

การพัฒนาผลิตภัณฑ์ปาท่องโก๋ไขมันต่ำโดยใช้เปลือกเงาะผงเป็นสารลดการดูดซับน้ำมัน*

Development of Low Fat Deep-fried Bun (Chinese Style) Product by Using Rambutan Peel Powder as Oil Reduction Substance

Received:	January	23, 2019
Revised:	May	19, 2019
Accepted:	May	21, 2019

สิริมา ชินสาร (Sirima Chinnasam)**

สุชานันท์ นุชสมาน (Suchanan Nuchsan)***

อัจฉราพร ดั้ววงศ์ (Adcharaporn Doaywong)***

บทคัดย่อ

ปาท่องโก๋เป็นอาหารทอดที่มีการดูดซับน้ำมันเป็นปริมาณมาก งานวิจัยนี้จึงมีวัตถุประสงค์เพื่อพัฒนาผลิตภัณฑ์ปาท่องโก๋ไขมันต่ำโดยใช้เปลือกเงาะผงเป็นสารลดการดูดซับน้ำมัน ขั้นตอนแรก ศึกษาชนิดของสารทำให้ขึ้นฟูที่เหมาะสมต่อการผลิตปาท่องโก๋ (ผงฟู ยีสต์ และแอมโมเนียมไบคาร์บอเนต) โดยออกแบบการทดลองแบบ Mixture design พบว่า สารทำให้ขึ้นฟูที่เหมาะสม คือ การใช้ยีสต์ ร้อยละ 0.7 ร่วมกับแอมโมเนียมไบคาร์บอเนตร้อยละ 0.7 ของปริมาณส่วนผสมปาท่องโก๋ ทำให้ผลิตภัณฑ์มีคุณภาพทางกายภาพ ได้แก่ ค่าความแน่นเนื้อต่ำ แต่ความสามารถในการคืนตัว และค่าปริมาตรจำเพาะสูงกว่าสูตรควบคุมและสูตรมาตรฐาน และได้รับคะแนนความชอบจากการทดสอบทางประสาทสัมผัสสูงในทุกคุณลักษณะ ขั้นที่สอง ศึกษาสมบัติทางเคมีและสมบัติเชิงหน้าที่ของเปลือกเงาะผง เติริมเปลือกเงาะผงโดยการอบแห้ง บด และฟอกสีด้วยสารละลายไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ความเข้มข้น 1.5 M พบว่า เปลือกเงาะผงมีใยอาหารทั้งหมด 79.60 g/100 g dry sample ใยอาหารที่ละลายน้ำ 3.02 g/100 g dry sample ใยอาหารที่ไม่ละลายน้ำ 76.58 g/100 g dry sample ปริมาณความชื้นร้อยละ 7.09 ค่า a_w 0.29 ค่าความสามารถในการอุ้มน้ำ 7.70 g water/g dry sample และความสามารถในการอุ้มน้ำมัน 3.21 g oil /g dry sample และขั้นสุดท้าย ศึกษาผลของการเติมเปลือกเงาะผง (ร้อยละ 0 (ตัวอย่างควบคุม) 3 6 9 และ 12 ของปริมาณแป้งสาลี) ต่อคุณภาพของผลิตภัณฑ์ปาท่องโก๋ พบว่า ผลิตภัณฑ์ปาท่องโก๋ที่ไม่เติมเปลือกเงาะผง (ตัวอย่างควบคุม) และเติมเปลือกเงาะผงร้อยละ 3 ได้รับคะแนนความชอบสูงสุดที่ไม่แตกต่างกัน ($p>0.05$) โดยผลิตภัณฑ์ปาท่องโก๋ที่เติมเปลือกเงาะผงร้อยละ 3 สามารถลดการอมน้ำมันได้ร้อยละ 29.44 เมื่อเทียบกับตัวอย่างควบคุม

คำสำคัญ : เปลือกเงาะ ใยอาหาร การดูดซับน้ำมัน

* เพื่อเผยแพร่ผลงานวิจัย

** อาจารย์ประจำภาควิชาวิทยาศาสตร์การอาหาร คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยบูรพา

Lecturer, Department of Food Science, Faculty of Science, Burapha University., sirima@buu.ac.th,
038-103137

*** นิสิตปริญญาตรี ประจำภาควิชาวิทยาศาสตร์การอาหาร คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยบูรพา

Undergraduate Student, Department of Food Science, Faculty of Science, Burapha University., 038-103137

Abstract

Deep-fried bun is a fried food that adsorbs a lot of oil. This research was aim to develop a low fat deep-fried bun by using rambutan peel powder to be an oil reduction substance. First step, the suitable leavening agents (baking powder, yeast and ammonium bicarbonate) were investigated by using the Mixture design. The results showed that the appropriate leavening agent was 0.7% yeast and 0.7% ammonium bicarbonate (all ingredients basis). The obtained product was lower firmness but higher springiness and specific volume than the control and basic formulation samples. The sensory evaluation of the bun showed the high liking score for all attributes. Second step, the chemical and functional properties of rambutan peel powder were studied. Rambutan peel powder was prepared by drying, grinding and bleaching in 1.5 M hydrogen peroxide solution. The results revealed that this powder contained total dietary fiber of 79.60 g / 100g dry sample, soluble dietary fiber of 3.02 g / 100g dry sample, Insoluble dietary fiber of 76.58 g / 100 g dry sample, moisture content of 7.09%, a_w of 0.29, water retention capacity of 7.70 g water / g dry sample and oil retention capacity of 3.21 g oil / g dry sample. Final step, the effect of rambutan peel powder (0 (control), 3, 6, 9, and 12 % (flour basis)) on the quality of the deep fried bun products was investigated. The results showed that both control and 3% rambutan peel powder added products had the highest liking score with no significant difference ($p>0.05$). The oil uptake of the 3% rambutan peel powder added product was reduced by 29.44% as comparing with the control.

Keywords: Rambutan peel, Dietary fiber, Oil absorption

บทนำ

ปาท่องโก๋เป็นอาหารทอดที่คนไทยนิยมรับประทาน โดยมีส่วนผสมหลักเป็นแป้งสาลีและมีการทำให้สุกด้วยการทอดแบบน้ำมันท่วม ทำให้ปาท่องโก๋เป็นผลิตภัณฑ์ที่มีปริมาณน้ำมันสูง การบริโภคอาหารประเภทนี้เป็นประจำส่งผลให้เกิดปัญหาสุขภาพต่างๆ ตามมา เช่น โรคอ้วน โรคความดันโลหิตสูง และโรคหัวใจ แนวทางหนึ่งในการลดการดูดซับน้ำมันในอาหารประเภททอด คือ การใช้โยอาหารที่มีองค์ประกอบของเส้นใยที่ไม่ละลายน้ำสูงเพื่อช่วยลดการดูดซับน้ำมันในอาหารทอด งานวิจัยนี้จึงสนใจศึกษาการใช้โยอาหารผงจากเปลือกผลไม้ที่เป็นผลพลอยได้จากอุตสาหกรรมแปรรูปอาหารมาผลิตเป็นโยอาหารผงเพื่อใช้ประโยชน์เป็นแหล่งของเส้นใยและช่วยลดการดูดซับน้ำมันในอาหารทอด เปลือกของผลไม้ที่เลือกมาใช้ในงานวิจัยนี้ได้แก่ เปลือกเงาะ ซึ่งเป็นแหล่งของโยอาหารที่ดีไขมันต่ำ และให้พลังงานน้อย จากการศึกษาข้อมูลด้านองค์ประกอบทางเคมีของเปลือกเงาะเบื้องต้น พบว่า เปลือกเงาะมีปริมาณโยอาหารทั้งหมดร้อยละ 55.84 โดยแบ่งเป็นโยอาหารที่ไม่ละลายน้ำร้อยละ 55.64 และโยอาหารที่ละลายน้ำร้อยละ 0.2 (Trisirirroj, 1997) ในส่วนของโยอาหารที่ไม่ละลายน้ำนั้นมีส่วนประกอบที่สำคัญ ได้แก่ เซลลูโลส เฮมิเซลลูโลส และลิกนิน ซึ่งเป็นโยอาหารที่มีสมบัติในการพองตัวและดูดซับน้ำได้ดีจึงคาดว่าน่าจะสามารถ

ช่วยลดการดูดซับน้ำมันของผลิตภัณฑ์ในระหว่างการทอดได้ โดยสิริมา ชินสาร และคณะ (2558) พบว่า การเติมใยอาหารผงจากกากส้มจี๊ดลงในโดนต์ ปริมาณร้อยละ 4 ของปริมาณส่วนผสมทั้งหมด สามารถลดการดูดซับน้ำมันในโดนต์ลงได้ถึงร้อยละ 18.16 โดยผลิตภัณฑ์ที่ได้ยังมีคุณภาพใกล้เคียงกับโดนต์สูตรควบคุม และปิยวรรณ สระพรหม (2548) พบว่า การเติมซีเอ็มซีสามารถลดการอมน้ำมันในปาตองโกได้ เนื่องจากซีเอ็มซีสามารถดูดซับน้ำได้ดีจึงช่วยลดซับน้ำในปาตองโกไม่ให้ระเหยออกไปในระหว่างการทอด การเกิดช่องว่างในอาหารจากการสูญเสียไอน้ำจึงน้อยลง ทำให้น้ำมันแทรกตัวเข้าไปในอาหารได้น้อยลง

