



รายงานวิจัยฉบับสมบูรณ์

โครงการ การใช้ประโยชน์จากเปลือกเงาะเป็นใยอาหารในอาหารเพื่อสุขภาพ

Utilization of Rambutan Peel as Dietary Fiber in Health Food Products

หัวหน้าโครงการ นางสิริมา ชินสาร

ผู้ร่วมโครงการ นางสาวธีรรัตน์ อธิธิโสภณกุล

โครงการวิจัยประเภทงบประมาณเงินรายได้
จากเงินอุดหนุนรัฐบาล (งบประมาณแผ่นดิน)
ประจำปีงบประมาณ พ.ศ. 2558
มหาวิทยาลัยบูรพา

รหัสโครงการ 2558A10803023
สัญญาเลขที่ 53/2558

รายงานวิจัยฉบับสมบูรณ์

โครงการ การใช้ประโยชน์จากเปลือกเงาะเป็นใยอาหารในอาหารเพื่อสุขภาพ

Utilization of Rambutan Peel as Dietary Fiber in Health Food Products

หัวหน้าโครงการ นางสิริมา ชินสาร¹
ผู้ร่วมโครงการ นางสาวธีรารัตน์ อธิธิโสภณกุล²

¹ คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยบูรพา
² คณะเทคโนโลยีและนวัตกรรมผลิตภัณฑ์การเกษตร
มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ

กรกฎาคม 2559

กิตติกรรมประกาศ

งานวิจัยนี้ได้รับทุนสนับสนุนการวิจัยจากงบประมาณเงินรายได้จากเงินอุดหนุนรัฐบาล (งบประมาณแผ่นดิน) ประจำปีงบประมาณ พ.ศ. 2558 มหาวิทยาลัยบูรพา ผ่านสำนักงานคณะกรรมการการวิจัยแห่งชาติ เลขที่สัญญา 53/2558

คณะผู้วิจัย
กรกฎาคม 2559

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้ศึกษาการใช้ประโยชน์จากเปลือกเงาะเป็นใยอาหารในอาหารเพื่อสุขภาพ ขั้นตอนแรกศึกษาผลของวิธีการทำแห้งต่อคุณสมบัติทางเคมี-กายภาพ คุณสมบัติเชิงหน้าที่และคุณสมบัติต้านออกซิเดชันของผงเปลือกเงาะ จากนั้นทำการศึกษาการใช้ผงเปลือกเงาะในขนมปัง โดยศึกษาการเติมที่ระดับ 3-7 เปอร์เซ็นต์ของน้ำหนักแป้งต่อการเปลี่ยนแปลงคุณค่าโภชนาการ สารสำคัญ และคุณภาพของขนมปัง ผลการทดลองพบว่า ผงเปลือกเงาะทำแห้งโดยวิธีแช่เยือกแข็งมีคุณภาพด้าน สี สารสำคัญ การต้านอนุมูลอิสระ การอุ้มน้ำ และการซัดขวางการแพร่ผ่านกลูโคส ดีกว่าผงเปลือกเงาะทำแห้งโดยลมร้อน อย่างไรก็ตามคุณสมบัติด้านองค์ประกอบของใยอาหาร การอุ้มน้ำมัน การดูดซับกลูโคส และการจับกับน้ำดีของผงเปลือกเงาะที่อบจากทั้งสองวิธีนั้นไม่แตกต่างกัน ดังนั้นผงเปลือกเงาะที่อบแห้งทั้งสองวิธีมีคุณสมบัติเชิงหน้าที่และคุณสมบัติทางเคมีกายภาพที่ดี สามารถนำไปใช้เป็นสารผสมอาหารเพื่อสุขภาพได้ เมื่อนำไปเติมในขนมปัง โดยทดแทนแป้งสาลีที่ระดับ 3-7 เปอร์เซ็นต์ พบว่า ช่วงระดับของการใช้นี้ไม่ส่งผลกระทบต่อคุณภาพด้านองค์ประกอบทางเคมี ความชื้น ค่าน้ำอึและปริมาณใยอาหารของขนมปังเมื่อเปรียบเทียบกับสูตรขนมปังขาวปกติ ในขณะที่คุณภาพด้านสีทั้งเปลือกนอกและเนื้อในของขนมปังที่เติมเปลือกเงาะมีสีคล้ำขึ้นตามระดับแทนที่ที่เพิ่มขึ้น เมื่อใช้ผงเปลือกเงาะในปริมาณที่มากขึ้นส่งผลให้ปริมาตรของขนมปังลดลง และเนื้อสัมผัสมีความแข็งมากขึ้น อย่างไรก็ตามขนมปังที่เติมเปลือกเงาะนี้มีปริมาณสารประกอบฟีนอลิก ฟลาโวนอยด์สูงมากกว่าสูตรขนมปังปกติอย่างชัดเจน และส่งผลให้ขนมปังที่ได้มีความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระมากขึ้นด้วยเช่นกัน ปริมาณการใช้ที่เหมาะสมในขนมปังที่แนะนำ คือ ที่ระดับ 3 เปอร์เซ็นต์ของน้ำหนักแป้ง เนื่องจากการแทนที่ที่ระดับนี้ขนมปังที่ได้มีปริมาตรและเนื้อสัมผัสไม่ต่างจากสูตรควบคุม ขั้นตอนที่ 2 ศึกษาการฟอกสีผงเปลือกเงาะด้วยวิธี Alkaline Hydrogen Peroxide และการใช้เพื่อลดการดูดซับน้ำมันในผลิตภัณฑ์ไก่ชุบแป้งทอด โดยแปรความเข้มข้นของสารละลายไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์เป็น 0.5 1.0 และ 1.5 M ทำการแช่ผงเปลือกเงาะในสารละลายไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ และปรับ pH เป็น 9 ด้วยสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ 4 M ฟอกสีเป็นเวลา 2 ชั่วโมง ที่อุณหภูมิห้อง ผลการทดลอง พบว่า เมื่อความเข้มข้นของสารละลายไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์เพิ่มขึ้น ค่าความสว่าง (L^*) ค่าความแตกต่างของสี (ΔE) และความสามารถในการอุ้มน้ำมันแนวโน้มเพิ่มมากขึ้น ดังนั้นจึงเลือกใช้ความเข้มข้นของสารละลายไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ 1.5 M สำหรับการศึกษาผลของผงเปลือกเงาะที่ผ่านการฟอกสีต่อการลดการดูดซับน้ำมันในผลิตภัณฑ์ไก่ชุบแป้งทอด โดยแปรปริมาณผงเปลือกเงาะเป็น 0 3 6 และ 9 เปอร์เซ็นต์ ของน้ำหนักส่วนผสมแป้งชุบทอดทั้งหมด นำเนื้อไก่ (ขนาด $1.5 \times 1.5 \times 1.5$ cm) ชุบในแป้งชุบทอด แล้วนำไปทอดที่อุณหภูมิ 180°C เป็นเวลา 3 นาที ผลการทดลอง พบว่า เมื่อปริมาณผงเปลือกเงาะเพิ่มขึ้น ค่าความสว่าง (L^*) ค่าความกรอบ และปริมาณความชื้นของผลิตภัณฑ์มีค่าสูงขึ้น ส่วนปริมาณไขมันมีค่าลดลงอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$)

ABSTRACT

This research was to study the utilization of rambutan peel as dietary fiber in health food products. First step, the effects of drying methods on the physicochemical, functional and antioxidant properties of rambutan peel powder were evaluated. The effects of rambutan peel powder incorporation (3-7% of total flour) on the nutritional, bioactive composition, and quality of bread were also investigated. Rambutan peel dried by freeze dried method (RPF) exhibited better qualities in terms of color, bioactive compound, antioxidant capacity, water holding capacity, and glucose retardation index than that dried by hot air method (RPT). Regarding total dietary fiber content, oil holding capacity, glucose absorption, and bile acid binding, two samples were not different. Rambutan peel powder either dried by freeze dried or hot air method can be used as functional ingredients due to its excellent physicochemical and functional properties. Proximate compositions, moisture content, a_w and dietary fiber of breads enriched with rambutan peel powder were not significantly different from control. Crumb and crust color were found to be darker when rambutan peel was added to the breads. The volume and hardness of enriched breads decreased with increasing substitution levels. In addition, the contents of phenolic compounds, and flavonoids in enriched bread were significantly higher than those in control. Substitution level of 3% of flour replacement was suggested because bread did not differ from the control in terms of hardness and volume. Second step, the bleaching of rambutan peel powder by Alkaline Hydrogen Peroxide method and the using for oil reduction in batter fried chicken product was studied. Concentration of hydrogen peroxide solution was varied to be 0.5, 1.0 and 1.5 M. Rambutan peel powder was soaked in hydrogen peroxide solution. Then, the solution was adjusted to pH 9 by using 4 M NaOH. The rambutan peel powder was bleached for 2 hours at room temperature. Results showed that L^* , ΔE and water holding capacity (WHC) tended to increase with the solution concentration. Therefore, 1.5 M hydrogen peroxide was selected to be the suitable concentration to investigate the effect of bleached rambutan peel powder on oil reduction in batter fried chicken product. The amount of rambutan peel powder was varied to be 0, 3, 6 and 9% of total batter ingredient weight. Then, chicken piece (1.5 x 1.5 x 1.5 cm) was dipped in the batter and fried at 180°C for 3 minutes. The results revealed that when the amount of Rambutan peel powder increased, L^* value, crispness and moisture content of fried product increased but oil content decreased with significant difference ($p \leq 0.05$).

สารบัญเรื่อง

	หน้า
กิตติกรรมประกาศ.....	ค
บทคัดย่อภาษาไทย.....	ง
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ.....	จ
สารบัญเรื่อง.....	ฉ
สารบัญตาราง.....	ช
สารบัญภาพ.....	ซ
บทที่	
1 บทนำ.....	1
วัตถุประสงค์.....	3
ขอบเขตการวิจัย.....	3
ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ.....	3
2 ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง.....	4
เงาะ.....	4
ใยอาหาร.....	4
การทำแห้งอาหาร.....	11
ทฤษฎีการทอด.....	12
งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง.....	15
3 วิธีดำเนินการวิจัย.....	19
วัตถุประสงค์ วัตถุประสงค์และสารเคมี.....	19
วิธีดำเนินการวิจัย.....	21
4 ผลการทดลองและวิจารณ์ผลการทดลอง.....	36
5 สรุปผลการทดลองและข้อเสนอแนะ.....	63
สรุปผลการทดลอง.....	63
ข้อเสนอแนะ.....	64
รายการอ้างอิง.....	65
ประวัตินักวิจัย.....	73

สารบัญตาราง

ตารางที่	หน้า
3-1 ปริมาณส่วนผสมที่ใช้ในสูตรการผลิตขนมปังที่มีการใช้ใยอาหาร.....	26
3-2 ส่วนผสมของแป้งชูบทอด.....	35
4-1 คุณภาพทางเคมี-กายภาพของผงเปลือกเงาะที่ทำแห้งแบบวิธีต่างกัน.....	36
4-2 ความสามารถในการดูดซึมน้ำ Water holding capacity (WHC) และการดูดซึมน้ำมัน Oil holding capacity (OHC) ของผงเปลือกเงาะ.....	38
4-3 ความสามารถในการจับกับน้ำดีของผงเปลือกเงาะ.....	43
4-4 ปริมาณน้ำอิสระ (aw) ปริมาณความชื้น (Moisture) ปริมาตรจำเพาะ (Specific volume) และความแข็ง (Hardness) ของขนมปังใส่ใยอาหารจากเปลือกเงาะ.....	45
4-5 คุณภาพด้านสี (L*,a*,b*) และความขาว (WI) ของขนมปังใส่ใยอาหารจากเปลือกเงาะ.....	48
4-6 องค์ประกอบทางเคมีของขนมปังใส่ใยอาหารจากเปลือกเงาะ.....	49
4-7 ปริมาณใยอาหารที่ละลายน้ำ ใยอาหารไม่ละลายน้ำ และใยอาหารทั้งหมดของขนมปังใส่เปลือกเงาะ.....	50
4-8 ปริมาณฟีนอลิกทั้งหมด ฟลาโวนอยด์ และการต้านอนุมูลอิสระของขนมปังใส่เปลือกเงาะ.....	51
4-9 ความสามารถในการอุ้มน้ำและความสามารถในการอุ้มน้ำมันของผงเปลือกเงาะที่ผ่านการฟอกสีด้วยสารละลายไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ความเข้มข้น 0 0.5 1.0 และ 1.5 M.....	53
4-10 ค่าสีผงเปลือกเงาะที่ผ่านการฟอกสีด้วยสารละลายไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ ความเข้มข้น 0 0.5 1.0 และ 1.5 M.....	54
4-11 ปริมาณใยอาหาร ปริมาณความชื้น และค่า aw ของผงเปลือกเงาะที่ผ่านการฟอกสีด้วยสารละลายไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ 1.5 M.....	56
4-12 ปริมาณความชื้นและปริมาณไขมันของแป้งชูบทอดที่เติมผงเปลือกเงาะที่ผ่านการฟอกสีด้วยสารละลายไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ 1.5 M โดยแปรปริมาณ 0 3 6 และ 9 เปอร์เซ็นต์.....	58
4-13 ค่าสีของแป้งชูบทอดที่เติมผงเปลือกเงาะที่ผ่านการฟอกสีด้วยสารละลายไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ 1.5 M โดยแปรปริมาณ 0 3 6 และ 9 เปอร์เซ็นต์.....	60
4-14 ค่าความกรอบของผลิตภัณฑ์ไก่ชุบแป้งทอดที่เติมผงเปลือกเงาะที่ผ่านการฟอกสีด้วยสารละลายไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ 1.5 M โดยแปรปริมาณ 0 3 6 และ 9 เปอร์เซ็นต์.....	61

สารบัญภาพ

ภาพที่	หน้า
4-1 ลักษณะผองเปลือกเงาะที่ทำแห้งแบบอบลมร้อน (RPT) และทำแห้งแบบแช่เยือกแข็ง (RPF).....	37
4-2 โครงสร้างจุลภาคของผองเปลือกเงาะที่ทำแห้งแบบอบลมร้อน (RPT) และทำแห้งแบบแช่เยือกแข็ง (RPF).....	40
4-3 ความสามารถในการดูดซับน้ำตาลของผองเปลือกเงาะ.....	41
4-4 ความสามารถในการขัดขวางการแพร่ผ่านของกลูโคสของผองเปลือกเงาะ.....	42
4-5 ลักษณะสีเนื้อขนมปังที่เสริมใยอาหารจากผองเปลือกเงาะ.....	46

บทที่ 1

บทนำ

เงาะเป็นไม้ผลเศรษฐกิจสำคัญของประเทศไทย มีแหล่งปลูกสำคัญในภาคตะวันออกและภาคใต้ของไทย นอกจากใช้ในการบริโภคสดแล้ว เงาะยังสามารถใช้เป็นวัตถุดิบในการแปรรูปเป็นผลิตภัณฑ์ต่างๆ ในระดับอุตสาหกรรม เช่น ผลิตภัณฑ์เงาะบรรจุกระป๋อง ซึ่งในกระบวนการผลิตเงาะแปรรูปดังกล่าวทำให้มีเปลือกเงาะเหลือทิ้งเป็นจำนวนมาก โดยสัดส่วนของเปลือกเงาะต่อน้ำหนักเงาะทั้งหมดคิดเป็นสัดส่วนได้ถึง 50% ดังนั้น เพื่อลดปริมาณเศษวัสดุเหลือทิ้งจากการผลิตในระดับอุตสาหกรรม ผู้วิจัยจึงมีแนวความคิดที่จะแปรรูปเปลือกเงาะให้สามารถใช้ประโยชน์ในด้านอื่นๆ ได้ เปลือกเงาะนั้นมีคุณสมบัติในการต้านอนุมูลอิสระได้ดี เนื่องจากเป็นแหล่งของสารออกฤทธิ์ชีวภาพหลายชนิด เช่น สารประกอบฟีนอลิก แอนโทไซยานิน (Palanisamy et al, 2008; Sun et al., 2010; Thitileadecha et al, 2008 & 2011) นอกจากนี้ยังพบว่ามีคุณสมบัติในการลดภาวะน้ำตาลในเลือดสูง (hyperglycemia) ซึ่งเป็นผลมาจากสารประกอบแทนนิน คือ geraniin ที่พบเป็นหลักในเปลือกเงาะ (Palanisamy et al, 2011) นอกจากเปลือกเงาะจะเป็นแหล่งที่ดีของสารออกฤทธิ์ชีวภาพแล้ว จากการสืบค้นข้อมูลยังพบว่า เปลือกเงาะเป็นแหล่งของใยอาหารที่ดี โดยมีปริมาณใยอาหารสูง ไขมันต่ำ ให้พลังงานน้อย (สถาบันวิจัยวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งประเทศไทย, 2555) ซึ่งใยอาหารมีประโยชน์ในการช่วยชะลอการดูดซึมไขมันและคอเลสเตอรอล ลดอัตราเสี่ยงจากไขมันอุดตันหลอดเลือด ช่วยควบคุมระดับน้ำตาลในเลือด ช่วยป้องกันหรือลดความเสี่ยงจากโรคมะเร็งลำไส้ ทำให้การเคลื่อนไหวของลำไส้เป็นปกติ และลดการเกิดอาการท้องผูก เป็นต้น การนำส่วนเปลือกเงาะมาแปรรูปเป็นส่วนผสมอาหารที่มีประโยชน์ต่อร่างกายหลายๆด้าน และนำไปใช้ในผลิตภัณฑ์อาหาร จะทำให้ผู้บริโภคมีทางเลือกในการดูแลสุขภาพตนเองให้ดียิ่งขึ้น

สภาวะสังคมในปัจจุบันมีการขยายตัวของเศรษฐกิจและอุตสาหกรรมมากขึ้น ประชากรจึงดำรงชีวิตด้วยความเร่งรีบ มีการแข่งขันสูง ความนิยมบริโภคอาหารแบบตะวันตกมีมากขึ้น เพราะให้ความสะดวก ทานง่าย และมีรสชาติถูกปาก จึงส่งผลให้การได้รับสารที่มีคุณค่าต่อร่างกายมีไม่เพียงพอตามคำแนะนำของ Thai Recommended Daily Intake (Thai RDI) กำหนดว่าควรบริโภคใยอาหารในปริมาณ 25-30 กรัมต่อวัน (สำนักคณะกรรมการอาหารและยา, 2544) การใช้ส่วนของผลไม้ที่เหลือจากการแปรรูปมาใช้เป็นส่วนผสมของอาหารเพื่อสุขภาพเป็นที่นิยมมากขึ้น เพราะมีทั้งใยอาหารและสารออกฤทธิ์ชีวภาพ (Balasundram et al., 2006) การใช้ส่วนผสมเหล่านี้อาจใช้ในรูปของการทดแทนแป้งสาลีในผลิตภัณฑ์ต่างๆ เช่น การใช้เปลือกมะม่วงในมะกะโรนี (Agila et al., 2010) การใช้กากแอปเปิ้ลในเค้ก (Sudha et al., 2007) การใช้กากองุ่นในขนมปังข้าวไรน์ และเมล็ดองุ่นใน

อาหารว่างจากธัญพืช แพนเค้ก และบะหมี่ (Rosales Soto et al., 2012) เป็นต้น นอกจากนี้ จากคุณสมบัติที่สามารถอุ้มน้ำได้ของใยอาหารจึงอาจใช้เป็นส่วนผสมเพื่อลดการดูดซับน้ำมันในอาหารทอดได้อีกด้วย แต่อย่างไรก็ตาม ยังไม่มีรายงานการใช้เปลือกเงาะเป็นส่วนผสมในผลิตภัณฑ์อาหาร งานวิจัยนี้จึงมีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาการสกัดใยอาหารจากเปลือกเงาะ โดยแบ่งการศึกษาออกเป็น การสกัดแบบง่ายเพื่อใช้ในระบบการผลิตขนาดเล็ก และการสกัดแบบพิเศษเพื่อเป็นแนวทางการผลิต ใยอาหารในระดับอุตสาหกรรมเพื่อช่วยฟอกสีใยอาหารให้มีสีที่อ่อนลง เนื่องจากเปลือกเงาะนั้นมีสี ค่อนข้างเข้ม ซึ่งสารสีเหล่านี้เป็นข้อจำกัดสำหรับการนำใยอาหารไปใช้ประโยชน์ ดังนั้น เพื่อให้ใย อาหารที่สกัดจากเปลือกเงาะสามารถนำไปใช้ประโยชน์ในผลิตภัณฑ์ได้หลากหลาย จึงจำเป็นต้องใช้วิธี ในการผลิตที่มีการกำจัดหรือฟอกสีเปลือกเงาะที่ใช้ในการสกัดใยอาหารให้มีสีที่อ่อนลง โดยวิธีที่นิยม ใช้ในการผลิตและฟอกสีวัตถุดิบ คือ วิธี alkaline hydrogen peroxide หรือ การผลิตโดยใช้ สารละลายไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ในสภาวะต่าง (AHP method) โดย Wongmetinee (2007) พบว่า การผลิตใยอาหารจากกากตะไคร้ด้วยวิธี AHP method โดยใช้กากตะไคร้ต่อสารละลาย ไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์เข้มข้น 2.1 โมลาร์ ที่อัตราส่วน 1: 20 ในสภาวะต่าง (pH 9.0) อุณหภูมิ 87- 93 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 2 ชั่วโมง เป็นวิธีที่เหมาะสมต่อการผลิตใยอาหารจากกากตะไคร้ เมื่อ เปรียบเทียบกับวิธีการสกัดด้วยเอทานอลร่วมกับการฟอกสี เช่นเดียวกับ Abdel-Aal and Sosulski (2001) ที่พบว่า การสกัดใยอาหารจากกากข้าวสาลีด้วยวิธี AHP method สามารถช่วยปรับปรุง คุณภาพของใยอาหารเพื่อใช้ประโยชน์ในการเป็น food ingredients ได้ ดังนั้น ผู้วิจัยจึงสนใจศึกษา วิธีการสกัดใยอาหารจากเปลือกเงาะด้วยวิธี AHP method เพื่อพัฒนาเป็นใยอาหารผงจากเปลือก เงาะซึ่งเป็นวัตถุดิบเหลือทิ้งจากอุตสาหกรรมการผลิตอาหาร และเพื่อเป็นแนวทางในการนำใยอาหาร จากเปลือกเงาะไปประยุกต์ใช้ในอาหาร งานวิจัยนี้จึงทำการศึกษานำใยอาหารไปใช้ประโยชน์ โดยการ เสริมใยอาหารที่เตรียมได้ลงในขนมปัง และศึกษาคุณภาพทางเคมีกายภาพ ประสิทธิภาพการต้าน อนุมูลอิสระ และการเติมใยอาหารลงในแป้งชุบทอดเพื่อศึกษาความสามารถในการลดการดูดซับ น้ำมันของใยอาหารจากเปลือกเงาะ ซึ่งข้อมูลที่ได้จะช่วยในการส่งเสริมการใช้ประโยชน์และเพิ่มมูลค่า จากเศษเหลือจากการแปรรูปเงาะ และได้ผลิตภัณฑ์ที่มีประโยชน์ต่อสุขภาพ รวมทั้งเป็นทางเลือกใหม่ ให้แก่ผู้บริโภค

จากภาพรวมของงานวิจัยนี้ จึงเป็นการนำวัตถุดิบซึ่งเป็นส่วนเหลือทิ้งจากการแปรรูปอาหาร ในอุตสาหกรรมที่มีปริมาณมากมาแปรรูปให้เกิดประโยชน์และมีมูลค่าเพิ่มขึ้น เป็นผลิตภัณฑ์ใหม่ที่เป็น ทางเลือกที่ตอบสนองความต้องการและเป็นที่ยอมรับของผู้บริโภค สามารถนำไปถ่ายทอดสู่ชุมชนหรือ กลุ่มอุตสาหกรรมเพื่อให้ชุมชนหรือผู้ประกอบการนำไปขยายผลสู่การจำหน่ายในเชิงพาณิชย์และต่อ ยอดการผลิตไปสู่ระดับอุตสาหกรรมได้

วัตถุประสงค์

- 1) เพื่อศึกษาวิธีการสกัดโยอาหารจากเปลือกเงาะแบบง่ายสำหรับใช้ในกระบวนการผลิตขนาดเล็ก
- 2) เพื่อศึกษาวิธีการสกัดและฟอกสีโยอาหารจากเปลือกเงาะ
- 3) เพื่อศึกษาคุณสมบัติทางเคมีกายภาพ การต้านอนุมูลอิสระ และคุณสมบัติเชิงหน้าที่ของโยอาหารที่เตรียมจากเปลือกเงาะ
- 4) เพื่อศึกษาแนวทางการใช้ประโยชน์ของโยอาหารจากเปลือกเงาะในขนมปัง และการเป็นสารลดการดูดซับน้ำมันในแป้งชูบทอด

ขอบเขตการวิจัย

การวิจัยครั้งนี้แบ่งการวิจัยออกเป็น 2 ตอน ได้แก่ ตอนที่ 1 มุ่งที่จะศึกษาวิธีการสกัดโยอาหารจากเปลือกเงาะแบบง่ายเพื่อให้เหมาะแก่ระบบการผลิตขนาดเล็ก โดยศึกษาวิธีการเตรียมแป้งและศึกษาคุณสมบัติเคมีกายภาพ การต้านอนุมูลอิสระ และคุณสมบัติเชิงหน้าที่ของโยอาหารที่เตรียมได้ และทำการศึกษาระดับของโยอาหารจากเปลือกเงาะที่เหมาะสมในการผลิตขนมปังที่มีคุณภาพใกล้เคียงกับผลิตภัณฑ์ในท้องตลาด ทำการศึกษาคุณลักษณะทางเคมี กายภาพ ความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระ

ตอนที่ 2 การศึกษาและพัฒนาวิธีการสกัดโยอาหารจากเปลือกเงาะ ด้วยวิธีการผลิตโดยใช้สารละลายไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ในสภาวะต่าง (AHP method) เพื่อเป็นแนวทางการผลิตโยอาหารในระดับอุตสาหกรรม โดยแปรความเข้มข้นของสารละลายไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ที่ใช้เป็น 0.5 1 และ 1.5 M นำโยอาหารผงที่ผลิตได้แต่ละทริทเมนต์และตัวอย่างควบคุมซึ่งสกัดโยอาหารด้วยวิธีบดเปียกมาวิเคราะห์คุณสมบัติด้านสี ปริมาณโยอาหาร การอุ้มน้ำ การอุ้มน้ำมัน และศึกษาแนวทางการใช้ประโยชน์ในการเป็นสารช่วยลดการดูดซับน้ำมันในแป้งชูบทอด ซึ่งจะทำให้ผลิตภัณฑ์อาหารทอดที่ได้มีคุณภาพผลิตภัณฑ์ที่ดี และมีประโยชน์ต่อสุขภาพทั้งมีปริมาณโยอาหารสูง และการดูดซับน้ำมันน้อย

ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1. ทราบถึงสมบัติของโยอาหารที่สกัดได้จากเปลือกเงาะ
2. เป็นการเพิ่มโยอาหารและสามารถลดการดูดซับน้ำมันในผลิตภัณฑ์อาหารทอด
3. เป็นการเพิ่มมูลค่าของวัสดุเหลือทิ้งจากอุตสาหกรรมอาหาร

บทที่ 2

ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

เงาะ (วิกิพีเดีย สารานุกรมเสรี, 2556)

เงาะ มีชื่อภาษาอังกฤษ คือ Rambutan ชื่อวิทยาศาสตร์ คือ *Nephelium lappaceum* Linn เป็นไม้ผลเมืองร้อน มีถิ่นกำเนิดในประเทศอินโดนีเซีย และมาเลเซีย โดยทั่วไป เงาะเป็นไม้ผลที่เจริญเติบโตได้ดี ในบริเวณที่มีความชื้นค่อนข้างสูง เงาะในประเทศไทย จึงนิยมปลูกในบริเวณภาคตะวันออกและภาคใต้ อาทิ พันธุ์สีทอง พันธุ์น้ำตาลกรวด พันธุ์สีชมพู พันธุ์โรงเรียน และพันธุ์เงาะม่วง เป็นต้น แต่พันธุ์เงาะที่นิยมปลูกเป็นการค้า มีแค่ 3 พันธุ์ คือ พันธุ์โรงเรียน พันธุ์สีทอง และพันธุ์สีชมพู

เงาะมีสรรพคุณ คือ เงาะสดสามารถแก้อาการท้องร่วงชนิดรุนแรงได้ นอกจากนี้ผลเงาะเมื่อนำมาต้ม สามารถนำน้ำที่ได้มาเป็นยาแก้ไอ แก้หวัด แก้เจ็บคอ รักษาอาการอักเสบในช่องปาก และโรคบิดท้องร่วง แต่มีข้อควรระวัง คือ เม็ดในของเงาะมีพิษแม้ว่าจะเอาไปคั่วจนสุกแล้ว แต่ถ้ารับประทานมากเกินไปจะมีอาการปวดท้อง เวียนศีรษะ มีไข้ คลื่นไส้ อาเจียน ส่วนเปลือกเงาะมีสีแดงเข้ม มีคุณสมบัติต้านอนุมูลอิสระที่ดี มีปริมาณใยอาหารสูงถึง 81% และมีไขมันต่ำ (สถาบันวิจัยวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งประเทศไทย, 2555) จึงมีความเป็นไปได้ในการนำเปลือกเงาะมาผลิตเป็นใยอาหารเพื่อใช้ประโยชน์ในการเป็น Food ingredients ต่อไป

ใยอาหาร

ความหมายของเส้นใยอาหาร (ผกาวัต นารอง, 2543)

เส้นใยอาหาร หรือศัพท์ภาษาอังกฤษเรียกว่า “ไดเอทารีไฟเบอร์” (Dietary Fiber) หมายถึง ส่วนประกอบของผนังเซลล์ในพืชที่ไม่ใช่อาหารและไม่สามารถถูกย่อยสลายต่อไปได้อีกภายในระบบทางเดินอาหารของมนุษย์ ทั้งนี้เนื่องจากในร่างกายมนุษย์ไม่มีเอนไซม์ (enzyme) หรือน้ำย่อยที่สามารถย่อยสลายเส้นใยอาหารเหล่านี้ ซึ่งมีองค์ประกอบส่วนใหญ่เป็นสารประกอบน้ำตาลโมเลกุลใหญ่เชิงซ้อน หรือที่เรียกว่า “สารโพลีแซคคาไรด์” (Polysaccharide) ได้ จึงทำให้เส้นใยเหล่านี้ถูกดูดซึมเข้าสู่ร่างกายได้น้อยมากหรือแทบไม่ได้เลย และเหลืออยู่ในระบบทางเดินอาหารพร้อมที่จะขับถ่ายออกมา

ประเภทของใยอาหาร

ใยอาหารแบ่งตามความสามารถในการละลายเป็น 2 ประเภท คือ ใยอาหารที่ละลายน้ำ (water soluble) และใยอาหารที่ไม่ละลายน้ำ (water insoluble)

1. โยอาหารที่ละลายน้ำ

โยอาหารที่ละลายน้ำ (soluble dietary fiber) คือ โยอาหารส่วนที่มีคุณสมบัติในการละลายน้ำ โยอาหารชนิดนี้มักจะปนอยู่กับส่วนที่เป็นแป้งในพืช ได้แก่ กัม เพคติน และมิวซิเลจส์ โยอาหารชนิดนี้สามารถรวมตัวกับน้ำได้ในปริมาณมาก เกิดการกระจายโครงสร้างที่อัดแน่น ทำให้สามารถดูดซับสารได้หลายอย่าง เช่น น้ำตาล คอเลสเตอรอล และเกลือแร่บางชนิด เป็นต้น (ดวงจันทร์ เสงส์สวัสดิ์, 2545) ดังนั้นจึงมีผลชะลอและลดการดูดซึมของสารอาหารดังกล่าวเข้าสู่ร่างกาย (สุรัตน์ โคมินทร์, 2534)

2. โยอาหารที่ไม่ละลายน้ำ

โยอาหารที่ไม่ละลายน้ำ (insoluble dietary fiber) เป็นพวกคาร์โบไฮเดรตเชิงซ้อนที่ย่อยสลายได้ยาก ได้แก่ เซลลูโลส เฮมิเซลลูโลส และลิกนิน ซึ่งมีความสามารถดูดซับสารต่างๆ ได้น้อย แต่จะจับกับน้ำแล้วเกิดการพองตัวในน้ำ ลักษณะคล้ายฟองน้ำ ดังนั้นเมื่อบริโภคเข้าไปแล้วขับถ่าย จะทำให้มีมวลอุจจาระเพิ่มขึ้น เนื้ออุจจาระนิ่ม ส่งผลให้ขับถ่ายได้สะดวก (สุรัตน์ โคมินทร์, 2534)

สมบัติของโยอาหารที่สำคัญ (ไพโรจน์ หลวงพิทักษ์ และเบญจวรรณ ธรรมธนารักษ์, 2538)

1. ความสามารถในการอุ้มน้ำ (water holding capacity)

