอุตสาหกรรมการกำจัดน้ำจะเป็นปัจจัยหนึ่งที่ต้องนำมาพิจารณา เนื่องจากการกำจัดน้ำในปริมาณสูง จะต้องใช้ต้นทุนในการผลิตมาก

ตารางที่ 1 องค์ประกอบทางเคมีของเปลือกกล้วยน้ำว้าสุกระยะที่ 7

องค์ประกอบทางเคมี	เปอร์เซ็นต์ (น้ำหนักแห้ง)
แป้ง	14.18
ใยอาหารทั้งหมด	50.74
โปรตีน	7.51
ไขมัน	12.44
เถ้า	15.13

องค์ประกอบทางเคมีโดยน้ำหนักแห้งของเปลือกกล้วยน้ำว้าแสดงไว้ในตารางที่ 1 โดยจะเห็นได้ว่าเปลือกกล้วยน้ำว้าสุกระยะที่ 7 มีปริมาณใยอาหารสูงถึง 50.74% ซึ่งมีปริมาณใกล้เคียงกับรายงานของ Wachirasiri (2007) ที่พบว่าเปลือกกล้วยน้ำว้าสุก 80% (สุกระยะที่ 6-7) มีปริมาณใยอาหาร 50.25% อย่างไรก็ตามจากผลการทดลอง ยังพบว่าองค์ประกอบทางเคมีอื่นๆ ได้แก่ โปรตีน ไขมัน และเถ้ามีปริมาณค่อนข้างสูง ซึ่งหากต้องการใยอาหารผงที่มีความบริสุทธิ์สูง ควรกำจัดองค์ประกอบเหล่านี้ให้เหลือน้อยที่สุด

1.2 การสกัดใยอาหารจากเปลือกกล้วยน้ำว้า

กระบวนการเตรียมกล้วยน้ำว้าเพื่อเข้าสู่กระบวนการสกัด ได้ดัดแปลงจากกระบวนการของ Wachirasiri (2007) โดยนำกล้วยน้ำว้ามาบดเปียกในเครื่องปั่นที่อุณหภูมิ 95 องศาเซลเซียส จากนั้นล้างแบบผ่านด้วยน้ำร้อนที่อุณหภูมิ 95 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 5 นาที เพื่อกำจัดองค์ประกอบทางเคมีที่ละลายน้ำได้ อย่างไรก็ตามในขั้นตอนนี้อาจสูญเสียใยอาหารบางส่วนที่ละลายน้ำได้ เช่น เพคติน เป็นต้น

PUBLISHED

กระบวนการลดขนาดของเปลือกกล้วยน้ำว้าโดยการบดเปียกที่อุณหภูมิสูงจะทำให้โปรตีนบางส่วนเกิดการเสียสภาพและละลายออกมา น้ำตาลอิสระ รวมถึงแป้งบางส่วนจะถูกกำจัด ทั้งนี้ ถ้าไม่ทำการกำจัดคาร์โบไฮเดรตออก จะทำให้ผลิตภัณฑ์ที่ได้มีสัดส่วนของเส้นใยอาหารต่ำ ในขั้นตอนนี้จะส่งผลต่อการผลิตในขั้นตอนถัดไปอีกด้วย กล่าวคือ หากเปลือกกล้วยที่ได้มีอนุภาคเล็กเกินไป จะทำให้เปลือกกล้วยบดดูดซับน้ำไว้มากในขั้นตอนการล้าง ระยะเวลาในการทำแห้งนาน ผลผลิตต่ำ แต่หากเปลือกกล้วยบดที่ได้มีขนาดใหญ่เกินไป จะทำให้การกำจัดส่วนประกอบที่ไม่ต้องการ เช่น น้ำตาลอิสระ ในขั้นตอนการล้างไม่มีประสิทธิภาพ (Larrauri, 1999; Naowakul et al., 2013) และนอกจากนี้การใช้อุณหภูมิสูงจะสามารถยับยั้งการทำงานของเอนไซม์กลุ่มโพลีฟีนอลออกซิเดส (Polyphenoloxidase) ที่พบในเปลือกกล้วยน้ำว้าและทำให้เกิดปฏิกิริยาสีน้ำตาลลงได้ รวมถึงน้ำที่อุณหภูมิสูงถึง 95 องศาเซลเซียส ยังสามารถลดจุลินทรีย์ที่ก่อให้เกิดโรคได้ เปลือกกล้วยที่ผ่านการลดขนาดและล้างน้ำแล้ว จะถูกนำเข้าสู่กระบวนการกำจัดไขมัน แป้ง และโปรตีนต่อไป

1) การกำจัดไขมันโดยใช้ตัวทำละลายอินทรีย์

โดยทั่วไปการกำจัดไขมันจะทำได้ 2 วิธี ได้แก่ การกลั่นด้วยไอน้ำ และการสกัดด้วยตัวทำละลายอินทรีย์ ในงานวิจัยนี้ เลือกกำจัดไขมันในเปลือกกล้วยน้ำว้าอบแห้ง โดยใช้สารละลายเฮกเซนเป็นตัวทำละลาย ได้ผลการทดลองดังตารางที่ 2 ซึ่งพบว่าผงเปลือกกล้วยน้ำว้าที่ไม่ผ่านการสกัดด้วยเฮกเซนจะมีปริมาณไขมันสูง 12.44% เมื่อผ่านการสกัดครั้งที่ 1 ที่อุณหภูมิ 90 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 16 ชั่วโมง จะมีปริมาณไขมัน 2.14% และเมื่อผ่านการสกัดครั้งที่ 2 ปริมาณไขมันจะลดลงเหลือเพียง 0.74% (น้ำหนักแห้ง) ซึ่งเป็นปริมาณที่น้อยมาก สอดคล้องกับงานวิจัย ที่กำจัดไขมันออกจากใยอาหารด้วยตัวทำละลายเฮกเซนจนเหลือปริมาณไขมันเพียง 0.66% (Wachirasiri, 2007) ดังนั้น จึงเลือกการกำจัดไขมันด้วยตัวทำละลายเฮกเซน จำนวน 2 ครั้ง เป็นสภาวะที่เหมาะสม จากนั้นนำผงเปลือกกล้วยน้ำว้าที่ได้ไปอบแห้งเพื่อกำจัดตัวทำละลายเฮกเซนต่อไป