แต่อย่างไรก็ตาม การใช้ใยอาหารเติมลงในผลิตภัณฑ์อาหารมักจะส่งผลต่อโครงสร้างและเนื้อสัมผัสของผลิตภัณฑ์ เนื่องจากแป้งสาลีที่เป็นองค์ประกอบหลักในส่วนผสมของปาตองโกนั้นเป็นวัตถุดิบสำคัญที่ทำให้เกิดโครงสร้าง และความพองกรอบของปาตองโก เพราะแป้งสาลีมีโปรตีนที่ไม่ละลายน้ำ 2 ชนิดเป็นส่วนประกอบ ได้แก่ กลูเตนิน และไกลอะดิน ซึ่งเมื่อผสมกับน้ำแล้วจะได้กลูเตนมีลักษณะเหนียวเป็นยางและยืดหยุ่นได้ กลูเตนินจะทำให้ก้อนโดที่ผสมมีกำลังที่จะอุ้มก๊าซที่จะช่วยให้ขนมขึ้นฟูไว้ได้ ซึ่งจะเป็นโครงสร้างของปาตองโก ส่วนไกลอะดินนั้นทำให้กลูเตนมีสมบัติในการยึดตัวและมีความยืดหยุ่นได้ แต่หากมีการเติมใยอาหารลงในส่วนผสมของปาตองโก ใยอาหารที่เข้าไปแทรกในโครงสร้างของกลูเตน จะทำให้เกิดโครงสร้างของกลูเตนที่ไม่สมบูรณ์ ส่งผลให้ปริมาตรของโดลดลงและปาตองโกมีความแน่นเนื้อมากขึ้น (จิตธนา แจ่มเมฆ และอรอนงค์ นัยวิกุล, 2539) ดังนั้น ก่อนการเติมใยอาหารจึงควรเลือกสูตรผลิตภัณฑ์ที่มีโครงสร้างและการพองตัวของผลิตภัณฑ์เริ่มต้นที่ดีก่อน ปาตองโกนั้นมีสารที่นิยมใช้ในการทำให้ขึ้นฟู 3 ชนิด คือ ผงฟู ยีสต์ และแอมโมเนียมไบคาร์บอเนต โดยสารแต่ละชนิดจะมีสมบัติในการทำให้ฟูที่แตกต่างกัน โดยผงฟูที่นิยมใช้ในปาตองโกเป็นชนิด double acting baking powder เป็นผงฟูที่มีส่วนผสมของกรด 2 ประเภท ซึ่งจะทำปฏิกิริยากับโซเดียมไบคาร์บอเนต เกิดก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ที่อุณหภูมิต่างกัน คือ ประเภทที่เกิดปฏิกิริยาที่อุณหภูมิต่ำ จะทำให้เกิดการขึ้นฟูในขั้นตอนการผสมและการหมักแป้ง และอีกประเภทหนึ่งจะเกิดปฏิกิริยาที่อุณหภูมิสูง จะทำให้ปาตองโกขึ้นฟูในระหว่างการทอด เช่น sodium acid pyrophosphate หรือ sodium aluminum sulfate ส่วนยีสต์ที่ใช้กับปาตองโกนั้นผลิตจากเชื้อยีสต์ประเภท *Saccharomyces cerevisiae* หรือ *Saccharomyces fragilis* ทำหน้าที่สร้างก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ ทำให้โดขยายตัว ปริมาตรของโดเพิ่มขึ้น ทำให้เกิดโครงสร้างและลักษณะเนื้อของโด และทำให้ผลิตภัณฑ์มีกลิ่นรสเฉพาะตัวที่ได้จากการเปลี่ยนน้ำตาลเป็นแอลกอฮอล์ในช่วงของการหมัก (นวรรตน์ เอี่ยมพิทักษ์กิจ, 2543) และสำหรับแอมโมเนียมไบคาร์บอเนตนั้น จะสลายตัวเมื่อได้รับความร้อนที่อุณหภูมิ 36-60 องศาเซลเซียส และให้ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ แอมโมเนีย และไอน้ำ จึงทำให้ปาตองโกเกิดการขึ้นฟูได้ระหว่างการทอด (ธีรนุช ฉายศิริโชติ, 2554) การใช้สารทำให้ฟูที่แตกต่างกันจึงส่งผลต่อโครงสร้างและคุณภาพทางประสาทสัมผัสของปาตองโกด้วย

เพื่อเป็นการพัฒนาผลิตภัณฑ์ปาตองโกไขมันต่ำที่ยังคงคุณภาพทางประสาทสัมผัสตามความต้องการของผู้บริโภค งานวิจัยนี้ จึงมีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาหาสูตรผลิตภัณฑ์ที่เหมาะสมจากการเปรียบเทียบผลของสารทำให้ขึ้นฟู 3 ชนิด ได้แก่ ผงฟู ยีสต์ และแอมโมเนียมไบคาร์บอเนต และศึกษาผลของการใช้เปลือกเงาะต่อการดูดซับน้ำมันและคุณภาพของปาตองโก

วิธีวิจัย

1. การศึกษาหาสูตรผลิตภัณฑ์ปาต่องโกที่เหมาะสม

ขั้นตอนนี้ศึกษาผลของสารทำให้ขึ้นฟูเพื่อให้ได้ผลิตภัณฑ์ปาต่องโกที่เหมาะสม โดยแปรชนิดของสารทำให้ขึ้นฟูในการทำปาต่องโก 3 ชนิด คือ ผงฟู ยีสต์ และแอมโมเนียมไบคาร์บอเนต จัดสิ่งทดลองแบบ mixture design ตามแผนมาตรฐานได้ 7 สูตรรายละเอียดดังตารางที่ 1 กำหนดการใช้สารทำให้ขึ้นฟูเป็นร้อยละ 1.4 ของส่วนผสมทั้งหมด เปรียบเทียบกับสูตรควบคุม คือ ผลิตภัณฑ์ปาต่องโกที่ไม่เติมสารทำให้ขึ้นฟู และสูตรมาตรฐาน

ตารางที่ 1 ส่วนผสมปาต่องโกที่มีปริมาณของสารทำให้ขึ้นฟูในระดับต่างๆ

ส่วนผสม	น้ำหนักส่วนผสม (กรัม)								
	สูตร 1 (ควบคุม)	สูตร 2	สูตร 3	สูตร 4	สูตร 5	สูตร 6	สูตร 7	สูตร 8	สูตร 9 (พื้นฐาน)
แป้งสาลี	500	500	500	500	500	500	500	500	500
น้ำตาล	11.5	11.5	11.5	11.5	11.5	11.5	11.5	11.5	11.5
NH ₄ HCO ₃	0	0	0	7.25	4.83	7.25	0	14.5	5
ยีสต์	0	14.5	7.25	7.25	4.83	0	0	0	1.5
ผงฟู	0	0	7.25	0	4.83	7.25	14.5	0	8
เกลือ	4	4	4	4	4	4	4	4	4
น้ำมันพืช	5	5	5	5	5	5	5	5	5
น้ำ	450	450	450	450	450	450	450	450	450
ไข่ไก่	50	50	50	50	50	50	50	50	50

การเตรียมปาต่องโก

ผสมยีสต์ ผงฟู และแป้งอเนกประสงค์รวมกันแล้วพักไว้ ละลายน้ำตาล เกลือ แอมโมเนียมไบคาร์บอเนตในน้ำ เติมน้ำมันพืช ไข่ไก่ คนให้เข้ากันดี ใส่ส่วนผสมของเหลวลงในส่วนผสมแป้ง นวดให้เข้ากัน พักโดไว้ประมาณ 3 ชั่วโมง จากนั้นโรยแป้งเพื่อไม่ให้ติดมือ นำแป้งมาคึงให้เป็นแผ่นมีความหนา 0.5 เซนติเมตร ตัดแป้งให้มีขนาด 5 × 2 เซนติเมตร ต้มน้ำตรงกลางแล้วนำมาประกบให้เข้ากัน แล้วนำมาทอดครั้งละ 5 ชิ้นในน้ำมันปาล์ม 3 ลิตร อุณหภูมิในการทอด 170 °C นาน 5 นาที นำขึ้นมาพักบนตะแกรงที่รองด้วยกระดาษซับน้ำมัน จากนั้นนำปาต่องโกที่เตรียมได้มาทำการวิเคราะห์ผล ดังนี้