ความสามารถในการอุ้มน้ำ คือ ความสามารถของโยอาหารที่จะตรึงน้ำไว้ภายในโครงสร้างของมันในภาวะใดภาวะหนึ่ง สามารถหาค่าเป็นตัวเลขได้โดยคิดจากปริมาณน้ำที่ถูกตรึงไว้ภายในโครงสร้างของมัน คิดเป็นมิลลิลิตรต่อหนึ่งหน่วยของน้ำหนักแห้งจากการศึกษา พบว่าโยอาหารที่มีเพคตินและเฮมิเซลลูโลสเป็นองค์ประกอบสามารถดูดซึมน้ำเข้าเซลล์ได้มากจนเกิดลักษณะเป็นวุ้นในขณะที่โยอาหารที่มีเซลลูโลสเป็นองค์ประกอบจะไม่สามารถเกิดลักษณะเช่นนี้ จึงทำให้มีการประยุกต์ไปใช้ในอาหารสำหรับผู้ที่ต้องการจะลดน้ำหนัก เพื่อให้อาหารที่รับประทานไปขยายตัวเพิ่มปริมาตร (Bulking volume) ในกระเพาะอาหาร ทำให้เกิดความรู้สึกอิ่มนานกว่าปกติ ซึ่งเป็นการลดทั้งปริมาณอาหารที่รับประทานและพลังงานที่ร่างกายจะได้รับ นอกจากนี้การอุ้มน้ำได้ดีของโยอาหารจะช่วยเพิ่มปริมาตรของกากอาหารอันจะไปกระตุ้นการเคลื่อนไหวของลำไส้ ทำให้กากอาหารนุ่ม มีปริมาตรมาก ถ่ายสะดวก โยอาหารที่ให้ประโยชน์ในลักษณะเช่นนี้มักเป็นพวกที่หยาบและละลายน้ำไม่ได้ เช่น รำข้าวสาลี (wheat bran) รำข้าวหยาบ เป็นต้น สำหรับปัจจัยที่มีผลต่อการอุ้มน้ำของโยอาหารนี้ ได้แก่ องค์ประกอบทางเคมี ขนาดโยอาหาร ปริมาณอิเล็กโทรไลต์และค่าความเป็นกรด-ด่าง ของสารละลายนั้นๆ

2. ความสามารถในการดูดซึมสารอินทรีย์

สารอินทรีย์ต่างๆ เช่น กรดน้ำดี (bile acid) คอเลสเตอรอล ยา สารก่อมะเร็ง และ สารพิษต่างๆ จากโครงสร้างของใยอาหารที่เป็นที่ยึดเกาะของสารอินทรีย์เหล่านี้ ก่อให้เกิดผลดีต่อร่างกาย โดยเมื่อภายหลังจากที่ใยอาหารถูกขับออกจากระบบลำไส้ สารอินทรีย์ที่เกาะกับใยอาหารก็จะขับออกจากร่างกายด้วยพร้อมๆ กัน ทำให้ปริมาณและความเข้มข้นของสารอินทรีย์ดังกล่าวลดลง เช่น ลดระดับของคอเลสเตอรอลและซีรัมที่มีอยู่ในเนื้อเยื่อ จากการศึกษาพบว่าองค์ประกอบทางเคมีจะมีผลต่อการยึดเกาะของสารเหล่านี้ เช่น ลิกนิน เพคติน และโพลีแซคคาไรด์ ที่มีความเป็นกรดจะสามารถดูดซึมกรดน้ำดีได้ดี ส่วนเซลลูโลสสามารถยึดเกาะสารเคมี 1, 2 ไดมethylไฮโดรราซินที่เป็นสารก่อมะเร็งได้ดีกว่าเพคติน จากผลการดูดซับและแลกเปลี่ยนประจุกับสารอื่นๆ ที่มากับอาหารพวกสารพิษและอนุมูลอิสระต่างๆ ทำให้ใยอาหารสามารถดึงเอาสารพิษเหล่านี้ออกจากอาหารรวมทั้งการที่ใยอาหารสามารถลดความหนืดของกากอาหารในลำไส้ด้วย จึงทำให้ลดโอกาสที่สารก่อมะเร็งเหล่านี้จะสัมผัสกับผนังลำไส้ได้

3. ความสามารถในการแลกเปลี่ยนประจุบวก

ใยอาหารประเภทโพลีแซคคาไรด์ที่มีหมู่คาร์บอกซีอิสระ ทำให้โมเลกุลมีความเป็นกรด เช่น เพคติน ลิกนิน จะมีความสามารถในการแลกเปลี่ยนประจุบวกกับเกลือแร่และอิเลคโตรไลต์ต่างๆ ดังนั้นเมื่อใยอาหารขับออกจากร่างกาย จึงให้เกลือแร่และอิเลคโตรไลต์ที่เกาะกับโครงสร้างใยอาหารมากเกินไป มันก็อาจไปจับกับเกลือแร่ที่จำเป็นต่อร่างกาย เช่น แคลเซียม แมกนีเซียม ซึ่งมีผลต่อการเจริญของกระดูก เหล็ก และสังกะสี ซึ่งมีผลต่อการเจริญเติบโตของร่างกายได้เหมือนกัน แต่อย่างไรก็ตาม ยังไม่มีการยืนยันที่แน่นอนหรือมีข้อมูลจากการวิจัยที่สนับสนุนในเรื่องของผลเสียที่มีต่อร่างกายหากมีการบริโภคใยอาหารในปริมาณที่มากเกินไปโดยเฉพาะอย่างยิ่งผลเสียที่มีต่อการดูดซึมและการนำไปใช้ของเกลือแร่ต่างๆ ที่เป็นประโยชน์ต่อร่างกาย ซึ่งอาจจะทำให้เป็นการลดการนำเกลือแร่และอิเลคโตรไลต์ไปใช้ ปัจจัยที่มีผลต่อความสามารถนี้ได้แก่สารประกอบไนโตรเจน สารประกอบฟีนอลสารที่เกิดจากการเกิดปฏิกิริยาสีน้ำตาล (Maillard) และวิธีการเตรียมใยอาหาร เป็นต้น

4. ความสามารถในการย่อยสลายด้วยจุลินทรีย์

สมบัติที่สำคัญประการหนึ่งของใยอาหาร คือ ความสามารถในการเป็นสารตั้งต้นหรือเป็นสารอาหารสำหรับจุลินทรีย์ที่อยู่ในลำไส้ใหญ่ การย่อยสลายนี้ขึ้นอยู่กับชนิดของโพลีแซคคาไรด์ โดยที่ความสามารถในการอุ้มน้ำและโครงสร้างของโพลีแซคคาไรด์ มีผลต่ออัตราการย่อยสลาย เช่น เพคติน มิวซีเลจส์ และกัม สามารถย่อยได้ดีในขณะที่เซลลูโลสสามารถย่อยได้เพียงบางส่วนเท่านั้น ผลที่ได้จากการย่อยสลาย คือ กรดไขมันสายสั้น (Short chain fatty acid) ซึ่งจุลินทรีย์สามารถนำไปใช้เป็นแหล่งพลังงานในการเจริญเติบโต และการย่อยสลายนี้จะทำให้สภาพ

ความเป็นกรด-ด่างในลำไส้ใหญ่เปลี่ยนไป โดยจะมีความเป็นกรดมากขึ้นซึ่งจะส่งผลโดยตรงต่อการทำงานของเอนไซม์จากจุลินทรีย์ การทำงานของระบบลำไส้ที่ปกติ เนื่องมาจากการทำงานของจุลินทรีย์นั่นเอง ดังนั้นในอาหารที่รับประทานจึงควรพิจารณาถึงชนิดและองค์ประกอบที่มีอยู่ในอาหารนั้นๆ เช่น ผักกาดขาวและกะหล่ำปลีสามารถย่อยสลายได้ถึงร้อยละ 90 ในขณะที่ข้าวสาลีจะไม่ย่อยสลายและองค์ประกอบที่เป็นเอมิเซลลูโลสมีแนวโน้มที่จะย่อยสลายได้มากกว่าเซลลูโลส

แหล่งของเส้นใยอาหาร

เส้นใยอาหารสามารถพบในอาหารจากพืชเท่านั้น ซึ่งพืชแต่ละชนิดจะมีปริมาณเส้นใยอาหารที่แตกต่างกัน ซึ่งสามารถแบ่งแหล่งของเส้นใยอาหารได้ดังนี้

1. ธัญพืช (cereal) เช่น ข้าวสาลี ข้าวโอ๊ต ข้าวโพด และข้าว เป็นต้น ซึ่งธัญพืชจัดเป็นแหล่งที่ดีของเส้นใยอาหาร โดยเฉพาะธัญพืชที่ไม่ผ่านการขัดสีจะมีปริมาณเส้นใยอาหารมากกว่าธัญพืชที่ผ่านการขัดสี ปริมาณเส้นใยอาหารของธัญพืชแต่ละชนิดจะแตกต่างกันขึ้นอยู่กับกระบวนการแปรรูป

2. พืชตระกูลถั่ว (legumes) เช่น ถั่วเขียว ถั่วแดง ถั่วดำ และถั่วเหลือง เป็นต้น พืชตระกูลถั่วทั้งหลายจัดเป็นแหล่งของอาหารที่มีปริมาณเส้นใยอาหารสูง

3. ผัก (vegetables) ผักเป็นแหล่งที่ดีของเส้นใยอาหาร นอกจากผักต่างชนิดกันจะมีปริมาณเส้นใยอาหารแตกต่างกันแล้ว ยังพบว่าปริมาณเส้นใยอาหารในผักยังขึ้นกับส่วนต่างๆ ของผัก พันธุ์ ฤดูกาล ความแก่อ่อน ปริมาณน้ำในผัก และการแปรรูป

4. ผลไม้ (fruits) ปกติผลไม้มักจะมีปริมาณน้ำและน้ำตาลสูง ส่งผลให้มีปริมาณเส้นใยอาหารต่ำ สามารถเพิ่มปริมาณเส้นใยอาหารในผลไม้ได้โดยใช้กระบวนการกำจัดน้ำ ส่วนต่างๆ ของผลไม้ เช่น เปลือก แคน เมล็ด ฯลฯ เป็นส่วนที่มีปริมาณเส้นใยอาหารสูงและมักเป็นของเหลือจากอุตสาหกรรม ซึ่งถือเป็นแหล่งเส้นใยอาหารที่มีศักยภาพ (ปารีชาติ สักกะทาน, 2540)

ประโยชน์ของใยอาหาร

1. ประโยชน์สำหรับผู้ที่ต้องการลดน้ำหนักตัว

ใยอาหารจากพืชที่มีเพคติน เฮมิเซลลูโลส และกลูโคแมนแนน เป็นองค์ประกอบจะสามารถดูดซึมน้ำได้มาก ดังนั้นผู้รับประทานอาหารที่มีใยอาหารเหล่านี้เป็นส่วนประกอบอาหารจะขยายตัวและเพิ่มปริมาตรในกระเพาะอาหาร จึงทำให้เกิดความรู้สึกว่าอิ่มนานกว่าปกติ ทั้งๆ ที่ปริมาณที่เข้าไปไม่ได้เพิ่มมากกว่าที่เคยรับประทาน

2. ประโยชน์ในการเสริมสร้างระบบการทำงานของลำไส้ในร่างกายมนุษย์

การรับประทานอาหารที่มีกากใยจำนวนมาก จะเป็นการช่วยเพิ่มปริมาตรของกากอาหารในลำไส้ ส่งผลให้ไปกระตุ้นการเคลื่อนไหวของลำไส้ให้ทำงานมากขึ้น ทำให้ความดันในลำไส้ลดลง หลอดเลือดดำที่ผนังลำไส้ไม่โป่งพอง ช่วยป้องกันการเกิดโรคริดสีดวงทวารได้ นอกจากนี้

ยังทำให้กากอาหารที่ผ่านการย่อยมีความนุ่มขึ้น ซึ่งจะเป็นผลดีต่อระบบการดูดซึม การขับถ่าย ตลอดจนการป้องกันและรักษาอาการโรคท้องผูกได้

3. ประโยชน์ทางการแพทย์

เนื่องจากเส้นใยอาหารมีโครงสร้างที่คล้ายกับฟองน้ำและมีประจุไฟฟ้าอยู่ด้วย ดังนั้นจึงสามารถยึดจับกับสารอาหารและน้ำได้ดี ดังนั้นจึงช่วยยับยั้ง ดูดซึม และต้านการเกิดพิษในระบบการย่อยและดูดซึมอาหารได้ นอกจากนี้ยังป้องกันการเกิดโรคหลายชนิด และป้องกันการเกิดโรคมะเร็งในลำไส้ใหญ่ โรคเบาหวาน ตลอดจนป้องกันการเกิดภาวะก้อนนิ่วในระบบทางเดินอาหารได้ เป็นต้น

4. เส้นใยอาหารต่อระบบเมแทบอลิซึมของร่างกาย (ปีนมณี ขวัญเมือง, 2547)

นอกเหนือจากประโยชน์ของเส้นใยอาหารในการช่วยทำให้ระบบขับถ่ายสะดวกขึ้นและช่วยป้องกันการเกิดมะเร็งในลำไส้แล้ว ประโยชน์ที่สำคัญอีกประการหนึ่ง คือ ความสำคัญต่อระบบเมแทบอลิซึมของสารอาหารในร่างกาย ได้แก่ ระบบเมแทบอลิซึมของคาร์โบไฮเดรต ไขมัน กลีเซอรอล และวิตามิน

- ระบบเมแทบอลิซึมของไขมัน

มีการศึกษาโดย Gore และคณะ (1994) อ้างถึงใน ปีนมณี ขวัญเมือง (2547) รายงานว่า เส้นใยที่ละลายน้ำมีศักยภาพต่อการลดระดับของคอเลสเตอรอลทั้งหมดและลด low density lipoprotein cholesterol ในเลือดการดูดซึมกรดเกลือของเส้นใยทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงเมแทบอลิซึมของคอเลสเตอรอล ทำให้เกิดการสูญเสียคอเลสเตอรอลออกจากร่างกายโดยขั้นแรกเพิ่มการขับกรดเกลือทำให้การสังเคราะห์กรดเกลือจากคอเลสเตอรอลเพิ่มขึ้น จากนั้นกรดเกลือที่ไม่สามารถใช้ประโยชน์ได้ในลำไส้จะเกิดเป็นไมเซลล์ ซึ่งไมเซลล์จะไปยับยั้งการดูดซึมไขมันและคอเลสเตอรอล นอกจากนี้เส้นใยจากข้าวบาร์เลย์ และซูการ์บีท จะสามารถเพิ่มปริมาณของอุจจาระได้ ทำให้กรดเกลือในลำไส้เจือจางลง นอกจากนี้แบคทีเรียที่อยู่ในลำไส้จะย่อยเส้นใยอาหารเป็น short chain fatty acid (SCFA) ซึ่งมีคุณสมบัติยับยั้งการสังเคราะห์คอเลสเตอรอลได้

- ระบบเมแทบอลิซึมของคาร์โบไฮเดรต

ในส่วนของเส้นใยที่ละลายน้ำและอาหารเส้นใยที่มีความหนืดสูง มีศักยภาพในการดูดซึมกลูโคสและคอเลสเตอรอล จึงช่วยลดระดับของคอเลสเตอรอลหลังอาหารได้ดี

- คุณสมบัติของเส้นใยอาหารต่อการใช้ประโยชน์ทางชีวภาพของแร่ธาตุ

ในอาหารเมื่อผ่านการย่อยจะถูกดูดซึมไปใช้ประโยชน์ต่อร่างกาย การดูดซึมแร่ธาตุไปใช้ประโยชน์ ขึ้นอยู่กับปัจจัยภายนอกและปัจจัยภายใน และการใช้ประโยชน์ของแร่ธาตุ

บางประการขึ้นอยู่กับเส้นใยอาหาร โดยมีการศึกษาที่ค้นพบว่าเส้นใยมีผลต่อการยับยั้งการดูดซึมธาตุเหล็กและสังกะสี เนื่องจากว่าในเส้นใยมีองค์ประกอบของไฟเทต (phytate) อยู่ด้วย ดังนั้นแนวทางแก้ปัญหาส่วนนี้ทำได้โดยการกำจัดไฟเทตออกจากเส้นใยในระหว่างกระบวนการแปรรูป ซึ่งจะช่วยให้ร่างกายมีการดูดซึมธาตุเหล็กสังกะสีและแคลเซียมไปใช้ประโยชน์ได้มากขึ้น

- คุณสมบัติของเส้นใยต่อการใช้ประโยชน์ทางชีวภาพของวิตามิน

อาหารส่วนใหญ่ที่บริโภคมักจะช่วยให้มีการดูดซึมวิตามินได้ดี เช่น อาหารประเภทไขมัน ช่วยวิตามินเอ ดี อี เค เป็นประโยชน์ต่อร่างกายได้มากขึ้น วิตามินบางชนิดช่วยกระตุ้นการทำงานของเอนไซม์และช่วยขับน้ำดีออกมาช่วยในระบบการย่อยอาหาร แต่อาหารบางชนิดมีองค์ประกอบที่ขัดขวางการใช้ประโยชน์ของวิตามิน เช่น proteinase inhibitors ที่พบในผักและผลไม้สดบางชนิด มีผลต่อการดูดซึมวิตามิน โดยทำหน้าที่เป็นตัวลดการดูดซึมกรดเกลือแบบ reabsorption อาหารที่มีเส้นใยบางชนิดอาจยับยั้งหรือทำลายวิตามินดีและทำให้ร่างกายเกิดภาวะวิตามินดีต่ำได้ซึ่งพบได้ในอาหารมังสวิรัต

การใช้ใยอาหารในผลิตภัณฑ์อาหาร

ในทางกฎหมายเซลลูโลสผงได้รับอนุญาตจากองค์การร่วมทางเศรษฐกิจแห่งยุโรป (EEC) ให้ใช้เป็นส่วนประกอบของอาหารได้ตั้งแต่ปี ค.ศ. 1993 และได้รับการรับรองจากองค์การอนามัยโลก (WHO) และองค์การอาหารและเกษตรแห่งสหประชาชาติ (FAO) ให้ใช้เป็นสารเติมแต่งได้ในอาหารบางชนิด ในทวีปยุโรปและอเมริกาได้มีการนำเซลลูโลสผงมาใช้เป็นองค์ประกอบของอาหารเพื่อสุขภาพ และในผลิตภัณฑ์เค้ก คุกกี้ เนยเทียม พาสต้า และซูปต่างๆ (วิภา สุโรจนะเมธกุล และคณะ, 2541)

ปัจจุบันผู้บริโภคตระหนักถึงความสำคัญของใยอาหารที่มีต่อสุขภาพมากขึ้น Vetter (1984) กล่าวว่า การเพิ่มใยอาหารในผลิตภัณฑ์ทำโดยการเติมเซลลูโลสผงหรือธัญพืชและสามารถทำได้ในอาหารจำพวกขนมอบ อาหารเช้า (breakfast cereal) และขนมขบเคี้ยว การเพิ่มใยอาหารในปริมาณมากจะทำให้มีค่าใช้จ่ายสูง อาจมีผลกระทบต่อกระบวนการผลิตและคุณสมบัติของผลิตภัณฑ์ที่ได้ Pomeranz (1977) กล่าวว่า การเพิ่มใยอาหารในผลิตภัณฑ์ขนมอบที่ระดับมากกว่าร้อยละ 7 จะมีผลให้ปริมาตรของผลิตภัณฑ์ลดลง ทั้งนี้เป็นเพราะสัดส่วนของกลูเตนมีปริมาณน้อยลง ดังนั้น ในการเลือกชนิดของใยอาหารจึงควรเลือกชนิดที่มีปริมาณ Total Dietary Fiber (TDF) สูงๆ เพื่อให้ผลิตภัณฑ์มีปริมาณใยอาหารในระดับที่ต้องการ โดยมีการเติมสารที่ให้ใยอาหารลงไปปริมาณน้อยที่สุด

ด้วยเหตุนี้เซลลูโลสผงจึงเป็นสารที่ได้รับความนิยมมากชนิดหนึ่ง เนื่องจากมีปริมาณ TDF สูงมาก การเติมเซลลูโลสลงในขนมอบไม่เพียงแต่เพิ่มปริมาณใยอาหาร ยังลดปริมาณแคลอรีลงด้วย (Bry and Zabik, 1976)

1. การใช้เซลลูโลสผงเพื่อปรับปรุงคุณภาพของผลิตภัณฑ์ขนมอบ

ผลิตภัณฑ์ขนมอบมีความเหมาะสมที่จะใช้เป็นตัวกลางในการทดลองเติมใยอาหารจากแหล่งต่างๆ เพื่อศึกษาผลของใยอาหารต่อคุณภาพของผลิตภัณฑ์ (วิภา สุโรจนะเมธกุลและคณะ, 2542) Mcconnell et al. (1974) กล่าวว่า การเติมเซลลูโลสผงในผลิตภัณฑ์ขนมอบนั้น จะช่วยเพิ่มปริมาณผลผลิต (yield) ให้กับผลิตภัณฑ์ เพิ่มอายุการเก็บรักษาและลดการสูญเสียความชื้นระหว่างการเก็บเพราะว่าเซลลูโลสมีคุณสมบัติในการอุ้มน้ำ ซึ่งเป็นคุณสมบัติที่สำคัญที่ผลิตภัณฑ์ขนมอบต้องมี

2. การใช้เซลลูโลสเพื่อเพิ่มปริมาตรเค้ก

เซลลูโลสผงทำให้ส่วนผสมเหลวของแป้งมีความหนืดเพิ่มขึ้น เพราะเซลลูโลสมีคุณสมบัติที่ไม่ละลายน้ำ จึงทำให้ส่วนผสมมีปริมาณของแข็งต่อปริมาตรเพิ่มขึ้น ส่งผลให้เกิดความเสียดทานภายในของเหลว สาเหตุที่ทำให้เกิดโครงสร้างเก็บกักก๊าซที่แข็งแรงขึ้น เนื่องจากผนังฟองอากาศมีความแข็งแรงมากขึ้น ทำให้ฟองอากาศไม่เกิดการรวมตัวกันเป็นฟองอากาศขนาดใหญ่และลอยขึ้นสู่ผิวหน้าของส่วนผสมเหลว ผลิตภัณฑ์ที่ได้จึงมีฟองละเอียด มีปริมาตรและความคงตัวมากขึ้น Ang and Miller (1989) กล่าวว่า การเติมเซลลูโลสผงมากกว่าร้อยละ 4 ของส่วนผสมเหลวเซลลูโลสผงจะไปขัดขวางการเกิดฟองอากาศมากกว่าจะทำให้ฟองอากาศเสถียร

3. การใช้เซลลูโลสผงเพื่อปรับปรุงเนื้อสัมผัสของเค้ก

Ang and Miller (1989) ได้ทดลองเติมผงเซลลูโลสลงในเค้ก เพื่อศึกษาลักษณะเนื้อสัมผัสด้วยเครื่องวัดเนื้อสัมผัส (Instron) พบว่าเค้กที่เติมเซลลูโลสในระดับที่ต่ำกว่าจะมีเนื้อแข็งกว่า เนื่องจากเซลลูโลสมีขนาดเส้นใยยาวจะทำให้เค้กมีเนื้อนุ่ม และพบว่าการเติมเซลลูโลสผง ที่ระดับร้อยละ 2-4 จะช่วยปรับปรุงคุณภาพด้านเนื้อสัมผัสของเค้กให้ดีขึ้น ซึ่งจะมีผลต่ออายุการเก็บรักษา ลักษณะปรากฏของเค้กและความสูญเสียจากการแตกของเค้ก เค้กที่เติมเซลลูโลสผงจะมีความชื้นสูงกว่า เนื่องจากเซลลูโลสมีคุณสมบัติในการอุ้มน้ำ ทำให้เค้กมีความชุ่มชื้นและสามารถเก็บได้นานโดยไม่แห้งแข็ง

4. การใช้เซลลูโลสผงเป็น noncaloric bulking agent

จุฬาลักษณ์ วงศ์สรรเสริญ และคณะ (2544) กล่าวว่า เซลลูโลสผงถูกนำไปใช้เป็น bulking agent ในอาหารหลายชนิด เช่น ผลิตภัณฑ์เนื้อ เครื่องดื่ม น้ำสลัด โดยเฉพาะในผลิตภัณฑ์ขนมอบ และผลิตภัณฑ์ที่ทำจากธัญชาติชนิดต่างๆ เพราะเซลลูโลสผงไม่ให้พลังงานและมีความสามารถในการอุ้มน้ำได้ดี จึงสามารถใช้เป็น bulking agent ทดแทนไขมันในผลิตภัณฑ์ขนมอบไขมันต่ำได้ โดยที่ไม่ทำให้คุณสมบัติผลิตภัณฑ์เปลี่ยนแปลงไปมากนัก

5. การใช้เซลลูโลสผงในอาหารทอด

เซลลูโลสผงมีความสามารถในการอุ้มน้ำได้ดี ส่งผลให้มีการสูญเสียน้ำออกไประหว่างการทอดลดลง ปริมาณน้ำมันที่เข้ามาแทนที่ในช่องว่างที่เกิดขึ้นจึงลดลงด้วย

การทำแห้งอาหาร

การทำแห้งหรือการกำจัดน้ำ (drying) หมายถึง การใช้ความร้อนภายใต้สภาวะควบคุมเพื่อกำจัดน้ำส่วนใหญ่ที่อยู่ในอาหาร โดยการระเหยน้ำหรือการระเหิดของแข็ง วัตถุประสงค์ของการกำจัดน้ำคือ การลดความชื้นของอาหารจนถึงระดับที่สามารถระงับการเจริญเติบโตของจุลินทรีย์ได้ มีผลทำให้เก็บอาหารไว้ได้นาน ประโยชน์ของการผลิตผลไม้แห้งหรือน้ำผลไม้แห้ง คือ ป้องกันการเน่าเสียจากจุลินทรีย์ ปฏิกิริยาเคมีและเอนไซม์ ทำให้มีใช้ในนอกฤดูปลูกและแหล่งห่างไกล สามารถเก็บได้นานที่อุณหภูมิห้องทำให้ประหยัดพลังงาน และยังเป็น การลดน้ำหนักอาหาร ทำให้สะดวกในการเก็บและการขนส่ง

กลไกการทำแห้ง

เมื่ออากาศหรือลมร้อนพัดผ่านผิวหน้าอาหารที่เปียก ความร้อนจะถูกถ่ายเทไปยัง

ผิวของอาหารและน้ำในอาหารจะระเหยออกมาด้วยความร้อนแฝงของการเกิดไอ ไอน้ำจะแพร่ผ่าน

ฟิล์มอากาศและถูกพัดพาไปโดยลมร้อนที่เคลื่อนที่ สภาวะดังกล่าวจะทำให้ความดันไอที่ผิวหน้าของอาหารต่ำกว่าความดันไอด้านในของอาหารเป็นผลให้เกิดความแตกต่างของความดันไอขึ้น อาหารชั้นด้านในจะมีความดันไอสูงและค่อยๆ ลดต่ำลง เมื่อชั้นอาหารเข้าใกล้อากาศแห้ง ความแตกต่างนี้ทำให้เกิดแรงดันเพื่อไล่น้ำออกจากอาหาร น้ำจะเคลื่อนที่ไปยังผิวหน้าด้วยกลไกดังต่อไปนี้

1. การเคลื่อนที่ของของเหลวโดยแรงแคปิลารี
2. การแพร่ของของเหลวซึ่งเกิดจากความแตกต่างของความเข้มข้นของตัวละลายในอาหารส่วนต่างๆ
3. การแพร่ของของเหลวซึ่งถูกดูดซับโดยผิวหน้าของของแข็งในอาหาร
4. ความแตกต่างของความดันไอทำให้เกิดการแพร่ของไอน้ำในช่องอากาศของอาหาร

การทำแห้งโดยใช้ลมร้อน

วิธีการทำแห้งด้วยลมร้อน (hot air-drying) เป็นวิธีที่ถูกปรับปรุงขึ้นเพื่อให้มีประสิทธิภาพดีกว่าการใช้แสงอาทิตย์ โดยการใช้อุปกรณ์ช่วยทำให้ผลิตภัณฑ์แห้งตามต้องการและมีความชื้นสม่ำเสมอ ผลิตภัณฑ์ที่อบแห้งโดยวิธีนี้จะมี ความ สะอาดและลดการปนเปื้อนของจุลินทรีย์ได้ดีกว่าการทำแห้งด้วยแสงอาทิตย์แบบเก่า การทำแห้งด้วยลมร้อนที่นิยม คือ การใช้ตู้อบลมร้อน (hot air oven) และตู้อบบนตู้โมงค์ (cabinet dryer) โดยการตากผลิตภัณฑ์ในตู้ขนาดใหญ่ซึ่งมีลมร้อนเป่าผ่าน จึงสามารถระเหยน้ำออกไปกับลมร้อนและปล่อยออกทางช่องระบายลมภายในตู้อบโดยใช้ อุณหภูมิในการอบประมาณ 50-70 องศาเซลเซียส (วิลโลว์ รังสาดทอง, 2545)

การทำแห้งภายใต้สภาวะสุญญากาศ

เป็นเครื่องอบแห้งที่ใช้หลักการของการถ่ายเทมวลของน้ำออกจากวัตถุดิบด้วยความแตกต่างของความดันระหว่างภายในและภายนอกวัตถุดิบ โดยมีหลักการคือ ภายในห้องอบแห้งจะมีการลดความดันให้ต่ำกว่าความดันภายในของวัตถุดิบส่งผลทำให้ปริมาณน้ำในวัตถุดิบเคลื่อนที่ออกมาได้อย่างรวดเร็ว แม้ว่าจะมีการใช้อุณหภูมิอบแห้งต่ำๆ สารอาหารรวมทั้ง กลิ่นรสของวัตถุดิบยังคงถูกเก็บรักษาไว้ได้

การทำแห้งแบบแช่เยือกแข็ง (Freeze dry)

วิธีการทำแห้งแบบแช่เยือกแข็ง เป็นวิธีการขจัดน้ำออกจากอาหารในสภาวะเยือกแข็ง โดยการระเหิดภายใต้ความเป็นสุญญากาศสูงๆ การแช่เยือกแข็งอาจใช้ลมเย็น หรือโดยการจุ่มอาหารลงในคาร์บอนไดออกไซด์เหลวหรือไนโตรเจนเหลวหรือฟร็อน แล้วนำไปทำแห้งในตู้อบภายใต้ความเป็นสุญญากาศสูงๆ (0.1-1.0 มิลลิเมตรปรอท) และให้ความร้อนในระดับที่ทำให้น้ำแข็งเกิดการระเหิดเป็นไอ น้ำ โดยไม่เปลี่ยนเป็นของเหลวก่อน จนอาหารมีความชื้นลดลงเหลือประมาณร้อยละ 2 ข้อดีของกรรมวิธีการทำแห้งแบบนี้ คือ ทำให้ได้อาหารที่มีคุณภาพสูงสุดวิธีหนึ่ง อาหารมีโครงสร้างเป็นรูพรุนทำให้คืนรูปได้เร็ว และลดการสูญเสียของกลิ่นรสเนื่องจากใช้อุณหภูมิต่ำในการผลิต ข้อเสีย คือ ต้องลงทุนสูง จึงเหมาะที่จะใช้กับอาหารที่มีราคาแพง (ประสิทธิ์ อติวีระกุล, 2527)

ทฤษฎีการทอด

เมื่อวางอาหารลงในน้ำมันร้อน อุณหภูมิที่ผิวหน้าของอาหารจะเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็วและน้ำเกิดการระเหยกลายเป็นไอ ผิวหน้าจึงเริ่มแห้ง แนวระนาบการระเหยจะเคลื่อนที่เข้าไปในอาหารและเกิดเปลือกนอกขึ้น อุณหภูมิที่ผิวอาหารจะเพิ่มขึ้นจนเท่ากับอุณหภูมิของน้ำมันร้อน และอุณหภูมิภายในจะเพิ่มขึ้นอย่างช้าๆถึง 100 องศาเซลเซียส ความแตกต่างระหว่างอุณหภูมิของน้ำมันร้อนและ

อาหารและค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนที่ผิวจะเป็นตัวควบคุมการถ่ายเทความร้อน ค่าการนำความร้อนของอาหารเป็นตัวควบคุมอัตราการส่งผ่านความร้อนเข้าไปในอาหาร

เปลือกนอกของอาหารทอดมีลักษณะเป็นรูพรุนซึ่งประกอบด้วยท่อคาปิลารีขนาดต่างๆ น้ำและไอน้ำจะเคลื่อนที่ออกจากคาปิลารีช่องใหญ่ก่อนและถูกแทนที่ด้วยน้ำมันในระหว่างการทอด ความชื้นจะเคลื่อนที่ผ่านผิวอาหารและฟิล์มบางๆ ของน้ำมัน ความหนืดและความเร็วของการเคลื่อนที่ของน้ำมันเป็นตัวกำหนดความหนาของฟิล์มซึ่งมีผลต่ออัตราการถ่ายเทมวลและความร้อน ความแตกต่างของความดันไอระหว่างความชื้นภายในอาหารและน้ำมันจะเป็นตัวขับเคลื่อนความชื้นคล้ายกับในกรณีทำแห้งด้วยลมร้อน

กลไกการดูดซับน้ำมัน (Mellema, 2003)

ในระหว่างการทอด น้ำในอาหารจะเคลื่อนที่มาที่เปลือกนอก (crust) ของอาหารและเปลี่ยนสถานะกลายเป็นไอแล้วเคลื่อนที่ออกจากอาหาร ทำให้เกิดช่องว่างซึ่งน้ำมันสามารถผ่านเข้าไปในอาหารได้ ดังนั้นการดูดซับน้ำมันของอาหารส่วนมากจึงพิจารณาจากปริมาณความชื้นในอาหาร (Lamberg, Hallstrom, & Olesson, 1990; Saguy & Pinthus, 1995) และเพราะว่าน้ำมันจะซึมผ่านอาหารได้ในบริเวณที่มีการระเหยของน้ำนั่นคือที่เปลือกนอก การเกิดเปลือกนอกจึงเป็นสาเหตุหลักที่ทำให้เกิดการดูดซับน้ำมัน (Pinthus, Weinberg, & Saguy, 1995) ในขณะเดียวกันเราสามารถศึกษาการดูดซับน้ำมันโดยทางอ้อมจากค่าความเป็นรูพรุน (porosity) ซึ่งระหว่างการทอด การดูดซับน้ำมันจะแปรผันตรงกับค่าการเป็นรูพรุนและปริมาณความชื้นในอาหาร (moreira, Sun, and Chen, 1997) นอกจากนี้การดูดซับน้ำมันยังเกิดได้ที่บริเวณผิวหน้า (surface) ของอาหาร โดยขึ้นอยู่กับคุณภาพของน้ำมันที่ใช้ทอด หากน้ำมันนั้นมีปริมาณไขมันที่เป็นของแข็ง (solid fat) มากจะทำให้กำจัดออกจากผิวอาหารได้ยาก จากที่กล่าวมาอาจสรุปได้ว่าการดูดซับน้ำมันของอาหารเกิดได้ 2 ส่วนคือที่บริเวณผิวเปลือกนอก และที่ผิวหน้าอาหาร

