SCI-O4

การผลิต และคุณสมบัติของใยอาหารจากเปลือกส้มโอเพื่อนำมาใช้ในผลิตภัณฑ์อาหาร

Production and Properties of Dietary Fiber from Pomelo Albedo for Food Products

วันเพ็ญ แสงทองพินิจ
โปรแกรมวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีการอาหาร คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏนครปฐม

บทคัดย่อ

การผลิตใยอาหารจากเปลือกส้มโอส่วนขาวของส้มโอพันธุ์ขาวน้ำผึ้ง โดยเตรียมเป็น 3 ประเภท ได้แก่เปลือกดิบ เปลือกต้ม 5 นาที และ 10 นาที นำเปลือกมาอบแห้งที่อุณหภูมิ 40, 50 และ 60 องศาเซลเซียส พบว่าการต้มและการทำแห้งทำให้ผลผลิตของใยอาหารลดลง โดยเปลือกที่ไม่ได้ต้มได้ปริมาณผลผลิตของใยอาหารสูงสุดคือ ร้อยละ 93.07 องค์ประกอบทางเคมีและกายภาพของใยอาหารจากเปลือกส้มโอที่ผลิตได้มีใยอาหารทั้งหมดร้อยละ 16.05-21.87 ปริมาณกากใยร้อยละ 17.91-24.40 ความชื้นร้อยละ 0.13-76.95 ค่า pH เท่ากับ 4.52-5.36 ค่าประสิทธิภาพสารต้านปฏิกิริยาออกซิเดชัน เท่ากับ 1.29-1.53 การต้มทำให้ใยอาหารทั้งหมด กากใยและความเป็นกรดลดลง การต้มและการอบแห้งมีผลทำให้สารต้านปฏิริยาออกซิเดชันลดลง และเปลือกที่ไม่ได้ต้มเมื่อนำมาอบแห้งมีสีเข้มขึ้น คุณสมบัติเชิงหน้าที่ของใยอาหารจากเปลือกส้มโอ พบว่า การต้มทำให้ ความสามารถในการอุ้มน้ำ ความสามารถในการกักเก็บน้ำ ความสามารถในการพองตัวเพิ่มขึ้นจากเปลือกที่ไม่ได้ต้มประมาณร้อยละ58, 66 และ62 ตามลำดับ เปลือกต้ม 10 นาที มีความสามารถในการดูดซับน้ำมัน มากกว่าเปลือกไม่ได้ต้มและเปลือกต้ม 5 นาที การอบแห้งที่อุณหภูมิ 50 และ 60 องศาเซลเซียส ทำให้ ความสามารถในการอุ้มน้ำ ความสามารถในการกักเก็บน้ำ และความสามารถในการดูดซับน้ำมันลดลงได้มากกว่าการอบแห้งที่ 40 องศาเซลเซียส การอบแห้งมีผลต่อการพองตัวเล็กน้อย

คำสำคัญ: ส้มโอ, เปลือกส้มโอส่วนขาว, ใยอาหาร

Abstract

The study of dietary fiber production from Honey Pomelo's white skin (albedo) was prepared in 3 treatments; raw, cooked in boiling water 5 min and 10 min. These samples were dried in hot air oven at 40, 50 and 60^{o}C temperature. The results were that cooking and dehydration decreased yield of dietary fiber with raw albedo provided the highest yield at 93.07%. The composition of fiber from pomelo albedo includes 16.05-21.87% crude fiber,

17.91-24.40% dietary fiber, 0.13-76.95% moisture, pH 4.52-5.36 and antioxidant capacity was 1.29-1.53. While cooking decreased total dietary fiber, crude fiber and pH, cooking and dehydration decreased antioxidant capacity and effected the color change. Dehydrated raw albedo exhibited browning whilst functional properties of cooked albedo exhibited higher water holding capacity (WHC), water retention capacity (WRC) and swelling capacity (SWC) than raw albedo 58%, 66% and 62% respectively. The fat absorption capacity (FAC) of 10 min-cooked albedo is higher than that of raw and 5 min-cooked samples. Dehydration albedo at 50 and 60 ^{o}C apparently had lower WHC, WRC and FAC than albedo being dried at 40^{o}C. Dehydration had minor effect on SWC.

Keywords: Pomelo, Albedo, Dietary fiber

1. บทนำ

ส้มโอเป็นพืชเศรษฐกิจของจังหวัดนครปฐม ส้มโอมีเปลือกหนาทำให้สะดวกในการขนส่งและมีอายุการเก็บนานกว่าผลไม้ชนิดอื่น เป็นที่นิยมบริโภคกันอย่างแพร่หลาย โดยบริโภคเฉพาะเนื้อส้ม ส่วนเปลือกส้มนำมาใช้เล็กน้อยเช่นแปรรูปเป็นเปลือกส้มโอแช่อิ่ม เปลือกส้มโอกวน แต่ก็ไม่เป็นที่นิยมมากนัก ในปัจจุบันมีบริษัทหรือพ่อค้านิยมแกะเฉพาะเนื้อเพื่อจำหน่ายเป็นผลไม้พร้อมบริโภค จึงทำให้มีเปลือกเหลือทิ้งจำนวนมาก จากการสอบถามข้อมูลจากบริษัท กำแพงแสน คอมเมอร์เชียล จำกัด ซึ่งมีการส่งออกส้มโอพร้อมบริโภคตลอดทั้งปี โดยมีการส่งออก 1.2 ตันต่อสัปดาห์ มีส่วนเปลือกเหลือทิ้งประมาณ 0.3 ตันต่อสัปดาห์ ซึ่งเปลือกส้มโอส่วนใหญ่ไม่ได้นำไปใช้ประโยชน์และมีบางส่วนนำไปใช้สกัดน้ำมันหอมระเหย ในต่างประเทศมีการศึกษาคุณสมบัติของเปลือกส้ม และกากส้มที่เหลือทิ้งจากอุตสาหกรรมการผลิตน้ำส้ม ในการนำมาใช้เป็นใยอาหารในผลิตภัณฑ์อาหารประเภทเนื้อสัตว์ [1, 2]

