การพัฒนาผลิตภัณฑ์ใยอาหารจากเปลือกส้มโอ

ธณัฐพล เวียงสิมมา[1], ภาพิมล ประจงพันธ์[1], ภัทรภร ภควีระชาติ[1] และ ธนวิทย์ ลายิ้ม[1*]

[1]คณะเทคโนโลยีคหกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลกรุงเทพ
[*]ผู้นิพนธ์หลัก อีเมล : tanavit.l@mail.rmutk.ac.th
รับเมื่อ 7 กรกฎาคม 2567 **แก้ไขเมื่อ** 24 กันยายน 2567 **ตอบรับเมื่อ** 27 กันยายน 2567

จุดเด่น

- ผลิตภัณฑ์ใยอาหารทางเลือกจากเนื้อเปลือกส้มโอเหลือใช้
- กระบวนการผลิตไม่ยุ่งยาก สามารถทำได้ในครัวเรือน
- ผลิตภัณฑ์ใยอาหารจากเปลือกส้มโอพร้อมใช้ เติมในผลิตภัณฑ์อาหารได้หลากหลายชนิด ไม่มีผลต่อสี กลิ่น และรสชาติของอาหารเดิม
- ผลิตภัณฑ์ใยอาหารจากเปลือกส้มโอที่สามารถเก็บรักษาในอุณหภูมิห้องได้ไม่น้อยกว่า 20 วัน

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์ในการศึกษากระบวนการที่เหมาะสมในการผลิตผลิตภัณฑ์ใยอาหารจากเปลือกส้มโอ โดยการนำเนื้อเปลือกส้มโอส่วนสีขาวมาขจัดรสขมโดยการนำมาปั่นแล้วนำมากรอง และนำมาต้มด้วยเตาไฟฟ้าโดยใช้กำลังไฟฟ้า 1,000 วัตต์ เป็นเวลา 5 นาที จากนั้นกรองด้วยผ้าขาวบางและนำเข้าเครื่องปั่นเหวี่ยงเพื่อแยกน้ำออก นำเนื้อเปลือกส้มโอที่ผ่านกระบวนการมาผสมน้ำเชื่อมข้าวโพด 20, 30 และ 40 กรัมต่อเปลือกส้มโอ 100 กรัม ให้ความร้อนโดยใช้ไมโครเวฟกำลังไฟ 700 วัตต์ อุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียส ระยะเวลา 2 และ 3 นาที เพื่อศึกษาผลของปริมาณน้ำเชื่อมที่มีต่อคุณภาพทางกายภาพ เคมี และอายุการเก็บรักษาของผลิตภัณฑ์ใยอาหารจากเปลือกส้มโอ

จากการศึกษาพบว่า ผลิตภัณฑ์ใยอาหารที่ได้มีสีแตกต่างกัน ค่า L^* C^* และ h แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$) ส่วนปริมาณน้ำอิสระ (a_w) ไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ โดยมีค่าเฉลี่ยอยู่ที่ 0.961 ถึง 0.983 ค่า pH ของตัวอย่างมีความแตกต่างกันทางสถิติ ($p<0.05$) โดยมีค่า pH อยู่ในช่วง 5.62 ถึง 5.89 จากผลการทดสอบในด้านต่าง ๆ พบว่า ตัวอย่างที่ 4 (น้ำเชื่อมข้าวโพดที่ร้อยละ 20 และมีระยะเวลาให้ความร้อนที่ 2 นาที) มีปริมาณน้ำอิสระต่ำกว่าตัวอย่างควบคุม แต่ไม่แตกต่างกับตัวอย่างที่ใช้เวลา 3 นาที มีองค์ประกอบทางเคมีดังนี้ ปริมาณใยอาหารร้อยละ 15.04 เถ้าร้อยละ 0.59 โปรตีนร้อยละ 0.50 ไขมันร้อยละ 0.04 ความชื้นร้อยละ 69.64 คาร์โบไฮเดรตร้อยละ 29.24 และพลังงานทั้งหมด 119.30 กิโลแคลอรี โดยมีปริมาณพลังงานจากไขมัน 0.36 กิโลแคลอรี เมื่อทำการเก็บรักษาผลิตภัณฑ์ใยอาหารจากเปลือกส้มโอในอุณหภูมิห้องระยะเวลา 20 วัน และทำการตรวจเชื้อทุก 5 วัน พบว่า ปริมาณน้ำเชื่อมข้าวโพดและการให้ความร้อนด้วยไมโครเวฟสามารถยับยั้งการเกิดเชื้อราและยีสต์เมื่อเทียบกับตัวอย่างควบคุม

คำสำคัญ : เนื้อเปลือกส้มโอ ใยอาหาร ความมั่นคงทางอาหาร

Development of dietary fiber products from pomelo peels

Thanutpon Wiengsimma[1], Papimon Prachongpun[1], Pattarabhorn Pakaweerachat[1], and Tanavit Layim[1*]

[1]Home Economics Technology, Rajamangala University of Technology Krungthep, Bangkok, Thailand
*Corresponding author, e-mail : tanavit.l@mail.rmutk.ac.th
Received 7 July 2024; **Revised** 24 September 2024; **Accepted** 27 September 2024

Highlights

- Alternative dietary fiber products from leftover pomelo peels
- The production is simple, and can be done at home
- Pomelo peel dietary fiber product can be added to a variety of food products without affecting the color, odor, and taste
- Pomelo peel dietary fiber product can be stored at room temperature for at least 20 days

Abstract

This research aimed to developed the pomelo peel dietary fiber (PDF) product. The white part of the pomelo peel has been blended, filtered and then boiling in an electric stove using 1,000 W at 100 °C for 5 min to removed the bitterness. It was filtered and centrifuged to removed the water. The processed pomelo peel was mixed with the corn syrup at 20, 30 and 40 g per 100 g peel, and microwaved using 700 W for 2 and 3 min to studied the effect of corn syrup ratio and microwave heating time on the physical, chemical and shelf life of the PDF product.