- การวิเคราะห์ลักษณะเนื้อสัมผัส

สุ่มตัวอย่างปาต่องโกภายหลังการทอดและพักให้เย็นเป็นเวลา 10 นาที จำนวน 3 ชิ้นต่อสูตร วิเคราะห์ลักษณะเนื้อสัมผัสด้วยเครื่อง Texture analyzer ทำการวัดแบบ TPA (Texture Profile Analysis) โดยใช้ pretest speed 1.0 mm/s, test speed 1.0 mm/s ใช้หัววัด P/35 (35 mm diameter cylinder probe) กดลงร้อยละ 75 ของความสูงของตัวอย่าง บันทึกเป็นค่าความแน่นเนื้อ (Firmness) และค่าความสามารถในการคืนตัว (Springiness)

- ปริมาตรจำเพาะ

หาน้ำหนักและปริมาตรของปาท้องโก่จำนวน 10 ชิ้นต่อสูตร ใช้วิธีการแทนที่ด้วยเม็ล็ดงา แสดงค่าเป็นปริมาตรจำเพาะในหน่วย ml/g

- การยอมรับทางประสาทสัมผัส

นำปาท้องโก่ที่ผ่านการทอดแล้วมาประเมินคุณภาพทางประสาทสัมผัสทางด้านลักษณะปรากฏ (การพองตัว) สี รสชาติ กลิ่น ลักษณะเนื้อสัมผัส และความชอบโดยรวมของผลิตภัณฑ์ปาท้องโก่โดยให้ผู้ทดสอบชิมเพศหญิง อายุระหว่าง 18-21 ปี จำนวน 30 คนให้คะแนนแบบ 9- point hedonic scale โดย 1 หมายถึง ไม่ชอบมากที่สุด และ 9 หมายถึง ชอบมากที่สุด

2. การศึกษาสมบัติทางเคมีและกายภาพของเปลือกเงาะผง

การเตรียมเปลือกเงาะผง

นำเปลือกเงาะสดมาล้างทำความสะอาด ปั่นให้ละเอียด อบแห้งด้วยตู้อบลมร้อนที่อุณหภูมิ 60 ± 2 องศาเซลเซียส จนมีความชื้นไม่เกินร้อยละ 7 ± 1 จากนั้นนำมาปั่นให้ละเอียดด้วยเครื่องบดของแห้งและร่อนผ่านตะแกรงขนาด 50 เมช นำผงเปลือกเงาะที่ได้ 30 กรัม เติมลงในสารละลายไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ความเข้มข้น 1.5 M ปริมาณ 300 มิลลิลิตร ปรับ pH ของสารละลายเปลือกเงาะเป็น pH 9 ด้วยสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ 4 M สกัดโดยการกวนสารละลายด้วย magnetic stirrer เป็นเวลา 2 ชั่วโมงที่อุณหภูมิห้อง กรองสารละลายเปลือกเงาะผงผ่านผ้าไนลอนขนาด 70 เมช ล้างด้วยน้ำครึ่งละ 1 ลิตร จนกระทั่ง pH เป็นกลาง แล้วนำเปลือกเงาะผงที่ได้ไปทำการอบแห้งที่อุณหภูมิ 60 ± 2 องศาเซลเซียส จนมีความชื้นไม่เกิน $7 \pm 1\%$ นำเปลือกเงาะผงไปร่อนผ่านตะแกรงขนาด 50 เมช บรรจุในถุงอลูมิเนียมฟอยล์ ปิดผนึกและเก็บที่อุณหภูมิห้อง (อัญชลี คະสุรินทร์, 2550) นำเปลือกเงาะผงที่ได้มาทำการวิเคราะห์ด้านต่างๆ ดังนี้

- การวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมี

นำเปลือกเงาะผงมาวิเคราะห์ค่าความชื้น ค่า a_w และปริมาณใยอาหาร (Dietary Fibers) (AOAC, 2005)

- การวิเคราะห์สมบัติเชิงหน้าที่ (Ang, 1991)

ความสามารถในการดูดซับน้ำมัน (Fat retention capacity) โดยชั่งเปลือกเงาะผง 2 กรัม ผสมกับน้ำมันพืช 50 มิลลิลิตร ตั้งทิ้งไว้ 30 นาที แล้วปั่นเหวี่ยงด้วยเครื่อง Centrifuge ที่ 2,000g เป็นเวลา 15 นาที ชั่งน้ำหนัก และคำนวณตามสมการ

$$\text{Fat retention capacity} = \frac{\text{น้ำหนักตัวอย่างหลังปั่นเหวี่ยง} - \text{น้ำหนักตัวอย่างแห้ง}}{\text{น้ำหนักตัวอย่างแห้ง}}$$

ความสามารถในการอุ้มน้ำ (Water retention capacity) โดยชั่งเปลือกเงาะผง 2 กรัม ผสมกับน้ำกลั่น 50 มิลลิลิตร ตั้งทิ้งไว้ 30 นาที แล้วปั่นเหวี่ยงด้วยเครื่อง Centrifuge ที่ 2,000g เป็นเวลา 15 นาที ชั่งน้ำหนัก และคำนวณตามสมการ

$$\text{Water retention capacity} = \frac{\text{น้ำหนักตัวอย่างหลังปั่นเหวี่ยง} - \text{น้ำหนักตัวอย่างแห้ง}}{\text{น้ำหนักตัวอย่างแห้ง}}$$

3. การศึกษาผลของการเติมเปลือกเงาะผงต่อคุณภาพและการดูดซับน้ำมันของปาต่องโก๋

เตรียมปาต่องโก๋ตามสูตรที่คัดเลือกได้จากข้อ 1 และเติมเปลือกเงาะผง แปรปริมาณในการเติมเป็น 5 ระดับ คือ ร้อยละ 0 3 6 9 และ 12 ของปริมาณแป้งสาลีที่ใช้ในสูตร จากนั้นนำปาต่องโก๋ที่ได้มาวิเคราะห์คุณภาพหลังการทอดดังนี้

- วิเคราะห์ลักษณะเนื้อสัมผัส

สุ่มตัวอย่างปาต่องโก๋หลังทอดจำนวน 3 ชิ้นต่อสูตร วัดลักษณะเนื้อสัมผัสด้วยเครื่อง Texture analyzer แบบ TPA บันทึกเป็นค่าความแน่นเนื้อ และค่าความสามารถในการคืนตัว

- ค่าสี

วัดค่าสีด้านนอกและด้านในของปาต่องโก๋ด้วยเครื่อง Hunter Lab Miniscan รายงานผลเป็นค่าความสว่าง (L*) ค่าความเป็นสีแดง (a*) และค่าความเป็นสีเหลือง (b*)

- ปริมาตรจำเพาะ

ห่าน้ำหนักและปริมาตรของปาต่องโก๋จำนวน 10 ชิ้นต่อสูตร ใช้วิธีการแทนที่ด้วยเมล็ดงา แสดงค่าเป็นปริมาตรจำเพาะ (ml/g)

- วิเคราะห์คุณภาพทางเคมีของปาต่องโก๋

นำปาต่องโก๋มาวิเคราะห์ปริมาณความชื้น ปริมาณไขมันก่อนและหลังการทอด (AOAC, 1990) คำนวณค่า Oil uptake relative variation (Garcia et al., 2002) จากสมการ

Oil uptake relative variation (%)

$$= \left[\frac{\% \text{ไขมันในปาต่องโก๋ที่เติมเปลือกเงาะผง}}{\% \text{ไขมันในปาต่องโก๋สูตรควบคุม}} - 1 \right] \times 100$$

- การยอมรับทางประสาทสัมผัส

นำผลิตภัณฑ์ปาต่องโก๋มาประเมินคุณภาพทางประสาทสัมผัสด้านลักษณะปรากฏ (การพองตัว) สี รสชาติ ลักษณะเนื้อสัมผัส และความชอบโดยรวมของผลิตภัณฑ์ปาต่องโก๋ โดยใช้ผู้ทดสอบจำนวน 30 คน ให้คะแนนแบบ 9-point hedonic scale

ผลการวิจัยและอภิปรายผล

1. การศึกษาหาสูตรผลิตภัณฑ์ปาท่องเที่ยวที่เหมะสม

จากการศึกษาหาสูตรผลิตภัณฑ์ปาท่องเที่ยวที่เหมะสมโดยการแปรชนิดของสารทำให้ขึ้นฟู ได้แก่ ผงฟู ยีสต์ และแอมโมเนียมไบคาร์บอเนต ผลการทดลองที่ได้แสดงดังตารางที่ 2 และตารางที่ 3

ตารางที่ 2 ค่าความแน่นเนื้อ (Firmness) ค่าความสามารถในการคืนตัว (Springiness) และปริมาตรจำเพาะของ ปาท่องเที่ยวที่ใช้สารทำให้ขึ้นฟูแตกต่างกัน