ใยอาหารช่วยลดไขมันและโคเลสเตอรอลในเลือดได้ ลดอัตราเสี่ยงการเป็นโรคหัวใจ ลดความอ้วน ช่วยในการขับถ่าย ป้องกันโรคท้องผูก โรคริดสีดวงทวาร โรคมะเร็งลำไส้ เป็นต้น [3,4] อาหารที่มีใยอาหารสูงนอกจากจะมีประโยชน์ต่อร่างกายแล้ว ใยอาหารยังมีผลต่อคุณภาพทางประสาทสัมผัสของผลิตภัณฑ์ Garau และคณะ [5] ศึกษาคุณสมบัติของใยอาหารจากส้ม canoneta มีใยอาหารร้อยละ 33.1- 36.5 ซึ่งส่วนใหญ่เป็นสารประกอบเพคติก นอกจากนั้นยังมีเซลลูโลส และเฮมิเซลลูโลส โดยมีอัตราส่วนของใยอาหารที่ละลายน้ำ และไม่ละลายน้ำใกล้เคียง 1:2 และยังมีสารที่มีประสิทธิภาพในการต้านปฏิกิริยาออกซิเดชัน เช่นฟลาโวนอยด์ [6] ดังนั้นผู้วิจัยจึงมีแนวคิดในการนำเปลือกส้มโอมาผลิตเป็นใยอาหาร โดยศึกษาผลของวิธีการเตรียมเปลือกต่อคุณสมบัติของใยอาหาร และศึกษาคุณสมบัติเชิงหน้าที่ของใยอาหารจากเปลือกส้มโอ ได้แก่ ความสามารถในการดูดซับน้ำ ความสามารถในการพองตัวและความสามารถในการดูดซับไขมันของใยอาหารจากเปลือกส้มโอ เพื่อนำมาใช้ในผลิตภัณฑ์อาหาร ช่วยเพิ่มมูลค่าของเหลือทิ้งจากการเกษตรและนำมาใช้ให้เกิดประโยชน์มากขึ้น

2. อุปกรณ์และวิธีการทดลอง

2.1 การผลิตใยอาหารจากเปลือกส้มโอพันธุ์ขาวน้ำผึ้ง

เปลือกส้มโอที่นำมาใช้ในการทดลองได้รับจากบริษัทกำแพงแสนคอมเมอร์เชียล จำกัด โดยจะปอกเปลือกส่วนสีเขียวออกให้เหลือแต่เปลือกส่วนที่เป็นสีขาว

2.1.1 เปลือกดิบ นำเปลือกส้มโอส่วนสีขาว หั่นเป็นรูปสี่เหลี่ยมขนาดประมาณ 1×1×1 ซม และลดขนาดเปลือกส้มโอส่วนขาวดิบให้มีขนาด 4.5 มม ด้วยเครื่องบดเนื้อ

2.1.2 เปลือกสุก นำเปลือกดิบขนาดประมาณ 1×1×1 ซม ต้มในน้ำเดือด นาน 5 นาที และ 10 นาที กรองให้สะเด็ดน้ำ แล้วนำไปบีบน้ำออกด้วยเครื่องคั้นไฮโดรลิค แล้วลดขนาดให้มีขนาด 4.5 มม ด้วยเครื่องบดเนื้อ

2.1.3 เปลือกอบแห้ง นำเปลือกดิบ และ เปลือกต้มมา อบแห้งที่อุณหภูมิ 40 50 และ 60 องศาเซลเซียส ด้วยตู้อบลมร้อน จนกระทั่งมีความชื้นประมาณร้อยละ 0.13 [5]

ตัวอย่างเปลือกส้มโอดิบ และต้ม บรรจุในถุงสุญญากาศ เก็บรักษาที่อุณหภูมิ -18 องศาเซลเซียส เมื่อต้องการใช้นำมาทำละลายที่อุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียส 24 ชั่วโมง [7] ส่วนเปลือกที่ทำแห้งใส่ขวดสุญญากาศ เก็บที่อุณหภูมิห้อง เพื่อนำไปศึกษาคุณสมบัติต่อไป

2.1.4 หาปริมาณร้อยละของผลผลิตใยอาหารที่ได้จากการผลิต

2.2 วิเคราะห์คุณสมบัติทางกายภาพ และเคมีของใยอาหาร

2.2.1 วัดค่าสี วัดเป็นค่า L*, a* และ b* ด้วยเครื่องวัดสี Hunter Lab

2.2.2 การวิเคราะห์คุณสมบัติทางเคมีได้แก่ ปริมาณกากใย (crude fiber) ความชื้น ค่าความเป็นกรด-ด่าง ปริมาณใยอาหารทั้งหมด (total dietary fiber) ใยอาหารที่ละลายน้ำ (soluble fiber) ใยอาหารที่ไม่ละลายน้ำ (insoluble fiber) โดยวิธี AOAC [8]

2.2.3 วิเคราะห์ประสิทธิภาพสารต้านปฏิกิริยาออกซิเดชัน (antioxidant) โดยวิธี Rancimat [5] โดยใส่ใยอาหารจากเปลือกส้มโอ 0.6 กรัม ลงในน้ำมันเมล็ดดอกทานตะวัน 5 มิลลิลิตร ให้ความร้อน110 องศาเซลเซียส และพ่นอากาศลงไปด้วยอัตรา 10 ลิตรต่อชั่วโมง ประสิทธิภาพสารต้านปฏิกิริยาออกซิเดชัน คำนวณเป็นค่า protection factor; PF เป็นอัตราส่วนของเวลาที่ทำให้เกิดการหืนของตัวอย่างต่อเวลาที่ทำให้เกิดการหืนของตัวควบคุม

2.3 ศึกษาคุณสมบัติเชิงหน้าที่ (functional properties)

2.3.1 ความสามารถในการอุ้มน้ำ (Water holding capacity; WHC) [9] โดยนำตัวอย่างแห้ง 0.5 กรัม มาใส่ในหลอดทดลองเติมน้ำ 10 มิลลิลิตร ทิ้งไว้ 18 ชั่วโมง นำไปกรองชั่งน้ำหนักกากส่วนที่กรองได้ และนำไปทำแห้งที่ 105 องศาเซลเซียส 2 ชั่วโมง นำมาชั่งน้ำหนัก โดย