The results found that the *L**, *C**, *h* color value and the pH values (5.62-5.89) of PDF were significantly different ($p<0.05$) while the water activity (a_w) were in the range of 0.961-0.983 and not significantly different between samples. The sample No. 4 (20% corn syrup) with 2 min and 3 min microwave heated had low a_w and not significantly different from each other. The chemical analysis of 100 g of sample has 15.04 g of total dietary fiber, 0.59 g of ash, 0.50 g of protein, 0.04 g of fat, 69.64 g of moisture, 29.24 g of carbohydrate, total energy of 119.30 Kcal and 0.36 Kcal energy from fat. The PDF product was stored at room temperature for 20 days and sampling for microbiological tests every 5 days. It was found that the corn syrup and microwave heating could inhibited the growth of mold and yeast compared to the control sample.

Keywords : pomelo albedo, dietary fiber, food security

บทนำ

องค์การอาหารและเกษตรแห่งสหประชาชาติได้ให้ความหมายของความมั่นคงทางอาหารไว้คือ ความพอเพียง (availability) ของอาหารในประเทศ การเข้าถึง (access) โดยที่ประชาชนสามารถเข้าถึงอาหารที่มีโภชนาการที่ดีตามความเหมาะสมของตน การใช้ประโยชน์ (utilization) การนำวัตถุดิบมาใช้ให้มีความคุ้มค่าสูงสุด และเสถียรภาพ (stability) โดยประชาชนในประเทศยังมีอาหารเพียงพอต่อการบริโภคและมีโภชนาการที่เหมาะสม[1] สำนักงานมาตรฐานสินค้าเกษตรและอาหารแห่งชาติ (มกอช.)[2] ได้รวบรวมข้อมูลและนำเสนอสถานการณ์โลกในภาพรวมยังมีประชากรในบางประเทศขาดแคลนอาหารประมาณ 800 ล้านคน ในแต่ละประเทศมีอาหารที่ถูกทิ้ง (food waste) ประมาณ 1 ใน 3 ของอาหารที่ผลิตขึ้น ซึ่งในแต่ละปีมีอาหารในกลุ่มนี้มากถึง 1,300 ล้านตัน และปัญหาขยะอาหารเหล่านี้เริ่มส่งผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมในประเทศไทย ซึ่งมีปริมาณขยะมูลฝอยเพิ่มขึ้นทุกปี มีรายงานว่าปริมาณขยะมูลฝอยกว่า 26.77 ล้านตัน ซึ่งในปริมาณนี้มีขยะอาหารถึงร้อยละ 64 เฉพาะในกรุงเทพฯ มีปริมาณขยะมูลฝอย 9,000 ตัน/วัน จำนวนนี้มีขยะอาหารร้อยละ 50 อีกทั้งการจัดการขยะด้วยวิธีฝังกลบที่ไม่ถูกต้องของประเทศที่มากขึ้น 2,024 แห่ง จากที่มีทั้งหมด 2,490 แห่ง จึงก่อปัญหาด้านสิ่งแวดล้อมจากการปนเปื้อนมลพิษจากขยะสู่ดิน แหล่งน้ำ ทั้งบนดินและใต้ดินเป็นแหล่งนำเชื้อโรคที่เกิดขึ้นจากกองขยะมูลฝอย กระทรวงทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อมมีโครงการผลักดันให้การจัดการขยะมูลฝอยเป็นวาระแห่งชาติและปรับเปลี่ยนพฤติกรรมเรื่องขยะจากเดิมที่เน้นการขจัดทิ้งมากที่สุดมาเป็นเน้นเรื่องการลดสร้างขยะตั้งแต่ต้นทาง[3-4] ประเทศไทยมีการเพาะปลูกสินค้าการเกษตรเพื่อใช้ในการบริโภคและส่งออก โดยในการส่งออกสินค้าเกษตรไตรมาสแรกของปี พ.ศ. 2564 เป็นอันดับ 8 ของโลก กลุ่มสินค้าเกษตรส่งออกสำคัญของไทยที่มีอัตราการขยายตัวของกลุ่มเครื่องเทศและสมุนไพร ผัก และผลไม้[5] ส่งผลให้มีวัตถุดิบเหลือทิ้งทางการเกษตร เช่น เปลือกผลไม้ที่เหลือทิ้งจากการหั่นตัดแต่ง ซึ่งในผลไม้บางชนิดสามารถนำเปลือกมาบริโภคได้และมีคุณค่าทางโภชนาการ

ส้มโอเป็นสินค้าทางการเกษตรที่มีการปลูกอยู่หลายจังหวัด จากข้อมูลของกรมส่งเสริมการเกษตร กระทรวงเกษตรและสหกรณ์ มีการปลูกอยู่มากในจังหวัดสมุทรสงคราม เชียงราย นครปฐม และพิจิตร เป็นต้น รวมผลผลิตต่อปี พ.ศ. 2564 มีจำนวน 171,482,090.98 กิโลกรัม[6] ซึ่งผลส้มโอโดยทั่วไปจะบริโภคเฉพาะในส่วนเนื้อเป็นหลัก แต่ส่วนเปลือกจะถูกทิ้งเป็นขยะ ผู้วิจัยได้ใช้ส้มโอสายพันธุ์ขาวแตงกวา จังหวัดชัยนาท เนื่องจากมีผลขนาดใหญ่ เปลือกหนามากกว่า 3 เซนติเมตร มีส่วนที่สูญเสียจำนวนมาก ถ้านำเปลือกส่วนขาวมาผ่านกระบวนการในการขจัดรสขมออกแล้วนำมาเพิ่มมูลค่าทำเป็นผลิตภัณฑ์ใยอาหารใช้เป็นส่วนผสมในการประกอบอาหาร เนื่องจากเนื้อเปลือกส้มโออุดมไปด้วยใยอาหารทั้งหมดร้อยละ 89.64 ใยอาหารที่ไม่ละลายน้ำร้อยละ 53.27 และใยอาหารที่ละลายน้ำได้ร้อยละ 36.37[7] นอกจากนี้ใยอาหารจากเปลือกส้มโอยังมีความสามารถในการเก็บกักน้ำและเพิ่มเนื้อสัมผัสในอาหารได้[8] หรือ

