รายงานวิจัยฉบับสมบูรณ์

เรื่อง

การพัฒนาผลิตภัณฑ์เบอร์เกอร์กุ้งชุบแป้งทอดพร้อมบริโภคที่ลดการดูดซับไขมันเพื่อการส่งออก

(Development of ready-to-eat battered shrimp burger with low fat uptake for export)

โดย

ผศ.ดร. ก่องกาญจน์ กิจรุ่งโรจน์

ภาควิชาเทคโนโลยีอาหาร คณะอุตสาหกรรมเกษตร มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์

วิทยาเขตหาดใหญ่ จังหวัดสงขลา 90112

ศ.ดร.สุทธวัฒน์ เบญจกุล

ภาควิชาเทคโนโลยีอาหาร คณะอุตสาหกรรมเกษตร มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์

วิทยาเขตหาดใหญ่ จังหวัดสงขลา 90112

ผศ.ดร.ธรรมนูญ โปรดปราน

ภาควิชาเทคโนโลยีวัสดุภัณฑ์ คณะอุตสาหกรรมเกษตร มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์

วิทยาเขตหาดใหญ่ จังหวัดสงขลา 90112

ผศ.ดร. วิลัสนา โพธิ์ศรี

ภาควิชาเทคโนโลยีอาหาร คณะเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยขอนแก่น

จังหวัดขอนแก่น 40002

เสนอต่อ

มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์

2552

บทคัดย่อ

การปรับปรุงผลิตภัณฑ์เบอร์เกอร์กุ้งชุบแป้งทอดแช่เยือกแข็งโดยการสัมภาษณ์ผู้บริโภคชาวยุโรปจำนวน 30 คน หลังการทดสอบชิมผลิตภัณฑ์เบอร์เกอร์กุ้งชุบแป้งทอดสูตรจำลองที่ผ่านการทำละลาย พบว่าผลิตภัณฑ์เบอร์เกอร์กุ้งชุบแป้งสูตรจำลองมีคุณลักษณะทางประสาทสัมผัสด้านความฉ่ำน้ำ รสชาติกุ้งและความกรอบน้อยกว่าที่ผู้บริโภคต้องการ ดังนั้นจึงศึกษาการใช้ส่วนผสมของไฮโดรคอลลอยด์ (แป้งมันสำปะหลังดัดแปร โซเดียมอัลจิเนตและไอโอต้าคาราจีแนน) โดยเป็นส่วนประกอบในปริมาณร้อยละ 1 ของส่วนผสมทั้งหมดในผลิตภัณฑ์ โดยใช้แผนการทดลองแบบผสม เพื่อหาอัตราส่วนที่เหมาะสมต่อการปรับปรุงปัจจัยคุณภาพทางด้านความฉ่ำน้ำของผลิตภัณฑ์ จากนั้นทำการวิเคราะห์ปริมาณความชื้น วิเคราะห์ลักษณะเนื้อสัมผัสโดยวิธี Texture Profile Analysis และทำการทดสอบลักษณะทางประสาทสัมผัสด้วยผู้ทดสอบที่ผ่านการฝึกฝนจำนวน 13 คน พบว่าคาราจีแนนมีผลต่อความแข็งของผลิตภัณฑ์ ในขณะที่การใช้แป้งมันสำปะหลังดัดแปรร่วมกับโซเดียมอัลจิเนตส่งผลเพิ่มปริมาณความชื้นและคะแนนความฉ่ำน้ำ เพื่อทำการยืนยันผลโดยการวิเคราะห์คุณภาพของผลิตภัณฑ์เบอร์เกอร์กุ้งชุบแป้งสูตรจำลองที่ใช้ปริมาณเกล็ดขนมปังร้อยละ 12.5 (สูตร 12.5BC) และร้อยละ 6.5 (สูตร 6.5BC) เปรียบเทียบกับผลิตภัณฑ์สูตรที่มีปริมาณความชื้นและความฉ่ำน้ำเหมาะสมซึ่งใช้แป้งมันสำปะหลังดัดแปรร่วมกับโซเดียมอัลจิเนตในอัตราส่วนร้อยละ 0.3 และ 0.7 ตามลำดับ (สูตร OJ) พบว่าผลิตภัณฑ์สูตร OJ ซึ่งใช้ปริมาณเกล็ดขนมปังร้อยละ 6.5 ได้คะแนนความฉ่ำน้ำจากผู้ทดสอบที่ผ่านการฝึกฝนสูงเท่ากับ 1.35 – 1.42 เท่า เมื่อเทียบกับผลิตภัณฑ์สูตร 12.5BC ขณะที่ปริมาณความชื้นของผลิตภัณฑ์สูตร OJ สูงกว่าผลิตภัณฑ์สูตร 6.5BC คิดเป็นร้อยละ 8.67

การศึกษาขั้นต่อไปเป็นการปรับปรุงความกรอบและลดการดูดซับไขมันโดยศึกษาอัตราส่วนที่เหมาะสมระหว่างแป้งข้าวโพดและแป้งข้าวเจ้าในแป้งชุบทอด พบว่าการใช้แป้งข้าวเจ้าในปริมาณสูงมีผลเพิ่มความหนืดและปริมาณการเคลือบของแป้งชุบทอด ($p<0.05$) ขณะที่การใช้แป้งข้าวโพดในปริมาณสูงมีแนวโน้มให้แป้งชุบทอดมีสีเหลือง-น้ำตาลสูงขึ้น ($p<0.05$) แต่การใช้แป้งข้าวโพดและแป้งข้าวเจ้าในแป้งชุบทอดไม่มีผลต่อปริมาณความชื้น ปริมาณไขมันและความกรอบของผลิตภัณฑ์ ซึ่งได้สูตรที่มีปริมาณแป้งในแป้งชุบที่เหมาะสมประกอบด้วยแป้งข้าวโพดและแป้งข้าวเจ้าร้อยละ 18.9 และ 28.35 ตามลำดับ (สูตร OF) เมื่อทำการยืนยันผลด้วยการวิเคราะห์คุณภาพของผลิตภัณฑ์สูตร OF เปรียบเทียบกับสูตร OJ และผลิตภัณฑ์สูตรที่ใช้แป้งข้าวเจ้าและแป้งข้าวโพดเหมาะสมร่วมกับทำการปรับความหนืดของแป้งชุบให้เท่ากับสูตร OJ (สูตร OFAV) พบว่าผลิตภัณฑ์เบอร์เกอร์สูตร OFAV ได้รับคะแนนความกรอบจากการประเมินระหว่างการเคี้ยวสูงที่สุด ขณะที่สูตร OF มีค่าความแข็งและแรงที่ใช้ในการบดเคี้ยวสูงที่สุด ($p<0.05$)

การศึกษาขั้นถัดมาเป็นการปรับปรุงความกรอบและลดการดูดซับไขมันโดยใช้เมทธิลเซลลูโลสและไฮดรอกซีโพรพิลเซลลูโลสที่ระดับความเข้มข้นร้อยละ 1 และ 2 ในแป้งชุบทอดสูตร OFAV พบว่าชนิดและระดับของไฮโดรคอลลอยด์ไม่มีผลต่อคะแนนความกรอบและการอมน้ำมันที่ได้จากการทดสอบทางประสาทสัมผัส ปริมาณความชื้นและปริมาณไขมันในส่วนของแป้งชุบทอด (p>0.05) แต่มีผลต่อปริมาณความชื้นและปริมาณไขมันในส่วนของเนื้อเบอร์เกอร์ (p<0.05) ดังนั้นสรุปได้ว่าไฮดรอกซีโพรพิลเมทธิลเซลลูโลสช่วยเพิ่มปริมาณความชื้นและลดปริมาณไขมันได้ดีกว่าเมทธิลเซลลูโลส (p<0.05) และการเพิ่มความเข้มข้นของไฮโดรคอลลอยด์จากร้อยละ 1 เป็น 2 ส่งผลให้ปริมาณความชื้นสูงขึ้นแต่ปริมาณไขมันของผลิตภัณฑ์ลดลง (p<0.05)

การปรับปรุงกลิ่นรสกุ้งของผลิตภัณฑ์เบอร์เกอร์กุ้งชุบแป้งแช่เยือกแข็งด้วยสารให้กลิ่นรสกุ้งชนิดผงที่ระดับความเข้มข้นร้อยละ 0.8 และ 1.2 พบว่าไม่มีความแตกต่างกันของคะแนนความชอบแบบ Hedonic scale แบบ 9 ระดับคะแนนในด้านกลิ่นรสกุ้งจากผลิตภัณฑ์เบอร์เกอร์กุ้งชุบแป้งแช่เยือกแข็งสูตรจำลอง (p>0.05) ดังนั้นจึงนำผลิตภัณฑ์สูตร OJ ที่ไม่ได้ใช้กลิ่นรสกุ้ง และมีแป้งชุบที่ใช้แป้งข้าวโพดและแป้งข้าวเจ้าที่เหมาะสมรวมกับทำการปรับความหนืดและใช้ไฮดรอกซีโพรพิลเมทธิลเซลลูโลสร้อยละ 2 ซึ่งเป็นผลิตภัณฑ์ที่ได้รับการพัฒนามาทดสอบการยอมรับของผู้บริโภคชาวยุโรปจำนวน 100 คน เปรียบเทียบกับผลิตภัณฑ์เบอร์เกอร์กุ้งชุบแป้งทอดสูตรจำลอง พบว่าผลิตภัณฑ์ที่ได้รับการพัฒนาได้คะแนนเฉลี่ยความชอบด้านความฉ่ำน้ำ รสชาติและความชอบรวมมากกว่าผลิตภัณฑ์สูตรจำลอง (p<0.05) ผลิตภัณฑ์เบอร์เกอร์ได้รับการพัฒนามีปริมาณความชื้นของเนื้อเบอร์เกอร์และความชื้นรวมทั้งชิ้นมากกว่าสูตรจำลอง แต่มีปริมาณไขมันในส่วนแป้งชุบและไขมันรวมทั้งชิ้นน้อยกว่า (p<0.05) ขณะที่ไม่พบความแตกต่างของคะแนนความกรอบระหว่างผลิตภัณฑ์เบอร์เกอร์กุ้งชุบแป้งสูตรจำลองและผลิตภัณฑ์เบอร์เกอร์กุ้งชุบแป้งที่ได้รับการพัฒนา (p>0.05)

การเก็บรักษาผลิตภัณฑ์เบอร์เกอร์กุ้งชุบแป้งแช่เยือกแข็งที่ -18 องศาเซลเซียส เป็นระยะเวลา 6 เดือน มีผลทำให้การออกซิเดชั่นของไลปิด คะแนนความหืนและค่าการสูญเสียน้ำหนักหลังการทำละลายสูงขึ้น (p<0.05) ขณะที่มีคะแนนความกรอบจากการทดสอบทางประสาทสัมผัสลดลง อย่างไรก็ตามการเปลี่ยนแปลงดังกล่าวไม่มีผลต่อคะแนนการยอมรับคุณภาพโดยรวม โดยตัวอย่างที่เก็บรักษาเป็นเวลา 6 เดือนมีคะแนนระดับคุณภาพที่ไม่แตกต่างจากตัวอย่างที่ระยะการเก็บรักษาเดือนที่ 0 (p>0.05) การเติมสาร Tertiary butyl hydroquinine (TBHQ)ในน้ำมันทอดและการบรรจุแบบสุญญากาศให้ผลในการชะลอการเปลี่ยนแปลงคุณภาพโดยรวมไม่แตกต่างกับการไม่เติมสาร TBHQและการบรรจุแบบธรรมดา

ABSTRACT

To improve the frozen battered shrimp burger, thirty European consumers were interviewed after tasting thawed mocked-up burger. The product sensory concept of battered shrimp burger are the burger with dipped in batter and breaded, the main ingredient is shrimp (60%), the coating is yellow-brown colour, the burger have 1 cm. thickness, a little bite spicy or pepper flavour, onion flavour, saltiness, sweetness and have high juiciness, crispiness and shrimp flavour. The results revealed that the mock-up showed less juiciness, shrimp flavour, and crispness than the expected product. From the result and the concern about healthy by consumer, the improvement of juiciness, crispiness, shrimp flavour and reduction of oiliness of battered shrimp burger were study.

A mixture of different hydrocolloids containing modified tapioca starch (MTS), sodium alginate (AL), and iota-carrageenan (CA) with total concentration of 1% was optimized to increase juiciness by a mixture design. Moisture content, Texture Profile Analysis (TPA), and sensory evaluation using 13 trained panelists were analyzed. Carrageenan influenced on hardness, while the combinations between MTS and AL were responsible for moisture content and juiciness scores. To verify the formulation, the mocked-up burger with 12.5% (12.5BC) and 6.5% bread crumb (6.5BC) was compared with the optimized juiciness formula (OJ) containing 0.3% MTS and 0.7% AL. The juiciness score of OJ-burger with 6.5% bread crumb evaluated by trained panelists was 1.35-1.42 fold higher than that of the 12.5BC. Moisture content of OJ was increased by 8.67% when compared to the 6.5BC-burger.

The further study on the crispiness improvement and reduction of fat uptake was carried out. The mixture design was performed to optimize corn to rice flour ratio in the batter. Rice flour appeared to increase viscosity of batter and coating pick-up of products compared to corn flour ($p<0.05$), while increasing in corn flour ratio increased golden-brown colour of coating ($p<0.05$). However, no significant differences on moisture content, fat content and crispness were observed among different flour blends ($p>0.05$). The optimized batter formula predicted by a quadratic mixture model was composed of 18.9% corn flour and 28.35% rice flour (OF). The qualities of OF, OJ and the optimized flour with adjusted viscosity (OFAV) were compared. The

OFAV-burger had the highest crispness scores during chewing, whereas the OF-burger was the highest hardness and chewiness value ($p<0.05$).

The further improvement of the crispiness and fat uptake, methylcellulose (MC) and hydroxypropylmethylcellulose (HPMC) at 1% and 2% were added in the OFAV batter. The different types and levels of hydrocolloid did not show the impact on the crispness and oiliness scores, moisture and fat contents of coating ($p>0.05$), but significantly affected the moisture and fat content of burger meat ($p<0.05$). HPMC had the higher effect on improvement moisture content and reduction fat content of burger than MC ($p<0.05$). In addition, the increasing level of hydrocolloid from 1 to 2% increased the moisture content but decreased fat content of resulting product ($p<0.05$).

The effect of adding shrimp flavour powder at 0.8% and 1.2% in burger was studied. A 9-point hedonic scale showed no significant differences in shrimp flavour acceptance scores among samples ($p>0.05$). Therefore, the OJ without shrimp powder battered with OFAV containing 2% HPMC was chosen for the developed burger. The developed product was compared to the mock-up using a hundred European consumers. The juiciness, taste, and overall acceptance scores of the developed burger were higher than those of mocked-up burger ($p<0.05$). The developed burger had higher moisture content of burger meat and whole burger, but had lower fat content of coating and whole burger than the mock-up ($p<0.05$). However, no significant differences in crispness scores were found between the mocked-up burger and developed burgers ($p>0.05$).

Storage of the developed battered shrimp burger at -18°C for 6 months resulted in lipid oxidation of the product. Rancidity score and expressible drip loss increased, while crispness score decreased as storage time increased ($p<0.05$). However, such changes did not affect on acceptability in overall quality. No significant difference in acceptability score of the burger stored at 0 and 6 months was observed ($p>0.05$). Addition of Tertiary butyl hydroquinine (TBHQ) in frying oil and vacuum packing had no effect on retardation of quality changes of the product, compared with the control (without TBHQ, packing in air) ($p>0.05$).

กิตติกรรมประกาศ

โครงงานวิจัยเรื่อง การพัฒนาผลิตภัณฑ์กุ้งเบอร์เกอร์ชุบแป้งทอดพร้อมบริโภคที่ลดการดูดซับไขมันเพื่อการส่งออก เป็นโครงการที่ได้รับการสนับสนุนทุนวิจัยจากงบประมาณแผ่นดิน ประจำปีงบประมาณ 2549-2550 มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ คณะผู้วิจัยขอขอบพระคุณเป็นอย่างสูงไว้ ณ โอกาสนี้

นอกจากนี้งานวิจัยสำเร็จได้ด้วยดีต้องขอขอบพระคุณคณะอุตสาหกรรมเกษตร มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ที่ให้การสนับสนุนสถานที่ เครื่องมือ อุปกรณ์วิจัย ขอขอบคุณบริษัท เนชั่นแนล สตาร์ชแอนด์เคมิเคิล (ไทยแลนด์) จำกัด ที่ให้ความอนุเคราะห์แป้งมันสำปะหลังดัดแปร และ Crisp Film บริษัท รามา โปรดักชั่น จำกัด ที่ให้ความอนุเคราะห์สารให้กลิ่นรสกุ้ง ร้านอาหาร 23 Steak House จังหวัดขอนแก่นที่ให้ความช่วยเหลือในการสัมภาษณ์ผู้บริโภคชาวต่างชาติ และขอขอบคุณ นางสาวพิชญณา เจือมณี ผู้ช่วยวิจัยฯที่ช่วยเหลือดำเนินการวิจัยจนสำเร็จด้วยดี

คณะผู้วิจัย

สารบัญ

	หน้า
สารบัญ	(7)
รายการตาราง	(8)
รายการภาพ	(13)
รายการตารางภาคผนวก	(18)
รายการภาพภาคผนวก	(19)
บทที่	
1 บทนำ	1
บทนำต้นเรื่อง	1
ตรวจเอกสาร	2
วัตถุประสงค์	40
2 วัสดุ อุปกรณ์และวิธีการทดลอง	41
3 ผลและวิจารณ์ผลการทดลอง	56
4 สรุปผลการทดลอง	152
ข้อเสนอแนะ	154
เอกสารอ้างอิง	155
ภาคผนวก	166
ก การวิเคราะห์ค่าทางกายภาพ	167
ข การวิเคราะห์ค่าทางเคมี	172
ค เกณฑ์มาตรฐานคุณภาพทางจุลชีววิทยา	177
ง วิธีการและตัวอย่างมาตรฐานที่ใช้ในการฝึกฝนผู้ทดสอบชิม	178
จ การทดสอบคุณภาพทางประสาทสัมผัส	182

รายการตาราง

ตารางที่		หน้า
1	ส่วนผสมของแป้งชุบทอด	19
2	คุณลักษณะของการเปลี่ยนแปลงที่เกิดขึ้นระหว่างการขนถ่าย การแปรรูปและการเก็บ	31
3	การเปลี่ยนแปลงทางเคมีที่มีผลให้คุณภาพของอาหารเสื่อมเสีย	31
4	อายุการเก็บของผลิตภัณฑ์ต่าง ๆ ที่ระบุปัจจัยการเปลี่ยนแปลงต่ออายุการเก็บ	36
5	อัตราการซึมผ่านของไอน้ำ ก๊าซออกซิเจนและก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ของ บรรจุภัณฑ์พลาสติก	39
6	ส่วนผสมของเบอร์เกอร์กุ้งสูตรจำลอง	43
7	ส่วนผสมของเบอร์เกอร์กุ้ง	47
8	แผนการทดลองที่ใช้ในการศึกษาอัตราส่วนของไฮโดรคอลลอยด์ที่มีผลต่อปัจจัยคุณภาพด้านความฉ่ำน้ำของผลิตภัณฑ์เบอร์เกอร์กุ้งชุบแป้งทอด	48
9	ส่วนผสมแป้งชุบทอดของเบอร์เกอร์กุ้งชุบแป้งทอดที่ใช้ในขั้นตอนการสร้างสูตรเบอร์เกอร์กุ้งที่มีความฉ่ำน้ำเหมาะสม	48
10	ส่วนผสมแป้งชุบทอดของเบอร์เกอร์กุ้งชุบแป้งทอดที่ใช้ในขั้นตอนการสร้างสูตรแป้งชุบที่เพิ่มความกรอบและลดการดูดซับน้ำมันที่เหมาะสม	50
11	แผนการทดลองที่ใช้ในการศึกษาอัตราส่วนของแป้งข้าวเจ้าและแป้งข้าวโพดของผลิตภัณฑ์เบอร์เกอร์กุ้งชุบแป้งทอดแช่เยือกแข็ง	50
12	ข้อมูลทั่วไปเกี่ยวกับผู้บริโภคนักท่องเที่ยวชาวยุโรปที่ใช้ในการสัมภาษณ์เชิงลึกของผลิตภัณฑ์เบอร์เกอร์กุ้งชุบแป้งทอดสูตรจำลอง	57
13	คุณภาพของผลิตภัณฑ์เบอร์เกอร์กุ้งชุบแป้งทอดสูตรจำลอง	58
14	รายการคุณลักษณะทางประสาทสัมผัสของผลิตภัณฑ์เบอร์เกอร์กุ้งชุบแป้งทอดสูตรจำลองที่ได้จากการสัมภาษณ์เชิงลึกผู้บริโภคนักท่องเที่ยวชาวยุโรปในประเทศไทย จำนวน 30 คน	59
15	ปริมาณความชื้นและลักษณะเนื้อสัมผัสของผลิตภัณฑ์เบอร์เกอร์กุ้งชุบแป้งทอดที่ใช้ชนิดและอัตราส่วนของไฮโดรคอลลอยด์ที่ระดับต่างๆ	62
16	จำนวนการเคี้ยวและคำนิยามของความฉ่ำน้ำที่ได้จากการสัมภาษณ์ผู้ทดสอบชิม	65
17	คะแนนความฉ่ำน้ำของผลิตภัณฑ์เบอร์เกอร์กุ้งชุบแป้งทอดที่ใช้ไฮโดรคอลลอยด์ที่ระดับต่างๆ	67

รายการตาราง(ต่อ)

ตารางที่		หน้า
18	สมการจำลองและค่าสหสัมพันธ์ซึ่งแสดงผลของปริมาณความชื้นและคะแนนความฉ่ำน้ำของผลิตภัณฑ์เบอร์เกอร์กุ้งชุบแป้งทอดที่ใช้ชนิดและอัตราส่วนของไฮโดรคอลลอยด์	69
19	ปริมาณความชื้นและปริมาณไขมันของผลิตภัณฑ์เบอร์เกอร์กุ้งชุบแป้งทอดสูตรจำลองที่ใช้ปริมาณเกล็ดขนมปังร้อยละ 12.5 สูตรใช้ปริมาณเกล็ดขนมปังร้อยละ 6.5 และสูตรที่มีปริมาณความชื้นและความฉ่ำน้ำเหมาะสมที่ได้จากสมการพยากรณ์	73
20	ลักษณะเนื้อสัมผัสของผลิตภัณฑ์เบอร์เกอร์กุ้งชุบแป้งทอดสูตรจำลองที่ใช้ปริมาณเกล็ดขนมปังร้อยละ 12.5 สูตรที่ใช้ปริมาณเกล็ดขนมปังร้อยละ 6.5 และสูตรที่มีปริมาณความชื้นและความฉ่ำน้ำเหมาะสมที่ได้จากสมการพยากรณ์	75
21	คะแนนความฉ่ำน้ำของผลิตภัณฑ์เบอร์เกอร์กุ้งชุบแป้งทอดสูตรจำลองที่ใช้ปริมาณเกล็ดขนมปังร้อยละ 12.5 สูตรที่ใช้ปริมาณเกล็ดขนมปังร้อยละ 6.5 และสูตรที่มีปริมาณความชื้นและความฉ่ำน้ำเหมาะสมที่ได้จากสมการพยากรณ์	77
22	ความหนืดและปริมาณการเคลือบของแป้งชุบ (ร้อยละ) ที่มีอัตราส่วนของแป้งข้าวโพดและแป้ง ข้าวเจ้าต่างกัน	79
23	ค่าสีของผลิตภัณฑ์เบอร์เกอร์กุ้งชุบแป้งทอดที่มีอัตราส่วนของแป้งข้าวโพดและแป้งข้าวเจ้าในแป้งชุบทอดต่างกัน	80
24	ปริมาณความชื้นและปริมาณไขมันของผลิตภัณฑ์เบอร์เกอร์กุ้งชุบแป้งทอดที่มีอัตราส่วนของแป้งข้าวโพดและแป้งข้าวเจ้าในแป้งชุบทอดต่างกัน	82
25	ลักษณะเนื้อสัมผัสของผลิตภัณฑ์เบอร์เกอร์กุ้งชุบแป้งทอดที่มีอัตราส่วนของแป้งข้าวโพดและแป้งข้าวเจ้าในแป้งชุบทอดต่างกัน	84
26	ลักษณะเนื้อสัมผัสด้านความกรอบของผลิตภัณฑ์เบอร์เกอร์กุ้งชุบแป้งทอดที่มีอัตราส่วนของแป้งข้าวโพดและแป้งข้าวเจ้าในแป้งชุบทอดต่างกัน	85
27	คะแนนความกรอบและความมันของผลิตภัณฑ์เบอร์เกอร์กุ้งชุบแป้งทอดที่มีอัตราส่วนของแป้งข้าวโพดและแป้งข้าวเจ้าในแป้งชุบทอดต่างกัน	86
28	สมการจำลองและค่าสหสัมพันธ์ซึ่งแสดงผลของปริมาณความชื้น ปริมาณไขมัน คะแนนความกรอบและคะแนนการอมน้ำมันของผลิตภัณฑ์เบอร์เกอร์กุ้งชุบแป้งทอดที่มีอัตราส่วนของแป้งข้าวโพดและแป้งข้าวเจ้าในแป้งชุบทอดต่างกัน	88

รายการตาราง(ต่อ)

ตารางที่		หน้า
29	ความหนืดและปริมาณการเคลือบของแป้งชุบ (ร้อยละ) สูตรต่างๆ (สูตรที่มีปริมาณความชื้นและความฉ่ำน้ำเหมาะสม สูตรที่มีส่วนผสมของแป้งข้าวเจ้าและแป้งข้าวโพดที่ได้จากสมการพยากรณ์และสูตรที่ทำการปรับความหนืด)	91
30	ค่าสีของผลิตภัณฑ์เบอร์เกอร์กุ้งชุบแป้งทอด สูตรต่างๆ (สูตรที่มีปริมาณความชื้นและความฉ่ำน้ำเหมาะสม สูตรที่มีส่วนผสมของแป้งข้าวเจ้าและแป้งข้าวโพดที่ได้จากสมการพยากรณ์และสูตรที่ทำการปรับความหนืด)	92 (10)
31	ปริมาณความชื้นและปริมาณไขมันของผลิตภัณฑ์เบอร์เกอร์กุ้งชุบแป้งทอด สูตรต่างๆ (สูตรที่มีปริมาณความชื้นและความฉ่ำน้ำเหมาะสม สูตรที่มีส่วนผสมของแป้งข้าวเจ้าและแป้งข้าวโพดที่ได้จากสมการพยากรณ์และสูตรที่ทำการปรับความหนืด)	93
32	ลักษณะเนื้อสัมผัสของผลิตภัณฑ์เบอร์เกอร์กุ้งชุบแป้งทอด สูตรต่างๆ (สูตรที่มีปริมาณความชื้นและความฉ่ำน้ำเหมาะสม สูตรที่มีส่วนผสมของแป้งข้าวเจ้าและแป้งข้าวโพดที่ได้จากสมการพยากรณ์และสูตรที่ทำการปรับความหนืด)	95
33	ค่าความกรอบของผลิตภัณฑ์เบอร์เกอร์กุ้งชุบแป้งทอด สูตรต่างๆ (สูตรที่มีปริมาณความชื้นและความฉ่ำน้ำเหมาะสม สูตรที่มีส่วนผสมของแป้งข้าวเจ้าและแป้งข้าวโพดที่ได้จากสมการพยากรณ์และสูตรที่ทำการปรับความหนืด)	96
34	คะแนนความกรอบและความมันของผลิตภัณฑ์เบอร์เกอร์กุ้งชุบแป้งทอด สูตรต่างๆ (สูตรที่มีปริมาณความชื้นและความฉ่ำน้ำเหมาะสม สูตรที่มีส่วนผสมของแป้งข้าวเจ้าและแป้งข้าวโพดที่ได้จากสมการพยากรณ์และสูตรที่ทำการปรับความหนืด)	97
35	ความหนืดและปริมาณการเคลือบของแป้งชุบ (ร้อยละ) ที่มีเมทธิลเซลลูโลสและไฮดรอกซีโพรพิลเมทธิลเซลลูโลสที่ระดับต่างกัน	98
36	ค่าสีของผลิตภัณฑ์เบอร์เกอร์กุ้งชุบแป้งทอดที่มีเมทธิลเซลลูโลสและไฮดรอกซีโพรพิลเมทธิลเซลลูโลส ในแป้งชุบทอดที่ระดับต่างกัน	99
37	ปริมาณความชื้นและปริมาณไขมันของผลิตภัณฑ์เบอร์เกอร์กุ้งชุบแป้งทอดที่มีเมทธิลเซลลูโลสและไฮดรอกซีโพรพิลเมทธิลเซลลูโลสในแป้งชุบทอดที่ระดับต่างกัน	101
38	ลักษณะเนื้อสัมผัสของผลิตภัณฑ์เบอร์เกอร์กุ้งชุบแป้งทอดที่มีเมทธิลเซลลูโลสและไฮดรอกซีโพรพิลเมทธิลเซลลูโลสในแป้งชุบทอดที่ระดับต่างกัน	103
39	ค่าความกรอบของผลิตภัณฑ์เบอร์เกอร์กุ้งชุบแป้งทอดที่มีเมทธิลเซลลูโลสและไฮดรอกซีโพรพิลเมทธิลเซลลูโลสในแป้งชุบทอดที่ระดับต่างกัน	104

รายการตาราง(ต่อ)

ตารางที่		หน้า
40	คะแนนความกรอบและความมันของผลิตภัณฑ์เบอร์เกอร์กุ้งชุบแป้งทอดที่มีเมทธิลเซลลูโลสและไฮดรอกซีโพรพิลเมทธิลเซลลูโลสในแป้งชุบทอดที่ระดับต่างกัน	105
41	ความหนืดและปริมาณการเคลือบของแป้งชุบ (ร้อยละ) สูตรที่ใช้แป้งที่เหมาะสมร่วมกับปรับความหนืด (สูตร OFAV) และสูตรที่ใช้ไฮดรอกซีโพรพิลเมทธิลเซลลูโลสร้อยละ 2	106
42	ค่าสีของผลิตภัณฑ์เบอร์เกอร์กุ้งชุบแป้งทอดสูตรที่ใช้แป้งที่เหมาะสมร่วมกับปรับความหนืด (สูตร OFAV) และสูตรที่ใช้ไฮดรอกซีโพรพิงเมทธิลเซลลูโลสร้อยละ 2	106
43	ปริมาณความชื้นและปริมาณไขมันของผลิตภัณฑ์เบอร์เกอร์กุ้งชุบแป้งทอดสูตรที่ใช้แป้งที่เหมาะสมร่วมกับปรับความหนืด (สูตร OFAV) และสูตรที่ใช้ไฮดรอกซีโพรพิลเมทธิลเซลลูโลสร้อยละ 2	107
44	ลักษณะเนื้อสัมผัสของผลิตภัณฑ์เบอร์เกอร์กุ้งชุบแป้งทอดสูตรที่ใช้แป้งที่เหมาะสมร่วมกับปรับความหนืด (สูตร OFAV) และสูตรที่ใช้ไฮดรอกซีโพรพิลเมทธิลเซลลูโลสร้อยละ 2	109
45	ค่าความกรอบของผลิตภัณฑ์เบอร์เกอร์กุ้งชุบแป้งทอดสูตรที่ใช้แป้งที่เหมาะสมร่วมกับปรับความหนืด (สูตร OFAV) และสูตรที่ใช้ไฮดรอกซีโพรพิลเมทธิลเซลลูโลสร้อยละ 2	110
46	คะแนนความกรอบและความมันของผลิตภัณฑ์เบอร์เกอร์กุ้งชุบแป้งทอดสูตรที่ใช้แป้งที่เหมาะสมร่วมกับปรับความหนืด (สูตร OFAV) และสูตรที่ใช้ไฮดรอกซีโพรพิลเมทธิลเซลลูโลสร้อยละ 2	111
47	คะแนนความชอบด้านกลิ่นรสกุ้งของผลิตภัณฑ์เบอร์เกอร์กุ้งชุบแป้งทอดที่ใช้สารให้กลิ่นรสกุ้งที่ระดับความเข้มข้นร้อยละ 0.8 และ 1.2 เปรียบเทียบกับผลิตภัณฑ์เบอร์เกอร์กุ้งชุบแป้งสูตรจำลอง	112
48	ข้อมูลทั่วไปเกี่ยวกับผู้บริโภคนักท่องเที่ยวชาวยุโรปที่ใช้ในการทดสอบการยอมรับผลิตภัณฑ์เบอร์เกอร์กุ้งชุบแป้งทอดแช่เยือกแข็ง	114
49	ข้อมูลเกี่ยวกับพฤติกรรมการบริโภคแฮมเบอร์เกอร์	117
50	ความถี่และคะแนนความชอบของผลิตภัณฑ์เบอร์เกอร์กุ้งชุบแป้งทอดสูตรจำลองและสูตรที่ได้รับการพัฒนา	120