สิ่งทดลอง	Firmness (g)	Springiness (%)	ปริมาตรจำเพาะ (mL/g)
สูตรที่ 1 (สูตรควบคุม)	17953.06±325.21 ^a	30.62±0.40 ^f	1.04±0.15 ^d
สูตรที่ 2	3389.16±114.80 ^e	40.94±0.17 ^a	2.08±0.19 ^c
สูตรที่ 3	4841.78±426.31 ^c	37.01±0.94 ^{cd}	3.62±0.70 ^a
สูตรที่ 4	2809.64±50.71 ^f	38.79±1.17 ^{bc}	3.46±0.35 ^a
สูตรที่ 5	4667.03±99.66 ^{cd}	35.63±0.60 ^e	2.37±0.14 ^{bc}
สูตรที่ 6	6813.54±353.90 ^b	35.43±1.46 ^e	1.91±0.28 ^c
สูตรที่ 7	7117.55±116.94 ^b	35.71±1.00 ^e	1.94±0.10 ^c
สูตรที่ 8	2125.78±82.55 ^g	39.52±1.24 ^{ab}	2.96±0.47 ^{ab}
สูตรที่ 9 (สูตรพื้นฐาน)	4385.29±196.88 ^d	38.79±1.95 ^{bc}	2.33±0.59 ^{bc}

a,b,c,... หมายถึง ตัวอักษรต่างกันในแต่ละแถวมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$)

จากตารางที่ 2 พบว่า เมื่อเปรียบเทียบผลิตภัณฑ์ปาท่องเที่ยวที่ใส่สารทำให้ขึ้นฟูทุกสูตรมีค่าความแน่นเนื้อต่ำกว่าสูตรควบคุม แต่มีค่าความสามารถในการคืนตัวและปริมาตรจำเพาะสูงกว่าสูตรควบคุม เนื่องจากเมื่อแบ่งผสมกับน้ำจะทำให้เกิดกลูเตนให้ความยืดหยุ่นกับโด ทำให้เกิดการเชื่อมโยงพันธะเคมีหลายชนิด เช่น พันธะโควาเลนต์ พันธะไฮโดรเจนแรงแวนเดอร์วาลส์และพันธะไดซัลไฟด์ พันธะไดซัลไฟด์จะสามารถเคลื่อนย้ายพันธะและทำให้เกิดความยืดตัวของกลูเตนได้ ลักษณะการยืดตัวของกลูเตน มีผลทำให้โดอุ้มก๊าซซึ่งเกิดจากสารทำให้ขึ้นฟูขณะหมักไว้ได้ และพองฟูขึ้นเมื่อนำปาท่องเที่ยวไปทอด ความร้อนจะทำให้โปรตีนเสียสภาพ เกิดโครงร่างของผลิตภัณฑ์ (กุลยา ลิมรุ่งเรืองรัตน์, 2553) ซึ่งค่าความแน่นเนื้อและความสามารถในการคืนตัวของผลิตภัณฑ์เป็นสมบัติด้านเนื้อสัมผัส แสดงถึงความนุ่มของผลิตภัณฑ์ หากมีความแน่นเนื้อน้อยผลิตภัณฑ์จะมีลักษณะเนื้อสัมผัสนุ่มมากกว่าผลิตภัณฑ์ที่มีค่าความแน่นเนื้อมาก และค่าความสามารถในการคืนตัวของผลิตภัณฑ์แสดงถึงความยืดหยุ่นของปาท่องเที่ยวที่เกิดขึ้นหลังการทอดครั้งแรกเมื่อเปรียบเทียบคุณภาพของสารทำให้ขึ้นฟูแต่ละชนิดโดยเปรียบเทียบจากผลิตภัณฑ์ปาท่องเที่ยวสูตรที่ 2 7 และ 8 ที่ใช้สารขึ้นฟูเพียงชนิดเดียว คือ ยีสต์ ผงฟู และแอมโมเนียมไบคาร์บอเนต ตามลำดับ พบว่า มีค่าความแน่นเนื้อแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) ซึ่งเกิดจากความสามารถในการผลิตก๊าซที่แตกต่างกัน โดยผลิตภัณฑ์ปาท่องเที่ยวสูตรที่ 8 มีค่าความแน่นเนื้อต่ำสุดเท่ากับ 2125.78 g ทำให้เกิดโครงร่างของผลิตภัณฑ์ที่มีลักษณะการพองตัวดีที่สุด เนื่องจากแอมโมเนียมไบคาร์บอเนตผลิตก๊าซ 3 ชนิดได้แก่ ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ แอมโมเนีย และไอน้ำ ไตจึงอุ้มก๊าซได้มากในขณะที่ใช้

ความร้อน รองลงมาคือ ปาห้องโก๋สูตรที่ 2 (3389.16 g) สูตรนี้ใช้ยีสต์เป็นสารทำให้ขึ้นฟู โดยยีสต์ที่ใช้เป็นยีสต์แห้งชนิดผง ที่สามารถผลิตก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ระหว่างการหมักส่งผลให้โตขยายตัวและปริมาตรของโดเพิ่มขึ้น และผลผลิตภัณฑ์ปาห้องโก๋สูตรที่ 7 มีความหนาแน่นสูงสุด (7117.55 g) เมื่อเปรียบเทียบกับสารที่ทำให้ขึ้นฟูทั้ง 2 ชนิด เนื่องจากการใช้ผงฟูหากใช้ในปริมาณที่มากเกินไปจะทำให้ห้องค์ประกอบของกลูเตน ได้แก่ กลูเตนินและไกลอะดินที่ยึดจับกันแตกออกจากกัน ทำให้ผลผลิตภัณฑ์ล้นหรือหดตัวได้เมื่อให้ความร้อน (จิตรณา แจ่มเมฆ และอรอนงค์ นัยวิกุล, 2539)

ตารางที่ 3 คะแนนความชอบจากการทดสอบทางประสาทสัมผัสของปาห้องโก๋ที่ใช้สารทำให้ขึ้นฟูแตกต่างกัน

สิ่งทดลอง	ลักษณะปรากฏ (การพองตัว)	สี ^{ns}	กลิ่นรส	ลักษณะเนื้อ สัมผัส	ความชอบ โดยรวม
สูตร 1 (Control)	4.67±1.47 ^c	5.83±0.95	5.63±1.59 ^{ab}	4.23±1.45 ^e	5.07±1.53 ^c
สูตร 2	6.70±1.44 ^{ab}	5.87±1.36	4.57±1.19 ^c	5.13±1.30 ^{cd}	5.0±1.34 ^c
สูตร 3	6.63±1.59 ^{ab}	6.03±1.47	5.17±1.53 ^c	5.70±1.64 ^{bc}	5.87±1.33 ^b
สูตร 4	7.37±1.22 ^a	5.93±1.05	6.07±0.98 ^a	6.67±1.37 ^a	7.07±1.11 ^a
สูตร 5	5.33±1.73 ^{de}	6.13±1.00	5.67±1.35 ^{ab}	5.27±1.23 ^{cd}	5.70±1.46 ^{bc}
สูตร 6	6.00±1.41 ^{bcd}	5.87±1.04	5.53±1.20 ^{ab}	6.17±1.88 ^{ab}	6.27±1.31 ^b
สูตร 7	5.37±1.47 ^{de}	6.27±1.08	5.57±1.50 ^{ab}	4.83±1.39 ^{de}	5.10±1.42 ^c
สูตร 8	6.30±1.29 ^{bc}	6.03±1.00	6.07±1.44 ^a	5.67±1.49 ^{bc}	6.03±1.40 ^b
สูตร 9 (สูตรมาตรฐาน)	5.63±1.30 ^{cd}	5.93±1.20	6.13±1.04 ^a	5.67±1.24 ^{bc}	5.83±1.37 ^b

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

^{a,b,c,...} หมายถึง ตัวอักษรต่างกันแนวตั้งเดียวกันมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p\leq 0.05$)

เมื่อพิจารณาคะแนนความชอบจากการทดสอบทางประสาทสัมผัส (ตารางที่ 3) พบว่า ผลผลิตภัณฑ์ปาห้องโก๋ที่เติมสารทำให้ขึ้นฟูได้รับคะแนนด้านลักษณะปรากฏสูงกว่าสูตรควบคุมที่ไม่เติมสารทำให้ขึ้นฟู เนื่องจากสูตรที่ไม่มีการเติมสารทำให้ขึ้นฟูไม่มีการสร้างก๊าซขึ้นภายในโด กลูเตนจึงไม่สามารถจับกับก๊าซได้ ทำให้ผลผลิตภัณฑ์ปาห้องโก๋หลังการทอดมีลักษณะแข็ง เหนียว และหดตัว คะแนนด้านลักษณะปรากฏที่ดีที่สุดคือ ปาห้องโก๋สูตรที่ 4 ที่เติมสารทำให้ขึ้นฟูคือ แอมโมเนียมไบคาร์บอเนตและยีสต์ โดยได้รับคะแนนความชอบเท่ากับ 7.37 คะแนน