นำมาเสริมโภชนาการในผลิตภัณฑ์อาหารและเครื่องดื่มอื่น ๆ เช่น ผลิตภัณฑ์ขนมปังอบกรอบเสริมใยอาหารจากเปลือกส้มโอ[9] คุกกี้เนยสดเสริมเปลือกส้มโอ[10] เต้าหู้นมสดเสริมใยอาหารจากเปลือกส้มโอ[11] การพัฒนาอาหารเสริมใยอาหารจากเปลือกส้มนั้นมีความน่าสนใจ ดังนั้นควรมีการพัฒนากรรมวิธีการผลิตใยอาหารจากเปลือกส้มโอที่เข้าถึงได้ง่าย ใช้เครื่องมือและอุปกรณ์ที่มีอยู่ในครัวเรือน การใช้ส่วนผสมทางอาหารที่มีความเข้มข้นที่ควบคุมการเจริญเติบโตของจุลินทรีย์ ได้แก่ เกลือ น้ำตาล น้ำเชื่อมข้าวโพด หรือสารให้ความหวานชนิดอื่น ๆ ส่วนการให้ความร้อนด้วยไมโครเวฟ ได้รับความสนใจอย่างมากขึ้นในช่วงไม่กี่ปีที่ผ่านมา ซึ่งมุ่งหวังที่จะผลิตผลิตภัณฑ์พร้อมรับประทานในระดับอุตสาหกรรมผ่านกระบวนการให้ความร้อนที่รวดเร็ว[12]

จากเหตุผลดังกล่าวคณะผู้วิจัยจึงได้ทำการศึกษากระบวนการผลิตผลิตภัณฑ์เนื้อเปลือกส้มโอใยอาหารสูง เพื่อเป็นการลดวัตถุดิบเหลือทิ้งทางการเกษตร เพิ่มมูลค่าให้กับวัตถุดิบ อีกทั้งเป็นการสร้างฐานข้อมูลพื้นฐานวัตถุดิบอาหารเพื่อสุขภาพ ซึ่งงานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษากระบวนการผลิตผลิตภัณฑ์เนื้อเปลือกส้มโอ เพื่อศึกษาคุณภาพทางกายภาพและเคมีของผลิตภัณฑ์เนื้อเปลือกส้มโอ และเพื่อศึกษาอายุการเก็บรักษาผลิตภัณฑ์เนื้อเปลือกส้มโอเพื่อเป็นทางเลือกให้กับผู้บริโภคที่ใส่ใจด้านสุขภาพ

อุปกรณ์และวิธีการ

วัตถุดิบ

1. เนื้อเปลือกส้มโอ สายพันธุ์ขาวแตงกวา จังหวัดชัยนาท
2. น้ำเชื่อมข้าวโพด ตราซองจองวอน
3. น้ำ (น้ำกรอง)

เครื่องมืออุปกรณ์

1. เครื่องปั่นอเนกประสงค์ Philips Series 500
2. เตาไฟฟ้า ELECTROLUX รุ่น ETD29KC
3. เตาไมโครเวฟ SHARP R-46PS
4. เครื่องชั่งน้ำหนัก OHAUS รุ่น VALOR 1000 (V11P3)
5. มีด
6. กระชอนกรอง
7. ผ้าขาวบาง

วิธีการ

1. ศึกษากระบวนการขจัดรสขมของเปลือกส้มโอในผลิตภัณฑ์เนื้อเปลือกส้มโอใยอาหารสูง

การเลือกสายพันธุ์ส้มโอเพื่อนำมาใช้ในการวิจัยพิจารณาจากสายพันธุ์ที่มีเปลือกหนาและเนื้อเปลือกมีสีขาว ส้มโอสายพันธุ์ขาวแตงกวา จังหวัดชัยนาท มีความเหมาะสมเป็นตัวอย่างในการศึกษา เนื่องจากเนื้อเปลือกมีสีขาวเป็นฟองนุ่มไม่แข็งเกินไป จัดหาได้ง่าย เป็นที่รู้จักของผู้บริโภคทั่วไป จากนั้นทำการขจัดรสขมของเปลือกส้มโอโดยดัดแปลงจากวันเพ็ญ แสงทองพินิจ[13] โดยการเตรียมเปลือกส้มโอเฉพาะส่วนเนื้อเปลือกส้มโอ (albedo) หั่นชิ้น 2x2 ซม. นำมาปั่นกับน้ำเปล่าในอัตราส่วน เนื้อเปลือกส้มโอ 200 กรัม ต่อน้ำ 1,500 กรัม และกรองด้วยผ้าขาวบาง นำเนื้อเปลือกส้มโอที่ได้ใส่ในอ่างผสมเติมน้ำ 2,000 กรัม ใช้ไม้พายยางคนเป็นเวลา 2 นาที กรองน้ำออกด้วยผ้าขาวบาง ทำซ้ำจำนวน 2 ครั้ง แล้วนำเปลือกส้มโอที่ได้มาต้มกับน้ำเปล่า 2,000 กรัม ที่อุณหภูมิ

100 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 5 นาที กรองน้ำออกจากเนื้อเปลือกส้มโอ และนำเปลือกส้มโอใส่ลงในน้ำอุณหภูมิห้อง 2,000 กรัม คนเนื้อเปลือกส้มโอ 2 นาที จากนั้นกรองด้วยผ้าขาวบางและนำส่วนเนื้อเข้าเครื่องปั่นเหวี่ยง โดยมีความเร็วที่ 1250 rpm เป็นเวลา 7 นาที นำเนื้อเปลือกส้มโอที่ได้ทำการศึกษาต่อ

2. ศึกษาปริมาณน้ำเชื่อมที่เหมาะสมในผลิตภัณฑ์เนื้อเปลือกส้มโอใยอาหารสูง

วางแผนทดลองแฟคทอเรียล 3x3 ได้ 9 ตัวอย่าง และตัวอย่างควบคุม 1 ตัวอย่าง โดยทำการศึกษาใน 2 ปัจจัย คือ อัตราส่วนน้ำเชื่อมข้าวโพด 3 ระดับ คือ 20, 30 และ 40 กรัม ต่อเนื้อเปลือกส้มโอ 100 กรัม แล้วนำมาบรรจุในกระปุกแก้ว ปริมาณกระปุกละ 100 กรัม และเวลาในการอบในไมโครเวฟแบบต่อเนื่องโดยใช้กำลังไฟ 700 วัตต์[14] เวลา 2 นาที และ 3 นาที และไม่ผ่านความร้อน จากนั้นดำเนินการตรวจสอบคุณภาพเพื่อเลือกตัวอย่างที่เหมาะสม ดังนี้