รายการตาราง(ต่อ)

ตารางที่		หน้า
51	รูปแบบการบริโภคผลิตภัณฑ์เบอร์เกอร์กุ้งชุบแป้งทอด	125
52	คุณภาพของผลิตภัณฑ์เบอร์เกอร์กุ้งชุบแป้งทอดสูตรจำลองและสูตรที่ได้รับการพัฒนา	127
53	องค์ประกอบของไขมันของผลิตภัณฑ์เบอร์เกอร์กุ้งชุบแป้งทอด สูตรควบคุม (C) สูตรที่ใช้การบรรจุแบบสุญญากาศ (CV) สูตรที่ใช้ TBHQ (T) และสูตรที่ใช้ TBHQ ร่วมกับการบรรจุแบบสุญญากาศ (TV) ที่เก็บรักษาเป็นระยะเวลา 0 เดือน (กรัมต่อ 100 กรัม)	130
54	องค์ประกอบของไขมันของผลิตภัณฑ์เบอร์เกอร์กุ้งชุบแป้งทอด สูตรควบคุม (C) สูตรที่ใช้การบรรจุแบบสุญญากาศ (CV) สูตรที่ใช้ TBHQ (T) และสูตรที่ใช้ TBHQ ร่วมกับการบรรจุแบบสุญญากาศ (TV) ที่เก็บรักษาเป็นระยะเวลา 3 เดือน (กรัมต่อ 100 กรัม)	131
55	องค์ประกอบของไขมันของผลิตภัณฑ์เบอร์เกอร์กุ้งชุบแป้งทอด สูตรควบคุม (C) สูตรที่ใช้การบรรจุแบบสุญญากาศ (CV) สูตรที่ใช้ TBHQ (T) และสูตรที่ใช้ TBHQ ร่วมกับการบรรจุแบบสุญญากาศ (TV) ที่เก็บรักษาเป็นระยะเวลา 6 เดือน (กรัมต่อ 100 กรัม)	132
56	การเปลี่ยนแปลงค่า para-Anisidine ของเบอร์เกอร์กุ้งชุบแป้งทอด สูตรวควบคุม (C)สูตรที่ใช้การบรรจุแบบสุญญากาศ (CV) สูตรที่ใช้ TBHQ (T) และสูตรที่ใช้ TBHQร่วมกับการบรรจุแบบสุญญากาศ (TV) ที่เก็บรักษาเป็นระยะเวลา 6 เดือน	138

รายการภาพ

ภาพที่		หน้า
1	โครงสร้างโมเลกุลของคาร์ราจีแนน	5
2	โครงสร้างโมเลกุลของโซเดียมอัลจิเนต	6
3	โครงสร้างของชิ้นอาหารในระหว่างการทอด (A) และเปลือกนอกของมันฝรั่งทอดโดยใช้ Scanning Electron Microscope (SEM) (B)	14
4	การแทรกตัวของน้ำมันในกลไกแคปิลารี รูพรุนที่มีน้ำอยู่เต็ม (A) รูพรุนที่มีไอน้ำอยู่เต็ม (B) และรูพรุนที่มีทั้งน้ำและอากาศ (C และ D)	17
5	โครงสร้างของเมทธิลเซลลูโลส	25
6	โครงสร้างของคาร์บอกซีเมทธิลเซลลูโลส	25
7	โครงสร้างของไฮดรอกซีโพรพิลเมทธิลเซลลูโลส	25
8	กลไกของฟิล์มต่อการเคลื่อนที่ของความชื้นและไขมันระหว่างการทอดของผลิตภัณฑ์แป้งทอด ชิ้นอาหารที่ไม่ได้เคลือบฟิล์ม (A) และชิ้นอาหารที่เคลือบฟิล์ม (B)	27
9	ขั้นตอนการผลิตผลิตภัณฑ์เบอร์เกอร์กุ้งชุบแป้งทอด	44
10	แผนภูมิคอนทัวร์ของปริมาณความชื้น (A) คะแนนความฉ่ำน้ำจากการประเมินขั้นตอนที่ 2 (B) และคะแนนความฉ่ำน้ำจากการประเมินขั้นตอนที่ 3 (C) จากการวัดคุณภาพของผลิตภัณฑ์เบอร์เกอร์กุ้งชุบแป้งทอดที่ใช้อัตราส่วนของแป้งมันสำปะหลังดัดแปร โซเดียมอัลจิเนตและไอโอต้าคาราจีแนนต่างกัน	70
11	พื้นที่ซ้อนทับแสดงปริมาณที่เหมาะสมของแป้งมันสำปะหลังดัดแปร (MTS) โซเดียมอัลจิเนต (AL) และไอโอต้าคาราจีแนน (CA) (พื้นที่สีเหลือง) ที่มีผลต่อค่าตอบสนองด้านปริมาณความชื้น (ร้อยละ 52-54.58) คะแนนความฉ่ำน้ำที่ได้จากการประเมินขั้นตอนที่ 2 และ 3 (6.2 – 8.65 และ 6.36-8.74 คะแนน ตามลำดับ)	72
12	แผนภูมิคอนทัวร์ของคะแนนการอมน้ำมันจากการเคี้ยวเฉพาะส่วนของแป้งชุบของผลิตภัณฑ์เบอร์เกอร์กุ้งชุบแป้งทอดที่มีอัตราส่วนของแป้งข้าวโพดและแป้งข้าวเจ้าในแป้งชุบทอดต่างกัน	89
13	อัตราส่วนที่เหมาะสมของแป้งข้าวโพดและแป้งข้าวเจ้าในสูตรแป้งชุบทอดสำหรับผลิตภัณฑ์เบอร์เกอร์กุ้ง	90

รายการภาพ(ต่อ)

ภาพที่		หน้า
14	การตัดสินใจซื้อที่มีต่อผลิตภัณฑ์เบอร์เกอร์กุ้งชุบแป้งทอดแช่เยือกแข็งสูตรที่ได้รับการพัฒนาของผู้บริโภคทั้งหมด (A) ผู้บริโภคแบ่งตามเพศ (B) ผู้บริโภคแบ่งตามอายุ (C) ผู้บริโภคแบ่งตามสถานภาพสมรส (D) ผู้บริโภคแบ่งตามระดับการศึกษา (E) และผู้บริโภคแบ่งตามรายได้ (F)	122
15	การเปลี่ยนแปลงค่า Conjugated diene ของผลิตภัณฑ์เบอร์เกอร์กุ้งชุบแป้งทอด สูตรควบคุม (C) สูตรที่ใช้การบรรจุแบบสุญญากาศ (CV) สูตรที่ใช้ TBHQ (T) และสูตรที่ใช้ TBHQ ร่วมกับการบรรจุแบบสุญญากาศ (TV) ที่เก็บรักษาเป็นระยะเวลา 6 เดือน	134
16	การเปลี่ยนแปลงค่า TBARS ของเผลิตภัณฑ์บอร์เกอร์กุ้งชุบแป้งทอด สูตรควบคุม (C) สูตรที่ใช้การบรรจุแบบสุญญากาศ (CV) สูตรที่ใช้ TBHQ (T) และสูตรที่ใช้ TBHQ ร่วมกับการบรรจุแบบสุญญากาศ (TV) ที่เก็บรักษาเป็นระยะเวลา 6 เดือน	136
17	การเปลี่ยนแปลงค่ากรดของผลิตภัณฑ์เบอร์เกอร์กุ้งชุบแป้งทอด สูตรควบคุม (C) สูตรที่ใช้การบรรจุแบบสุญญากาศ (CV) สูตรที่ใช้ TBHQ (T) และสูตรที่ใช้ TBHQ ร่วมกับการบรรจุแบบสุญญากาศ (TV) ที่เก็บรักษาเป็นระยะเวลา 6 เดือน	137
18	การเปลี่ยนแปลงค่าการสูญเสียน้ำหนักหลังการละลายของผลิตภัณฑ์เบอร์เกอร์กุ้งชุบแป้งทอด สูตรควบคุม (C) สูตรที่ใช้การบรรจุแบบสุญญากาศ (CV) สูตรที่ใช้ TBHQ (T) และสูตรที่ใช้ TBHQ ร่วมกับการบรรจุแบบสุญญากาศ (TV) ที่เก็บรักษาเป็นระยะเวลา 6 เดือน	139
19	การเปลี่ยนแปลงค่าความแข็งของผลิตภัณฑ์เบอร์เกอร์กุ้งชุบแป้งทอด สูตรควบคุม (C) สูตรที่ใช้การบรรจุแบบสุญญากาศ (CV) สูตรที่ใช้ TBHQ (T) และสูตรที่ใช้ TBHQ ร่วมกับการบรรจุแบบสุญญากาศ (TV) ที่เก็บรักษาเป็นระยะเวลา 6 เดือน	141
20	การเปลี่ยนแปลงค่าการยึดติดของผลิตภัณฑ์เบอร์เกอร์กุ้งชุบแป้งทอด สูตรควบคุม (C) สูตรที่ใช้การบรรจุแบบสุญญากาศ (CV) สูตรที่ใช้ TBHQ (T) และสูตรที่ใช้ TBHQ ร่วมกับการบรรจุแบบสุญญากาศ (TV) ที่เก็บรักษาเป็นระยะเวลา 6 เดือน	141

รายการภาพ(ต่อ)

ภาพที่		หน้า
21	การเปลี่ยนแปลงค่าความยืดหยุ่นของผลิตภัณฑ์เบอร์เกอร์กุ้งชุบแป้งทอด สูตรควบคุม (C) สูตรที่ใช้การบรรจุแบบสุญญากาศ (CV) สูตรที่ใช้ TBHQ (T) และสูตรที่ใช้ TBHQ ร่วมกับการบรรจุแบบสุญญากาศ (TV) ที่เก็บรักษาเป็นระยะเวลา 6 เดือน	142
22	การเปลี่ยนแปลงค่าความเหนียวคล้ายยางของผลิตภัณฑ์เบอร์เกอร์กุ้งชุบแป้งทอด สูตรควบคุม (C) สูตรที่ใช้การบรรจุแบบสุญญากาศ (CV) สูตรที่ใช้ TBHQ (T) และสูตรที่ใช้ TBHQ ร่วมกับการบรรจุแบบสุญญากาศ (TV) ที่เก็บรักษาเป็นระยะเวลา 6 เดือน	142
23	การเปลี่ยนแปลงค่าการยึดเกาะของผลิตภัณฑ์เบอร์เกอร์กุ้งชุบแป้งทอด สูตรควบคุม (C) สูตรที่ใช้การบรรจุแบบสุญญากาศ (CV) สูตรที่ใช้ TBHQ (T) และสูตรที่ใช้ TBHQ ร่วมกับการบรรจุแบบสุญญากาศ (TV) ที่เก็บรักษาเป็นระยะเวลา 6 เดือน	143
24	การเปลี่ยนแปลงค่าแรงในการบดเคี้ยวของผลิตภัณฑ์เบอร์เกอร์กุ้งชุบแป้งทอด สูตรควบคุม (C) สูตรที่ใช้การบรรจุแบบสุญญากาศ (CV) สูตรที่ใช้ TBHQ (T) และสูตรที่ใช้ TBHQ ร่วมกับการบรรจุแบบสุญญากาศ (TV) ที่เก็บรักษาเป็นระยะเวลา 6 เดือน	143
25	การเปลี่ยนแปลงค่าความกรอบของผลิตภัณฑ์เบอร์เกอร์กุ้งชุบแป้งทอด สูตรควบคุม (C) สูตรที่ใช้การบรรจุแบบสุญญากาศ (CV) สูตรที่ใช้ TBHQ (T) และสูตรที่ใช้ TBHQ ร่วมกับการบรรจุแบบสุญญากาศ (TV) ที่เก็บรักษาเป็นระยะเวลา 6 เดือน	144
26	การเปลี่ยนแปลงค่าความสว่างของผลิตภัณฑ์เบอร์เกอร์กุ้งชุบแป้งทอด สูตรควบคุม (C) สูตรที่ใช้การบรรจุแบบสุญญากาศ (CV) สูตรที่ใช้ TBHQ (T) และสูตรที่ใช้ TBHQ ร่วมกับการบรรจุแบบสุญญากาศ (TV) ที่เก็บรักษาเป็นระยะเวลา 6 เดือน	144
27	การเปลี่ยนแปลงค่าความเป็นสีแดง-สีเขียวของผลิตภัณฑ์เบอร์เกอร์กุ้งชุบแป้งทอด สูตรควบคุม (C) สูตรที่ใช้การบรรจุแบบสุญญากาศ (CV) สูตรที่ใช้ TBHQ (T) และสูตรที่ใช้ TBHQ ร่วมกับการบรรจุแบบสุญญากาศ (TV) ที่เก็บรักษาเป็นระยะเวลา 6 เดือน	145

รายการภาพ(ต่อ)

ภาพที่		หน้า
28	การเปลี่ยนแปลงค่าความเป็นสีเหลือง-สีน้ำเงินของผลิตภัณฑ์เบอร์เกอร์กุ้งชุบแป้งทอด สูตรควบคุม (C) สูตรที่ใช้การบรรจุแบบสุญญากาศ (CV) สูตรที่ใช้ TBHQ (T) และสูตรที่ใช้ TBHQ ร่วมกับการบรรจุแบบสุญญากาศ (TV) ที่เก็บรักษาเป็นระยะเวลา 6 เดือน	145
29	การเปลี่ยนแปลงคะแนนความกรอบที่ประเมินจากเสียงขณะกัดและเคี้ยวตัวอย่างใน 2 – 3 คำแรกของผลิตภัณฑ์เบอร์เกอร์กุ้งชุบแป้งทอด สูตรควบคุม (C) สูตรที่ใช้การบรรจุแบบสุญญากาศ (CV) สูตรที่ใช้ TBHQ (T) และสูตรที่ใช้ TBHQ ร่วมกับการบรรจุแบบสุญญากาศ (TV) ที่เก็บรักษาเป็นระยะเวลา 6 เดือน	146
30	การเปลี่ยนแปลงคะแนนความกรอบที่ประเมินระหว่างการเคี้ยวจนกระทั่งกลืนของผลิตภัณฑ์เบอร์เกอร์กุ้งชุบแป้งทอด สูตรควบคุม (C) สูตรที่ใช้การบรรจุแบบสุญญากาศ (CV) สูตรที่ใช้ TBHQ (T) และสูตรที่ใช้ TBHQ ร่วมกับการบรรจุแบบสุญญากาศ (TV) ที่เก็บรักษาเป็นระยะเวลา 6 เดือน	147
31	การเปลี่ยนแปลงคะแนนความฉ่ำน้ำที่ประเมินจากความนุ่มของผลิตภัณฑ์ขณะกัดชิ้นอาหารของผลิตภัณฑ์เบอร์เกอร์กุ้งชุบแป้งทอด สูตรควบคุม (C) สูตรที่ใช้การบรรจุแบบสุญญากาศ (CV) สูตรที่ใช้ TBHQ (T) และสูตรที่ใช้ TBHQ ร่วมกับการบรรจุแบบสุญญากาศ (TV) ที่เก็บรักษาเป็นระยะเวลา 6 เดือน	148
32	การเปลี่ยนแปลงคะแนนความฉ่ำน้ำที่ประเมินขณะเคี้ยวของผลิตภัณฑ์เบอร์เกอร์กุ้งชุบแป้งทอด สูตรควบคุม (C) สูตรที่ใช้การบรรจุแบบสุญญากาศ (CV) สูตรที่ใช้ TBHQ (T) และสูตรที่ใช้ TBHQ ร่วมกับการบรรจุแบบสุญญากาศ (TV) ที่เก็บรักษาเป็นระยะเวลา 6 เดือน	149
33	การเปลี่ยนแปลงคะแนนความฉ่ำน้ำที่ประเมินขณะกลืนผลิตภัณฑ์เบอร์เกอร์กุ้งชุบแป้งทอด สูตรควบคุม (C) สูตรที่ใช้การบรรจุแบบสุญญากาศ (CV) สูตรที่ใช้ TBHQ (T) และสูตรที่ใช้ TBHQ ร่วมกับการบรรจุแบบสุญญากาศ (TV) ที่เก็บรักษาเป็นระยะเวลา 6 เดือน	149

รายการภาพ(ต่อ)

ภาพที่		หน้า
34	การเปลี่ยนแปลงคะแนนความหืนของผลิตภัณฑ์เบอร์เกอร์กุ้งชุบแป้งทอด สูตรควบคุม (C) สูตรที่ใช้การบรรจุแบบสุญญากาศ (CV) สูตรที่ใช้ TBHQ (T) และสูตรที่ใช้ TBHQ ร่วมกับการบรรจุแบบสุญญากาศ (TV) ที่เก็บรักษาเป็นระยะเวลา 6 เดือน	150
35	การเปลี่ยนแปลงคะแนนการยอมรับคุณภาพโดยรวมของผลิตภัณฑ์เบอร์เกอร์กุ้งชุบแป้งทอด สูตรควบคุม (C) สูตรที่ใช้การบรรจุแบบสุญญากาศ (CV) สูตรที่ใช้ TBHQ (T) และสูตรที่ใช้ TBHQ ร่วมกับการบรรจุแบบสุญญากาศ (TV) ที่เก็บรักษาเป็นระยะเวลา 6 เดือน	151

รายการตารางภาคผนวก

ตารางภาคผนวกที่		หน้า
ค1	เกณฑ์มาตรฐานคุณภาพทางจุลชีววิทยาของอาหารและภาชนะสัมผัสอาหาร	177
ง1	ตัวอย่างมาตรฐานที่ใช้ในการฝึกฝนผู้ทดสอบชิมด้านคุณลักษณะความฉ่ำน้ำ	179
ง2	ตัวอย่างมาตรฐานที่ใช้ในการฝึกฝนผู้ทดสอบชิมด้านคุณลักษณะความกรอบ	179
ง3	ตัวอย่างมาตรฐานที่ใช้ในการฝึกฝนผู้ทดสอบชิมด้านคุณลักษณะการอมน้ำมัน	180
ง4	ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานของคะแนนความฉ่ำน้ำระหว่างการฝึกฝนผู้ทดสอบชิม	180
ง5	ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานของคะแนนความกรอบและการอมน้ำมันระหว่างการฝึกฝนผู้ทดสอบชิม	181

รายการภาพภาคผนวก

ภาพภาคผนวกที่		หน้า
ก2	กราฟแสดงลักษณะเนื้อสัมผัสของผลิตภัณฑ์เบอร์เกอร์กุ้งชุบแป้งทอด	168
ก3	กราฟแสดงค่าความกรอบของผลิตภัณฑ์เบอร์เกอร์กุ้งชุบแป้งทอด	169

บทที่ 1

บทนำ

บทนำต้นเรื่อง

กุ้งเป็นผลิตภัณฑ์เกษตรที่มีความสำคัญต่อเศรษฐกิจของประเทศในระดับต้นๆ เพราะเป็นสินค้าส่งออกที่สร้างรายได้เข้าประเทศปีละหลายหมื่นล้านบาท และยังเป็นหนึ่งในอุตสาหกรรมยุทธศาสตร์ของประเทศที่ถือว่ามีศักยภาพในการส่งออกของไทย การส่งออกกุ้งของไทยในปี 2549 (ม.ค.-ส.ค.) มีมูลค่า 48,975 ล้านบาท เพิ่มขึ้นร้อยละ 14.76 เมื่อเทียบกับช่วงเดียวกันของปี 2548 อันเป็นผลมาจากการส่งออกไปยังตลาดสหภาพยุโรปและสหรัฐมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นอย่างมาก โดยเฉพาะตลาดสหภาพยุโรปที่มีการขยายตัวอย่างโดดเด่น แต่ปัจจุบันผลิตภัณฑ์กุ้งของไทยยังต้องเผชิญกับปัญหาที่เกิดจากปัจจัยภายในประเทศเอง และปัจจัยที่มาจากภายนอกประเทศ โดยเฉพาะมาตรการกีดกันทางการค้าที่ประเทศผู้นำเข้าพยายามนำมาใช้เพิ่มมากขึ้น ดังนั้น เพื่อให้สามารถแข่งขันต่อไปได้ในอนาคต ผู้ส่งออกจำเป็นต้องเร่งปรับตัวเพื่อให้สอดรับกับสถานการณ์ทางการค้าที่เปลี่ยนแปลงไป (ฝ่ายวิจัย ธนาคารนครหลวงไทย, 2549) โดยการปรับปรุงคุณภาพสินค้าให้ดีขึ้นเพื่อสร้างมูลค่าเพิ่ม ได้แก่ การแปรรูปผลิตภัณฑ์ในรูปแบบต่างๆ การปรุงแต่งกุ้งสดเป็นสินค้ากึ่งสำเร็จรูป ซึ่งไทยเป็นตลาดใหญ่ในกลุ่มเครือข่ายจำหน่ายอาหาร นอกจากนี้การมุ่งสู่วิสัยทัศน์เป็นครัวของโลก โดยการนำกุ้งสดปรุงแต่งเป็นอาหารพร้อมรับประทาน เช่น กุ้งชุบขนมปังป่น ติ่มซำ ซูชิ ปอเปี๊ยะกุ้ง กุ้งสำหรับทำสลัด เป็นต้น (ไทยฟาร์มโซน, 2547) ผลิตภัณฑ์อาหารชุบแป้งและชุบเกล็ดขนมปังเป็นผลิตภัณฑ์ที่เป็นที่นิยมของผู้บริโภคมาช้านานและแพร่หลายทั่วโลก ทั้งในผลิตภัณฑ์อาหารทะเล สัตว์ปีก เนื้อและผัก อาหารชุบแป้งทอดได้พัฒนาจากครัวเรือนไปสู่ร้านอาหารและร้านขายอาหารเร่งด่วน และความต้องการผลิตภัณฑ์ชุบแป้งทอดแช่เยือกแข็งยังเพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่อง โดยเฉพาะในกลุ่มของผู้บริโภคชาวยุโรป (Llorca *et al.*, 2003) อาหารทะเลชุบเกล็ดขนมปังเป็นส่วนหนึ่งที่สำคัญของผลิตภัณฑ์พร้อมปรุงที่ทำให้เกิดความสะดวกสำหรับผู้บริโภคและเพิ่มมูลค่าให้กับผลิตภัณฑ์ แต่เนื่องจากปัญหาการอมน้ำมันของผลิตภัณฑ์ชุบแป้งทอด และเนื่องจากการเปลี่ยนแปลงของสภาวะเศรษฐกิจ วัฒนธรรม ความนึกคิด ทัศนคติ ความเชื่อ นิสัยการรับประทาน แบบแผนชีวิตและมาตรฐานความเป็นอยู่ของประชากรทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงความต้องการอาหารทั้งชนิดและรูปแบบต่างๆ ซึ่งมีผลต่อพฤติกรรม

การบริโภคและการเลือกซื้ออาหารรับประทาน เช่น ผู้บริโภคมีความสนใจในเรื่องของสุขภาพมากขึ้นและได้เปลี่ยนพฤติกรรมการดูแลสุขภาพจากการรักษาโรคมาเป็นการป้องกันไม่ให้เกิดโรคและความเจ็บป่วย โดยการรับประทานอาหารที่มีความปลอดภัย อาหารเสริมสุขภาพหรืออาหารเพื่อสุขภาพ ตลอดจนเลือกอาหารที่มีคุณค่าและมีประโยชน์ต่อร่างกายมากขึ้น จึงจำเป็นที่จะต้องผลิตอาหารใหม่ขึ้นมาเพื่อตอบสนองความต้องการของผู้บริโภคที่มีความต้องการเปลี่ยนไปและผลิตภัณฑ์เดิมไม่สามารถสร้างความพอใจให้ได้ (ทิพย์วรรณา งามศักดิ์, 2545) ด้วยเหตุผลดังกล่าวจึงมีความสนใจที่จะพัฒนาผลิตภัณฑ์เบอร์เกอร์กุ้งชุบแป้งทอดแช่เยือกแข็ง เนื่องจากเป็นผลิตภัณฑ์ที่ผู้บริโภคชาวต่างชาติคุ้นเคยและง่ายต่อการยอมรับ อีกทั้งสามารถปรับปรุงเกี่ยวกับข้อจำกัดด้านปัญหาต่อสุขภาพและเป็นการใช้วัตถุดิบกุ้งที่มีมูลค่าต่ำ เช่น กุ้งตัวเล็ก เศษกุ้ง หรือกุ้งหักมาแปรรูปเพื่อการส่งออก ถือเป็นการเพิ่มศักยภาพในการส่งออกผลิตภัณฑ์กุ้งแปรรูปของไทยต่อไป

ตรวจเอกสาร

แฮมเบอร์เกอร์ หมายถึง ลักษณะของอาหารที่มีชิ้นเนื้อบด ผักกาด หอมใหญ่และส่วนประกอบอื่นเสิร์ฟอยู่ระหว่างขนมปังแฮมเบอร์เกอร์ (bun) ส่วนเนื้อบดอย่างเดียวจะเรียกว่า "เบอร์เกอร์" การปรุงสุกเบอร์เกอร์สามารถทำได้หลายวิธี เช่น การทอด การย่าง การนึ่งด้วยไอน้ำ หรือการต้ม (ศิริเฉลิม สวัสดิวัตน์, 2543; Wikimedia Foundation, Inc., 2006)

เบอร์เกอร์ไม่จำเป็นต้องผลิตจากเนื้อเท่านั้น จะเห็นว่าในท้องตลาดทั่วไปมีทั้งชีสเบอร์เกอร์ เบอร์เกอร์เนื้อวัว เบอร์เกอร์หมู เบอร์เกอร์ไก่ เบอร์เกอร์ปลา เบอร์เกอร์กุ้ง เบอร์เกอร์ปู หรือแม้แต่เบอร์เกอร์เนื้อกระบือที่นิยมบริโภคในประเทศอินเดีย (Modi *et al.*, 2003) แฮมเบอร์เกอร์เป็นผลิตภัณฑ์ที่นิยมบริโภคกันมาช้านานและแพร่หลายโดยเฉพาะในทวีปยุโรปและอเมริกา ปัจจุบันแฮมเบอร์เกอร์ถือเป็นอาหารจานด่วน (fast food) ที่ได้รับความนิยมเป็นอย่างมาก สังเกตได้จากร้านอาหารจานด่วนที่ผู้บริโภครู้จักกันเป็นอย่างดี เช่น ร้าน McDonald ที่มีผลิตภัณฑ์แฮมเบอร์เกอร์ Big Mac ซึ่งถือเป็นหนึ่งในผลิตภัณฑ์แฮมเบอร์เกอร์ที่ขายดีไปทั่วโลก นอกจากนั้น Burger King ก็เป็นร้านอาหารขายแฮมเบอร์เกอร์ที่รู้จักกันอย่างแพร่หลายเช่นกัน แต่เนื่องจากในปัจจุบันผู้บริโภคมีความตระหนักในการบริโภคอาหารที่ดีต่อสุขภาพและต้องการลดปริมาณไขมันในอาหาร จึงมีผลิตภัณฑ์เบอร์เกอร์ชนิดไขมันต่ำออกมาเพื่อตอบสนองความต้องการดังกล่าวและมีงานวิจัยหลายชิ้นที่ศึกษาถึงผลิตภัณฑ์เบอร์เกอร์ไขมันต่ำ เช่น การศึกษาผลของการใช้แป้งมันสำปะหลังดัดแปร ใยอาหารจากข้าวโอ๊ตและเวย์โปรตีนต่อคุณลักษณะทางกายภาพและทางประสาทสัมผัสของเบอร์เกอร์เนื้อไขมันต่ำ ซึ่งพบว่าแป้งมันสำปะหลังดัดแปรมีผลเพิ่มความฉ่ำน้ำ

และความอ่อนนุ่มให้กับผลิตภัณฑ์ได้ดีกว่าใยอาหารข้าวโอ๊ตและเวย์โปรตีน (Desmond *et al.*, 1998) El-Magoni และคณะ (1996) พบว่าการใช้เวย์โปรตีนเข้มข้นเป็นส่วนประกอบของเบอร์เกอร์เนื้อไขมันต่ำ สามารถช่วยในการรักษาความชื้นและจับไขมันได้ ขณะที่แป้งถั่วดำสามารถทำหน้าที่เป็นตัวประสานส่วนผสมและลดการดูดซับน้ำมันในเบอร์เกอร์เนื้อกระบือได้ดีกว่าแป้งถั่วเหลือง แป้งถั่วเขียวและแป้งถั่ว Bengal (Modi *et al.*, 2003) นอกจากนั้น Dreeling และคณะ (2000b) พบว่าขนาดของชิ้นเนื้อบดของเบอร์เกอร์เนื้อไขมันต่ำที่เพิ่มขึ้นจาก 2 5 และ 10 มิลลิเมตร ได้รับคะแนนความเหนียว (tough) และความร่วน (crumby) เพิ่มขึ้นแต่ได้รับคะแนนด้านความชอบโดยรวม กลิ่นรส ลักษณะปรากฏ และความฉ่ำน้ำลดลง นอกจากนี้วิธีการปรุงสุกโดยการทอดแบบตื้นมีผลให้เบอร์เกอร์ได้รับคะแนนความชอบโดยรวม ความยืดหยุ่นและกลิ่นรสสูงสุด เมื่อเทียบกับการทอดแบบน้ำมันท่วมและการย่าง (Dreeling *et al.*, 2000a)