ความสามารถในการอุ้มน้ำ (กรัม/กรัม) = (น้ำหนักกากเปียก-น้ำหนักกากแห้ง)/น้ำหนักกากแห้ง

2.3.2 ความสามารถในการกักเก็บน้ำ (Water retention capacity; WRC) [10] โดยนำตัวอย่างแห้ง 0.5 กรัมมาใส่ในหลอดทดลองเติมน้ำ 10 มิลลิลิตร ทิ้งไว้ 18 ชั่วโมง เหวี่ยงแยกน้ำที่ 4000xg นาน 20 นาที นำกากไปชั่งน้ำหนัก และนำไปทำแห้งที่ 105 องศาเซลเซียส 2 ชั่วโมง นำมาชั่งน้ำหนัก โดย

ความสามารถในการกักเก็บน้ำ (กรัม/กรัม) = (น้ำหนักกากเปียก-น้ำหนักกากแห้ง)/น้ำหนักกากแห้ง

2.3.3 ความสามารถในการพองตัว (Swelling capacity; SWC) [10] โดยนำตัวอย่างแห้ง 0.5 กรัม มาใส่ในกระบอกตวง 50 มิลลิลิตร และเติมน้ำ 10 มิลลิลิตร ทิ้งไว้ 18 ชั่วโมง

ปริมาณการพองตัว (มิลลิลิตร/กรัม) = ปริมาตรของตัวอย่างที่พองตัว/น้ำหนักตัวอย่าง

2.3.4 ความสามารถในการดูดซับน้ำมัน (Fat adsorption capacity; FAC) [11] โดยนำตัวอย่างแห้ง 0.5 กรัมมาใส่ในหลอดทดลองเติมน้ำมันพืช 40 มิลลิลิตร ทิ้งไว้ 18 ชั่วโมง เหวี่ยงแยกน้ำที่ 2000x g นาน 20 นาที ปริมาณการดูดซับน้ำมัน = น้ำหนักไขมันที่ถูกดูดซับ/น้ำหนักตัวอย่าง

3. ผลการทดลอง และอภิปรายผล

3.1 การผลิตใยอาหารจากเปลือกส้มโอ

การผลิตใยอาหาร 3 วิธีคือ เปลือกดิบหรือเปลือกที่ไม่ได้ต้ม เปลือกต้มในน้ำเดือด 5 นาที และ 10 นาที และอบแห้งที่อุณหภูมิ 40, 50 และ 60 องศาเซลเซียส พบว่าเปลือกส้มโอดิบใช้เวลาอบแห้ง 6, 5 และ 4 ชั่วโมง ตามลำดับ ส่วนเปลือกต้ม 5 นาที และ 10 นาที ใช้เวลาในการทำแห้งมากว่าเปลือกดิบ คือ ใช้เวลา 6.5, 5.5 และ 4.5 ชั่วโมง ตามลำดับ ปริมาณผลผลิตของใยอาหาร (ภาพที่1) ปริมาณผลผลิตของใยอาหารจากเปลือกดิบ เปลือกต้ม 5 นาที และเปลือกต้ม 10 นาที ก่อนอบแห้งมีร้อยละ 93.07, 89.95 และ 81.73 ตามลำดับ เปลือกต้ม 5 นาที และเปลือกต้ม 10 นาที มีปริมาณผลผลิตน้อยกว่าเปลือกดิบ เนื่องจากการต้มทำให้ใยอาหารที่ละลายน้ำได้ เช่น เพกติน รวมทั้งองค์ประกอบที่ละลายน้ำได้เช่นแป้ง และน้ำตาลสูญเสียไป [6]

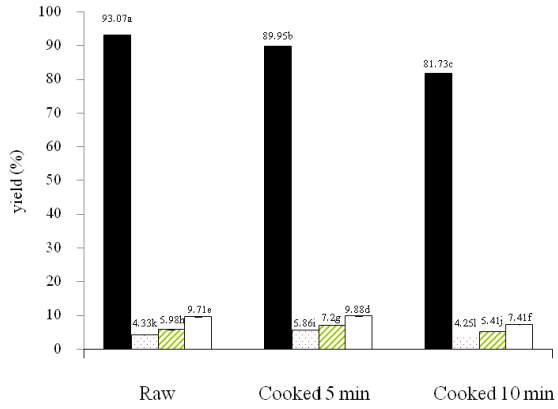
นิธิมาและปราณี [12] พบว่าเปลือกส้มเขียวหวานมีคาร์โบไฮเดรตเป็นองค์ประกอบอยู่ถึงร้อยละ 28 ของน้ำหนักแห้ง ส่วนเปลือกที่อบแห้งมีความชื้นร้อยละ 0.13 มีปริมาณผลผลิตของใยอาหารร้อยละ 4.33-9.88 โดยการอบแห้งที่อุณหภูมิ 40 องศาเซลเซียส ให้ผลผลิตต่ำกว่าการอบแห้งที่ 50 และ 60 องศาเซลเซียส อย่างมีนัยสำคัญตามลำดับ

3.2 คุณสมบัติทางกายภาพและทางเคมีของเปลือกส้มโอส่วนสีขาว

3.2.1 สีของใยอาหารจากเปลือกส้มโอ

สีของใยเป็นข้อจำกัดของการใช้ใยอาหารเนื่องจากจะมีผลต่อการยอมรับของผลิตภัณฑ์ซึ่งซึ่งใยอาหารที่นำมาใช้ในผลิตภัณฑ์ควรมีสีอ่อน ปัจจัยที่มีผลต่อสีคือวิธีการเตรียมใยอาหารโดยการต้ม และการอบแห้ง อาหารที่ได้รับความร้อนอาจเกิดสีน้ำตาลจากปฏิกิริยาที่ไม่ใช้เอนไซม์หรือที่เรียกว่าปฏิกิริยาเมลลาร์ด ปัจจัยที่มีผลต่อการเกิดปฏิกิริยาเมลลาร์ด ได้แก่ อุณหภูมิและเวลาในการให้ความร้อน [14] จากการ