2.1 วัดค่าสี (*L* C* h*) โดยใช้เครื่องวิเคราะห์ค่าสี Color Quest XE Spectrophotometer โดยใช้เครื่อง Hunterlab Ultra Scan VIS ประเทศสหรัฐ-อเมริกา ภายใต้แหล่งกำเนิดแสง D65 มุมของผู้สังเกตการณ์มาตรฐาน 10 องศา

2.2 วัดปริมาณน้ำอิสระ (a_w) โดยใช้เครื่องยี่ห้อ NOVASINA รุ่น Lab Master-aw

2.3 ค่า pH โดยนำตัวอย่างปริมาณ 2 กรัม ผสมน้ำกลั่นปริมาณ 10 กรัม ผสมโดยใช้เครื่องผสมสารเป็นเวลา 1 นาที และนำมาวัดค่าโดยใช้เครื่องยี่ห้อ SI Analytics Lab 845 ประเทศเยอรมนี

2.4 การวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติของค่าสี ค่าน้ำอิสระ และค่า pH โดยใช้การวิเคราะห์ข้อมูลแสดงเป็นค่าเฉลี่ยและส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน วิเคราะห์ข้อมูลหาความแปรปรวน (Analysis of Variance; ANOVA) หาความแตกต่างของค่าเฉลี่ยโดยวิธี Duncan's New Multiple Range Test (DMRT) ที่ระดับความเชื่อมั่นทางสถิติที่ร้อยละ 95 ด้วยโปรแกรมสำเร็จรูป ของตัวอย่างทั้ง 9 ตัวอย่าง และตัวอย่างควบคุมอีก 1 ตัวอย่าง ทำการวัดค่าจำนวน 3 ซ้ำ เพื่อเลือกตัวอย่างที่ดีที่สุดมาทำการศึกษาต่อ

3. การศึกษาคุณภาพทางกายภาพและเคมีของผลิตภัณฑ์เนื้อเปลือกส้มโอใยอาหารสูง

3.1 ศึกษาปริมาณใยอาหารทั้งหมด (total dietary fiber) AOAC. (2019) 985.29.[15]

3.2 ศึกษาองค์ประกอบปริมาณเถ้า โปรตีน ไขมัน และคาร์โบไฮเดรต ตามวิธีการของ AOAC. (2019) 920.153.[16]

4. การศึกษาอายุการเก็บรักษาของผลิตภัณฑ์เนื้อเปลือกส้มโอใยอาหารสูง

โดยใช้วิธีการตรวจนับปริมาณเชื้อจุลินทรีย์ ตรวจนับปริมาณเชื้อจุลินทรีย์ (standard plate count) ด้วยวิธี pour plate technique ในระยะเวลา 20 วัน โดยสุ่มตรวจทุก 5 วัน นับจำนวนจุลินทรีย์ในจานอาหารเลี้ยงเชื้อที่มีจำนวนโคโลนี 25-250 โคโลนี จะทำให้สามารถคำนวณหาเชื้อจุลินทรีย์ต่อมิลลิลิตร[17] ได้ดังนี้

CFU/ml = ค่าเฉลี่ยของโคโลนีที่นับได้ x ค่าผกผันของ dilution

ผลการทดลองและวิจารณ์

1. การศึกษากระบวนการที่เหมาะสมในการผลิตผลิตภัณฑ์ใยอาหารจากเปลือกส้มโอ

ศึกษากระบวนการที่เหมาะสมในการผลิตผลิตภัณฑ์ใยอาหารจากเปลือกส้มโอ โดยทำการศึกษาปริมาณน้ำเชื่อมข้าวโพด ระยะเวลาให้ความร้อนที่เหมาะสม และศึกษาคุณภาพทางกายภาพและเคมีของผลิตภัณฑ์เนื้อเปลือกส้มโอใยอาหารสูง

จาก Table 1 เปรียบเทียบค่าสีของเนื้อเปลือกส้มโอ แสดงให้เห็นว่าค่า *L** ที่สามารถบอกค่าความสว่างของสีตัวอย่างพบว่า ค่า *L** มีค่าเฉลี่ยอยู่ในช่วง 75.66-88.97 โดยระยะเวลาในการให้ความร้อนส่งผลต่อค่า *L** โดยเมื่อระยะเวลาให้ความร้อนเพิ่มขึ้นส่งผลให้ค่า *L** เพิ่มขึ้น แต่เมื่อปริมาณน้ำเชื่อมข้าวโพดที่เพิ่มขึ้นส่งผลให้ค่า *L** ลดลงตามระดับการเพิ่มขึ้นของน้ำเชื่อมข้าวโพด เกิดจากการเพิ่มความเข้มข้นของตัวอย่างส่งผลต่อค่าการกระเจิงของแสงทำให้เกิดการกระเจิงแสงน้อยลง[18] ค่า *C** ความเข้มของสีพบว่า มีค่าเฉลี่ยอยู่ในช่วง 8.94-12.13 โดยระยะเวลาการให้ความร้อนส่งผลต่อค่า *C** ที่เพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$) เมื่อเปรียบเทียบกับตัวอย่างควบคุม และค่า *h* เฉดสีโดยมีมุมเฉลี่ยอยู่ในช่วง 94.61-98.73 โดยระยะเวลาให้ความร้อนส่งผลต่อค่า *h* ลดลงอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$) ของตัวอย่างที่มีระยะเวลาให้ความร้อน 3 นาที เมื่อเปรียบเทียบกับเวลา 2 นาที โดยสีของเนื้อเปลือกส้มโออยู่ในโทนสีเขียวอ่อน ตัวอย่างที่มีระยะเวลาให้ความร้อนเพิ่มขึ้นส่งผลต่อสีที่ลดลงจากรงควัตถุถูกทำลายเพิ่มขึ้น[19]

Table 1 Color value of pomelo peel pulp with syrup concentration and different microwave heating time