การใช้ไฮโดรคอลลอยด์เพื่อปรับปรุงคุณลักษณะเนื้อสัมผัส

เนื่องจากกระบวนการแช่เยือกแข็ง การเก็บรักษาหรือแม้แต่การอุ่นผลิตภัณฑ์แช่เยือกแข็งมีผลให้เกิดการสูญเสียความชื้นและมีผลให้คุณภาพด้านลักษณะเนื้อสัมผัสของผลิตภัณฑ์ลดลง ซึ่งลักษณะเนื้อสัมผัสเป็นคุณลักษณะที่สำคัญของผลิตภัณฑ์หลายชนิด ในผลิตภัณฑ์แฮมเบอร์เกอร์ก็เช่นกัน โปรตีนในเนื้อโดยเฉพาะโปรตีนไมโอไฟบริลเป็นโปรตีนที่มีความสำคัญต่อลักษณะเนื้อสัมผัสของผลิตภัณฑ์ การแช่แข็งและระยะเวลาในการแช่แข็งมีผลให้คุณภาพและคุณสมบัติเชิงหน้าที่ลดลง โดยปกติโครงสร้างของโปรตีนสามารถคงอยู่สภาพธรรมชาติ (native form) ด้วยพันธะต่างๆ เช่น อันตรกิริยาไฮโดรโฟบิก (hydrophobic interaction) พันธะไฮโดรเจน (Hydrogen bond) พันธะไอออนิก (ionic bond) พันธะไดซัลไฟด์ (disulfide bond) เป็นต้น อันตรกิริยาไฮโดรโฟบิกจัดเป็นพันธะที่มีความสำคัญที่สุด แต่ความแข็งแรงของพันธะนี้จะลดลงที่อุณหภูมิต่ำ เนื่องจากโครงสร้างของโมเลกุลของน้ำที่จัดเรียงตัวเป็นระเบียบ ณ อุณหภูมิต่ำมีผลทำลายอันตรกิริยาไฮโดรโฟบิก นอกจากนี้พันธะไฮโดรเจนเป็นอีกพันธะหนึ่งที่มีความสำคัญต่อการรักษาความคงตัวของโปรตีน กระบวนการแช่แข็งทำให้โปรตีนสูญเสียน้ำ เนื่องจากโมเลกุลของน้ำเคลื่อนที่เพื่อเกิดเป็นผลึกน้ำแข็ง ทำให้พันธะไฮโดรเจนระหว่างน้ำและโปรตีนถูกทำลาย ส่งผลให้โปรตีนสามารถเกิดการจับเรียงตัวกัน (aggregation) มากขึ้น (สุทธวัฒน์ เบญจกุล, 2548) ทั้งนี้อาจเป็นผลให้ผลิตภัณฑ์สูญเสียน้ำและมีความแห้งมากขึ้น จึงมีการศึกษาการปรับปรุงคุณลักษณะเนื้อสัมผัสของผลิตภัณฑ์เนื้อด้วยวิธีต่างๆ รวมถึงการใช้สารเติมแต่งอาหารชนิดต่างๆ เช่น สารไฮโดรคอลลอยด์ไม่ว่าจะเป็นคาราจีแนนหรืออัลจิเนต นอกจากนั้นยังใช้แป้งดัดแปรชนิดต่างๆ เพื่อปรับปรุงคุณลักษณะเนื้อสัมผัสอีกด้วย

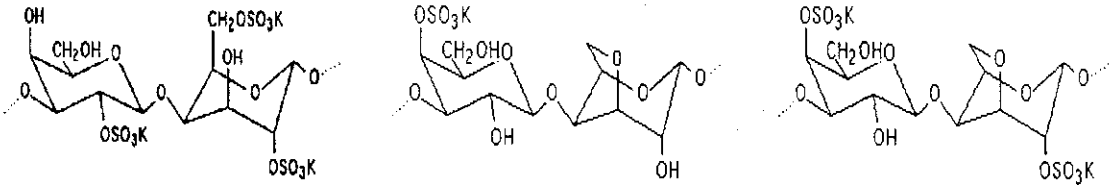
สารไฮโดรคอลลอยด์มีคุณสมบัติเชิงหน้าที่หลายอย่าง เช่น มีความสามารถในการอุ้มน้ำ การเกิดเจล การเป็นอิมัลซิไฟเออร์ และเป็นสารที่ช่วยในการยึดเกาะ (binder) ไฮโดรคอลลอยด์จะเกิดอันตรกิริยากับน้ำและสามารถเกิดพันธะไฮโดรเจน พันธะไฮโดรโฟบิกและพันธะระหว่างประจุกับโมเลกุลอื่นๆได้ซึ่งก่อให้เกิดการจับเรียงตัวกันและเกิดโครงสร้างที่สามารถจับกับน้ำไว้ได้ (Sanchez *et al.*, 1995) จึงนิยมนำไฮโดรคอลลอยด์มาใช้ในอุตสาหกรรมอาหารอย่างแพร่หลาย (นิธิยา รัตนาปนนท์, 2545) การนำสารไฮโดรคอลลอยด์ไปใช้ในอาหารขึ้นอยู่กับชนิดและลักษณะของอาหาร สำหรับผลิตภัณฑ์เนื้อบดชนิดไขมันต่ำที่ต้องการคุณลักษณะความฉ่ำน้ำและการยึดเกาะกันระหว่างส่วนประกอบของอาหาร สารไฮโดรคอลลอยด์ที่นิยมนำมาใช้ในการผลิต ได้แก่ คาราจีแนนและอัลจิเนต

คาราจีแนน (carrageenan) เป็นสารกลุ่มพอลิแซ็กคาไรด์สกัดได้จากสาหร่ายทะเลสีแดง คือ *Chrondrus crispus* และ *Gigartina stellata* คาราจีแนนมีคุณสมบัติเชิงหน้าที่หลายอย่าง เช่น ช่วยทำให้เกิดลักษณะเป็นเจล (gelling agent) ในผลิตภัณฑ์ เป็นสารช่วยในการยึดเกาะ เพิ่มความสามารถในการอุ้มน้ำ (water holding capacity) เป็นต้น ทั้งนี้ขึ้นกับคุณลักษณะของผลิตภัณฑ์ที่ต้องการ ซึ่งบทบาทสำคัญของคาราจีแนนในผลิตภัณฑ์เนื้อมีความสัมพันธ์กับคุณสมบัติการเป็น thermally reversible gel กล่าวคือ คาราจีแนนสามารถเป็นเจลได้เมื่อได้รับความร้อนและปล่อยให้เย็นตัวลง เมื่อมีการให้ความร้อนอีกครั้ง คาราจีแนนก็จะสามารถละลายและกลายเป็นเจลอีกครั้งหลังการเย็นตัวลง (Bater *et al.*, 1992; Velde *et al.*, 2005) คาราจีแนนมีโครงสร้างที่ประกอบด้วยน้ำตาลกาแลคโตสที่มีกลุ่มซัลเฟตและอาจมีดีไฮโดรกาแลคโตสเชื่อมติดต่อกันไป ความแตกต่างของตำแหน่งการเกาะกลุ่มของซัลเฟตบนกาแลคโตส ตลอดจนการมีหรือไม่มีดีไฮโดรกาแลคโตสทำให้แบ่งคาราจีแนนตามสูตรโครงสร้างได้ 3 ชนิด (ดังแสดงในภาพที่ 1)

แลมดาคาราจีแนน (λ-carrageenan) ไม่สามารถเกิดเจลได้แต่ใช้ทำหน้าที่เป็นสารให้เนื้อสัมผัส (Giese, 1992) โครงสร้างโมเลกุลประกอบด้วยกาแลคโตส-2-ซัลเฟตต่อกันด้วยพันธะ 1⟶3 และต่อกับกาแลคโตส-2,6-ไดซัลเฟต ด้วยพันธะ 1⟶4 และบางครั้งที่พันธะ 1⟶3 อาจต่อกับกาแลคโตสก็ได้ (นิธิยา รัตนาปนนท์, 2545)

แคปปาคาราจีแนน (K-carrageenan) ให้เจลลักษณะแข็งคงตัว โครงสร้างโมเลกุลประกอบด้วยกาแลคโตส-4-ซัลเฟต ต่อกันด้วยพันธะ 1⟶3 และต่อกับ 3,6-แอนไฮโดร-ดี-กาแลคโตสด้วยพันธะ 1⟶4 ในโมเลกุลของ 3,6-แอนไฮโดร-ดี-กาแลคโตส คาร์บอนตำแหน่งที่ 2 จะถูกเอสเทอริไฟด์ด้วยหมู่ซัลเฟตประมาณร้อยละ 20 – 30 และบางส่วนของพันธะ 1⟶4 อาจเป็นกาแลคโตส-6-ซัลเฟต แทน 3,6-แอนไฮโดร-ดี-กาแลคโตส (นิธิยา รัตนาปนนท์, 2545)

ไอโอต้าคาราจีแนน (ι-carrageenan) ให้เจลที่ยืดหยุ่น ช่วยทำหน้าที่เป็นตัวช่วยในการยึดเกาะและช่วยรักษาความชื้นในผลิตภัณฑ์เนื้อบด นอกจากนั้นยังมีคุณสมบัติช่วยรักษาความคงตัวหลังการแช่เยือกแข็งและการละลายน้ำแข็ง (freeze/thaw stability) ซึ่งดีกว่าแคปป้าและแลมดาคาราจีแนน (Egbert *et al.*, 1991) ไอโอต้าคาราจีแนนจะเกิดเจลอ่อนกับโมโนวาเลนท์ (monovalent) ที่มีประจุบวกเช่นเดียวกับแคปป้าคาราจีแนน ในขณะที่ถ้าเป็นไดวาเลนท์ (divalent) จะเกิดเป็นเจลที่แข็งและใสกว่า (Yuguchi *et al.*, 2003) ไอโอต้าคาราจีแนนประกอบด้วย กาแลคโตส-4-ซัลเฟตต่อกันด้วยพันธะ 1⟶3 และมี 3,6-แอนไฮโดร-ดี-กาแลคโตส-ไดซัลเฟตมาต่อด้วยพันธะ 1⟶4 และบางครั้งที่พันธะ 1⟶4 อาจมีหมู่ซัลเฟต อยู่ที่คาร์บอนตำแหน่งที่ 6 ก็ได้ (นิธิยา รัตนาปนนท์, 2545) สายของไอโอต้าคาราจีแนนมีแนวโน้มจะเกิดโครงสร้างแบบ double stranded helices จากการเกิดอันตรกิริยาแรงกระทำระหว่างประจุ (electrostatic interaction) นอกจากนั้นสายของคาราจีแนนเกิดการจับกับประจุบวกของเกลือตรงตำแหน่งที่มีหมู่ซัลเฟตด้วยอันตรกิริยาแรงกระทำระหว่างประจุเช่นกัน (Yuguchi *et al.*, 2003)



λ-carrageenan K-carrageenan ι-carrageenan

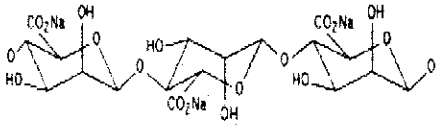
ภาพที่ 1 โครงสร้างโมเลกุลของคาราจีแนน

ที่มา: http://www.cybercolloids.net/library/carrageenan/structure.php

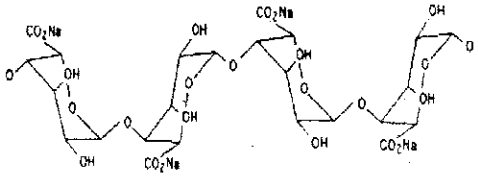
อัลจิเนต (Alginate) หรืออัลจิน (Algin) สกัดได้จากสาหร่ายทะเลสีน้ำตาล เป็นไฮโดรฟีลิกพอลิแซ็กคาไรด์(hydrophilic polysaccharides) โดยเป็นพอลิเมอร์ผสมชนิดสายตรงของกรดแมนนูโรนิก (1,4-β-D-mannuronic acid: M-block) และกรดกูลูโรนิก (1,4-α-L-guluronic acid หรือ G-block) ได้เป็นพอลิยูโรไนด์ (polyuronide) (Draget *et al.*, 2005; Linden and Lorient, 1999) อัลจิเนตถูกนำไปใช้เป็นส่วนผสมในผลิตภัณฑ์อาหารหลายชนิด เช่น ใช้เติมในอาหารกระป๋องบางชนิดและใช้เป็นสารเพิ่มความหนืด สารเพิ่มความคงตัว สารที่ทำให้อิมัลชันคงตัว สารที่ช่วยทำให้เกิดลักษณะเป็นเจลและสารยับยั้งการเกิดซินิเนอรีซีส อัลจิเนตสามารถเกิดเจลที่ผันกลับได้และไม่ได้ ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับความเข้มข้นของ polyvalent cations และความยาวของพันธะของกรด

กูลูโรนิก ซึ่งหมายถึงการเกิดอันตรกิริยากับประจุบวกนั่นเอง (Montero *et al.*, 2002) มีการใช้โซเดียมอัลจิเนตในส่วนผสมพายไส้มะนาวที่แช่เย็น เพื่อให้เกิดความคงตัวระหว่างแช่เยือกแข็งและการละลายน้ำแข็ง (นิธิยา รัตนาปนนท์, 2545)

โซเดียมอัลจิเนต $(C_6H_7O_8Na)_n$ เป็นอนุพันธ์ของแอนไอออนิกพอลิแซ็กคาไรด์ (anionic polysaccharide derived) โดยโซเดียมเชื่อมต่อเข้าตรงหมู่คาร์บอกซิล(carboxylic groups; COO-) ของอัลจิเนต (ดังแสดงในภาพที่ 2) หมู่คาร์บอกซิลในโมเลกุลของน้ำตาลทำหน้าที่จับกับน้ำและทำให้เกิดแรงผลักกันของประจุ (electrostatic repulsion) ระหว่างสายของไฮโดรคอลลอยด์จึงสามารถเกิดเจลหรือมีน้ำในโครงสร้างได้ (Sanchez *et al.*, 1995)



Sodium polymannuronate



Sodium polyguluronate

ภาพที่ 2 โครงสร้างโมเลกุลของโซเดียมอัลจิเนต

ที่มา: http://www.cybercolloids.net/library/alginate/structure.php

สตาร์ชดัดแปร (Modified starch) เนื่องจากการใช้ประโยชน์ของสตาร์ชที่ได้จากธรรมชาติในอุตสาหกรรมอาหารมีข้อจำกัดและในกระบวนการแปรรูปอาหารยังอาจมีผลกระทบจากความเป็นกรดด่าง อุณหภูมิ และแรงเฉือน ถึงแม้ผลิตภัณฑ์จากสตาร์ชบางชนิดจะมีการแปรรูปเพียงเล็กน้อยก็ตาม แต่ยังมีผลกระทบต่อสมบัติของสตาร์ชที่ได้จากธรรมชาติ นอกจากนี้สตาร์ชที่ได้จากธรรมชาติยังไม่ละลายน้ำที่อุณหภูมิห้อง มีความคงตัวต่อการไฮโดรไลซิสด้วยเอนไซม์ มีช่วงความหนืดที่แคบ มีลักษณะเนื้อสัมผัสไม่ดีและไม่มีคุณสมบัติเชิงหน้าที่ที่เฉพาะเจาะจง ซึ่งทำให้ได้ผลิตภัณฑ์ที่มีคุณภาพต่ำ จึงมีการนำเอาสตาร์ชที่ได้จากธรรมชาติมาดัดแปร (นิธิยา รัตนาปนนท์, 2545; กล้าณรงค์ ศรีรอตและเกื้อกูล ปิยะจอมขวัญ, 2546) แป้งดัดแปร ตามความหมายของมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม มอก. 1073-2535 หมายถึง ผลิตภัณฑ์ที่ได้จากการนำแป้งมาเปลี่ยนสมบัติทางเคมีและ/หรือทางฟิสิกส์จากเดิมด้วยความร้อน และ/หรือเอนไซม์ และ/หรือสารเคมีชนิดต่างๆ เพื่อให้เหมาะกับการนำไปใช้ในอุตสาหกรรมอาหารต่างๆ ซึ่งวิธีการดัดแปรสตาร์ชมี 3 วิธี คือ การดัดแปรทางเคมี ทางกายภาพและทางเทคโนโลยีชีวภาพ (กล้าณรงค์ ศรีรอตและเกื้อกูล ปิยะจอมขวัญ, 2546) ตัวอย่างการนำแป้งดัดแปรมาใช้ในอุตสาหกรรมอาหาร เช่น แป้ง

ข้าวเจ้าพรีเจลาทิไนซ์ (pregelatinized rice flour) เป็นแป้งที่ถูกให้ความร้อนจนผ่านขั้นตอนของเจลาทิไนเซชันแล้วทำแห้งทันทีทำให้แป้งสามารถกระจายตัวได้ดีในน้ำเย็น เหมาะสำหรับใช้กับอาหารที่ไม่ต้องให้ความร้อน เช่น พุดดิ้ง ซอส ส่วนผสมของชุบผง (กล้าณรงค์ ศรีรอตและเกื้อกูล ปิยะจอมขวัญ, 2546; Erwin, 1977) นอกจากแป้งข้าวเจ้าดัดแปรแล้วยังมีการใช้แป้งมันสำปะหลังดัดแปร (modified tapioca starch) เช่น แป้งมันสำปะหลังดัดแปรที่มีชื่อทางการค้าคือเนชั่นแนล 7 (National 7) เป็นแป้งดัดแปรที่มีสีขาวถึงขาวครีม (off-white) มีปริมาณความชื้นร้อยละ 11 ถูกดัดแปรให้มีอุณหภูมิในการเกิดเจลต่ำ สามารถละลายได้ง่ายเพื่อให้เหมาะต่อกับอาหารที่มีโปรตีนเป็นส่วนประกอบ และยังมีคุณสมบัติในการจับกับน้ำดี มีความคงตัวที่อุณหภูมิต่ำ นอกจากนั้นยังไม่มีผลต่อกลิ่นรสของอาหารอีกด้วย แป้งมันสำปะหลังดัดแปรเนชั่นแนล 7 ถูกนำมาใช้เพื่อเป็นสารเพิ่มความหนืดและทำหน้าที่เป็นตัวจับกับน้ำ ซึ่งจากคุณสมบัติดังกล่าวทำให้แป้งดัดแปรชนิดนี้สามารถนำไปประยุกต์ใช้ในผลิตภัณฑ์ได้อาหารหลายชนิด เช่น ใช้ในผลิตภัณฑ์เส้นก๋วยเตี๋ยวและใช้ในผลิตภัณฑ์เนื้อชนิดต่างๆ จากการมีคุณสมบัติจับกับน้ำได้ดีและสามารถใช้ได้ที่อุณหภูมิต่ำ จึงนำแป้งมันสำปะหลังดัดแปรเนชั่นแนล 7 มาใช้ในการปรับปรุงคุณลักษณะเนื้อสัมผัสในผลิตภัณฑ์เนื้อบด เช่น ฮอทดอก แฟรงเฟอร์เตอร์และผลิตภัณฑ์เนื้อบดขึ้นรูป (National Starch and Chemical Company, 2006)

การศึกษาการใช้สารเติมแต่งอาหารเพื่อปรับปรุงคุณลักษณะเนื้อสัมผัสโดยเฉพาะความฉ่ำน้ำของผลิตภัณฑ์เนื้อต่างๆ เช่น ผลิตภัณฑ์ไส้กรอกเนื้อ ผลิตภัณฑ์เนื้อบดชนิดไขมันต่ำ ผลิตภัณฑ์เนื้อหมูบดหรือในผลิตภัณฑ์นักเก็ตหมู เช่น การศึกษาของ Berry และคณะ (1996) พบว่าผลิตภัณฑ์เนื้อบดชนิดไขมันต่ำที่ใช้ไอโอต้าคาราจีแนนมีความนุ่มและความฉ่ำน้ำมากกว่าผลิตภัณฑ์ที่ไม่มีการใช้ไอโอต้าคาราจีแนนและผลิตภัณฑ์ที่ใช้แคปปาคาราจีแนน ไอโอต้าคาราจีแนนจะไม่มีตำแหน่งเฉพาะในการจับกับโมโนวาเลนท์ (monovalent) ดังนั้นพันธะที่เกิดขึ้นจึงมีเฉพาะอันตรกิริยาแรงกระทำระหว่างประจุเท่านั้น (Piculell, 1991) Lyons และคณะ (1999) ศึกษาอิทธิพลของการเติมเจลของเวย์โปรตีนร่วมกับคาราจีแนน และการเติมแป้งมันสำปะหลังต่อคุณลักษณะเนื้อสัมผัสของไส้กรอกหมูไขมันต่ำ พบว่าการเพิ่มปริมาณคาราจีแนนส่งผลเพิ่มค่าแรงเฉือน (shear force) และค่าความแข็งทั้งนี้อาจเกิดจากการเปลี่ยนโครงสร้างของเจลของคาราจีแนน แต่สูตรการทดลองที่ใช้แป้งมันสำปะหลังมีผลเพิ่มคะแนนความฉ่ำน้ำ ซึ่ง Knight และ Perkin (1991 อ้างโดย Lyons *et al.*, 1999) กล่าวว่าการที่ผลิตภัณฑ์ที่ใช้แป้งมีความฉ่ำน้ำมากขึ้นนั้นอาจจะเนื่องมาจากคุณสมบัติของแป้งที่จะค่อยๆปล่อยน้ำที่ถูกตรึง (bound water) ระหว่างที่แป้งถูกทำลายทางกายภาพ ผลดังกล่าวสอดคล้องกับการวิจัยของ Desmond และคณะ (1998) รายงานว่าปริมาณแป้งมันสำปะหลังที่เพิ่มขึ้นช่วยเพิ่มความนุ่มเนื้อและความฉ่ำน้ำของผลิตภัณฑ์เบอร์เกอร์เนื้อไขมัน

ต่ำ ขณะที่จากการศึกษาการใช้ไฮโดรคอลลอยด์ต่อการเกิดเจลของเนื้อปลาซาร์ดีนของ Gomez-Guillen และ Montero (1996) พบว่าชุดการทดลองที่ใช้ไอโอต้าคาราจีแนน และไอโอต้าคาราจีแนนร่วมกับแป้งมีค่าความแข็งน้อยกว่าชุดควบคุมที่ไม่มีการใช้คาราจีแนน

จากการศึกษาของ Lin และ Keeton (1998) พบว่าผลิตภัณฑ์เนื้อบดชนิดไขมันต่ำที่ใช้ไอโอต้าคาราจีแนนร่วมกับอัลจิเนตมีปริมาณความชื้นสูงแต่มีค่าแรงเฉือนน้อยกว่าสูตรการทดลองที่ใช้ไอโอต้าคาราจีแนนหรืออัลจิเนตเพียงอย่างเดียว ขณะที่ Berry (1997) พบว่าเนื้อบดชนิดไขมันต่ำที่ใช้โซเดียมอัลจิเนตร้อยละ 0.1 ร่วมกับแป้งมันสำปะหลังดัดแปรร้อยละ 0.8 มีคะแนนความฉ่ำน้ำสูงกว่าสูตรควบคุมที่ไม่มีการใช้สารเติมแต่งอาหาร ขณะที่การใช้แป้งมันสำปะหลังดัดแปรร้อยละ 1 และการใช้ไอโอต้าคาราจีแนนร้อยละ 0.5 ต่างมีผลให้ตัวอย่างนักเก็ตหมูมีคะแนนความฉ่ำน้ำสูงกว่าสูตรควบคุมที่ไม่มีการใช้สารเติมแต่งอาหาร (Berry, 1994) นอกจากนี้ Trout และคณะ (1990) ศึกษาผลของแคลเซียมคาร์บอเนตและโซเดียมอัลจิเนตต่อคุณลักษณะเนื้อสัมผัสของเนื้อหมูบดขึ้นรูป พบว่าแคลเซียมคาร์บอเนตมีผลเพิ่มค่าความแข็งขณะที่โซเดียมอัลจิเนตช่วยลดค่าความแข็งของผลิตภัณฑ์ ซึ่งแสดงให้เห็นว่าตัวอย่างที่ใช้โซเดียมอัลจิเนตมีความนุ่มมากขึ้นเมื่อเทียบกับตัวอย่างควบคุมที่ไม่มีการใช้เติมแต่งอาหาร นอกจากโซเดียมอัลจิเนตจะมีผลลดค่าความแข็งแล้วยังพบว่ายังลดค่าการยึดเกาะกัน (cohesiveness) ค่าความยืดหยุ่น (springiness) ค่าความเหนียวคล้ายยาง (gumminess) และความคงทนต่อการบดเคี้ยว (chewiness) ของผลิตภัณฑ์อีกด้วย Xiong และคณะ (1999) พบว่าอัลจิเนตมีผลเพิ่มผลผลิตการทำสุก (cooking yield) ของไส้กรอกเนื้อชนิดไขมันต่ำ ทั้งนี้เนื่องจากคุณสมบัติการจับกับน้ำด้วยพันธะไฮโดรเจนของอัลจิเนตนั่นเอง

อย่างไรก็ตาม จากการศึกษาของ Berry และ Bigner (1996) พบว่าไอโอต้าคาราจีแนนไม่มีผลต่อความฉ่ำน้ำของผลิตภัณฑ์นักเก็ตหมูเมื่อเทียบกับผลิตภัณฑ์ชุดควบคุมที่ไม่มีการใช้สารเติมแต่งอาหาร นอกจากนี้ Ruusunan และคณะ (2003) ได้ศึกษาผลของสารเติมแต่งอาหารสามชนิด คือ โซเดียมซิเตรต คาร์บอกซีเมทธิลเซลลูโลสและคาราจีแนนต่อผลิตภัณฑ์ไส้กรอกโบโลญ่า (bologna type sausages) พบว่าสูตรการทดลองที่ใช้คาราจีแนนให้ผลด้านคุณลักษณะเนื้อสัมผัสที่ไม่ดี ซึ่งสอดคล้องกับการวิจัยของ Matulis และคณะ (1995) ที่พบว่าคาราจีแนนมีผลเพิ่มค่าความแข็งและลดความฉ่ำน้ำของผลิตภัณฑ์แฟรงเฟอร์เตอร์เนื้อ จากการศึกษาของ Brewer และคณะ (1992) ไม่พบการเปลี่ยนแปลงของความฉ่ำน้ำในผลิตภัณฑ์เนื้อบดที่ใช้คาราจีแนน และพบว่าการใช้ไอโอต้าคาราจีแนนไม่มีผลต่อความฉ่ำน้ำของผลิตภัณฑ์หมูบดชนิดไขมันต่ำเช่นกัน (Huffmen *et al.*, 1992) Fernandez และคณะ (1998) พบว่าผลิตภัณฑ์หมูบดชุบแป้งทอดที่ใช้ไอโอต้าคาราจีแนนปริมาณร้อยละ 1 มีค่าความแข็งสูงกว่าชุดควบคุมที่ไม่ได้ใช้ไอโอต้าคาราจีแนน นอกจากนี้ไอโอต้าคาราจีแนนก็เพิ่มค่าความแข็งของเจลโปรตีนจากเนื้อ (Defreitas *et al.*, 1995 อ้างโดย Fernandez *et*

al., 1998) Trius และคณะ (1994) พบว่าผลิตภัณฑ์ไส้กรอกเนื้อมีค่าความแข็งเพิ่มขึ้นเมื่อใช้ไอโอต้าคาราจีแนน อย่างไรก็ดี Foegeding และ Ramsey (1986,1987) รายงานว่าการใช้ไอโอต้าคาราจีแนนปริมาณร้อยละ 1 ส่งผลให้แรงที่ใช้ประเมินความกรอบของผลิตภัณฑ์เนื้อชุบแป้งทอดเพิ่มขึ้นแต่ก็ไม่มีอิทธิพลต่อความแข็งและความยืดหยุ่นแต่อย่างใด

ผลิตภัณฑ์อาหารชุบแป้งและชุบเกล็ดขนมปัง

คุณลักษณะสำคัญของอาหารชุบแป้งทอด

ความพึงพอใจของผู้บริโภคต่อผลิตภัณฑ์อาหารชุบแป้งและชุบเกล็ดขนมปังขึ้นอยู่กับปัจจัยหลายประการ เช่น ลักษณะปรากฏ สี ความกรอบ กลิ่นรส ความฉ่ำน้ำและองค์ประกอบอื่นๆ นอกจากนั้นยังมีลักษณะการเคลือบ คุณภาพทางจุลชีววิทยา การยึดเกาะระหว่างแป้งชุบทอดกับชิ้นอาหาร สารเติมแต่งที่ช่วยปรับปรุงแป้งชุบ รวมไปถึงขั้นตอนการปรุง เช่น วิธีการ เวลาและการสูญเสียน้ำหนักระหว่างการปรุง (Suderman and Cunningham. 1983)

ลักษณะปรากฏของผลิตภัณฑ์เป็นปัจจัยแรกที่ผู้บริโภคคำนึงถึง ลักษณะปรากฏจะรวมไปถึงสีและความน่ารับประทานซึ่งส่วนใหญ่เป็นผลมาจากปริมาณการเคลือบหรือการยึดเกาะของแป้งชุบทอดนั่นเอง Suderman และ Cunningham (1983) รายงานว่าไก่ชุบแป้งทอดที่ทอดเสร็จใหม่ๆ จะมีลักษณะปรากฏและความสม่ำเสมอของการเคลือบของแป้งชุบดีกว่าไก่ชุบแป้งทอดที่ผ่านการแช่เยือกแข็งแล้วละลายน้ำแข็ง Hanson และ Fletcher (1963 อ้างโดย Suderman and Cunningham. 1983) พบว่าลักษณะปรากฏเป็นผลมาจากความข้นหนืดของแป้งชุบ โดยพบว่าแป้งชุบความข้นหนืดสูงที่ได้จากแป้งผสมระหว่างแป้งข้าวเหนียวและแป้งข้าวโพดทำให้ผิวของผลิตภัณฑ์เรียบแต่คุณลักษณะเนื้อสัมผัสไม่ดี (lack texture) ทั้งนี้อาจเนื่องจากชั้นฟิล์มหนาที่เกิดจากเจลาติไนส์ของสตาร์ช อย่างไรก็ตามแป้งชุบที่มีความข้นหนืดน้อยที่ใช้แป้งผสมสองชนิดดังกล่าวส่งผลให้มีฟองแก๊สอยู่บริเวณผิวหน้าผลิตภัณฑ์แต่ก็มีคุณลักษณะเนื้อสัมผัสที่ดีกว่า ดังนั้นสามารถกล่าวได้ว่าส่วนผสมของแป้งชุบมีความสำคัญต่อการพัฒนาคุณลักษณะปรากฏของผลิตภัณฑ์ชุบแป้งทอด

สีของผลิตภัณฑ์เป็นผลมาจากทั้งส่วนผสม วิธีการปรุง แป้งชุบหรือแม้กระทั่งชนิดของน้ำมันที่ใช้ทอด ส่วนผสมที่สำคัญที่ทำให้เกิดสีได้แก่โปรตีนและน้ำตาลซึ่งสามารถทำปฏิกิริยาเมลลาร์ดเกิดเป็นสารสีน้ำตาลขึ้น Hanson และ Fletcher (1963 อ้างโดย Suderman and Cunningham. 1983) พบว่าสีของผลิตภัณฑ์ชุบแป้งทอดเป็นผลมาจากส่วนผสมของแป้งชุบ โดยพบว่าแป้งผสมของแป้งข้าวเหนียวและสตาร์ชข้าวโพดเหนียว (waxy corn starch) ทำให้ผลิตภัณฑ์มี