การลดการดูดซับน้ำมัน

เทคนิคการทอด

เนื่องจากการดูดซับไขมันส่วนใหญ่ของอาหารทอดเกิดขึ้นหลังจากการนำอาหารขึ้นจากน้ำมันที่ใช้ทอด การควบคุมสภาวะหลังจากการทอดจึงมีความสำคัญ การทอดอาหารในอุณหภูมิการทอดที่เหมาะสม พฤติกรรมของผู้บริโภคโดยทั่วไปที่มีการเขย่าและซับน้ำมันส่วนเกินที่ผิวอาหารออกไปหลังจากที่นำอาหารขึ้นจากน้ำมัน ล้วนเป็นปัจจัยสำคัญที่ช่วยลดการดูดซับน้ำมันของอาหารหลังการทอด

ตัวกลางที่ใช้ในการทอด

ถึงแม้ว่าชนิดของตัวกลางที่ใช้ในการทอดจะมีผลต่อการดูดซับน้ำมันของอาหารทอดน้อยมากเมื่อเปรียบเทียบกับเกิดการดูดซับน้ำมันจากกลไกการควบแน่น และการเกิดเปลือกนอก แต่คุณสมบัติของตัวกลาง (เช่น ความหนืด) ที่ใช้ในการทอดก็มีผลต่อกลไกการเกิดแรงดันแบบคาปิลารี และมีผลต่อคุณภาพของอาหารทอด เช่น เนื้อสัมผัสและลักษณะปรากฏ

การเคลือบ (coating and batters)

สารที่ใช้เคลือบอาหารจะทำให้อาหารมีคุณสมบัติต่างๆ ได้แก่ มีปริมาณความชื้นต่ำ มีการเคลื่อนที่ของความชื้นต่ำ สามารถเกิดเจลได้ที่อุณหภูมิสูง (thermogelling) หรือมีการเกิดพันธะเชื่อมข้าม (crosslinks) ซึ่งล้วนเป็นคุณสมบัติหลักในการลดการดูดซับน้ำมันโดยการลดการสูญเสียความชื้น และ/หรือการปรับปรุงโครงสร้างที่ผิวหน้าในระหว่างการทอด ทำให้สารเคลือบที่เป็นโพลีเมอร์ชีวภาพที่นิยมใช้ในทางการค้าคือสารประกอบโพลีแซคคาไรด์ ซึ่งสามารถลดการสูญเสียน้ำออกจากอาหารในระหว่างการทอด จึงช่วยลดการดูดซับน้ำมันได้ สารเคลือบบางชนิดทำให้เกิดความแข็งแรง (firm) โดยทำให้เกิดเจลที่อุณหภูมิสูงหรือการเกิดพันธะเชื่อมข้าม มีผลให้เกิดการระเหยและการแพร่ผ่านของน้ำลดลง และยังทำให้เกิดรูที่มีขนาดใหญ่ จึงช่วยลดการดูดซับน้ำมันเนื่องจากการเกิดแรงดันคาปิลารีได้ ส่วนการเคลือบแบบหนา (thick coating or batter) สามารถทำได้ง่ายและลดปัญหาการเกิดรูรั่วที่มักพบในการเคลือบแบบบาง (thin coatings)

งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

นิธิมา อรรถวานิช. (2544) สกัดใยอาหารผงจากเปลือกส้มเขียวหวาน โดยใช้ใยอาหารผงที่ได้จากการทำแห้งแบบแช่เยือกแข็งและทำแห้งแบบสุญญากาศของเปลือกส้มเขียวหวาน นำมาลดความขมในเปลือกส้มเขียวหวานโดยวิธีการสกัดด้วยน้ำ การสกัดโดยการปรับ pH ตัวอย่าง และการสกัดด้วยเอทานอล ได้ใยอาหารทั้งหมดร้อยละ 76.09 จากนั้นทำการกำจัดองค์ประกอบอื่นๆ ที่ไม่ใช่ใยอาหารออก ทำให้ได้ใยอาหารที่ไม่ละลายน้ำร้อยละ 52.22 ใยอาหารที่ละลายน้ำร้อยละ 23.87 มีปริมาณโปรตีน ไขมัน เถ้า และคาร์โบไฮเดรตเท่ากับ 8.23 4.05 6.78 และ 4.85 นำไปประยุกต์ใช้ในผลิตภัณฑ์เบเกอรี่ เค้กกล้วย ซึ่งจากการทดสอบการยอมรับแล้วได้รับการยอมรับรวมอยู่ในช่วง 6.95 - 7.91

สิทธิรินทร์ ก้อนในเมือง และปราณี อ่านเปรื่อง (2003) สกัดใยอาหารจากหัวกระเทียมพันธุ์ *Allium sativum* โดยการแยกไขมันและแบ่งในหัวกระเทียม โดยใช้สารละลายเอทานอลเข้มข้นร้อยละ 95 ในการกำจัดไขมัน และใช้เอนไซม์แอลฟาอะมัยเลส (Termamyl 120 L) ย่อยสลายแป้ง ซึ่งใยอาหารที่สกัดได้มีปริมาณเส้นใยอาหารที่ละลายน้ำได้ และเส้นใยอาหารทั้งหมด ในปริมาณร้อยละ 28.32 และ 85.77 ตามลำดับ

Prakongpan และคณะ (2002) ศึกษาการสกัดและการประยุกต์ใช้ใยอาหารจากแกนสับปะรด โดยใช้สารละลายเอทานอลเข้มข้นร้อยละ 95 (1:5 w/v) ได้ Pineapple core dietary fiber (PDF) และสกัดเซลลูโลส ได้เป็น Pineapple core cellulose (PC) โดยใช้สารแอลคาลอยด์ จากนั้นนำสารที่สกัดได้ไปผ่านกระบวนการฟอกสี (Bleaching process) จากการสกัดด้วยสารดังกล่าวข้างต้นได้ปริมาณ Dietary fiber 99.8% และ 95.2% ของน้ำหนักแห้ง ตามลำดับศึกษาคุณสมบัติทางเคมีและกายภาพและนำไปประยุกต์ใช้ในผลิตภัณฑ์โดนัทเค้ก เค้ก และผลิตภัณฑ์จากเนื้อสัตว์ จากการทดสอบประสาทสัมผัสคะแนนการยอมรับอยู่ในเกณฑ์ดี

ฉันทนา นันทิวัฒนวงศ์ (2537) ศึกษาการลดการอมน้ำมันในแป้งชูบทอดและโดนัท โดยใช้เซลลูโลสจากกากอ้อยและเซลลูโลสทางการค้า (Solka floc^R และ Methocel^R) โดยเลือกชนิดและปริมาณเซลลูโลสที่เหมาะสมที่สุด และหาสภาวะที่เหมาะสมของแต่ละผลิตภัณฑ์ จากผลการทดลองพบว่า ผลิตภัณฑ์แป้งชูบทอดที่ใช้ Methocel ร้อยละ 2 โดยน้ำหนักแป้งผสมทั้งหมด ทอดที่อุณหภูมิ 195 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 1.5 นาที สามารถลดการอมน้ำมันได้ร้อยละ 20 โดยน้ำหนักแห้ง เมื่อเปรียบเทียบกับผลิตภัณฑ์ต้นแบบ

Khalil (1999) ศึกษาคุณภาพของเฟรนช์ฟรายที่เคลือบด้วยสารไฮโดรคอลลอยด์ชนิดต่างๆ คือ โซเดียมแอลจีเนต เพกติน และคาร์บอกซีเมทิลเซลลูโลส โดยเคลือบสารชั้นเดียวและสองชั้น

พบว่า เฟรนช์ฟรายที่เคลือบด้วยคาร์บอกซีเมทิลเซลลูโลสร้อยละ 1.5 สองชั้น มีประสิทธิภาพในการลดการอมน้ำมันได้ดีกว่าการเคลือบด้วยเพกตินและโซเดียมแอลจีเนต โดยสามารถลดการอมน้ำมันได้ถึงร้อยละ 54 นอกจากนี้การเคลือบเฟรนช์ฟรายด้วยสารไฮโดรคอลลอยด์สองชั้นพบว่าสามารถเก็บความชื้นและมีโครงสร้างที่แข็งแรงมากกว่าการเคลือบด้วยสารไฮโดรคอลลอยด์ชั้นเดียว

Garcia และคณะ (2002) ศึกษาการใช้ฟิล์มที่ผลิตจากเมทิลเซลลูโลส(Methylcellulose) และไฮดรอกซีโพรพิลเมทิลเซลลูโลส (Hydroxypropylmethylcellulose) เคลือบมันฝรั่งแห้งและโดขนมปัง (Dough discs) ก่อนนำไปทอดเพื่อลดการอมน้ำมันในผลิตภัณฑ์ จากผลการทดลองพบว่า เมทิลเซลลูโลส มีประสิทธิภาพในการลดการอมน้ำมันได้ดีกว่าไฮดรอกซีโพรพิลเมทิลเซลลูโลส และภาวะที่เหมาะสมในการผลิตฟิล์มที่ใช้เคลือบมันฝรั่งแห้งและโดขนมปังคือ ใช้เมทิลเซลลูโลสร้อยละ 0.5 และ 0.75 ตามลำดับ ซึ่งการเคลือบฟิล์มสามารถลดการอมน้ำมันในมันฝรั่งทอดและโดขนมปังได้ร้อยละ 40.6 และ 35.2 ตามลำดับ เมื่อเปรียบเทียบกับตัวอย่างที่ไม่เคลือบฟิล์ม นอกจากนี้การเคลือบฟิล์มยังทำให้มันฝรั่งทอดและขนมอบมีปริมาตรความชื้นที่เพิ่มขึ้นร้อยละ 6.3 และ 25.7 ตามลำดับ

Wongmetinee (2007) ศึกษาการสกัดโยอาหารผงจากกากตะไคร้ที่เหลือทิ้งจากการสกัดสารสำคัญในอุตสาหกรรม พบว่า การผลิตโยอาหารจากกากตะไคร้ด้วยวิธีการผลิตโดยใช้สารละลายไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ในสภาวะต่าง (AHP method) โดยใช้กากตะไคร้ต่อสารละลายไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์เข้มข้น 2.1 โมลาร์ ที่อัตราส่วน 1: 20 ในสภาวะต่าง (pH 9.0) อุณหภูมิ 87-93 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 2 ชั่วโมง เป็นวิธีที่เหมาะสมต่อการผลิตโยอาหารจากกากตะไคร้ เมื่อเปรียบเทียบกับวิธีการสกัดด้วยเอทานอลร่วมกับการฟอกสี

Abdel-Aal and Sosulski (2001) ศึกษาการสกัดโยอาหารจากกากข้าวสาลีด้วยวิธี AHP method พบว่า วิธีการสกัดโยอาหารด้วยวิธี AHP method ให้ผลดีในการแยกโยอาหารจากกากข้าวสาลี และยังช่วยปรับปรุงสมบัติของโยอาหารในด้านสี คือ ช่วยทำให้สีของโยอาหารอ่อนลง และสมบัติเชิงหน้าที่โดยทำให้ความสามารถในการอุ้มน้ำและอุ้มน้ำมันสูงขึ้น และทำให้มีกลิ่นที่มีความคงตัวมากขึ้น

Larrauri และคณะ (1996) ศึกษากระบวนการเตรียมและลักษณะของโยอาหารจากเปลือกมะม่วงที่เป็นวัสดุเหลือจากกระบวนการผลิตไซรัป นำมาไม่เปียก ล้างและทำให้แห้ง ได้โยอาหารที่มีโยอาหารที่ละลายน้ำได้ 281 กรัม/กก. และมีประสิทธิภาพในการอุ้มน้ำสูง 11.4 กรัมต่อกรัมน้ำหนักแห้ง ซึ่งจัดว่าเปลือกมะม่วงเป็นแหล่งของโยอาหารที่ดี

Tran et al. (2008) ได้ทำการศึกษาระบวนการผลิตฟักข้าวผงโดยใช้เทคนิคในการทำแห้งที่แตกต่างกัน ได้แก่ การใช้ตู้อบที่อุณหภูมิ 60°C (oven dryer) การใช้ตู้อบภายใต้สภาวะสุญญากาศที่อุณหภูมิ 55°C (vacuum dryer) การทำแห้งโดยใช้ freeze dryer และการทำแห้งแบบพ่นฝอย (spray dryer) จากนั้นนำผงฟักข้าวที่ได้มาตรวจวัดคุณภาพทางเคมีและกายภาพ พบว่า การทำแห้งโดยใช้ freeze dryer ให้ผงฟักข้าวที่มีความสว่างมากที่สุดและมีปริมาณแคโรทีนอยด์สูงที่สุด โดยปริมาณแคโรทีนอยด์ของผงฟักข้าวที่ผ่านการทำแห้งด้วยวิธีการแตกต่างกัน

Marina et al. (2012) ศึกษาการอบแห้งเปลือกและกากลูกพีช (peach) เพื่อใช้เป็นแหล่งใยอาหาร โดยทำการแช่ด้วย 96%(v/v) เอทานอลร้อน เป็นเวลา 15 นาที และกวนผสมตลอดเวลา จากนั้นแยกส่วนเอทานอลออก นำส่วนเปลือกและกากมาอบแห้งด้วยตู้อบลมร้อนที่ 30°C เป็นเวลา 7 ชั่วโมง และอีกส่วนนำมาทำแห้งแบบแช่เยือกแข็งด้วยไนโตรเจนเหลว ก่อนนำตัวอย่างมาบดและร่อนผ่านตะแกรงขนาด 40 mesh จากการศึกษาพบว่าส่วนเปลือกจะมีสารประกอบฟีนอลิกสูงกว่าและมีความสามารถในการจับกับน้ำได้ดีกว่าส่วนกาก ส่วนการทำแห้งด้วยตู้อบลมร้อนจะให้ใยอาหารที่มีการอุ้มน้ำมันได้ต่ำกว่าใยอาหารที่ทำแห้งแบบแช่เยือกแข็ง

Thitileadecha et al. (2008) พบว่าเปลือกเงาะที่สกัดด้วยเมทานอลมีคุณสมบัติต้านอนุมูลอิสระและการยับยั้งจุลินทรีย์ที่ก่อให้เกิดโรคได้ โดยสารประกอบฟีนอลิกที่พบในส่วนเปลือกนี้มีสูงถึง 542.2 mg/g dry extract เมื่อทดสอบการต้านอนุมูลอิสระพบว่ามีความสามารถในการยับยั้งอนุมูลอิสระ DPPH และลิวโปอีออกซิเดชันได้ดีกว่า BHT

Palanisamy et al (2008) พบว่าเปลือกเงาะที่สกัดด้วยเอทานอลมีสารประกอบฟีนอลิก 762 mg GAE/g extract ซึ่งเทียบเท่ากับสารสกัดจากเมล็ดองุ่นทางการค้า และเมื่อทดสอบความเป็นพิษต่อเซลล์สัตว์ทดลองพบว่า สารสกัดจากเปลือกเงาะมีความปลอดภัยสามารถนำมาใช้เป็น nutraceutical ได้

Khonkarn et al (2010) พบว่าสารสกัดจากเปลือกเงาะมีความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระ เมื่อตรวจวัดโดยวิธี ABTS และ FRAP ได้ดีกว่า BHT และวิตามินอี ทั้งนี้ส่วนสกัดด้วย ethyl acetate มีปริมาณสารประกอบฟีนอลิกสูงสุด

Sun et al (2010) ทำการสกัดเปลือกเงาะด้วย 80% เอทานอลผสมกับ 1% กรดอะซิติก พบว่ามีแอนโธไซยานิน 181.3 mg/100g เปลือกสด และสารสกัดนี้มีประสิทธิภาพการต้านอนุมูลอิสระได้ดี จึงเหมาะสำหรับนำมาใช้เป็นส่วนผสมที่มีประโยชน์ต่อสุขภาพ

Palanisamy et al (2011) พบว่า geraniin ซึ่งเป็นสารสกัดจากเปลือกเงาะมีคุณสมบัติในการลดระดับน้ำตาลในเลือด ซึ่งมีประสิทธิภาพดีเทียบเท่ากับสารที่โดยทั่วไปที่สามารถใช้ลดระดับน้ำตาลในเลือดได้ดี เช่น acarbose, quercetin และ green tea

Thitileadecha and Rakariyatham. (2011) ศึกษาสารประกอบฟีนอลิกในเงาะ 2 สายพันธุ์คือ เงาะโรงเรียน และเงาะสีชมพู พบว่าในเปลือกเงาะทั้ง 2 สายพันธุ์จะมีสารประกอบฟีนอลิกต่ำในผลดิบ และมีค่าเพิ่มมากขึ้นในผลโตเต็มที่ โดยปริมาณสูงสุดที่พบคือ 1653 และ 733 mg/fruit ในเงาะพันธุ์โรงเรียนและสีชมพูตามลำดับ และสารสำคัญที่พบและให้ฤทธิ์ทางชีวภาพ คือ ellagic acid, corilagin และ geraniin

Toma et al. (1979) ศึกษาการใช้ใยอาหารจากเปลือกมันฝรั่งและรำข้าวในขนมปัง พบว่าใยอาหารจะช่วยปรับปรุงการอุ้มน้ำของแป้งให้ดีขึ้น และผลิตภัณฑ์มีเกลือแร่เพิ่มมากขึ้น อย่างไรก็ตามการเติมใยอาหารจะลดปริมาณของขนมปังและเพิ่มความแน่นเนื้อของขนมปัง (Hu et al., 2009) นอกจากนี้ Sudha et al. (2007) ศึกษาการใช้กากแอปเปิ้ลทดแทนแป้งสาลีในผลิตภัณฑ์เค้ก พบว่าสามารถทดแทนได้ถึงร้อยละ 25 และให้ผลิตภัณฑ์ที่มีกลิ่นรสตามธรรมชาติจากแอปเปิ้ล เป็นที่ยอมรับของผู้บริโภค

บทที่ 3

วิธีดำเนินการวิจัย

วัตถุดิบ

1. เปลือกเงาะสด พันธุ์โรงเรียน จากสวนสุภัทราแลนด์, ระยอง
2. แป้งสาลี ตรากบ บริษัท อุตสาหกรรมแป้งสาลีไทย จำกัด, สมุทรปราการ
3. แป้งข้าวโพด ตราคอนอร์ บริษัท ยูนิลีเวอร์ไทยโฮลดิ้งส์ จำกัด, ฉะเชิงเทรา
4. แป้งข้าวเจ้า ตราแฮปปี้บาท บริษัท บางกอกอินเตอร์ฟู้ด จำกัด, นครปฐม
5. เกลือบรีโกล ตรารุ่งทิพย์ บริษัท สหพัฒนพิบูล จำกัด (มหาชน), นครราชสีมา
6. ผงฟูดับเบิลแอ็คชั่น ตราริมพีเรียล บริษัท ยูไนเต็ทแคร์ฟู้ดส์ จำกัด, กรุงเทพฯ
7. พริกไทยป่น ตราจันทร์, กรุงเทพฯ
8. น้ำมันปาล์ม ตราทับทิม บริษัท สุขสมบูรณ์น้ำมันพืช จำกัด, ชลบุรี

วัสดุอุปกรณ์และสารเคมี

1. Methanol (Analytical grade, Dae Jung, Dae Jung chemicals & metals Co., Ltd, Korea)
2. Hydrochloric acid (Analytical grade, Univar, Ajax Finechem Pty Ltd, New Zealand)
3. Petroleum ether (Analytical grade, J.T. Baker, U.S.A.)
4. Acetic acid (Analytical grade, J.T. Baker, China)
5. Acetone (Analytical grade, Burdick&Jackson, SK. Chemicals, Korea)
6. DPPH (Sigma-Aldrich, U.S.A.)
7. Enzyme amyloglucosidase (A 9913, Sigma-Aldrich, U.S.A.)
8. Enzyme protease (P 3910, Sigma-Aldrich, U.S.A.)
9. Enzyme α -amylase (A 3306, Sigma-Aldrich, U.S.A.)
10. Ethanol (commercial grade)
11. Folin-ciocalteu (Analytical grade, Carlo Erba Reagenti, Saudi Arabia)
12. Gallic acid (Analytical grade, Fluka, Spain)
13. Hydrochloric acid (Analytical grade, Univar, Ajax Finechem Pty Ltd, New Zealand)

14. Potassium chloride (Analytical grade, Qrec, New Zealand)
15. Sodium acetate (Analytical grade, Carlo Erba Reagenti, Saudi Arabia)
16. Sodium carbonate (Analytical grade, Univar, Ajax Finechem Pty Ltd, New Zealand)
17. Sodium hydroxide (Analytical grade, Univar, Ajax Finechem Pty Ltd, New Zealand)
18. Trolox (Sigma-Aldrich, U.S.A.)
- 19.- Autopipette (Pipet-Lite XLS, Rainin, Mettler Toledo, Switzerland)
20. เครื่องกวนสารละลายพร้อมเตาให้ความร้อน (MSH-20D, Daihan Scientific Co.,Ltd., Korea)
21. เครื่องเขย่า (Hotech 902, Gallenkamp, บริษัท ไทยโพลีเมติก จำกัด, ประเทศไทย)
22. เครื่องชั่งทศนิยม 4 ตำแหน่ง (ML204/01, Mettler Toledo, Switzerland)
23. เครื่องชั่งทศนิยม 2 ตำแหน่ง (Zepper)
24. เครื่องชั่งวิเคราะห์ความละเอียด 5 ตำแหน่ง (MS105DU, Mettler Toledo, Switzerland)
25. เครื่องเซนตริฟิวส์ (Sorvall Legend XTR, Thermo Electron LED GmbH, Germany)
26. เครื่องผสมสารละลาย (G560E, Ginie2, U.S.A.)
27. เครื่องวัด pH (Five Easy plus, Mettler Toledo, Switzerland)
28. เครื่องวิเคราะห์การดูดกลืนแสงในไมโครเพลท (Multiskan Go, Thermo scientific,
29. N.Y.R.Limited partnership, United Kingdom)
30. เครื่องวิเคราะห์เนื้อสัมผัส (TA-XT plus, United Kingdom)
31. เตาเผาอุณหภูมิสูง (Carbolite, England)
32. อ่างน้ำควบคุมอุณหภูมิ (M-LAB, Metrology Technical Co., Ltd, ประเทศไทย)
33. อุปกรณ์เครื่องแก้ว

วิธีดำเนินการวิจัย

ตอนที่ 1 การสกัดใยอาหารจากเปลือกเงาะแบบง่ายและการประยุกต์ใช้เป็นสารเสริมใยอาหารในผลิตภัณฑ์ขนมปัง

1.1 การเตรียมตัวอย่างผงใยอาหารจากเปลือกเงาะ

นำตัวอย่างเปลือกเงาะ มาล้างทำความสะอาดและลวกในน้ำเดือด เป็นเวลา 5 นาทีเพื่อยับยั้งเอนไซม์ที่ทำให้เกิดสีน้ำตาล จากนั้นทำให้เย็นลงอย่างรวดเร็วในน้ำเย็น นำมาบดหยาบด้วยเครื่องบดความเร็วสูง จากนั้นแบ่งตัวอย่างเป็น 2 ชุด ชุดแรกใช้การทำแห้งด้วยตู้อบลมร้อน ทำได้โดยนำเปลือกเงาะบดหยาบมาอบแห้งที่อุณหภูมิ 45 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 6 ชั่วโมง ส่วนตัวอย่างอีกชุด นำเปลือกเงาะบดหยาบมาทำแห้งแบบแช่เยือกแข็ง จากนั้นนำตัวอย่างแต่ละชุดมาบดและร่อนผ่านตะแกรง 100 mesh บรรจุใส่ถุงพอยล์แล้วทำการปิดผนึก ทำการเก็บรักษาที่อุณหภูมิ -18 องศาเซลเซียส สำหรับศึกษาคุณสมบัติเคมีกายภาพ และคุณสมบัติเชิงหน้าที่ของใยอาหารจากเปลือกเงาะ

1.2 การศึกษาคุณสมบัติเคมีกายภาพ และคุณสมบัติเชิงหน้าที่ของผงเปลือกเงาะ

1.2.1 ค่าสี

วัดโดยใช้เครื่อง Hunter colorimeter รุ่น colorFlex EZ ซึ่งจะแสดง 3 ค่า คือ L^* a^* และ b^* โดยที่ $L^*=100$ (สว่างสุด) $L^*=0$ (มืด) $+a^*$ =สีแดง $-a^*$ =สีเขียว และ $+b^*$ =สีเหลือง $-b^*$ =สีน้ำเงิน

1.2.2 Bulk density (ดัดแปลงจาก Escalada *et al.*, 2012)

วัดโดยการเทตัวอย่างลงในกระบอกตวงขนาด 5 มิลลิลิตร โดยใส่ให้ถึงขีดปริมาตร 5 มิลลิลิตรและหลีกเลี่ยงการเขย่าเพื่อป้องกันการอัดแน่น จากนั้นนำตัวอย่างที่ได้ไปชั่งน้ำหนักและบันทึกน้ำหนักตัวอย่าง

$$\text{Bulk density (g/ml)} = \frac{\text{น้ำหนักตัวอย่าง}}{\text{ปริมาตรตัวอย่าง}}$$

1.2.3 การศึกษาลักษณะโครงสร้างภายนอกของใยอาหารด้วยกล้องจุลทรรศน์ SEM (Scanning electron microscope)

นำกาวสองหน้าตัดเป็นสี่เหลี่ยม แปะลงบนจานโลหะ ตามจำนวนตัวอย่างที่ต้องการศึกษา นำตัวอย่างโรยให้กระจายลงบนแผ่นกาวสองหน้าที่แปะไว้ จากนั้นนำไป coat ด้วยทองคำด้วยเครื่อง sputter coating unit (E-1010 ion sputter, Hitachi, Japan) เป็นเวลา 60 วินาที จากนั้นนำจานโลหะตัวอย่างใส่เข้าไปในเครื่องกล้องจุลทรรศน์ SEM (S-3400N SEM, Hitachi, Hitachi High Technologies, Japan) ส่องผ่านกล้อง SEM โดยใช้กำลังขยาย 1500 เท่า บันทึกภาพ

1.2.4 การวิเคราะห์ปริมาณความชื้น (AOAC, 1990)

ชั่งตัวอย่าง 2 กรัม ใส่ถ้วยอลูมิเนียมที่รู้น้ำหนักแน่นอน นำไปอบที่ 105 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 5-6 ชั่วโมง นำออกจากตู้อบใส่ไว้ในโถดูดความชื้น ชั่งน้ำหนักภาชนะพร้อมตัวอย่าง จากนั้นนำกลับไปอบซ้ำ และทำเช่นเดิมจนได้น้ำหนักคงที่ติดต่อกันไม่เกิน 0.5 มิลลิกรัม คำนวณหาปริมาณความชื้นได้จาก

$$\text{ความชื้น (ร้อยละ)} = \frac{\text{น้ำหนักตัวอย่างก่อนอบ} - \text{น้ำหนักตัวอย่างหลังอบ}}{\text{น้ำหนักตัวอย่างก่อนอบ}} \times 100$$

1.2.5 การวิเคราะห์หาเส้นใยอาหารของเปลือกเงาะ (AOAC, 1990)

ทำการวิเคราะห์ใยอาหารที่ละลายน้ำและไม่ละลายน้ำ โดยใช้วิธีการตกตะกอนร่วมกับการใช้ เอนไซม์ โดยใช้ชุดวิเคราะห์ใยอาหาร (TDF-100A sigma)

1.2.6 ความสามารถในการอุ้มน้ำ (Water Holding Capacity: WHC) และการอุ้มน้ำมัน (Oil Holding Capacity: OHC) (ดัดแปลงจาก Garau *et al.*, 2007)

นำตัวอย่าง 0.2000 กรัม ผสมน้ำกลั่น 6 มิลลิลิตร ลงในหลอดหมุนเหวี่ยงขนาด 15 มิลลิลิตร ตั้งทิ้งไว้ 18 ชั่วโมง ที่อุณหภูมิห้อง จากนั้นเทส่วนบนออก ชั่งน้ำหนักตัวอย่างที่ดูตุน้ำ (น้ำหนักก่อน

อบ: W_1) นำตัวอย่างที่ดูดนํ้ามาอบแห้งในตู้อบลมร้อนที่ 110 °C จากนั้นชั่งน้ำหนักตัวอย่างที่อบแห้ง (W_2) และคำนวณค่า WHC จากสูตร

$$\text{WHC (กรัม/กรัม)} = \frac{\text{น้ำหนักก่อนอบ (} W_1 \text{)} - \text{น้ำหนักหลังอบ (} W_2 \text{)}}{\text{น้ำหนักหลังอบ (} W_2 \text{)}}$$

ชั่งน้ำหนักหลอดหมุนเหวี่ยงขนาด 15 มิลลิลิตร (W_1) ชั่งตัวอย่าง 0.2000 กรัม (W_2) และนํ้ามันดอกทานตะวัน 1.5000 กรัม ลงในหลอดหมุนเหวี่ยง ตั้งทิ้งไว้ 18 ชั่วโมง ที่อุณหภูมิห้อง แล้วนำไปเซนตริฟิวจ์ที่ความเร็ว 1500 rpm เป็นเวลา 5 นาที เทส่วน Supernatant ทิ้ง และนำตัวอย่างไปชั่งน้ำหนักทั้งหมด (W_3) และคำนวณค่า OHC จากสูตร

$$\text{OHC (กรัม/กรัม)} = \frac{\text{น้ำหนักทั้งหมด (} W_3 \text{)} - (\text{น้ำหนักหลอดหมุนเหวี่ยง (} W_1 \text{)} + \text{น้ำหนักแห้งของตัวอย่าง (} W_2 \text{)})}{\text{น้ำหนักแห้งของตัวอย่างเริ่มต้น}}$$

1.2.7 ความสามารถในการดูดซึมนํ้าตาลกลูโคส (glucose absorption capacity:

GAC) (ดัดแปลงจาก Ou *et al.*, 2001)

ชั่งตัวอย่าง 0.0100 กรัม ลงในหลอด eppendorf ผสมกับสารละลายกลูโคส 1 มิลลิลิตร ที่มีความเข้มข้น 5 10 50 100 และ 200 มิลลิโมล/ลิตร นำไปบ่มในอ่างนํ้าควบคุมอุณหภูมิที่ 37 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 6 ชั่วโมง และนำไปปั่นเหวี่ยงด้วยแรง 4,000 rpm เป็นเวลา 10 นาที จากนั้นทำการวัดปริมาณกลูโคสที่อยู่ในส่วนใส และคำนวณค่า GAC ได้ดังสูตร

$$\text{GAC (mmol/L/g sample)} = \frac{\text{ความเข้มข้นของนํ้าตาลที่ถูกดูดซับ} \times \text{ปริมาตรของสารละลายกลูโคส}}{\text{น้ำหนักตัวอย่าง}}$$

1.2.8 ความสามารถในการขัดขวางการดูดซึมกลูโคส (glucose dialysis retardation

index: GDRI) (ดัดแปลงจาก Chau *et al.*, 2004)

ชั่งตัวอย่าง 0.1000 กรัม ผสมกับสารละลายกลูโคสที่มีความเข้มข้น 50 มิลลิโมล/ลิตร ปริมาตร 5 มิลลิลิตร ลงในถุง dialysis ที่มี molecular weight cut off 12,000 เส้นผ่านศูนย์กลาง 23 มิลลิเมตร จากนั้นแช่ถุง dialysis ลงในนํ้ากลั่นปริมาตร 50 มิลลิลิตร ในบีกเกอร์ขนาด 100

มิลลิลิตร ทำการบ่มเป็นเวลา 0, 30, 60, 120 และ 180 นาที นำสารละลายภายนอกถุงที่ทุก ๆ เวลา มาวัดปริมาณกลูโคส ชุดควบคุมคือชุดที่ไม่มีตัวอย่างโยอาหาร คำนวณค่า GDRI ได้ดังสูตร

$$\text{GDRI (\%)} = 100 - \left(\frac{\text{ปริมาณน้ำตาลของชุดการทดลองที่มีโยอาหาร}}{\text{ปริมาณน้ำตาลของชุดการทดลองที่ไม่มีโยอาหาร}} \right) \times 100$$

1.2.9 ความสามารถในการจับกับน้ำดี (sodium cholate binding) (ดัดแปลงจาก

Gohil and Lele, 2014)

ตัวอย่าง 0.2000 กรัม ผสมกับน้ำดีปริมาตร 8 มิลลิลิตร ทำการบ่มที่อุณหภูมิ 37 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 2 ชั่วโมง จากนั้นนำส่วนใสปริมาตร 2.5 มิลลิลิตร ผสมกับ 70% H₂SO₄ ปริมาตร 2.5 มิลลิลิตร บ่ม 2 นาที จากนั้นเติม 5% Furfural ปริมาตร 0.5 มิลลิลิตร ทำการบ่มอีก 1 ชั่วโมง 30 นาที วัดค่าการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 510 นาโนเมตร คำนวณค่าความสามารถในการจับน้ำดีได้ดังสูตร

$$\% \text{Binding} = \frac{\text{ความเข้มข้นของน้ำดีของชุดควบคุม} - \text{ความเข้มข้นของน้ำดีของตัวอย่าง}}{\text{ความเข้มข้นของน้ำดีของชุดควบคุม}} \times 100$$