ตารางที่ 2 ปริมาณไขมันของเปลือกกล้วยน้ำว้าที่ผ่านการสกัดด้วยตัวทำละลายอินทรีย์

ผงเปลือกกล้วยน้ำว้าที่ผ่านการกำจัดไขมัน	% ไขมัน (น้ำหนักแห้ง)
ไม่ผ่านการสกัดด้วยตัวทำละลายเฮกเซน	12.44 [a]
ผ่านการสกัดด้วยตัวทำละลายเฮกเซนครั้งที่ 1	2.14 [b]
ผ่านการสกัดด้วยตัวทำละลายเฮกเซนครั้งที่ 2	0.74 [c]

a-c ตัวอักษรกำกับที่แตกต่างกันในแนวตั้ง หมายถึงมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ $p \leq 0.05$

PUBLISHED

2) การกำจัดแป้งและโปรตีนด้วยเอนไซม์

เมื่อกำจัดแป้งและโปรตีนออกจากผงเปลือกกล้วยน้ำว้าโดยใช้เอนไซม์ 2 ชนิด ได้แก่ เอนไซม์แอลฟา-อะไมเลส (α-amylase) และกลูโคอะไมเลส (Glucoamylase) ความเข้มข้น 0.025, 0.05 และ 1 (%w/v) ตามลำดับ เพื่อกำจัดแป้ง และใช้เอนไซม์นิวเทรส (Crude enzyme, Neutrase) 0.5 และ 1.0 (%w/v) ตามลำดับ เพื่อกำจัดโปรตีน ได้ผลการทดลองดังตารางที่ 3 และ 4 ผงเปลือกกล้วยน้ำว้าที่ผ่านการกำจัดแป้งและโปรตีนด้วยเอนไซม์มีสีน้ำตาลเข้ม

ตารางที่ 3 ปริมาณแป้งของเปลือกกล้วยน้ำว้าที่ผ่านการกำจัดแป้งด้วยเอนไซม์

ความเข้มข้นของเอนไซม์	% แป้ง (น้ำหนักแห้ง)
ไม่ผ่านการสกัด	14.18^{a}
แอลฟา-อะไมเลส 0.025% + กลูโคอะไมเลส 0.025%	8.56^{b}
แอลฟา-อะไมเลส 0.05% + กลูโคอะไมเลส 0.05%	5.33^{c}
แอลฟา-อะไมเลส 1% + กลูโคอะไมเลส 1%	5.55^{c}

a-c ตัวอักษรกำกับที่แตกต่างกันในแนวตั้ง หมายถึงมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ $p \leq 0.05$

ตารางที่ 4 ปริมาณโปรตีนของเปลือกกล้วยน้ำว้าที่ผ่านการกำจัดโปรตีนด้วยเอนไซม์

ความเข้มข้นของเอนไซม์	% โปรตีน (น้ำหนักแห้ง)
ไม่ผ่านการสกัด	7.51^{a}
นิวเทรส 0.5%	6.15^{a}
นิวเทรส 1.0%	3.50^{b}

a-b ตัวอักษรกำกับที่แตกต่างกันในแนวตั้ง หมายถึงมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ $p \leq 0.05$

จากผลการทดลองดังแสดงในตารางที่ 3 พบว่า เปลือกกล้วยน้ำว้าผงที่ไม่ผ่านการสกัดด้วยเอนไซม์ มีปริมาณแป้งเท่ากับ 14.18% ซึ่งเป็นปริมาณที่สูงมาก และเมื่อนำผงเปลือกกล้วยน้ำว้าอบแห้งไปกำจัดแป้งด้วยเอนไซม์แอลฟา-อะไมเลส และกลูโคอะไมเลส 0.025% และ 0.05% ตามลำดับ พบว่าปริมาณแป้งลดลงเท่ากับ 8.56% และ 5.33% ตามลำดับ (p0.05) อย่างไรก็ตาม เมื่อเพิ่มความเข้มข้นของเอนไซม์ ทั้งสองชนิดเป็น 1% พบว่า ปริมาณแป้งในผงเปลือกกล้วยน้ำว้า (5.55%) ไม่แตกต่างจากผงเปลือกกล้วยน้ำว้าที่ใช้เอนไซม์ความเข้มข้น 0.05% (p0.05)

PUBLISHED

ปริมาณแป้งที่เป็นองค์ประกอบในใยอาหารจะมีคุณสมบัติช่วยในการพองตัว และการอุ้มน้ำของใยอาหารได้มาก แต่ข้อเสียคือ เมื่อทิ้งไว้เป็นเวลานาน (ประมาณ 24 ชั่วโมง) จะเกิดการแยกตัวของน้ำออกจากผลิตภัณฑ์ ส่งผลให้ผลิตภัณฑ์ที่เสริมใยอาหารนั้นๆ ไม่คงตัว ซึ่งเป็นคุณสมบัติที่ไม่ดี ดังนั้นจากผลการทดลองข้างต้น จึงเลือกใช้เอนไซม์แอลฟา-อะไมเลส และกลูโคอะไมเลส 0.05% เพื่อกำจัดแป้งออกจากผงเปลือกกล้วยน้ำว้า