สีน้ำตาลและเป็นมันวาว แป้งสาลีทำให้ผลิตภัณฑ์เป็นสีน้ำตาลเทา (grayish-brown color) ขณะที่ผลิตภัณฑ์จะมีสีอ่อนเมื่อใช้แป้งผสมของสตาร์ชข้าวโพดเหนียวและสตาร์ชข้าวโพด ส่วนแป้งมันสำปะหลังส่งผลให้ผลิตภัณฑ์มีสีเหลืองทองแต่ถ้าใช้แป้งข้าวโพดชนิดสีเหลืองจะให้ผลิตภัณฑ์สีเหลืองอมเขียว (greenish-yellow) Landes และ Blackshear (1971 อ้างโดย Suderman and Cunningham, 1983) พบว่าสารประกอบที่ระเหยได้เมื่อได้รับความร้อนที่พบในน้ำมันถั่วลิสงมีผลยับยั้งการเกิดสีในระยะเริ่มต้นของการทอด กล่าวคือน้ำมันที่ใช้ทอดมีผลต่อสีของผลิตภัณฑ์ชุบแป้งทอดเช่นกัน

คุณภาพด้านความกรอบและคุณลักษณะเนื้อสัมผัสต่างๆก็เป็นปัจจัยสำคัญที่ส่งผลต่อการยอมรับของผู้บริโภค ผลิตภัณฑ์ชุบแป้งทอดที่มีความกรอบน้อยมักมาคู่กันกับความเหนียวหรืออาจจะความนุ่มเกินไป การเคลือบของแป้งชุบควรเกิดเป็นโครงสร้างที่หนาพอที่ทำให้กัดแล้วสามารถรับรู้ได้แต่ก็ไม่ควรละลายในปากเร็วเกินไป (Loewe, 1993) ผลิตภัณฑ์ที่ส่วนของแป้งชุบทอดที่ไม่สามารถเคี้ยวได้ง่ายอาจทำให้ผู้บริโภคประเมินว่าเป็นผลิตภัณฑ์ที่เหนียว เคี้ยวยาก ไม่เป็นที่ต้องการและอาจคิดว่าเป็นผลิตภัณฑ์เก่า Hanson และ Fletcher (1963 อ้างโดย Suderman and Cunningham, 1983) รายงานว่าสารเพิ่มความหนืดที่ใช้ในแป้งชุบส่งผลให้ผลิตภัณฑ์มีความกรอบที่ดี ขณะที่ระยะเวลาและอุณหภูมิในการทอดก็มีผลต่อความกรอบเช่นกัน (Donahoo, 1970 อ้างโดย Suderman and Cunningham, 1983) จากการศึกษาของ Hale และ Goodwin (1968 อ้างโดย Suderman and Cunningham, 1983) พบว่าการทอดก่อน (pre-frying) สามารถช่วยปรับปรุงลักษณะเนื้อสัมผัสและความแข็งของส่วนของแป้งชุบทอดได้อีกด้วย ความกรอบของผลิตภัณฑ์ชุบแป้งทอดสามารถวัดได้โดยเครื่องมือ ซึ่งเครื่องมือที่นิยมในการวิเคราะห์ค่าความกรอบใช้ได้แก่ การใช้หัวเจาะหรือใช้ probe กดลงบนชิ้นอาหารแล้วหาค่าแรงและพื้นที่ใต้กราฟออกมา (Fan, 1993; Du-ling *et al.*, 1998) นอกจากการใช้เครื่องมือแล้วอาจใช้การทดสอบทางประสาทสัมผัสโดยผู้ทดสอบชิมในการวัดความกรอบได้

การยึดเกาะของแป้งชุบทอดกับชิ้นอาหารเป็นปัจจัยคุณภาพที่ควรคำนึงถึงในระหว่างการแช่เยือกแข็งและการขนส่ง การยึดเกาะขึ้นกับการจับกันด้วยพันธะทางเคมีและลักษณะทางกายภาพของแป้งชุบ การแยกตัวของแป้งชุบทอดจากชิ้นอาหารอาจเกิดขึ้นระหว่างกระบวนการผลิต การขนส่งและอาจเกิดจากการจัดการในระหว่างการบริโภค เกล็ดขนมปังอาจหลุดร่วงออกส่งผลให้ผิวของผลิตภัณฑ์มีลักษณะไม่สม่ำเสมอและอาจส่งผลต่อการตัดสินใจซื้อซ้ำของผู้บริโภคได้ (Loewe, 1993) การชุบแป้งที่มีความหนืดต่ำอาจเกิดการไหลเยิ้มของแป้งชุบทำให้ไม่สามารถเคลือบชิ้นอาหารได้ทั่วถึง จึงมีการนำแป้งฝุ่นมาใช้คลุกชิ้นอาหารก่อนชุบแป้ง (Yang *et al.*, 1979) การคลุกแป้งฝุ่น (predust) โดยทั่วไปนิยมใช้แป้งสาลีจะช่วยเพิ่มการยึดเกาะของแป้งชุบเนื่องจาก

แป้งฝุ่นจะดูดซับน้ำบางส่วนทำให้แป้งชุบสามารถเกาะติดกับผิวหน้าของชิ้นอาหารได้ ทำให้สามารถเพิ่มปริมาณการเคลือบได้อีกด้วย Hanson และ Fletcher (1963 อ้างโดย Suderman and Cunningham, 1983) พบว่าระหว่างการทอดแบบน้ำมันท่วมไก่ชุบแป้งทอดจะเกิดเปลือกขึ้นอย่างรวดเร็วขณะที่ชิ้นไก่เกิดการหดตัวจึงเกิดการแยกตัวออกจากแป้งชุบทอด อย่างไรก็ตามการทำให้ชิ้นอาหารสุกก่อนการชุบแป้งและทอด เช่น การนึ่ง การตุ๋น การต้มสามารถช่วยลดปัญหาการแยกตัวของชิ้นอาหารออกจากแป้งชุบได้ เช่นการศึกษาของ Mickelberry และ Stadelman (1962 อ้างโดย Suderman and Cunningham, 1983) พบว่าการสูญเสียระหว่างกระบวนการผลิตเกิดขึ้นน้อยลงเมื่อชิ้นไก่ถูกทำให้สุกเพียงบางส่วนโดยการนึ่งด้วยไอน้ำก่อนทำการทอดแบบน้ำมันท่วม ขณะที่ Smith และ Vail (1963 อ้างโดย Suderman and Cunningham, 1983) รายงานว่าไม่พบความแตกต่างระหว่างการใช้กระบวนการทอด 3 วิธี ได้แก่ การทอดแบบน้ำมันตื้น การทอดแบบน้ำมันท่วมและการทอดโดยใช้ตู้อบ (oven frying) ต่อปริมาณผลผลิตที่ได้ Hale และ Goodwin (1968) ทำการศึกษาการทอดแบบน้ำมันท่วมเปรียบเทียบกับการใช้ไมโครเวฟในการทำให้สุกก่อนจะทำการทอดแบบน้ำมันท่วมอีกครั้ง ไม่พบความแตกต่างของการยึดเกาะกันของแป้งชุบทอดกับชิ้นไก่ แต่ผู้ทดสอบทางประสาทสัมผัสกลับพบว่าผลิตภัณฑ์ไก่ชุบแป้งทอดที่ทำให้สุกโดยใช้ไมโครเวฟมีลักษณะเนื้อสัมผัสและความแข็งดีกว่า

นอกจากนั้นการคลุกแป้งฝุ่นก่อนการชุบแป้งทอดสามารถช่วยให้แป้งชุบยึดเกาะกับชิ้นอาหารได้ Baker และคณะ (1972 อ้างโดย Suderman and Cunningham, 1983) ศึกษาผลของวัสดุที่ใช้คลุกซึ่งประกอบด้วยสตาร์ช โปรตีนและกัมทั้งหมด 15 ชนิด พบว่าโปรตีนอัลบูมินในไข่ผงและโปรตีนกลูเตนในแป้งสาลีให้ผลการยึดเกาะดีที่สุด โปรตีนถั่วเหลืองให้ผลดีรองลงมา เมื่อพิจารณาปริมาณการเกาะติดพบว่าอัลบูมิน กลูเตนและโปรตีนถั่วเหลืองมีปริมาณการคลุกเท่ากับร้อยละ 1.5 ขณะที่ปริมาณการคลุกของสตาร์ชเท่ากับร้อยละ 2.5 นอกจากนั้นยังพบว่าการใช้พอลิฟอสเฟต ยีสต์โปรตีนและกัวกัมต่างก็สามารถปรับปรุงการยึดเกาะของแป้งชุบทอดกับชิ้นอาหารได้อีกด้วย (Schnell, 1976; Sison, 1972 อ้างโดย Suderman and Cunningham, 1983) King และคณะ (1974 อ้างโดย Suderman and Cunningham, 1983) ยังพบว่าแป้งดัดแปรและเนื้อปลาบด (comminuted fish flesh) รวมไปถึงสารเคลือบ เช่น มอลโตเดกซ์ทริน โซเดียมอัลจิเนต แคลเซียมคลอไรด์ คาร์บอกซีเมทธิลเซลลูโลสก็ยังช่วยปรับปรุงการยึดเกาะของแป้งชุบทอดได้อีกด้วย (McCormick, 1975 อ้างโดย Suderman and Cunningham, 1983)

กลิ่นรสเป็นอีกปัจจัยที่มีผลต่อความพึงพอใจของผู้บริโภค Landes และ Blackshear (1971 อ้างโดย Suderman and Cunningham, 1983) พบว่ากลิ่นรสของแป้งชุบทอดจะขึ้นอยู่กับเวลาและอุณหภูมิในการปรุง องค์ประกอบของเกล็ดขนมปัง องค์ประกอบและลักษณะ

ของน้ำมันทอด Hale และ Goodwin (1968) รายงานว่ากลิ่นรสเป็นผลมาจากวิธีการปรุงก่อนโดยการทอดแบบน้ำมันท่วมจะให้กลิ่นรสดีกว่าการปรุงด้วยไมโครเวฟ Dawson และคณะ (1962 อ้างโดย Suderman and Cunningham, 1983) พบว่าการใช้ distilled acetylated monoglyceride เป็นเวลา 1 สัปดาห์ระหว่างการเก็บรักษาสามารถปรับปรุงกลิ่นรสของไก่ชุบแป้งทอด

การดูดซับน้ำมันหรือการอมน้ำมันในผลิตภัณฑ์ชุบแป้งทอดก็เป็นอีกคุณลักษณะที่มีผลต่อความพึงพอใจของผู้บริโภค Mostert และ Stadelman (1964 อ้างโดย Suderman and Cunningham, 1983) พบว่าการดูดซับน้ำมันของผลิตภัณฑ์ที่ทอดด้วยวิธีน้ำมันท่วมจะเพิ่มขึ้นเนื่องจากการคลุกเกล็ดขนมปัง Hanson และ Fletcher (1963 อ้างโดย Suderman and Cunningham, 1983) รายงานว่าการทอดแบบน้ำมันท่วมส่งผลเพิ่มการดูดซับน้ำมันโดยเฉพาะกับแป้งชุบที่ใช้สตาร์ชข้าวโพดชนิดเหนียว (waxy corn starch) นอกจากนั้นยังพบว่าการทอดแบบน้ำมันท่วมส่งผลให้ปริมาณน้ำมันที่ถูกดูดซับมากขึ้นทั้งในส่วนของโปรตีนและบริเวณผิวของชิ้นอาหาร อย่างไรก็ตามการชุบแป้งและเกล็ดขนมปังสามารถช่วยรักษาปริมาณความชื้นหรือทำให้ผลิตภัณฑ์มีความฉ่ำน้ำดีขึ้น (Locwe, 1993)

การควบคุมคุณลักษณะทางด้านความหนืดของแป้งชุบมีความสำคัญต่อคุณภาพการเคลือบลักษณะปรากฏและเนื้อสัมผัสของผลิตภัณฑ์ แป้งชุบจะมีพฤติกรรมความหนืดเป็นแบบ shear-thinning ค่าความหนืดเปลี่ยนแปลงตามเวลาภายใต้สภาวะคงที่โดยความหนืดจะลดลงเมื่อเวลาเพิ่มขึ้น (thixotropic) ซึ่งจากพฤติกรรมการไหลดังกล่าวสามารถนำมาเลือกใช้กระบวนการผสม การปั่นและการเคลือบให้เหมาะสมได้ (Balasubramanian *et al.*, 1997) ส่วนผสมของแป้งชุบความสัมพันธ์ระหว่างของแข็งและน้ำ รวมทั้งอุณหภูมิต่างก็มีผลต่อคุณลักษณะการไหลของแป้งชุบ (Steff, 1999 อ้างโดย Fiszman *et al.*, 2003) ความสัมพันธ์ระหว่างของแข็งและน้ำมีผลต่อปริมาณการใช้และการกระจายตัวของน้ำโดยพบว่าปริมาณน้ำมีผลโดยตรงต่อการดูดซับน้ำมัน เนื่องจากการมีปริมาณน้ำสูง (Shukla, 1993) หรือแป้งที่มีความหนืดน้อยจะส่งผลให้มีการสูญเสียความชื้นในระหว่างการทอดสูง ทำให้เกิดรูพรุนเป็นจำนวนมาก จึงเกิดการดูดซับน้ำมันมากขึ้น นอกจากนั้นแล้วแป้งชุบที่มีความหนืดต่ำจะทำให้การเคลือบบาง ซึ่งยากต่อการจัดการและทำให้แป้งทำหน้าที่เป็นตัวกีดขวางได้น้อย โดยบางส่วนของแป้งสูญเสียไประหว่างการแช่แข็งหรือระหว่างการปรุงสุกของผู้บริโภคทำให้เกิดข้อด้อยกับผลิตภัณฑ์ในขณะที่การเคลือบที่หนาเกินไปอาจทำให้ผลิตภัณฑ์สุกไม่ทั่วถึง ความกรอบต่ำ ผลิตภัณฑ์แข็งและมีลักษณะปรากฏที่ไม่ดีได้ (Fiszman *et al.*, 2003)

การทอด

การทอดเป็นกรรมวิธีที่มีวัตถุประสงค์หลักเพื่อเปลี่ยนแปลงคุณภาพการบริโภคของอาหาร วัตถุ ประสงค์รองคือ การถนอมรักษาอาหารโดยการทำลายเชื้อจุลินทรีย์ เอนไซม์ และ

ลดค่ากิจกรรมของน้ำ (Water Activity หรือ a_w) ที่ผิวอาหารหรือตลอดชิ้นอาหาร ถ้าเป็นการทอดอาหารชิ้นบางๆ ความชื้นของอาหารหลังการทอดจะเป็นตัวกำหนดอายุของผลิตภัณฑ์ อาหารซึ่งมีความชื้นภายใน เช่น โดนัท ปลา เนื้อไก่ชุบแป้งหรือขนมปังปันทอดจะมีอายุการเก็บรักษาสั้น เนื่องจากมีการเคลื่อนที่ของน้ำและน้ำมันในระหว่างการเก็บรักษา อาหารซึ่งทอดให้แห้งอย่างทั่วถึง เช่น มันฝรั่งทอดกรอบ ขนมขบเคี้ยวประเภทข้าวโพดหรือมันฝรั่ง อาหารกึ่งสำเร็จรูปโดยการอัดผ่านเกลียวจะมีอายุการเก็บรักษานานถึง 12 เดือนที่อุณหภูมิห้องและรักษาคุณภาพได้โดยการใช้บรรจุภัณฑ์และสภาวะการเก็บรักษาที่เหมาะสม (วิไล รังสาดทอง, 2545)

ทฤษฎีการทอด

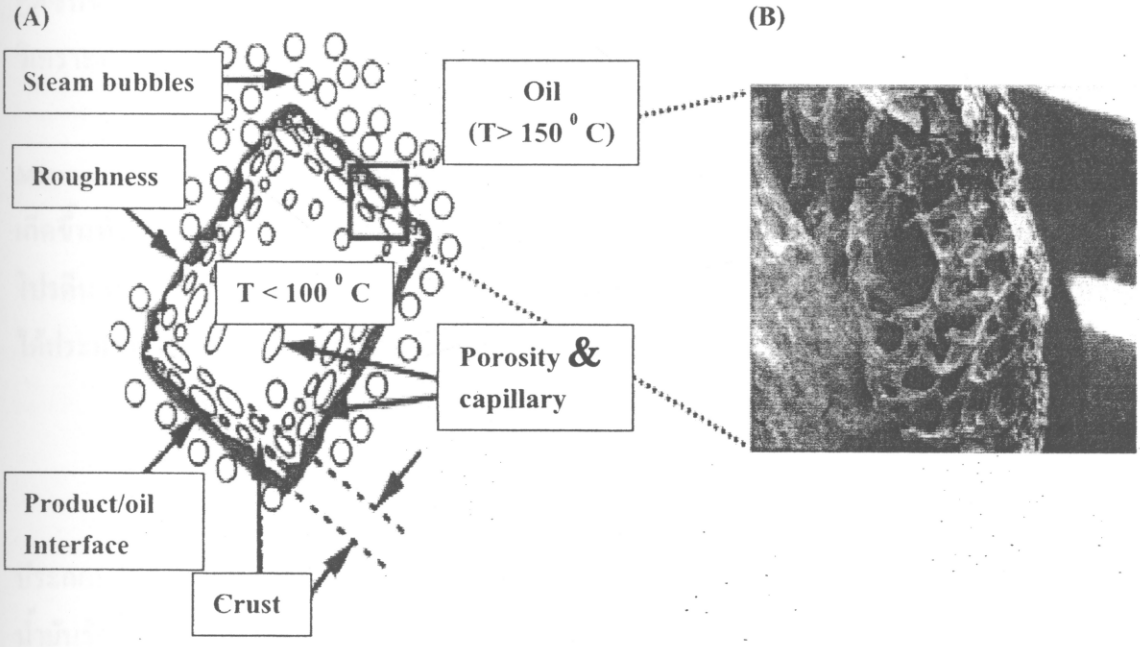
เมื่อวางอาหารลงในน้ำมันร้อน อุณหภูมิที่ผิวหน้าของอาหารจะเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็ว น้ำบริเวณรอบๆของชิ้นอาหารเริ่มเดือดและระเหยกลายเป็นไอ ผิวหน้าจึงเริ่มแห้ง การระเหยของน้ำเริ่มเกิดที่บริเวณผิวนอกแล้วจึงเกิดขึ้นในชิ้นอาหารและเกิดเปลือกนอกขึ้น อุณหภูมิที่ผิวอาหารจะเพิ่มขึ้นจนเท่ากับอุณหภูมิของน้ำมันร้อน และอุณหภูมิภายในจะเพิ่มขึ้นอย่างช้าๆ ถึง 100 องศาเซลเซียส ถ้าเป็นอาหารที่มีชิ้นใหญ่เช่นลูกชิ้นหรือเฟรนช์ฟราย อุณหภูมิภายในจะไม่ถึง 100 องศาเซลเซียส แต่ถ้าเป็นอาหารชิ้นบางๆ เช่น มันฝรั่งแผ่นทอดกรอบ อุณหภูมิภายในอาจจะมากกว่า 100 องศาเซลเซียส (Mellema, 2003) (ภาพที่ 3) ความแตกต่างระหว่างอุณหภูมิของน้ำมันและอาหารและค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนที่ผิวจะเป็นตัวควบคุมการถ่ายเทความร้อน ค่าการนำความร้อนของอาหารจะเป็นตัวควบคุมอัตราการส่งผ่านความร้อนเข้าไปในอาหาร

เปลือกนอกของอาหารทอดมีลักษณะเป็นรูพรุนประกอบด้วยท่อแคปิลารีขนาดต่างๆ น้ำและไอน้ำจะเคลื่อนที่ออกจากแคปิลารีช่องใหญ่ก่อนและถูกแทนที่ด้วยน้ำมัน ในระหว่างการทอดความชื้นจะเคลื่อนที่ผ่านผิวอาหารและฟิล์มบางๆ ของน้ำมัน ความหนาของฟิล์มน้ำมันจะมีผลต่ออัตราการถ่ายเทความร้อนและมวลซึ่งถูกกำหนดโดยความหนืดและความเร็วของการเคลื่อนที่ของน้ำมัน ความแตกต่างของความดันไอน้ำระหว่างความชื้นภายในอาหารและน้ำมันแห้งจะเป็นตัวขับเคลื่อนความชื้น (ภาพที่ 3)

อาหารที่มีความชื้นภายในจะถูกทอดจนกว่าจุดร้อนช้าที่สุดของอาหารได้รับความร้อนเพียงพอที่จะทำลายจุลินทรีย์ที่ปนเปื้อนหรือพอที่จะเปลี่ยนคุณสมบัติด้านประสาทสัมผัสได้ตามที่ต้องการ ปัจจัยเหล่านี้มีความสำคัญมาก โดยเฉพาะสำหรับผลิตภัณฑ์เนื้อบดหรืออาหารอื่นที่อาจมีเชื้อแบคทีเรียที่ก่อให้เกิดโรคอาศัยอยู่ได้

วิธีการทอดทางอุตสาหกรรมที่สำคัญมี 2 วิธี จำแนกโดยวิธีการถ่ายเทความร้อน ซึ่งได้แก่การทอดแบบน้ำมันตื้น (shallow frying) เหมาะสำหรับอาหารที่มีอัตราส่วนของพื้นที่ผิวต่อ

ปริมาตรสูง ความร้อนจากผิวของกระทะร้อนจะเคลื่อนที่ผ่านชั้นน้ำมันบางๆไปยังอาหาร ความหนาของชั้นน้ำมันแตกต่างกันขึ้นอยู่กับความสม่ำเสมอของผิวหน้าของอาหาร ถ้าชั้นน้ำมันบางฟองไอน้ำเดือดจะทำให้อาหารเคลื่อนที่ขึ้นลงบนผิวร้อนของกระทะ การกระจายความร้อนจึงไม่สม่ำเสมอ ทำให้ผิวหน้าของอาหารที่ทอดแบบน้ำมันตื้นมีสีน้ำตาลไม่สม่ำเสมอ ส่วนอีกวิธีเป็นการทอดแบบน้ำมันท่วม (deep – fat frying) การถ่ายเทความร้อนโดยวิธีนี้เป็นทั้งการพาความร้อนในน้ำมันร้อน และการนำความร้อนจากภายในอาหาร ผิวของอาหารทั้งหมดจะได้รับความร้อนใกล้เคียงกัน ทำให้เกิดสีและลักษณะภายนอกที่สม่ำเสมอ การทอดแบบน้ำมันท่วมเหมาะสำหรับอาหารที่มีรูปร่างแน่นอน แต่อาหารที่มีรูปร่างไม่แน่นอนจะอมน้ำมันมากกว่าอาหารที่มีรูปร่างแน่นอน (วิไล รังสาดทอง, 2545)



ภาพที่ 3 โครงสร้างของชิ้นอาหารในระหว่างการทอด (A) และเปลือกนอกของมันฝรั่งทอดโดยใช้ Scanning Electron Microscope (SEM) (B)

ที่มา: Mellema (2003)

กลไกการดูดซับน้ำมัน

การดูดซับน้ำมันเกิดขึ้นในระหว่างกระบวนการทอด โดยน้ำในอาหารจะเกิดการระเหยและเคลื่อนที่ออกจากตัวอาหารในรูปของไอน้ำ ทำให้เกิดรูพรุนและเป็นบริเวณที่เกิดการดูดซับไขมัน ซึ่งเป็นเหตุผลสำคัญที่ทำให้การสูญเสียปริมาณความชื้นในระหว่างการทอดมาก ส่งผลให้เกิดการดูดซับไขมันของอาหารมากขึ้นด้วย (Gamble *et al.*, 1987; Sulaeman *et al.*, 2004) นอกจากนั้นแล้วการระเหยที่เพิ่มขึ้นมีผลให้ผิวนอกของอาหารเกิดความเสียหาย สังเกตได้จากขนาด

ของรูพรุนและการดูดซับน้ำมันซึ่งมีความสัมพันธ์ในทางผกผันกันกับปริมาณความชื้นที่ระยะเวลาต่างๆ ในระหว่างการทอด (Moreira *et al.*, 1995)

อย่างไรก็ตาม มีงานวิจัยหลายชิ้นที่ให้ผลว่าการแทรกของไขมันจะยากขึ้นเมื่ออาหารสุก โครงสร้างระดับโมเลกุลของเปลือกนอกของอาหารก็เป็นอีกปัจจัยที่มีผลต่อการดูดซับของน้ำมัน (Pinthus *et al.*, 1993) นอกจากนี้มีบางงานวิจัยให้เหตุผลโดยอาศัยหลักความสมดุลเชิงมวล (mass balance) ว่าปริมาณการดูดซับน้ำมันจะเท่ากับปริมาณความชื้นที่สูญเสียไป (Pinthus *et al.*, 1993) แล้วยังมีอีกหลายเหตุผลที่ทำให้น้ำมันถูกดูดซับที่บริเวณผิวของอาหาร เช่น ปริมาณไขมันที่เป็นของแข็ง (solid fat) เนื่องจากน้ำมันที่ใช้ทอดอาจประกอบด้วยไขมันที่เป็นของแข็งเมื่ออุณหภูมิลดลงมีผลให้การกำจัดหรือการสลัดเอาน้ำมันออกได้ยากขึ้น นอกจากนั้นแล้วยังเกิดการดูดซับของน้ำมันในรูพรุนได้ลึกมากขึ้น อีกด้วย ดังนั้นในการพิจารณาปริมาณไขมันจึงควรวิเคราะห์ทั้งไขมันที่บริเวณเปลือกนอกและผลึกไขมันที่บริเวณผิวของอาหาร (Mellema, 2003)

Llorca และคณะ (2001) ศึกษาโครงสร้างทางจุลภาคด้วย Scanning Electron Microscopy (SEM) พบว่าการดูดซับไขมันระหว่างการทอดผลิตภัณฑ์ปลาหมึกชุบแป้งแช่เยือกแข็งเกิดขึ้นทั้งในส่วนของแป้งชุบได้แก่สตาร์ชและส่วนผิวหน้าของปลาหมึกที่สูญเสียสภาพของโปรตีน นอกจากนี้ Singh และคณะ (1995) พบว่าน้ำมันสามารถแทรกเข้าไปในผิวของมันฝรั่งทอดได้ประมาณ 300 - 400 ไมโครเมตร ซึ่งใกล้กับบริเวณที่เกิดการระเหยของน้ำ

การดูดซับน้ำมันสามารถอธิบายได้ด้วย 2 กลไก ดังนี้

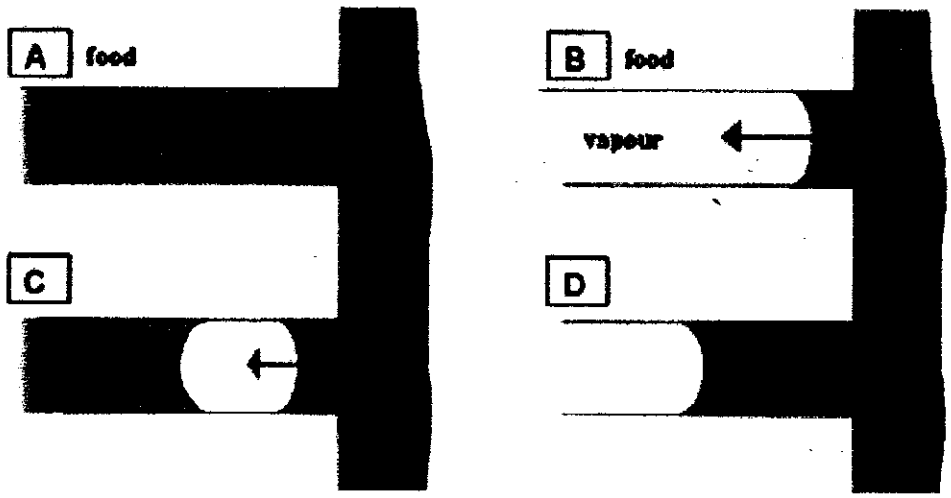
1. กลไกการควบแน่น (Condensation mechanism)

Moreira และคณะ (1995) พบว่าใน Tortilla chips ส่วนของเนื้อผลิตภัณฑ์ประกอบด้วยน้ำมันเพียงร้อยละ 20 ในขณะที่ผิวของผลิตภัณฑ์ประกอบด้วยน้ำมันถึงร้อยละ 80 ซึ่งน้ำมันร้อยละ 64 ของที่ผิวเกิดจากการดูดซับหลังจากการลดอุณหภูมิลง Ufheil และ Escher (1996) ศึกษาการใช้ Tracer Dye ในน้ำมันที่ใช้ทอดพบว่าหลังจากนำมันฝรั่งขึ้นจากน้ำมันแล้วมีการดูดซับน้ำมันมากกว่าร้อยละ 80 ของน้ำมันที่ถูกดูดซับในมันฝรั่งทอดกรอบ นั่นคือการปฏิบัติหลังจากทอดผลิตภัณฑ์แล้ว เช่น การกำจัดน้ำมันออกโดยการเคาะและสะเด็ดน้ำมันต่างก็มีผลต่อการดูดซับน้ำมัน ความดันไอสูงในตัวอย่างจะช่วยป้องกันการดูดซับน้ำมันในอาหาร โดยทำให้ในรูพรุนมีความดันที่สูงน้ำมันจึงไม่สามารถแทรกตัวเข้าไปได้ คุณสมบัติการเป็นตัวกีดขวางดังกล่าวอาจทำหน้าที่ได้เพียงไม่กี่วินาทีแรกหลังจากนำอาหารออกจากน้ำมันทอด เนื่องจากหลังนำอาหารออกจากน้ำมันทอดแล้วอุณหภูมิที่ผิวหน้าของชิ้นอาหารจะลดลงทำให้ไอน้ำที่ส่วนเปลือกของอาหารเกิดการควบแน่น ส่งผลให้ความดันไอน้ำในรูพรุนลดลงน้ำมันจึงสามารถแทรกตัวเข้าไปได้ (Rice *et al.*, 1989 อ้างโดย Mellema, 2003)

2. กลไกแคปิลารี (Capillary mechanism)

ในระหว่างและหลังการทอดเกิดปรากฏการณ์ต่างๆ ซึ่งสามารถอธิบายการดูดซับน้ำมันดังภาพที่ 4 น้ำมันไม่สามารถแทรกตัวเข้าไปในรูพรุนเนื่องจากผนังของรูพรุนเต็มไปด้วยน้ำ ทำให้การดูดซับน้ำมันเกิดขึ้นได้ยาก (ดังภาพที่ 4A) กระบวนการทอดทำให้คุณลักษณะการชอบน้ำ (hydrophilic) ของผนังรูพรุนลดลงแต่ก็ยังไม่ทำให้เกิดการดูดซับน้ำมันได้ การดูดซับน้ำมันในกรณีนี้จะเกิดได้ต่อเมื่อเกิดการเคลื่อนที่ของน้ำในรูพรุนไปยังบริเวณอื่น และถ้ารูพรุนเต็มไปด้วยไอน้ำ ดังภาพที่ 4B ในรูพรุนดังกล่าวจะแสดงคุณสมบัติการไม่ชอบน้ำ (hydrophobic) เพิ่มขึ้น อาหารจึงเกิดการดูดซับของน้ำมันได้มากกว่าน้ำ โดยขึ้นกับความสมดุลของแรงตึงผิวโดยเฉพาะในน้ำมันและแรงตึงผิวของอาหาร หากต้องการลดการดูดซับน้ำมันจึงควรเพิ่มแรงตึงผิว ในขณะที่รูพรุนที่ประกอบด้วยน้ำและไอดังภาพที่ 4C ซึ่งฟองอากาศอยู่ติดกับผิวหน้าของน้ำมัน ฟองอากาศดังกล่าวเปรียบเหมือนรูพรุนที่มีอากาศอยู่เต็มจึงเกิดการดูดซับน้ำมันได้ ส่วนภาพที่ 4D สามารถเกิดการดูดซับน้ำมันได้เนื่องจากน้ำบริเวณผิวระหว่างอาหารกับน้ำมันเกิดการควบแน่นจึงไม่มีแรงดันไอน้ำในรูพรุน (Mellema *et al.*, 2003)