1.2.10 การวิเคราะห์ปริมาณสารประกอบฟีนอลิกและแอนโทไซยานินและการต้านอนุมูล

อิสระของผงเปลือกเงาะ

ทำการสกัดสารสำคัญจากผงเปลือกเงาะโดยใช้ตัวทำละลาย คือ 85% methanol (methanol ผสมกับ 1 M HCl ในอัตราส่วน 85:15 v,v) และใช้อัตราส่วนผงเปลือกเงาะต่อตัวทำละลายเท่ากับ 1:10 นำไปกวน 30 นาที จากนั้นนำไปเซนตริฟิวจ์ที่ความเร็ว 10000 rpm 10 นาที เก็บส่วนใสชั้นบน แล้วทำการสกัดซ้ำอีก 2 รอบ เก็บส่วนใสชั้นบนที่ได้รวมกันเพื่อทำการวิเคราะห์ต่อไป

- การวิเคราะห์ปริมาณฟีนอลิกทั้งหมด (Total phenolic) โดยวิธี Folin- ciocalteu (ดัดแปลงจาก Singleton และ Rossi, 1965)

ปิเปตสารสกัด ปริมาณ 0.2 มิลลิลิตร ใส่ลงในหลอดทดลอง เติมน้ำกลั่น 0.2 มิลลิลิตร และ Folin-Ciocalteu 0.2 มิลลิลิตร เขย่าให้เข้ากันทิ้งไว้ที่อุณหภูมิห้องเป็นเวลา 10 นาที เติมน้ำกลั่นละลาย Na_2CO_3 ความเข้มข้น 2% 1 มิลลิลิตรปิเปตสารผสมลงในไมโครเพลท 300 ไมโครลิตร นำไปวัดค่าการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 725 นาโนเมตรนำไปวัดด้วยเครื่อง Microplate reader (UV-Vis) รุ่น MULTISKAN GO โดยใช้น้ำกลั่นเป็น Blank แล้วนำค่าการดูดกลืนแสงที่วัดได้เปรียบเทียบกับกราฟมาตรฐานของ gallic acid และคำนวณความเข้มข้นในรูปของมิลลิกรัม gallic acid equivalent (GAE) ต่อกรัมตัวอย่าง

- **การวิเคราะห์แอนโธไซยานิน โดยวิธี pH differential** (Giusti and Wrolstad, 2001)

ทำการวิเคราะห์โดยนำสารสกัด ปริมาณ 30 μL เจือจางด้วยสารละลาย KCl buffer pH 1.0 ปริมาตร 270 μL และสารละลาย CH_3COONa pH 4.5 ปริมาตร 270 μL ตั้งทิ้งไว้ที่อุณหภูมิห้องเป็นเวลา 15 นาที หลังจากนั้นนำไปวัดค่าการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 510 nm และ 700 nm ด้วยเครื่อง Microplate reader (UV-Vis) รุ่น MULTISKAN GO โดยใช้น้ำกลั่นเป็น Blank คำนวณปริมาณแอนโธไซยานินในรูปมิลลิกรัม Cyanidin 3-glucoside ต่อกรัมตัวอย่าง จากสูตร

$$\text{Monomeric anthocyanin pigment (mg/L)} = (A \times \text{MW} \times \text{DF} \times 1000) / e$$

$$\text{โดย } A = (A_{510} - A_{700}) \text{ KCl pH1.0} - (A_{510} - A_{700}) \text{ CH}_3\text{COONa pH 4.5}$$

มวลโมเลกุล (MW) ของ Cyanidin-3-glucoside เท่ากับ 449.2

ค่า e หรือ Molar absorbtivity เท่ากับ 26900

- **การวิเคราะห์ความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระ โดยวิธี DPPH**

นำสารสกัดมาทดสอบความสามารถในการลดปริมาณสาร 1,1-diphenyl-2-picrylhydrazyl (DPPH) โดยนำสารสกัด 200 ไมโครลิตร ผสมกับ DPPH solution (5.9 มิลลิกรัม DPPH in 100 มิลลิลิตร absolute methanol) ปริมาตร 200 ไมโครลิตร และตั้งทิ้งไว้ที่อุณหภูมิห้อง นาน 60 นาที หลังจากนั้นปิเปตสารผสมลงในไมโครเพลท 300 ไมโครลิตร นำมาวัดค่าความสามารถในการดูดกลืนแสงของสาร DPPH ที่เหลือ ที่ความยาวคลื่น 517 นาโนเมตร นำไปวัดด้วยเครื่อง Microplate reader (UV-Vis) รุ่น MULTISKAN GO โดยใช้เมทานอลเป็น Blank แล้วนำค่าการดูดกลืนแสงที่วัดได้

เปรียบเทียบกับกราฟมาตรฐานของ Trolox และคำนวณความเข้มข้นในรูปของมิลลิกรัม trolox ต่อกรัมตัวอย่าง

1.3 การนำผงเปลือกเงาะไปประยุกต์ใช้ในผลิตภัณฑ์ขนมปัง

การผลิตขนมปังที่มีการใช้ใยอาหารจากผงเปลือกเงาะแทนในแป้งสาลี ในปริมาณที่แตกต่างกัน 3 ระดับ (0% 3% 5% 7%) สูตรการผลิตขนมปังแสดงดังตารางที่ 2.1

ตารางที่ 3-1 ปริมาณส่วนผสมที่ใช้ในสูตรการผลิตขนมปังที่มีการใช้ใยอาหาร

ส่วนผสม	ปริมาณใยอาหารที่ทดแทนแป้งสาลี (g/100g แป้งสาลี)			
	0	3	5	7
แป้งขนมปัง (กรัม)	225	218.25	213.75	209.25
ใยอาหาร* (กรัม)	0	6.75	11.25	15.75
น้ำตาลทราย (กรัม)	35	35	35	35
นม (มิลลิลิตร)	175	175	175	175
เนย (กรัม)	25	25	25	25
น้ำมันถั่วเหลือง (กรัม)	10.5	10.5	10.5	10.5
เกลือ (กรัม)	3.5	3.5	3.5	3.5
ยีสต์ (กรัม)	1.75	1.75	1.75	1.75

*ใยอาหาร มี 2 ชนิด คือ ผงเปลือกเงาะที่เตรียมโดยวิธีอบแห้งด้วยลมร้อน และผงเปลือกเงาะที่เตรียมโดยวิธีอบแห้งแบบแช่เยือกแข็ง

ขั้นตอนการผลิตขนมปัง 1. นำแป้งขนมปังทำการร่อน 2 รอบ และนำไปกับผสมยีสต์ 2. ทำการผสมน้ำตาล เกลือ และน้ำมัน ลงในนม 3. ค่อยๆ เติมข้อที่ 2. ลงในแป้งและนวดให้เข้ากัน จากนั้นค่อยๆ เติมเนยและนวดต่อให้เข้ากัน 4. พักโดแป้ง โดยการคลุมด้วยผ้าขาวบาง จนโดขึ้นฟูเป็น 2 เท่า (ประมาณ 1 ชั่วโมง) 5. ตัดขนาดตามที่ต้องการ ทำการนวดไล่อากาศ คลึงเป็นก้อนกลม 6. พักลงในภาชนะที่ทาเนย ให้โดขึ้นฟูเป็น 2 เท่า (ประมาณ 1 ชั่วโมง) โดยระหว่างที่รอให้เปิดตู้อบบนและล่าง ไว้ที่อุณหภูมิ 200 องศาเซลเซียส 7. นำไปอบเป็นเวลา 15 นาที

1.3.1 การวัดคุณสมบัติของขนมปังที่ใช้ใยอาหารจากผงเปลือกเงาะ

1) กิจกรรมของน้ำ

ค่ากิจกรรมของน้ำ (A_w) สามารถวัดโดยใช้เครื่อง Aqualab โดยตัวอย่างที่ใช้จะต้องบดละเอียดก่อนทำการวัด

2) สีของขนมปัง

สีของเค้กวัดโดยใช้เครื่อง LabscanXE Hunter colorimeter ซึ่งจะแสดง 3 ค่า คือ L^* a^* และ b^* โดยที่ $L^*=100$ (สว่างสุด) $L^*=0$ (มืด) $+a^*$ =สีแดง $-a^*$ =สีเขียว และ $+b^*$ =สีเหลือง $-b^*$ =สีน้ำเงิน และค่าความขาว (whitening index; WI) $WI = 100 - ([100 - L]^2 + a^2 + b^2)^{1/2}$

3) ปริมาตรจำเพาะ (Specific volume)

วิเคราะห์ปริมาตรจำเพาะ โดยใช้การแทนที่ด้วยเมล็ดงา (rapeseed displacement)

4) เนื้อสัมผัส

ลักษณะเนื้อสัมผัสวัดโดยใช้เครื่อง TA-XT plus หัวโพรบแบบ cylinder ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 36 mm โหลดเซลล์ขนาด 5 kg โดยจะกดทะลุเข้าไป 40% ใช้ความเร็ว 1.7 mm/s ค่าที่ประเมินคือ Hardness(N) ลักษณะตัวอย่างที่นำมาวัดมีความหนา 1 นิ้ว

5) การวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมีของขนมปังเสริมผงเปลือกเงาะ

5.1) การวิเคราะห์ปริมาณไขมัน

1. อบ extraction cup สำหรับหาปริมาณไขมัน ซึ่งมีขนาดบรรจุ 250 มิลลิลิตร ในตู้อบที่มีอุณหภูมิ 105 ± 2 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 3 ชั่วโมง นำออกจากตู้อบใส่ในโถดูดความชื้น ปล่อยให้ไขมันทั้งหมดของภาชนะลดลงเท่ากับอุณหภูมิห้องแล้วชั่งน้ำหนัก ทำซ้ำจนผลต่างของน้ำหนักที่ชั่งติดกัน 2 ครั้งไม่เกิน 1-3 มิลลิกรัม

2. ชั่งตัวอย่างบนกระดาษกรองที่ทราบน้ำหนักประมาณ 2 กรัม ห่อให้มิดชิด แล้วใส่ลงในหลอดสำหรับใส่ตัวอย่าง คลุมด้วยสำลีเพื่อให้สารตัวทำละลายมีการกระจายอย่างสม่ำเสมอ

3. นำหลอดตัวอย่างใส่ลงในชอคเลต เติมสารตัวทำละลาย ปีโตรเลียมอีเทอร์ลงใน extraction cup ประมาณ 150 มิลลิลิตร แล้ววางบนเตาให้ความร้อน

4. ทำการสกัดจนครบ 10 syphon โดยปรับเตาให้ความร้อนให้หยดของสารทำละลายกลั่นตัวจากอุปกรณ์ควบแน่นด้วยอัตรา 150 หยดต่อนาที

5. เมื่อครบ 10 syphon นำหลอดใส่ตัวอย่างออกจากซอคเลต และนำไปประเหยปิโตรเลียมอีเทอร์บนอ่างไอน้ำร้อน

6. นำ extraction cup ไปอบในตู้อบลมร้อนที่อุณหภูมิ 105 องศาเซลเซียส จนแห้งใช้เวลาประมาณ 30 นาที นำออกจากตู้อบใส่ในโถดูดความชื้น ปล่อยให้ทิ้งไว้จนกระทั่งอุณหภูมิของ extraction cup ลดลงเท่ากับอุณหภูมิห้องแล้วชั่งน้ำหนัก ทำซ้ำเช่นเดิมจนกระทั่งผลต่างของน้ำหนัก 2 ครั้ง ติดต่อกัน ไม่เกิน 1-3 มิลลิกรัม

7. คำนวณหาปริมาณไขมันจากสูตร

$$\text{ปริมาณไขมัน (ร้อยละโดยน้ำหนัก)} = \frac{W_2 \times 100}{W_1}$$

โดย W_1 คือ น้ำหนักตัวอย่างเริ่มต้น (กรัม)

W_2 คือ น้ำหนักไขมันหลังอบ (กรัม)

5.2) การวิเคราะห์โปรตีนโดยวิธี Kjeldahl Method

1. ชั่งตัวอย่างให้ได้น้ำหนักที่แน่นอน ประมาณ 2 กรัม ใส่ลงในหลอดย่อยโปรตีน
2. เติมตัวเร่ง (catalyst) ระหว่าง CuSO_4 กับ K_2SO_4 (CuSO_4 0.5 กรัม และ K_2SO_4 5 กรัม)
3. เติมกรดซัลฟูริกเข้มข้น 20 มิลลิลิตร (ค่อย ๆ ไหลตามข้างขวด) เขย่าเบา ๆ จนไม่จนกันเป็นก้อน ปิดปากขวดด้วยกระเปาะแก้วกลม
4. ย่อยบนอุปกรณ์ให้ความร้อนจนได้สารละลายสีเขียวใส
5. ปล่อยให้ทิ้งไว้ให้เย็น
6. จัดอุปกรณ์กลั่น โดยเตรียมขวดรูปชมพู่ขนาด 250 มิลลิลิตร เติมอินดิเคเตอร์ 2 หยด จากนั้นนำไปไว้ในเครื่องกลั่น เพื่อรองรับแอมโมเนีย

7. นำหลอดย่อยโปรตีนที่มีสีเขียนใส่เครื่องกลั่น และทำการกลั่น
9. ไทเทรตสารละลายที่กลั่นได้ด้วยกรดไฮโดรคลอริกที่มีความเข้มข้น 0.1 M สังเกตสีของสารละลายจะเปลี่ยนจากสีใสเป็นสีชมพูอ่อน จนปริมาตรกรดไฮโดรคลอริกที่ใช้
10. ทำ blank โดยใส่สารเคมีและขั้นตอนการวิเคราะห์เช่นเดียวกับตัวอย่าง แต่ไม่ใส่ตัวอย่าง
11. คำนวณปริมาณโปรตีนได้จากสูตร

$$\text{ปริมาณโปรตีน(ร้อยละ)} = \frac{14.007 \text{ N} \times (A-B) \times F}{W}$$

โดย A = ปริมาณกรดไฮโดรคลอริกที่ใช้ในการไทเทรตกับตัวอย่าง

B = ปริมาณกรดไฮโดรคลอริกที่ใช้ในการไทเทรตกับ blank

W = น้ำหนักตัวอย่าง

N = ความเข้มข้นของกรดไฮโดรคลอริก (นอร์มอล)

F = แฟกเตอร์เท่ากับ 6.25

5.3) การวิเคราะห์ปริมาณเถ้า

1. เผาครุชิเบลเพื่อหาน้ำหนักที่แน่นอน
2. ชั่งตัวอย่างประมาณ 2 กรัม ใส่ครุชิเบล นำไปเผาบนเตาไฟฟ้าจนหมดควัน
3. นำไปเผาต่อในเครื่องเผาอุณหภูมิสูง (Muffle furnace) ที่อุณหภูมิ 550 องศาเซลเซียส ทิ้งไว้ข้ามคืนจนกระทั่งได้เถ้าสีขาวหรือสีเทา
4. นำมาใส่ในเคชเคเตอร์ ทิ้งไว้จนกระทั่งอุณหภูมิลดลงเท่ากับอุณหภูมิห้องแล้วนำไปชั่ง เผาตัวอย่างซ้ำนานครั้งละ 30 นาที จนกว่าน้ำหนักต่างกันไม่เกิน 1 มิลลิกรัม
5. คำนวณหาปริมาณเถ้าได้จากสูตร

$$\text{ปริมาณเถ้า(ร้อยละของน้ำหนัก)} = \frac{(W_2 - W_1) \times 100}{(W_1 - W)}$$

โดย $W =$ น้ำหนักของครุซีเบิล (กรัม)

$W_1 =$ น้ำหนักของครุซีเบิลและตัวอย่างก่อนเผา (กรัม)

$W_2 =$ น้ำหนักของครุซีเบิลและตัวอย่างหลังเผาจนน้ำหนักคงที่ (กรัม)

5.4) การวิเคราะห์ปริมาณเส้นใยอาหาร (Dietary Fiber)

5.4.1) ปริมาณใยอาหารที่ไม่ละลายน้ำ (Insoluble Dietary Fiber)

ชั่งตัวอย่างหนัก 0.5 ± 0.005 กรัม (2 ซ้ำ) (M_1 และ M_2) ใส่บีกเกอร์ขนาด 100 มิลลิลิตร เติมสารละลายฟอสเฟตบัฟเฟอร์ pH 6 ปริมาตร 25 ml ในแต่ละซ้ำ เติมเอนไซม์ α -amylase ที่ทนความร้อน 50 μ L กวนด้วยความเร็วที่ต่ำ ปิดฝาบีกเกอร์ด้วยอะลูมิเนียมฟอยล์ และบ่มในน้ำที่อุณหภูมิ 95 องศาเซลเซียส 15 นาที นำบีกเกอร์ออกจากอ่างบ่มและลดอุณหภูมิลงถึง 60 องศาเซลเซียส เติมโซเดียมไฮดรอกไซด์ 0.275 N ปริมาตร 5 มิลลิลิตร เติมเอนไซม์โปรตีเอส 50 ไมโครลิตร ลงในแต่ละบีกเกอร์ ปิดด้วยอะลูมิเนียมฟอยล์และบ่มที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส 30 นาที นำบีกเกอร์ออกจากอ่างน้ำควบคุมอุณหภูมิ เติม 0.325 N HCl ปริมาตร 5 มิลลิลิตร เพื่อปรับ pH ให้เป็น 4.5 (4.1-4.6) เติมเอนไซม์ amyloglucosidase 50 ไมโครลิตร ปิดด้วยอะลูมิเนียมฟอยล์ และบ่มที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส 30 นาที จากนั้นนำตัวอย่างที่ได้มา centrifuge 10000 rpm 10 นาที แยกส่วนใสเก็บไว้ และนำส่วนของแข็งมาทำการล้างต่อด้วยน้ำกลั่นอุณหภูมิ 70 องศาเซลเซียส ปริมาตร 10 มิลลิลิตร centrifuge เพื่อแยกส่วนใสเก็บรวมกับส่วนใสแรกที่ได้เพื่อนำไปใช้ในการหาปริมาณ Soluble fiber

ส่วนของแข็งนำมาล้างต่อด้วย 95% ethanol ปริมาตร 10 มิลลิลิตร centrifuge และนำส่วนของแข็งมาล้างต่อด้วย acetone ปริมาตร 10 มิลลิลิตร นำตัวอย่างมา centrifuge เพื่อแยกเอาส่วนของแข็งที่ได้มาอบที่อุณหภูมิ 105 องศาเซลเซียส ให้ได้น้ำหนักคงที่ และคำนวณปริมาณ Insoluble fiber (%) ได้จากสูตร ดังนี้

$$\text{Insoluble fiber (\%)} = \frac{\text{น้ำหนักสุดท้ายหลังอบ} \times 100}{\text{น้ำหนักตัวอย่างเริ่มต้น}}$$

5.4.2) ปริมาณใยอาหารที่ละลายน้ำ (Soluble Dietary Fiber)

วัดปริมาณของเหลวที่ได้จากขั้นตอนการหา Insoluble fiber และเติม 95% เอทานอลอุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส ปริมาตร 4 เท่าที่ ทิ้งไว้ให้ตกตะกอน ณ อุณหภูมิห้อง 1 ชั่วโมง นำตัวอย่างมา centrifuge 10000 rpm 10 นาที แล้วนำส่วนตะกอนมาล้างด้วย 78% ethanol ปริมาตร 15 มิลลิลิตร centrifuge อีกครั้งและนำส่วนตะกอนมาล้างด้วย 95% ethanol ปริมาตร 15 มิลลิลิตร centrifuge และนำส่วนตะกอนมาล้างด้วย acetone ปริมาตร 15 มิลลิลิตร นำตะกอนที่ได้มาอบหาน้ำหนักคงที่ที่อุณหภูมิ 105 องศาเซลเซียส และคำนวณปริมาณ Soluble fiber ได้จากสูตร ดังนี้

$$\text{Soluble fiber (\%)} = \frac{\text{น้ำหนักสุดท้ายหลังอบ} \times 100}{\text{น้ำหนักตัวอย่างเริ่มต้น}}$$

6) การสกัด bioactive compounds ออกจากขนมปัง (ดัดแปลงจาก Slavin *et al.*, 2013)

ทำการสกัดไขมันและน้ำมันเอาออกจากตัวอย่าง ณ อุณหภูมิห้อง โดยการใช้ petroleum ether ซึ่งตัวอย่าง 10 กรัม ลงในหลอด centrifuge ขนาดใหญ่ และเติม petroleum ether 20 มิลลิลิตร นำหลอดไปเขย่าเป็นเวลา 30 นาที หลังจากนั้นนำไป centrifuge 10,000 rpm เป็นเวลา 10 นาที เทส่วนใสทิ้ง และนำตะกอนที่ได้ไปสกัดด้วย petroleum ether อีก 2 ครั้ง และนำส่วนของแข็งที่เหลือไปใช้ในการสกัดสารสำคัญ โดยนำมาสกัดด้วยสารละลายปริมาตร 20 มิลลิลิตร (เมทานอล : กรดไฮโดรคลอริก, 85 : 15) และนำไปเขย่า 30 นาที จากนั้นนำไป centrifuge ด้วยความเร็ว 10,000 rpm เป็นเวลา 10 นาที เก็บส่วนใสและนำตะกอนไปทำการสกัดซ้ำอีก 2 รอบ (เก็บส่วนใสที่ได้ในแต่ละครั้งรวมกัน) และเก็บไว้ในตู้เย็น (4°C) จนกระทั่งจะทำการทดสอบ

6.1) การวิเคราะห์ปริมาณฟลาโวนอยด์

ทำการหาปริมาณมาตรฐานโดย เตรียมคาเทชินความเข้มข้น 1000 ppm โดยชั่งคาเทชิน 10 มิลลิกรัม นำมาละลายในเอทานอลแล้วปรับปริมาตรให้เท่ากับ 10 มิลลิลิตร จากนั้นนำมาเจือจางให้เป็นสารละลายที่มีความเข้มข้น 10-500 ppm ในปริมาตร 1 มิลลิลิตร

นำสารสกัดหรือสารมาตรฐาน 125 ไมโครลิตร ผสมกับน้ำกลั่น 625 ไมโครลิตร และเติม 5% NaNO_2 ปริมาตร 37.5 ไมโครลิตร ทิ้งไว้ 6 นาที ต่อจากนั้นเติม 10% $\text{AlCl}_3 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ ปริมาตร 75 ไมโครลิตร ทิ้งไว้ 5 นาที หลังจากนั้นเติม NaOH 1 mol/L ปริมาตร 250 ไมโครลิตร และเติมน้ำกลั่นจนได้ปริมาตรรวม 1.25 มิลลิลิตร นำไปวัดค่าการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 510 นาโนเมตร รายงานเป็นมิลลิกรัมของคาเทชิน

6.2) ปริมาณสารประกอบฟีนอลิกโดยวิธี Folin-ciocalteu

ทำการพามาตรฐานโดย เตรียมกรดแกลลิกความเข้มข้น 100 ppm โดยซึ่งกรดแกลลิก 1 มิลลิกรัม นำมาละลายน้ำแล้วปรับปริมาตรให้เท่ากับ 10 ml จากนั้นนำมาเจือจางให้เป็นสารละลายที่มีความเข้มข้น 20 40 60 80 และ 100 ppm ในปริมาตร 2 ml

ปิเปตสารสกัดหรือสารละลายมาตรฐาน 200 ไมโครลิตร เติมน้ำกลั่นปริมาตร 200 ไมโครลิตร เติม 1:1 Folin-Ciocalteu phenol reagent ปริมาตร 200 ไมโครลิตร ผสมให้เข้ากัน ทิ้งไว้ที่อุณหภูมิห้องเป็นเวลา 3 นาที ต่อจากนั้นเติม Na_2CO_3 ความเข้มข้น 2% ปริมาตร 1 มิลลิลิตร ผสมให้เข้ากัน ทิ้งที่ไว้ในที่มืด ณ อุณหภูมิห้องเป็นเวลา 30 นาที จากนั้นปิเปตสารละลายปริมาตร 300 ไมโครลิตร ลงใน microplate และวัดค่าการดูดกลืนแสงที่ 725 นาโนเมตร โดยใช้เครื่อง microplate reader และใช้น้ำกลั่นแทนตัวอย่างเป็น blank สามารถคำนวณปริมาณสารฟีนอลิกได้ โดยเทียบกับกราฟของสารละลายมาตรฐานกรดแกลลิก

6.3) กิจกรรมการต้านสารอนุมูลอิสระ DPPH (2,2 diphenyl-1-picrylhydrazyl scavenging activity)

ซึ่ง Trolox 0.25 มิลลิกรัม นำมาละลายในเมทานอลแล้วปรับปริมาตรให้เท่ากับ 10 มิลลิลิตร ซึ่งจะได้สารมาตรฐาน Trolox ที่มีความเข้มข้น 25 ppm จากนั้นนำมาเจือจางให้เป็นสารละลายที่มีความเข้มข้น 5 10 15 และ 20 ppm ในปริมาตร 1 มิลลิลิตร

ปิเปตสารสกัดหรือสารละลายมาตรฐาน ปริมาตร 200 ไมโครลิตร ผสมกับสารละลาย DPPH• (0.15 mM) ความเข้มข้น 0.15 mM ปริมาตร 200 ไมโครลิตร ลงในหลอด

eppendrof ตั้งทิ้งให้เกิดปฏิกิริยาในที่มืด ณ อุณหภูมิห้อง เป็นเวลา 1 ชั่วโมง จากนั้นปิเปตสารละลายที่ได้ 300 ไมโครลิตร ลง microplate และวัดค่าการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 517 นาโนเมตร โดยใช้เครื่อง microplate reader ใช้เมทานอลแทนตัวอย่างเป็น blank และใช้เมทานอลแทนสารละลาย DPPH• เป็นชุดหักกลบสี สามารถคำนวณค่ากิจกรรมการต้านสารอนุมูลอิสระ DPPH• ได้จากการเทียบกับกราฟของสารละลายมาตรฐาน Trolox

ตอนที่ 2 การพัฒนากรรมวิธีการสกัดและฟอกสีโยอาหารจากเปลือกเงาะและการประยุกต์ใช้เป็นสารช่วยลดการดูดซับน้ำมันในอาหารทอด

2.1 การเตรียมตัวอย่างเปลือกเงาะ

นำเปลือกเงาะสดพันธุ์โรงเรียนมาล้างทำความสะอาด วางพักบนตะแกรงเพื่อให้สะเด็ดน้ำ แล้วนำเข้าเครื่อง Slicers จะได้ขนาดของชิ้นเปลือกเงาะหนา 0.5 มิลลิเมตร จากนั้นทำการอบแห้งด้วยตู้อบลมร้อนที่อุณหภูมิ 60 ± 2 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 3 ชั่วโมง ได้ปริมาณความชื้น 7 ± 1 เปอร์เซ็นต์ (สุชาติดา ปรีชานฤชิตกุล, 2545) เก็บในถุงอลูมิเนียมฟอยล์ ปิดผนึกและเก็บรักษาที่อุณหภูมิห้อง

2.2 ศึกษาความเข้มข้นของสารละลายไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ที่ใช้ในการฟอกสีผงเปลือกเงาะ

การฟอกสีเปลือกเงาะ

นำเปลือกเงาะที่เตรียมไว้มาบดให้ละเอียดด้วยเครื่องบดของแห้ง ร่อนผ่านตะแกรงขนาด 50 เมช แล้วนำผงเปลือกเงาะ 30 กรัม เติมลงในสารละลายไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ 300 มิลลิตร มาทำการฟอกสีโดยแปรความเข้มข้นของสารละลายไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์เป็น 0.5 1 และ 1.5 M ตามลำดับ จากนั้นปรับ pH ของสารละลายผงเปลือกเงาะเป็น pH 9 ด้วยสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ 4 M ทำการกวนสารละลายด้วย Magnetic stirrer เป็นเวลา 2 ชั่วโมง ที่อุณหภูมิห้อง (Abdel-Aal, 1995; Wongmetinee, 2007) จากนั้นกรองสารละลายผงเปลือกเงาะผ่านผ้าไนลอนขนาด 70 เมช ชะด้วยน้ำครึ่งละ 1 ลิตร วัด pH ของน้ำที่ล้างผงเปลือกเงาะถ้า pH ของน้ำที่ล้างผงเปลือกเงาะยังไม่เป็นกลาง ให้ทำการชะต่อจนกว่าจะได้ pH ที่เป็นกลางแล้วนำผงเปลือกเงาะที่ได้ไปอบแห้งที่อุณหภูมิ 60 ± 2 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 4 ชั่วโมง ได้ปริมาณความชื้น 7 ± 1 เปอร์เซ็นต์ นำผงเปลือกเงาะไปร่อนผ่านตะแกรงขนาด 50 เมช เก็บในถุงอลูมิเนียมฟอยล์ ปิดผนึกและเก็บรักษาที่อุณหภูมิห้อง

สำหรับตัวอย่างควบคุม นำเปลือกเงาะสดพันธุ์โรงเรียนมาล้างทำความสะอาด วางพักบนตะแกรงเพื่อให้สะเด็ดน้ำ แล้วนำเข้าเครื่อง Slicers จะได้ขนาดของชิ้นเปลือกเงาะหนา 0.5 มิลลิเมตร

จากนั้นทำการอบแห้งด้วยตู้อบลมร้อนแบบถาด (Tray drier) ที่อุณหภูมิ 60 ± 2 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 3 ชั่วโมง ได้ปริมาณความชื้น 7 ± 1 เปอร์เซ็นต์ แล้วนำมาบดให้ละเอียดด้วยเครื่องบดของแห้ง ร่อนผ่านตะแกรงขนาด 50 เมช เก็บในถุงอลูมิเนียมฟอยล์ ปิดผนึกและเก็บรักษาที่อุณหภูมิห้อง จากนั้นนำผงเปลือกเงาะที่ได้มาวิเคราะห์

1. ความสามารถในการอุ้มน้ำ (Water retention capacity) (ดัดแปลงจาก Garau *et al.*, 2007)
2. ความสามารถในการอุ้มน้ำมัน (Fat retention capacity) (ดัดแปลงจาก Garau *et al.*, 2007)
3. วิเคราะห์ค่าสี ด้วยเครื่องวัดค่าสี (Colorimeter) และรายงานเป็นค่า $L^* a^* b^*$ และคำนวณค่า ΔE

การวิเคราะห์ทางสถิติ

ทำการทดลอง 2 ซ้ำ วิเคราะห์ความแปรปรวนของข้อมูล (ANOVA) โดยวางแผนการทดลองแบบสุ่มสมบูรณ์ (Complete Randomize Design : CRD) สำหรับการวิเคราะห์ความสามารถในการอุ้มน้ำ ความสามารถในการอุ้มน้ำมัน และวิเคราะห์ค่าสี ($L^* a^* b^*$ และคำนวณค่า ΔE) วิเคราะห์ผลทางสถิติที่ระดับนัยสำคัญ 0.05 เปรียบเทียบความแตกต่างของค่าเฉลี่ยโดยใช้ Duncan's new multiple range test ด้วยโปรแกรม SPSS version 17

เกณฑ์การคัดเลือก

คัดเลือกสภาวะในการฟอกสีผงเปลือกเงาะที่มีค่าความสว่าง (L^*) ค่าความต่างของสี (ΔE) สูง และความสามารถในการอุ้มน้ำได้มาก นำผงเปลือกเงาะในสภาวะที่คัดเลือกได้มาวิเคราะห์

1. ปริมาณความชื้น (AOAC, 1990)
2. ปริมาณน้ำอิสระ water activity (a_w) ด้วยเครื่อง Novasina Thermoconstanter TH200
3. ปริมาณใยอาหารที่ไม่ละลายน้ำ ปริมาณใยอาหารที่ละลายน้ำ และปริมาณใยอาหารทั้งหมด (AOAC, 1990)

2.3 ศึกษาการใช้ผงเปลือกเงาะที่ผ่านการฟอกสีด้วยสารละลายไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์เพื่อลดการดูดซับน้ำมันในผลิตภัณฑ์ไก่ชุบแป้งทอด

นำผงเปลือกเงาะที่ผ่านการฟอกสีตามวิธีที่เลือกได้จากข้อ 3.1 เติมลงในส่วนผสมของแป้งชุบทอด (ตารางที่ 3-2) โดยแปรปริมาณที่เติมเป็น 0 (ตัวอย่างควบคุม) 3 6 และ 9 เปอร์เซ็นต์ (ของน้ำหนักส่วนผสมทั้งหมด) ซึ่งจะได้จำนวนตัวอย่างในการทดลองทั้งหมด 4 ตัวอย่าง นำส่วนผสมที่เตรียมดังตารางที่ 3-2 มาทำเป็น batter แล้วนำขึ้นเนื้อไก่ที่หั่นเป็นสี่เหลี่ยมขนาด $1.5 \times 1.5 \times$

1.5 เซนติเมตร มาเสียบด้วยไม้จิ้มฟัน โดยให้ไม้อยู่บริเวณกึ่งกลางของชั้นเนื้อไก่ แล้วนำไปชุบใน batter เป็นเวลา 5 วินาที ยกขึ้นไกวจาก batter และถือค้างไว้เป็นเวลา 10 วินาที จากนั้นนำชิ้นไก่ที่ชุบแป้งแล้วไปทอดแบบน้ำมันท่วมที่อุณหภูมิ 180 ± 2 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 3 นาที นำชิ้นมาพักไว้บนตระแกรงเป็นเวลา 15 วินาที แยกผลิตภัณฑ์ไก่ชุบแป้งทอดออกเป็น 2 ส่วน คือ ส่วนแรกจะทำการแยกแป้งชุบทอดออกจากเนื้อไก่ ส่วนที่สองจะใช้ผลิตภัณฑ์ไก่ชุบแป้งทอดทั้งหมด บรรจุใส่กล่องพลาสติกมีฝาปิดสนิทและเก็บที่อุณหภูมิห้อง เพื่อนำไปวิเคราะห์คุณภาพ