จากผลการทดลองดังแสดงในตารางที่ 1 พบว่า ผงเปลือกกล้วยน้ำว้าที่มีปริมาณโปรตีนสูงถึง 7.51% แต่เมื่อสกัดด้วยเอนไซม์นิวเทรสที่ความเข้มข้น 1.0% พบว่า ปริมาณโปรตีนลดลงอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ เท่ากับ 3.50% ($p<0.05$) การลดปริมาณโปรตีนลงให้เหลือน้อยที่สุดนอกจากจะเป็นการเพิ่มสัดส่วนของใยอาหารให้สูงขึ้นแล้ว ยังทำให้คุณสมบัติด้านการอุ้มน้ำของใยอาหารดีขึ้นอีกด้วย เนื่องจากระหว่างกระบวนการให้ความร้อนในช่วงของการลดขนาด และการกำจัดไขมันด้วยตัวทำละลายเฮกเซน ทำให้เกิดการคลายตัวของสายโพลีเปปไทด์ ส่งผลให้โปรตีนมีคุณสมบัติด้าน Hydrophilic ลดลง (Ekthamasut, 2005)

ดังนั้นจากผลการทดลองจะเห็นได้ว่า สภาวะที่เหมาะสมในการสกัดใยอาหารจากเปลือกกล้วยน้ำว้าคือ การเตรียมตัวอย่างด้วยการบดเปียก และล้างที่อุณหภูมิ 95 องศาเซลเซียส จากนั้นกำจัดองค์ประกอบที่ไม่ต้องการ ได้แก่ การกำจัดไขมันโดยใช้ตัวทำละลายเฮกเซนที่อุณหภูมิ 90 องศาเซลเซียส 16 ชั่วโมง จำนวน 2 ครั้ง กำจัดแป้งโดยใช้เอนไซม์แอลฟา-อะไมเลส และกลูโคอะไมเลส ความเข้มข้น 0.05% และกำจัดโปรตีนโดยเอนไซม์นิวเทรส ความเข้มข้น 1.0% จากนั้นนำไปอบแห้ง ที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส จนเหลือความชื้นไม่เกิน 5% และเมื่อวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมีของใยอาหาร ได้แก่ แป้ง ใยอาหารทั้งหมด โปรตีน และไขมัน ได้ผลดังแสดงในตารางที่ 5

ตารางที่ 5 องค์ประกอบทางเคมีของใยอาหารจากเปลือกกล้วยน้ำว้าที่สกัดได้

องค์ประกอบทางเคมี	เปอร์เซ็นต์ (น้ำหนักแห้ง)
แป้ง	5.33
ใยอาหารทั้งหมด	90.43
โปรตีน	3.50
ไขมัน	0.74

PUBLISHED

1.3 คุณสมบัติทางกายภาพของใยอาหารจากเปลือกกล้วยน้ำว้า

ใยอาหารจากเปลือกกล้วยน้ำว้าที่ได้จากการวิจัย นำมาศึกษาคุณสมบัติทางกายภาพและคุณสมบัติเชิงหน้าที่ ได้แก่ คุณสมบัติในการอุ้มน้ำ ค่าความเป็นกรด - ด่าง ปริมาณน้ำอิสระ และสี เพื่อใช้เป็นข้อมูลในการนำไปเสริมในโยเกิร์ต เพื่อเพิ่มปริมาณใยอาหาร ทั้งนี้ การอุ้มน้ำเป็นคุณสมบัติที่สำคัญของใยอาหารในการเสริมในสูตรโยเกิร์ต เนื่องจากจะมีอิทธิพลต่อการเก็บกักของเหลว ได้แก่ โปรตีนเวย์ เพื่อไม่ให้เกิดการแยกของของเหลว (Syneresis) ในระหว่างการเก็บรักษา

1) คุณสมบัติในการอุ้มน้ำ (Water holding capacity)

คุณสมบัติในด้านการอุ้มน้ำของใยอาหารจากเปลือกกล้วยน้ำว้า เป็นคุณสมบัติสำคัญของการนำไปเสริมในผลิตภัณฑ์อาหาร ใยอาหารที่มีประสิทธิภาพในการอุ้มน้ำสูง หมายถึงใยอาหารนั้นมีความสามารถในการกักเก็บน้ำในโครงสร้างของใยอาหาร จับกับน้ำได้ดี ส่งผลให้ความหนืดของอาหารเพิ่มขึ้นได้ (Figuerola et al., 2005) ในงานวิจัยนี้ใยอาหารจะถูกนำไปเสริมในโยเกิร์ต ซึ่งคุณสมบัติในการอุ้มน้ำจะช่วยป้องกันการแยกชั้นของโปรตีนเวย์ (Whey separation) ในผลิตภัณฑ์โยเกิร์ตระหว่างการเก็บรักษา ดังนั้นการทดลองนี้จะวิเคราะห์คุณสมบัติในการอุ้มน้ำของผงเปลือกกล้วยน้ำว้าอบแห้ง เปรียบเทียบกับใยอาหารสกัดจากเปลือกกล้วยน้ำว้า (ตารางที่ 6)

ตารางที่ 6 ลักษณะทางกายภาพของเปลือกกล้วยอบแห้งและใยอาหารจากเปลือกกล้วยน้ำว้า

สมบัติทางกายภาพ	ผงเปลือกกล้วยน้ำว้าอบแห้ง	ใยอาหารจากเปลือกกล้วยน้ำว้า
การอุ้มน้ำ (WHC)	5.18 ± 0.56^{a}	9.52 ± 0.17^{b}
กรด-ด่าง (pH)	6.30 ± 0.12^{a}	5.04 ± 0.03^{b}
ปริมาณน้ำอิสระ (Aw)	0.35 ± 0.02^{a}	0.31 ± 0.03^{a}

a-b ตัวอักษรกำกับที่แตกต่างกันในแนวนอน หมายถึงมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ $p \leq 0.05$