วัดสีของใยอาหารจากเปลือกส้มโอ (ตารางที่ 1) พบว่า สีของเปลือกดิบมีค่าความสว่างมากกว่าเปลือกต้มทั้ง 2 ชนิด ใยอาหารจากเปลือกดิบเมื่อนำมาอบแห้งจะมีสีคล้ำคือมีค่า L* ต่ำและค่า a* สูง กว่าเปลือกต้มที่นำมาอบแห้งทุกอุณหภูมิ อุณหภูมิที่ใช้ในการอบแห้งมีผลอย่างมากต่อสีของใยอาหาร โดยเปลือกดิบที่อบแห้งที่อุณหภูมิ 40 องศาเซลเซียส นาน 6 ชั่วโมง จะมีสีคล้ำกว่าเปลือกที่อบแห้งที่ 50 และ 60 องศาเซลเซียส ใยอาหารจากเปลือกต้ม เมื่อนำมาอบแห้งแล้วสีไม่คล้ำขึ้น เนื่องจากกระบวนการต้มได้ทำลายเอนไซม์ต่างๆ และสูญเสียน้ำตาลบางส่วนไปกับน้ำที่ใช้ต้มเปลือก เมื่อนำมาทำแห้งสีจึงไม่เกิดสีน้ำตาลเท่ากับเปลือกดิบอบแห้ง การต้มเปลือกก่อนทำแห้งทำให้ใยอาหารมีสีดีกว่าเปลือกดิบ



ภาพที่ 1 ปริมาณผลผลิตที่ได้ (% yield) ของใยอาหารที่ได้จากเปลือกส้มโอพันธุ์ขาวน้ำผึ้ง อักษรที่ต่างกันแสดงถึงความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($p<0.05$) Raw คือ เปลือกดิบ Cooked 5 min คือ เปลือกต้ม 5 นาที Cooked 10 min คือ เปลือกต้ม 10 นาที

non-dried, dried 40°C, dried 50°C, dried 60°C

3.2.2 คุณสมบัติของใยอาหารจากเปลือกส้มโอ

คุณสมบัติของใยอาหารจากเปลือกส้มโอ (ตารางที่ 2) ได้แก่ความชื้นของเปลือกส้มดิบ และเปลือกส้มโอต้ม 5 นาที ไม่แตกต่างกันทางสถิติ ($p<0.05$) แต่ต่ำกว่าเปลือกส้มโอต้ม 10 นาที โดยเปลือกส้มโอที่ไม่ได้ต้ม เปลือกต้ม 5 นาที และเปลือกส้มโอต้ม 10 นาที มีความชื้นร้อยละ 74.94, 75.53 และ 76.95 ตามลำดับ ส่วนใยอาหารจากเปลือกส้มโออบแห้งมีความชื้นไม่ต่างกัน เนื่องจาก ในกระบวนการอบแห้งได้กำหนดให้ความชื้นสุดท้ายของเปลือกเท่ากัน คือประมาณร้อยละ 0.13

ความเป็นกรด-ด่าง (pH) พบว่า มีความแตกต่างกัน ($p< 0.05$) โดยเปลือกดิบมีความเป็นกรดสูงกว่าเปลือกต้มทั้ง 2 ชนิด โดยเปลือกดิบ เปลือกต้ม 5 นาที และเปลือกต้ม 10 นาที มีพีเอช 4.52, 4.78 และ 5.36 ตามลำดับ เนื่องจาก กระบวนการต้มทำให้กรดอินทรีย์ที่มีอยู่ในเปลือกส้มโอละลายน้ำออกมา ค่าความเป็นกรดด่างของเปลือก จึงเพิ่มขึ้น [2] ปริมาณกากใย (crude fiber) ซึ่งประกอบด้วย เซลลูโลส เฮมิเซลลูโลส และ

ลิกนิน จัดเป็นใยอาหารที่ไม่ละลายน้ำ จากการวิเคราะห์พบว่า เปลือกส้มโอดิบมีปริมาณกากใยสูงกว่าเปลือกส้มโอต้ม 5 นาที และเปลือกส้มโอต้ม 10 นาที ($p < 0.05$) โดยมีกากใยร้อยละ 20.88, 18.55 และ 17.91 ตามลำดับ เปลือกส้มโอที่อบแห้งจะมีปริมาณใยอาหารร้อยละ 22-24 ซึ่งมากกว่าใยอาหารที่ไม่ได้ผ่านการอบแห้ง

ตารางที่ 1 ค่าสี (L*, a*, b*) ของใยอาหารจากเปลือกส้มโอ

	ค่าสี		
	L*	a*	b*
R	80.34±0. 05[a]	0.36± 0.19[j]	18.95 ± 0.08[a]
RT40	55.08±0.13[j]	11.62±0.06[b]	24.60 ± 0.07[b]
RT50	66.07±0.12[i]	11.98±0.23[a]	27.64 ± 0.20[a]
RT60	69.42±0.15[h]	10.34±0.08[c]	27.58± 0.11[a]
C5	76.36±0.08[b]	1.77± 0.03[f]	20.41± 0.06[f]
C5T40	73.38±0.19[g]	1.52± 0.05[i]	21.94± 0.12[d]
C5T50	74.77±0.26[d]	1.97± 0.04[d]	22.22 ± 0.06[c]
C5T60	73.76±0.59[f]	1.63±0.13[gh]	21.89 ± 0.36[d]
C10	75.29±0.12[c]	1.70±0.04[fg]	20.39± 0.09[f]
C10T40	73.28±0.06[g]	1.60±0.03[hi]	21.62± 0.04[e]
C10T50	74.30±0. 05[e]	1.84±0.02[e]	22.10± 0.17[c]
C10T60	73.40±0.10[f]	1.52±0.04[i]	21.58 ± 0.07[e]

อักษรที่ต่างกันในแนวตั้ง แสดงความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($p<0.05$)