ส่วนด้านลักษณะเนื้อสัมผัส พบว่า ผลผลิตภัณฑ์ปาห้องโก๋สูตรที่ใส่สารทำให้ขึ้นฟูมีคะแนนความชอบด้านเนื้อสัมผัสมากกว่าสูตรควบคุม และคะแนนใกล้เคียงกับสูตร 9 ซึ่งเป็นสูตรมาตรฐาน ผลผลิตภัณฑ์ปาห้องโก๋สูตร 4 ที่เติมสารทำให้ขึ้นฟูคือ ยีสต์และแอมโมเนียมไบคาร์บอเนตมีคะแนนความชอบด้านลักษณะเนื้อสัมผัสมากที่สุด

เท่ากับ 6.67 คะแนน เนื่องจากยีสต์และแอมโมเนียมไบคาร์บอเนตมีคุณสมบัติในการทำให้ผลิตภัณฑ์มีความยืดหยุ่นและทำให้ผลิตภัณฑ์มีความพองตัวสูงทำให้เป็นที่ยอมรับของผู้ทดสอบทางประสาทสัมผัส

สำหรับคะแนนความชอบโดยรวมของผลิตภัณฑ์ปาต่องโก่ พบว่า ปาต่องโก่สูตรที่ 4 ที่เติมสารทำให้ขึ้นฟู คือ ยีสต์และแอมโมเนียมไบคาร์บอเนต ได้รับคะแนนความชอบโดยรวมมากที่สุดเท่ากับ 7.07 คะแนน ซึ่งมีคะแนนความชอบมากกว่าปาต่องโก่สูตร 9 ที่เป็นสูตรมาตรฐาน

เมื่อพิจารณาคะแนนความชอบจากการทดสอบทางประสาทสัมผัส สามารถเลือกผลิตภัณฑ์ปาต่องโก่สูตร 4 ที่เติมสารทำให้ขึ้นฟู คือ ยีสต์และแอมโมเนียมไบคาร์บอเนต เป็นสูตรที่เหมาะสมในการนำไปใช้พัฒนาผลิตภัณฑ์ปาต่องโก่ไขมันต่ำ เนื่องจากได้รับคะแนนความชอบสูงในทุกคุณลักษณะที่ทำการทดสอบ

2. การศึกษาสมบัติทางเคมีและกายภาพของเปลือกเงาะผง

เมื่อนำเปลือกเงาะผงที่ผ่านการฟอกสีด้วยสารละลายไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ความเข้มข้น 1.5 M มาทำการวิเคราะห์สมบัติทางเคมีและสมบัติเชิงหน้าที่ ได้ผลดังแสดงในตารางที่ 4

ตารางที่ 4 สมบัติทางเคมีและสมบัติเชิงหน้าที่ของเปลือกเงาะผง

สมบัติทางเคมีและเชิงหน้าที่	ปริมาณ
ความชื้น (ร้อยละ)	7.09±0.01
a_w	0.29±0.01
ความสามารถในการอุ้มน้ำ (g water/g dry sample)	7.70±0.01
ความสามารถในการอุ้มน้ำมัน (g oil /g dry sample)	3.21±0.04
Total dietary fiber (g/100g dry sample)	79.60±0.38
Soluble dietary fiber (g/100g dry sample)	3.02±0.08
Insoluble dietary fiber (g/100g dry sample)	76.58±0.39

จากการวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมีของเปลือกเงาะผงดังแสดงในตารางที่ 4 พบว่า เปลือกเงาะผงมีปริมาณความชื้นร้อยละ 7.09 มีค่า a_w เท่ากับ 0.29 ซึ่งอยู่ในเกณฑ์ต่ำ โดยค่า a_w ไม่เกิน 0.6 ดังนั้น เปลือกเงาะผงจึงมีค่า a_w อยู่ในเกณฑ์ที่ปลอดภัยต่อการเจริญของจุลินทรีย์ สามารถเก็บรักษาได้เป็นระยะเวลาอันยาวนานโดยไม่เกิดการเสื่อมเสียจากจุลินทรีย์

เมื่อพิจารณาสมบัติเชิงหน้าที่ พบว่า เปลือกเงาะผงมีค่าความสามารถในการอุ้มน้ำ 7.70 g water/g dry sample ค่าความสามารถในการอุ้มน้ำมัน 3.21 g oil /g dry sample ผลที่ได้แสดงให้เห็นว่า เปลือกเงาะผงมีความสามารถในการอุ้มน้ำดีกว่าน้ำมัน เนื่องจากคุณสมบัติที่ชอบน้ำของเซลลูโลส ทำให้มีการสร้างพันธะที่แข็งแรงระหว่างเซลลูโลสกับน้ำได้ดีกว่าพันธะระหว่างเซลลูโลสกับน้ำมันซึ่งมีคุณสมบัติเป็น Hydrophobic เมื่อนำเปลือกเงาะผงมาวิเคราะห์ปริมาณใยอาหารทั้งหมด พบว่า มีใยอาหารทั้งหมด 79.60 g/100 g dry sample แบ่งเป็นใยอาหารที่ละลายน้ำ 3.02 g/100 g dry sample ใยอาหารที่ไม่ละลายน้ำ 76.58 g/100 g dry sample ปริมาณใยอาหารที่ไม่ละลายน้ำของเปลือกเงาะผงมีค่าสูงจึงทำให้มีการอุ้มน้ำสูงด้วย

3. การศึกษาผลของการเติมเปลือกเงาะฝงต่อคุณภาพและการดูดซับน้ำมันของปาห้องโก้

เมื่อทำการศึกษาการเติมเปลือกเงาะฝงร้อยละ 0 3 6 9 และ 12 ของปริมาณแป้งสาลี ในปาห้องโก้ สูตร 4 ที่คัดเลือกสูตรได้จากข้อ 1 แล้วนำผลิตภัณฑ์ปาห้องโก้ที่ได้มาวิเคราะห์คุณภาพด้านต่างๆ ได้ผลแสดงดังตารางที่ 5-10

ตารางที่ 5 ลักษณะเนื้อสัมผัสของผลิตภัณฑ์ปาห้องโก้ที่เติมเปลือกเงาะฝงในระดับที่แตกต่างกัน

เปลือกเงาะฝง (%)	Firmness (g)	Springiness (%)
0	2956.13±166.80 ^a	37.20±1.45 ^a
3	5745.97±246.63 ^b	41.60±1.63 ^b
6	7726.27±100.96 ^c	41.68±1.29 ^b
9	12747.49±378.42 ^d	43.00±0.90 ^b
12	16710.98±183.29 ^e	43.61±0.94 ^b

^{a,b,c,...} หมายถึง ตัวอักษรต่างกันในแนวตั้งเดียวกันมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$)

จากตารางที่ 5 พบว่า ค่าความแน่นเนื้อของผลิตภัณฑ์ปาห้องโก้ที่มีการเติมเปลือกเงาะฝงร้อยละ 0 3 6 9 และ 12 ของปริมาณแป้งสาลี มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$) โดยผลิตภัณฑ์ปาห้องโก้ที่ไม่เติมเปลือกเงาะฝงมีค่าความแน่นเนื้อน้อยที่สุด และผลิตภัณฑ์ปาห้องโก้ที่มีการเติมเปลือกเงาะฝงในปริมาณที่เพิ่มขึ้นทำให้ค่าความแน่นเนื้อเพิ่มขึ้นด้วย เนื่องจากในขั้นตอนการทำโดต้องใช้ น้ำในการละลาย ส่วนผสมต่างๆรวมทั้งแป้งที่มีการดูดซับน้ำไว้ ส่งผลให้โปรตีนไกลอะดินและกลูเตนในแป้งรวมตัวกันเกิดเป็นกลูเตนที่มีความสามารถเก็บก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ไว้ได้ แต่เมื่อมีการเติมเปลือกเงาะฝงเข้าไปแทรกในโครงสร้างของกลูเตนทำให้กลูเตนเกิดโครงสร้างที่ไม่สมบูรณ์จึงกักเก็บก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ได้น้อยลง อีกทั้งเมื่อมีการเติมเปลือกเงาะฝงที่มีค่าความสามารถในการอุ้มน้ำสูง เปลือกเงาะฝงจะเกิดการแย่งจับกับน้ำทำให้ปริมาณน้ำไม่เพียงพอต่อการที่แป้งจะเกิดโครงสร้างของโดที่สมบูรณ์ ปริมาตรของโดจึงลดลงและมีความแน่นเนื้อมากขึ้น (จิตธนา แจ่มเมฆ และอรอนงค์ นัยวิกุล, 2539) ซึ่งผลที่ได้สอดคล้องกับงานวิจัยของ Mehta et al. (2018) ที่พบว่าการเติมใยอาหารจากกากมะเขือเทศลงในส่วนผสมของขนมปังและมัฟฟินส่งผลให้ทั้งขนมปังและมัฟฟินมีค่าความแน่นเนื้อสูงกว่าตัวอย่างควบคุม เช่นเดียวกับผลงานวิจัยของ Koca et al. (2017) ที่พบว่าการเติมใยอาหารจากเมล็ดตองุ่น เมล็ดทับทิม และเมล็ดโรสฮิบส่งผลให้เส้นขนมปังที่ผลิตจากแป้งสาลีมีค่าความแน่นเนื้อสูงขึ้นเช่นกัน