ตารางที่ 3-2 ส่วนผสมของแป้งชุบทอด

ส่วนผสม	น้ำหนัก (กรัม)
แป้งสาลี	80
แป้งข้าวโพด	10
แป้งข้าวเจ้า	5
เกลือ	2.5
ผงฟู	2
พริกไทย	0.5

ที่มา: ดัดแปลงจาก สาวไหม, 2548

วิธีการเตรียม batter

ชั่งส่วนผสมตาม ตารางที่ 3-2 โดยนำแป้งสาลี แป้งข้าวโพด แป้งข้าวเจ้า และผงฟู ร่อนผ่านตะแกรงลงในกะละมังแตนเลส ใส่เกลือ และพริกไทย แล้วเติมน้ำ 150 มิลลิลิตร คนให้เข้ากันด้วยไม้พาย ได้เป็น batter

นำแป้งชุบทอดที่ได้มาวิเคราะห์

1. ปริมาณความชื้น (AOAC, 1990)
2. ปริมาณไขมัน (AOAC, 1990)
3. วิเคราะห์ค่าสี ด้วยเครื่องวัดค่าสี (Colorimeter) (L^* a^* b^* และคำนวณค่า ΔE)

นำผลิตภัณฑ์ไก่ชุบแป้งทอดที่ได้มาวิเคราะห์

1. วิเคราะห์เนื้อสัมผัสด้วยเครื่อง Texture analyzer รุ่น TA-XT2 ใช้หัววัด P/20 (20 mm diameter cylinder probe) เพื่อวัดค่าความกรอบ (Crispness)

ทำการทดลอง 3 ซ้ำ วิเคราะห์ความแปรปรวนของข้อมูล (ANOVA) โดยวางแผนการทดลองแบบสุ่มสมบูรณ์ (Complete Randomize Design : CRD) สำหรับการวิเคราะห์ปริมาณความชื้น ปริมาณไขมัน และวิเคราะห์ค่าสี (L^* a^* b^* และคำนวณค่า ΔE) ที่ระดับนัยสำคัญ 0.05 และเปรียบเทียบความแตกต่างของค่าเฉลี่ยโดยวิธี Duncan's New Multiple Range Test (DMRT) โดยใช้โปรแกรม SPSS version 17

บทที่ 4

ผลการทดลองและวิจารณ์ผลการทดลอง

ตอนที่ 1 การสกัดใยอาหารจากเปลือกเงาะแบบง่ายและการประยุกต์ใช้เป็นสารเสริมใยอาหารในผลิตภัณฑ์ขนมปัง

4.1 คุณสมบัติทางกายภาพและเคมีของผงเปลือกเงาะที่ผ่านการทำแห้งแบบ tray dry และ Freeze dry

จากการวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมีและกายภาพของผงเปลือกเงาะที่เตรียมโดยการทำแห้งแบบอบแห้งด้วยลมร้อน (rambutan peel tray dry : RPT) และทำแห้งแบบแช่เยือกแข็ง (rambutan peel freeze dry : RPF) ได้ค่าแสดงดัง ตารางที่ 4-1

ตารางที่ 4-1 คุณภาพทางเคมี-กายภาพของผงเปลือกเงาะที่ทำแห้งแบบวิธีต่างกัน

	RPT powder	RPF powder
ความชื้น (%)	7.38 ^a ± 0.44	2.69 ^b ± 0.48
ความหนาแน่นรวม ^{ns} (g/cm ³)	0.32 ± 0.07	0.37 ± 0.01
สี L*	45.49 ^b ± 1.29	52.08 ^a ± 0.58
a ^{ns}	15.04 ± 0.61	16.68 ± 0.29
b	27.60 ^b ± 0.39	20.96 ^a ± 0.74
ใยอาหารที่ละลายน้ำได้ ^{ns} (%)	7.55 ± 0.06	7.78 ± 0.12
ใยอาหารที่ไม่ละลายน้ำ (%)	54.02 ^a ± 1.52	48.48 ^b ± 0.62
ใยอาหารทั้งหมด (%)	61.57 ^a ± 1.58	56.26 ^b ± 0.74
ฟีนอลิกทั้งหมด (mg GAE/g db)	230.22 ^b ± 17.24	277.58 ^a ± 14.18
การต้านอนุมูลอิสระ (mg TE/g db)	982.84 ^b ± 69.82	1284.87 ^a ± 67.90

^{a-b} หมายถึง ตัวอักษรที่แตกต่างกันในแนวนอนมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (p ≤ 0.05)

ผลการวิเคราะห์คุณภาพของผงเปลือกเงาะที่ผ่านอบแห้งด้วยวิธีที่ต่างกัน ส่งผลต่อคุณภาพในด้านความชื้น สี และความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระ อย่างมีนัยสำคัญ (p ≤ 0.05) ส่วนคุณสมบัติด้านอื่นๆ พบว่าไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (p > 0.05) ทั้งนี้พบว่าผงเปลือกเงาะที่ทำแห้งแบบลมร้อน มีความชื้นเท่ากับ 7.38% ซึ่งมากกว่าผงเปลือกเงาะที่ทำแห้งแบบแช่เยือกแข็ง ซึ่งมีความชื้นเพียง 2.69% ปริมาณความชื้นเป็นค่าที่บ่งชี้ปริมาณน้ำที่มีอยู่ในอาหาร

เป็นสมบัติที่สำคัญของอาหาร เนื่องจากความชื้นมีผลต่อการเสื่อมเสียของอาหารและต่ออัตราการเกิดปฏิกิริยาเคมีต่างๆ อย่างไรก็ตามความชื้นของทั้งสองตัวอย่างยังอยู่ในเกณฑ์มาตรฐานของอาหารผง ซึ่งควรมีความชื้นไม่เกิน 9% จึงจะมีอายุการเก็บรักษาได้นาน (Larrauri, 1999)

ค่าความหนาแน่น คือ ค่าน้ำหนักต่อปริมาตรหนึ่งหน่วยของสาร จากการทดลองพบว่าความหนาแน่นรวม (bulk density) ของผงเปลือกเงาะที่อบแห้งด้วยวิธีต่างกันมีค่าอยู่ในช่วง 0.32-0.37 g/cm³ ซึ่งไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p>0.05$) ทั้งนี้ปัจจัยที่มีอิทธิพลต่อความหนาแน่น ขึ้นอยู่กับขนาดและน้ำหนักขององค์ประกอบ และปริมาณรูพรุนในโครงสร้างของวัตถุดิบ โดย Bulk density เป็นค่าความหนาแน่นของสารซึ่งนอกจากเนื้อสารแล้ว ยังรวมถึงรูพรุนเปิด รูพรุนปิด และตำหนิต่าง ๆ ดังนั้นทั้งสองตัวอย่างจึงน่าจะมีโครงสร้างที่เป็นรูพรุนใกล้เคียงกัน

เมื่อพิจารณาค่าสี พบว่าผงเปลือกเงาะที่ทำแห้งแบบแช่เยือกแข็งมีค่า L^* มากกว่าผงเปลือกเงาะที่ทำแห้งแบบอบแห้งลมร้อนอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p\leq 0.05$) แสดงว่าผงเปลือกเงาะที่ทำแห้งแบบแช่เยือกแข็งมีความสว่างมากกว่า (รูปที่ 4-1) ส่วนค่า a^* ของผงเปลือกเงาะทั้งสองวิธีมีค่าไม่ต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($p>0.05$) ซึ่งค่า a^* แสดงความเป็นสีแดงและเขียว หากมีค่าเป็นบวกหมายถึง สีแดง หากมีค่าเป็นลบ หมายถึง สีเขียว ดังนั้นจะเห็นว่าผงเปลือกเงาะมีสีแดงน้ำตาลอ่อนใกล้เคียงกัน โดยเป็นสีของสารรงควัตถุสำคัญหลักๆ คือที่รายงานการพบในเปลือกเงาะ คือ แอนโทไซยานิน



รูปที่ 4-1 ลักษณะผงเปลือกเงาะที่ทำแห้งแบบอบลมร้อน (RPT) และทำแห้งแบบแช่เยือกแข็ง (RPF)

จากการวิเคราะห์หาปริมาณใยอาหารทั้งหมด ใยอาหารที่ละลายน้ำ และใยอาหารที่ไม่ละลายน้ำในผงเปลือกเงาะที่อบแห้งทั้งสองวิธี พบว่าปริมาณใยอาหารทั้งหมดอยู่ในช่วง 56-61% โดยใยอาหารที่ไม่ละลายน้ำจะเป็นองค์ประกอบหลัก โดยมีอยู่ในปริมาณสูงถึง 48-54% ทั้งนี้พบว่าผงเปลือกเงาะที่อบแห้งแบบลมร้อน จะมีปริมาณใยอาหารทั้งหมดและใยอาหารที่ไม่ละลายน้ำสูงกว่าผงเปลือกเงาะที่อบแห้งแบบแช่เยือกแข็งอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p\leq 0.05$) ส่วนปริมาณใยอาหารที่ละลายน้ำของผงเปลือกเงาะที่ได้จากการอบแห้งด้วยวิธีต่างกัน มีค่าไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ

ทางสถิติ ($p > 0.05$) ทั้งนี้ใยอาหารไม่ละลายน้ำประกอบด้วย สารประกอบที่มีโครงสร้างเป็น คาร์โบไฮเดรตเชิงซ้อนที่ไม่ใช่แป้ง (non-starch polysaccharide) ได้แก่ เซลลูโลส (cellulose) และ เฮมิเซลลูโลส (hemicellulose) (Eastwood, 1997) ที่สร้างจากหน่วยย่อยของกลูโคส (glucose) เชื่อมกันด้วย B-(1-4) glycosidic linkage (Ophardt, 2003) จะมีส่วนช่วยลดอัตราเสี่ยงต่อการเกิด โรคมะเร็งลำไส้ เนื่องจากสามารถทนต่อการย่อยสลายของเอนไซม์ที่อยู่ในกระเพาะอาหารและลำไส้ ของมนุษย์ มีประโยชน์ในการช่วยควบคุมการเคลื่อนไหวของกระเพาะอาหารและลำไส้ ช่วยกระตุ้น การเจริญเติบโตของเซลล์เยื่อบุผิวของไอลีเยียม ทำให้เกิดความสมดุลของแบคทีเรียในลำไส้ และยังสามารถช่วยเพิ่มความสามารถในการขับถ่ายของลำไส้ใหญ่ ใยอาหารจึงช่วยลดการเกิดอาการท้องผูก ได้ (Tsang, 2013) การดูดซึมของสารใยอาหารที่ไม่ใช่สารอาหารที่ให้พลังงานแก่ร่างกาย จึงมีบทบาท สำคัญต่อสุขภาพของร่างกายทั้งในภาวะปกติและภาวะเจ็บป่วย (สุรัตน์, 2534) ดังนั้นการนำผง เปลือกเงาะไปใช้ในผลิตภัณฑ์อาหารต่างๆ จะช่วยเพิ่มคุณค่าของผลิตภัณฑ์ในด้านการเสริมใยอาหาร ให้มากขึ้น ซึ่งสามารถช่วยส่งเสริมสุขภาพของผู้บริโภคได้มากขึ้นเช่นกัน

เมื่อพิจารณาด้านสารประกอบฟีนอลิก และค่ากิจกรรมการต้านอนุมูลอิสระ DPPH พบว่าผง เปลือกเงาะทำแห้งแบบแช่เยือกแข็งมีปริมาณสารประกอบฟีนอลิก และค่าการต้านอนุมูลอิสระสูงกว่า ผงเปลือกเงาะทำแห้งแบบอบลมร้อนอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) ทั้งนี้เนื่องมาจากระดับ ความร้อนในวิธีการทำแห้งแบบอบลมร้อนมีความรุนแรงมากกว่า จึงส่งผลต่อการเสื่อมสลายของ สารสำคัญได้เช่นกัน และจากปริมาณสารสำคัญที่ลดลง ส่งผลต่อความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระ ที่ลดลงด้วยเช่นกัน

4.2 คุณสมบัติเชิงหน้าที่ของผงเปลือกเงาะที่ผ่านการทำแห้งแบบ tray dry และ Freeze dry

คุณสมบัติเชิงหน้าที่ของใยอาหารที่สำคัญที่ได้ทำการวิเคราะห์ ได้แก่ ค่าความสามารถในการ อุ่มน้ำ (WHC) ค่าความสามารถในการอุ่มน้ำมัน (OHC) ค่าความสามารถในการดูดซับน้ำตาลกลูโคส (GAC) ค่าความสามารถในการขัดขวางการแพร่ผ่านของน้ำตาลกลูโคส (GDRI) และค่าความสามารถ ในการจับกับน้ำดี โดยค่า WHC และ OHC ของผงเปลือกเงาะที่เตรียมจากแต่ละวิธีแสดงดังตารางที่ 4-2

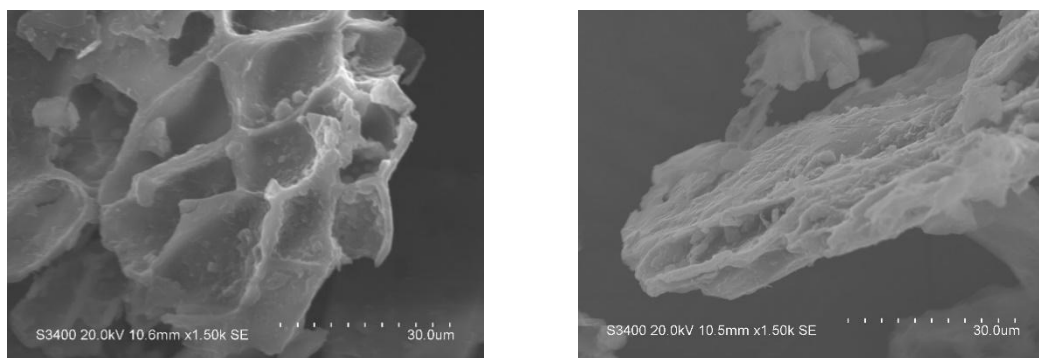
ตารางที่ 4-2 ความสามารถในการดูดซึมน้ำ Water holding capacity (WHC) และการดูดซึมน้ำมัน Oil holding capacity (OHC) ของผงเปลือกเงาะ

	RPT powder	RPF powder
WHC (ml/g)	8.11 ^b ± 0.22	10.57 ^a ± 0.12
OHC ^{ns} (g/g)	3.08 ± 0.16	3.14 ± 0.14

^{a-b} หมายถึง ตัวอักษรที่แตกต่างกันในแนวนอนมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$)

^{ns} หมายถึง ไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p > 0.05$)

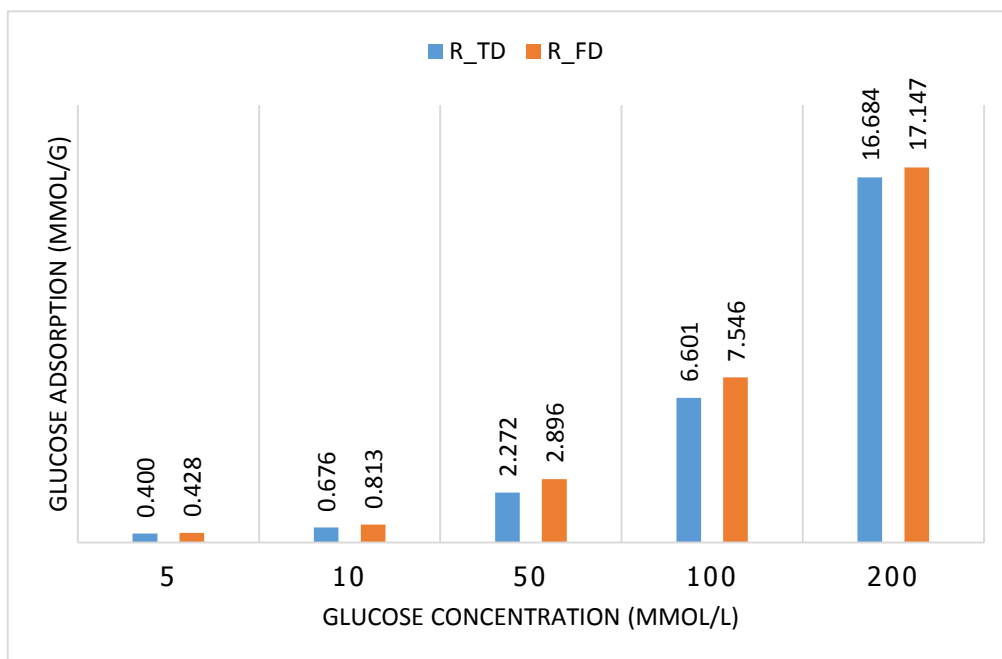
ค่าความสามารถในการอุ้มน้ำของผงเปลือกเงาะ จะบ่งบอกถึงความสามารถในการกักเก็บน้ำไว้ในโครงสร้างของเส้นใย เนื่องจากเส้นใยมีองค์ประกอบของพอลิแซคคาไรด์ซึ่งเป็นโมเลกุลที่มีหมู่ไฮดรอกซิลอิสระ จึงสามารถสร้างพันธะไฮโดรเจนกับน้ำได้ (หยาดฝน ทนงการกิจ, 2557) โดยพบว่าผงเปลือกเงาะที่ผ่านกระบวนการการทำแห้งแบบแช่เยือกแข็งมีค่าความสามารถในการอุ้มน้ำมากกว่าผงเปลือกเงาะที่ผ่านการทำแห้งแบบใช้ลมร้อนอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) ทั้งนี้อาจเนื่องมาจากการทำแห้งแบบแช่เยือกแข็งที่อาศัยหลักการระเหิดกลายเป็นไอ ส่งผลให้โครงสร้างมีความเป็นรูพรุนมาก ส่งผลให้เกิดการจับน้ำในโครงสร้างได้มากขึ้น (Vazquez-Gutierrez *et al.*, 2011) ซึ่งความเป็นรูพรุนนี้สามารถสังเกตได้จากโครงสร้างทางจุลภาค (SEM) ดังแสดงในรูปที่ 3.2 โดยจากงานวิจัยของ Borchani *et al.* (2011) พบว่า ตัวอย่างโยอาหารที่ผ่านกระบวนการทำแห้งแบบ Freeze dried มีค่าความสามารถในการอุ้มน้ำมากกว่าโยอาหารที่ผ่านกระบวนการทำแห้งแบบใช้แสงอาทิตย์และลมร้อน และจากงานวิจัยของ Kuan *et al.* (2011) ที่ได้ทำการศึกษาระบวนการทำแห้งซังข้าวโพดโดยใช้ตู้อบลมร้อน ณ อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส พบว่า มีความสามารถในการอุ้มน้ำ เท่ากับ 5.96 g /g ซึ่งมีย่าน้อยกว่างานวิจัยนี้ ทั้งนี้ความสามารถในการอุ้มน้ำขึ้นอยู่กับปัจจัยหลายอย่าง เช่น ขนาดของอนุภาค วิธีหรือสภาวะในการเตรียมตัวอย่าง และองค์ประกอบทางเคมีของตัวอย่างนั้นๆ (Femenia *et al.*, 1997) เมื่อเปรียบเทียบความสามารถในการอุ้มน้ำของผงเปลือกเงาะกับงานวิจัยอื่นๆ เช่น งานวิจัยของ Azizah and Yu (2000) ที่วิเคราะห์ค่า WHC ของโยอาหารจากรำข้าว และชานอ้อย มีค่า 4.56-4.89% ซึ่งต่ำกว่าความสามารถในการจับน้ำของผงเปลือกเงาะในงานวิจัยนี้ การศึกษาเกี่ยวกับความสามารถในการดูดน้ำของโยอาหารมีความสำคัญ เนื่องจากน้ำมีบทบาทสำคัญต่อการเปลี่ยนแปลงของผลิตภัณฑ์สุดท้าย อีกทั้งมีผลต่อกระบวนการอบ การเกิดเจลลาคีโนเซชันของแป้ง รวมถึงการเปลี่ยนแปลงโครงสร้างทางโมเลกุลของโปรตีน (Pomeran, 1985) ดังนั้นการนำผงเปลือกเงาะไปใช้ในผลิตภัณฑ์อาหารย่อมส่งผลต่อการเปลี่ยนแปลงของผลิตภัณฑ์ระหว่างการแปรรูปและเก็บรักษา โยอาหารที่สามารถอุ้มน้ำได้สูงเหมาะสำหรับนำไปใช้กับผลิตภัณฑ์ที่ต้องการความชุ่มชื้น ความหนืด อย่างเช่น ผลิตภัณฑ์เบเกอรี่ ผลิตภัณฑ์เนื้อสัตว์แปรรูป เป็นต้น



รูปที่ 4-2 โครงสร้างจุลภาคของผงเปลือกเงาะที่ทำแห้งแบบอบลมร้อน (RPT) และทำแห้งแบบแช่เยือกแข็ง (RPF)

ค่าความสามารถในการอุ้มน้ำมันของผงเปลือกเงาะ แสดงถึงความสามารถในการจับน้ำมันไว้ในโครงสร้าง พบว่าวิธีการทำแห้งไม่ส่งผลต่อความสามารถในการอุ้มน้ำมันของผงเปลือกเงาะ โดยค่าความสามารถในการอุ้มน้ำมันของผงเปลือกเงาะ อยู่ในช่วง 3.08-3.14% จากงานวิจัยของ Azizah and Yu (2000) ที่วิเคราะห์ค่า OHC ของ Dietary fibre จากรำข้าว และ FiBEX (ใยอาหารจาก sugar beet) พบว่ามีค่า OHC เท่ากับ 4.54% และ 1.29% ตามลำดับ และ Aniota *et al* (2009) ซึ่งทำการศึกษาในผงซึ่งข้าวโพด มีค่า OHC 1.78-2.12 g/g จะเห็นได้ว่าค่า OHC ของใยอาหารจากแหล่งที่มาที่ต่างกัน จะมีค่าแตกต่างกัน ทั้งนี้มีรายงานว่า ความสามารถในการอุ้มน้ำมันนั้นขึ้นอยู่กับปัจจัยต่างๆ เช่น องค์ประกอบของใยอาหาร ความหนาแน่นโดยรวมของประจุ คุณสมบัติของพื้นผิวและความเป็นหมู่ไม่ชอบน้ำของใยอาหาร (Borchani *et al.*, 2011) โดยความสามารถในการอุ้มน้ำมันนั้นมีความสำคัญในการป้องกันการสูญเสียไขมันในระหว่างการแปรรูป ซึ่งจะส่งผลต่อกลิ่นรสของอาหาร (Wang *et al.*, 2015)

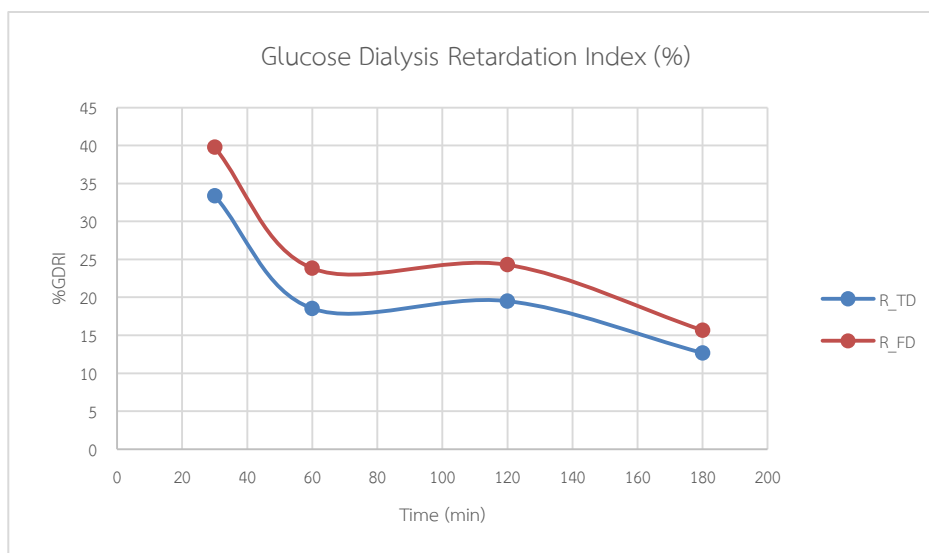
ค่าความสามารถในการดูดซับน้ำตาล (glucose adsorption capacity; GAC) เป็นการวัดปริมาณน้ำตาลที่ใยอาหารสามารถดูดซับไว้หลังจากเข้าสู่สภาวะสมดุล ค่านี้ใช้แสดงพฤติกรรมของใยอาหารในการดูดซับน้ำตาลเมื่ออยู่ในลำไส้ ความสามารถในการดูดซับน้ำตาลของผงเปลือกเงาะ แสดงดังรูปที่ 4-3



รูปที่ 4-3 ความสามารถในการดูดซับน้ำตาลของผงเปลือกเงาะ

จากการศึกษาความสามารถในการดูดซับน้ำตาลกลูโคสของผงเปลือกเงาะ โดยใช้ความเข้มข้นกลูโคส 5 ระดับได้แก่ 5, 10, 50, 100 และ 200 mmol/L พบว่า เมื่อระดับความเข้มข้นของน้ำตาลกลูโคสเพิ่มมากขึ้นผงเปลือกเงาะ จะมีความสามารถในการดูดซับน้ำตาลกลูโคสมากขึ้น ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยของ Gohil และ Lele (2014) ที่ได้ทำการวิเคราะห์ความสามารถในการดูดซับน้ำตาลกลูโคสที่ระดับความเข้มข้น 5-50 mmol/L ของโยอาหารชนิดไม่ละลายน้ำจากเปลือกผักพบว่า ความสามารถในการดูดซับน้ำตาลกลูโคสของตัวอย่างโยอาหารชนิดไม่ละลายน้ำมีความสัมพันธ์โดยตรงกับความเข้มข้นของน้ำตาลกลูโคส นั่นก็หมายความว่าเมื่อความเข้มข้นของน้ำตาลกลูโคสเพิ่มมากขึ้น โยอาหารชนิดไม่ละลายน้ำจะมีความสามารถในการดูดซับน้ำตาลกลูโคสมากขึ้นเช่นเดียวกัน และเมื่อพิจารณาความสามารถในการดูดซับน้ำตาลกลูโคสของผงเปลือกเงาะแบบอบแห้งด้วยลมร้อน และแบบแช่เยือกแข็ง พบว่า ไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p > 0.05$) ดังนั้นผงเปลือกเงาะจึงมีความสามารถในการดูดซับน้ำตาลกลูโคสใกล้เคียงได้ใกล้เคียงกัน และผงเปลือกเงาะนี้มีแนวโน้มในการนำไปใช้เป็นสารผสมอาหารในอาหารเพื่อสุขภาพ โดยมีส่วนในการช่วยลดปริมาณการปล่อยของน้ำตาลกลูโคสที่ลำไส้เล็กได้ (Gohil and Lele, 2014) โดยที่โยอาหารจะดูดซับน้ำตาลในอาหารให้ออกไปกับอุจจาระ ทำให้มีประโยชน์ต่อผู้บริโภคที่ต้องการควบคุมระดับน้ำตาลในเลือด

ค่าความสามารถในการขัดขวางการแพร่ผ่านของกลูโคส (glucose dialysis retardation index; GDRI) เป็นการทำนายถึงการดูดซึมน้ำตาลของใยอาหารในระบบทางเดินอาหารที่เวลาต่าง ๆ แสดงดังรูปที่ 4-4



รูปที่ 4-4 ความสามารถในการขัดขวางการแพร่ผ่านของกลูโคสของผงเปลือกเงาะ

เมื่อพิจารณาค่าความสามารถในการขัดขวางการแพร่ผ่านของกลูโคส พบว่าจะมีค่าสูงในช่วงนาที่ต้น (ที่ 30 นาที) และเมื่อเวลาผ่านไปจะมีค่าลดลง ทั้งนี้เนื่องมาจากการขัดขวางการแพร่ผ่านของกลูโคสในช่วงแรกมีสองปัจจัยที่ส่งผล ได้แก่ การดูดซึมน้ำตาลกลูโคสของใยอาหาร และความหนืดของระบบ แต่เมื่อเวลาผ่านไปอัตราการแพร่ผ่านจะขึ้นกับความหนืดของระบบเท่านั้น ซึ่งโดยทั่วไปอัตราการแพร่ผ่านจะขึ้นกับความหนืดของระบบ ถึงแม้ว่าความหนืดของใยอาหารชนิดที่ไม่ละลายน้ำจะน้อย แต่ก็ยังสามารถขัดขวางการแพร่ผ่านของกลูโคสได้ โดยอาศัยความสามารถในการดูดซึมน้ำตาลกลูโคสไว้ที่โครงสร้าง (Bisoi *et al.*, 2012) เมื่อสังเกตจากกราฟพบว่าผงเปลือกเงาะที่เตรียมโดยการทำแห้งแบบแช่เยือกแข็ง มีความสามารถในการขัดขวางการแพร่ผ่านของกลูโคสมากกว่าผงเปลือกเงาะที่เตรียมทำแห้งแบบอบลมร้อน อาจเนื่องมาจากความเป็นรูพรุนของโครงสร้างของผงเปลือกเงาะที่อบแห้งผ่านกระบวนการแช่เยือกแข็งจะช่วยดูดซับกลูโคสไว้ในโครงสร้างได้ส่วนหนึ่ง ทำให้การเคลื่อนที่เข้าออกของสารเป็นไปได้ช้าลง ผลที่ได้จากการศึกษาครั้งนี้สอดคล้องกับงานวิจัยของ Gohil และ Lele (2014) ที่ได้ทำการศึกษาความสามารถในการขัดขวางการดูดซึมของน้ำตาลกลูโคสในช่วงเวลา 30 60 120 และ 180 นาที ของใยอาหารชนิดไม่ละลายน้ำ พบว่าตัวอย่างเซลลูโลสและใยอาหารชนิดไม่ละลายน้ำอื่นๆ มีความสามารถในการขัดขวางการดูดซึมของน้ำตาล

กลูโคสมากที่สุดที่เวลา 30 นาที และลดลงเรื่อย ๆ จนครบเวลา 180 นาที เพราะฉะนั้นผงเปลือกเงาะ จึงมีความสามารถในการช่วยควบคุมระดับของกลูโคสในเลือดได้

ด้านความสามารถในการจับกับน้ำดีของผงเปลือกเงาะ มีการใช้กรดโคลิค (Cholic acid) เป็นตัวแทนของน้ำดี ได้ผลการทดลองแสดงดังตารางที่ 4-3

ตารางที่ 4-3 ความสามารถในการจับกับน้ำดีของผงเปลือกเงาะ

	RPT powder	RPF powder
Sodium cholate binding ^{ns} (%)	80.88 ± 5.63	88.24 ± 4.80

^{ns} หมายถึง ข้อมูลไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p > 0.05$)

ผลการทดลองพบว่าผงเปลือกเงาะ ที่อบแห้งด้วยวิธีต่างกันมีความสามารถในการจับกับน้ำดีไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p > 0.05$) โดยมีค่าอยู่ในช่วง 80.88-88.24% ซึ่งโดยปกติแล้วใยอาหารชนิดที่ละลายน้ำ และชนิดที่ไม่ละลายน้ำจะมีความสามารถในการจับกับกรดน้ำดีได้ โดยใยอาหารชนิดที่ละลายน้ำจะมีความสามารถได้ดีกว่าใยอาหารที่ไม่ละลายน้ำ โดยใยอาหารที่ไม่ละลายน้ำจะใช้กลไกในการจับน้ำดีโดยตรงผ่านแรงดึงดูดระหว่างหมู่ที่ไม่มีขั้ว ส่วนใยอาหารที่ละลายน้ำจะอาศัยการดูดจับน้ำทำให้ความหนืดของระบบเพิ่มขึ้นส่งผลให้อัตราการแพร่ผ่านลดลงทำให้การดูดกลับของน้ำดีลดลงตามไปด้วย (Staffolo *et al.*, 2012) จากงานวิจัยของ Gohil และ Lele (2014) ที่ได้ทำการศึกษาเกี่ยวกับการช่วยลดระดับน้ำตาลและคอเลสเตอรอลของใยอาหารประเภทไม่ละลายน้ำพบว่า ทั้งเซลลูโลสและใยอาหารชนิดไม่ละลายจากผักต่าง ๆ มีเปอร์เซ็นต์ความสามารถในการจับน้ำดีอยู่ในระดับที่ต่ำ คืออยู่ในช่วง 1.17-10.11% และจากงานวิจัยของ Xu *et al.* (2015) ที่ได้ทำการศึกษาความสามารถในการจับน้ำดีของใยอาหารชนิดละลายน้ำจากกากลูกพีช พบว่า มีความสามารถในการจับน้ำดีอยู่ในช่วง 376.04-530.87 mg/g ซึ่งสูงกว่าของใยอาหารชนิดไม่ละลายน้ำ

ทั้งนี้ผงเปลือกเงาะ จะมีองค์ประกอบหลักเป็นใยอาหารชนิดที่ไม่ละลายน้ำ ดังนั้นความสามารถในการจับกรดน้ำดีของผงเปลือกเงาะจะขึ้นกับการดูดซับน้ำดีโดยตรงผ่านแรงดึงดูดระหว่างหมู่ที่ไม่มีขั้ว นอกจากนี้พิจารณาจากโครงสร้างของผงเปลือกเงาะจะเห็นได้ว่า ผงเปลือกเงาะที่อบแห้งแบบแช่เยือกแข็งมีโครงสร้างที่เป็นรูพรุน มีความโปร่งมากกว่า จึงน่าจะมีพื้นที่ผิวมากกว่าผงเปลือกเงาะที่อบแห้งแบบอบลมร้อน ดังนั้นจึงส่งผลให้การจับกับน้ำดีมีประสิทธิภาพดีมากยิ่งขึ้น การที่ผงเปลือกเงาะมีความสามารถในการจับกรดโคลิคได้ดีนั้น สืบให้เห็นว่ามีความสามารถในการลดคอเลสเตอรอลในร่างกายได้ เนื่องจากโดยทั่วไปกรดโคลิคจะถูกสร้างจากคอเลสเตอรอลเมื่อน้ำดีถูกขับออกไปกับอุจจาระในปริมาณมากขึ้น จะทำให้มีการใช้คอเลสเตอรอลในปริมาณมาก