Example	Syrup concentration (g/100 g pomelo peel)	Microwave heating time (minutes)	*L**	*C**	*h*
Control	0	0	88.97±0.47^{a}	9.66±0.12^{cd}	96.37±0.68^{bc}
1	20	0	83.81±0.34^{f}	8.94±0.27^{d}	98.26±0.53^{a}
2	30	0	81.44±0.52^{g}	9.14±0.62^{d}	98.62±0.35^{a}
3	40	0	75.66±0.08^{h}	10.04±0.26^{c}	98.73±01.05^{a}
4	20	2	85.44±0.24^{d}	11.44±0.55^{ab}	96.59±0.12^{b}
5	30	2	84.59±0.30^{e}	10.98±0.28^{b}	96.84±0.41^{b}
6	40	2	81.51±0.20^{g}	11.41±0.50^{ab}	97.10±0.25^{b}
7	20	3	87.74±0.08^{b}	11.26±0.70^{b}	95.59±0.59^{cd}
8	30	3	88.22±0.27^{b}	11.41±0.21^{ab}	94.61±0.36^{d}
9	40	3	86.85±0.43^{c}	12.13±0.39^{a}	95.12±0.18^{de}

Note : $^{a-h}$ has different letters vertically. indicates a statistically significant difference ($p\leq0.05$)

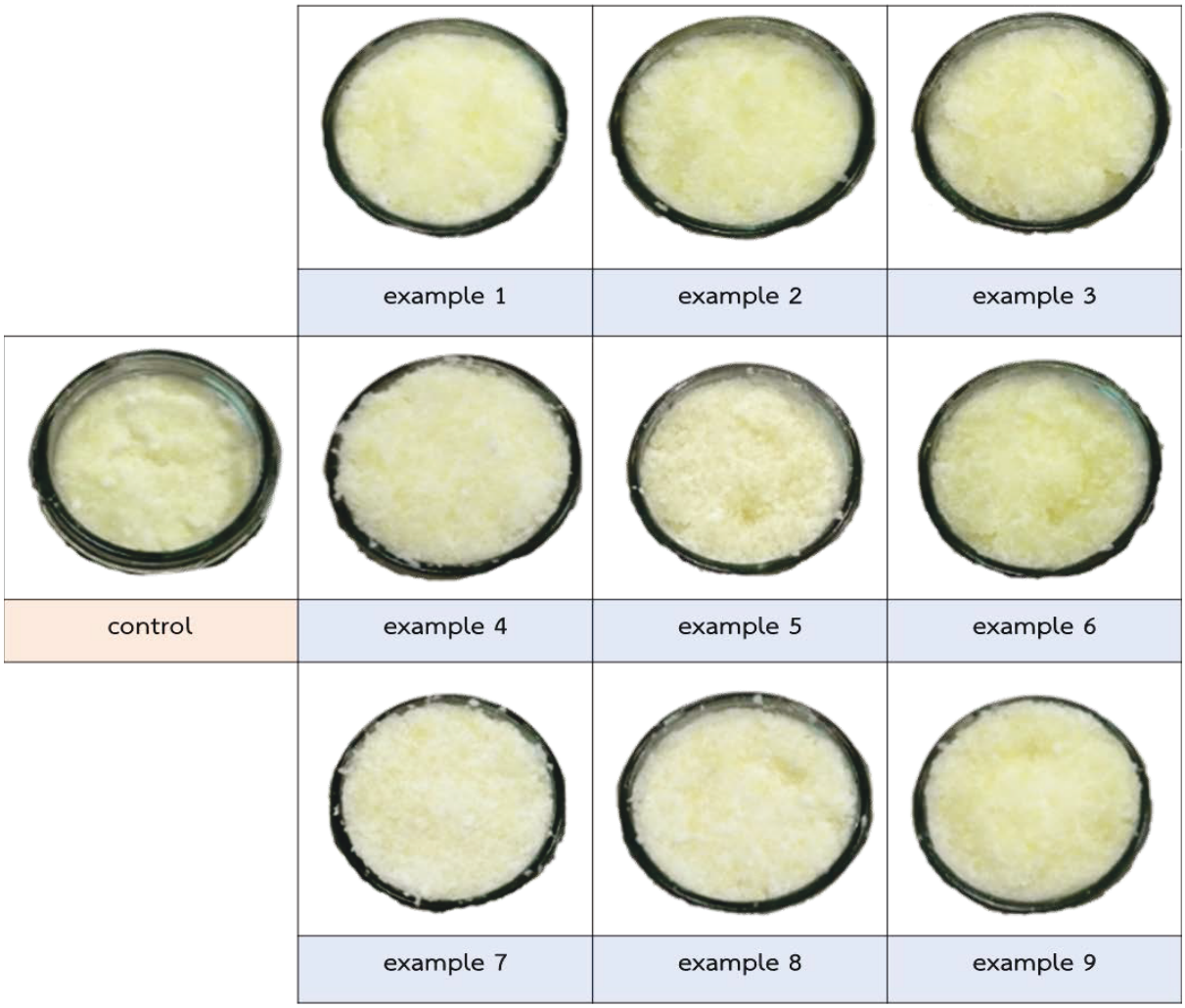

Figure 1 Appearance of pomelo peel pulp with syrup concentration and different microwave heating time

Note : control = syrup concentration 0 g /100 g pomelo peel, microwave heating time 0 minute
example 1 = syrup concentration 20 g /100 g pomelo peel, microwave heating time 0 minute
example 2 = syrup concentration 30 g /100 g pomelo peel, microwave heating time 0 minute
example 3 = syrup concentration 40 g /100 g pomelo peel, microwave heating time 0 minute
example 4 = syrup concentration 20 g /100 g pomelo peel, microwave heating time 2 minutes
example 5 = syrup concentration 30 g /100 g pomelo peel, microwave heating time 2 minutes
example 6 = syrup concentration 40 g /100 g pomelo peel, microwave heating time 2 minutes
example 7 = syrup concentration 20 g /100 g pomelo peel, microwave heating time 3 minutes
example 8 = syrup concentration 30 g /100 g pomelo peel, microwave heating time 3 minutes
example 9 = syrup concentration 40 g /100 g pomelo peel, microwave heating time 3 minutes

Table 2 Free water content (a_w) and pH of pomelo peel fibers

Example	Syrup concentration (g/100 g pomelo peel)	Microwave heating time (minutes)	a_w	pH
Control	0	0	0.982±0.01^{a}	5.62±0.04^{d}
1	20	0	0.983±0.00^{a}	5.89±0.01^{a}
2	30	0	0.977±0.00^{ab}	5.88±0.05^{a}
3	40	0	0.970±0.00^{bc}	5.89±0.03^{a}
4	20	2	0.967±0.00^{cd}	5.81±0.02^{b}
5	30	2	0.964±0.00^{cd}	5.80±0.02^{bc}
6	40	2	0.962±0.00^{d}	5.80±0.02^{bc}
7	20	3	0.967±0.00^{cd}	5.80±0.02^{bc}
8	30	3	0.963±0.00^{cd}	5.79±0.02^{bc}
9	40	3	0.961±0.00^{d}	5.75±0.05^{c}