R คือ เปลือกที่ดิบไม่ได้ผ่านการอบแห้ง, C 5 คือ เปลือกต้ม 5 นาทีไม่ได้ผ่านการอบแห้ง, C 10 คือ เปลือกต้ม 10 นาทีไม่ได้ผ่านการอบแห้ง, T40, T50, T60 คือ เปลือกที่ผ่านการอบแห้ง ที่อุณหภูมิ 40, 50 และ 60 °C ตามลำดับ

เมื่อวิเคราะห์องค์ประกอบของใยอาหาร (dietary fiber) ด้วยวิธี enzymatic-gravimetric ซึ่งเป็นวิธีที่วิเคราะห์ปริมาณใยอาหารชนิดที่ละลายน้ำไม่ได้และชนิดที่ละลายน้ำได้ ได้แก่เซลลูโลส เฮมิเซลลูโลส ลิกนิน กัม เพกติน เป็นต้น ซึ่งองค์ประกอบของใยอาหารจากเปลือกส้มโอดิบและเปลือกต้ม (ตารางที่ 3) พบว่าเปลือกส้มโอต้มมีปริมาณใยอาหารทั้งหมด ใยอาหารที่ละลายน้ำ และใยอาหารที่ไม่ละลายน้ำ สูงกว่าเปลือกส้มโอดิบ โดยเปลือกส้มโอดิบมีใยอาหารทั้งหมดร้อยละ 64.05 เปลือกส้มโอต้มมีใยอาหารร้อยละ 94.28-94.88 โดยเป็นใยอาหารชนิดละลายน้ำได้ประมาณร้อยละ 46.23-47.92 ของใยอาหารทั้งหมด และ

อัตราส่วนระหว่างใยอาหารที่ละลายน้ำต่อใยอาหารที่ไม่ละลายน้ำประมาณ 1:1.08 ถึง 1:1.16 โดยใยอาหารจากเปลือกส้มโอต้ม 10 นาที มีอัตราส่วนระหว่างใยอาหารที่ละลายน้ำต่อใยอาหารที่ไม่ละลายน้ำสูงที่สุด

ตารางที่ 2 คุณสมบัติของใยอาหารจากเปลือกส้มโอ

	ความชื้น (กรัม/100 กรัม)	pH	กากใย (กรัม/100 กรัม)
R	74.94±1.12^{b}	4.52 ± 0.01^{i}	20.88 ± 0.19^{d}
RT40	0.13 ± 0.00^{c}	4.45 ± 0.00^{l}	22.44 ± 0.09^{c}
RT50	0.13 ± 0.00^{c}	4.47 ± 0.00^{k}	22.46 ± 0.03^{c}
RT60	0.13 ± 0.00^{c}	4.50 ± 0.00^{j}	22.50 ± 0.09^{c}
C 5	75.53±0.33^{b}	4.78 ± 0.00^{e}	18.55 ± 0.40^{e}
C5 T40	0.13 ± 0.00^{c}	4.69 ± 0.00^{h}	24.31 ± 0.05^{a}
C5T50	0.13 ± 0.00^{c}	4.71 ± 0.00^{g}	24.30 ± 0.04^{a}
C5T60	0.13± 0.00^{c}	4.75 ± 0.00^{f}	24.40 ± 0.16^{a}
C10	76.95±4.54^{a}	5.36 ± 0.01^{a}	17.91 ± 0.01^{f}
C10T40	0.13±0.00^{c}	4.98 ± 0.00^{d}	23.56 ± 0.13^{b}
C10T50	0.13 ± 0.00^{c}	5.27 ± 0.01^{c}	23.70 ± 0.03^{b}
C10T60	0.13 ± 0.00^{c}	5.31 ± 0.01^{b}	23.69 ± 0.03^{b}

อักษรที่ต่างกันในแนวตั้ง แสดงถึงความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($p<0.05$)

R คือ เปลือกดิบไม่ได้ผ่านการอบแห้ง, C 5 คือ เปลือกต้ม 5 นาทีไม่ได้ผ่านการอบแห้ง, C 10 คือ เปลือกต้ม 10 นาทีไม่ได้ผ่านการอบแห้ง และ T40, T50, T60 คืออบแห้ง ที่อุณหภูมิ 40, 50 และ 60 °ซ ตามลำดับ

ซึ่งใยอาหารที่เหมาะสมในการนำมาใช้ในอาหาร ควรมีอัตราส่วนระหว่างใยอาหารที่ละลายน้ำต่อใยอาหารที่ไม่ละลายน้ำประมาณ 1:2 [14] Figuerola และคณะ [15] พบว่าเปลือกเกรฟฟรุตมีใยอาหารทั้งหมดร้อยละ 44-62 ซึ่งใยอาหารชนิดไม่ละลายน้ำถึงร้อยละ 92 และมีอัตราส่วนระหว่างใยอาหารที่ละลายน้ำต่อใยอาหารที่ไม่ละลายน้ำ 1:5.9 ถึง 1:12.7 ซึ่งองค์ประกอบของใยอาหารขึ้นอยู่กับสายพันธุ์ และกระบวนการผลิตขั้นต้น การต้มเปลือกทำให้องค์ประกอบที่ไม่ใช่ใยอาหาร เช่นคาร์โบไฮเดรตถูกกำจัดออกไปได้ ทำให้ได้ผลิตภัณฑ์ใยอาหารที่มีความบริสุทธิ์เพิ่มขึ้น [12] นอกจากนี้การต้มยังทำให้ใยอาหารที่ละลายน้ำ เช่นเพคตินบางส่วนสูญเสียไปได้ [6] ปริมาณใยอาหารที่เพิ่มขึ้นภายหลังการต้มอาจเนื่องมาจาก concentrate effect

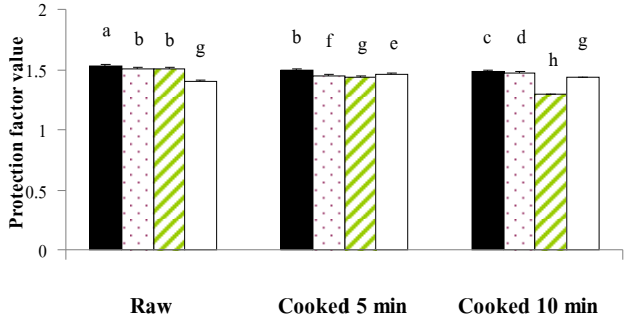
ตารางที่ 3 องค์ประกอบของใยอาหาร (กรัมต่อ100 กรัมน้ำหนักแห้ง)