แต่เมื่อพิจารณาค่าความสามารถในการคืนตัว (springiness) ของผลิตภัณฑ์ปาห้องโก้ที่มีการเติมเปลือกเงาะฝงร้อยละ 3 6 9 และ 12 ของปริมาณแป้งสาลี พบว่า มีค่าสูงกว่าตัวอย่างควบคุมที่ไม่เติมเปลือกเงาะฝงอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$) เกิดจากเปลือกเงาะฝงที่มีค่าความสามารถในการอุ้มน้ำสูง เซลลูโลสที่มีอยู่ในผลิตภัณฑ์สามารถดูดซับน้ำไว้ในโมเลกุลได้ทำให้โมเลกุลเซลลูโลสเกิดการพองตัวและมีความยืดหยุ่น จึงทำให้เมื่อเติมเปลือกเงาะฝงในปริมาณที่เพิ่มมากขึ้นจะทำให้ค่าความสามารถในการคืนตัวของผลิตภัณฑ์ปาห้องโก้เพิ่มขึ้นด้วย ซึ่งผลที่ได้สอดคล้องกับงานวิจัยของ Mehta et al. (2018) ที่พบว่า ถึงแม้การเติมใยอาหารจากกาก

มะเขือเทศลงในส่วนผสมของขนมปังและมัทฟีนส่งผลให้ทั้งขนมปังและมัทฟีนมีค่าความแน่นเนื้อสูงกว่าตัวอย่างควบคุม แต่อย่างไรก็ตาม จากสมบัติการอุ้มน้ำของใยอาหารดังกล่าวกลับทำให้ทั้งขนมปังและมัทฟีนมีค่าความแข็งลดลง คือ ผลิตภัณฑ์มีเนื้อที่แน่นขึ้นแต่มีความนุ่มและชุ่มชื้นมากขึ้น และยังมีค่าความสามารถในการคืนตัวสูงกว่าตัวอย่างควบคุมด้วย ทั้งนี้เนื่องจากใยอาหารจากมะเขือเทศที่นอกจากจะมีองค์ประกอบเป็นเซลลูโลสแล้วยังมีองค์ประกอบส่วนหนึ่งเป็นเพคตินที่สามารถอุ้มน้ำและเกิดเป็นเจลได้จึงช่วยทำให้ขนมปังและมัทฟีนมีความยืดหยุ่นมากขึ้น

ตารางที่ 6 ค่าสีผิวด้านนอกและเนื้อด้านในของผลิตภัณฑ์ปาห้องโกที่เติมเปลือกเงาะผงในปริมาณที่แตกต่างกัน

เปลือกเงาะผง (%)	ค่าสีผิวด้านนอก			ค่าสีเนื้อปาห้องโก		
	L*	a*	b*	L*	a*	b*
0	56.77±0.16 ^a	10.30±0.20 ^a	36.13±0.55 ^a	59.97±0.03 ^a	2.47±0.15 ^a	20.26±0.74 ^a
3	49.67±0.11 ^b	11.41±0.15 ^b	30.43±0.57 ^b	50.19±0.14 ^b	5.03±0.14 ^b	17.99±0.29 ^b
6	38.62±0.18 ^c	12.40±0.02 ^c	23.84±0.29 ^c	40.38±0.07 ^c	6.58±0.40 ^c	17.94±0.57 ^b
9	38.23±0.68 ^c	12.25±0.18 ^c	21.85±1.16 ^d	39.74±0.05 ^d	7.15±0.47 ^c	18.27±0.85 ^b
12	37.96±0.64 ^c	12.91±0.07 ^d	21.76±0.94 ^d	39.45±0.08 ^e	6.84±0.36 ^c	17.13±0.51 ^b

^{a,b,c,...} หมายถึง ตัวอักษรต่างกันแถวเดียวกันมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (p≤0.05)

ผลการวิเคราะห์ค่าสีของผลิตภัณฑ์ปาห้องโก ดังแสดงในตารางที่ 6 เมื่อพิจารณาค่าความสว่างของสีผิวด้านนอกและค่าสีเนื้อปาห้องโกด้านใน พบว่า ผลิตภัณฑ์ที่เติมเปลือกเงาะผงร้อยละ 0 3 6 9 และ 12 ของปริมาณแป้งสาลี มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (p≤0.05) เนื่องจากเปลือกเงาะผงมีลักษณะเป็นผงสีน้ำตาลแดงอ่อน เมื่อเติมเปลือกเงาะผงในปริมาณที่เพิ่มมากขึ้นจึงมีผลทำให้ค่าความสว่างลดลง และค่าความเป็นสีแดง (a*) เพิ่มขึ้น แต่ค่าความเป็นสีเหลือง (b*) ลดลง สอดคล้องกับสีของผลิตภัณฑ์ปาห้องโกที่มีสีน้ำตาลและสีน้ำตาลมีความเข้มมากขึ้นตามปริมาณของเปลือกเงาะผงที่เพิ่มขึ้น

จากตารางที่ 7 วิเคราะห์ปริมาตรจำเพาะของปาห้องโกภายหลังการทอดโดยการแทนที่ด้วยเมล็ดงา พบว่า ปริมาตรจำเพาะของผลิตภัณฑ์ปาห้องโกแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (p≤0.05) โดยผลิตภัณฑ์ปาห้องโกที่เติมเปลือกเงาะผงในปริมาณที่เพิ่มขึ้นทำให้ปริมาตรจำเพาะของผลิตภัณฑ์ปาห้องโกลดลง ซึ่งผลที่ได้สอดคล้องกับค่าความแน่นเนื้อที่พบว่า เมื่อเติมเปลือกเงาะผงมากขึ้นทำให้ค่าความแน่นเนื้อสูงขึ้นด้วยเนื่องจากผลิตภัณฑ์มีความพองตัวน้อยลง

ตารางที่ 7 ปริมาตรจำเพาะ (Specific volume) ของผลิตภัณฑ์ปาท่องเที่ยวที่มีเติมเปลือกเงาะผงในปริมาณที่แตกต่างกัน

เปลือกเงาะผง (%)	ปริมาตรจำเพาะ (Specific volume) (ml/g)
0	2.86±0.54 ^a
3	2.81±0.91 ^a
6	2.62±0.09 ^a
9	2.49±0.32 ^{ab}
12	2.01±0.07 ^b

^{a,b,c,...} หมายถึง ตัวอักษรต่างกันแถวเดียวกันมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$)

ตารางที่ 8 ปริมาณความชื้นของผลิตภัณฑ์ปาท่องเที่ยวก่อนทอดและผลิตภัณฑ์ปาท่องเที่ยวหลังทอดที่เติมเปลือกเงาะผงในปริมาณที่แตกต่างกัน

เปลือกเงาะผง (%)	ปริมาณความชื้น	
	ตัวอย่างก่อนทอด	ตัวอย่างหลังทอด
0	46.82±0.62 ^a	23.68±0.47 ^a
3	48.46±0.83 ^b	28.65±0.93 ^b
6	48.59±0.44 ^b	30.78±0.54 ^c
9	48.82±1.42 ^b	31.16±0.54 ^c
12	49.51±0.78 ^b	32.86±0.33 ^d

^{a,b,c,...} หมายถึง ตัวอักษรต่างกันแถวเดียวกันมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$)

ตารางที่ 8 ศึกษาปริมาณความชื้นของผลิตภัณฑ์ปาท่องเที่ยวก่อนทอดและผลิตภัณฑ์ปาท่องเที่ยวหลังทอดพบว่า เมื่อเติมเปลือกเงาะผงลงไปร้อยละ 3 6 9 และ 12 ของน้ำหนักแป้งสาลี ปาท่องเที่ยวมีปริมาณความชื้นมากกว่าผลิตภัณฑ์ปาท่องเที่ยวที่ไม่มีการเติมเปลือกเงาะผง เนื่องจากเซลลูโลสในเปลือกเงาะผงมีสมบัติในการอุ้มน้ำได้ดีจึงสามารถดูดซับน้ำและเก็บกักความชื้นที่มีอยู่ในโดเอาไว้ได้ทั้งในระหว่างการหมักโด และระหว่างการทอด (ธีรานุช ฉายศิริโชติ, 2554)