Note : $^{a-d}$ have different letters vertically indicates a statistically significant difference ($p \leq 0.05$)

จาก Table 2 ทำการเปรียบเทียบค่าน้ำอิสระของเส้นใยเนื้อเปลือกส้มโอพบว่า ตัวอย่างที่มีระยะเวลาการให้ความร้อนที่ต่างกัน และมีปริมาณน้ำเชื่อมข้าวโพดแตกต่างกันส่งผลให้ปริมาณน้ำอิสระแตกต่างกัน โดยเมื่อปริมาณน้ำเชื่อมข้าวโพดเพิ่มขึ้น ส่งผลให้ปริมาณค่าน้ำอิสระลดลงเมื่อเทียบกับตัวอย่างควบคุม เนื่องจากการเพิ่มของปริมาณน้ำเชื่อมจะไปจับพันธะกับน้ำอิสระทำให้ปริมาณน้ำอิสระลดลง[20] ส่งผลต่ออายุการเก็บที่ยาวนานขึ้นของผลิตภัณฑ์ และการเปรียบเทียบค่า pH ของเส้นใยเนื้อเปลือกส้มโอ พบว่า ตัวอย่างที่มีระยะเวลาให้ความร้อนที่แตกต่างกัน และมีปริมาณน้ำเชื่อมข้าวโพดที่แตกต่างกันมีค่า pH ต่างกันในตัวอย่างที่ 4 และตัวอย่างที่ 9 มีแนวโน้มลดลงตามระยะเวลาที่ให้ความร้อน และเมื่อเปรียบเทียบกับตัวอย่างที่ไม่ผ่านความร้อนพบว่า ค่า pH ของตัวอย่างแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$) เนื้อเปลือกส้มโอเมื่อผ่านการปรุงส่งผลให้ค่า pH ของเนื้อเปลือกส้มโอสูงขึ้น

จากการศึกษากระบวนการที่เหมาะสมในการผลิตผลิตภัณฑ์เนื้อเปลือกส้มโอในด้านสีตัวอย่างมีค่า L^* ที่เพิ่มขึ้นตามปริมาณของน้ำเชื่อมที่สูงขึ้น เมื่อให้ความร้อนในระยะเวลาที่เพิ่มขึ้นส่งผลต่อค่า C^* ของเนื้อเปลือกส้มโอเพิ่มขึ้นด้วย และระยะเวลาในการให้ความร้อนส่งผลให้ค่า h ที่ลดลงเมื่อเทียบกับตัวอย่างที่มีระยะเวลาในการให้ความร้อนต่างกัน ปริมาณน้ำอิสระพบว่า ตัวอย่างมีค่าเฉลี่ยไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p>0.05$) ในตัวอย่างที่มีการให้ความร้อนด้วยไมโครเวฟ โดยมีค่าเฉลี่ยอยู่ในช่วง 0.961 ถึง 0.967 ซึ่งมีค่าเฉลี่ยใกล้เคียงกัน และเมื่อเปรียบเทียบในค่า pH ของตัวอย่างเส้นใยเนื้อเปลือกส้มโอ พบว่า ค่า pH ของตัวอย่างมีค่าเฉลี่ยแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$) ในตัวอย่างที่มีการให้ความร้อนด้วย

ไมโครเวฟกับตัวอย่างที่ไม่ผ่านการให้ความร้อน โดยมีค่าเฉลี่ยอยู่ในช่วง 5.62 ถึง 5.89 โดยค่า pH แสดงให้เห็นถึงความเป็นกรดที่มากขึ้นของผลิตภัณฑ์ที่ไม่ผ่านความร้อนอย่างตัวอย่างควบคุม

จากกระบวนการที่เหมาะสมในการผลิต ตัวอย่างของเส้นใยเปลือกส้มโอ ค่า a_w ไม่มีความแตกต่าง ค่า pH แตกต่างกันในบางตัวอย่าง แต่อาจมีความแตกต่างในส่วนของค่าสีเล็กน้อย ซึ่งไม่สามารถสังเกตเห็นด้วยตา ผู้วิจัยจึงเลือกตัวอย่างที่ 4 ที่มีปริมาณน้ำเชื่อมข้าวโพด 20 กรัมต่อเปลือกส้มโอ 100 กรัม และมีระยะเวลาให้ความร้อนด้วยไมโครเวฟ 2 นาที เนื่องจากเป็นตัวอย่างที่มีปริมาณเนื้อเปลือกส้มโอมากที่สุดเมื่อเปรียบเทียบกับตัวอย่างอื่น ๆ จากการนำเนื้อเปลือกส้มโอที่ผสมน้ำเชื่อมข้าวโพดแล้วแบ่งบรรจุใส่ในขวดโหลแก้วในน้ำหนัก 100 กรัม/ขวด และมีระยะเวลาให้ความร้อนด้วยไมโครเวฟ 2 นาที ซึ่งใช้พลังงานที่น้อยกว่าตัวอย่างอื่น นำมาศึกษาคุณสมบัติทางเคมีและอายุการเก็บรักษาของผลิตภัณฑ์

2. ผลการศึกษาคุณภาพทางกายภาพและเคมีของผลิตภัณฑ์เนื้อเปลือกส้มโอใยอาหารสูง

ผลการศึกษาปริมาณใยอาหารทั้งหมด ปริมาณเถ้า โปรตีน ไขมัน ความชื้น คาร์โบไฮเดรต และพลังงานรวมของผลิตภัณฑ์เนื้อเปลือกส้มโอ แสดงดัง Table 3

Table 3 Results of the study of chemical quality of pomelo peel products

Nutrients	Quantity/100 grams	
	Control	Example 4
Moisture	84.75±0.05*	69.64±0.07
Fat^{ns}	0.01±0.00	0.04±0.00
Energy from Fat^{ns}	0.00±0.00	0.36±0.00
Protein^{ns}	0.47±0.00	0.50±0.00
Carbohydrate	14.28±0.06	29.24±0.08*
Total Dietary Fiber	11.65±0.03	15.04±0.15*
Ash^{ns}	0.58±0.01	0.59±0.01
Total Energy	58.59±0.36	119.30±0.31*