	TDF	SDF	IDF	SDF/IDF
R	64.05	30.69	33.36	1:1.08
C 5	94.28	45.03	49.25	1:1.09
C 10	94.88	43.86	51.02	1:1.16

TDF = ใยอาหารทั้งหมด, SDF = ใยอาหารที่ละลายน้ำ, IDF = ใยอาหารที่ไม่ละลายน้ำ,
IDF/SDF = ใยอาหารที่ไม่ละลายน้ำต่อใยอาหารที่ละลายน้ำ
R คือ เปลือกดิบไม่ได้ผ่านการอบแห้ง, C 5 คือ เปลือกต้ม 5 นาทีไม่ได้ผ่านการอบแห้ง, C 10 คือ เปลือกต้ม 10 นาทีไม่ได้ผ่านการอบแห้ง

3.2.3 ประสิทธิภาพสารต้านปฏิกิริยาออกซิเดชันของใยอาหารจากเปลือกส้มโอ

ประสิทธิภาพของสารต้านปฏิกิริยาออกซิเดชัน วัดด้วยเครื่อง Rancimat โดยการพ่นอากาศลงในน้ำมันที่ให้ความร้อน ประสิทธิภาพการต้านปฏิกิริยาออกซิเดชันของใยอาหารแสดงด้วยค่า Protection factor; PF แสดงในภาพที่ 2 ค่า PF มากกว่า 1 แสดงว่าใช้เวลานานกว่าที่จะทำให้น้ำมันเกิดการหืน หรือมีคุณสมบัติต้านปฏิกิริยาออกซิเดชัน ใยอาหารจากเปลือกดิบ เปลือกต้ม 5 นาที และเปลือกต้ม 10 นาที ที่ไม่ได้ทำแห้ง พบว่าการต้มทำให้ประสิทธิภาพสารต้านปฏิกิริยาออกซิเดชันลดลงอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$)



ภาพที่ 2 ประสิทธิภาพสารต้านปฏิกิริยาออกซิเดชันได้จากเปลือกส้มโอ อักษรที่ต่างกัน แสดงถึงความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($p<0.05$) Raw คือ เปลือกดิบ, Cooked 5 min คือ เปลือกต้ม 5 นาที, Cooked 10 min คือ เปลือกต้ม 10 นาที

non-dried, dried 40°C, dried 50°C, dried 60°C

โดยมีประสิทธิภาพต่ำกว่าเปลือกดิบร้อยละ 2-3.3 ใยอาหารจากเปลือกส้มโอมีค่า PF เท่ากับ 1.53, 1.50 และ 1.48 ตามลำดับ การทำแห้งทำให้ประสิทธิภาพสารต้านปฏิกิริยาออกซิเดชันของเปลือกลดลงเช่นกัน

โดยพบว่าอุณหภูมิ 40 องศาเซลเซียส เป็นอุณหภูมิที่เหมาะสมในการอบแห้งเปลือกที่ช่วยรักษาประสิทธิภาพของสารต้านปฏิกิริยาออกซิเดชัน งานวิจัยของ Garau และคณะ [5] พบว่าการทำแห้งเปลือกและกากส้ม canoneta ที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส จะช่วยรักษาประสิทธิภาพสารต้านปฏิกิริยาออกซิเดชันได้ดีกว่าการทำแห้งที่อุณหภูมิสูง 50-90 องศาเซลเซียส และที่อุณหภูมิต่ำ 30-40 องศาเซลเซียส เป็นเวลานาน

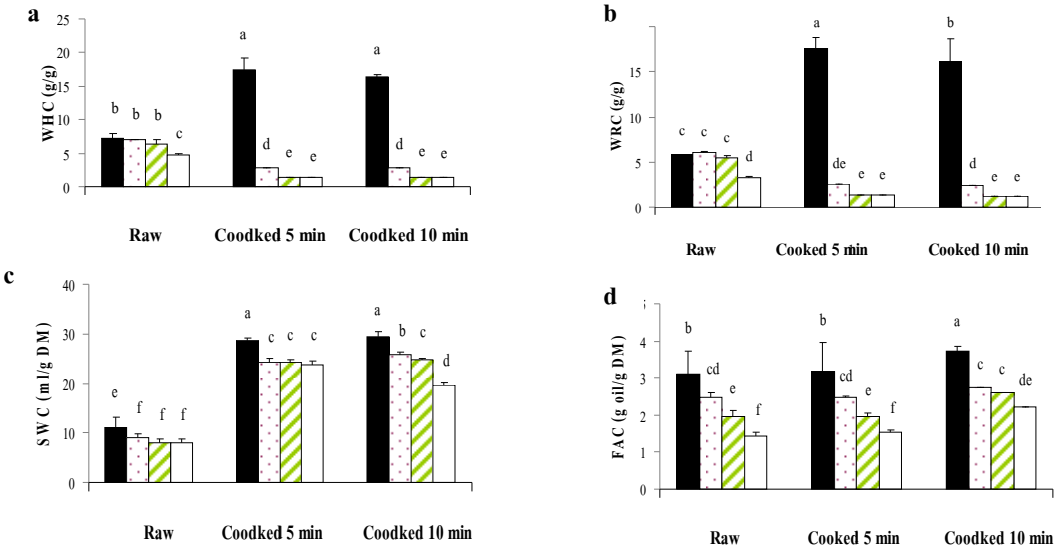
3.3 คุณสมบัติเชิงหน้าที่ของใยอาหารจากเปลือกส้มโอ