เพื่อสร้างน้ำดี ร่างกายจึงดึงคอเลสเตอรอลจากเลือดมาใช้ในการสร้างน้ำดีที่สูญเสียไป ส่งผลให้ระดับคอเลสเตอรอลในเลือดลดลง (Thebaudin *et al.*, 1997)

จากความสามารถของผงเปลือกเงาะในการดูดซึม การขัดขวางแพร่ผ่านของกลูโคส ทำให้สามารถลดระดับน้ำตาลในเลือดได้ นอกจากนี้ผงเปลือกเงาะยังมีความสามารถในการจับกับน้ำดี จะสามารถช่วยลดระดับคอเลสเตอรอลได้อีกทางหนึ่ง ดังนั้นผงเปลือกเงาะจึงสามารถช่วยลดความเสี่ยงในการเกิดโรคเรื้อรังต่าง ๆ ได้ เช่น โรคมะเร็ง โรคหัวใจและหลอดเลือด โรคอ้วน ความผิดปกติของทางเดินอาหาร และโรคเบาหวาน เป็นต้น (Lattimer and Haub, 2010; McEwan *et al.*, 2010; Srichamroen and Chavasit, 2011; Diez *et al.*, 2013)

4.3 ผลของการใช้ผงเปลือกเงาะต่อคุณภาพของขนมปัง

ในการประยุกต์ใช้ผงเปลือกเงาะที่ผลิตได้ในผลิตภัณฑ์อาหาร ได้ทำการทดลองใช้ในผลิตภัณฑ์ขนมปัง โดยใช้ผงเปลือกเงาะร้อยละ 3, 5 และ 7 (w/w) ทดแทนแป้งสาลี และวัดค่าคุณภาพด้านสี ปริมาณความชื้น ปริมาณน้ำอิสระ คุณภาพด้านเนื้อสัมผัส ปริมาตรจำเพาะ ตลอดจนปริมาณสารสำคัญและคุณค่าโภชนาการของขนมปังใส่ใยอาหารจากผงเปลือกเงาะ โดยตารางที่ 4-4 แสดงปริมาณน้ำอิสระ ปริมาณความชื้น และปริมาตรจำเพาะของขนมปังเสริมใยอาหารจากเปลือกเงาะ

ตารางที่ 4-4 ปริมาณน้ำอิสระ (a_w) ปริมาณความชื้น (Moisture) ปริมาตรจำเพาะ (Specific volume) และความแข็ง (Hardness) ของขนมปังใส่ใยอาหารจากเปลือกเงาะ

ตัวอย่าง	ปริมาณน้ำอิสระ (a_w)	ปริมาณความชื้น ^{ns} (ร้อยละ)	ปริมาตรจำเพาะ (mL/g)	ความแข็ง (N)
Control	0.93±0.00 ^b	34.90±0.30	4.59±0.16 ^a	320.93 ^f ± 4.63
B- RPT 3	0.94±0.00 ^a	34.58±1.56	4.57±0.32 ^a	364.59 ^f ± 2.78
B- RPT 5	0.94±0.01 ^a	34.33±0.33	3.84±0.06 ^b	387.73 ^e ± 12.35
B- RPT 7	0.94±0.00 ^a	34.47±0.03	2.95±0.10 ^c	1640.82 ^a ± 4.25
B- RPF 3	0.93±0.00 ^b	35.53±0.09	3.91±0.21 ^b	451.27 ^d ± 6.33
B- RPF 5	0.93±0.01 ^b	35.66±0.02	2.80±0.10 ^c	617.29 ^c ± 7.72
B- RPF 7	0.93±0.01 ^b	35.29±0.04	1.86±0.19 ^d	1324.91 ^b ± 12.12

^{a-d} หมายถึง ตัวอักษรที่แตกต่างกันในคอลัมน์มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$)

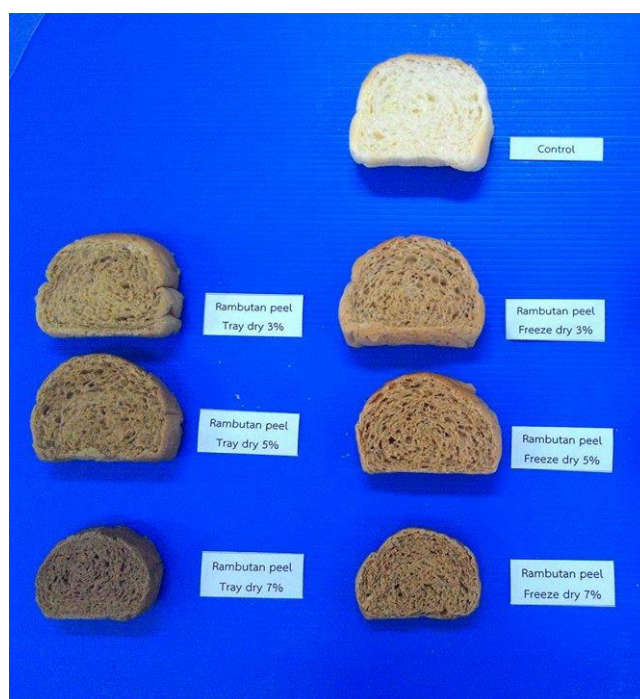
B-RPT 3, B-RPT 5 และ B-RPT 7 หมายถึง ขนมปังที่ใส่ใยอาหารจากเปลือกเงาะอบแห้งลมร้อนร้อยละ 3 5 และ 7 ตามลำดับ

B-RPF 3, B-RPF 5 และ B-RPF 7 หมายถึง ขนมปังที่ใส่ใยอาหารจากเปลือกเงาะอบแห้งแบบแช่เยือกแข็งร้อยละ 3 5 และ 7 ตามลำดับ

ปริมาณน้ำอิสระ (a_w) ของขนมปังเสริมใยอาหารจากเปลือกเงาะ อยู่ในช่วง 0.9 และปริมาณความชื้น 34-35% ซึ่งไม่แตกต่างจากขนมปังสูตรควบคุม แสดงให้เห็นว่าการเสริมใยอาหารจากเปลือกเงาะลงในขนมปัง ไม่ส่งผลต่อคุณภาพของขนมปัง โดยทั่วไปแล้วขนมปังที่อยู่ในสภาพดีนั้นจะมีความชื้นอย่างต่ำ 30% ขนมปังที่มีความชื้นสูงโดยเฉพาะในเนื้อขนมปังนั้นสามารถจะเก็บได้หลายวัน แต่การที่ความชื้นในก้อนขนมปังสูงจะส่งผลให้เกิดการเน่าเสียได้เร็วขึ้น โดยเฉพาะเกิดจากเชื้อรา (จิตธนา และอรอนงค์, 2541)

เมื่อระดับการแทนที่ด้วยผงเปลือกเงาะเพิ่มขึ้น ขนมปังที่ได้มีปริมาตรลดลงตามลำดับการแทนที่ที่เพิ่มขึ้น (ตาราง 3.4 และรูป 3.5) เนื่องจากผงเปลือกเงาะส่งผลต่อความหนืดของระบบทำให้ขัดขวางการขยายตัวในระหว่างกระบวนการอบ (Gularte *et al.*, 2012) นอกจากนี้การที่ขนมปังที่ได้มีปริมาตรลดลงอาจเกิดได้จากการที่โครงสร้างของขนมปังที่ได้มีความคงตัวไม่เพียงพอที่จะค้ำจุนโครงสร้างได้ (Lu *et al.*, 2010; Hera *et al.*, 2012) เพราะการใช้ผงเปลือกเงาะทดแทนปริมาณแป้งสาลี ทำให้ปริมาณแป้งสาลีที่ใช้ในสูตรลดน้อยลง ส่งผลให้โปรตีนกลูเตนซึ่งเป็น

ส่วนสำคัญต่อการเกิดโครงสร้างขนมปังลดลงตามไปด้วยเช่นกัน ทั้งนี้สอดคล้องกับงานวิจัยของ Singh *et al.* (2012) ที่ทำการศึกษาผลของการใช้รำข้าวโพดต่อคุณภาพของเค้ก โดยพบว่า เมื่อระดับการแทนที่แป้งสาลีด้วยรำข้าวโพดที่เพิ่มมากขึ้น คือ 5-30% จะส่งผลให้ขนมมีปริมาตรที่ลดลง นอกจากนี้ยังสอดคล้องกับงานวิจัยของ Lu *et al.* (2010) ที่พบว่า เมื่อระดับการแทนที่ด้วยชาเขียวที่มากขึ้น คือ 10-30% จะส่งผลให้เค้กที่ได้มีปริมาตรลดลง



รูปที่ 4-5 ลักษณะสีเนื้อขนมปังที่เสริมใยอาหารจากผงเปลือกเงาะ

จากการศึกษาลักษณะเนื้อสัมผัสของขนมปัง โดยแสดงในค่าความแข็ง (hardness) แสดงดังตารางที่ 4-4 พบว่า เมื่อระดับการแทนที่ด้วยผงเปลือกเงาะเพิ่มขึ้น ค่าความแข็งเพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$) ตามระดับการแทนที่ที่เพิ่มขึ้น ทั้งนี้ค่าความแข็งที่เพิ่มขึ้นนี้มีความสัมพันธ์กับปริมาตรของขนมปังที่ลดลง ซึ่งจะเกี่ยวข้องกับการกักเก็บอากาศไว้ในโครงสร้าง ผลการทดลองดังกล่าวนี้สอดคล้องกับงานวิจัยของ Gómez *et al.* (2010) ที่พบว่าเมื่อระดับการแทนที่ด้วยรำข้าวสาลีเพิ่มขึ้น จะส่งผลให้เค้กมีค่าความแข็งเพิ่มขึ้น งานวิจัยของ Singh *et al.* (2012) พบว่า เมื่อระดับการแทนที่ด้วยรำข้าวโพดที่เพิ่มมากขึ้นจะส่งผลให้เค้กที่ได้ มีค่าความแข็งที่เพิ่มมากขึ้น และงานวิจัยของ Lu *et al.* (2010) ที่พบว่า เมื่อระดับการแทนที่แป้งสาลีด้วยชาเขียวเพิ่มมากขึ้น จะส่งผลให้เค้กที่ได้มีค่าความแข็งเพิ่มมากขึ้น ทั้งนี้การแทนที่ด้วยผงเปลือกเงาะอบแห้งด้วยลมร้อนที่ระดับ 3% มีปริมาตรและความแข็งไม่ต่างจากสูตรควบคุม

การศึกษาลักษณะสีที่ส่วนเปลือกนอกและเนื้อในของขนมปัง แสดงผลดังตารางที่ 4-5 เมื่อระดับการแทนที่ด้วยผงเปลือกงาเพิ่มมากขึ้น ส่งผลให้สีของเปลือกมีสีคล้ำขึ้น (L^* ลดลง) สีแดงและสีเหลืองลดลงตามลำดับ (a^* และ b^* ลดลง) โดยปกติสีของเปลือกเกิดขึ้นจากปฏิกิริยาเมลลาร์ด โดยมีสารตั้งต้นเป็นกรดอะมิโนที่เป็นองค์ประกอบอยู่ในโปรตีนกลูเตน เมื่อระดับการแทนที่ที่เพิ่มมากขึ้น ปริมาณแป้งสาไลที่ให้ปริมาณน้อยลง สารตั้งต้นในการเกิดปฏิกิริยาก็ลดน้อยลง ดังนั้นการเกิดปฏิกิริยาเมลลาร์ดก็น่าจะลดน้อยลงเช่นกัน แต่ในขณะเดียวกันการมีปริมาณแป้งสาไลที่ลดลง ความสว่างก็จะลดลงเช่นกัน เนื่องจากแป้งสาไลเป็นส่วนประกอบที่ให้ความสว่างกับผลิตภัณฑ์ นอกจากนี้อาจเกิดเนื่องจากการเปลี่ยนแปลงค่าพีเอชของระบบ โดยใยอาหารทำหน้าที่เสมือนเป็นบัฟเฟอร์ (Gómez *et al.*, 2010) ทำให้สารสำคัญที่ก่อให้เกิดสีเกิดการเปลี่ยนแปลงและอาจเกิดจากการเปลี่ยนคุณสมบัติของน้ำที่ใช้ในการเกิดปฏิกิริยาทำให้เค้กมีสีคล้ำขึ้นได้ เมื่อพิจารณาดูที่สีของเนื้อในของขนมปังพบว่า มีสีคล้ำขึ้น แดงมากขึ้น และเหลืองลดลงตามลำดับ ซึ่งสีของเนื้อขนมปังนั้นจะขึ้นอยู่กับสีของวัตถุดิบเป็นหลัก ทั้งนี้สอดคล้องกับงานวิจัยของ Lu *et al.* (2010) ที่พบว่า เมื่อระดับการแทนที่แป้งสาไลด้วยชาเขียวเพิ่มมากขึ้น จะส่งผลให้เค้กที่ได้ มีสีเปลือกนอกคล้ำขึ้น สีแดงและสีเหลืองลดลง ส่วนสีของเนื้อในมีสีที่คล้ำและสีแดงเพิ่มมากขึ้น สีเหลืองลดลงเช่นเดียวกัน

เมื่อเปรียบเทียบระหว่างขนมปังที่เสริมใยอาหารจากผงเปลือกงาอบแห้งแบบลมร้อน พบว่าความขาว (WI) มีความแตกต่างจากขนมปังสูตรควบคุมมากกว่า (สีเข้มกว่า) ในขณะที่ขนมปังเสริมใยอาหารจากผงเปลือกงาอบแห้งแบบแช่เยือกแข็งมีค่าความขาวต่างจากขนมปังสูตรควบคุมน้อยกว่า ความแตกต่างของสีที่เกิดขึ้นจากการใช้ผงเปลือกงาที่เตรียมโดยการอบแห้งวิธีที่ต่างกัน เป็นผลมาจากสีของผงเปลือกงาที่เตรียมได้นั่นเอง

ตารางที่ 4-5 คุณภาพด้านสี (L^* , a^* , b^*) และความขาว (WI) ของขนมปังใส่ใยอาหารจากเปลือกเงาะ

ตัวอย่าง	L^*	a^*	b^*	WI
เปลือกขนมปัง (crust)				
Control	54.13±1.86 ^a	17.40±1.34 ^a	38.40±0.30 ^a	37.69±1.79 ^a
B- RPT 3	45.47±1.25 ^{cd}	12.65±2.04 ^{bc}	29.75±1.66 ^{cd}	36.58±2.12 ^{ab}
B- RPT 5	43.03±0.34 ^d	12.94±0.30 ^{bc}	29.01±0.22 ^d	34.77±0.20 ^b
B- RPT 7	38.06±0.44 ^e	11.31±0.16 ^{cd}	23.95±0.50 ^f	32.63±0.43 ^c
B- RPF 3	48.76±0.93 ^b	13.73±0.73 ^b	32.05±0.40 ^b	38.02±1.04 ^a
B- RPF 5	46.27±0.51 ^{bc}	13.07±0.85 ^{bc}	30.55±0.54 ^c	36.82±0.70 ^{ab}
B- RPF 7	44.34±0.16 ^{cd}	10.35±0.04 ^d	25.69±0.27 ^e	37.83±0.07 ^a
เนื้อในขนมปัง (crumb)				
Control	73.01±1.36 ^a	1.38±0.16 ^e	19.56±0.06 ^e	66.63±1.09 ^a
B- RPT 3	49.65±0.55 ^c	7.18±0.17 ^c	25.19±0.29 ^{cd}	43.25±0.34 ^c
B- RPT 5	43.91±0.85 ^e	8.65±0.22 ^b	25.55±0.33 ^{bc}	37.76±0.73 ^e
B- RPT 7	41.10±0.02 ^f	9.13±0.12 ^a	24.53±0.21 ^d	35.54±0.09 ^f
B- RPF 3	53.07±0.53 ^b	7.30±0.27 ^c	25.92±0.44 ^{bc}	45.89±0.55 ^b
B- RPF 5	48.40±1.23 ^{cd}	8.78±0.08 ^b	26.84±0.40 ^a	41.17±0.93 ^d
B- RPF 7	47.77±0.31 ^d	9.16±0.11 ^a	26.22±0.12 ^{ab}	40.84±0.30 ^d

^{a-d} หมายถึง ตัวอักษรที่ต่างกันในกลุ่มมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$)

B-RPT 3, B-RPT 5 และ B-RPT 7 หมายถึง ขนมปังที่ใส่ใยอาหารจากเปลือกเงาะอบแห้งลมร้อนร้อยละ 3 5 และ 7 ตามลำดับ

B-RPF 3, B-RPF 5 และ B-RPF 7 หมายถึง ขนมปังที่ใส่ใยอาหารจากเปลือกเงาะอบแห้งแบบแช่เยือกแข็งร้อยละ 3 5 และ 7 ตามลำดับ

คุณสมบัติทางเคมีหรือองค์ประกอบทางเคมีของขนมปังที่ทำการศึกษาคือ โปรตีน ไขมัน ใยคาร์โบไฮเดรต ความชื้น แสดงดังตารางที่ 4-6 และปริมาณใยอาหารชนิดละลายน้ำ ใยอาหารชนิดไม่ละลายน้ำ ใยอาหารทั้งหมด แสดงดังตารางที่ 4-7

ตารางที่ 4-6 องค์ประกอบทางเคมีของขนมปังใส่ใยอาหารจากเปลือกเงาะ

	โปรตีน	ไขมัน	เถ้า ^{ns} (%)	ความชื้น (%)	คาร์โบไฮเดรต ^{ns*} (%)
Control	11.72 ^a ± 0.02	8.90 ^b ± 0.13	2.47 ± 0.03	34.90 ^d ± 0.30	25.87 ± 3.29
B- RPT 3	11.36 ^{ab} ± 0.06	8.13 ^d ± 0.00	2.48 ± 0.02	35.53 ^{bc} ± 0.09	25.28 ± 2.02
B- RPT 5	11.08 ^{bc} ± 0.00	8.50 ^c ± 0.09	2.45 ± 0.02	35.66 ^b ± 0.02	27.94 ± 1.18
B- RPT 7	11.23 ^{ab} ± 0.20	9.07 ^a ± 0.03	2.47 ± 0.04	35.29 ^c ± 0.04	27.70 ± 1.61
B- RPF 3	11.07 ^{ab} ± 0.21	8.56 ^c ± 0.04	2.46 ± 0.04	37.73 ^a ± 0.38	26.65 ± 0.44
B- RPF 5	10.62 ^c ± 0.21	7.30 ^f ± 0.04	2.49 ± 0.02	37.44 ^a ± 0.13	28.53 ± 0.14
B- RPF 7	11.59 ^{ab} ± 0.00	7.51 ^e ± 0.02	2.48 ± 0.07	37.54 ^a ± 0.06	26.34 ± 0.78

หมายเหตุ : ค่าในตารางแสดงค่าเฉลี่ย ± ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน จากการวัดค่า 3 ซ้ำ

^{a-d} หมายถึง ตัวอักษรที่แตกต่างกันในคอลัมน์มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P \leq 0.05$)

B-RPT 3, B-RPT 5 และ B-RPT 7 หมายถึง ขนมปังใส่ใยอาหารจากเปลือกเงาะอบแห้งลมร้อนร้อยละ 3 5 และ 7 ตามลำดับ

B-RPF 3, B-RPF 5 และ B-RPF 7 หมายถึง ขนมปังใส่ใยอาหารจากเปลือกเงาะอบแห้งแบบแช่เยือกแข็งร้อยละ 3 5 และ 7 ตามลำดับ

*Carbohydrate = 100 - Protein (%) - Fat (%) - Ash (%) - Moisture (%) - Total dietary fiber (%)

ด้านองค์ประกอบทางเคมีของขนมปัง พบว่า ขนมปังที่แทนที่ด้วยผงเปลือกเงาะระดับ 3-7% มีปริมาณเถ้า คาร์โบไฮเดรตไม่แตกต่างจากสูตรควบคุมอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p > 0.05$) ในขณะที่ปริมาณโปรตีน ไขมัน มีค่าลดลง แต่ยังอยู่ในช่วงที่ใกล้เคียงกับสูตรควบคุม ทั้งนี้เนื่องจากระดับการแทนที่ที่ใช้ในการทดลองครั้งนี้อยู่ในระดับที่ต่ำ ปริมาณแป้งสาลีในสูตรที่เปลี่ยนแปลง จึงไม่ค่อยส่งผลกระทบต่อองค์ประกอบทางเคมีของขนมปังอย่างชัดเจน

ด้านปริมาณใยอาหาร เมื่อแทนที่ด้วยผงเปลือกเงาะมากขึ้น ไม่ส่งต่อปริมาณใยอาหารทั้งหมด ใยอาหารที่ละลายน้ำ และใยอาหารที่ไม่ละลายน้ำ ถึงแม้ว่าการแทนที่ที่ด้วยใยอาหารมากขึ้น ควรส่งผลให้ปริมาณใยอาหารทั้งหมดเพิ่มขึ้น แต่ในการทดลองมีการใช้ระดับการแทนที่ที่ไม่สูงมากนัก และการลดปริมาณแป้งสาลีในสูตรลงส่งผลให้ใยอาหารตามธรรมชาติที่มีในแป้งสาลีนั้นลดลงด้วย การแทนที่ด้วยใยอาหารจากผงเปลือกเงาะลงไปจึงไปชดเชยปริมาณใยอาหารทั้งหมดในขนมปังที่ผลิตได้

ตารางที่ 4-7 ปริมาณใยอาหารที่ละลายน้ำ ใยอาหารไม่ละลายน้ำ และใยอาหารทั้งหมดของขนมปังใส่เปลือกงา

	ใยอาหารที่ละลายน้ำ ^{ns} (%)	ใยอาหารที่ไม่ละลายน้ำ ^{ns} (%)	ใยอาหารทั้งหมด ^{ns} (%)
Control	3.14 ± 0.55	13.14 ± 2.58	16.28 ± 3.13
B- RPT 3	3.86 ± 0.24	11.63 ± 0.69	15.49 ± 0.92
B- RPT 5	3.45 ± 0.10	10.66 ± 1.09	14.11 ± 1.19
B- RPT 7	3.65 ± 0.12	10.73 ± 1.55	14.39 ± 1.68
B- RPF 3	3.70 ± 0.59	9.67 ± 0.06	13.37 ± 0.64
B- RPF 5	3.36 ± 0.59	9.82 ± 0.51	13.18 ± 0.08
B- RPF 7	4.25 ± 0.19	11.27 ± 0.67	15.52 ± 0.48

หมายเหตุ : ค่าในตารางแสดงค่าเฉลี่ย ± ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน จากการวัดค่า 3 ซ้ำ

^{a-d} หมายถึง ตัวอักษรที่แตกต่างกันในคอลัมน์มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P \leq 0.05$)

^{ns} หมายถึง ไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P > 0.05$)

B-RPT 3, B-RPT 5 และ B-RPT 7 หมายถึง ขนมปังที่ใส่ใยอาหารจากเปลือกงาอบแห้งลมร้อนร้อยละ 3 5 และ 7 ตามลำดับ

B-RPF 3, B-RPF 5 และ B-RPF 7 หมายถึง ขนมปังที่ใส่ใยอาหารจากเปลือกงาอบแห้งแบบแช่เยือกแข็งร้อยละ 3 5 และ 7 ตามลำดับ

จากบัญชีหมายเลข 3 แนบท้ายประกาศกระทรวงสาธารณสุข ฉบับที่ 182 พ.ศ. 2541 ว่าด้วยเรื่องสารอาหารที่แนะนำให้บริโภคประจำวันสำหรับคนไทยอายุตั้งแต่ 6 ปีขึ้นไป (Thai RDI) โดยระบุไว้ว่า ปริมาณใยอาหารที่ควรได้รับต่อวัน คือ 25 กรัม (สำนักงานคณะกรรมการอาหารและยา, 2541) และจากบัญชีหมายเลข 4 แนบท้ายประกาศกระทรวงสาธารณสุข ฉบับที่ 182 พ.ศ. 2541 ว่าด้วยเรื่อง หลักเกณฑ์ในการกล่าวอ้างทางโภชนาการบนฉลากอาหาร โดยระบุเงื่อนไขในการกล่าวอ้างด้านใยอาหารไว้ว่า สามารถใช้คำว่า “สูง” หรือ “อุดม” ได้ เมื่อมีสารอาหารนั้นอยู่ในปริมาณตั้งแต่ 20% ของ Thai RDI ขึ้นไป หรือสามารถใช้คำว่า “เป็นแหล่งของ” หรือ “มี” ได้ เมื่อมีสารอาหารนั้นอยู่ในปริมาณ 10 - 19 % ของ Thai RDI หรือสามารถใช้คำว่า “เสริม” หรือ “เพิ่ม” หรือ “มากกว่า” ได้ เมื่อเทียบกับอาหารอ้างอิงแล้ว อาหารนี้มีสารอาหารที่จะกล่าวอ้างอยู่ในปริมาณที่สูงกว่าระดับที่มีอยู่ในอาหารอ้างอิงโดยปริมาณค่าความต่างนั้นจะต้องไม่น้อยกว่าปริมาณร้อยละ 10 ของ Thai RDI (สำนักงานคณะกรรมการอาหารและยา, 2541) เมื่อพิจารณาปริมาณใยอาหารในขนมปัง พบว่า ขนมปังที่แทนที่ด้วยผงเปลือกงามีปริมาณใยอาหารอยู่ในช่วง 13-15 % จึงสามารถกล่าวอ้างว่าเป็นผลิตภัณฑ์ที่เป็นแหล่งของใยอาหารได้

สารประกอบฟีนอลิก และฟลาโวนอยด์จัดเป็นในสารที่มีความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระ ตารางที่ 4-8 แสดงปริมาณสารสำคัญเหล่านี้ในขนมปังที่เติมโยอาหารจากผงเปลือกเงาะ ความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระ DPPH

ตารางที่ 4-8 ปริมาณฟีนอลิกทั้งหมด ฟลาโวนอยด์ และการต้านอนุมูลอิสระของขนมปังใส่เปลือกเงาะ

	ฟีนอลิกทั้งหมด (mgGAE/100g)	ฟลาโวนอยด์ (mgCE/100g)	DPPH (mgTE/100g)
Control	29.19 ^f ± 3.20	14.32 ^e ± 0.64	1226.85 ^d ± 1.20
B- RPT 3	234.03 ^e ± 18.44	57.17 ^d ± 1.08	2754.09 ^c ± 13.22
B- RPT 5	459.45 ^{cd} ± 5.89	93.70 ^c ± 4.73	2980.43 ^{bc} ± 12.29
B- RPT 7	618.83 ^{ab} ± 33.82	128.29 ^b ± 7.75	3246.82 ^{ab} ± 17.03
B- RPF 3	362.12 ^{de} ± 57.81	88.14 ^c ± 5.03	2883.05 ^{bc} ± 9.69
B- RPF 5	567.35 ^{bc} ± 2.94	118.76 ^b ± 1.09	3045.98 ^{abc} ± 75.90
B- RPF 7	723.94 ^a ± 126.91	178.15 ^a ± 3.05	3386.01 ^a ± 30.45

^{a-d} หมายถึง ตัวอักษรที่ต่างกันในกลุ่มมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P \leq 0.05$)

B-RPT 3, B-RPT 5 และ B-RPT 7 หมายถึง ขนมปังที่ใส่โยอาหารจากเปลือกเงาะอบแห้งลมร้อนร้อยละ 3 5 และ 7 ตามลำดับ

B-RPF 3, B-RPF 5 และ B-RPF 7 หมายถึง ขนมปังที่ใส่โยอาหารจากเปลือกเงาะอบแห้งแบบแช่เยือกแข็งร้อยละ 3 5 และ 7 ตามลำดับ

ผลการทดลองพบว่า ขนมปังที่เติมโยอาหารจากผงเปลือกเงาะมีปริมาณฟีนอลิก และฟลาโวนอยด์สูงกว่าขนมปังสูตรควบคุมอย่างชัดเจน และเมื่อระดับการแทนที่ด้วยผงเปลือกเงาะเพิ่มมากขึ้น จะส่งผลให้ขนมปังมีปริมาณสารประกอบฟีนอลิกเพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) ด้วยเช่นกัน ทั้งนี้เนื่องจากผงเปลือกเงาะประกอบไปด้วยสารประกอบฟีนอลิก และฟลาโวนอยด์อยู่ในปริมาณที่สูงนั่นเอง ผลการทดลองนี้สอดคล้องกับงานวิจัยของ Sudha et al. (2007) ได้ทำการศึกษากการใช้กากแอปเปิ้ลเป็นแหล่งของโยอาหารและพอลิฟีนอล พบว่าเค้กที่แทนที่ด้วยกากแอปเปิ้ลมีปริมาณฟีนอลเพิ่มขึ้นจาก 2.07 เป็น 3.15 mg/g และยังคงสอดคล้องกับงานวิจัยของ Lu et al. (2010) ที่พบว่าเมื่อระดับการแทนที่ด้วยชาเขียวเพิ่มขึ้น จะส่งผลให้เค้กที่ได้มีปริมาณฟีนอลิกที่เพิ่มมากขึ้น

เมื่อพิจารณาถึงความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระ DPPH พบว่า มีความสอดคล้องกับปริมาณสารสำคัญซึ่งมีฤทธิ์ในการต้านอนุมูลอิสระ โดยขนมปังที่เติมใยอาหารจากผงเปลือกเงาะมีความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระสูงกว่าขนมปังควบคุมอย่างชัดเจน และความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระนี้มีค่าเพิ่มขึ้นตามระดับการแทนที่ที่มากขึ้น ($p \leq 0.05$) สำหรับขนมปังสูตรควบคุมที่แสดงความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระ อาจเนื่องมาจากผลของปฏิกิริยาเมลลาร์ดที่เกิดขึ้น ซึ่งผลิตภัณฑ์จากปฏิกิริยาเมลลาร์ดนั้นสามารถเพิ่มความเป็นสารต้านอนุมูลอิสระได้ ผลดังกล่าวสอดคล้องกับงานวิจัยของ Ramírez-Maganda et al. (2015) ที่ได้ทำการทดแทนแป้งสาลีด้วยวัสดุเหลือทิ้งจากมะม่วงที่ระดับ 50 และ 75 % ในมัฟฟิน พบว่า เมื่อระดับการแทนที่ที่เพิ่มมากขึ้นจะส่งผลให้มัฟฟินมีสารประกอบพอลิฟีนอลทั้งหมดเพิ่มมากขึ้น แต่มีค่ากิจกรรมการเป็นสารต้านอนุมูลอิสระ DPPH ที่เพิ่มมากขึ้น

ตอนที่ 2 การพัฒนากรรมวิธีการสกัดและฟอกสีใยอาหารจากเปลือกเงาะและการประยุกต์ใช้เป็นสารช่วยลดการดูดซับน้ำมันในอาหารทอด

4.4 ผลการศึกษาความเข้มข้นของสารละลายไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ที่ใช้ในการฟอกสีผงเปลือกเงาะ

การนำผงเปลือกเงาะมาใช้ในผลิตภัณฑ์เป็นทางเลือกหนึ่งในการลดปริมาณน้ำมันในผลิตภัณฑ์ขุบทอด แต่ผงเปลือกเงาะที่อบแห้งจะมีสีน้ำตาลเข้ม หากนำมาใช้ในผลิตภัณฑ์อาจก่อให้เกิดการไม่ยอมรับของผู้บริโภคได้ เพื่อให้ผงเปลือกเงาะมีสีเข้มน้อยลง จึงทำการศึกษาความเข้มข้นของสารละลายไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ในการฟอกสีผงเปลือกเงาะ โดยแปรปริมาณความเข้มข้น 0.5 1.0 และ 1.5 M เป็นเวลา 2 ชั่วโมง โดยทำการฟอกสีด้วยสารละลายไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ในสภาวะต่าง จากนั้นจึงกรองแล้วล้างด้วยน้ำจนหมดต่าง นำไปอบในตู้อบลมร้อนที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส แล้วบดละเอียด นำผงเปลือกเงาะที่ได้มาวิเคราะห์ความสามารถในการอุ้มน้ำ ความสามารถในการอุ้มน้ำมันและค่าสี ได้ผลวิเคราะห์แสดงดังตารางที่ 4-9 และ 4-10

4.4.1 ความสามารถในการอุ้มน้ำและความสามารถในการอุ้มน้ำมัน

นำตัวอย่างผงเปลือกเงาะที่ผ่านการฟอกสีด้วยสารละลายไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์โดยแปรความเข้มข้นของสารละลายไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ 0 0.5 1.0 และ 1.5 M มาวิเคราะห์ความสามารถในการอุ้มน้ำและความสามารถในการอุ้มน้ำมัน แสดงผลดังตารางที่ 4-9

ตารางที่ 4-9 ความสามารถในการอุ้มน้ำและความสามารถในการอุ้มน้ำมันของผงเปลือกเงาะ
ที่ผ่านการฟอกสีด้วยสารละลายไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ความเข้มข้น 0 0.5 1.0
และ 1.5 M

ความเข้มข้นของสารละลาย ไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ (M)	ความสามารถในการอุ้มน้ำ (กรัม น้ำต่อกรัม ผงเปลือกเงาะ)	ความสามารถในการอุ้มน้ำมัน (กรัม น้ำมันต่อกรัม ผงเปลือกเงาะ)
0 (ไม่ผ่านการฟอกสี)	3.88 ± 0.09 ^c	2.88 ± 0.10 ^d
0.5	5.52 ± 0.31 ^b	3.11 ± 0.06 ^c
1.0	5.67 ± 0.12 ^b	3.52 ± 0.09 ^b
1.5	7.78 ± 0.04 ^a	3.83 ± 0.05 ^a

a,b,c,d หมายถึง ตัวเลขที่มีอักษรกำกับแตกต่างกันตามแนวตั้งที่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$)