ความสามารถในการอุ้มน้ำของใยอาหารที่ผ่านการสกัดด้วยเอนไซม์มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$) เมื่อเปรียบเทียบกับผงเปลือกกล้วยน้ำว้าอบแห้ง โดยปัจจัยที่มีอิทธิพลต่อความสามารถในการอุ้มน้ำ ได้แก่ ชนิดและประเภทของใยอาหาร ความละเอียดของอนุภาค สภาวะของการสกัด สัดส่วนของใยอาหารที่ไม่ละลายน้ำต่อสัดส่วนที่ละลายน้ำได้ และปริมาณใยอาหารที่เป็นองค์ประกอบ (Figuerola et al., 2005) โดยจากผลการทดลองพบว่า ใยอาหารที่ผ่านการสกัดด้วยเอนไซม์มีค่าความสามารถในการอุ้มน้ำสูงกว่าผงเปลือกกล้วยน้ำว้าที่ไม่ผ่านการสกัด ทั้งนี้เนื่องจากองค์ประกอบที่ไม่ต้องการ เช่น น้ำตาล โปรตีน และสารโมเลกุลเล็กอื่นๆ ที่ละลายน้ำได้ถูกกำจัดออกจากใยอาหารแล้ว ทำให้สัดส่วนของใยอาหารที่ไม่ละลายน้ำต่อใยอาหารที่ละลายน้ำสูงขึ้นซึ่งมีผลต่อความสามารถในการอุ้มน้ำ โดยหากมีสัดส่วนที่สูงจะส่งผลให้ความสามารถในการอุ้มน้ำเพิ่มขึ้น (Larrauri et al., 1996)

PUBLISHED

2) ค่าความเป็นกรด-ด่าง

จากการทดลองพบว่าผงเปลือกกล้วยน้ำว้าที่ผ่านการสกัดด้วยเอนไซม์ มีความเป็นกรดเล็กน้อย เนื่องจากการสกัดด้วยเอนไซม์กลูโคอะไมเลส (Glucoamylase) มีการปรับค่าความเป็นกรด - ด่าง (pH) ของใยอาหารให้เท่ากับ 4 - 4.5 ด้วยกรดไฮโดรคลอริค (HCl) เพื่อให้มีสภาวะที่เหมาะสมต่อการทำงานของเอนไซม์ อย่างไรก็ตาม จากการกำจัดโปรตีนด้วยเอนไซม์นิวเทรส ได้ปรับค่า pH ให้สูงขึ้น จึงทำให้ใยอาหารจากเปลือกกล้วยน้ำว้ามีค่าความเป็นกรดเหลืออยู่เล็กน้อย ดังตารางที่ 6 อย่างไรก็ตามในการผลิตโยเกิร์ตเสริมใยอาหารจากเปลือกกล้วยน้ำว้า ในขั้นตอนการผลิตโยเกิร์ตจะมีค่าความเป็นกรดเพิ่มขึ้นเนื่องจากการหมักโดยจุลินทรีย์ (pH ต่ำกว่า 5.0) ดังนั้นการเติมใยอาหารจากเปลือกกล้วยน้ำว้าที่มีความเป็นกรดเล็กน้อยจึงไม่มีผลต่อค่าความเป็นกรดของผลิตภัณฑ์โยเกิร์ต

3) ปริมาณน้ำอิสระ (Aw)

จากการทดลองพบว่าผงเปลือกกล้วยน้ำว้าอบแห้งมีปริมาณน้ำอิสระ ไม่แตกต่างจากใยอาหารจากเปลือกกล้วยน้ำว้า ($p>0.05$) ดังตารางที่ 6 ผงเปลือกกล้วยน้ำว้าอบแห้ง และใยอาหารสกัดจากเปลือกกล้วยน้ำว้าซึ่งเป็นอาหารแห้ง มีปริมาณน้ำอิสระต่ำกว่า 0.6 อยู่ในระดับที่เชื้อจุลินทรีย์ไม่สามารถเจริญได้ ดังนั้นจึงสามารถเก็บรักษาได้ในระยะเวลานานโดยไม่เกิดการเสื่อมเสียจากจุลินทรีย์

4) สี

จากผลการวัดค่าสีของผงเปลือกกล้วยน้ำว้าและใยอาหารสกัดจากเปลือกกล้วยน้ำว้า พบว่าผงเปลือกกล้วยน้ำว้าอบแห้งที่เตรียมก่อนการสกัดมีสีน้ำตาลเข้มกว่าใยอาหารที่ผ่านการสกัดโดยใช้เอนไซม์ ผลการทดลองแสดงผลเป็นค่าตัวแปร L* a* และ b* โดยค่า L* เป็นค่าที่แสดงถึงความสว่าง มีระดับตั้งแต่ 1 คือสีดำจนถึง 100 คือมีค่าความสว่างเท่ากับสีขาวบริสุทธิ์ ค่า a* เป็นค่าที่แสดงระดับของสีเขียวจนถึงสีแดงมีระดับตั้งแต่ -60 ถึง +60 และค่า b* เป็นค่าที่แสดงระดับของสีเหลืองจนถึงสีน้ำเงิน มีระดับตั้งแต่ -60 ถึง +60 (CIE L*, a* ,b*) ผงเปลือกกล้วยน้ำว้าและใยอาหารจากเปลือกกล้วยน้ำว้าที่ผ่านการสกัดโดยเอนไซม์มีคุณภาพด้านสีที่แตกต่างกัน ดังแสดงในตารางที่ 7