Note : ^{ns}indicate no statistically significant difference (p>0.05)

*represents the highest average

จาก Table 3 พบว่า ผลิตภัณฑ์เนื้อเปลือกส้มโอ ตัวอย่างที่ 4 มีปริมาณความชื้นต่ำกว่าตัวอย่างควบคุม มีปริมาณไขมัน พลังงานจากไขมัน โปรตีน และเถ้า ไม่แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ กับตัวอย่างควบคุม แต่มีปริมาณคาร์โบไฮเดรต ใยอาหารทั้งหมด และพลังงานทั้งหมด สูงกว่าตัวอย่างควบคุม

เนื้อเปลือกส้มโอ และสามารถนำมาใช้เป็นส่วนผสมในผลิตภัณฑ์อาหารได้[21] ทั้งนี้เกิดจากลักษณะทางกายภาพของเนื้อเปลือกส้มโอส่วนขาวที่มีความนุ่มฟู เพียงขจัดรสขมออกทำให้เกิดใยอาหารที่มีคุณภาพได้[22]

3. ผลอายุการเก็บรักษาผลิตภัณฑ์จากเนื้อเปลือกส้มโอที่เหมาะสม

จากการตรวจนับเชื้อจุลินทรีย์แบคทีเรีย ยีสต์ และรา โดยการเก็บตัวอย่างในอุณหภูมิห้องโดยใช้เวลา 20 วัน และมีการสุ่มตัวอย่างมาทำการตรวจนับเชื้อจุลินทรีย์ในวันที่ 0 วันที่ 4 พบว่า มีเชื้อจุลินทรีย์ในตัวอย่างควบคุม

Table 4 รายงานจำนวนเชื้อจุลินทรีย์ของผลิตภัณฑ์เนื้อเปลือกส้มโอ เมื่อเก็บรักษานาน 20 วัน พบว่า ตัวอย่างที่ 4 เมื่อเก็บในอุณหภูมิห้องเป็นระยะเวลา 20 วัน (โดยมีการตรวจเชื้อทุก 5 วัน) ตัวอย่างที่ผ่านกระบวนการให้ความร้อนไม่พบเชื้อราและยีสต์ ในขณะที่ตัวอย่างควบคุมพบว่า มีเชื้อแบคทีเรีย ยีสต์ และรา ตั้งแต่วันที่ 1 และมีแนวโน้มว่าเพิ่มขึ้นตามจำนวนวันที่เก็บรักษา การพาสเจอไรซ์โดยใช้เตาไมโครเวฟกำลังไฟ 700 วัตต์ ระยะเวลานาน 2 นาที สามารถควบคุมปริมาณเชื้อจุลินทรีย์ได้ และเมื่อเพิ่มกำลังไฟที่ใช้สามารถทำการพาสเจอไรซ์ผลิตภัณฑ์ได้อย่างมีประสิทธิภาพใกล้เคียงวิธีการต้มแบบทั่วไป[23]

Table 4 Results of the study of microbial counts of pomelo peel products over a period of 20 days

Day	Number of microorganisms (colonies per cubic centimeter)			
	Control		Example 4	
	PCA (Microorganism)	PDA (Yeast & mold)	PCA (Microorganism)	PDA (Yeast & mold)
1	$2.43\pm0.40\times10^{6}$	$1.00\pm0.00\times10^{1}$	Not found	Not found
5	$3.47\pm0.15\times10^{5}$	$2.00\pm0.00\times10^{1}$	Not found	Not found
10	$5.33\pm0.58\times10^{5}$	$2.00\pm0.00\times10^{1}$	Not found	Not found
15	$1.57\pm0.06\times10^{3}$	$4.67\pm0.58\times10^{2}$	Not found	Not found
20	$5.33\pm0.58\times10^{6}$	$5.33\pm0.58\times10^{3}$	Not found	Not found

Note : PCA = measures the number of bacteria, yeasts and molds that grow aerobically
PDA = measures the number of yeasts and molds

บทสรุป

จากการศึกษากระบวนการที่เหมาะสมในการผลิตผลิตภัณฑ์เนื้อเปลือกส้มโอพบว่า ตัวอย่างที่ 4 ที่มีปริมาณน้ำเชื่อมข้าวโพด 20 กรัมต่อเปลือกส้มโอ 100 กรัม และให้ความร้อนด้วยไมโครเวฟเป็นเวลา 2 นาที มีความเหมาะสมในการผลิตผลิตภัณฑ์เนื้อเปลือกส้มโอใยอาหารสูงเนื่องจากมีการใช้พลังงานในการผลิตต่ำกว่าตัวอย่างอื่น และมีปริมาณเนื้อเปลือกส้มโอมากกว่าตัวอย่างอื่น เมื่อนำมาศึกษาคุณสมบัติทางกายภาพและเคมีพบว่า ตัวอย่างที่ 4 ที่ผ่านกระบวนการดังกล่าวมีค่าน้ำอิสระต่ำกว่าตัวอย่างที่ไม่ผ่านกระบวนการ และอายุการเก็บรักษาของตัวอย่างที่ 4 เมื่อเก็บที่อุณหภูมิห้องเป็นระยะเวลานาน 20 วัน ไม่พบเชื้อราและยีสต์ เกิดจากปัจจัยความเข้มข้นของน้ำเชื่อมข้าวโพด และการให้ความร้อนด้วยไมโครเวฟสามารถฆ่าเชื้อในเบื้องต้นได้[23]

กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณทุนสนับสนุนการวิจัยจากมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลกรุงเทพ และคณะเทคโนโลยีคหกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลกรุงเทพ ที่อำนวยสถานที่ในการดำเนินการทดลอง