จากผลการวิเคราะห์ความสามารถในการอุ้มน้ำและความสามารถในการอุ้มน้ำมันพบว่าความสามารถในการอุ้มน้ำของผงเปลือกเงาะมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) ซึ่งความเข้มข้นของสารละลายไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ 1.5 M มีค่าการอุ้มน้ำสูงสุด คือ 7.78 กรัม น้ำต่อกรัม ผงเปลือกเงาะ และสามารถอุ้มน้ำมันได้ 3.83 กรัม น้ำมันต่อกรัม ผงเปลือกเงาะ ทั้งนี้เนื่องจากการฟอกสีเป็นการกำจัดเพื่อแยกเอาลิกนินและสารอื่นๆ บางอย่างที่เจือปนอยู่ในโครงสร้างของผนังเซลล์พืชและเส้นใยให้ออกมาอยู่ในรูปของสารละลาย และลิกนินเป็นสาเหตุทำให้เส้นใยมีสีคล้ำ (ปราณี รัตนวลิตโรจน์ และศรีโฉล ชุนทน, 2541) ซึ่งในขั้นตอนการฟอกสีผงเปลือกเงาะด้วยสารละลายไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ที่สภาวะต่าง ลิกนินที่ติดอยู่กับเซลลูโลสในผนังเซลล์พืชถูกละลายออกไป ในขณะที่เซลลูโลสไม่ถูกละลาย แต่พันธะไฮโดรเจนบางส่วนในโครงสร้างของเซลลูโลสถูกตัดทอนทำให้โครงสร้างผลึกของเซลลูโลสหลวมขึ้น จึงทำให้ใยอาหารที่ไม่ละลายน้ำส่วนที่เป็นเซลลูโลสมีสัดส่วนเพิ่มขึ้น และมีโครงสร้างหลวมขึ้น มีความสามารถในการอุ้มน้ำเพิ่มขึ้น (Gould, 1989) นอกจากนี้ จากรายงานการศึกษาเส้นใยเซลลูโลสโดยเอ็กซ์เรย์ (X-ray) พบว่าบางส่วนของเส้นใยจับตัวกันหนาทึบเป็นเส้นใยหยาบ เซลลูโลสแต่ละเส้นมีโมเลกุลเรียงตัวกันเป็นระเบียบไปทางเดียวกันต่อกับสายใยข้างเคียง ซึ่งมีโมเลกุลเรียงตัวกันในทิศทางตรงกันข้ามด้วยพันธะไฮโดรเจนทำให้พืชมีความแข็งแรง ในขณะเดียวกัน พบว่ามีบางตอนที่โมเลกุลมีการเรียงตัวกันอย่างไม่เป็นระเบียบ (Amorphous cellulose) จับกันไม่แน่น ในส่วนนี้ทำให้เซลลูโลสสามารถดูดซับ (Adsorp) โมเลกุลของน้ำได้ มีผลทำให้เกิดการพองตัว (Swell) (AACC, 2001) ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยของ Sangnark & Noomhorm (2003) ได้ศึกษาการฟอกสีตัวอย่างชานอ้อย ด้วยวิธี Alkaline Hydrogen Peroxide (AHP) พบว่าตัวอย่างชานอ้อยที่ผ่านการฟอกสีมีค่าความสามารถในการอุ้มน้ำและความสามารถในการอุ้มน้ำมันเพิ่มขึ้น 13 และ 44 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ เมื่อเทียบกับตัวอย่างชาน

อ้อยที่ไม่ได้ผ่านการฟอกสีอย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$) เช่นเดียวกับ Wongmetinee (2007) ศึกษาการสกัดใยอาหารจากกากตะไคร้ พบว่ากรรมวิธีการฟอกสีโดยใช้สารละลายไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ในสภาวะต่าง ทำให้ค่าความสามารถในการอุ้มน้ำและความสามารถในการอุ้มน้ำมัน เพิ่มขึ้นเมื่อเปรียบเทียบกับตัวอย่างกากตะไคร้ที่ไม่ได้ผ่านการฟอกสีอย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$) โดยมีค่าความสามารถในการอุ้มน้ำ 7.40 กรัม/น้ำต่อกรัมตัวอย่าง ความสามารถในการอุ้มน้ำมัน 2.25 กรัม/น้ำมันต่อกรัมตัวอย่าง และเช่นเดียวกับงานวิจัยของ สุชาดา ปรีชานฤชิตกุล (2545) พบว่าใยอาหารจากเปลือกมันเทศที่แช่ในสารละลายไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์มีค่าการอุ้มน้ำเพิ่มขึ้นเมื่อเปรียบเทียบกับใยอาหารจากเปลือกมันเทศที่ไม่ได้ผ่านการฟอกสี โดยที่การสกัดเป็นเวลา 12 ชั่วโมง มีค่าการอุ้มน้ำสูงสุด คือ 9.12 กรัม/น้ำต่อกรัมใยอาหารจากเปลือกมันเทศ

4.4.2 ค่าสี

นำตัวอย่างผงเปลือกเงาะที่ผ่านการฟอกสีด้วยสารละลายไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ โดยแปรปริมาณความเข้มข้นของสารละลายไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ 0.0 0.5 1.0 และ 1.5 M มาวิเคราะห์ค่าสีด้วยเครื่อง Hunter Lab Miniscan แสดงผลดังตารางที่ 4-10

ตารางที่ 4-10 ค่าสีผงเปลือกเงาะที่ผ่านการฟอกสีด้วยสารละลายไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์
ความเข้มข้น 0 0.5 1.0 และ 1.5 M

ค่าสี	ความเข้มข้นของสารละลายไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ (M)			
	0	0.5	1.0	1.5
L*	42.43 ± 0.07 ^c	36.87 ± 0.59 ^d	47.96 ± 0.16 ^b	57.65 ± 0.05 ^a
a*	8.27 ± 0.23 ^b	6.61 ± 0.14 ^d	8.70 ± 0.08 ^a	7.75 ± 0.11 ^c
b*	19.41 ± 0.12 ^c	16.85 ± 0.19 ^d	20.63 ± 0.39 ^b	25.37 ± 0.20 ^a
ΔE	-	6.35 ± 0.53 ^b	5.69 ± 0.11 ^c	16.36 ± 0.12 ^a

^{a,b,c,d} หมายถึง ตัวเลขที่มีอักษรกำกับแตกต่างกันตามแนวนอนมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$)

จากผลการทดลองการฟอกสีผงเปลือกเงาะด้วยสารละลายไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์โดยแปรความเข้มข้นของสารละลายไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ 0.0 0.5 1.0 และ 1.5 M พบว่าค่าความสว่าง (L*) ค่าความเป็นสีแดง (a*) ค่าความเป็นสีเหลือง (b*) และ ค่าความต่างของสี (ΔE) ของผงเปลือกเงาะที่ผ่านการฟอกสีด้วยสารละลายไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ทั้ง 3 ความเข้มข้นมีความแตกต่าง

กันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) โดยปกติส่วนของเส้นใยมักจะหมายถึงส่วนประกอบของผนังเซลล์พืชที่ประกอบไปด้วยองค์ประกอบของโปรตีน ไชมัน สารอินทรีย์ ลิกนิน เซลลูโลส เพคติน และกัม ในขณะที่ส่วนของเส้นใยอาหารประกอบด้วยองค์ประกอบของ ลิกนิน เซลลูโลส เฮมิเซลลูโลส เพคติน และกัม (วิชัย ตันไพจิตร, 2522; จรรยา วัฒนาทวิกุล, 2545) การฟอกสีเป็นการกำจัดเพื่อแยกเอาลิกนินและสารอื่นๆ บางอย่างที่อยู่บนอยู่ในโครงสร้างของผนังเซลล์พืชและเส้นใยให้ออกมาอยู่ในรูปของสารละลาย เนื่องจากลิกนินเป็นสาเหตุทำให้เส้นใยมีสีคล้ำ (ปราณี รัตนวลิตโรจน์ และศรีโฉล ขุนทนต์, 2541) ซึ่งการฟอกสีในสภาวะต่าง สารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์สามารถทำปฏิกิริยาทั้งฟอกสีและทำให้ลิกนินสลายออกมาพร้อมกับน้ำส่วนสารละลายไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ทำปฏิกิริยากับโซเดียมไฮดรอกไซด์จะได้โซเดียมเปอร์ออกไซด์กับน้ำ โดยโซเดียมเปอร์ออกไซด์จะเป็นตัวออกซิไดซ์เมื่อทำปฏิกิริยาจะคายความร้อนออกมาโดยเป็นตัวฟอกสีเพื่อช่วยฟอกสีลิกนินโดยเปลี่ยนให้อยู่ในรูปสารที่ไม่มีสี จึงมีผลทำให้ผงเปลือกเงาะมีสีจางลง มีค่าความสว่าง (L^*) เพิ่มสูงขึ้น และเมื่อนำไปอบแห้งสารที่เปลี่ยนจากมีสีกลายเป็นไม่มีสียังคงไม่เปลี่ยนแปลงที่อุณหภูมิสูง โดยในการฟอกสีผงเปลือกเงาะที่ความเข้มข้น 0.5 M มีค่าความสว่าง (L^*) ต่ำกว่าผงเปลือกเงาะที่ไม่ได้ผ่านการฟอกสีด้วยสารละลายไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ (ตัวอย่างควบคุม) อาจเป็นเพราะความเข้มข้นของสารละลายไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์โดยทั่วไปที่ใช้ในการฟอกสีจะมีความเข้มข้นอยู่ 3-90 เปอร์เซ็นต์ (เคมีอุตสาหกรรม, 2555) ซึ่งในการทดลองครั้งนี้สารละลายไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ที่ใช้ในการฟอกสีมีความเข้มข้นเพียง 0.5 M ซึ่งมีความเข้มข้นของสารละลายต่ำกว่า 3 เปอร์เซ็นต์ จึงทำให้ประสิทธิภาพในการฟอกสีลดลง และอัตราส่วนของผงเปลือกเงาะต่อสารละลายไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์อาจไม่เหมาะสมต่อการฟอกสี จึงทำให้มีสีคล้ำกว่าผงเปลือกเงาะที่ไม่ได้ผ่านการฟอกสีด้วยสารละลายไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ (ตัวอย่างควบคุม) เมื่อเพิ่มความเข้มข้นของสารละลายไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์เป็น 1 และ 1.5 M พบว่ามีค่าความสว่าง (L^*) เพิ่มสูงขึ้นตามลำดับ ซึ่งเมื่อเปรียบเทียบกับวัสดุชนิดอื่นที่นำมาฟอกสี พบว่าใยอาหารจากเปลือกมันเทศที่แช่ในสารละลายไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์เข้มข้น 1 เปอร์เซ็นต์ เป็นเวลา 0 12 15 และ 18 ชั่วโมง ค่าความสว่างมีแนวโน้มเพิ่มขึ้น คือ 29.17 43.45 44.68 และ 53.03 ตามลำดับโดยเมื่อเพิ่มระยะเวลาในการแช่เพิ่มขึ้น ใยอาหารจากเปลือกมันเทศที่ได้จะมีค่าความสว่างมากขึ้นแตกต่างจากใยอาหารจากเปลือกมันเทศที่ไม่ได้ผ่านการแช่สารละลายไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์อย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$) (สุชาดา ปรีชานฤชิตกุล, 2545) ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยของ Sangnark & Noomhorm (2003) ได้ศึกษาผลของการฟอกสีขานอ้อยด้วยวิธี Alkaline Hydrogen Peroxide (AHP) โดยใช้สารละลายไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ 1 เปอร์เซ็นต์ เป็นเวลา 12 ชั่วโมง พบว่าตัวอย่างขานอ้อยที่ผ่านการฟอกสีมีค่าความสว่างเพิ่มขึ้น 34 เปอร์เซ็นต์ เมื่อเทียบกับตัวอย่างขานอ้อยที่ไม่ได้ผ่านการฟอกสีอย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$) เช่นเดียวกับการฟอกสีเมล็ดข้าวสาลีด้วยวิธี Alkaline Hydrogen Peroxide (AHP) โดยใช้ความ

เข้มข้นสารละลายไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ 0.3 0.9 และ 1.5 M ความเป็นกรด-ด่าง (pH) 9 และ 11 เป็นเวลา 2 6 และ 18 ชั่วโมง แสดงให้เห็นว่าเมื่อเพิ่มความเข้มข้นของสารละลายไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ จะมีประสิทธิภาพในการฟอกสีเมล็ดข้าวสาลีโดยการใช้ความเข้มข้นของสารละลายไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ที่ 1.5 M สามารถลดสีของเมล็ดข้าวสาลีได้ 50 เปอร์เซ็นต์ เมื่อเทียบกับตัวอย่างควบคุม (Abdel-Aal, 1995)

ดังนั้นในการทดลองครั้งนี้ทำการคัดเลือกสภาวะที่ดีที่สุดในการฟอกสีผงเปลือกงา คือ ผงเปลือกงาที่ผ่านการฟอกสีด้วยสารละลายไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ที่ความเข้มข้น 1.5 M โดยมีค่าความสว่างมากที่สุด คือ 57.77 และมีค่าความต่างของสี (ΔE) เท่ากับ 16.37

4.4.3 ปริมาณใยอาหาร ปริมาณความชื้น และปริมาณน้ำอิสระ

นำผงเปลือกงาที่ฟอกสีด้วยสารละลายไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ 1.5 M มาทำการวิเคราะห์ปริมาณใยอาหารที่ไม่ละลายน้ำ ปริมาณใยอาหารที่ละลายน้ำ ปริมาณใยอาหารทั้งหมด ปริมาณความชื้น และปริมาณน้ำอิสระ แสดงผลดังตารางที่ 4-11

ตารางที่ 4-11 ปริมาณใยอาหาร ปริมาณความชื้น และค่า a_w ของผงเปลือกงาที่ผ่านการฟอกสีด้วยสารละลายไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ 1.5 M

องค์ประกอบ	ปริมาณ
ปริมาณใยอาหารที่ไม่ละลายน้ำ (กรัมต่อ 100 กรัม)	76.58 \pm 0.39
ปริมาณใยอาหารที่ละลายน้ำ (กรัมต่อ 100 กรัม)	3.02 \pm 0.08
ปริมาณใยอาหารทั้งหมด (กรัมต่อ 100 กรัม)	79.60 \pm 0.38
ปริมาณความชื้น (เปอร์เซ็นต์)	7.12 \pm 0.10
ค่า a_w	0.4037 \pm 0.00

ค่าเฉลี่ยจากการทดลอง 3 ซ้ำ

จากการวิเคราะห์ปริมาณใยอาหารของผงเปลือกงาที่ผ่านการฟอกสีด้วยสารละลายไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ 1.5 M พบว่าปริมาณใยอาหารทั้งหมด คือ 79.60 กรัมต่อ 100 กรัม โดยมีปริมาณใยอาหารที่ไม่ละลายน้ำมากกว่าปริมาณใยอาหารที่ละลายน้ำ ซึ่งเส้นใยอาหารที่ไม่ละลายในน้ำมีสมบัติ คือ สามารถพองตัวในน้ำได้เหมือนฟองน้ำ แต่ไม่ให้ความหนืดเมื่อรับประทานอาหารเข้าไปทำให้เพิ่มปริมาณน้ำในกระเพาะอาหารจึงรู้สึกอึด ส่วนเส้นใยอาหารที่ละลายได้จะละลายในน้ำแล้วดูดซับน้ำไว้กับตัว ทำให้มีความหนืดเพิ่มขึ้น สารเหล่านี้ร่างกายย่อยไม่ได้ แต่แบคทีเรียที่อาศัยในลำไส้ใหญ่สามารถย่อยได้ ลดปัญหาท้องผูกได้ และลดความเสี่ยงของมะเร็งลำไส้ใหญ่ได้ (นิริยา รัตนาพนนท์, 2549) ดังนั้น ผงเปลือกงาที่ผ่านการฟอกสีด้วยสารละลายไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ 1.5 M จึงสามารถใช้เป็นแหล่งของใยอาหารที่ดีในผลิตภัณฑ์อาหารได้ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยของ Gould

(1989) ที่กล่าวว่า ลิกโนเซลลูโลสสามารถนำมาพอกสีด้วยวิธี AHP เพื่อเป็นแหล่งของใยอาหารสำหรับมนุษย์ได้ เนื่องจากเมื่อผลึกของเซลลูโลสถูกรบกวน ส่งผลให้ผลิตภัณฑ์เกิดการอุ้มน้ำที่โครงสร้างภายใน โดยเสนอว่าสภาวะที่เหมาะสมและมีประสิทธิภาพในการพอกสี คือ ที่ความเข้มข้นของสารละลายไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ 1 เปอร์เซ็นต์ ที่ความเป็นกรด-ด่าง (pH) 11.5 และงานวิจัยของ Wongmetinee (2007) อธิบายว่า กรรมวิธีในการผลิตใยอาหารจากกากตะไคร้ด้วยวิธีการพอกสีด้วยสารละลายไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ในสภาวะต่าง (AHP) ได้ผลผลิตใยอาหารจากกากตะไคร้ 82 เปอร์เซ็นต์ โดยมีปริมาณใยอาหารทั้งหมด 86 เปอร์เซ็นต์ ซึ่งส่วนใหญ่เป็นใยอาหารชนิดไม่ละลายน้ำ เช่นเดียวกับ Jasberg et al. (1989) ซึ่งให้เห็นว่าลิกโนเซลลูโลสที่ใช้ในการพอกสีด้วยวิธี AHP มีปริมาณใยอาหารสูง โดยไม่มีแคลอรีสามารถใช้ในอาหารอบได้ และพบว่าฟางข้าวสาเล่ที่ใช้วิธี AHP สามารถใช้ทดแทนแป้งได้ถึง 40 เปอร์เซ็นต์ ในเค้กโดยไม่ส่งผลกระทบต่อผลการอบหรือลักษณะทางประสาทสัมผัส

ผงเปลือกเงาะที่ผ่านการพอกสีด้วยสารละลายไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ 1.5 M มีค่า a_w ไม่เกิน 0.6 และมีค่าปริมาณความชื้นต่ำกว่า 15 เปอร์เซ็นต์ ซึ่งอยู่ในระดับที่เชื้อจุลินทรีย์ไม่สามารถเจริญได้ (ไพศาล วุฒิจำนงค์, 2545) ดังนั้น ค่า a_w และค่าปริมาณความชื้นที่มีอยู่ในผงเปลือกเงาะอยู่ในเกณฑ์ที่ปลอดภัยต่อการเจริญของจุลินทรีย์ จึงสามารถเก็บรักษาได้เป็นระยะเวลานาน โดยไม่เกิดการเสื่อมเสียจากจุลินทรีย์

4.5 ศึกษาการใช้ผงเปลือกเงาะที่ผ่านการพอกสีด้วยสารละลายไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ 1.5 M ในระดับต่างๆ เพื่อลดการดูดซับน้ำมันในผลิตภัณฑ์ไก่ชุบแป้งทอด

จากการศึกษาการใช้ผงเปลือกเงาะที่ผ่านการพอกสีด้วยสารละลายไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ 1.5 M เพื่อลดการดูดซับน้ำมันในผลิตภัณฑ์ไก่ชุบแป้งทอด โดยแปรปริมาณผงเปลือกเงาะ 0 3 6 และ 9 เปอร์เซ็นต์ ของน้ำหนักส่วนผสมทั้งหมด จากนั้นทำการวิเคราะห์ปริมาณความชื้น ปริมาณน้ำมัน ค่าสี ค่าความกรอบ (Crispness) ของผลิตภัณฑ์ไก่ชุบแป้งทอด

4.5.1 ปริมาณความชื้นและปริมาณไขมัน

นำผลิตภัณฑ์ไก่ชุบแป้งทอดที่แยกส่วนของแป้งชุบทอดมาทำการวิเคราะห์หาปริมาณความชื้นโดยใช้ตู้อบลมร้อนที่อุณหภูมิ 105 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 12 ชั่วโมง และหาปริมาณไขมันโดยใช้เครื่อง Soxhlet extraction แสดงผลดังตารางที่ 4-12

ตารางที่ 4-12 ปริมาณความชื้นและปริมาณไขมันของแป้งชูบทอดที่เติมผงเปลือกเงาะที่ผ่านการฟอกสีด้วยสารละลายไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ 1.5 M โดยแปรปริมาณ 0 3 6 และ 9 เปอร์เซ็นต์

ปริมาณผงเปลือกเงาะ (เปอร์เซ็นต์)	ปริมาณความชื้น (เปอร์เซ็นต์)	ปริมาณไขมัน (เปอร์เซ็นต์)
0	21.88 ± 3.17 ^d	37.03 ± 1.43 ^a
3	29.59 ± 3.08 ^c	27.94 ± 2.28 ^b
6	37.33 ± 2.04 ^b	19.74 ± 1.00 ^c
9	42.29 ± 1.69 ^a	15.10 ± 0.77 ^d

^{a,b,c,d} หมายถึง ตัวเลขที่มีอักษรกำกับแตกต่างกันตามแนวตั้งมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$)

จากการวิเคราะห์ปริมาณความชื้นของแป้งชูบทอดที่เติมผงเปลือกเงาะที่ผ่านการฟอกสีด้วยสารละลายไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ 1.5 M โดยแปรปริมาณผงเปลือกเงาะ 0 3 6 และ 9 เปอร์เซ็นต์ ของน้ำหนักส่วนผสมทั้งหมด พบว่าแป้งชูบทอดที่เติมผงเปลือกเงาะมีปริมาณความชื้นมากกว่าแป้งชูบทอดที่ไม่ได้เติมผงเปลือกเงาะ (ตัวอย่างควบคุม) ซึ่งมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) โดยการเติมปริมาณผงเปลือกเงาะ 9 เปอร์เซ็นต์ ของน้ำหนักส่วนผสมทั้งหมด แป้งชูบทอดมีปริมาณความชื้นสูงสุด คือ 42.29 เปอร์เซ็นต์ เนื่องจากผงเปลือกเงาะมีปริมาณใยอาหารที่ไม่ละลายน้ำอยู่สูงถึง 76.88 กรัมต่อ 100 กรัม (ตารางที่ 4-3) ซึ่งใยอาหารที่ไม่ละลายน้ำส่วนใหญ่จะประกอบด้วยเซลลูโลสซึ่งมีสมบัติ คือ ไม่ทำปฏิกิริยากับสารอื่น ไม่ละลายในต่าง และตัวทำละลายเป็นส่วนใหญ่ (Deveries and Reinhold, 1992) โดยเซลลูโลสไม่สามารถละลายน้ำได้ แต่สามารถดูดซับน้ำไว้ที่บริเวณผิวจึงเกิดการพองตัว ซึ่งความสามารถในการดูดน้ำไว้ได้ดังนี้ ทำให้มีปริมาณน้ำอิสระที่จะระเหยออกไประหว่างการทอดลดลง (Saguy and Pinthus, 1995) ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยของ สุชาติา ปริชานฤชิตกุล (2545) ได้ศึกษาการเติมใยอาหารจากเปลือกมันเทศในปริมาณ 0 5 10 15 และ 20 เปอร์เซ็นต์ ลงในแป้งชูบทอด พบว่าเมื่อเติมใยอาหารจากเปลือกมันเทศลงในแป้งชูบทอดมากขึ้นจะทำให้ปริมาณความชื้นมีแนวโน้มที่เพิ่มขึ้น เมื่อเปรียบเทียบกับแป้งชูบทอดที่ไม่ได้เติมใยอาหารจากเปลือกมันเทศอย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$) เช่นเดียวกับ Wongmetinee (2007) ศึกษาการประยุกต์ใช้ใยอาหารจากกากตะไคร้ในผลิตภัณฑ์อาหาร ทำการศึกษาในนักเก็ตไก่ โดยเติมใยอาหารในปริมาณ 1 2 และ 3 เปอร์เซ็นต์ ของน้ำหนักส่วนผสมทั้งหมด พบว่าเมื่อเพิ่มปริมาณใยอาหารลงในผลิตภัณฑ์ปริมาณความชื้นจะมีค่าเพิ่มขึ้นตามลำดับ โดยการเติมใยอาหารในปริมาณ 2 และ 3 เปอร์เซ็นต์ ช่วยลดการอมน้ำมันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) และงานวิจัยของ Prakongpan (2002) ศึกษาการสกัดและการใช้

ประโยชน์จากเส้นใยอาหารและเซลลูโลสจากแกนสับประรดเพื่อนำมาเสริมใยอาหารในผลิตภัณฑ์อาหาร เทียบกับเซลลูโลสทางการค้าพบว่า โดนท์เค้กที่เติมใยอาหารจากแกนสับประรด 3 เปอร์เซ็นต์ของน้ำหนักรวม ช่วยเพิ่มปริมาณความชื้น 10.7 – 21.7 เปอร์เซ็นต์ และลดการร่อนน้ำมันระหว่างการทอดได้ 7.9 – 28.8 เปอร์เซ็นต์

จากการวิเคราะห์ปริมาณไขมันในแป้งชุบทอด เมื่อเติมผงเปลือกเงาะเพิ่มขึ้น 0 3 6 และ 9 เปอร์เซ็นต์ ของน้ำหนักส่วนผสมทั้งหมด พบว่าปริมาณไขมันของแป้งชุบทอดมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) ซึ่งการเติมผงเปลือกเงาะทำให้แป้งชุบทอดลดการดูดซับน้ำมันในระหว่างการทอดได้มากกว่าแป้งชุบทอดที่ไม่เติมผงเปลือกเงาะ (ตัวอย่างควบคุม) โดยการเติมผงเปลือกเงาะ 9 เปอร์เซ็นต์ ของน้ำหนักส่วนผสมทั้งหมด แป้งชุบทอดมีปริมาณไขมันต่ำสุด คือ 15.10 เปอร์เซ็นต์ จะเห็นได้ว่าเมื่อปริมาณผงเปลือกเงาะเพิ่มมากขึ้นส่งผลให้ปริมาณความชื้นเพิ่มขึ้นและปริมาณไขมันลดลง โดยในแป้งชุบทอดที่เติมผงเปลือกเงาะมีปริมาณความชื้นสูง คือ มีปริมาณน้ำอยู่ในชั้นผลิตภัณฑ์มาก ปริมาณการดูดซับน้ำมันน้อยลง จึงเกิดความสัมพันธ์แบบผกผันกันระหว่างปริมาณความชื้นและปริมาณไขมัน นั่นคือ การเติมผงเปลือกเงาะในแป้งชุบทอดจะมีผลทำให้การดูดซับน้ำมันลดลง เป็นผลของปฏิกิริยาที่มีความแข็งแรง เนื่องจากพันธะไฮโดรเจนระหว่างโมเลกุลของน้ำในแป้งและเซลลูโลส โดยทำให้เกิดเจลที่อุณหภูมิสูงหรือมีการเกิดพันธะเชื่อมข้าม มีผลทำให้เกิดการระเหยและการแพร่ผ่านของน้ำลดลง จึงช่วยลดการดูดซับน้ำมันเนื่องจากเกิดแรงดันคาปิลลารีได้ (Mellema, 2003) ซึ่งการเติมเส้นใยอาหารลงในส่วนผสมของอาหารทอดจะทำให้อาหารดีต่อสุขภาพมากขึ้นเพราะไขมันน้อยลง เนื่องจากเส้นใยอาหารบางชนิดช่วยลดการร่อนน้ำมันระหว่างการทอด และยังช่วยให้การทอดนั้นมีลักษณะปรากฏดีขึ้น (Ang, 1991) ซึ่งสอดคล้องกับรายงานของ ประดิษฐ์ คำหนองไผ่ (2557) ศึกษาการเติมใยอาหารจากแกนสับประรดเพื่อทดแทนแป้งสาลีในชิฟฟอนเค้กโดยแปรปริมาณใยอาหารเป็น 0 5 10 15 และ 20 เปอร์เซ็นต์ พบว่าเมื่อทดแทนใยอาหารมากยิ่งขึ้น จะสามารถลดปริมาณไขมันได้แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) และงานวิจัยของ อัญชลี คະสุรินทร์ (2550) พบว่าเมื่อเติมเปลือกเมล็ดทานตะวันทดแทนแป้งมันสำปะหลังบางส่วนในปริมาณที่มากขึ้น ทำให้ได้ปริมาณไขมันที่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) โดยข้าวเกรียบกุ้งที่เติมเปลือกเมล็ดทานตะวันทดแทนแป้งมันสำปะหลัง 2 4 และ 6 เปอร์เซ็นต์ สามารถลดปริมาณน้ำมันที่ดูดซึมในอาหารได้ 0.97 2.61 และ 4.26 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ

ดังนั้นจึงสรุปได้ว่าใยอาหารมีคุณสมบัติในการอุ้มน้ำ และไม่ทำให้ไขมันในผลิตภัณฑ์อาหารทอดที่มีการเติมใยอาหาร ทำให้ลดการร่อนน้ำมันและมีความชื้นเพิ่มขึ้น (Raghavendra et al, 2006)

4.5.2 ค่าสี

นำตัวอย่างผงเปลือกเงาะที่ผ่านการฟอกสีด้วยสารละลายไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ความเข้มข้น 1.5 M ผสมลงในแป้งชูบทอด โดยแปรปริมาณ 0 3 6 และ 9 เปอร์เซ็นต์ ของน้ำหนัก ส่วนผสมทั้งหมด เมื่อทอดเสร็จแล้วนำส่วนของแป้งชูบทอดที่แยกออกจากเนื้อไก่มาวิเคราะห์ค่าสีด้วยเครื่อง Hunter Lab Miniscan แสดงผลดังตารางที่ 4-13

ตารางที่ 4-13 ค่าสีของแป้งชูบทอดที่เติมผงเปลือกเงาะที่ผ่านการฟอกสีด้วยสารละลายไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ 1.5 M โดยแปรปริมาณ 0 3 6 และ 9 เปอร์เซ็นต์

ค่าสี	ปริมาณผงเปลือกเงาะ (เปอร์เซ็นต์)			
	0	3	6	9
L*	49.08 ± 0.53 ^a	45.35 ± 0.45 ^b	40.91 ± 0.67 ^c	39.80 ± 0.15 ^d
a*	9.90 ± 1.32 ^d	12.30 ± 0.73 ^a	10.53 ± 0.34 ^b	10.32 ± 0.42 ^c
b*	28.36 ± 0.63 ^b	28.95 ± 1.09 ^a	24.62 ± 0.47 ^c	24.28 ± 0.95 ^d
ΔE	-	4.77 ± 0.74 ^c	9.11 ± 0.43 ^b	10.36 ± 0.57 ^a

^{a,b,c,d} หมายถึง ตัวเลขที่มีอักษรกำกับแตกต่างกันตามแนวนอนมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$)

ผลิตภัณฑ์ไก่ชุบแป้งทอดที่เติมผงเปลือกเงาะที่ผ่านการฟอกสีด้วยสารละลายไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ 1.5 M ในระดับที่แตกต่างกัน พบว่าแป้งชูบทอดที่เติมผงเปลือกเงาะจะมีค่าความสว่าง (L*) ลดลง โดยแป้งชูบทอดที่เติมปริมาณผงเปลือกเงาะเพิ่มมากขึ้น มีผลทำให้ผลิตภัณฑ์ไก่ชุบแป้งทอดมีสีคล้ำขึ้นตามลำดับ สำหรับค่าสีแดง (a*) และ ค่าสีเหลือง (b*) มีค่าลดลงอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$) ส่วนค่าความต่างของสี (ΔE) ปริมาณผงเปลือกเงาะ 3 เปอร์เซ็นต์มีค่าความต่างของสี (ΔE) น้อยที่สุด คือ 4.77 ซึ่งค่าความต่างของสี (ΔE) มากขึ้น เมื่อปริมาณผงเปลือกเงาะเพิ่มขึ้น ทั้งนี้เนื่องจากสีของผงเปลือกเงาะนั้นมีสีเข้มอยู่แล้ว เมื่อเติมลงในแป้งชูบทอดเพิ่มขึ้น ส่งผลให้ผลิตภัณฑ์ไก่ชุบแป้งทอดมีสีคล้ำขึ้น ค่าความต่างของสี (ΔE) จึงมากขึ้นตามลำดับซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยของ อัญชลี คະสุรินทร์ (2550) ได้ศึกษาการเติมเปลือกเมล็ดทานตะวันทดแทนแป้งมันสำปะหลังในผลิตภัณฑ์ข้าวเกรียบกุ้งในปริมาณ 0 2 4 และ 6 เปอร์เซ็นต์ พบว่าข้าวเกรียบกุ้งที่เติมเปลือกเมล็ดทานตะวัน 6 เปอร์เซ็นต์ มีค่าความสว่าง (L*) น้อยกว่าข้าวเกรียบกุ้งที่ไม่เติมเปลือกเมล็ดทานตะวัน และงานวิจัยของ สุชาติดา ปรีชานฤชิตกุล (2545) ได้ศึกษาการเติมโยอาหารจากเปลือกมันเทศลงในแป้งชูบทอดในปริมาณ 0 5 10 15 และ 20 เปอร์เซ็นต์ พบว่า แป้งชูบทอดที่เติมโยอาหาร

จากเปลือกมันเทศในปริมาณที่เพิ่มขึ้น มีผลทำให้ค่าความสว่าง (L^*) มีแนวโน้มลดลงอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) ซึ่งแสดงให้เห็นว่า เมื่อเติมใยอาหารลงในแป้งชูบทอดมากขึ้นจะทำให้สีของผลิตภัณฑ์แตกต่างจากที่ไม่ได้เติมใยอาหารจากเปลือกมันเทศ คือ มีแนวโน้มของค่าความสว่างลดลง ทำให้ผลิตภัณฑ์มีสีคล้ำมากขึ้น

4.5.3 ค่าความกรอบ (Crispness)