ตารางที่ 7 ค่าสีของใยอาหารจากเปลือกกล้วยน้ำว้า

ตัวอย่าง	ค่าสี		
	L*	a*	b*
ใยอาหารจากเปลือกกล้วยน้ำว้า	27.21 ± 0.13^{a}	13.39 ± 0.09^{a}	13.93 ± 0.10^{a}
ผงเปลือกกล้วยน้ำว้าอบแห้ง	15.58 ± 0.42^{b}	8.45 ± 0.26^{b}	11.63 ± 0.47^{b}

a-b ตัวอักษรกำกับที่แตกต่างกันในแนวตั้ง หมายถึงมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ $p \leq 0.05$

PUBLISHED

เปลือกกล้วยน้ำว้าเมื่อตั้งทิ้งไว้ที่อุณหภูมิห้องจะเกิดปฏิกิริยาสีน้ำตาล (Browning reaction) ได้ง่าย และเมื่อนำไปบดเปียก อบแห้ง จะมีลักษณะที่มองเห็นด้วยตาเปล่าคือมีสีน้ำตาลเข้ม จากตารางที่ 7 เมื่อนำผงเปลือกกล้วยน้ำว้าอบแห้งและใยอาหารที่ผ่านการเตรียมโดยการล้างด้วยน้ำร้อน 95 องศาเซลเซียส และผ่านการสกัดด้วยเอนไซม์ไปวัดค่าสี พบว่ามีค่าความสว่าง L* แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) โดยผงใยอาหารที่สกัดจากเปลือกกล้วยน้ำว้ามีค่าความสว่างสูงกว่าผงเปลือกกล้วยน้ำว้าอบแห้ง ทั้งนี้เนื่องจากการใช้น้ำที่มีอุณหภูมิสูงในการสกัดใยอาหาร รวมถึงความเป็นกรด สามารถยับยั้งการทำงานของเอนไซม์ ซึ่งอยู่ในกลุ่มโพลีฟีนอลออกซิเดส (Polyphenoloxidase) ที่มีอยู่ในเปลือกกล้วยน้ำว้าซึ่งเป็นสาเหตุของการเกิดปฏิกิริยาสีน้ำตาลได้บางส่วน (Wachirasiri, 2007) จึงทำให้ผงเปลือกกล้วยน้ำว้าที่ไม่ผ่านการสกัดมีสีเข้มกว่าใยอาหารจากเปลือกกล้วยน้ำว้าที่ผ่านการสกัดโดยใช้เอนไซม์

2. การผลิตโยเกิร์ตเสริมใยอาหารจากเปลือกกล้วยน้ำว้า

ใยอาหารที่ได้จากข้อ 1.2 ได้ถูกนำมาทดลองเสริมในสูตรโยเกิร์ต โดยมีการแทนที่นมผงในปริมาณ 1, 3 และ 5% ตามลำดับ จากนั้นนำผลิตภัณฑ์โยเกิร์ตเสริมใยอาหารจากเปลือกกล้วยน้ำว้าไปทดสอบคุณสมบัติทางเคมีกายภาพ ได้ผลการทดลองดังนี้

2.1 ความหนืด

จากการทดลองการผลิตโยเกิร์ตเสริมใยอาหารจากเปลือกกล้วยน้ำว้า โดยมีการแทนที่นมผงด้วยใยอาหารสกัดจากเปลือกกล้วยน้ำว้า จำนวน 3 สูตร ได้แก่ สูตรที่มีการแทนที่นมผงด้วยใยอาหารสกัดร้อยละ 1, 3 และ 5% ตามลำดับ และสูตรควบคุมคือสูตรที่ไม่มีการเสริมใยอาหาร นำโยเกิร์ตไปวัดค่าความหนืด พบว่าค่าความหนืดของโยเกิร์ตที่มีการเสริมใยอาหาร 1, 3 และ 5% มีค่าไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p > 0.05$) โดยมีค่าความหนืดสูงกว่าโยเกิร์ตที่ไม่มีการเสริมใยอาหารจากเปลือกกล้วยน้ำว้าอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) ผลการทดลองแสดงดังตารางที่ 8 ซึ่งจะเห็นได้ว่า การเสริมใยอาหารจะมีส่วนช่วยในเรื่องของความหนืดให้แก่ผลิตภัณฑ์ ทั้งนี้เนื่องจาก ใยอาหารมีส่วนช่วยในการอุ้มน้ำให้อยู่ในโครงสร้างจุลภาคของโยเกิร์ต ส่งผลให้โยเกิร์ตมีความหนืดและความคงตัวสูง

2.2 ค่าความเป็นกรด-ด่าง

จากการวัดค่าความเป็นกรด-ด่างของของโยเกิร์ตพบว่าค่าความเป็นกรด-ด่างมีความแตกต่างกันเพียงเล็กน้อย อย่างไม่มีนัยสำคัญทางสถิติ ($p > 0.05$) ดังแสดงในตารางที่ 8 โดยค่าความเป็นกรด-ด่างของโยเกิร์ตที่มีการแทนที่นมผงด้วยใยอาหารสกัดจากเปลือกกล้วย 1, 3 และ 5% มีค่าความเป็นกรด-ด่างเท่ากับ 3.95, 3.96 และ 4.05 ตามลำดับ ทั้งนี้ไม่แตกต่างกับสูตรที่ไม่มีการเสริมใยอาหาร (pH 3.95)

2.3 การแยกตัวของของเหลว

จากการวัดค่าการแยกตัวของของเหลว (Syneresis หรือ Whey separation) ระหว่างการเก็บรักษาโยเกิร์ต ผลการทดลองดังตารางที่ 8 พบว่าโยเกิร์ตที่มีการแทนที่นมผงด้วยใยอาหารจากเปลือกกล้วยน้ำว้า 1% มีการแยกตัวของของเหลวน้อยที่สุด คือ เท่ากับ 1.5 มิลลิลิตรต่อ 100 กรัมโยเกิร์ตต่อ 2 ชั่วโมง โดยไม่แตกต่างจากสูตรควบคุมที่ไม่มีการเสริมใยอาหาร เมื่อเพิ่มการแทนที่นมผงด้วยใยอาหาร