การควบแน่นของไอน้ำในรูพรุนเพิ่มแรงขับเคลื่อนของน้ำมัน ซึ่งเกิดได้เมื่อรูพรุนในเปลือกของอาหารทอดมีไอน้ำ ไอน้ำดังกล่าวจะอยู่ในรูพรุนเพียงระยะเวลาสั้นๆเท่านั้น การควบแน่นจึงสามารถทำให้เกิดการดูดซับน้ำมันหลังจากนำอาหารออกจากน้ำมันทอดได้โดยผลของกลไกแคปิลารีต้องเกิดขึ้นต่ำด้วย



ภาพที่ 4 การแทรกตัวของน้ำมันในกลไกแคปิลารี รูพรุนที่มีน้ำอยู่เต็ม (A) รูพรุนที่มีไอน้ำอยู่เต็ม (B) และรูพรุนที่มีทั้งน้ำและอากาศ (C และ D)

ที่มา: Mellema (2003)

แป้งชุบทอด (Batter)

Suderman และ Cunningham (1983) ให้คำจำกัดความของแป้งชุบทอดว่าเป็น "ของเหลวผสมซึ่งประกอบด้วยน้ำ แป้ง สตาร์ช เกลือ ผงฟูและส่วนผสมอื่นๆ เช่น แป้งข้าวโพด เนย (shortening) น้ำมัน ไข่หรือนม กัม กลิ่นรสและเครื่องปรุงต่างๆ สำหรับชุบผลิตภัณฑ์ที่จะนำไปชุบทอด"

Loewe (1990) แบ่งแป้งชุบทอดเป็น 2 ประเภทตามลักษณะการใช้กับผลิตภัณฑ์อาหารในอุตสาหกรรม ได้แก่

1. แป้งชุบทอดชนิดยึดเกาะ (Interface/Adhesion Batter) แป้งชุบทอดชนิดนี้จะใช้ร่วมกับเกล็ดขนมปัง ทั้งนี้เพื่อตอบสนองความต้องการในด้านสี กลิ่นรสและความกรอบของผลิตภัณฑ์ชุบแป้งทอดซึ่งมีผลต่อการยอมรับของผลิตภัณฑ์ เนื่องจากแป้งชุบทอดส่งผลต่อผลิตภัณฑ์ในด้านลักษณะปรากฏและความหนาของเปลือกของผลิตภัณฑ์ซึ่งเป็นผลมาจากคุณลักษณะด้านความหนืดของแป้งชุบทอด และเป็นที่รู้กันดีอยู่แล้วว่าแป้งชุบทอดที่มีความหนืดสูงส่งผลให้ปริมาณการเคลือบของเกล็ดขนมปังสูงด้วย ดังนั้นแป้งชุบทอดชนิดนี้จึงมักประกอบด้วยแป้งข้าวเจ้าหรือแป้งข้าวโพดในปริมาณสูงเพื่อช่วยในการปรับปรุงคุณลักษณะด้านการยึดเกาะของแป้งชุบนั่นเองเช่นเดียวกับการรายงานของ Karel และ Loewe (1990) กล่าวว่าการพิจารณายอมรับผลิตภัณฑ์ชุบแป้งทอดของผู้บริโภคจะขึ้นอยู่กับความเป็นเนื้อเดียวกันและความหนาของการเคลือบ ซึ่งการเคลือบจะแสดงถึงคุณลักษณะต่างๆที่มีอิทธิพลต่อการยอมรับของผู้บริโภค เช่น ลักษณะปรากฏ สี ความกรอบ การยึดเกาะ และกลิ่นรส Hanson และ Fletcher (1963 อ้างโดย Suderman and Cunningham, 1983) พบว่าสารเพิ่มความข้นหนืดมีผลต่อลักษณะปรากฏ และพบว่าแป้งข้าวเหนียวและแป้งข้าวโพดช่วยเพิ่มความหนาของแป้งชุบและทำให้ผลิตภัณฑ์มีผิวเรียบเป็นที่ดึงดูดความสนใจ

2. แป้งชุบทอดชนิดเทมปุระ (Puff/Tempura Batter) สำหรับแป้งชุบทอดชนิดนี้ทั้งแป้งสาลีและแป้งข้าวโพดต่างก็มีบทบาทสำคัญ แป้งชุบทอดชนิดเทมปุระสามารถทำหน้าที่ในการเคลือบอาหารได้โดยไม่จำเป็นต้องใช้ร่วมกับเกล็ดขนมปัง ดังนั้นแป้งชุบทอดชนิดนี้จึงต้องสามารถทำหน้าที่เป็นโครงสร้างและให้คุณภาพที่ดีในด้านคุณลักษณะปรากฏแก่ผลิตภัณฑ์มากกว่าแป้งชนิดยึดเกาะ และแป้งชุบชนิดนี้มักถูกนำไปใช้ชุบทอดอาหารที่วางขายกับผู้บริโภคโดยตรงหรือใช้ในร้านอาหารทั่วไป ตัวแป้งชุบจึงมีลักษณะเป็นแป้งแห้งผสมสำเร็จ (dry mix) พร้อมใช้งานโดยเพียงเติมน้ำก่อนการปรุงอาหาร

มาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมปี พ.ศ. 2534 แบ่งส่วนประกอบของแป้งชุบทอดเป็น 2 ส่วนได้แก่ ส่วนประกอบหลักประกอบด้วยแป้งและผงฟู อีกส่วนคือส่วนประกอบที่อาจมีได้แก่ เกลือ พริกไทย น้ำตาลทราย กระเทียมผงและอื่นๆ ส่วนแป้ง ไข่และนมทำหน้าที่พื้นฐานในการเป็นโครงสร้างห่อหุ้มผลิตภัณฑ์ไว้ นอกจากนั้นยังมีการใช้กัม เครื่องเทศ และส่วนผสมอื่นๆ เติมลงไปในปริมาณเล็กน้อยเพื่อให้มีลักษณะหน้าที่จำเพาะในแป้งชุบทอดในด้านความหนืด การยึดเกาะ คุณลักษณะเนื้อสัมผัส รสชาติและสี (Suderman and Cunningham, 1983)

ส่วนผสมของแป้งชุบทอดและบทบาทหน้าที่

แป้งชุบทอดสามารถประกอบด้วยส่วนผสมต่างๆ ดังแสดงในตารางที่ 1 ซึ่งจะเห็นว่าอัตราส่วนของส่วนผสมแต่ละชนิดที่แสดงในตารางอยู่ในช่วงกว้าง เนื่องจากในความเป็นจริงสามารถปรับอัตราส่วนของส่วนผสมได้ ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับความต้องการในด้านลักษณะปรากฏและชนิดของอาหารที่ต้องการชุบทอด

ตารางที่ 1 ส่วนผสมของแป้งชุบทอด

Ingredient	Addition Range (%)
Critical	
Wheat flour	30-50
Corn flour	30-50
Sodium bicarbonate	Up to 3
Acid phosphate	Adjust, based on neutralizing value
Optional	
Flours from rice, soy, barley	0-5
Shortening	0-10
Daily powders	0-3
Starches	0-5
Gums, emulsifiers, colors	Less than 1
Salt	Up to 5
Sugars, dextrins	0-3
Flavorings, seasonings, breadings	Open

ที่มา: Loewe (1990)

ส่วนผสมมีหน้าที่สำคัญมากในแป้งชุบทอดที่จะให้รูปร่างลักษณะและหน้าที่ในการเคลือบส่วนผสมทั้งหมดสามารถแบ่งกลุ่มได้ 5 ประเภท (Suderman and Cunningham, 1983)

1. พอลิแซ็กคาไรด์ (polysaccharide) ซึ่งได้แก่ แป้งสาลี แป้งข้าวโพด สตาร์ชจากข้าวโพดและข้าวเจ้า อนุพันธ์ของเซลลูโลสดัดแปรและกัม พอลิแซ็กคาไรด์มีคุณสมบัติเชิงหน้าที่ที่มีผลทางกายภาพ ได้แก่ การให้ความคงตัว โดยเกิดจากปฏิกิริยาระหว่างแซ็กคาไรด์ด้วยกันหรือระหว่างพอลิแซ็กคาไรด์กับโปรตีน การให้ความหนืดโดยมีปฏิกิริยาร่วมกับไขมัน และบางครั้งอาจมีผลต่อการเกิดอิมัลชัน ตลอดจนมีความสามารถในการแขวนลอย การคงรูป เนื้อสัมผัส และอายุการเก็บรักษาของอาหารชุบแป้งทอด

แป้งสาลีถือเป็นแป้งที่มีการนำมาใช้ในแป้งชุบทอดมากที่สุด (Loewe, 1993) การที่แป้งสาลีมีบทบาทสำคัญต่อแป้งชุบทอดเนื่องจากการทำหน้าที่ของโปรตีนและสตาร์ชที่เป็นองค์ประกอบสำคัญในแป้งสาลี ความหนืดของแป้งชุบทอดจะเพิ่มขึ้นระหว่างการผสมเนื่องมาจากการทำหน้าที่ของกลูเตน ถึงแม้ว่าในระบบจะประกอบด้วยน้ำในปริมาณมาก กลูเตนก็ยังสามารถทำหน้าที่ในการสร้างความหนืดได้เช่นกัน ความสามารถในการจับกับน้ำของกลูเตนยังสามารถช่วยกระจายหรือละลายส่วนผสมอื่นๆที่ละลายน้ำได้ ส่งผลให้เกิดลักษณะปรากฏที่ดีของผลิตภัณฑ์ได้อีกด้วย นอกจากนั้นยังพบว่ากลูเตนสามารถกักเก็บแก๊สที่เกิดจากผงฟู ทำให้เกิดรูพรุนซึ่งมีผลสำคัญต่อลักษณะเนื้อสัมผัสและความกรอบของผลิตภัณฑ์ที่ใช้แป้งชนิดเทมปุระ

นอกจากแป้งสาลีแล้วแป้งข้าวโพดก็ยังมีบทบาทสำคัญต่อความสามารถในการทำหน้าที่ของแป้งชุบทอด โดยแป้งข้าวโพดให้ลักษณะสำคัญในด้านสีของผลิตภัณฑ์เนื่องจากแคโรทีนในแป้งข้าวโพด ทำให้ผลิตภัณฑ์มีสีน้ำตาลทอง แป้งข้าวโพดยังถูกนำมาใช้เพื่อวัตถุประสงค์ในด้านกลิ่นรสเนื่องจากการใช้แป้งข้าวโพดจะไม่ส่งผลต่อกลิ่นรสโดยเฉพาะในผลิตภัณฑ์ที่ใช้เครื่องเทศในปริมาณน้อย และยังมีการนำแป้งข้าวโพดมาใช้ทดแทนแป้งสาลีเพื่อลดกลิ่นแป้งจากการใช้แป้งสาลี แต่การใช้แป้งข้าวโพดในปริมาณที่มากเกินไปมีผลให้ผิวของผลิตภัณฑ์แข็งกระด้างมองดูไม่น่ารับประทาน (ทนาวุฒิ ปริญญาพัฒนบุตร, 2547) โดยปกติแล้วการใช้แป้งข้าวโพดจะช่วยเพิ่มความกรอบแต่จะลดความนุ่มลงเนื่องจากปริมาณความชื้นในส่วนของแป้งชุบทอดลดลง และยังเนื่องจากเป็นการลดปริมาณการใช้แป้งสาลีหรือสามารถกล่าวได้ว่าเป็นการลดปริมาณกลูเตน โดยแป้งชุบที่มีกลูเตนสูงจะส่งผลให้ส่วนของแป้งชุบมีความเหนียว ดังนั้นการใช้แป้งข้าวโพดจึงส่งผลเพิ่มความกรอบได้ นอกจากนั้นแป้งข้าวโพดยังถูกนำมาใช้เพื่อปรับส่วนผสมให้มีความหนืดตามที่ต้องการ เนื่องจากในกระบวนการโม่แห้ง (dry miller) ของแป้งข้าวโพดสามารถปรับความหนืดได้ตั้งแต่หนืดน้อยจนกระทั่งหนืดมากในขณะที่ยังคงอัตราส่วนของของแข็งต่อของเหลวได้เท่าเดิม ด้วยเหตุนี้แป้งข้าวโพดจึงถูกนำมาใช้เพื่อปรับความหนืดในแป้งชุบโดยเฉพาะ

แป้งชุบที่ต้องควบคุมปริมาณน้ำ เนื่องจากความหนืดของแป้งชุบเป็นปัจจัยสำคัญที่ส่งผลต่อปริมาณการเคลือบและลักษณะปรากฏของผลิตภัณฑ์ การเกิดเจลาติไนเซชัน (gelatinization) ของสตาร์ชเป็นส่วนสำคัญต่อการเกิดโครงร่างของแป้งชุบ ด้วยเหตุที่การเกิดเจลาติไนเซชันของเม็ดสตาร์ชขึ้นกับปริมาณน้ำที่ใช้ในระบบและการเกิดเจลาติไนเซชันจะสมบูรณ์ได้ต่อเมื่อแป้งสามารถจับน้ำได้มากพอ แป้งข้าวโพดจึงถูกนำมาใช้เนื่องจากความสามารถในการจับกับน้ำได้ดีนั่นเอง (Roger, 1990) Llorca และคณะ (2003) ศึกษาส่วนประกอบของแป้งชุบทอดต่อการดูดซับไขมันในระหว่างการทอดของผลิตภัณฑ์ปลาหมึกชุบแป้งแช่แข็ง โดยใช้แป้งชุบ 4 สูตร สูตรที่ 1 ประกอบด้วยแป้งสาลีร้อยละ 100 สูตรที่ 2 ประกอบด้วยแป้งสาลีและแป้งข้าวโพดร้อยละ 94 และ 6 ตามลำดับ สูตรที่ 3 ประกอบด้วยแป้งสาลี แป้งข้าวโพดและเกลือร้อยละ 88.5 6 และ 5.5 ตามลำดับ และสูตรที่ 4 ประกอบด้วยแป้งสาลี แป้งข้าวโพด เกลือและผงฟูร้อยละ 85.4 6 5.5 และ 3.1 ตามลำดับ แล้ววิเคราะห์ปริมาณการดูดซับไขมันพบว่าแป้งสูตรที่ 2 ซึ่งมีการทดแทนแป้งสาลีด้วยแป้งข้าวโพดร้อยละ 6 มีปริมาณการดูดซับไขมันน้อยกว่าสูตรที่ 1 ซึ่งเป็นแป้งสาลีทั้งหมด ในแป้งสูตรที่ 2 มีปริมาณกลูเตนลดลงจึงมีผลลดปริมาณน้ำมันของผลิตภัณฑ์ปลาหมึกชุบแป้งทอด เมื่อพิจารณาแป้งสูตรที่ 3 ซึ่งมีการใช้เกลือร้อยละ 5.5 พบว่าปริมาณการดูดซับน้ำมันเพิ่มขึ้นทั้งนี้เนื่องจากเกลืออาจทำให้คุณสมบัติเชิงหน้าที่ของกลูเตนเปลี่ยนไป และพบว่าแป้งสูตรที่ 4 ซึ่งเป็นสูตรที่มีการใช้ผงฟูร้อยละ 3.1 มีปริมาณการดูดซับไขมันสูงสุดคือ 17.67 กรัมต่อผลิตภัณฑ์ 100 กรัม เนื่องจากผงฟูสร้างเซลล์ก๊าซจำนวนมาก เมื่อนำไปทอดจึงเกิดการสูญเสียความชื้นได้ดีซึ่งส่งผลให้การดูดซับไขมันมีปริมาณมากขึ้น

ส่วนแป้งข้าวเจ้าถูกนำมาใช้ด้วยเหตุผลสำคัญคือช่วยเพิ่มคุณค่าทางอาหารและเป็นอาหารเพื่อสุขภาพเนื่องจากมีแคลอรี่ต่ำ นอกจากนั้นแป้งข้าวเจ้าช่วยเพิ่มการยึดเกาะและความสามารถในการจับกับน้ำ (Roger, 1990) ขณะที่แป้งชุบมีอัตราส่วนของของแข็งต่อของเหลวสูง แป้งชุบที่ได้จากแป้งข้าวเจ้าก็ยังสามารถใช้ได้เนื่องจากความหนืดไม่เพิ่มขึ้นเมื่อเทียบกับแป้งชุบที่ได้จากแป้งชนิดอื่น (Kohlwey *et al.*, 1995 อ้างโดย Mukprasirt *et al.*, 2000) แป้งข้าวเจ้ายังถูกนำมาใช้เนื่องจากคุณสมบัติการดูดซับน้ำมันต่ำเพื่อพัฒนาเป็นผลิตภัณฑ์อาหารไขมันต่ำ จึงมีการศึกษาการใช้แป้งข้าวเจ้าในผลิตภัณฑ์อาหารทอดต่างๆ เช่น อดิศักดิ์ เอกโสวรรณ (2543) ศึกษาการลดการดูดซับน้ำมันของแป้งชุบทอดด้วยการใช้แป้งข้าวเจ้าทดแทนแป้งสาลีในปริมาณต่างๆ พบว่าการใช้แป้งข้าวเจ้าทดแทนแป้งสาลีในปริมาณมากขึ้นจากร้อยละ 0 ถึงร้อยละ 80 มีผลให้การดูดซับน้ำมันในแป้งชุบทอดมีแนวโน้มลดลงร้อยละ 54.45 ถึง 43.45 เนื่องจากแป้งข้าวเจ้ามีสมบัติในการต้านการอมน้ำมันในแป้งชุบทอดได้ดีกว่าแป้งสาลี ที่เป็นเช่นนี้อาจเป็นผลมาจากโปรตีนในแป้งสาลี คือ กลูเตนิน (glutenin) ซึ่งมีคุณสมบัติแตกต่างไปจากโปรตีนในแป้งข้าวเจ้าซึ่งส่วนใหญ่

จะเป็นโอริเซนิน (oryzenin) (อมรรัตน์ มุขประเสริฐ, 2534 อ้างโดย อดิศักดิ์ เอกโสวรรณ, 2543) Shih และ Daigle (1999) รายงานว่าโปรตีนในแป้งสาลีมีคุณสมบัติในการรวมกับไขมันได้ดีกว่าแป้งข้าวเจ้า และยังมีผลในด้านการกักเก็บฟองก๊าซที่เกิดจากผงฟูได้ดีกว่าแป้งข้าวเจ้าจึงทำให้แป้งชุบของแป้งสาลีมีรูอากาศจำนวนมากกว่า ดังนั้นเมื่อนำไปทอดจึงเกิดการสูญเสียความชื้นได้ดีขึ้น ส่งผลให้เกิดการดูดซับน้ำมันเพิ่มขึ้นตามไปด้วย

นอกจากปริมาณกลูเตนในแป้งชนิดต่างๆ แล้ว ยังมีคุณสมบัติต่างๆ ของแป้ง เช่น คุณสมบัติการเกิดเจลของแป้ง โดยปริมาณอะไมโลส (amylose) ต่ออะไมโลเพกติน (amylopectin) ก็มีผลต่อการดูดซับไขมันของผลิตภัณฑ์ Mohamed และคณะ (1998) ศึกษาผลขององค์ประกอบของอาหารต่อการดูดซับน้ำมันและความกรอบของแป้งทอด พบว่าการเพิ่มปริมาณอะไมโลเพกตินหรือลดปริมาณอะไมโลสในแป้งโดยใช้แป้งข้าวเหนียวทดแทนแป้งข้าวเจ้ามีผลไปลดความแข็งของแป้งชุบทำให้มีความนุ่มมากขึ้น ความแข็งของแป้งชุบเป็นผลจากการจับกันระหว่างพอลิแซ็กคาไรด์กับพอลิแซ็กคาไรด์พอลิแซ็กคาไรด์กับน้ำ พอลิแซ็กคาไรด์กับน้ำมันและพอลิแซ็กคาไรด์กับโปรตีน โครงสร้างของอะไมโลเพกตินสามารถจับน้ำไว้จึงทำให้แป้งมีความนุ่ม แต่การเพิ่มปริมาณอะไมโลสเป็นการเพิ่มการจับกันระหว่างพอลิแซ็กคาไรด์กับพอลิแซ็กคาไรด์ซึ่งจะเพิ่มความกรอบของแป้งชุบทอดและลดการดูดซับน้ำมัน อย่างไรก็ตามการมีปริมาณอะไมโลสมากเกินไปมีผลทำให้ผลิตภัณฑ์แข็งและเหนียว

ถิรนันท์ คุณานพรัตน์และคณะ (2544) ศึกษาถึงอัตราส่วนระหว่างปริมาณอะไมโลสและอะไมโลเพกตินต่อการดูดซับน้ำมันของโดทอดแบบจุ่ม และสรุปผลการทดลองว่าปริมาณน้ำมันส่วนใหญ่ประมาณร้อยละ 95.0 – 97.5 ถูกดูดซับเข้าสู่เนื้อในส่วนกลางระหว่างการทอดและอยู่ที่ผิวประมาณร้อยละ 2.5 – 5.0 หลังจากทำให้เย็น พบว่าปริมาณน้ำมันในเนื้อในส่วนกลางมีร้อยละ 98.0 – 99.5 และที่ผิวประมาณร้อยละ 0.5 – 2.0 โดยกลไกการดูดซับน้ำมันสำหรับการทอดอาหารชิ้นใหญ่เกิดจากการแทนที่ความชื้น ซึ่งอัตราส่วนระหว่างอะไมโลสและอะไมโลเพกตินมีผลต่อการดูดซับน้ำมันของอาหารเนื่องจากอะไมโลสทำให้อาหารทอดเกิดเปลือกนอก ทำให้ค่าสัมประสิทธิ์การแพร่ความชื้นโดยรวมลดลงทั้งนี้อาจเป็นเพราะบริเวณส่วนต่อระหว่างเปลือกนอกกับเนื้อในส่วนกลางมีลักษณะหนืดมาก ซึ่งมีคุณสมบัติในการป้องกันการถ่ายเทมวลมีผลทำให้การดูดซับน้ำมันลดลง อย่างไรก็ตามปริมาณอะไมโลสที่มากเกินไปมีผลทำให้ค่าสัมประสิทธิ์การแพร่ความชื้นโดยรวมและการดูดซับน้ำมันเพิ่มขึ้นเนื่องจากอาหารเกิดรอยแตกส่วนอะไมโลเพกตินทำให้อาหารทอดไม่เกิดเปลือกนอก มีผลทำให้ค่าสัมประสิทธิ์การแพร่ความชื้นโดยรวมและการดูดซับน้ำมันเพิ่มขึ้น และยังแนะนำว่าอาหารที่ใช้ทอดควรมีความชื้นเริ่มต้นต่ำและอาหารควรเกิดเปลือกนอกเร็วเพื่อเป็นตัวกั้นการเคลื่อนที่ของน้ำ แต่สัดส่วนของ

เปลือกนอกต่อเนื้อในส่วนกลางของอาหารควรต่ำและไม่ควรเกิดเปลือกนอกทั้งหมดเนื่องจากเป็นที่สะสมของน้ำมัน การเลือกใช้แป้งที่ใช้ทำอาหารทอดและแป้งที่เคลือบหรือชุบอาหาร ควรมีปริมาณอะไมโลสสูง โดยแป้งควรมีอัตราส่วนระหว่างอะไมโลสต่ออะไมโลเพกตินอยู่ในช่วง 40 ต่อ 60 ถึง 60 ต่อ 40 เพื่อทำให้อาหารเกิดเปลือกนอก และอาหารที่เคลือบหรือชุบด้วยแป้งควรทอดให้เกิดเปลือกนอกเฉพาะบริเวณที่เป็นแป้งเท่านั้นเพื่อทำให้อาหารดูดซับน้ำมันได้ต่ำ

2. โปรตีน แหล่งโปรตีนที่ใช้ในแป้งชุบทอด ได้แก่ นมผงต่างๆ และโปรตีนที่แยกจากนม ไข่ขาว แป้งธัญพืช โปรตีนมีหมู่อะมิโนช่วยให้เกิดสีน้ำตาลจากปฏิกิริยาเมลลาร์ด (maillard reaction) และยังทำให้แป้งชุบทอดมีคุณสมบัติการเป็นอิมัลชันเนื่องจากมีทั้งส่วนที่ชอบและไม่ชอบน้ำ แป้งธัญพืชจะช่วยส่งเสริมคุณสมบัติของความหนืด ส่วนโปรตีนถั่วเหลืองจะมีคุณสมบัติการเกิดอิมัลชันรวมทั้งการดูดซับน้ำและไขมัน โปรตีนไข่จะช่วยให้โครงสร้างคงรูปและมีคุณสมบัติเช่นเดียวกับสารให้ความหนืด (Suderman and Cunningham, 1983)

Mohamed และคณะ (1998) ศึกษาการใช้โปรตีนชนิดต่างๆ ต่อความกรอบและการดูดซับน้ำมัน โดยพบว่าการเติมโอวาลบูมิน (ovalbumin) ปริมาณ 20 กรัมต่อกิโลกรัมในแป้งชุบสามารถช่วยปรับปรุงความกรอบ สีและลดการดูดซับน้ำมัน ทั้งนี้เนื่องจากคุณสมบัติการไม่ชอบน้ำของสารดังกล่าว (Kato and Nakai, 1980 อ้างโดย Mohamed *et al.*, 1998) การเติมไข่แดงเพิ่มการดูดซับน้ำมันและความแข็งของแป้งชุบ เนื่องจากโปรตีนส่วนใหญ่อยู่ในรูปของไลโพโปรตีน (lipoprotein) และฟอสโฟโปรตีน (phosphoprotein) ซึ่งสามารถลดแรงตึงผิวระหว่างน้ำมันและน้ำจึงส่งผลให้การดูดซับน้ำมันเกิดได้มากขึ้น

3. ไขมันและน้ำมันไฮโดรจีเนต หน้าที่ของไขมันในการเคลือบยังไม่ทราบชัดเจน อย่างไรก็ตามไขมันเป็นแหล่งของวิตามินที่ละลายไขมัน และช่วยเพิ่มรสชาติของอาหาร (Fenema, 1996) Mohamed และคณะ (1998) พบว่าการเติมน้ำมันปริมาณ 20 กรัมต่อกิโลกรัมในแป้งชุบทอดสามารถลดการดูดซับน้ำมันและเพิ่มความกรอบของแป้งชุบทอดได้เมื่อเทียบกับการเติมน้ำมันในปริมาณ 40 60 80 และ 100 กรัมต่อกิโลกรัม

4. เครื่องปรุง จะรวมทั้งน้ำตาล เกลือ พริกไทย และเครื่องเทศอื่นๆหรือเครื่องเทศสกัดในแป้งชุบมีหน้าที่หลายอย่าง เช่น เกลือจะช่วยเพิ่มรสชาติ น้ำตาลทำให้เกิดกลิ่นรสและทำปฏิกิริยากับเอมีนเกิดเป็นสารประกอบสีน้ำตาลจากปฏิกิริยาเมลลาร์ด การเคลือบเครื่องปรุงจะพัฒนาคุณค่าทางโภชนาการของผลิตภัณฑ์อาหาร และเพิ่มความรู้สึกพอใจในการรับประทาน (Vickers and Bourne, 1976)

5. น้ำ น้ำช่วยทำให้แป้งชุบทอดเขวนลอย อัตราส่วนของของแข็งและน้ำมีความสำคัญมาก เพราะมีผลทั้งต่อความหนืดและการยึดเกาะ น้ำจะทำหน้าที่เกิดโครงสร้างขึ้น เช่น

การทำปฏิกิริยากับโปรตีนและพอลิแซ็กคาไรด์โดยทั่วไปสัดส่วนของน้ำที่ใช้ต่อแป้งชุบทอดเป็น 1.5 - 2 : 1 (ทนาวุฒิ ปริญญาพัฒนบุตร, 2547) Mohamed และคณะ (1998) พบว่าปริมาณน้ำที่เหมาะสมที่ทำให้เกิดการดูดซับน้ำมันน้อยที่สุดคือ 2 กิโลกรัมต่อส่วนผสมแห้ง 1 กิโลกรัม แต่ขณะเดียวกันก็ทำให้เกิดความแข็งมากที่สุดเมื่อเทียบกับการเติมน้ำในปริมาณ 1.5 จนถึง 3 กิโลกรัมต่อส่วนผสมแห้ง 1 กิโลกรัม

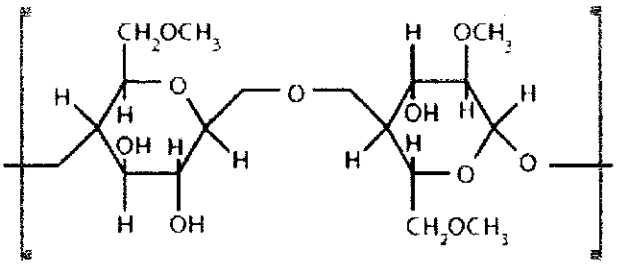
การใช้สารไฮโดรคอลลอยด์เพื่อลดการดูดซับน้ำมันในผลิตภัณฑ์อาหารทอด

ไฮโดรคอลลอยด์ หมายถึง สารประกอบประเภทพอลิแซ็กคาไรด์กัม (polysaccharide gums) ซึ่งเป็นพอลิเมอร์ที่มีสายยาวและมีน้ำหนักโมเลกุลสูง ในโมเลกุลอาจประกอบด้วยโมโนแซ็กคาไรด์ชนิดเดียวกันทั้งหมดเป็นโฮโมพอลิแซ็กคาไรด์เช่น เดกซ์แทรน (dextran) และฟอสโฟแมนแนน (phosphomannan) หรืออาจประกอบด้วยโมโนแซ็กคาไรด์หลายชนิดเป็นเฮเตอโรพอลิแซ็กคาไรด์เช่น กัมอาระบิก (gum arabic) กัมแกตติ (gum ghatti) และกัมคารายา (gum caraya) เมื่อพอลิแซ็กคาไรด์กัมละลายหรือกระจายตัวอยู่ในน้ำจะทำให้สารละลายที่ได้มีความหนืดสูงหรือมีลักษณะเป็นเจล ในอุตสาหกรรมอาหารจึงนำเอาพอลิแซ็กคาไรด์กัมไปใช้ประโยชน์เป็นสารเพิ่มความคงตัว (stabilizer) สารเพิ่มความหนืด (thickener) อิมัลซิไฟเออร์ และหน้าที่อื่นๆในผลิตภัณฑ์อาหาร (นิธิยา รัตนาปนนท์, 2545) จากการศึกษาของ Keico (1995 อ้างโดย William and Mital, 1999b) พบว่าฟิล์มเจนแลนกัม (gellan gum) สามารถลดการดูดซับน้ำมันในระหว่างการทอดได้ร้อยละ 63 นอกจากนี้ไฮโดรคอลลอยด์บางชนิดมีคุณสมบัติเป็นตัวกีดขวางการเคลื่อนที่ของน้ำมันได้จึงมีการนำไฮโดรคอลลอยด์มาใช้ในผลิตภัณฑ์อาหารทอดเพื่อลดการดูดซับน้ำมันในระหว่างกระบวนการผลิตโดยเฉพาะไฮโดรคอลลอยด์ชนิดที่เป็นอนุพันธ์ของเซลลูโลส เช่น คาร์บอกซีเมทธิลเซลลูโลส (CMC) เมทธิลเซลลูโลส (MC) และไฮดรอกซีโพรพิลเมทธิลเซลลูโลส (HPMC)