คุณสมบัติเชิงหน้าที่สัมพันธ์กับโครงสร้างทางเคมีของโพลีแซคคาไรด์ของพืช และชนิดของใยอาหาร และอาจมีผลมาจากความโปร่งพรุน ขนาดอนุภาค ประจุ พีเอช ความแรงประจุ (ionic strength) กระบวนการทำแห้งมีผลทำให้คุณสมบัติทางเคมีกายภาพและคุณสมบัติเชิงหน้าที่เปลี่ยนไปจากเดิม [16] เช่น ความสามารถในการอุ้มน้ำ ความสามารถในการกักเก็บน้ำ ความสามารถในการพองตัว และความสามารถในการดูดซับไขมัน ภาพที่ 3 ความสามารถในการอุ้มน้ำและความสามารถในการกักเก็บน้ำ มีความคล้ายกันแต่ขึ้นอยู่กับวิธีการที่ใช้ในการวิเคราะห์โดยความสามารถในการกักเก็บน้ำจะใช้แรงภายนอกในการแยกน้ำ เปลือกที่ไม่ได้ต้มมีความสามารถในการอุ้มน้ำและกักเก็บน้ำน้อยกว่าเปลือกต้ม 5 นาที และเปลือกต้ม 10 นาที (ภาพที่ 3 a, b) โดยความสามารถในการอุ้มน้ำ เท่ากับ 7.24, 17.35 และ 16.33 กรัมต่อกรัม ตามลำดับ ความสามารถในการกักเก็บน้ำเท่ากับ 5.87, 17.57 และ 16.15 กรัมต่อกรัม ตามลำดับ การอบแห้งมีผลต่อความสามารถในการอุ้มน้ำ และกักเก็บน้ำของใยอาหารจากเปลือกต้มมากกว่าใยอาหารจากเปลือกดิบ โดยใยอาหารจากเปลือกต้มอบแห้งมีความสามารถในการอุ้มน้ำ และกักเก็บน้ำลดลงอย่างมาก นอกจากนั้นยังพบว่า การอบแห้งที่อุณหภูมิ 50 และ 60 องศาเซลเซียส จะทำให้ความสามารถในการอุ้มน้ำ และกักเก็บน้ำลดลงมากกว่าการอบแห้งที่อุณหภูมิ 40 องศาเซลเซียส เนื่องจากในกระบวนการทำแห้งโครงสร้างของใยอาหารถูกทำลาย [5,11] แต่การทำแห้งแบบแช่เยือกแข็งจะทำให้ใยอาหารอุ้มน้ำได้สูงกว่าการทำแห้งด้วยลมร้อน [12]

ความสามารถในการพองตัว (ภาพที่ 3c) พบว่า ใยอาหารจากเปลือกดิบพองตัวได้น้อยกว่าเปลือกต้ม 5 นาที และเปลือกต้ม 10 นาที โดยมีค่า 11.12, 28.61 และ 29.34 มิลลิลิตรต่อกรัมน้ำหนักแห้ง เปลือกต้ม 5 นาที และ 10 นาที การพองตัวไม่แตกต่างกัน ($p<0.05$) ความสามารถในการพองตัวขึ้นอยู่กับปริมาณใยอาหารที่ไม่ละลายน้ำ [5,10,15] ในกระบวนการต้มจะสูญเสียใยอาหารที่ละลายน้ำได้บางส่วน จึงทำให้ใยอาหารจากเปลือกที่ผ่านการต้มพองตัวได้ดีกว่า ส่วนอุณหภูมิในการอบแห้งมีผลเล็กน้อยต่อการพองตัว

ความสามารถในการดูดซับน้ำมัน (ภาพที่ 6d) พบว่า เปลือกต้ม 10 นาที มีความสามารถในการดูดซับน้ำมันมากกว่าเปลือกดิบ และเปลือกต้ม 5 นาที โดยมีค่า 3.71, 3.11 และ 3.18 กรัมน้ำมันต่อกรัมน้ำหนักแห้ง ตามลำดับ ความสามารถในการดูดซับน้ำมันมีความสัมพันธ์กับใยอาหารที่ไม่ละลายน้ำ โดยความสามารถในการดูดซับน้ำมันจะเพิ่มขึ้น เมื่อปริมาณใยอาหารที่ไม่ละลายน้ำเพิ่มมากขึ้น [5, 6] นอกจากนั้นยังขึ้นอยู่กับคุณสมบัติของพื้นผิว (surface properties) ประจุ และคุณสมบัติของใยอาหารที่ไม่ชอบน้ำ [15] ผลจากการอบแห้ง พบว่า ใยอาหารที่อบแห้งที่อุณหภูมิ 40 องศาเซลเซียส มีความสามารถ

ในการดูดซับน้ำมันมากกว่าใยอาหารที่อบแห้งที่ 50 และ 60 องศาเซลเซียส ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยของ Garau และคณะ [5]; Femenia และคณะ [16] พบว่าการทำแห้งใยอาหารที่อุณหภูมิ 30-50 องศาเซลเซียส ใยอาหารจะดูดซับน้ำมันมากกว่าใยอาหารที่ทำแห้งที่อุณหภูมิสูงกว่า 60 องศาเซลเซียส ขึ้นไป



ภาพที่ 3 คุณสมบัติเชิงหน้าที่ของใยอาหารจากเปลือกส้มโอ a) ความสามารถในการอุ้มน้ำ b) ความสามารถในการกักเก็บน้ำ c) ความสามารถในการพองตัว d) ความสามารถในการดูดซับน้ำมัน อักษรที่ต่างกันแสดงถึงความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($p<0.05$) Raw คือ เปลือกที่ไม่ได้ต้ม Cooked 5 min คือ เปลือกต้ม 5 นาที Cooked 10 min คือ เปลือกต้ม 10 นาที