PUBLISHED

สกัดเป็น 3 และ 5% พบว่า การแยกตัวของของเหลวหลังการเก็บรักษาเป็นเวลา 14 วัน มีค่าเท่ากับ 8.33 และ 13.33 มิลลิลิตรต่อ 100 กรัมโยเกิร์ต ต่อ 2 ชั่วโมง ตามลำดับ

จากผลการทดลอง เมื่อเพิ่มปริมาณใยอาหารในสูตรโยเกิร์ตจะทำให้เกิดการแยกตัวของของเหลวในระหว่างการเก็บรักษามากขึ้น ทั้งนี้อาจเกิดเนื่องจากขนาดอนุภาคของผงใยอาหารค่อนข้างใหญ่ (120 เมช) อาจส่งผลให้เกิดการขัดขวางการดูดซึมน้ำของโครงสร้างจุลภาคของโยเกิร์ต นอกจากนี้ ใยอาหารที่เสริมในสูตรโยเกิร์ตมีแป้งเป็นองค์ประกอบอยู่ค่อนข้างสูง เมื่อเก็บรักษาโยเกิร์ตไว้ 14 วัน จึงเกิดการคายน้ำออกจากแป้ง ทำให้การแยกตัวของของเหลวเพิ่มมากขึ้น

ตารางที่ 8 คุณลักษณะทางกายภาพของโยเกิร์ตที่มีการแทนที่นมผงด้วยใยอาหารจากเปลือกกล้วยน้ำว้า 0, 1, 3 และ 5% หลังการเก็บรักษา 14 วัน

คุณลักษณะทางกายภาพ	การแทนที่นมผงด้วยใยอาหารจากเปลือกกล้วยน้ำว้าในสูตรโยเกิร์ต			
	0%	1%	3%	5%
ความหนืด (cP)	3155 ± 52.68 [a]	3541 ± 1.00 [b]	3440 ± 1.53 [b]	3400 ± 5.77 [b]
กรด-ด่าง (pH)	3.95 ± 0.00 [a]	3.95 ± 0.00 [a]	3.96 ± 0.00 [a]	4.05 ± 0.01 [a]
การแยกตัวของของเหลว (ml/ 100 g yogurt)	1.50 ± 0.15 [a]	1.50 ± 0.15 [a]	8.50 ± 1.15 [b]	13.50 ± 0.50 [c]

a-c ตัวอักษรกำกับที่แตกต่างกันในแนวนอน หมายถึงมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ $p \leq 0.05$

ตารางที่ 9 ค่าสีของโยเกิร์ตที่มีการแทนที่นมผงด้วยใยอาหารจากเปลือกกล้วยน้ำว้า 0% 1% 3% และ 5% หลังการเก็บรักษา 14 วัน

การแทนที่นมผงด้วยใยอาหารจากเปลือกกล้วยน้ำว้า	ค่าสี		
	L*	a*	b*
0%	51.45 ± 0.00 [a]	- 7.95 ± 0.05 [a]	11.41 ± 0.40 [a]
1%	48.33 ± 0.15 [b]	-7.93 ± 0.35 [a]	11.04 ± 0.74 [a]
3%	40.79 ± 0.06 [c]	-5.25 ± 0.12 [b]	8.44 ± 0.40 [b]
5%	35.83 ± 0.17 [d]	-4.90 ± 0.16 [c]	7.89 ± 0.80 [c]

a-c ตัวอักษรกำกับที่แตกต่างกันในแนวตั้ง หมายถึงมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ $p \leq 0.05$

PUBLISHED

PUBLISHED

2.4 ค่าสี

จากตารางที่ 9 ซึ่งแสดงค่าสีของโยเกิร์ตเสริมใยอาหารจากเปลือกกล้วยน้ำว้า พบว่าโยเกิร์ตที่มีการแทนที่นมผงด้วยใยอาหารสกัด 1% มีค่า L* หรือความสว่างสูงสุด รองลงมาคือสูตรที่มีการแทนที่ 3 และ 5% ตามลำดับ เนื่องจากใยอาหารจากเปลือกกล้วยมีสีน้ำตาล และไม่ได้ผ่านการฟอกสี ดังนั้น โยเกิร์ตที่มีการเสริมใยอาหารในปริมาณสูง จึงมีสีเข้มกว่าสูตรที่มีการเสริมในปริมาณต่ำ ($p \leq 0.05$)

2.5 การทดสอบคุณภาพทางประสาทสัมผัส

การทดสอบทางประสาทสัมผัสของโยเกิร์ตเสริมใยอาหารจากเปลือกกล้วยน้ำว้าทั้งหมด 4 สูตร ได้แก่สูตรควบคุม และสูตรที่มีการแทนที่นมผงด้วยใยอาหารจากเปลือกกล้วยน้ำว้าที่แตกต่างกัน 3 ระดับได้แก่ 1 3 และ 5% ตามลำดับ จากนั้นทดสอบคุณภาพทางประสาทสัมผัสโดยใช้วิธีการทดสอบแบบ 9 - Points hedonic scale ผู้ทดสอบจำนวน 50 คน ผลการทดลองแสดงดังตารางที่ 10

ตารางที่ 10 ผลการวิเคราะห์คุณภาพทางประสาทสัมผัสของโยเกิร์ตเสริมใยอาหารจากเปลือกกล้วยน้ำว้า