จากตารางที่ 9 ศึกษาปริมาณไขมันของผลิตภัณฑ์ปาท่องเที่ยวก่อนทอดและหลังทอด เมื่อเติมเปลือกเงาะผงลงไปร้อยละ 0 3 6 9 และ 12 ของน้ำหนักแป้ง ปริมาณไขมันของผลิตภัณฑ์ปาท่องเที่ยวก่อนทอดไม่แตกต่างกันเนื่องจากปาท่องเที่ยวทุกตัวอย่างมีส่วนผสมน้ำมันพืชในอัตราส่วนเท่ากันจึงทำให้ผลิตภัณฑ์ปาท่องเที่ยวก่อนทอดมีปริมาณไขมันไม่แตกต่างกัน แต่ปริมาณไขมันของผลิตภัณฑ์ปาท่องเที่ยวหลังทอดแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) เมื่อมีการเติมเปลือกเงาะผงจะทำให้ปริมาณไขมันของผลิตภัณฑ์ปาท่องเที่ยวหลังทอดลดลง ซึ่งกลไกในการดูดซับน้ำมันของปาท่องเที่ยวในระหว่างการทอดจะเกิดกลไกการดูดซับน้ำมัน 2 แบบ คือ กลไกคาปิลลารีซึ่งเป็นกลไกการดูดซับน้ำมันของปาท่องเที่ยวในระหว่างการทอด กลไกนี้เกิดจากน้ำที่บริเวณผิวของ

ปาห้องโกเปลี่ยนสถานะกลายเป็นไอและเคลื่อนที่ออกจากปาห้องโกออกสู่ด้านนอกและระเหยกลายเป็นไอ การระเหยของน้ำทำให้เกิดรูพรุนซึ่งทำให้ในระหว่างการทอดน้ำมันสามารถเข้าสู่ชิ้นอาหารได้ทางรูพรุนที่เกิดขึ้นดังกล่าว แต่การเติมเปลือกเงาะที่มีความสามารถในการอุ้มน้ำสูงจะทำให้ลดการสูญเสียไอน้ำออกไประหว่างการทอดจึงเกิดรูพรุนที่ผิวของปาห้องโกน้อยลงทำให้ปริมาณน้ำมันถูกดูดซับเข้าสู่ปาห้องโกผ่านทางรูพรุนได้น้อยลง

ตารางที่ 9 ปริมาณไขมันและ Oil uptake relative variation ในผลิตภัณฑ์ปาห้องโกที่มีเติมเปลือกเงาะในปริมาณที่แตกต่างกัน

เปลือกเงาะ (%)	ปริมาณไขมัน (%)		Oil uptake relative variation (%)
	ตัวอย่างก่อนทอด ^{ns}	ตัวอย่างหลังทอด	
0	1.06±0.04	22.67±0.17 ^a	-
3	0.98±0.16	15.99±0.74 ^b	-29.44±3.25 ^a
6	1.15±0.11	13.30±0.61 ^c	-41.31±2.68 ^b
9	1.12±0.13	12.02±0.35 ^d	-46.96±1.53 ^c
12	1.05±0.11	11.52±0.49 ^d	-49.16±2.17 ^c

^{a,b,c,...} หมายถึง ตัวอักษรต่างกันในแต่ละแถวมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$)

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

เมื่อทอดเสร็จและนำปาห้องโกขึ้นจากน้ำมันที่ทอดจะทำให้เกิดกลไกการดูดซับน้ำมันแบบที่ 2 คือ กลไกการควบแน่นซึ่งเป็นสาเหตุหลักที่ทำให้อาหารเกิดการดูดซับน้ำมันภายหลังการทอด โดยหลังจากนำปาห้องโกขึ้นจากน้ำมันเป็นเวลา 2 ถึง 3 วินาที ที่สภาวะนี้อุณหภูมิของปาห้องโกจะลดลงและไอน้ำภายในปาห้องโกเกิดการควบแน่น ความดันภายในปาห้องโกและรูพรุนจะลดลงต่ำกว่าความดันบรรยากาศทำให้เกิดแรงดูดให้น้ำมันที่ผิวของปาห้องโกเคลื่อนที่เข้าสู่รูพรุนได้ดี (สิริมา ชินสาร, 2552) แต่การเติมเปลือกเงาะที่มีความสามารถในการอุ้มน้ำสูง เปลือกเงาะจะดูดซับน้ำเอาไว้ทำให้ปริมาณไอน้ำที่เกิดขึ้นในระหว่างการทอดลดลง ความดันไอน้ำภายในปาห้องโกและรูพรุนจึงไม่สูงเท่ากับปาห้องโกที่ไม่ได้เติมเปลือกเงาะและปริมาณไอน้ำที่ควบแน่นก็น้อยกว่าเช่นกัน เมื่อนำปาห้องโกขึ้นจากน้ำมันทอดจึงเกิดแรงดูดเอาน้ำมันที่ผิวหน้าเข้าไปภายในปาห้องโกได้น้อยกว่า ดังนั้น น้ำมันส่วนใหญ่จึงค้างอยู่บริเวณผิวหน้าและสามารถถูกกำจัดออกไปจากผิวหน้าโดยการซับด้วยกระดาษซับน้ำมัน ซึ่งปริมาณไขมันมีความสัมพันธ์กับการอมน้ำมันในผลิตภัณฑ์ปาห้องโก พบว่า เมื่อเติมเปลือกเงาะในผลิตภัณฑ์ปาห้องโกมากขึ้น ทำให้การอมน้ำมันของผลิตภัณฑ์ปาห้องโกลดลงอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$) ซึ่งแสดงได้ด้วยค่า Oil uptake relative variation ที่แสดงถึงประสิทธิภาพการลดลงของการอมน้ำมันโดยจะมีค่าติดลบเสมอ จากผลการทดลอง พบว่า เมื่อมีการเติมเปลือกเงาะในปริมาณที่เพิ่มมากขึ้น ค่า Oil uptake relative variation มีค่าติดลบเพิ่มขึ้น สอดคล้องกับปริมาณน้ำมันภายหลังการทอดที่ลดลงเมื่อเติมเปลือกเงาะเพิ่มขึ้น ซึ่งผลที่ได้สอดคล้องกับงานวิจัยของพรทิพา สีนาม (2547) ที่ศึกษาการผลิต

และการเสริมเซลล์โลสผงจากซังข้าวโพด เพื่อลดการอมน้ำมันในผลิตภัณฑ์ปาห้องโก้ พบว่า การเติมเซลล์โลสลงในผลิตภัณฑ์ปาห้องโก้มีผลทำให้ปริมาณไขมันลดลงอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 คือเมื่อเติมเซลล์โลสในปาห้องโก้จากร้อยละ 0 เป็นร้อยละ 15 ของน้ำหนักแห้ง มีผลทำให้ปริมาณไขมันลดลงประมาณร้อยละ 35 เช่นเดียวกับลิริมา ซินสาร และคณะ (2557) พบว่า การใช้เซลล์โลสผงจากกากมะพร้าวเติมลงในโดนัทสามารถช่วยลดการดูดซับน้ำมันในโดนัทภายหลังการทอดลงได้ ร้อยละ 20.94

เมื่อนำปาห้องโก้ทั้ง 5 สูตร มาทำการทดสอบทางประสาทสัมผัส ผู้ทดสอบให้คะแนนความชอบในคุณลักษณะต่างๆ ดังแสดงในตารางที่ 10

ตารางที่ 10 คะแนนความชอบของผลิตภัณฑ์ปาห้องโก้ที่เติมเปลือกเงาะผงในปริมาณที่แตกต่างกัน

เปลือกเงาะ ผง	ค่าเฉลี่ย \pm ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน				
	ลักษณะปรากฏ (การพองตัว)	สี	กลิ่นรส	ลักษณะเนื้อ สัมผัส	ความชอบ โดยรวม
0%	7.63 \pm 1.16 ^a	7.83 \pm 0.95 ^a	7.20 \pm 1.21 ^a	7.17 \pm 1.39 ^a	7.30 \pm 1.15 ^a
3%	6.87 \pm 1.31 ^b	6.67 \pm 1.40 ^b	7.20 \pm 1.00 ^a	7.13 \pm 1.11 ^a	7.33 \pm 0.99 ^a
6%	5.93 \pm 1.46 ^c	5.37 \pm 1.52 ^c	6.40 \pm 1.45 ^b	6.07 \pm 1.26 ^b	6.27 \pm 1.14 ^b
9%	5.80 \pm 1.79 ^c	4.63 \pm 1.56 ^d	6.13 \pm 1.59 ^b	5.90 \pm 1.54 ^b	6.01 \pm 1.12 ^b
12%	5.03 \pm 1.79 ^d	4.63 \pm 1.59 ^d	5.33 \pm 1.47 ^c	4.60 \pm 1.67 ^c	5.00 \pm 1.41 ^c

^{a,b,c,...} หมายถึง ตัวอักษรต่างกันแถวเดียวกันในแนวตั้งเดียวกันมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$)