เมทธิลเซลลูโลสเป็นอนุพันธ์ของเซลลูโลสที่เกิดจากปฏิกิริยาการแทนที่ไฮโดรเจนอะตอมที่หมู่ไฮดรอกซิลด้วยหมู่เมทธิล มีโครงสร้างดังภาพที่ 5

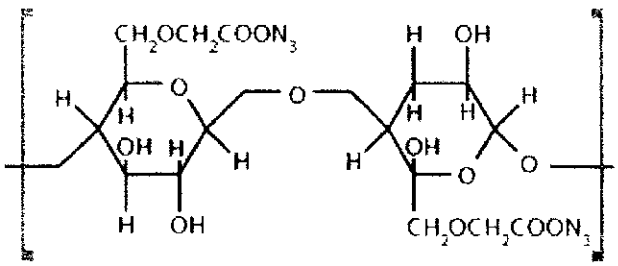
คาร์บอกซีเมทธิลเซลลูโลสเป็นอนุพันธ์ของเซลลูโลสที่เกิดจากปฏิกิริยาการแทนที่ไฮโดรเจนอะตอมที่หมู่ไฮดรอกซิลด้วยหมู่คาร์บอกซีเมทธิล มีโครงสร้างดังภาพที่ 6

ไฮดรอกซีโพรพิลเมทธิลเซลลูโลสเป็นอนุพันธ์ของเซลลูโลสที่เกิดจากปฏิกิริยาการแทนที่ไฮโดรเจนอะตอมที่หมู่ไฮดรอกซิลด้วยหมู่ไฮดรอกซีโพรพิลเมทธิล มีโครงสร้างดังภาพที่ 7



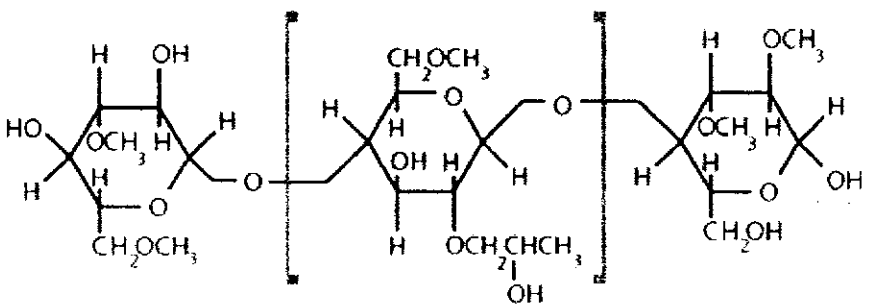
ภาพที่ 5 โครงสร้างของเมทธิลเซลลูโลส

ที่มา: Specialchem (2005)



ภาพที่ 6 โครงสร้างของคาร์บอกซีเมทธิลเซลลูโลส

ที่มา: Specialchem (2005)



ภาพที่ 7 โครงสร้างของไฮดรอกซีโพรพิลเมทธิลเซลลูโลส

ที่มา: Specialchem (2005)

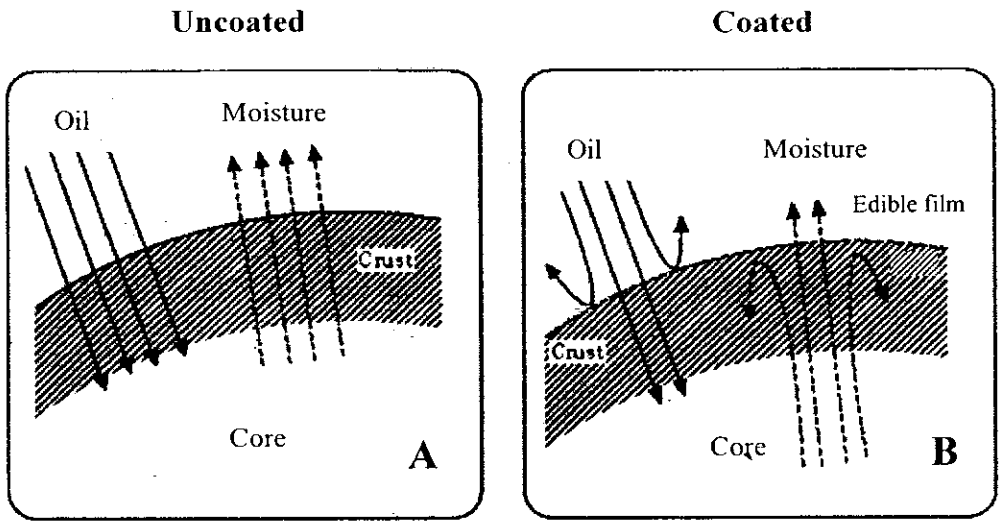
การเกิดปฏิกิริยาเมทธิลเลชันที่หมู่ไฮดรอกซิลในโมเลกุลของเซลลูโลส จะทำให้สายของโมเลกุลเซลลูโลสแยกตัวออกจากกัน ทำให้น้ำสามารถแทรกเข้าตัวไปได้ง่าย การกระจายตัวจึงดีขึ้น เมทธิลเซลลูโลสและไฮดรอกซีโพรพิลเซลลูโลส มีคุณสมบัติในการผันกลับได้ของปฏิกิริยาการเกิดเจล เมื่อมีการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิ (thermogellation) โดยพอลิเมอร์ทั้งสองสามารถละลายได้ในน้ำเย็นและเมื่อได้รับความร้อนที่เกิดขึ้นขณะวางชิ้นอาหารลงในน้ำมันร้อน มีผลให้ความหนืดมีค่าลดลง เมื่อถึงอุณหภูมิวิกฤตพอลิเมอร์นี้จะเกิดโครงสร้าง 3 มิติของเจลขึ้น และถ้าอุณหภูมิลดลงต่ำกว่าอุณหภูมิวิกฤตเจลจะเปลี่ยนกลับไปเป็นสารละลายได้ อุณหภูมิวิกฤตขึ้นอยู่กับตำแหน่งของกลุ่มเมทธิลและกลุ่มไฮดรอกซีโพรพิล ซึ่งมีผลต่อการเกิดเจลและทำให้สามารถนำมาใช้ในการผลิตสารเคลือบหรือฟิล์มที่ช่วยลดการดูดซับน้ำมันในระหว่างการทอดของมันฝรั่งและหัวหอมได้ (Kester and Fennema, 1986)

ปัญหาที่สำคัญของอาหารทอด คือ การเปลี่ยนแปลงลักษณะและเนื้อสัมผัสของอาหารหลังทอดเมื่อทิ้งอาหารไว้นาน ซึ่งน่าจะเกิดจากการเคลื่อนที่ของน้ำภายในอาหารออกสู่ที่ผิวของอาหาร ทำให้เป็นอุปสรรคต่อการผลิตอาหารทอดในระดับอุตสาหกรรม เนื่องจากในระหว่างการขนส่ง เนื้อสัมผัสของอาหารจะเปลี่ยนไป รวมทั้งในร้านที่เตรียมการทอดเองที่ไม่สามารถทอดอาหารทิ้งไว้ได้นาน (Heggins *et al.*, 1998; เพียงโสม ชาญชัยวรวิทย์และคณะ, 2547) ทั้งนี้สามารถใช้ฟิล์มและสารเคลือบที่รับประทานได้ เป็นส่วนประกอบในการปรับปรุงคุณภาพอาหารหรือยืดอายุการเก็บรักษา โดยฟิล์มและสารเคลือบที่รับประทานได้จะทำหน้าที่ต่างๆ ที่สำคัญ เช่น ชะลอการซึมผ่านของความชื้น ชะลอการเกิดออกซิเดชันของไขมันและการเปลี่ยนแปลงสี ชะลอการซึมผ่านของก๊าซ ลดการดูดซับไขมันในระหว่างการทอด ป้องกันการแตกหักเสียหาย ป้องกันการสูญเสียกลิ่นและห่อหุ้มอาหารให้ปลอดภัยจากการปนเปื้อนของจุลินทรีย์ (Gennadios *et at.*, 1997) สารที่ใช้ทำฟิล์มที่รับประทานได้มีหลายชนิด เช่น พอลิแซ็กคาไรด์ โปรตีน ลิปิด ฟิล์มที่เตรียมขึ้นอาจใช้สารชนิดเดียวกันหรือใช้สารหลายชนิดรวมกัน โดยนำคุณลักษณะเด่นของสารแต่ละชนิดมาใช้ประโยชน์ตัวอย่างฟิล์มที่มีองค์ประกอบหลายอย่าง เช่น ฟิล์มที่มีสตาร์ชและอัลจิเนตหรือมีสตาร์ชและวุ้น ลิปิดและไฮโดรคอลลอยด์เป็นต้น (มณฑาทิพย์ ยุ่นฉลาด, 2535)

Gennadios และ Weller (1990) ได้เสนอข้อดีของฟิล์มที่สามารถรับประทานได้ที่เหนือกว่าฟิล์มสังเคราะห์ เช่น สามารถบริโภคได้พร้อมกับผลิตภัณฑ์ที่บรรจุอันเป็นจุดเด่นที่เห็นได้ชัดในการลดปัญหามลพิษและสิ่งแวดล้อม หรือในกรณีที่ไม่บริโภคฟิล์ม ฟิล์มที่ทิ้งไปสามารถย่อยสลายทางชีวภาพได้โดยง่าย นอกจากนั้นแล้วยังสามารถใช้ฟิล์มเป็นแผ่นกั้นระหว่างอาหารที่มี

องค์ประกอบแตกต่างกัน เพื่อป้องกันการเสื่อมสภาพเนื่องจากการถ่ายเทความชื้นและไขมันในเนื้ออาหารที่แตกต่างกันได้อีกด้วยจะเห็นว่าฟิล์มและสารเคลือบที่รับประทานได้มีคุณสมบัติในการปรับปรุงคุณภาพของอาหารได้หลายประเภท ซึ่งรวมไปถึงผลิตภัณฑ์ชุบแป้งทอด โดยอาศัยคุณสมบัติการป้องกันการสูญเสียความชื้นและการลดการดูดซับน้ำมันในระหว่างการทอด

ผลของการใช้สารเคลือบต่อการลดการสูญเสียความชื้นและการดูดซับไขมัน สารเคลือบจะฟอร์มตัวเป็นชั้นบางๆบริเวณผิวของตัวอย่าง การฟอร์มตัวเป็นฟิล์มขึ้นกับคุณสมบัติของฟิล์มแต่ละชนิด เช่น corn zein จะฟอร์มตัวเป็นฟิล์มในช่วงแรกของกระบวนการทอด เช่นเดียวกับไฮดรอกซีโพรพิล เมทธิลเซลลูโลสและเมทธิลเซลลูโลส ชั้นฟิล์มดังกล่าวจะทำหน้าที่ป้องกันการเคลื่อนที่ของความชื้นและไขมันระหว่างตัวอย่างและน้ำมันที่บริเวณผิวของผลิตภัณฑ์เท่านั้น โดยเมื่อความชื้นเกิดการเคลื่อนที่ไขมันจะเข้าแทนที่บริเวณเปลือกหรือผิวชั้นนอกของผลิตภัณฑ์ แต่การใช้ฟิล์มหรือสารเคลือบ จะไม่มีผลต่อการสูญเสียความชื้นหรือการดูดซับน้ำมันในส่วนกึ่งกลางของผลิตภัณฑ์ ดังแสดงในภาพที่ 8



ภาพที่ 8 กลไกของฟิล์มต่อการเคลื่อนที่ของความชื้นและไขมันระหว่างการทอดของผลิตภัณฑ์แป้งทอด ชิ้นอาหารที่ไม่ได้เคลือบฟิล์ม (A) และชิ้นอาหารที่เคลือบฟิล์ม (B)

ที่มา: Mallikarjunan และคณะ (1997)

Mallikarjunan และคณะ (1997) ศึกษาผลการรักษาความชื้นและการลดการดูดซับน้ำมันของผลิตภัณฑ์มันบดก้อนชุบแป้งทอด (mashed potato balls) โดยใช้สารเคลือบ 3 ชนิดคือ corn zein ไฮดรอกซีโพรพิลเมทธิลเซลลูโลสและเมทธิลเซลลูโลส พบว่าบริเวณผิวหน้าของ

ผลิตภัณฑ์มีการสูญเสียความชื้นอย่างรวดเร็วและปริมาณความชื้นสุดท้ายของชุดควบคุมซึ่งไม่ใช้สารเคลือบเท่ากับร้อยละ 26 ชุดที่ใช้ไฮดรอกซีโพรพิลเมทธิลเซลลูโลสสามารถรักษาความชื้นได้มากที่สุดคือร้อยละ 55 ปริมาณความชื้นระหว่างชุดที่ใช้ไฮดรอกซีโพรพิลเมทธิลเซลลูโลสและเมทธิลเซลลูโลสไม่มีความแตกต่างกันแต่ก็มากกว่าชุดที่ใช้ corn zein เนื่องจาก corn zein เป็นสารเคลือบชนิดฟิล์มที่มีองค์ประกอบของโปรตีนเป็นหลัก ส่วนไฮดรอกซีโพรพิลเมทธิลเซลลูโลสและเมทธิลเซลลูโลสเป็นสารไฮโดรคอลลอยด์ที่เป็นอนุพันธุ์ของเซลลูโลสซึ่งเมื่อได้รับความร้อนมากกว่า 60 องศาเซลเซียส หมู่เมทธิลจะจับกับโมเลกุลใกล้เคียงเกิดเจลและจัดเรียงตัวเป็นชั้น อุณหภูมิที่หมู่เมทธิลสามารถจับกับโมเลกุลที่อยู่ใกล้กันทำให้เกิดเจลได้เรียกว่า Incipient gelation temperature (IGT) จะอยู่ในช่วง 50 ถึง 90 องศาเซลเซียส เจลที่จัดเรียงตัวเป็นชั้นจะช่วยป้องกันการเคลื่อนที่ของความชื้นและไขมันระหว่างตัวผลิตภัณฑ์และน้ำมันที่ใช้ทอด ในขณะที่ corn zein เกิดการจับกันเองที่บริเวณผิวของผลิตภัณฑ์เป็นฟิล์มบางๆ ซึ่งช่วยป้องกันการเคลื่อนที่ของน้ำเนื่องจาก corn zein มีส่วนประกอบที่เป็นกรดอะมิโนที่ไม่มีขั้วและพันธะไฮโดรเจนจับอยู่กับกลูตามีน (Wall *et al.*, 1978 อ้างโดย Mallikarjunan, 1997) นอกจากนั้น Chinnan และคณะ (1995 อ้างโดย William and Mittal, 1999a) พบว่าฟิล์มชนิด corn zein ซึ่งเป็นฟิล์มที่มีโปรตีนเป็นองค์ประกอบสำคัญมีคุณสมบัติในการลดการเคลื่อนที่ของน้ำมันได้ อย่างไรก็ดี ยังเป็นไปได้ว่าการที่ corn zein รักษาความชื้นได้น้อยกว่าไฮดรอกซีโพรพิลเมทธิลเซลลูโลสและเมทธิลเซลลูโลสเนื่องจาก corn zein มีการเติมพลาสติไซเซอร์ (plasticizer) ที่มีกลีเซอรอลซึ่งมีคุณสมบัติการชอบน้ำมากกว่าโพลีเอธิลีนไกลคอล (polyethylene glycol: PEG) ซึ่งเป็นพลาสติไซเซอร์ที่เติมในชุดการทดลองที่ใช้ไฮดรอกซีโพรพิลเมทธิลเซลลูโลสและเมทธิลเซลลูโลส นอกจากนั้นเมทธิลเซลลูโลสมีคุณสมบัติในการลดการสูญเสียความชื้นและการดูดซับน้ำมันได้ดีกว่าไฮดรอกซีโพรพิลเมทธิลเซลลูโลสเนื่องจากเมทธิลเซลลูโลสมีคุณสมบัติการชอบน้ำน้อยกว่าไฮดรอกซีโพรพิลเมทธิลเซลลูโลส

ในการศึกษาผลของสารเคลือบ ได้แก่ เมทธิลเซลลูโลส ไฮดรอกซีเมทธิลเซลลูโลสและเจลแลนกัม เพื่อลดการดูดซับน้ำมันในผลิตภัณฑ์เนื้อบดทอด (fried pastry mix) ของ William และ Mittal (1999b) พบว่าเมทธิลเซลลูโลส ไฮดรอกซีเมทธิลเซลลูโลสและเจลแลนกัมลดการดูดซับน้ำมันได้ร้อยละ 91.09 50.5 และ 59.41 ตามลำดับ ซึ่งจากการทดลองดังกล่าวจะเห็นว่าเมทธิลเซลลูโลสสามารถลดการดูดซับน้ำมันได้ดีกว่าไฮดรอกซีเมทธิลเซลลูโลสและเจลแลนกัม นอกจากนั้น William และ Mittal (1999a) ได้ทำการศึกษาการใช้เจลแลนกัม ในการลดการดูดซับน้ำมันของผลิตภัณฑ์อาหารทอดและในฟิล์ม โดยใช้แบบจำลองทางคณิตศาสตร์ พบว่าฟิล์มมีการถ่ายเทน้ำมันและความชื้นเท่ากับ 0.604×10^{-9} และ 0.25×10^{-7} ตารางเมตรต่อวินาที ตามลำดับ Pinthus และคณะ (1993) ศึกษาผลของการใช้เซลลูโลสผง (powdered cellulose) และเมทธิล

เซลลูโลสผงต่อการดูดซับน้ำมันของโดนัทและ Falafel Balls ทอด โดยรายงานผลเป็นอัตราส่วนการดูดซับ (uptake ration หรือ U_R) ซึ่งมีค่าเท่ากับอัตราส่วนของน้ำหนักของน้ำมันที่ถูกดูดซับต่อน้ำหนักของน้ำที่เคลื่อนที่ พบว่าชุดควบคุม (ไม่มีการใช้ฟิล์มใดๆ) ชุดการทดลองที่ใช้เซลลูโลสผง (ร้อยละ 2) และเมทธิลเซลลูโลส 2 ชนิดที่มีชื่อเรียกทางการค้าว่า Methocel K100M (ร้อยละ 1) และ Methocel F50LV (ร้อยละ 1) ในโดนัทมีอัตราส่วนการดูดซับเป็น 1.34 1.13 0.95 และ 1.01 ตามลำดับ ในขณะที่อัตราส่วนการดูดซับของ Falafel Balls เป็น 0.13 0.12 0.07 และ 0.09 ตามลำดับ โดยค่า U_R ที่ต่ำแสดงถึงการดูดซับน้ำมันน้อย กล่าวคือเมทธิลเซลลูโลสทั้ง 2 ชนิดสามารถลดการดูดซับน้ำมันได้ดีกว่าแป้งที่มีปริมาณเซลลูโลสสูงทั้งในโดนัทและ Falafel Balls

นอกจากนั้นยังมีงานวิจัยที่ศึกษาผลของไฮโดรคอลลอยด์ต่อการลดการดูดซับน้ำมันในผลิตภัณฑ์ชุบแป้งทอดต่างๆ เช่น Priya และคณะ (1996) รายงานว่าในผลิตภัณฑ์ Boondis ชุบแป้งทอดซึ่งเป็นผลิตภัณฑ์ชุบแป้งทอดที่ได้รับความนิยมของชาวอินเดีย พบว่าการใช้คาร์บอกซีเมทธิลเซลลูโลสที่มีความเข้มข้นมากขึ้นจากร้อยละ 0.5 ถึงร้อยละ 2 และการใช้ไฮดรอกซีโพรพิลเมทธิลเซลลูโลสร้อยละ 0.5 และ 1 ในแป้งโด (dough) สามารถลดการดูดซับน้ำมันได้มากขึ้น ในขณะที่การใช้ที่ระดับความเข้มข้นร้อยละ 3 ให้ผลเพิ่มการดูดซับน้ำมัน และจากการศึกษาของ Sanz และคณะ (2004) พบว่าชุดการทดลองที่มีส่วนผสมของเมทธิลเซลลูโลสมีผลไปลดความหนืดและแรงเฉือนของน้ำแป้งและความเข้มข้นของเมทธิลเซลลูโลสที่เพิ่มขึ้นจากร้อยละ 0 ถึง 2 มีผลลดการดูดซับน้ำมันและรักษาความชื้นของผลิตภัณฑ์ได้มากขึ้นเมื่อเทียบกับชุดควบคุม

Holownia และคณะ (2000) ศึกษาการใช้เมทธิลเซลลูโลส 2 ชนิดคือ MC A4M และ MC A15 และไฮดรอกซีโพรพิลเมทธิลเซลลูโลส 2 ชนิดคือ HPMC E4M และ HPMC E15 ในการเคลือบระหว่างกระบวนการผลิต 3 ขั้นตอนคือ ก่อนชุบขนมปัง รวมกับขนมปังที่ใช้ชุบและหลังการชุบขนมปังของผลิตภัณฑ์ไก่หมักชุบขนมปังทอด พบว่า HPMC E4M สามารถลดการสลายตัวของน้ำมันที่ใช้ทอดได้ดีที่สุด แสดงให้เห็นว่าฟิล์มดังกล่าวสามารถทำหน้าที่กีดขวางการเคลื่อนที่ของความชื้นไปยังน้ำมันได้ และกิจกรรมดังกล่าวมีผลทำให้การกระจายตัวของกรดอะมิโนอิสระในน้ำมันลดลง นั่นคือไฮดรอกซีโพรพิลเมทธิลเซลลูโลสมีคุณสมบัติในการลดการดูดซับน้ำมันในผลิตภัณฑ์อาหารทอด และจากการศึกษาของ Balasubramaniam และคณะ (1997) พบว่าฟิล์มชนิดไฮดรอกซีโพรพิลเมทธิลเซลลูโลสสามารถรักษาความชื้นและลดการดูดซับน้ำมันของลูกชิ้นไก่ทอดได้เพิ่มขึ้นร้อยละ 16.4 และ 33.7 ตามลำดับนอกจากนั้น Meyers และคณะ (1990) ศึกษาการลดการดูดซับน้ำมันในผลิตภัณฑ์ชุบแป้งทอดโดยใช้ไฮดรอกซีโพรพิลเมทธิลเซลลูโลสที่มีเมทธอกซิล (methoxyl) ร้อยละ 27 – 30 และมีไฮดรอกซีโพรพิลร้อยละ 4 – 12 ไฮดรอกซีโพรพิล-เมทธิลเซลลูโลสดังกล่าวจะถูกทำให้เป็นสารละลายก่อน แล้วเติมลงไปในแป้งชุบและเคลือบ

ผลิตภัณฑ์ก่อนทอด พบว่าผลิตภัณฑ์มีการดูดซับไขมันน้อยกว่าผลิตภัณฑ์ที่ไม่มีการเคลือบด้วยสารดังกล่าว

อายุการเก็บของผลิตภัณฑ์ (รุ่งนภา พงศ์สวัสดิ์มานิต, 2550)

อายุการเก็บของแต่ละผลิตภัณฑ์มักกำหนดจากผู้ประกอบการ โดยทั่วไป ผู้ผลิตพยายามที่จะกำหนดอายุการเก็บที่นานที่สุดที่สอดคล้องกับค่าใช้จ่าย รูปแบบของการจัดการ และการใช้ของผู้จัดจำหน่าย ผู้ค้าปลีกและผู้บริโภค แต่การระบุอายุการเก็บที่ไม่เหมาะสม เช่น นานเกินไป มักนำไปสู่การไม่ยอมรับ และการร้องเรียนจากผู้บริโภคหรืออย่างน้อยที่สุด ผู้บริโภคเกิดความไม่พอใจและนำไปสู่การลดลงในเรื่องการยอมรับและยอดขายของยี่ห้อของผลิตภัณฑ์

การที่คุณภาพของอาหารลดลง หรือการเสื่อมเสียของอาหารเกิดขึ้น เนื่องมาจากการเปลี่ยนแปลงทางด้านเคมี กายภาพและจุลินทรีย์ ซึ่งสามารถแสดงได้ด้วยสมการทางคณิตศาสตร์คือ สมการอัตราของปฏิกิริยาทางจลนพลศาสตร์ของปฏิกิริยา และสมการในรูปต่าง ๆ ที่ใช้ในทางปฏิบัติเพื่อแสดงการเปลี่ยนแปลงคุณภาพในอาหาร

การเสื่อมเสียของอาหาร หมายถึง การที่อาหารเกิดการเปลี่ยนแปลงคุณลักษณะและคุณภาพซึ่งรวมถึง สี กลิ่นรส รูปร่าง ลักษณะเนื้อสัมผัสของอาหาร และคุณค่าทางโภชนาการ ดังแสดงในตารางที่ 2 ผลจากกลไกเหล่านี้ คุณภาพของอาหารจะเปลี่ยนไปอยู่ในระดับที่ไม่เป็นที่ยอมรับของผู้บริโภคหรืออาจก่อให้เกิดอันตรายต่อผู้บริโภคได้ ดังนั้นจึงจำเป็นต้องเข้าใจปฏิกิริยาต่าง ๆ ที่ทำให้อาหารเกิดการเสื่อมเสียก่อนที่จะพัฒนาวิธีการสำหรับการประเมินอายุการเก็บของอาหาร

สาเหตุสำคัญที่ก่อให้เกิดการเสื่อมเสียของอาหาร

1. การเปลี่ยนแปลงทางกายภาพ

การเปลี่ยนแปลงชนิดแรกที่มักพบในอาหารส่วนใหญ่ เป็นการเปลี่ยนแปลงทางกายภาพ (physical changes) หรือความไม่คงตัวทางกายภาพ ซึ่งรวมถึงความเสียหายทางกายภาพ เช่น การขีดข่วนหรือรอยช้ำของผักผลไม้สด หรือการแตกของผลิตภัณฑ์ที่แห้ง เปราะ เช่น มันฝรั่งแผ่นกรอบการเปลี่ยนแปลงทางกายภาพส่วนใหญ่เกิดจากการจัดการในด้านการขนถ่ายอาหารที่ไม่ถูกวิธี ระหว่างการเก็บเกี่ยว การแปรรูป การขนส่ง และการเก็บ ที่เกี่ยวข้องกับอุณหภูมิด้วย การเปลี่ยนแปลงดังกล่าวมีผลทำให้อายุการเก็บของอาหารลดน้อยลง

การเปลี่ยนแปลงทางกายภาพในระหว่างการขนส่งและการเก็บรักษาอาหาร ได้แก่ การเกิดผลึกในอาหารบางชนิด เช่น การเกิดผลึกในน้ำผึ้ง การเกิดผลึกบนผิวของผลไม้อบแห้ง การ

เกิดผลึกเกลือที่ผิวของเนื้อรมควัน การเกิดหยดน้ำเล็ก ๆ ที่ผิวของเนยแข็งที่เก็บไว้ที่อุณหภูมิสูง และการแยกชั้นของอาหารประเภทอิมัลชัน การแตกหักของขนมขบเคี้ยวที่แห้งกรอบระหว่างการกระจายสินค้า ผักใบและพืชหัวเกิดการสูญเสียน้ำเมื่อเก็บในสภาวะบรรยากาศที่มีความชื้นต่ำ ทำให้ผลิตผลเหี่ยว ส่วนอาหารแห้งเมื่อเก็บในที่มีความชื้นสูงอาจดูดซับความชื้นและทำให้เหนียว ใน

ตารางที่ 2 คุณลักษณะของการเปลี่ยนแปลงที่เกิดขึ้นระหว่างการขนถ่าย การแปรรูปและการเก็บ

คุณลักษณะ/คุณภาพ	**การเปลี่ยนแปลง**
เนื้อสัมผัส (texture)	การสูญเสียความสามารถในการละลาย (loss of solubility) การสูญเสียความสามารถในการอุ้มน้ำ (loss of water-holding capacity) เหนียว (toughening) อ่อนตัว (softening)
กลิ่นรส (flavor)	การพัฒนา - กลิ่นหืน (อันเนื่องจากปฏิกิริยาออกซิเดชันหรือ ไฮโดรไลซิส) - กลิ่นคาราเมลหรือกลิ่นต้มสุก (cooked flavors) - กลิ่นรสแปลกปลอมอื่น ๆ - กลิ่นรสที่ต้องการ
สี (color)	สีคล้ำขึ้น (darkening) สีซีดลง (bleaching) การเกิดสีแปลกปลอม (development of other off-colors) การเกิดสีที่ต้องการ (สีน้ำตาลที่เกิดจากการอบขนมอบ)
คุณค่าทางโภชนาการ (nutritive value)	การสูญเสีย การสลายตัว หรือการเปลี่ยนแปลงของปริมาณโปรตีน ไขมัน วิตามิน เกลือแร่
ความปลอดภัย (safety)	การเกิดสารพิษ การพัฒนาสารต่าง ๆ ที่มีผลต่อสุขภาพ การสลายตัว (inactivation) ของสารพิษ

ที่มา : ดัดแปลงจาก Fennema และ Tannenbaum (1996, อ้างโดย รุ่งนภา พงศ์สวัสดิ์พานิต 2550)

กรณีอาหารแช่แข็งที่เก็บรักษาไม่ถูกต้อง มีผลทำให้อาหารเสื่อมเสีย เช่น ไอศกรีมเกิดผลึกน้ำแข็งขนาดใหญ่จากผลของปรากฏการณ์การตกผลึกซ้ำ หรือรีคริสตัลไลเซชัน (recrystallization) ซึ่งทำให้เนื้อสัมผัสของไอศกรีมเป็นทราย การเกิดฟรีเซอร์เบิร์น (freezer burn) ล้วนเป็นลักษณะคุณภาพที่ไม่ดีซึ่งเป็นผลจากการเก็บรักษาที่อุณหภูมิไม่สม่ำเสมอ

2. การเปลี่ยนแปลงทางเคมี

ในระหว่างการแปรรูปและการเก็บรักษาอาหาร การเปลี่ยนแปลงทางเคมี (chemical changes) หลายอย่างที่เกิดขึ้นล้วนเกี่ยวข้องกับองค์ประกอบภายในที่อยู่ในอาหาร และปัจจัยของสิ่งแวดล้อมที่อยู่ภายนอก การเปลี่ยนแปลงเหล่านี้อาจก่อให้เกิดการเสื่อมเสียของอาหารและทำให้อายุการเก็บลดน้อยลง ดังตารางที่ 3