คุณภาพทางประสาทสัมผัส	โยเกิร์ตที่มีการแทนที่นมผงด้วยใยอาหารสกัดจากเปลือกกล้วยน้ำว้า			
	สูตรควบคุม	1%	3%	5%
สี	8.30 ± 0.70 ^{a}	7.76 ± 0.87 ^{b}	7.42 ± 0.70 ^{c}	6.74 ± 1.00 ^{d}
กลิ่นรส	8.10 ± 0.76 ^{a}	7.94 ± 0.81 ^{a}	7.50 ± 0.84 ^{b}	7.14 ± 1.21 ^{c}
ความหวาน	7.86 ± 0.72 ^{a}	7.76 ± 0.71 ^{a}	7.50 ± 0.73 ^{a}	7.04 ± 1.24 ^{b}
เนื้อสัมผัส	8.40 ± 0.57 ^{a}	7.10 ± 0.95 ^{b}	6.04 ± 1.15 ^{c}	5.46 ± 1.09 ^{d}
ลักษณะปรากฏ	8.00 ± 0.78 ^{a}	7.76 ± 0.65 ^{ab}	7.48 ± 0.67 ^{b}	7.02 ± 0.95 ^{c}
ความชอบโดยรวม	8.08 ± 0.60 ^{a}	7.74 ± 0.75 ^{b}	7.50 ± 0.86 ^{b}	7.10 ± 0.93 ^{c}

a-d ตัวอักษรกำกับที่แตกต่างกันในแนวนอน หมายถึงมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ $p \leq 0.05$

จากการทดสอบการยอมรับของผู้บริโภคต่อโยเกิร์ตทั้ง 4 สูตร พบว่าคะแนนคุณลักษณะด้านต่างๆ รวมทั้งความชอบโดยรวมของโยเกิร์ตทั้ง 4 สูตร มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) จากตารางแสดงให้เห็นว่าผู้บริโภคให้คะแนนความชอบโดยรวมสูตรควบคุมสูงที่สุด (8.08) รองลงมาคือสูตรที่มีปริมาณใยอาหาร 1% 3% และ 5% มีคะแนนโดยรวมเท่ากับ 7.74, 7.50 และ7.10 ตามลำดับ จากคะแนนความชอบในด้านต่างๆ แสดงว่าผู้บริโภคให้การยอมรับโยเกิร์ตเสริมใยอาหารจากเปลือกกล้วย 1% มากที่สุดเมื่อเปรียบเทียบกับสูตรที่มีการเติมใยอาหาร 3 และ 5% ทั้งนี้เนื่องจากลักษณะปรากฏของโยเกิร์ตที่มีการเสริมใยอาหารจากเปลือกกล้วยน้ำว้าจะมีสีเข้ม เนื้อสัมผัสไม่เรียบเนียนและมีกลิ่นกล้วยน้ำว้าเล็กน้อย อย่างไรก็ตาม ผู้บริโภคให้การยอมรับโดยรวมต่อผลิตภัณฑ์โยเกิร์ตเสริมใยอาหารจากเปลือกกล้วยน้ำว้า 1, 3 และ 5% ในระดับดี

สรุปผลการทดลอง

การสกัดใยอาหารจากเปลือกกล้วยน้ำว้ามีกรรมวิธีที่เหมาะสมคือ การบดเปียกและล้างน้ำที่อุณหภูมิ 95 องศาเซลเซียส กำจัดไขมันโดยใช้ตัวทำละลายเฮกเซน 2 ครั้ง ที่อุณหภูมิ 90 องศาเซลเซียส กำจัดแป้งโดยใช้เอนไซม์แอลฟา-อะไมเลส (α-amylase) และเอนไซม์กลูโคอะไมเลสความเข้มข้น 0.05% กำจัดโปรตีนโดยใช้เอนไซม์นิวเทรส ความเข้มข้น 1.0% จากนั้นอบแห้งที่อุณหภูมิ 50 องศาเซลเซียส จนความชื้นเท่ากับ 3.56% ได้เป็น ใยอาหารสกัดจากเปลือกกล้วยน้ำว้า เมื่อนำใยอาหารที่ได้ไปวิเคราะห์คุณภาพทางเคมีและกายภาพ พบว่า มีปริมาณใยอาหารทั้งหมด 90.43% ค่าสี L* a* และ b* เท่ากับ 15.58, 8.45 และ 11.63 ตามลำดับ ค่าเปอร์เซนต์การอุ้มน้ำ (WHC) ค่าความเป็นกรด-ด่าง (pH) และปริมาณน้ำอิสระ (Aw) มีค่าเท่ากับ 9.52, 5.04 และ 0.31 ตามลำดับ

เมื่อนำใยอาหารที่ได้ไปเสริมในสูตรโยเกิร์ต โดยแทนที่นมผง 1, 3 และ 5% แล้ววิเคราะห์คุณสมบัติทางเคมีกายภาพของโยเกิร์ต หลังการเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 5 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 14 วัน พบว่า ค่าความหนืดเท่ากับ 3541 3440 และ 3400 cP ตามลำดับ ค่าความเป็นกรด-ด่าง (pH) เท่ากับ 3.95 3.96 และ 4.05 ตามลำดับ และค่าการแยกตัวของของเหลวมีค่าเท่ากับ 1.50 8.50 และ 13.50 มิลลิลิตรต่อ 100 กรัมโยเกิร์ต ตามลำดับ การทดสอบการยอมรับของผู้บริโภคของผลิตภัณฑ์โยเกิร์ตเสริมใยอาหารจากเปลือกกล้วยน้ำว้า พบว่าผลิตภัณฑ์โยเกิร์ตเสริมใยอาหารจากเปลือกกล้วยน้ำว้า 1% ได้รับคะแนนความชอบในด้านต่างๆ สูงสุด เมื่อเปรียบเทียบกับปริมาณใยอาหารจากเปลือกกล้วยน้ำว้า 3% และ 5% ทั้งนี้ เนื่องจากการเสริมใยอาหารในปริมาณมากส่งผลให้สีของโยเกิร์ตเข้มขึ้น มีลักษณะเนื้อสัมผัสที่ไม่เรียบเนียน และมีกลิ่นกล้วยน้ำว้าชัดเจน