จากตารางที่ 10 คะแนนความชอบของผลิตภัณฑ์ปาห้องโก้ที่เติมเปลือกเงาะผงร้อยละ 0 3 6 9 และ 12 ของน้ำหนักแห้งสาธิตีมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) โดยความชอบด้านลักษณะปรากฏ (การพองตัว) พบว่า ผลิตภัณฑ์ปาห้องโก้ที่ไม่เติมเปลือกเงาะผงได้รับคะแนนความชอบมากที่สุดเท่ากับ 7.63 คะแนน ซึ่งอยู่ในระดับชอบปานกลาง และคะแนนความชอบด้านลักษณะปรากฏ (การพองตัว) ลดลงเมื่อเติมเปลือกเงาะผงเพิ่มขึ้น โดยผลที่ได้สอดคล้องกับค่าปริมาตรจำเพาะของผลิตภัณฑ์ปาห้องโก้ (ตารางที่ 8) ซึ่งปาห้องโก้ที่ไม่เติมเปลือกเงาะผงมีปริมาตรจำเพาะสูงสุดและปริมาตรจำเพาะของผลิตภัณฑ์ปาห้องโก้ลดลงเมื่อเติมเปลือกเงาะผงในปริมาณที่เพิ่มขึ้น

ความชอบด้านสี พบว่า ผลิตภัณฑ์ปาห้องโก้ที่ไม่เติมเปลือกเงาะผงได้รับคะแนนความชอบมากที่สุดเท่ากับ 7.83 คะแนน ซึ่งอยู่ในระดับชอบปานกลาง และคะแนนลดลงเมื่อมีการเติมเปลือกเงาะผงเพิ่มขึ้น เนื่องจากทำให้สีของปาห้องโก้เข้มขึ้นดังค่าสีที่แสดงในตารางที่ 6 คือ ผลิตภัณฑ์ปาห้องโก้ที่ไม่เติมเปลือกเงาะมีค่าความสว่าง (L^*) และค่าความเป็นสีเหลือง (b^*) สูงสุด แต่เมื่อมีการเติมเปลือกเงาะในปริมาณที่เพิ่มมากขึ้นค่าสีของผลิตภัณฑ์ปาห้องโก้มีแนวโน้มลดลง

ความชอบด้านเนื้อสัมผัส พบว่า ผลิตรัณฑ์ปาห้องโกที่ไม่เติมเปลือกเงาะผงและที่เติมเปลือกเงาะผง ร้อยละ 3 ของน้ำหนักแป้งสาลี ได้รับคะแนนความชอบมากที่สุด มีคะแนนความชอบเฉลี่ยอยู่ในช่วง 7.17-7.13 คะแนนเฉลี่ยอยู่ในช่วงชอบปานกลาง และเมื่อเติมเปลือกเงาะผงในปริมาณที่เพิ่มมากขึ้น คะแนนความชอบเฉลี่ย ด้านเนื้อสัมผัสของผลิตรัณฑ์ปาห้องโกมีแนวโน้มลดลงอย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$)

ความชอบโดยรวม พบว่า ผลิตรัณฑ์ปาห้องโกที่ไม่เติมเปลือกเงาะผงและที่เติมเปลือกเงาะผง ร้อยละ 3 ของน้ำหนักแป้งสาลี ได้รับคะแนนความชอบมากที่สุด มีคะแนนความชอบเฉลี่ยอยู่ในช่วง 7.30-7.33 คะแนนเฉลี่ยอยู่ในช่วงชอบปานกลางและเมื่อเติมเปลือกเงาะผงในปริมาณมากขึ้นคะแนนความชอบโดยรวมของผลิตรัณฑ์ปาห้องโกมีแนวโน้มลดลงอย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$)

สรุปผล

ปาห้องโกเป็นผลิตภัณฑ์อาหารทอดที่มีการดูดซับน้ำมันในปริมาณมาก การใช้ใยอาหารผงที่ผลิตจากผลพลอยได้จากการแปรรูปผลไม้ในอุตสาหกรรมอาหารเป็นสารช่วยลดการดูดซับน้ำมันเป็นแนวทางหนึ่งที่น่าสนใจ แต่การใช้ใยอาหารผงยังคงมีข้อจำกัดเพราะการเติมใยอาหารผงในปริมาณมากเกินไปจะส่งผลถึงโครงสร้างและลักษณะเนื้อสัมผัสของปาห้องโกได้ ผลจากงานวิจัยนี้ พบว่า การเลือกใช้สารทำให้ขึ้นฟูที่เหมาะสมสามารถทำให้โครงสร้างเริ่มต้นของปาห้องโกมีคุณภาพเป็นที่ยอมรับต่อการบริโภค โดยสารทำให้ขึ้นฟูที่เหมาะสมสำหรับงานวิจัยนี้ได้แก่ การใช้ยีสต์และแอมโมเนียมไบคาร์บอเนตร่วมกัน ซึ่งจะทำให้ผลิตรัณฑ์ที่ได้รับคะแนนความชอบสูงในทุกคุณลักษณะที่ทำการทดสอบ เมื่อทำการเติมเปลือกเงาะผงลงในสูตร พบว่า การเติมเปลือกเงาะผงร้อยละ 3 ของน้ำหนักแป้งสาลี ทำให้ได้ผลิตรัณฑ์ที่ยังคงมีคุณลักษณะทางประสาทสัมผัสเป็นที่ยอมรับของผู้บริโภค และสามารถลดการดูดซับน้ำมันลงได้ร้อยละ 29.44

References

- Ang, J. F. (1991). "Water retention capacity and viscosity effect of powdered cellulose." *Journal of Food Science* 56(6): 1682-1684.
- AOAC. (1990). *Official method of analysis*. 15th ed. Association of Official Analytical Chemists. Arlington, Virginia.
- AOAC. (2005). *Official method of Analysis*. 18th Ed. Association of Official Analytical Chemists. Washington, DC.
- Chaisirichoti, T. (2011). "lakkaṅ phalit bekoeri" [Principle of Bakery Production] Bangkok: Suan Dusit University Book Center.
- Chammek, C. & Naiwikul, O. (1996). "bekoeri theknoyoi buangton" [Basic Baking Science and Technology] Bangkok: Kasetsart University.
- Chinnasarn, S. (2009). "kan dut sap namman nai krabuankan thot bap namman thum" [Oil Uptake in Deep-Fat Frying Process] *Burapha Science Journal*. 14, 2 (July – December): 138-145.
- Chinnasarn, S., Boriboon, S. & Songpra, P. (2015). "kante ri yomkak somchi da phong lae kanprayukchai nai 'ahan" [Preparation of Kumquat Residue Powder and Its Application in Food] *Agricultural Science Journal*. 46, 3 (Suppl.) (September – December): 557-560.
- Chinnasarn, S., Turapan, B. & Prompradit, W. (2014). "phon khong kante ri yom khantontot sombat khong senlulot phong chak kak maphrao lae kanprayukchai pen san lot kan dut sap namman nai donat" [Effect of Pretreatment on Properties of Cellulose Powder from Coconut Residue and the Application as Oil Reduction Substance in Doughnut] *Agricultural Science Journal*. 45, 2 (Suppl.) (May – August): 393-396.
- Garcia, M. A., Perrero, C., Bertola, N., Martina, M., & Zaritzky, N. (2002). "Edible coating from cellulose derivatives to reduce oil uptake in fried products." *Innovative food science & Emerging technologies* 3: 391-397.
- Iamphithakkit, N. (2000). "khumu kantham pathongko samrap mutachip" [Professional Deep-fried Bun Guide] Bangkok: Maeban publisher.
- Kasurin, A. (2007). "phon khong kan thothaen paengman sampalang bang sun duai pluk malet thantawan thi phan kan fok sito khunnaphap khong khokriap kung" [Effect of partially tapioca starch substitution with bleached sunflower shells on the quality of shrimp crackers] *Special Problem*. Burapha University.

- Limrungruangrat, K. (2010). “theknōlōyī khōṅ phalittaphan khanom ‘op” [Technology of Bakery Product] Department of Food Science. Faculty of Science. Burapha University.
- Seenam, P. (2004). “kānphalit læ kān sōēm sēnlulōt phōṅ čāk sang khāophōt phūā lot kān ‘om namman nai phalittaphan pāthōṅko” [Production and Fortification of cellulose powder Prepared from Corn Cob for Decreasing Oil Uptake in Chinese Dough Product] Special Problem. Burapha University.
- Sraprom, P. (2005). “kāntōēm khā boḅsimēthin sēnlulōt čāk fāṅ khāo phūā lot kān ‘om namman nai phalittaphan pāthōṅko” [Fortification of Carboxymethylcellulose Prepared from Rice Straw for Decreasing Oil Uptake in Chinese Dough Product] Special Problem. Burapha University.
- Trisiroj, A. (1997). “Analysis of Quantity and Quality of Dietary fiber from Agricultural Wastes.” Proceedings of the 6th ASEAN Food Conference (pp. 731-734). Raffles City Convention Centre: Westin Stamford.