non-dried, dried 40°C, dried 50°C, dried 60°C

4. สรุปผลการทดลอง

เปลือกส้มโอเมื่อนำมาต้มและทำแห้ง ทำให้ผลผลิตของใยอาหารที่ได้ลดลง โดยการทำแห้งที่อุณหภูมิต่ำเวลานานจะได้ผลผลิตน้อยกว่าการทำแห้งที่อุณหภูมิสูง เปลือกส้มโอดิบเมื่อนำมาทำแห้งจะทำให้ใยอาหารที่ได้มีสีเข้มขึ้นมากกว่าใยอาหารจากเปลือกส้มโอต้ม การต้มทำให้ได้ใยอาหารที่บริสุทธิ์มากขึ้น โดยมีปริมาณร้อยละของใยอาหารเพิ่มขึ้น เปลือกส้มโอดิบมีปริมาณกากใยสูงกว่าเปลือกส้มโอต้ม โดยเมื่อนำมาอบแห้ง พบว่ากากใยจะเพิ่มขึ้น การต้มและการทำแห้งทำให้ใยอาหารจากเปลือกส้มโอมีความสามารถต้านปฏิกิริยาออกซิเดชันลดลง ใยอาหารจากเปลือกส้มโอต้มมีความสามารถในการอุ้มน้ำและกักเก็บน้ำ การพองตัว และการดูดซับไขมันดีขึ้น การทำแห้งทำให้ความสามารถในการอุ้มน้ำและกักเก็บน้ำ การพองตัว และการดูดซับไขมันลดลงโดยเฉพาะการอบแห้งที่อุณหภูมิสูง

จากการทดลองของผู้วิจัยในการนำไปใช้ในผลิตภัณฑ์หมูยอ และไส้กรอกอิมัลชั่น พบว่าใยอาหารที่ได้จากเปลือกส้มโอต้ม 10 นาที ที่ไม่ได้ทำแห้ง มีความเหมาะสมในการนำไปใช้ในผลิตภัณฑ์มากที่สุด เนื่องจากสะดวกในการนำไปใช้ มีความขมน้อย สามารถนำไปใช้ในผลิตภัณฑ์ได้ในปริมาณมาก นอกจากนั้นยังมีสัดส่วนของใยอาหารที่ละลายน้ำต่อใยอาหารที่ไม่ละลายน้ำใกล้เคียง 1:2

5. กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบพระคุณสำนักงานกองทุนสนับสนุนการวิจัย (สกว.) และ สถาบันวิจัย และพัฒนา มหาวิทยาลัยราชภัฏนครปฐมที่สนับสนุนทุนอุดหนุนการวิจัย บริษัทกำแพงแสน คอมเมอร์เชียล จำกัดที่สนับสนุนวัตถุดิบ และบริษัทเมทโธร์หม สยาม จำกัด ที่ให้ใช้เครื่อง Rancimat

6. เอกสารอ้างอิง

[1] Fernández-Ginés, J. M., Fernández-López, J., Sayas-Barberá, E., Sendra, E. & Pérez-Álvarez, J. A. (2004). Lemon albedo as a new source of dietary fiber: Application to bologna sausages. **Meat Science. 67,** 7-13.

[2] Fernández-López, J., Fernández-Ginés, J. M., Aleson-Carbonell, L., Sendra, E., Sayas-Barberá, E. & Pérez-Álvarez, J. A. (2004). Application of functional citrus by-products to meat products. **Trends in Food Science and Technology. 15,** 76-185.

[3] Harris, P. J., & Ferguson, L. R. (1999). Dietary fibres may protect or enhance carcinogenesis. **Mutation Reserch. 443,** 93–110.

[4] Lipkin, M., Reddy, B., Newmark, H., &Lamprecht, S. A. (1999). Dietary factors in human colorectal cancer. **Ann Rev of Nutrition. 19,** 545–58.

[5] Garau, M. C., Simal, S., Rosselló, C., & Femenia, A. (2007). Effect of air – drying temperature or physio – chemical properties of dietary fibre and antioxidant capcity of orange (*Citrus aurantium v. Canoneta*) by – products. **Food Chemistry. 104,** 1014-1024.

[6] Marín, F. R., Soler-Rivas, C., Benavente-García, O., Castillo, J., & Pérez-Álvarez, J. A. (2007). By-products from different citrus processes as a source of customized functional fibres. **Food Chemistry. 100**, 736-741.

[7] Aleson-Carbonell, L., Fernández-López, J., Pérez-Álvarez, J. A., & Kur V. (2005). Characteristics of beef burger as influenced by various types of lemon albedo. Innovative Food Sciene and Emerging **Technologies. 6,** 247-255.

[8] A.O.A.C. (2000). **Official method of analysis.** (15th ed.). Washingtion, D.C: Association of Official Analytical Chemist.

[9] Sowbhagya, H. B., Florence, S. P., Mahadevamma, S., & Tharanathan, R. N. (2007). Spent residue from cummin – a potential source of dietary fiber. **Food Chemistry. 104,** 1220-1225.

[10] Robertson, J. A., Monredon, F. D., Dysseler, P., Guillon, F., Amado, R., & Thibault, J. F.(2000). Hydration properties of dietary fibre and resistant starch: a European collaborative study. **Lebensmittel – Wissenschaft tech. 33;** 72-79.

[11] Femenia, A., Lefebvre, C., Thebaudin, Y., Robertson, J., & Bourgeois, C. (1997). Physical and sensory properties of model foods supplemented with cauliflower fiber**. Journal of Food Science. 62,** 635–639.

[12] นิธิมา อรรถวานิช และปราณี อ่านเปรื่อง. (2003). ใยอาหารผงจากเปลือกส้มเขียวหวานและการประยุกต์. **วารสารอาหาร. 33**(1), 45-55.

[13] Chua, K. J., Mujumdar, A. S., Hawlader , M. N. A., Chou, S. K., & Ho, J. C. (2001). Batch drying of banana pieces – effect of stepwise change in drying air temperature on drying kinetics and product colour. **Food Research International. 34,** 721–731.

[14] Jaime, L., Mollá, E., Fernández, A., Martín-Cabrejas, M., López Andreu, F., & Estaben, R. (2002). Structural carbohydrates differences and potential source of dietary fiber on onion (*Allium cepa* L.) tissues. **Journal of Agricultural and Food Chemistry. 50**, 122-128.

[15] Fiuerola, F., Hurtado, M. L., Estévez, 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.

[16] Femenia, A., Bestard, M. J., Sanjuan, N., Rosselló, C., & Mulet, A. (2000). Effect of dehydration temperature on the cell wall components of broccoli *(Brassica oleracea L. italica)* plant tissues. **Food Engineering. 46,** 157–163.