ตารางที่ 4-14 ค่าความกรอบของผลิตภัณฑ์แป้งชูบทอดที่เติมผงเปลือกเงาะที่ผ่านการพอกสีด้วยสารละลายไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ 1.5 M โดยแปรปริมาณ 0 3 6 และ 9 เปอร์เซ็นต์

ปริมาณผงเปลือกเงาะ (เปอร์เซ็นต์)	Crispness (จำนวนพิก)
0	10.73 ± 5.26^d
3	28.07 ± 3.00^c
6	50.94 ± 3.21^b
9	71.83 ± 3.64^a

^{a,b,c,d} หมายถึง ตัวเลขที่มีอักษรกำกับแตกต่างกันตามแนวตั้งมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$)

จากผลการทดลองตารางที่ 4-14 พบว่าแป้งชูบทอดที่เติมผงเปลือกเงาะในปริมาณเพิ่มขึ้นจะมีผลให้ค่าความกรอบเพิ่มขึ้น สังเกตได้จากมีจำนวนพิกที่เกิดจากการวัดเพิ่มขึ้นโดยค่าความกรอบ (crispness) ของแป้งชูบทอดใช้วิธีการนับจำนวนพิกของกราฟที่เกิดขึ้นขณะทดสอบตั้งแต่จุดเริ่มต้นจนถึงแรงสูงสุด กราฟที่มีจำนวนพิกมากกว่าจะมีความกรอบมากกว่า เพราะมีการแตกหักหลายครั้ง โดยการเติมผงเปลือกเงาะปริมาณ 9 เปอร์เซ็นต์ ของน้ำหนักส่วนผสมทั้งหมด มีจำนวนพิกสูงสุด คือ 71.83 พิก โดยแป้งสาลีเป็นองค์ประกอบหลักของแป้งชูบทอด ในแป้งสาลีมีโปรตีนที่สำคัญคือ gliadin และ glutenin ซึ่งสามารถรวมตัวกันเกิดเป็นกลูเตนที่กักเก็บก๊าซและให้โครงสร้างที่เบา กับผลิตภัณฑ์หลังทอด ขณะที่โปรตีนจากแป้งชนิดอื่นไม่มีสมบัติดังกล่าว (Suderman & Cunningham, 1993) และเมื่อเติมผงเปลือกเงาะลงในแป้งชูบทอดเพิ่มขึ้น แป้งชูบทอดจึงมีความหนืดมากขึ้นตามลำดับ ส่งผลให้การเกาะติดของน้ำแป้งบนชิ้นอาหารนั้นดีขึ้น เนื่องจากใยอาหารประกอบไปด้วยเซลลูโลสซึ่งเป็นส่วนที่ไม่สามารถละลายน้ำได้ แต่สามารถดูดซับโมเลกุลของน้ำไว้ได้ จึงมีผลทำให้ผลิตภัณฑ์เกิดการพองตัว (ปาริชาติ สักกะทำนุ, 2539) ซึ่งความกรอบมีความสัมพันธ์กับการพองตัวของสตาร์ชเมื่อทำการผสมแป้งกับน้ำ แป้งจะดูดน้ำเข้าไปภายในเม็ดแป้ง เมื่อนำลงทอด อุณหภูมิของน้ำมัน (150-180 องศาเซลเซียส) สูงกว่าจุดเดือดของน้ำ (100 องศาเซลเซียส) ทำให้น้ำที่อยู่ภายในเม็ดแป้งเกิดแรงดันเพื่อระบายน้ำออกมา ทำให้เม็ดแป้งเกิดเป็นรูพรุนทั่วทั้งชิ้น (กมลทิพย์

มันักดี, 2542) โดยแป้งชุบทอดที่เติมผงเปลือกเงาะปริมาณ 3 6 และ 9 เปอร์เซ็นต์ ของน้ำหนัก ส่วนผสมทั้งหมด มีค่าความกรอบแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) ซึ่งสอดคล้องกับ งานวิจัยของ วรวรรณ เจริญพันธ์ (2550) ศึกษาคุณภาพของผลิตภัณฑ์แป้งชุบทอดที่ผลิตจากแป้ง 3 สูตร พบว่าไก่ชุบแป้งทอดที่ทำจากแป้งสาลีมีค่าความกรอบ (crispness) สูงสุด คือ 21.43 ฟิค และ งานวิจัยของ สุชาดา ปรีชานฤชิตกุล (2545) ได้ศึกษาการเติมใยอาหารจากเปลือกมันเทศลงในแป้งชุบทอดในปริมาณ 0 5 10 15 และ 20 เปอร์เซ็นต์ พบว่าแป้งชุบทอดที่เติมใยอาหารจากเปลือกมันเทศ ในปริมาณที่เพิ่มขึ้นจะทำให้ค่าความกรอบ (Crispness) เพิ่มขึ้นโดยแป้งชุบทอดที่เติมใยอาหารจาก เปลือกมันเทศ 20 เปอร์เซ็นต์ มีค่าความกรอบสูงสุด คือ 6.40 ฟิค

บทที่ 5

สรุปผลการทดลองและข้อเสนอแนะ

สรุปผลการทดลอง

ผงเปลือกเงาะที่ผ่านอบแห้งด้วยวิธีที่ต่างกัน ส่งผลต่อการเปลี่ยนแปลงคุณภาพด้านต่างๆ ดังนี้

- ด้านความชื้น สี ความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระ พบว่าการอบแห้งด้วยวิธีแช่เยือกแห้ง จะรักษาคุณภาพด้านสี ความชื้น และสารสำคัญที่มีความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระได้ดีกว่าวิธีอบแห้งแบบอบลมร้อน

- ปริมาณใยอาหารทั้งหมดของผงเปลือกเงาะอยู่ในช่วง 56-61% โดยเป็นใยอาหารที่ไม่ละลายน้ำเป็นองค์ประกอบหลัก (48-54%) ปริมาณใยอาหารที่ได้จากการอบแห้งด้วยลมร้อนจะมากกว่าการอบแห้งแบบแช่เยือกแห้งเล็กน้อย

- ด้านคุณสมบัติเชิงหน้าที่ พบว่า ผงเปลือกเงาะอบแห้งด้วยการทำแห้งแบบแช่เยือกแห้ง มีความสามารถในการอุ้มน้ำและความสามารถในการขัดขวางการแพร่ผ่านกลูโคส ดีกว่า อย่างไรก็ตาม ผงเปลือกเงาะทั้งสองตัวอย่างมีความสามารถในการอุ้มน้ำมัน การดูดซึมน้ำตาลกลูโคส การจับกับน้ำดีได้ดี และไม่แตกต่างกันระหว่างสองตัวอย่าง

เมื่อพิจารณาคุณสมบัติโดยรวมสรุปได้ว่า ผงเปลือกเงาะที่ผ่านอบแห้งด้วยแช่เยือกแห้งจะให้คุณภาพโดยรวมดีกว่าเปลือกเงาะอบแห้งแบบอบลมร้อน อย่างไรก็ตามการอบแห้งด้วยตู้อบลมร้อนจะมีต้นทุนต่ำกว่า แลยังคงให้คุณสมบัติต่างๆ ที่ดีสำหรับนำไปใช้เป็นสารผสมอาหารเพื่อสุขภาพ

เมื่อนำผงเปลือกเงาะไปใช้เสริมใยอาหารในขนมปังพบว่า ขนมปังที่ใช้ใยอาหารจากผงเปลือกเงาะทั้งสองวิธี เมื่อใช้ที่ระดับ 3-7% ไม่ส่งผลต่อค่าปริมาณน้ำอิสระ และความชื้น แต่เมื่อใช้ปริมาณผงเปลือกเงาะมากขึ้น ปริมาตรของขนมปังจะลดลงตามลำดับ และสอดคล้องกับค่าความแข็งที่เพิ่มขึ้นตามเช่นกัน ทั้งนี้การแทนที่ด้วยผงเปลือกเงาะอบแห้งด้วยลมร้อนที่ระดับ 3% มีปริมาตรและความแข็งไม่ต่างจากสูตรควบคุม คุณภาพด้านสีพบว่าขนมปังที่เสริมผงเปลือกเงาะมีสีออกน้ำตาลแดง ซึ่งต่างจากสูตรควบคุมอย่างชัดเจน โดยเมื่อระดับการใช้ผงเปลือกเงาะมากขึ้น สีของขนมปังจะเข้มขึ้น โดยขนมปังจากผงเปลือกเงาะอบแห้งแบบแช่เยือกแห้งจะมีสีอ่อนกว่า

ในด้านคุณค่าโภชนาการ และประโยชน์ต่อสุขภาพ พบว่า ขนมปังที่เติมผงเปลือกเงาะไม่ส่งผลต่อการเปลี่ยนแปลงองค์ประกอบทางเคมี โดยทุกสูตรขนมปังมีค่าใกล้เคียงกับสูตรควบคุม และปริมาณใยอาหารที่ใช้ (3-7%) ไม่ส่งผลต่อการเปลี่ยนแปลงใยอาหารในขนมปัง ทั้งนี้เมื่อพิจารณา

ปริมาณใยอาหารในขนมปัง พบว่า ขนมปังที่แทนที่ด้วยผงเปลือกงาจะมีปริมาณใยอาหารอยู่ในช่วง 13-15 % จึงสามารถกล่าวอ้างว่าเป็นผลิตภัณฑ์ที่เป็นแหล่งของใยอาหารได้ นอกจากนี้ขนมปังที่ได้ยังเป็นแหล่งของสารประกอบฟีนอลิก ฟลาโวนอยด์ ซึ่งส่งผลต่อความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระที่สูงขึ้นอย่างชัดเจน

จากการศึกษาความเข้มข้นของสารละลายไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ที่ใช้ในการฟอกสีผงเปลือกงา พบว่า สภาวะที่ดีที่สุดในการฟอกสีผงเปลือกงา คือ ผงเปลือกงาที่ผ่านการฟอกสีด้วยความเข้มข้นของสารละลายไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ 1.5 M จากการวิเคราะห์สมบัติทางกายภาพและทางเคมีของผงเปลือกงา พบว่า มีค่าความสว่างและความสามารถในการอุ้มน้ำสูง โดยมีค่าความสว่าง (L^*) มากที่สุด คือ 57.65 และความสามารถในการอุ้มน้ำสูงที่สุด คือ 7.78 กรัม/น้ำต่อกรัมตัวอย่าง เมื่อนำมาทดสอบเติมลงในแป้งชูบทอด พบว่า ผลิตภัณฑ์ไก่ชุบแป้งทอดที่เติมผงเปลือกงาที่ผ่านการฟอกสีด้วยสารละลายไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ 1.5 M ปริมาณ 3-9 เปอร์เซ็นต์ ของน้ำหนักส่วนผสมทั้งหมด มีการอมน้ำมันลดลงและมีความกรอบเพิ่มมากขึ้นเมื่อเติมผงเปลือกงาในปริมาณเพิ่มขึ้น

ข้อเสนอแนะ

การเสริมใยอาหารจากผงเปลือกงาถึงแม้จะได้ประโยชน์จากใยอาหารและสารต้านอนุมูลอิสระ แต่ผงเปลือกงาที่เตรียมได้ยังมีรสขมมาก เมื่อนำไปใช้ในผลิตภัณฑ์จึงมีรสขมในอาหารด้วยเช่นกัน เพื่อเป็นการพัฒนาผลิตภัณฑ์ต่อไป ควรศึกษาวิธีการลดความขมในเปลือกงาก่อนนำมาเตรียมเป็นผงใยอาหารเพื่อให้เกิดการยอมรับทางประสาทสัมผัส และศึกษาการใช้สารปรับปรุงเนื้อสัมผัส เช่น อิมัลซิไฟเออร์ เพื่อเพิ่มปริมาตรและลดความแข็งของขนมปัง

รายการอ้างอิง

- กมลทิพย์ มั่นภักดี. (2542). การตัดแปรรสตาโรซินในแป้งข้าวเพื่อทำแป้งข้างผสมสำหรับประกอบอาหารทอดแช่เยือกแข็ง. วิทยานิพนธ์ปริญญาวิทยาศาสตรดุษฎีบัณฑิต, สาขาวิทยาศาสตร์การอาหาร, มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.
- เคมีอุตสาหกรรม. (2555). *โซเดียมไฮดรอกไซด์*. วันที่ค้นข้อมูล 27 สิงหาคม 2557, เข้าถึงได้จาก <http://www.siamchemi.com/โซเดียมไฮดรอกไซด์>.
- จรรยา วัฒนาวิกุล. (2545). โยอาหารเพื่อสุขภาพ. *ว.กรมวิทยาศาสตร์บริการ*, 50, 28-31.
- จิตรณา แจ่มเมฆ และ อรอนงค์ นัยวิกุล. (2541). เบเกอรี่เทคโนโลยีเบื้องต้น. พิมพ์ครั้งที่ 5. สำนักพิมพ์มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์. กรุงเทพฯ.
- ฉันทนา นันทิวฒนวนงศ์ (2537) การเปรียบเทียบการใช้เซลลูโลสผงจากกากอ้อยกับเซลลูโลสอื่นในแป้งชุบทอดและโดนัทเพื่อลดการอมน้ำมัน. วิทยานิพนธ์วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาเทคโนโลยีทางอาหาร จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.
- ดวงจันทร์ เสงส์สวัสดิ์. (2545). โยอาหารเพื่อสุขภาพ. *อาหาร*, 32(3), 157-159.
- นิธิมา อรรถวานิช. 2544. โยอาหารผงจากสัสมและการประยุกต์. วิทยานิพนธ์วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, กรุงเทพฯ.
- ปาริชาติ สักกะทำนุ. (2539). *คุณค่าอาหารเส้นใยป้องกันบำบัดสารพัดโรค*. รวมพรรณ: กรุงเทพฯ.
- ประดิษฐ์ คำหนองไผ่. (2557). ผลของโยอาหารจากแกนสับปะรดต่อคุณภาพของซีฟฟอนเค้ก. ใน *การประชุมสัมมนาทางวิชาการมทร.ตะวันออกมรภ.กลุ่มกรุงศรีอยุธยาและราชนครินทร์ วิชาการและวิจัย 14-16 พฤษภาคม 2557*. ปทุมธานี: มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี.
- ประสิทธิ์ อติวีระกุล. 2527. น้ำผลไม้. ใน *เทคโนโลยีของผักและผลไม้*. หน้า 304-312. ภาควิชาอุตสาหกรรมเกษตร คณะทรัพยากรธรรมชาติ. มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์. สงขลา.
- ปราณี รัตนวลิตโรจน์ และศรีเณล ชุนทน. (2541). *การสังเคราะห์คาบอกลีเมทิลเซลลูโลสจากขานอ้อย*. สถาบันวิจัยโลหะและวัสดุ. จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย: กรุงเทพมหานคร.
- ผกาวดี นารอง. (2543). เส้นโยอาหาร (Dietary Fiber): บทบาทสำคัญที่ไม่ควรมองข้าม. *ศูนย์บริการวิชาการ*, (1), 23-25.
- ไพศาล วุฒิจำนงค์. (2545). *เอกสารประกอบการฝึกอบรมหลักสูตร การประเมินอายุการเก็บรักษาผลิตภัณฑ์อาหาร*. ร่วมจัดโดยมหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, สถาบันอาหาร, ศูนย์พันธุ์ วิศวกรรมและเทคโนโลยีชีวภาพแห่งชาติ. หน้า 51-53, กรุงเทพฯ.

- วรวรรณ เจริญพันธ์. (2550). *ผลของอุณหภูมิและเวลาที่ใช้ในการให้ความร้อนขึ้นต่อสมบัติของแป้งข้าวเจ้าและการประยุกต์ใช้ในผลิตภัณฑ์แป้งซุบทอด*. ปัญหาพิเศษปริญญาตรี ภาควิชาวิทยาศาสตร์การอาหารคณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยบูรพา.
- วิกิพีเดีย สารานุกรมเสรี (2556) เกาะ. เข้าถึงได้ใน <http://th.wikipedia.org/> วันที่ทำการสืบค้นข้อมูล 17 กันยายน 2556.
- วิชัย ต้นไฟจิตร. (2522). มากินโยอาหารกันเถอะ. *ใกล้หมอ*, 3, 75-78.
- วิภา สุโรจนะเมธกุล และคณะ. (2541). การใช้ดอกกระเจี๊ยบและเปลือกถั่วเหลืองเพื่อผลิตเซลลูโลส ผง. *อาหาร*, 28(47), 255-267.
- วีไล รังสาดทอง. 2545. กรรมวิธีการแปรรูปโดยใช้ความร้อน. ใน เทคโนโลยีการแปรรูปอาหาร. พิมพ์ครั้งที่ 2. หน้า 129-198. บริษัทเท็กซ์ แอนด์ เจอร์นัล พับลิเคชั่น จำกัด. กรุงเทพฯ.
- สถาบันวิจัยวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งประเทศไทย, 2555) ผลิตภัณฑ์แปรรูปเงาะครบวงจร. <http://www.tistr.or.th/tistr/newsboard/shownews.php?Category=newsboard&No=330>
- สาวไหม. (2548). *สูตรแป้งทอดกรอบ*. วันที่สืบค้นข้อมูล 27 สิงหาคม 2557, เข้าถึงได้จาก <http://www.pantown.com/board>
- สิริมา ชินสาร. (2552). การดูดซับน้ำมันในกระบวนการทอดแบบน้ำมันท่วม. *วิทยาศาสตร์บูรพา*, มหาวิทยาลัยบูรพา, 14(2), 138-145.
- สุชาดา ปรีชานฤชิตกุล. (2545). *การเสริมโยอาหารจากเปลือกมันเทศในแป้งซุบทอด*. ปัญหาพิเศษปริญญาตรี ภาควิชาวิทยาศาสตร์การอาหารคณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยบูรพา.
- สุรพันธ์ โคมินทร์. (2534). ผลกระทบของโยอาหารและไฟเตตต่อสุขภาพและภาวะโภชนาการ, หน้า. 339 - 349. ใน เอกสารการประชุมวิชาการโภชนาการ เรื่อง ก้าวไปกับโภชนาการเพื่อสุขภาพ, สำนักงานคณะกรรมการอาหารและยา. (2541). ปริมาณอาหารหนึ่งหน่วยบริโภคและการกล่าวอ้างสารอาหาร. ใน ประกาศกระทรวงสาธารณสุข (ฉบับที่ 182) พ.ศ.2541 เรื่อง ฉลากโภชนาการ. กระทรวงสาธารณสุข. กรุงเทพฯ
- หยาดฝน ทนงการกิจ. (2557). การใช้ประโยชน์จากเศษผักผลไม้เหลือทิ้งเพื่อผลิตเป็นโยอาหารผง. *วารสาร เทคโนโลยีการอาหาร มหาวิทยาลัยสยาม* 9(1), 31-38.
- อัญชลี คะสุนินทร์. (2550). *ผลของการทดแทนแป้งมันสำปะหลังบางส่วนด้วยเปลือกเมล็ดทานตะวัน ที่ผ่านการฟอกสีต่อคุณภาพของข้าวเกรียบกุ้ง*. ปัญหาพิเศษปริญญาตรี ภาควิชาวิทยาศาสตร์การอาหารคณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยบูรพา.
- AACC. (2001). *The Definication of Dietary Fiber*: American Association Of Cereal Chemists.

- Abdel-Aal ESM, Sosulski FW., & Sokhansanj S. (1995). Bleaching of wheat distillers' grains and its fibre and protein fractions with alkaline hydrogen peroxide. *Lebensm-Wiss u-Technol*, 29(3), 210-6.
- Ajila, C. M., Aalami, M., Leelavathi, K., & Rao, U. J. S. P. (2010). Mango peel powder: A potential source of antioxidant and dietary fiber in macaroni preparations. *Innovative Food Science & Emerging Technologies*, 11, 219–224.
- Ang, J.F., Miller, W. B. and Dunha, K.M. (1990). Reduced of fat in donuts containing a new from of powdered cellulose. *Presented at the Annual Meeting of the Institute of Food Technologists*. Anaheim, CA: Janes River.
- Ang JF, Miller WB., & Blais IM. (1991). Fiber additives for frying batters. *US patent* 5,019,406.
- Anioła, J., Gawęcki, J., Czarnocińska, J., & Galiński, G. (2009). Corncobs as a source of dietary fiber. *Pol. J. Food Nutr. Sci.* 59(3), 247-249.
- AOAC. (1990). Method of analysis. Association of Official Chemists. Washington, DC.
- AOAC. (2000). Proximate Analysis. *In Official Method of Analysis of Association of Official Analytical Chemists*. Vol. II. 17th ed. chapter 32, p. 7. The Association of Official Analytical Chemists. Gaithersburg, MD, USA.
- Azizah, A.H. and Yu, S.L. (2000). Functional properties of dietary fibre prepared from defatted rice bran. *Food Chemistry*, 68, 15-19.
- Balasundram, N., Sundram, K., and Samman, S. (2006). Phenolic compounds in plants and agriindustrial by-products. Antioxidant activity, occurrence, and potential uses. *Food Chemistry*, 99(1), 191-203.
- Bisoi, P. C., Sahoo, G., Mishra, S. K., Das, C. and Das, K. L. (2012). Hypoglycemic effects of insoluble fiber rich fraction of different cereals and millets. *J Food Process Technol.* 3(7), 3-11.
- Borchani, C., Besbes, S., Masmoudi, M., Blecker, C., Paquot M. and Attia, H. (2011). Effect of drying methods on physico-chemical and antioxidant properties of date fibre concentrates. *Food Chemistry*. 125, 1194–1201.

- Chau, C. F., Chen, C. H. and Lin, C. Y. (2004). Insoluble fiber-rich fractions derived from Averrhoa carambola: hypoglycemic effects determined by in vitro methods. *LWT-Food Science and Technology*. 37(3), 331-335.
- Diez, R., Garcia, J. J., Diez, M. J., M Sierra, M., Sahagun, A. M., Calle, A. P. and Fernandez, N. (2013). Hypoglycemic and hypolipidemic potential of a high fiber diet in healthy versus diabetic rabbits. *BioMed research International*. 1-8.
- Eastwood, M. (1997). Principles of Human Nutrition. Chapman & Hall. London. : 565p.
- Escalada Pla, M. F., González, P., Sette, P., Portillo, F., Rojas, A. M. and Gerschenson, L. N. (2012). Effect of Processing on Physico-chemical characteristics of dietary fibre concentrates obtained from peach (*Prunus persica* L.) peel and pulp. *Food Research International*. 49, 184-192.
- Femenia, A., Lefebvre, A.C., Thebaudin, J.Y., Robertson, J.A. and Bourgeois, C.M. (1997). Physical and sensory properties of model foods supplements with cauliflower fiber. *Journal of Food Science*. 62(4), 635-639.
- Garcia, M. A., Perrero, C., Bertola, N., Martino, M., Zaritzky, N. (2002). Edible coating from cellulose derivatives to reduce oil uptake in fried products. *Innovative food science & Emerging technologies*, 3, 391-397.
- Garau, M. C., Simal S., Rosselló, C., Femenia, A. (2007). Effect of air-drying temperature on physico-chemical properties of dietary fibre and antioxidant capacity of orange (*Citrus aurantium* v. Canoneta) by-products. *Food Chemistry*. 104: 1014-1024.
- Giusti, M. M. and Wrolstad, R.E. (2001). Characterization and measurement of anthocyanin by uv-visible spectroscopy. *Current protocols in food analytical chemistry*. F1.2.1-F1.2.13.
- Gohil, D. D. and Lele, S. S. (2014). Insoluble vegetable fiber as a potential functional ingredient: In vitro studies on hypoglycemic and hypocholesterolemic effect. *American Journal of Food Science and Technology*. 2, 48-52.
- Gómez, M., Moraleja, A., Oliete, B., Ruiz, E. and Caballero, P. A. (2010). Effect of fibre size on the quality of fibre-enriched layer cakes. *LWT - Food Science and Technology* 43, 33-38.

- Gould JM. (1989). Alkaline peroxide treatment of agricultural by products. *US patent 4*, 806, 475.
- Gularte, M. A., Hera, E. D., Gómez, M., Rosell, C. M. (2012). Effect of different fibers on batter and gluten-free layer cake properties. *LWT - Food Science and Technology*. 48, 209-214.
- Halliwell, B. (1996). Antioxidants in human health and disease. *Annual Review and Nutrition*. 16:33-50.
- Hera, E. D., Ruiz-París, E., Oliete, B. and Gómez, M. (2012). Studies of the quality of cakes made with wheat- lentil composite flours. *LWT - Food Science and Technology*. 49, 48-54.
- Jasberg, BK., Gould, JM., Warner, K., & Navickis, LL. (1989). High-fiber, noncaloric flour substitute for baked foods. Effects of alkaline peroxide-treated lignocellulose on dough properties. *Cereal Chem*, 66(3), 205-9.
- Kuan, C. -Y., Yuen K. -H., Bhat, R., Liong, M. -T. (2011). Physicochemical characterization of alkali treated fractions from corncob and wheat straw and the production of nanofibers. *Food Research International*. 44, 2822–2829.
- 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.
- Lattimer, J. M. and Haub, M. D. (2010). Effects of dietary fiber and its components on metabolic health. *Nutrients*. 2, 1266-1289.
- Lu, T. -M., Lee, C. -C., Mau, J. -L. and Lin, S. -D. (2010). Quality and antioxidant property of green tea sponge cake. *Food Chemistry*. 119, 1090–1095.
- McEwan, R., Madivha, R. P., Djarova, T., Oyediji, O. A. and Opoku, A. R. (2010). Alpha-amylase inhibitor of amadumbe (*Colocasia esculenta*): isolation, purification and selectivity toward α -amylases from various sources. *African Journal of Biochemistry*. 4(9), 220-224.
- Mellema, M. (2003). Mechanism and reduction of fat uptake in deep-fat fried food. *Trends in Food Science & Technology*, 14, 364-373.
- Ou, S., Kwok, K., Li, Y. and Fu, L. (2001). In vitro study of possible role of dietary fiber in lowering postprandial serum glucose. *Journal of Agricultural and food chemistry*. 49, 1026-1029.

- Palanisamy, U., Manaharan, T., Teng, L.L., Radhakrishnan, A.K.C., Subramaniam, T. and Masilamani, T. (2011). Rambutan rind in the management of hyperglycemia. *Food Research International*. 44, 2278-2282.
- Palanisamy, U., Ming, C.H., Masilamnai, T., Subramaniam, T., Teng, L.L. and Radhakrishnan, A.K. (2008). Rind of the rambutan, *Nephelium lappaceum*, a potential source of natural antioxidants. *Food Chemistry*. 109, 54-63.
- Pomeranz, Y. (1985). Functional properties of food components. New York. Academic Press, Inc.
- 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.
- Raghavendra, S., Ramachandra Swamy, S.R., Rastogi, N.K., Raghavarao, K.S.M.S., Kuma, S., & Tharannathan, R.N. (2006). Grinding characteristics and hydration properties of coconut residue: A source of dietary fiber. *Journal of Food Engineering*, 72, 281-286.
- Ramírez-Maganda, J., Blancas-Benítez. F. J., Zamora-Gasga, V. M., García-Magaña, L. M., Bello-Pérez, L. A., Tovar, J. and Sáyago-Ayerdi, S. G. (2015). Nutritional properties and phenolic content of a bakery product substituted with a mango (*Mangifera indica*) 'Ataulfo' processing by-product. *Food Research International*. 73, 117-123.
- Rosales Soto, M.U., Brown, K. and Ross, C.F. (2012). Antioxidant activity and consumer acceptance of grape seed flour-containing food products. *International Journal of Food Science & Technology*, 47(3), 592-602.
- Saguy, I.S., & Pinthus, E. J. (1995). Oil uptake during deep-fat frying: factors and mechanism. *Food Technology*, 49, 142-145.
- Sangnark, A., & Noomhorm, A. (2003). Effect of particle sizes on functional properties of dietary fiber prepared from sugarcane bagasse. *Food Chem*, 80(2), 221-9.
- Singh, M., Liu, S. X. and Vaughn, S. F. (2012). Effect of corn bran as dietary fiber addition on baking and sensory quality. *Biocatalysis and Agricultural Biotechnology*. 1, 348-352.

- Singleton, V. L., Orthofer, R. and Lamuela-Raventos, R.M. (1999). Analysis of total phenols and other oxidation substrates and antioxidants by means of Folin–Ciocalteu reagent. *Methods in Enzymology*. 299, 152-178.
- Srichamroen, A. and Chavasit, V. (2011). In vitro retardation of glucose diffusion with gum extracted from malva nut seeds produced in Thailand. *Food Chemistry*. 127(2), 455-460.
- Slavin, M., Lu, Y., Kaplan, N. and Yu, L. (2013). Effects of baking on cyanidin-3-glucoside content and antioxidant properties of black and yellow soybean crackers. *Food Chemistry*. 141, 1166–1174.
- Staffolo, M. D., Bevilacqua, A. E., Rodriguez, M. S. and Albertengo, L. (2012). Chapter 17 dietary fiber and availability of nutrients: A case study on yoghurt as a food model. *In The Complex World of Polysaccharides*. (Karunaratne, D. N., ed.). p. 455-490. InTech.
- Suderman, D. R., & Cunningham, F.E. (1993). *Batters and breadings*. Westport, Connecticut: AVI.
- Sudha ML, Baskaran V, Leelavathi K. (2007). Apple pomace as a source of dietary fibre and polyphenols and its effect on the rheological characteristics and cake making. *Food Chemistry*. 104, 686–692
- Sun, J, Peng, H, Su, W., Yao, J., Long, X and Wang, J. (2011). Anthocyanins extracted from rambutan (*Nephelium lappaceum* L.) pericarp tissues as potential natural antioxidants. *Journal of Food Biochemistry*. 35, 1461-1467.
- Thebaudin, J. Y., Lefebvre A. C., Harrington, M. and Bourgeois, C. M. (1997). Dietary fibres: Nutritional and technological interest. *Trends in Food Science & Technology*. 8, 41-48.
- Thitileadecha, N., Teerawutgulrag, A. and Rakariyatham, N. (2008). Antioxidant and antibacterial activities of *Nephelium lappaceum* L. extracts. *LWT-Food Science and Technology*. 41, 2029-2035.
- Thitileadecha, N. and Rakariyatham, N. (2011). Phenolic content and free radical scavenging activities in rambutan during fruit maturation. *Scientia Horticulturae*. 129, 247-252.

- Tseng, A. and Zhao, Y. (2013). Wine grape pomace as antioxidant dietary fibre for enhancing nutritional value and improving storability of yogurt and salad dressing. *Food Chemistry*. 138, 356–365.
- Vázquez-Gutiérrez, J. L., Quiles, A., Hernando, I. and Pérez-Munuera, I. (2011). Changes in the microstructure and location of some bioactive compounds in persimmons treated by high hydrostatic pressure. *Postharvest Biology and Technology*. 61, 137-144.
- Wang, L., Xu, H., Yuan, F., Pan, Q., Fan, R. and Gao, Y. (2015). Physicochemical characterization of five types of citrus dietary fiber. *Biocatalysis and Agricultural Biotechnology*. 4(2), 250-258.
- Wongmetinee. (2007). *Extraction of dietary fiber from lemon grass residue and its application in foods*. Bangkok. Mahidol University.
- Xu, H., Jiao, Q., Yuan, F. and Gao, Y. (2015). In vitro binding capacities and physicochemical properties of soluble fiber prepared by microfluidization pretreatment and cellulase hydrolysis of peach pomace. *LWT - Food Science and Technology*. 63(1), 677-684.

ประวัตินักวิจัย

หัวหน้าโครงการ

- ชื่อ - นามสกุล (ภาษาไทย) นางสาวสิริมา ชินสาร
ชื่อ - นามสกุล (ภาษาอังกฤษ) Mrs. Sirima Chinnasarn
- ตำแหน่งปัจจุบัน
อาจารย์ประจำภาควิชาวิทยาศาสตร์การอาหาร คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยบูรพา
- หน่วยงาน
ภาควิชาวิทยาศาสตร์การอาหาร คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยบูรพา ต. แสนสุข อ.เมือง
จ. ชลบุรี 20131
- ประวัติการศึกษา
2544 – 2548 Ph.D. (Food Technology) จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
2545 - 2547 Visiting student (under the Agro-Industry Ph.D. Program Consortium), School of Food Biosciences, The University of Reading, Reading, United Kingdom.
2538 – 2541 M.Sc. (Food Technology) จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
2534- 2538 B.Sc. (Food Technology and Nutrition) มหาวิทยาลัยมหาสารคาม
- สาขาวิชาการที่มีความชำนาญพิเศษ
Texture development of fish protein gel; Oil absorption and frying process;
Food structure, Osmotic dehydration

ผู้ร่วมวิจัย

- ชื่อ-นามสกุล (ภาษาไทย) นางสาวธีรรัตน์ อธิโสภณกุล
ชื่อ-นามสกุล (ภาษาอังกฤษ) Miss Teerarat Itthisoponkul
- ตำแหน่งปัจจุบัน
อาจารย์ประจำคณะเทคโนโลยีและนวัตกรรมผลิตภัณฑ์การเกษตร มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ
- ที่อยู่ที่สามารถติดต่อได้
คณะเทคโนโลยีและนวัตกรรมผลิตภัณฑ์การเกษตร มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ
เขตวัฒนา กรุงเทพมหานคร 10110

5. ประวัติการศึกษา

ระดับ	วุฒิการศึกษา	ปีที่จบ	สถาบัน
ปริญญาเอก	Ph.D. Food Science	2552	The University of Nottingham, UK
ปริญญาโท	เทคโนโลยีชีวเคมี	2543	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี
ปริญญาตรี	วิทยาศาสตร์การอาหาร และโภชนาการ	2539	มหาวิทยาลัยบูรพา

6. สาขาที่มีความชำนาญพิเศษ

เคมีอาหาร สารเจือปนอาหาร เทคโนโลยีแป้ง การวิเคราะห์ทางเคมีกายภาพ