ข้อเสนอแนะ

1. ผลิตภัณฑ์ใยอาหารที่ได้มีสีน้ำตาลคล้ำซึ่งเป็นข้อจำกัดในการเลือกใช้กับผลิตภัณฑ์อาหารจึงควรมีการศึกษาการฟอกสีของใยอาหารเพิ่มเติม รวมทั้งศึกษาผลของการฟอกสีต่อสมบัติของด้านต่างๆ ของใยอาหาร
2. ขนาดของอนุภาคของใยอาหารอาจมีผลต่อคุณสมบัติด้านความสามารถในการอุ้มน้ำของใยอาหารจึงควรมีการศึกษาถึงผลของขนาดอนุภาคต่อคุณสมบัติของใยอาหารเพื่อให้ได้ช่วงค่าขนาดของอนุภาคที่เหมาะสมในการใช้ประโยชน์ในผลิตภัณฑ์อาหาร

References

Attavanich, N. & Anprung, P. (2003). Dietary fiber powder from Citrus reticulata Blanco peel and its application. *Food Journal (Thailand)*, 33(1), 45-55.

Ang, J.F. (1991) Water retention capacity and viscosity effect of powdered cellulose. *Journal of Food Science*, 56(6), 1682-1684.

AOAC. (1997). *Official Methods of Analysis*, 16th Edition, Volume II, Section 45.4.07, Method 985.29.

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

Ekthamasut, K. (2005). *Properties of tomato seed meal and its application*. The University of the Thai Chamber of Commerce.

Figuerola, F., Hurtado, M. L., Estevez, A. M., Chiffelle, I. & Asenjo, F. (2005). Fiber concentrates from apple pomace and citrus peel as potential fiber sources for food enrichment. *Food Chemistry*, (91), 395-401

Foophow, T., Promsang, A., Onto, P. & Bhumgerd, W. (2014) Effect of the Extraction Methods on the Properties of Maringa Seed Cake Cellulose. *SDU Research Journal Sciences and Technology*, 7(2), 43 – 55.

Goksoyr, J. & Eriken, J. (1980). *Economic Microbiology*. New York: Academy Press.

Konnaimaung, S. & Anprung, P. (2003). Dietary fiber from garlic bulb Allium sativum Lin. *Food Journal (Thailand)*, 33(4), 283-291.

Larrauri,J. A., Ruperez, P., Borroto, B. & F. Saura-Calixto. (1996). Mango Peels as a New Tropical Fiber: Preparation and Characterization. *Lebensm Wiss University of Technology, 29,* 729-733.

Larrauri, J. A. (1999). New approaches in the preparation of high dietary fiber powders From fruit by – products. *Trends in Food Science & Technology*, 10, 3-8.

Prakongpan,T., Nittihamyong, A. & Luangpituksa, P. (2002). Extraction and Application of Dietary Fiber and Cellulose from Pineapple Cores. *Journal of Food Science,* 67(4), 1308-1313.

PUBLISHED

Prosky, L. (1995). *Controlling Dietary Fiber in Food Product*. New York : Van Nostrand Reinhold.

Prosky, L. & Devries, J.W. (1992). *Controlling Dietary Fiber in Food Products*. New York: Van Nostrand Reinhold

Robinson, W. B. (1981). *Food Chemical Codex* (3rd ed) Washington DC: National Academy Press.

Naowakul, B., Wirjantoro, T. & Phianmongkhol, A. (2013). Effects of speed and time of wet milling on properties of dietary fiber powder from pomelo's alberdo. *Food and Applied Bioscience Journal*, 1(1), 34-48

Prakongpan, T. (1998) *The extraction and application of dietary fiber and cellulose from pineapple core* (Master thesis). Mahidol University.

Sittisuanjit, K., Chottanom, P. & Chinnawong, K. (2012). Effect of Preparation Methods on Antioxidant Capacity, Total Phenolic Content and Functional Properties of Dietary Fiber Power from Sweet Orange Meal. *Agricultural Science Journal (Thailand),* 43(2)(Suppl.), 233-236.

Vetter, J. L. (1984). Fiber as a food ingredient. *Food Technology*, 38 (1), 64-66.

Wachirasiri, P., (2007). *Dietary fibers extraction from Kluai Namwa peels (Master thesis)*. Kasetsart University.

PUBLISHED

คณะผู้เขียน

ดร.กนกกานต์ วีระกุล

โรงเรียนการเรือน มหาวิทยาลัยสวนดุสิต เขตดุสิต กรุงเทพฯ 10300

e-mail: kanokkan_wee@dusit.ac.th, weerakulkk@hotmail.com

รองศาสตราจารย์ ดร.จิราภรณ์ สอดจิตร์

ภาควิชาอุตสหกรรมเกษตร คณะเกษตรศาสตร์ ทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม มหาวิทยาลัยนเรศวร อำเภอเมือง จังหวัดพิษณุโลก 65000

e-mail: csodchit@yahoo.com

ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.เหรียญทอง สิงห์จานุสงค์

ภาควิชาอุตสหกรรมเกษตร คณะเกษตรศาสตร์ ทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม มหาวิทยาลัยนเรศวร อำเภอเมือง จังหวัดพิษณุโลก 65000

e-mail: pwansri@yahoo.com

PUBLISHED