เอกสารอ้างอิง

1. สำนักงานพัฒนาการวิจัยการเกษตร. ความมั่นคงทางอาหาร สิ่งที่ทุกคนควรได้รับอย่างเพียงพอ. [อินเทอร์เน็ต]. สำนักงานพัฒนาการวิจัยการเกษตร (องค์การมหาชน); 2663 [เข้าถึงเมื่อ 29 ม.ค. 2566]; เข้าถึงได้จาก: https://www.arda.or.th/knowledge_detail.php?id=50
2. สำนักงานมาตรฐานสินค้าเกษตรและอาหารแห่งชาติ (มกอช.). ความสูญเสีย (Food loss) กับ ความสูญเปล่า (Food waste). [อินเตอร์เน็ต]. สำนักงานมาตรฐานสินค้าเกษตรและอาหารแห่งชาติ (มกอช.); 2567 [เข้าถึงเมื่อ 20 ก.พ. 2567]; เข้าถึงได้จาก: https://warning.acfs.go.th/th/early-warning/view/?page=9334
3. โพสต์ทูเดย์. (2559, 10 พฤศจิกายน). มลพิษจากอาหารเหลือ. โพสทูเดย์. สืบค้นเมื่อ 15 ธันวาคม 2566, จาก https://www.posttoday.com/lifestyle/464509
4. ภาพิมล ประจงพันธ์, ลลิตา ปานแก้ว, รังสิตา จันทร์หอม. การผลิตขนมขบเคี้ยวเสริมผงแคลเซียมเสริมกระดูกปลาแซลมอนโดยกระบวนการเอ็กซ์ทรูชัน. วารสารวิจัยและพัฒนาวไลยอลงกรณ์ ในพระบรมราชูปถัมภ์. 2566;18(3):151-64.
5. กรมเจรจาการค้าระหว่างประเทศ. (2564). การส่งออกสินค้าเกษตรของไทยกับประเทศคู่ FTA. ศูนย์สารสนเทศการเจรจาการค้าระหว่างประเทศ.
6. กรมส่งเสริมการเกษตร ส้มโอ (12 มกราคม 2567). เข้าถึงได้จาก https://esc.doae.go.th/wp-content/uploads/2015/02/som-oh.pdf
7. Ni J, Shangguan Y, Jiang L, He C, Ma Y, Xiong H. Pomelo peel dietary fiber ameliorates alterations in obesity-related features and gut microbiota dysbiosis in mice fed on a high-fat diet. Food Chem X. 2023 Dec;20(30):1-9.
8. Gamonpilas C, Buathongjan C, Kirdsawasd T, Rattanaprasert M, Klomtun M, Phonsatta N, Methacanon P. Pomelo pectin and fiber: Some perspectives and applications in food industry. Food Hydrocolloids Volume 120, November 2021.
9. กุลชญา สิ่วหงวน, ผกาวดี ภู่จันทร์, อารชา คำเพ็ญ, ภานุเดช อินประถม. การใช้เปลือกส้มโอผงเพื่อเสริมใย อาหารในผลิตภัณฑ์ขนมปังอบกรอบ. PSRU Journal of Science and Technology. 2560;2(1):14-23.
10. นราธิป ปุณเกษม. การพัฒนาคุกกี้เนยสดเสริมใยอาหารจากอัลเบโดของส้มโอ. วารสารวิจัย มสด. สาขาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี. 2559;9(1):35-49.
11. ธีรนุช ฉายศิริโชติ, สุวรรณา พิชัยยงค์วงศ์ดี. การพัฒนาเต้าหู้นมสดเสริมใยอาหารจากเปลือกส้มโอผง. กรุงเทพฯ: มหาวิทยาลัยราชภัฏสวนดุสิต; 2558.
12. Soni A, Smith J, Thompson A, Brightwell G. Microwave-induced thermal sterilization A review on history, technical progress, advantages and challenges as compared to the conventional methods. Trends in Food Science & Technology. 2020;97.

13. วันเพ็ญ แสงทองพินิจ. การผลิต และคุณสมบัติของใยอาหารจากเปลือกส้มโอเพื่อนำมาใช้ในผลิตภัณฑ์อาหาร. Proceeding of the 1st NPRU Academic Conference. 2551.
14. Jaynes HO. Microwave pasteurization of milk. J Food Prot. 1975;38(7):386-7.
15. บุษบา มะโนแสน, จิรรัชต์ กันทะขู้, จริยา มามาตร, พรพรรณ ธิตา. ผลของไมโครเวฟต่อการพองตัวของผลิตภัณฑ์ข้าวแคบกึ่งสำเร็จรูป. การประชุมทางวิชาการของมหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ ครั้งที่ 54; 2559 กุมภาพันธ์ 2-5; กรุงเทพฯ: มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์. 2559;872-8
16. Association of Official Analytical Chemists (AOAC). Official Methods of Analysis of AOAC. International.21st Edition, AOAC, Washington DC. 2019.
17. FAO, Manual of Food Quality Control, 4. Review, Microbiological Analysis FAO Food and Nutrition paper. Food and Agriculture Organization of the United Nation, Rome. 1992.
18. อังศิมา ศิริวัฒนาศิลป์. ผลของสารให้ความหวานทดแทนน้ำตาลต่อสมบัติทางเคมีกายภาพและโครงสร้างระดับจุลภาคของ. [วิทยานิพนธ์ วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต]. กรุงเทพฯ: มหาวิทยาลัยศิลปากร; 2564.
19. นิธิมา อรรถวานิช. ใยอาหารผงจากส้มและการประยุกต์. [วิทยานิพนธ์ วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต]. กรุงเทพฯ: จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย; 2544.
20. ศูนย์นวัตกรรมเทคโนโลยีหลังการเก็บเกี่ยว. Water Activity กับการควบคุมอายุการเก็บรักษาผลิตภัณฑ์อาหาร. วารสารจาร์พา. 2546;9(68):39-46.
21. Fernández-Ginés JM, Fernández-López J, Sayas-Barberá E, Sendra E, Pérez-Álvarez JA. Lemon albedo as a new source of dietary fiber: Application to bologna sausages. Meat Science. 2004;67(1):7-13.
22. เนาวกูล บงกชรัตน์. การผลิตเส้นใยอาหารจากเปลือกในส้มโอที่ผ่านการลดความขมและการใช้ประโยชน์ในไอศกรีมนม. บัณฑิตวิทยาลัย, เชียงใหม่: มหาวิทยาลัยเชียงใหม่; 2553.
23. Stratakos AC, Delgado-Pando G, Linton M, Patterson MF, Koidis A. Industrial scale microwave processing of tomato juice using a novel continuous microwave system. Food Chemistry, 2016;622-8.