การเสื่อมเสียของอาหารมักเกิดในผลิตภัณฑ์อาหารเนื่องจากปฏิกิริยาหรือการแตกตัว (breakdown) ขององค์ประกอบทางเคมีของอาหาร เช่น โปรตีน ไขมัน และคาร์โบไฮเดรต เป็นต้น อัตราที่ปฏิกิริยาทางเคมีเกิดขึ้นมักขึ้นกับปัจจัยหลายอย่าง ดังกล่าวมาแล้วข้างต้น รวมทั้งวอเตอร์แอคทิวิตี้ อุณหภูมิ ความเป็นกรดเบส และการสัมผัสกับแสงหรือออกซิเจน แต่ละปฏิกิริยามีสภาวะที่เหมาะสมแตกต่างกัน เช่น กิจกรรมของเอนไซม์จะลดลงอย่างมาก ณ วอเตอร์แอคทิวิตี้ต่ำที่มีระดับความชื้นต่ำ การเกิดของแต่ละปฏิกิริยาทางเคมีมีผลให้เกิดการเปลี่ยนแปลงทางด้านสี กลิ่นรส กลิ่นหอม และ/หรือเนื้อสัมผัสของผลิตภัณฑ์อาหาร แล้วนำไปสู่อายุการเก็บที่ลดน้อยลง

ตารางที่ 3 การเปลี่ยนแปลงทางเคมีที่มีผลให้คุณภาพของอาหารเสื่อมเสีย

ปฏิกิริยาทางเคมี
การเกิดสีน้ำตาลแบบไม่ใช้เอนไซม์ (non-enzymatic browning)
การไฮโดรไลซิสของโอลิโกและพอลิแซกคาไรด์ (oligo-and polysaccharide hydrolysis)
การเปลี่ยนแปลงไกลโคไลติก (glycolytic changes)
การไฮโดรไลซิสไขมัน (lipid hydrolysis)
การออกซิเดชันไขมัน (lipid oxidation)
การเสียสภาพของโปรตีน (protein denaturation)
การเกิดครอสลิ้งของโปรตีน (protein cross-linking)
การไฮโดรไลซิสของโปรตีน (protein hydrolysis)
การสลายตัวของเม็ดสีธรรมชาติ (degradation of natural pigments)

ที่มา : รุ่งนภา พงศ์สวัสดิ์พานิต (2550)

ปฏิกิริยาการหืนในอาหาร เป็นการเสื่อมเสียเนื่องจากปฏิกิริยาเคมีที่เกิดในอาหารพวกไขมันและน้ำมัน รวมทั้งอาหารที่มีไขมันและน้ำมันเป็นส่วนประกอบ ซึ่งเกิดจากปฏิกิริยาออกซิเดชันหรือปฏิกิริยาไฮโดรไลซิส อัตราการออกซิเดชันของไขมันมีผลจากปัจจัยหลายอย่าง โดยเฉพาะอุณหภูมิภายนอกเป็นตัวแปรที่สำคัญ การมีออกซิเจนในบริเวณที่ใกล้อาหารทำให้อัตราการออกซิเดชันเพิ่มขึ้น ในทำนองเดียวกัน น้ำมีบทบาทสำคัญเนื่องจากการออกซิเดชันของไขมันในอาหารมักเกิดด้วยอัตราสูงที่วอเตอร์แอคทิวิตี้ต่ำมาก

กลไกการเกิดออกซิเดชันของไขมัน

ในระบบของอาหารปฏิกิริยาการเกิดออกซิเดชันเกิดขึ้นได้เองตามธรรมชาติ (Autoxidation) เป็นผลให้ไขมันเสื่อมสภาพ ซึ่งกลไกพื้นฐานของปฏิกิริยานี้สามารถแบ่งได้เป็น 3 ขั้นตอน คือ ระยะเหนี่ยวนำ ระยะขยายตัวของปฏิกิริยา และ ระยะสิ้นสุด (Madhavi *et al.*, 1996) ดังนี้

1. ระยะเหนี่ยวนำ (Initiation) เป็นระยะเริ่มต้นของปฏิกิริยาซึ่งจะเกิดอนุมูลอิสระ (Free radical) ขึ้น ในระยะนี้ไฮโดรเจนอะตอมจะถูกดึงออกจากโมเลกุลของกรดไขมันที่ไม่อิ่มตัวทำให้เกิดเป็นอนุมูลอิสระของกรดไขมัน ซึ่งปฏิกิริยาเริ่มต้นเกิดขึ้นจากการกำจัดอนุมูลไฮโดรเจนออกไปจากกลุ่มอัลลิลิกเมทธิลีน (Allylic methylene group) ของกรดไขมันไม่ อิ่มตัวดังสมการที่ (1)

รูปของอนุมูลอิสระ ($R^{\bullet}$) โดยปกติจะเกิดขึ้นทันทีเมื่อมีโลหะ การฉายรังสี แสงสว่างหรือความร้อน ไฮโดรเพอร์รอกไซด์ (Hydroperoxide) ที่มีอยู่ในช่วงแรกของปฏิกิริยา ออกซิเดชันจะสลายตัวได้เป็นอนุมูลอิสระซึ่งแสดงดังสมการที่ (2) และ (3) นั่นคือ ไฮโดรเพอร์รอกไซด์จะสลายตัวออกในรูปของอนุมูลอัลคอกซี (Alkoxy radical, $RO^{\bullet}$) หรือแยกออกเป็น 2 โมเลกุล

$$RH \longrightarrow R^{\bullet} + H^{\bullet} \qquad (1)$$

$$ROOH \longrightarrow RO^{\bullet} + HO^{\bullet} \qquad (2)$$

$$2ROOH \longrightarrow RO^{\bullet} + ROO^{\bullet} + H_2O^{\bullet} \qquad (3)$$

2. ระยะขยายตัวของปฏิกิริยา (Propagation) อนุมูลอิสระที่เกิดขึ้นจะทำปฏิกิริยากับออกซิเจนได้เป็นอนุมูลเพอร์รอกซี่ (Peroxy radical, $ROO^{\bullet}$) ซึ่งสามารถทำปฏิกิริยากับสารประกอบไฮโดรคาร์บอนทำให้ได้สารประกอบไฮโดรเพอร์รอกไซด์ (Hydroperoxide, ROOH) สะสมเป็นจำนวนมากดังสมการ (4) และ (5) ปฏิกิริยาจะเกิดขึ้นอย่างต่อเนื่องแบบปฏิกิริยาลูกโซ่ ทำให้มีอนุมูลอิสระสะสมมากขึ้นในระบบ อัตราการเกิดปฏิกิริยาจะเร่งเร็วขึ้นเรื่อยๆ

$$R^{\bullet} + O_2 \longrightarrow ROO^{\bullet} \qquad (4)$$

$$ROO^{\bullet} + RH \longrightarrow ROOH + R^{\bullet} \qquad (5)$$

1. ระยะสิ้นสุด (Termination) เป็นระยะที่อนุมูลอิสระต่างๆรวมตัวกันเป็นสารประกอบใหม่ที่คงตัวจึงเป็นระยะสิ้นสุดปฏิกิริยาการเกิดออกซิเดชันดังสมการที่ (6) (7) และ (8)

$$R^{\bullet} + R^{\bullet} \longrightarrow R\text{-}R \qquad (6)$$

$$R^{\bullet} + ROO^{\bullet} \longrightarrow ROOR \qquad (7)$$

$$ROO^{\bullet} + ROO^{\bullet} \longrightarrow ROOR + O_2 \qquad (8)$$

เมื่อถึงระยะสิ้นสุดแล้วจะมีสารประกอบไฮโดรเพอร์รอกไซด์สะสมในระบบจำนวนมาก โดยปกติสารประกอบไฮโดรเพอร์รอกไซด์ไม่มีกลิ่นเฉพาะตัวแต่สารประกอบนี้สามารถสลายตัวและทำปฏิกิริยาต่อไปได้สารประกอบอินทรีย์ต่างๆได้แก่ สารประกอบจำพวกไฮโดรคาร์บอน กรด และอัลดีไฮด์ ซึ่งมีกลิ่นไม่พึงประสงค์ (Madhavi *et al.*, 1996)

นอกจากนี้ ยังมีการเกิดปฏิกิริยาระหว่างอาหารกับภาชนะบรรจุ ภาชนะบรรจุอาจทำปฏิกิริยากับส่วนประกบอในอาหารทำให้เกิดการเสื่อมเสียขึ้นได้ เช่น อาหารที่มีโปรตีนสูงอาจทำให้ปฏิกิริยากับดีบุกในกระป๋องที่ใช้เป็นภาชนะบรรจุ ทำให้เกิดตะกอนสีขาวที่มองเห็นได้ และรสชาติของอาหารเปลี่ยนแปลงไป เพื่อป้องกันการเกิดปฏิกิริยานี้ จึงควรใช้กระป๋องที่เคลือบแลคเกอร์ (lacquer) ไว้ภายใน ส่วนอาหารที่มีความเป็นกรด เช่น ผลิตภัณฑ์มะเขือเทศ ก็อาจเกิดปฏิกิริยากับเหล็กที่เป็นส่วนประกบอของกระป๋องที่ใช้เกิดแก๊สไฮโดรเจนทำให้กระป๋องบวม เป็นต้น

3. การเปลี่ยนแปลงทางด้านจุลินทรีย์

การเสื่อมเสียของอาหารที่เกิดจากจุลินทรีย์อาจเรียกว่า การเน่าเสีย (spoilage) จุลินทรีย์ทำให้อาหารเน่าเสียได้โดยเจริญเติบโตเพิ่มจำนวน และทำให้ส่วนประกอบทางกายภาพและทางเคมีของอาหารนั้นเกิดการเปลี่ยนแปลง อาหารที่เกิดการเน่าเสียอาจเป็นอันตรายและทำให้ผู้บริโภคการเจ็บป่วย หรือเกิดเป็นพิษขึ้น หากจุลินทรีย์ที่ทำให้อาหารเน่าเสียนั้นเป็นจุลินทรีย์ชนิดที่ทำให้เกิดโรคกับมนุษย์ แต่ถ้าจุลินทรีย์ที่ทำให้อาหารเน่าเสียไม่ทำให้เกิดโรคกับมนุษย์ อาหารที่เน่าเสียนั้นก็เพียงแต่เสื่อมคุณภาพ และอาจอยู่ในสภาพที่ไม่น่ารับประทาน อย่างไรก็ตาม การเน่าเสียของอาหารจากจุลินทรีย์ส่วนใหญ่ทำให้เกิดอันตรายต่อผู้บริโภค และยากที่จะป้องกัน

ในการประเมินผลของจุลินทรีย์ต่ออายุการเก็บของอาหาร จำเป็นต้องทราบอัตราการเติบโตของจุลินทรีย์ซึ่งเป็นฟังก์ชันกับปัจจัยสิ่งแวดล้อมต่าง ๆ จุลินทรีย์มีความสามารถในการแบ่งตัวในอัตราที่สูงกว่าเมื่ออยู่ในสภาวะที่เหมาะสม ผักและผลไม้ ก่อนการเก็บเกี่ยวจะมีกลไกการป้องกันต่อการเข้าทำลายของจุลินทรีย์ที่ดี อย่างไรก็ตาม หลังการเก็บเกี่ยวจากต้น ผักผลไม้จะถูกทำลายด้วยจุลินทรีย์ได้ง่ายขึ้น ในทำนองเดียวกัน เนื้อที่ผ่านการฆ่าแล้วจุลินทรีย์ก็สามารถเจริญเติบโตได้เร็วมาก การเจริญเติบโตของจุลินทรีย์ทำให้อาหารเกิดการเสื่อมเสียโดยเกิดลักษณะทางด้านประสาทสัมผัสที่ไม่ต้องการ และบางครั้งอาจทำให้อาหารไม่ปลอดภัยต่อการบริโภค

จุลินทรีย์ที่พบในอาหารและทำให้เกิดการเน่าเสียหรือทำให้เกิดอาหารเป็นพิษ แบ่งได้เป็น 3 ประเภทใหญ่ ๆ คือ แบคทีเรีย ยีสต์ และรา จุลินทรีย์แต่ละประเภทจะทำให้อาหารเกิดการเสื่อมเสียดังนี้

(1) การเสื่อมเสียของอาหารเนื่องจากแบคทีเรีย

แบคทีเรีย สามารถเจริญเติบโตได้ในอาหารหลายชนิด และบางชนิดยังสร้างสปอร์ที่ทนความร้อน ความเย็น สารเคมี และสภาพแวดล้อมต่าง ๆ ได้ดี ดังนั้นแบคทีเรียจึงเป็นสาเหตุที่ทำให้อาหารเกิดการเน่าเสียได้มากที่สุด โดยเฉพาะอาหารที่มีความชื้นสูงและมีความเป็นกรดเบสที่เป็นกลาง เช่น เนื้อสัตว์ ปลา นม ไข่ เป็นต้น

อาหารที่เน่าเสียจากแบคทีเรียมักมีกลิ่นรสและลักษณะผิดปกติ เช่น มีกลิ่นรสเปรี้ยว และมีแก๊สเกิดขึ้น แบคทีเรียบางชนิดนอกจากทำให้อาหารเกิดการเน่าเสีย ยังทำให้อาหารเป็นพิษ ไม่ปลอดภัยต่อการบริโภค ซึ่งอาจเป็นอันตรายถึงแก่ชีวิตได้ โดยความเป็นพิษอาจเกิดจากการบริโภคตัวแบคทีเรียที่ปนเปื้อนอยู่ในอาหารเข้าไป แล้วแบคทีเรียเข้าไปเจริญเติบโตเพิ่มจำนวนในลำไส้ ทำให้เกิดอาการพิษขึ้นที่เรียกว่า food infection หรือการเป็นพิษอาจเกิดจากการบริโภคสารพิษที่แบคทีเรียสร้างขึ้นเข้าไปในร่างกาย โดยไม่ได้บริโภคตัวแบคทีเรีย ที่เรียกว่า food intoxication แบคทีเรียที่ทำให้เกิดอาหารเป็นพิษที่สำคัญ ได้แก่ ซาลโมเนลลา (*Salmonella*) ชิเจลลา (*Shigella*) แคมไพโลแบคเทอร์ เจจูไน (*Campylobacter jejuni*) สเตฟิโลคอกคัส ออเรียส (*Staphylococcus aureus*) คลอสทริเดียม โบทูลินัม (*Clostridium botulinum*) คลอสทริเดียม เพอร์ฟรินเจนส์ (*Clostridium perfringens*) บาซิลลัส ซีเรียส (*Bacillus cereus*) และลิสทีเรีย มอโนไซโทจีเนส (*Listeria monocytogenes*)

(2) การเสื่อมเสียของอาหารเนื่องจากยีสต์

ยีสต์จะเปลี่ยนน้ำตาลให้เป็นแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์และเอทิลแอลกอฮอล์ ทำให้อาหารที่เน่าเสียจากยีสต์มีฟองแก๊ส และมีกลิ่นรสของแอลกอฮอล์ที่คล้ายกับกลิ่นหมัก ยีสต์ส่วนใหญ่จะเจริญได้ดีในสภาวะที่เป็นกรด จึงมักทำให้อาหารที่มีความเป็นกรดหรือน้ำตาลสูง เช่น กะหล่ำปลีดอง (sauerkraut) น้ำผลไม้ น้ำเชื่อม กากน้ำตาล น้ำผึ้ง เยลลี่ โยเกิร์ต เป็นต้น เกิดการเสื่อมเสียขึ้น

(3) การเสื่อมเสียของอาหารเนื่องจากรา

ราสามารถเจริญเติบโตได้ในอาหารหลายชนิด คือ ราอาจเจริญได้ทั้งในอาหารที่เป็นกรด เช่น มะนาว อาหารที่เป็นกลาง เช่น ขนมปัง เนื้อสัตว์ และอาหารที่มีปริมาณน้ำตาลสูง เช่น แยม เยลลี่ เป็นต้น อาหารที่เสื่อมเสียจากเชื้อราส่วนใหญ่มักเก็บไว้ในที่ค่อนข้างมืด อับชื้น เมื่อราขึ้นในอาหารก็จะสามารถมองเห็นเส้นใยที่มีลักษณะคล้ายปุยนุ่น สีขาว เขียว ดำ หรือ สีอื่น ๆ ขึ้นกับชนิดของเชื้อรา เชื้อราบางชนิดเมื่อขึ้นในอาหารแล้วสามารถสร้างสารพิษที่เป็นอันตรายต่อผู้บริโภคอาหารนั้นด้วย สารพิษจากเชื้อราเรียกว่า ไมโคทอกซิน (mycotoxin) ที่รู้จักกันดี คือ อะฟลาทอกซิน

(aflatoxin) โอคราทอซิน (ochratoxin) พบในถั่วลิสง ข้าว ข้าวโพด และมีผลให้ผู้บริโภคอาหารที่ปนเปื้อนสารพิษเหล่านี้เป็นโรคมะเร็งในตับได้

การลดหรือป้องกันการเจริญเติบโตของจุลินทรีย์ในอาหารอาจกระทำได้หลายอย่าง รวมทั้งการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิของสิ่งแวดล้อม เช่น การลดอุณหภูมิเพื่อลดกระบวนการเติบโตของจุลินทรีย์หรือการเพิ่มอุณหภูมิเพื่อทำลายจุลินทรีย์ การกำจัดน้ำเพื่อให้จุลินทรีย์เจริญเติบโตไม่ได้ หรือการควบคุมแก๊สของสิ่งแวดล้อม เช่น ลดความเข้มข้นของออกซิเจน หรือเพิ่มความเข้มข้นของคาร์บอนไดออกไซด์ การลดหรือหยุดการเติบโตของจุลินทรีย์โดยการเติมกรดและการทำให้เกิดการหมักเพื่อลด pH ดังกล่าวมาแล้ว

การศึกษาอายุการเก็บมีวัตถุประสงค์ คือ เพื่อคงคุณภาพผลิตภัณฑ์ที่เหมาะสมในช่วงเวลาที่ต้องการภายใต้สภาวะการเก็บและการขนส่งหนึ่ง ๆ โดยอายุการเก็บของอาหารต่าง ๆ มีความแตกต่างกัน ดังแสดงในตารางที่ 4 และขึ้นอยู่กับอุณหภูมิการเก็บด้วย

ด้วยเหตุนี้ จึงจำเป็นต้องทราบปัจจัยที่มีผลต่ออายุการเก็บ และกลไกการเสื่อมเสียที่มักมีความสัมพันธ์กันอย่างมาก ความรู้ทางด้านกลไกการเสื่อมเสียดังกล่าวมาแล้ว นำไปสู่การระบุปัจจัยที่มีผลต่ออายุการเก็บที่ถูกต้อง หลักการระบุปัจจัยได้แล้ว ลำดับถัดมาจำเป็นต้องควบคุมพารามิเตอร์และติดตามเช่นเดียวกันกับการดำเนินการทางด้าน HACCP (Hazard analysis critical control point) เพื่อให้อายุการเก็บที่ระบุไว้มีความสม่ำเสมอ หรือเมื่อต้องการยืดอายุการเก็บ ก็สามารถกระทำได้ด้วยการควบคุมปัจจัยเหล่านั้น โดยทั่วไป ปัจจัยที่มีผลต่ออายุการเก็บได้แก่

ตารางที่ 4 อายุการเก็บของผลิตภัณฑ์ต่าง ๆ ที่ระบุปัจจัยการเปลี่ยนแปลงต่ออายุการเก็บ

ผลิตภัณฑ์อาหาร	อายุการเก็บ	ปัจจัยหลักที่มีผลต่อคุณภาพ
ขนมปัง	ประมาณ 1 สัปดาห์ ณ อุณหภูมิห้อง	กลิ่นรสเหม็นอับ (stale flavor) การเปลี่ยนแปลงเนื้อสัมผัส
ซอส, เดรสซิง	1-2 ปี ณ อุณหภูมิห้อง	กลิ่นรสเหม็นอับ/เหมือนหืน การเปลี่ยนแปลงสี
ผลิตภัณฑ์หมักดอง	2-3 ปี ณ อุณหภูมิห้อง	กลิ่นรสเหม็นอับ การเปลี่ยนแปลงเนื้อสัมผัส
อาหารแช่เย็น	สูงถึง 4 เดือน ณ อุณหภูมิ 0-8 °C	การเสื่อมเสียจากเชื้อจุลินทรีย์การเปลี่ยนแปลงกลิ่นรส
อาหารแช่แข็ง	1-1.5 ปี ในห้องแช่แข็ง	การเปลี่ยนแปลงเนื้อสัมผัสและสี
อาหารกระป๋อง (ที่ไม่เคลือบแลคเกอร์)	1-1.5 ปี ณ อุณหภูมิห้อง	การละลายของตีบุกและเข้าสู่ผลิตภัณฑ์
อาหารกระป๋อง (ที่เคลือบแลคเกอร์)	2-4 ปี ณ อุณหภูมิห้อง	การเปลี่ยนแปลงเนื้อสัมผัสและกลิ่นรส

ที่มา : รุ่งนภา พงศ์สวัสดิ์พานิต (2550)

1. ปัจจัยภายใน (intrinsic factors)

ปัจจัยภายใน เป็นปัจจัยที่เกี่ยวข้องผลิตภัณฑ์ดังนี้ คือ ชนิดและคุณภาพของวัตถุดิบ องค์ประกอบ สูตร และโครงสร้างผลิตภัณฑ์ (ปริมาณสารอาหาร) วอเตอร์แอคทิวิตี้ (a_w) (ปริมาณน้ำที่จุลินทรีย์นำไปใช้ได้หรือที่เกี่ยวข้องกับปฏิกิริยาทางเคมี) ค่าความเป็นกรดเบส (pH) และความเป็นกรดทั้งหมด ชนิดของกรด ค่า รีดอกพอเทนเชียล (redox potential: Eh) รวมทั้งจุลินทรีย์ที่มีอยู่ตามธรรมชาติ และจำนวนจุลินทรีย์ที่หลงเหลือ

2. ปัจจัยภายนอก

ปัจจัยภายนอกเป็นปัจจัยที่ผลิตภัณฑ์สุดท้ายต้องพบในขณะที่เคลื่อนที่ผ่านโซ่อาหาร ได้แก่

- การแปรรูป มักมีผลอย่างมากต่อสมบัติทางด้านจุลินทรีย์ กายภาพ เคมี คุณค่าทางโภชนาการ และทางด้านประสาทสัมผัส โดยเกี่ยวข้องกับการเตรียมวัตถุดิบ/การลดขนาด รวมทั้งอุณหภูมิและเวลาที่ผลิตภัณฑ์ได้รับระหว่างการแปรรูป ความดันในช่องว่างเหนืออาหารหรือผลิตภัณฑ์
- สุขลักษณะ จำนวนจุลินทรีย์ในบรรยากาศระหว่างการแปรรูป การเก็บ และการกระจายสินค้า (distribution)
- ภาชนะบรรจุและระบบการบรรจุ
- การเก็บ การขนส่งและการวางจำหน่าย

3. อันตรกิริยาของปัจจัยภายนอกและปัจจัยภายใน

ทั้งปัจจัยภายใน (เช่น องค์ประกอบของผลิตภัณฑ์) และปัจจัยภายนอก (เช่น การแปรรูป) ต่างมีผลต่ออายุการเก็บหรือมีผลในลักษณะที่มีปฏิสัมพันธ์ต่อกัน ตัวอย่างเช่น อาหารบรรจุกระป๋องที่จำหน่ายในประเทศที่มีอากาศร้อนจะต้องผ่านกระบวนการให้ความร้อน ที่รุนแรงกว่าเพื่อป้องกันการเสื่อมเสียจากแบคทีเรียในกลุ่มเทอร์โมฟิลิค (thermophillic bacteria)

ปัจจัยทั้งหมด มักเกิดขึ้นในลักษณะที่เกี่ยวข้องสัมพันธ์กันและไม่สามารถทำนายได้ และจำเป็นต้องศึกษาปฏิสัมพันธ์เหล่านี้

การใช้ปัจจัยต่าง ๆ เช่น วอเตอร์แอคทิวิตี้ ความเป็นกรดเบส การลดอุณหภูมิ การให้ความร้อนเล็กน้อย ปฏิกิริยาของสารแอนติออกซิเดนท์ (antioxidant) (หรือเรียก ตัวต้านออกซิเดชัน) และภาชนะบรรจุที่ควบคุมบรรยากาศ เพื่อยับยั้งการเติบโตของจุลินทรีย์ เรียกว่า ผลของเฮอร์เดิล

(hurdle effect) ถ้าใช้แต่ละปัจจัยจะไม่สามารถป้องกันการเติบโตของจุลินทรีย์ แต่ถ้าใช้ปัจจัยเหล่านี้รวมกันแล้ว จะได้เฮอร์เดิลที่ต่ออนุกรมกัน ทำให้การแปรรูปใช้เทคนิคที่ไม่รุนแรงนัก และยังคงคุณภาพทางด้านประสาทสัมผัสและคุณค่าทางโภชนาการไว้ได้

4. ภาชนะบรรจุ

บทบาทหนึ่งที่สำคัญของภาชนะบรรจุ คือ การยับยั้งการเสื่อมเสียที่อาจเกิดขึ้น ดังนั้นความคงตัวด้านความปลอดภัยและการยอมรับของผู้บริโภคของอาหารทั้งสดและผ่านการแปรรูปมักขึ้นกับการป้องกันที่เกิดขึ้นจากภาชนะบรรจุ การใช้บรรจุภัณฑ์ที่ดีสามารถป้องกันการเสื่อมเสียจากบรรยากาศ ทำให้อายุการเก็บนานขึ้นเมื่อเปรียบเทียบกับอายุการเก็บของผลิตภัณฑ์เดียวกันแต่ใช้บรรจุภัณฑ์ที่ไม่ดีพอ คือป้องกันการเสื่อมเสียจากบรรยากาศได้น้อยกว่า

ภาชนะบรรจุและการบรรจุผลิตภัณฑ์อาหาร

คุณสมบัติพื้นฐานของวัสดุบรรจุ

คุณสมบัติสำคัญของภาชนะบรรจุที่จะต้องนำมาพิจารณามีดังนี้ คือ (งามทิพย์ ภู่วโรดม, 2537)

1. การซึมผ่านของก๊าซ (Gas Permeability)

การกำหนดค่าอัตราการซึมผ่านของก๊าซเพื่อเลือกชนิดของภาชนะบรรจุที่จะนำมาใช้นั้นขึ้นกับปัจจัยหลายประการคือ ชนิดของผลิตภัณฑ์ อายุการเก็บรักษาและสภาวะการเก็บรักษา โดยทั่วไปเมื่อต้องการใช้ภาชนะบรรจุที่ป้องกันก๊าซได้ดีมากควรเลือกภาชนะบรรจุที่ทำมาจากวัสดุที่มีค่าอัตราการซึมผ่านของก๊าซออกซิเจนไม่เกิน 2 ลูกบาศก์เซนติเมตรต่อ 1 ตารางเมตรต่อ 1 บรรยากาศต่อ 24 ชั่วโมง

2. อัตราการซึมผ่านของไอน้ำ (Water Vapor Transmission Rate, WVTR)

กรณีที่ต้องการภาชนะบรรจุที่ป้องกันไอน้ำได้ดีควรพิจารณาภาชนะบรรจุที่มีค่า WVTR ไม่เกิน 4 – 6 กรัม ต่อ 1 ตารางเมตรต่อ 24 ชั่วโมง อัตราการซึมผ่านของไอน้ำ ก๊าซออกซิเจนและก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ของบรรจุภัณฑ์พลาสติกชนิดต่างๆ แสดงดังตารางที่ 5

3. การปิดผนึกด้วยความร้อน (Heat Sealability)

ผลิตภัณฑ์ที่บรรจุโดยระบบการแลกเปลี่ยนก๊าซ (Gas Exchange Packaging) นิยมใช้ภาชนะบรรจุที่สามารถปิดผนึกได้ด้วยความร้อนมากที่สุด สาเหตุที่การปิดผนึกด้วยความร้อนได้รับความนิยมมากที่สุด เนื่องจากการปิดผนึกสนิทแน่นดีมาก ป้องกันการผ่านเข้าออกของกลิ่น ก๊าซ ไอน้ำและจุลินทรีย์ได้ดีมาก การปิดผนึกทำได้สะดวก เครื่องมือที่ใช้ราคาไม่สูงมากและระยะเวลาที่ใช้ในการปิดผนึกสั้นมาก ดังนั้นวัสดุบรรจุที่นิยมใช้กับการบรรจุแบบการแลกเปลี่ยนก๊าซจึงเป็นฟิล์ม

หลายชั้น โดยแต่ละชั้นจะทำหน้าที่แตกต่างกันออกไป เช่น ป้องกันการซึมผ่านของกลิ่น ก๊าซและไอน้ำ ป้องกันแสง หรือเป็นชั้นสำหรับ การพิมพ์เป็นต้น ฟิล์มชั้นในสุด (ชั้นที่สัมผัสกับผลิตภัณฑ์) จะทำหน้าที่เป็นตัวกลางสำหรับการปิดผนึกภาชนะบรรจุด้วยความร้อน ฟิล์มพลาสติกที่นิยมใช้มาก เช่น ถุงพอลิเอทิลีนที่มี

ตารางที่ 5 อัตราการซึมผ่านของไอน้ำ ก๊าซออกซิเจนและก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ของ บรรจุภัณฑ์พลาสติก

Type of plastic	Thickness of plastic (mm.)	Water Vapour Transmission Rate ($g./m.^2/day$)	Oxygen Transmission Rate ($g./m.^2/day$)	Carbon Dioxide Transmission Rate ($g./m.^2/day$)
LDPE	0.15	17.6	2700	-*
LLDPE	0.02	23	5800	29000
Nylon	0.013	1.6	34	153
PET/Al/PE	12/12/75	< 0.5	< 0.5	< 1.4
ON/Al/PE	15/12/75	< 0.5	< 0.5	< 1.4
Nylon	0.013	1.6	34	153

ที่มา: ดัดแปลงจาก Cheman *et al.* (1995); Thai packaging center (1990); งามทิพย์ ภู่วโรดม (2537)

* no information

Stand for Al and ON is aluminium and oriented nylon film respectively.

ความหนาแน่นต่ำ (Low Density Polyethylene, LDPE) หรือ ถุงพอลิโพรพิลีน (Polypropylene, PP) เป็นต้น

4. การป้องกันการซึมผ่านของไขมัน (Grease and Oil Resistance)

คุณสมบัตินี้มีความสำคัญมากกับผลิตภัณฑ์ที่มีไขมันมาก ฟิล์มพลาสติกชั้นในสุดนั้นนอกจากทำหน้าที่ปิดผนึกด้วยความร้อนแล้วยังต้องป้องกันไขมันจากผลิตภัณฑ์ไม่ให้ซึมผ่านมาที่ฟิล์มชั้นถัดออกมาหรือจนกระทั่งออกมาภายนอกภาชนะบรรจุได้ ซึ่งจะทำให้เกิด ผลเสียคือ ทำให้ฟิล์มหลายชั้นลอกออกจากกันได้ ไขมันที่ซึมออกมาภายนอกจะถูก ออกซิไดส์ได้ง่ายทำให้ผลิตภัณฑ์เหม็นหืนและลักษณะปรากฏไม่เป็นที่ยอมรับของผู้บริโภค เนื่องจากเข้าใจว่าเป็นผลิตภัณฑ์เก่า ฟิล์มพลาสติกชั้นในสุดที่นิยมใช้ในกรณีนี้ เช่น ถุง คาสติ้งพอลิโพรพิลีน (Casting Polypropylene, CPP) ถุงไอโอโนเมอร์ (Ionomer) เป็นต้น ส่วนฟิล์มที่เป็นโครงสร้างหลักของฟิล์ม

หลายชั้นจะนิยมใช้ฟิล์มไนลอน (Nylon) ฟิล์ม พอลิเอทิลีน เทเรฟทาเลต (Polyethylene Terepthalate, PET) พอลิไวนิลคลอไรด์ (Polyvinyl Chloride, PVC) เป็นต้น

5. การป้องกันแสง (Opacity)

คุณสมบัตินี้เป็นคุณสมบัติรอง จะมีความจำเป็นกับผลิตภัณฑ์ที่ไวต่อแสงหรือ ผลิตภัณฑ์ที่มีไขมันมากเท่านั้น วัสดุทึบแสงอาจเลือกใช้วัสดุหลายชั้นที่มีแผ่นเปลวอลูมิเนียมรวมอยู่ด้วย

6. ความเหมาะสมกับเครื่องบรรจุอัตโนมัติ (Machinability)

คุณสมบัตินี้สำคัญมากสำหรับการผลิตในอุตสาหกรรมใหญ่ การบรรจุจะใช้ เครื่องจักรอัตโนมัติทั้งสิ้น วัสดุที่นำมาใช้จะต้องไม่ก่อปัญหา เช่น เกาะติดกับผิวโลหะ ดึงออกจากม้วนฟิล์มยาก เป็นต้น การเลือกวัสดุบรรจุที่เหมาะสมจึงต้องพิจารณาความ เหมาะสมกับทั้งผลิตภัณฑ์และเครื่องบรรจุไปพร้อมๆกัน

7. ลักษณะปรากฏและอำนวยความสะดวกให้ผู้บริโภค

ในปัจจุบันการออกแบบภาชนะบรรจุผลิตภัณฑ์อาหารและผลิตภัณฑ์อื่นๆ จะต้องคำนึงถึงผลทางด้านการตลาดด้วย ภาชนะบรรจุต้องช่วยส่งเสริมการจำหน่ายได้ การ ออกแบบภาชนะบรรจุจึงต้องคำนึงถึงความสวยงามและสื่อความหมายให้ผู้บริโภคทราบถึงคุณลักษณะของผลิตภัณฑ์ นอกจากนี้ต้องอำนวยความสะดวกในการนำผลิตภัณฑ์มาใช้ เช่น เปิด-ปิดได้ง่าย ใช้สำหรับการอุ่นหรือปรุงสุกได้ เป็นต้น

วัตถุประสงค์

1. เพื่อสร้างแนวความคิดด้านคุณลักษณะทางประสาทสัมผัสของผลิตภัณฑ์เบอร์เกอร์กุ้งชุบแป้งทอดจากกลุ่มผู้บริโภคเป้าหมาย

2. เพื่อศึกษาอัตราส่วนของแป้งมันสำปะหลังดัดแปร โซเดียมอัลจิเนตและไอโอต้าคาราจีแนนที่เหมาะสมต่อปัจจัยคุณภาพด้านความฉ่ำน้ำของผลิตภัณฑ์เบอร์เกอร์กุ้งชุบแป้งทอด

3. เพื่อศึกษาอัตราส่วนของแป้งข้าวเจ้าและแป้งข้าวโพดที่เป็นส่วนผสมของแป้งชุบทอดที่เหมาะสมต่อความกรอบและการดูดซับไขมันของผลิตภัณฑ์เบอร์เกอร์กุ้งชุบแป้งทอด

4. เพื่อศึกษาระดับความเข้มข้นของเมทธิลเซลลูโลสและไฮดรอกซีโพรพิลเมทธิลเซลลูโลสต่อความกรอบและการดูดซับไขมันของผลิตภัณฑ์เบอร์เกอร์กุ้งชุบแป้งทอด

5. เพื่อศึกษาการยอมรับของผู้บริโภคต่อผลิตภัณฑ์เบอร์เกอร์กุ้งชุบแป้งทอดที่ได้รับการพัฒนา

6. เพื่อศึกษาการเปลี่ยนแปลงทางเคมี กายภาพ และทางประสาทสัมผัสของผลิตภัณฑ์เบอร์เกอร์กุ้งชุบแป้งทอดระหว่างการเก็บรักษาที่ -18°ซ เป็นระยะเวลา 6 เดือน

บทที่ 2

วัสดุ อุปกรณ์และวิธีการทดลอง

วัสดุ

1. กุ้งขาวสายพันธุ์แวนนาไม (*Litopenaeus vannamei*) ขนาด 90 ตัวต่อกิโลกรัม ซื้อมาจากโรงงานอุตสาหกรรม โดยมีระยะเวลาตั้งแต่จับจนถึงโรงงาน 24-36 ชั่วโมง และเก็บรักษาในน้ำแข็ง ซึ่งมีอัตราส่วนกุ้งต่อน้ำแข็งเท่ากับ 1:2 บรรจุในกล่องโฟม ในระหว่างการขนส่งมายังห้องปฏิบัติการคณะอุตสาหกรรมเกษตรภายใน 1 ชั่วโมง จากนั้นนำกุ้งมาล้างปอกเปลือก ตัดหัวและบดกุ้งด้วยเครื่อง สับผสมเป็นเวลา 10 วินาที เก็บกุ้งบดไว้ในถุงพอลิเอทิลีน (polyethylene) แล้วเก็บรักษาในน้ำแข็งจนกระทั่งใช้งาน

2. เครื่องปรุงสำหรับผลิตผลิตภัณฑ์เบอร์เกอร์กุ้ง ประกอบด้วย เกลือป่นตราปรุงทิพย์ (บริษัท อุตสาหกรรมเกลือบริสุทธิ์ จำกัด) พริกไทยป่นตรามือที่หนึ่ง (บริษัท ง่วนซุน มือที่หนึ่ง จำกัด) มัสตาร์ดตราเฟร้นช์ (บริษัท เรกคิทท์ เบนคีเซอร์ อิงค์ จำกัด) เนยแข็งพามิซาน ตราคราฟท์ (บริษัท คราฟท์ ฟู้ดส์ (ประเทศไทย) จำกัด) และเกล็ดขนมปังปรุงรสตราครัสโต (บริษัท โกลโบ ฟู้ดส์ จำกัด)

3. วัสดุสำหรับผลิตแป้งชุบ ประกอบด้วย

3.1 แป้งสาลีอเนกประสงค์ตรากบ (บริษัท อุตสาหกรรมแป้งข้าวสาลีไทย จำกัด) แป้งข้าวโพดตราโอเชี่ยน (บริษัท โอเชี่ยนฟู้ดส์ (ประเทศไทย) จำกัด) และแป้งข้าวเจ้าตราช้างสามเศียร (บริษัท โรงเส้นหมี่ซอเฮง จำกัด)

3.2 เกล็ดขนมปังแบบญี่ปุ่นตราฟาร์มเฮาส์ (บริษัท เพรซิเดนท์ เบเกอรี่ จำกัด) ที่มีขนาดไม่เกิน 2.80 มิลลิเมตร

4. สารไฮโดรคอลลอยด์ ได้แก่ โซเดียมอัลจิเนต (บริษัท ยูเนี่ยนเคมิเคิล 1986 จำกัด) ไอโอต้าคาราจีแนน (บริษัท ซิกมา-อัลดริช จำกัด) เมทธิลเซลลูโลส (บริษัทซิกมา-อัลดริช จำกัด) และไฮดรอกซีโพรพิลเมทธิลเซลลูโลส (บริษัท ฟลูกา จำกัด) แป้งดัดแปร ได้แก่ แป้งมันสำปะหลังดัดแปรเนชั่นแนล 7 (บริษัท เนชั่นแนล สตาร์ชแอนด์เคมิเคิล (ไทยแลนด์) จำกัด) และ Crisp Film หรือแป้งข้าวโพดดัดแปรที่มีปริมาณอะไมโลสสูง (บริษัทเนชั่นแนล สตาร์ชแอนด์เคมิเคิล (ไทยแลนด์) จำกัด)

5. สารให้กลิ่นรสกุ้งชนิดผง (บริษัท รามา โปรดักชัน จำกัด)

6. Tertiary butyl hydroquinine (TBHQ) (Sigma, ประเทศสหรัฐอเมริกา)

7. น้ำมันปาล์มตรามรกต (บริษัท มรกต อินดัสตรี้ส์ จำกัด)

8. สารเคมีสำหรับการวิเคราะห์ปริมาณไขมัน

9. ถุงพลาสติกชนิดไนลอนประกบกับแอลแอลดีพีอี (Nylon laminated with linear low density polyethylene, Nylon/LLDPE) ขนาด 15×30 เซนติเมตร หนา 0.08 มม. มีอัตราการซึมผ่านก๊าซ CO_2และ O_2เท่ากับ 4.7และ 2.6 ซม.^{2} /ม.^{2} /100 นิ้ว^2 /วัน/บรรยากาศ ที่อุณหภูมิ 25°ซ และค่าความชื้นสัมพัทธ์เท่ากับร้อยละ 0 อัตราการซึมผ่านไอน้ำเท่ากับ 24-26 ก./ม.^{2}/100 นิ้ว^2/วัน/บรรยากาศ ที่อุณหภูมิ 68°ซ และค่าความชื้นสัมพัทธ์เท่ากับร้อยละ 90

อุปกรณ์

1. อุปกรณ์และเครื่องมือที่ใช้ในการผลิตผลิตภัณฑ์เบอร์เกอร์กุ้งชุบแป้งทอด ประกอบด้วย

1.1 เครื่องชั่งไฟฟ้าแบบละเอียดทศนิยม 2 ตำแหน่ง ยี่ห้อ Sartorius รุ่น BP2100S ประเทศเยอรมนี และเครื่องชั่งแบบละเอียดทศนิยม 4 ตำแหน่ง ยี่ห้อ Mettler Toledo รุ่น AB 204 ประเทศสวิตเซอร์แลนด์

1.2 เครื่องสับผสม ยี่ห้อ Moulinex รุ่น Masterchef-350 ประเทศฝรั่งเศส

1.3 เครื่องนวดผสม ยี่ห้อ King รุ่น K-05 ประเทศญี่ปุ่น

1.4 แบบขึ้นรูปเบอร์เกอร์ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 8 ซม. หนา 1 ซม.

1.5 เครื่องทอดไฟฟ้า

1.6 เทอร์โมคัปเปิล ยี่ห้อ Union รุ่น 305

2. อุปกรณ์และเครื่องมือสำหรับการวิเคราะห์ทางกายภาพ

2.1 เครื่องวัดความหนืด ยี่ห้อ Brookfield viscometer รุ่น RVDII ประเทศสหรัฐอเมริกา

2.2 เครื่องวัดค่าสี ยี่ห้อ Hunter Lab รุ่น ColourFlex ประเทศสหรัฐอเมริกา

2.3 เครื่องวัดลักษณะเนื้อสัมผัส ยี่ห้อ Texture Analyzer รุ่น TA-XT2i ประเทศอังกฤษ

2.4 เครื่องหมุนเหวี่ยง ยี่ห้อ Sorvall รุ่น RC - 5B plus ประเทศสหรัฐอเมริกา

2.5 เตาอบไฟฟ้า ยี่ห้อ Moulinex ประเทศฝรั่งเศส

3. อุปกรณ์และเครื่องมือสำหรับการวิเคราะห์ทางเคมี ได้แก่ ปริมาณความชื้นและไขมัน

4. อุปกรณ์และเครื่องมือสำหรับการประเมินคุณภาพทางประสาทสัมผัส

วิธีการทดลอง

1. การสร้างแนวความคิดด้านคุณลักษณะทางประสาทสัมผัสของผลิตภัณฑ์ (product sensory concept development)

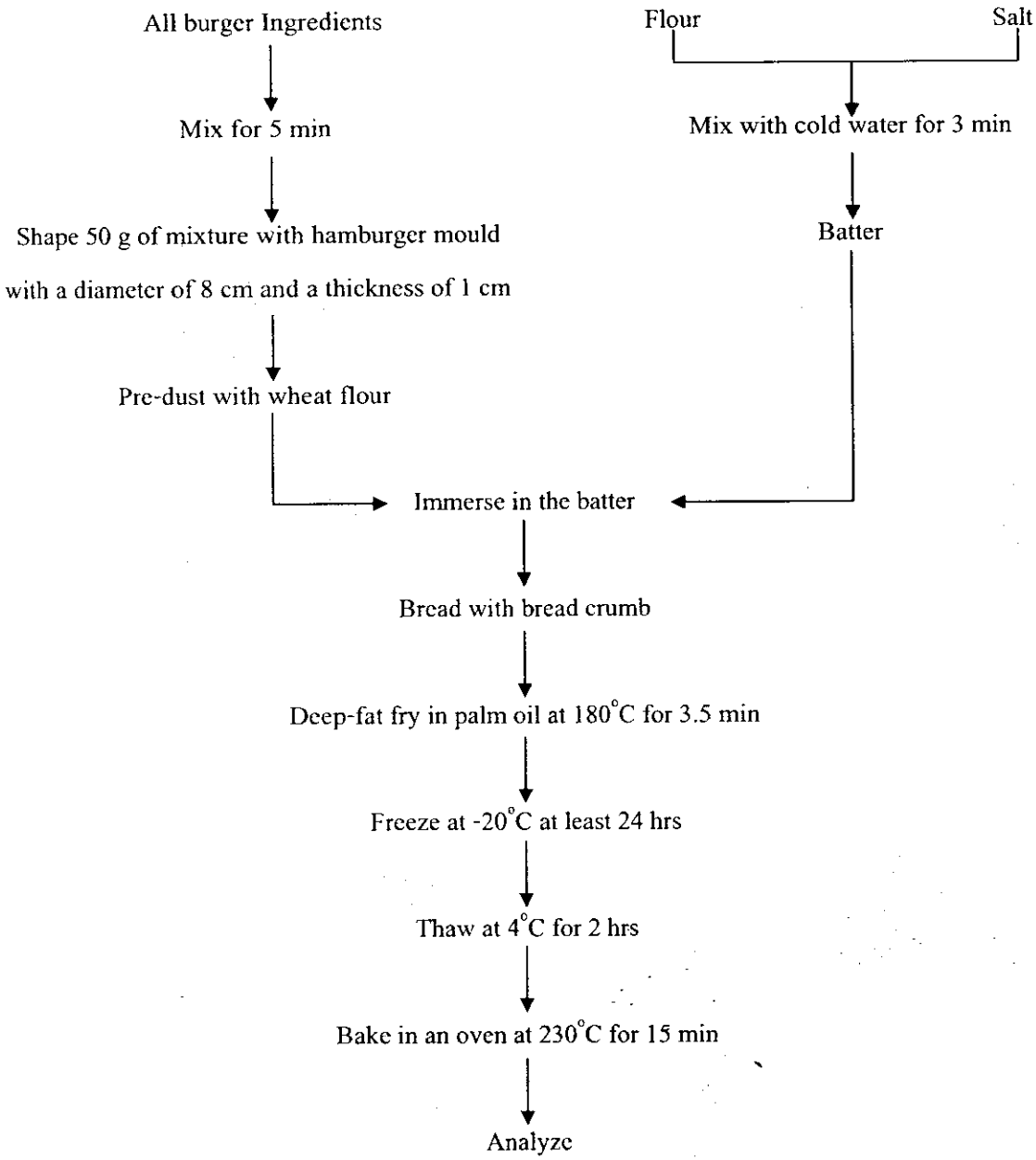
1.1 การเตรียมผลิตภัณฑ์เบอร์เกอร์กุ้งชุบแป้งทอดสูตรจำลอง (mock-up)

ทำการผลิตผลิตภัณฑ์เบอร์เกอร์กุ้งชุบแป้งทอดสูตรจำลอง โดยเตรียมส่วนผสมของผลิตภัณฑ์ดังแสดงในตารางที่ 6 (ศิริเฉลิม สวัสดิวัตน์, 2543; Mimi Bobeck, 2004) ส่วนผสมของแป้งชุบประกอบด้วย แป้งสาลีอเนกประสงค์ แป้งข้าวโพด Crisp Film และเกลือป่นในอัตราส่วนร้อยละ 69.08 5.7 20 และ 5.5 ตามลำดับ โดยผสมส่วนผสมแห้งต่อน้ำในอัตราส่วน 1 ต่อ 1.2 (น้ำหนักต่อน้ำหนัก) จากนั้นนำมาผลิตเบอร์เกอร์กุ้งชุบแป้งทอดจำลองตามขั้นตอนดังภาพที่ 9 โดยควบคุมการชุบแป้งและการชุบเกล็ดขนมปังให้ได้ร้อยละ 20 ± 2 และ 3.5 ± 1 ตามลำดับ

ตารางที่ 6 ส่วนผสมของเบอร์เกอร์กุ้งสูตรจำลอง

Ingredients	Content (%)
Ground shrimp	60
Egg	6.5
Bread crumb	12.5
Salt	0.5
Pepper powder	0.5
Onion	14
Mustard	2
Cheese	4
Water	-

ที่มา: ดัดแปลงจากศิริเฉลิม สวัสดิวัตน์ (2543); Mimi Bobeck (2004)



ภาพที่ 9 ขั้นตอนการผลิตผลิตภัณฑ์เบอร์เกอร์กุ้งชุบแป้งทอด

ที่มา: ดัดแปลงจาก Llorca (2003)

1.2 การวิเคราะห์คุณภาพของผลิตภัณฑ์

ทำการวิเคราะห์คุณภาพของผลิตภัณฑ์ที่ได้ ดังนี้

1.2.1 วิเคราะห์ค่าสีในระบบ CIE L* a* และ b* ด้วยเครื่องวัดค่าสียี่ห้อ Hunter Lab โดยส่วนที่สัมผัสกับแสงเป็นส่วนของแป้งชุบ ดังแสดงในภาคผนวก ก1.

1.2.2 วิเคราะห์ปริมาณความชื้น (A.O.A.C., 2000) ดังแสดงในภาคผนวก ข 2.

1.2.3 วิเคราะห์ปริมาณไขมันโดย Soxhlet extraction (A.O.A.C., 2000) ดังแสดงในภาคผนวก ข1.

1.2.4 วิเคราะห์คุณลักษณะเนื้อสัมผัส (Texture Profile Analysis; TPA) โดยใช้เครื่อง Texture Analyzer ตามวิธีการของ Huidobro และคณะ (2005) รายงานออกมาเป็นค่าความแข็ง (hardness) การยึดติด (adhesiveness) ความยืดหยุ่น (springiness) การยึดเกาะกัน (cohesiveness) ความเหนียวคล้ายยาง (gumminess) และความคงทนต่อการบดเคี้ยว (chewiness) ดังแสดงในภาคผนวก ก2.

1.2.5 วิเคราะห์ปริมาณจุลินทรีย์ทั้งหมด *Escherichia coli. Salmonella sp. Staphylococcus aureus* และ *Vibrio cholerae* โดยส่งตรวจวิเคราะห์ที่ศูนย์พัฒนาอุตสาหกรรมเกษตรเพื่อการส่งออก คณะอุตสาหกรรมเกษตร มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ (ADCET)

1.3 การสำรวจผู้บริโภคโดยวิธีการสัมภาษณ์เชิงลึก (In-depth Interview)

สำรวจหาแนวโน้มคุณลักษณะทางประสาทสัมผัสของผลิตภัณฑ์เบอร์เกอร์กุ้งชุบแป้งทอดที่ตรงกับความต้องการของผู้บริโภค ด้วยวิธีการสัมภาษณ์เชิงลึก (In-depth interview) ให้ได้ข้อมูลความต้องการคุณลักษณะของผลิตภัณฑ์ (product attributes) จากผู้บริโภคนักท่องเที่ยวชาวยุโรปในประเทศไทยซึ่งเป็นผู้ที่อาศัยในประเทศไทยไม่เกิน 1 ปี และไม่แพ้อาหารทะเลจำนวน 30 คน การสัมภาษณ์จัดขึ้นในร้านอาหารสไตล์ตะวันตกซึ่งตั้งอยู่ใกล้โรงแรมที่มีเครือข่ายในต่างประเทศในจังหวัดขอนแก่น ผู้สัมภาษณ์ต้อนรับลูกค้าของร้านและสอบถามถึงการยินยอมในการทดสอบผลิตภัณฑ์เบอร์เกอร์กุ้งชุบแป้งทอดสูตรจำลองที่ได้จากข้อ 1.1 (แบบฟอร์มดังแสดงในภาคผนวก จ1) ซึ่งผ่านการวิเคราะห์จำนวนจุลินทรีย์ตามมาตรฐานคุณภาพทางจุลชีววิทยาของกรมวิทยาศาสตร์การแพทย์ (ภาคผนวก ค1.) ทำการขนส่งและเก็บรักษาผลิตภัณฑ์ที่อุณหภูมิ -20 องศาเซลเซียส ก่อนทำการละลายและอบตัวอย่างด้วยตู้อบไฟฟ้าที่อุณหภูมิ 230 องศาเซลเซียส นาน 15 นาที ตัดแบ่งผลิตภัณฑ์เป็น 8 ชิ้นและเสิร์ฟหลังจากอบไม่เกิน 10 นาที ผู้บริโภคตอบคำถามสั้นๆ เช่น "How do you like the battered shrimp burger?" "What are the good attributes in this burger?"

และ "What attributes of the burger do you dislike?" จากนั้นใช้เทคนิคการสัมภาษณ์เชิงลึกโดยใช้คำถามเพิ่มเติม ได้แก่ "What are your preferred taste/ aroma of shrimp burger?" "Why do you like/ dislike the sample you just tasted?" "Why do not you like that particular characteristics?" และ "Why the shrimp burger dryness is important for you?" โดยใช้เวลาประมาณ 30 นาที จากนั้นนำข้อมูลที่ได้มาสร้างคุณลักษณะทางประสาทสัมผัสของผลิตภัณฑ์เบอร์เกอร์กุ้งที่จะทำการพัฒนา จากการศึกษาการสร้างแนวความคิดด้านคุณลักษณะทางประสาทสัมผัสของผลิตภัณฑ์พบว่าผู้บริโภคมีความต้องการให้ผลิตภัณฑ์เบอร์เกอร์กุ้งชุบแป้งทอดสูตรจำลองมีความฉ่ำน้ำ ความกรอบและกลิ่นรสกุ้งมากขึ้น ประกอบกับการคำนึงถึงผลต่อสุขภาพของผู้บริโภค จึงทำการศึกษาสูตรเบอร์เกอร์กุ้งที่มีความฉ่ำน้ำเหมาะสมในขั้นตอนที่ 2 ศึกษาสูตรแป้งชุบที่เพิ่มความกรอบและลดการดูดซับไขมันในขั้นตอนที่ 3 และศึกษาการใช้สารให้กลิ่นรสกุ้งในขั้นตอนที่ 4

2. การสร้างสูตรเบอร์เกอร์กุ้งที่มีความฉ่ำน้ำที่เหมาะสม

จากผลการศึกษาข้อที่ 1 พบว่าเกล็ดขนมปังมีผลต่อความฉ่ำน้ำของผลิตภัณฑ์ จึงปรับลดปริมาณเกล็ดขนมปัง อัตราส่วนส่วนผสมที่ได้ปรับแล้วแสดงในตารางที่ 7 จากนั้นทำการศึกษาผลของแป้งมันสำปะหลังดัดแปรเนชั่นแนล7 โซเดียมอัลจิเนตและไอโอต้าคาราจีแนนที่มีผลต่อปัจจัยคุณภาพด้านความฉ่ำน้ำของผลิตภัณฑ์ ใช้ไฮโดรคอลลอยด์ทั้งสามชนิดในปริมาณไม่เกินร้อยละ 1 โดยใช้แผนการทดลองแบบ augmented simplex - centroid (Gacula, 1993) ได้สูตรที่ต้องการศึกษาจำนวน 10 สูตร ทำซ้ำ 4 สูตรการทดลอง (สูตรการทดลอง HM1-HM14, ตารางที่ 8) ทำการผลิตผลิตภัณฑ์ตามขั้นตอนดังภาพที่ 9 โดยใช้แป้งชุบทอดดังอัตราส่วนที่แสดงในตารางที่ 9 แล้วนำผลิตภัณฑ์มาตรวจสอบคุณภาพดังนี้

2.1 วิเคราะห์ปริมาณความชื้น เช่นเดียวกับข้อ 1.2.2

2.2 วิเคราะห์คุณลักษณะเนื้อสัมผัส (Texture Profile Analysis; TPA) เช่นเดียวกับข้อ 1.2.4

2.3 การทดสอบทางประสาทสัมผัส โดยใช้ผู้ทดสอบที่ผ่านการฝึกฝนจำนวน 13 คน โดยทำการคัดเลือกผู้ทดสอบที่สามารถแยกแยะความแตกต่างด้านความฉ่ำน้ำของผลิตภัณฑ์ได้เป็นอย่างดีตามวิธีการของ International Standard ISO 8586-1 (1993) ทำการกำหนดนิยามของคำว่า "ความฉ่ำน้ำ" ของผลิตภัณฑ์เบอร์เกอร์กุ้งชุบแป้งทอดโดยผู้ทดสอบที่ผ่านการคัดเลือกทำการทดสอบตัวอย่างทอดมันกุ้งเปรียบเทียบกับตัวอย่างเบอร์เกอร์กุ้งชุบแป้งทอดเพื่อหานิยามและขั้นตอนของการประเมินคุณลักษณะความฉ่ำน้ำของผลิตภัณฑ์เบอร์เกอร์กุ้งชุบแป้งทอด โดยทำการ

บันทึกจำนวนครั้งในการเคี้ยวจนกระทั่งเริ่มรู้สึกถึงความฉ่ำน้ำและความรู้สึกที่ทำให้ผู้ประเมินรับรู้ว่าตัวอย่างมีความฉ่ำน้ำ นำข้อมูลที่ได้มากำหนดเป็นคำนิยามและขั้นตอนในการประเมินคุณลักษณะด้านความฉ่ำน้ำของผลิตภัณฑ์ จากนั้นทำการฝึกฝนจนผู้ทดสอบมีความชำนาญด้านความฉ่ำน้ำด้วยวิธีการและผลิตภัณฑ์เบอร์เกอร์กุ้งสูตรมาตรฐานดังแสดงในภาคผนวก ง1. โดยดัดแปลงวิธีการฝึกฝนตาม International Standard ISO 8586-1 (1993), ASTM Special Technical Publication 758 (1981) และ Meilgaard (1999) ผู้ทดสอบที่ผ่านการฝึกฝนทำการประเมินผลิตภัณฑ์เบอร์เกอร์กุ้งชุบแป้งแช่เยือกแข็ง (ทั้งหมด 14 สูตร ทำการทดสอบ 3 ช่วง ช่วงละ 4 และ 5 สูตร) ที่ผ่านการละลาย อบและเสิร์ฟผลิตภัณฑ์หลังจากอบไม่เกิน 10 นาที ตัดแบ่งผลิตภัณฑ์เป็น 8 ชิ้นเล็ก และนำเสนอผลิตภัณฑ์แบบ Balance order and carry-over effects Design (Macfie *et al.*, 1989) โดยทำการล้างปากโดยใช้แผ่นขนมปังปอนด์ซับลิ้นประมาณ 3 วินาที จากนั้นบ้วนปากด้วยน้ำเปล่า ซึ่งในการทดสอบจะใช้แบบสอบถามแบบเส้นสเกล (line scale) 15 ซม. (ที่ระดับ 1 และ 14 ซม. หมายถึง ความเข้มของความฉ่ำน้ำต่ำและสูง ตามลำดับ) ดังแสดงในภาคผนวก จ1.

ตารางที่ 7 ส่วนผสมของเบอร์เกอร์กุ้ง

Ingredients	Content (%)	
Ground shrimp	60	
Egg	6.5	
Bread crumb	6.5	
Salt	0.5	
Pepper powder	0.5	
Onion	14	
Mustard	2	
Cheese	4	
Water	5	
MTS	*	1
AL	*	
CA	*	

Note: * The hydrocolloids propotions as shown in Table 8.

ตารางที่ 8 แผนการทดลองที่ใช้ในการศึกษาอัตราส่วนของไฮโดรคอลลอยด์ที่มีผลต่อปัจจัยคุณภาพด้านความฉ่ำน้ำของผลิตภัณฑ์เบอร์เกอร์กุ้งชุบแป้งทอด

Treatment	Component proportion (%)		
	Modified tapioca starch (MTS)	Sodium alginate (AL)	Iota – carrageenan (CA)
HM1	0.5	0.5	-
HM2	1	-	-
HM3	-	1	-
HM4	0.33	0.33	0.33
*HM5	-	1	-
HM6	-	0.5	0.5
HM7	0.17	0.67	0.17
HM8	0.67	0.17	0.17
HM9	-	-	1
*HM10	-	-	1
HM11	0.5	-	0.5
*HM12	-	0.5	0.5
*HM13	1	-	-
HM14	0.17	0.17	0.67

Note: * The replicated design point

ตารางที่ 9 ส่วนผสมแป้งชุบทอดของเบอร์เกอร์กุ้งชุบแป้งทอดที่ใช้ในขั้นตอนการสร้างสูตรเบอร์เกอร์กุ้งที่มีความฉ่ำน้ำเหมาะสม

Ingredients	Component (%)
Wheat flour	88.5
Corn flour	6
Salt	5.5
Solid to water ratio	1 : 2

2.4 การคัดเลือกสูตรที่ใช้ไฮโดรคอลลอยด์ที่เหมาะสม

นำข้อมูลที่ได้จากข้อ 2.1 และ 2.3 ไปวิเคราะห์ความแปรปรวนและวิเคราะห์สมการถดถอยเพื่อหาสมการจำลอง จากนั้นใช้สมการแต่ละชุด plot แนวโน้มการทดลองลงบนกราฟเดียวกัน (แผนภูมิคอนทัวร์; contour plot) โดยใช้โปรแกรมสำเร็จรูป Design Expert version 7.0.3 (Stat-Ease, Inc., MN, USA) จากนั้นพิจารณาสูตรการทดลองที่มีปริมาณความชื้นและคะแนนความฉ่ำน้ำจากการทดสอบทางประสาทสัมผัสสูงเป็นสูตรที่เหมาะสม (Optimized Juiciness, OJ) เพื่อนำไปผลิตผลิตภัณฑ์ แล้วนำมาตรวจสอบคุณภาพเปรียบเทียบกับสูตรจำลองที่ใช้ปริมาณเกล็ดขนมปังร้อยละ 12.5 (สูตร 12.5BC) และสูตรจำลองที่ทำการปรับอัตราส่วนของเกล็ดขนมปังในส่วนผสมของเบอร์เกอร์ลงเหลือร้อยละ 6.5 (สูตร 6.5BC) ดังนี้

2.4.1 วิเคราะห์ปริมาณความชื้น โดยวิเคราะห์แยกส่วนระหว่างส่วนของแป้งชุบทอดและเนื้อเบอร์เกอร์ (A.O.A.C., 2000) ดังแสดงในภาคผนวก ข2.

2.4.2 วิเคราะห์ปริมาณไขมันด้วยวิธี Soxhlet extraction โดยวิเคราะห์แยกส่วนระหว่างส่วนของแป้งชุบทอดและเนื้อเบอร์เกอร์ (A.O.A.C., 2000) ดังแสดงในภาคผนวก ข1.

2.4.3 วิเคราะห์คุณลักษณะเนื้อสัมผัส เช่นเดียวกับข้อ 1.2.4

2.4.4 การทดสอบทางประสาทสัมผัสด้านความฉ่ำน้ำโดยใช้ผู้ทดสอบที่ผ่านการฝึกฝนจำนวน 12 คน

คัดเลือกสูตรมีปริมาณความชื้นสูงและที่ได้รับคะแนนความฉ่ำน้ำจากการทดสอบทางประสาทสัมผัสสูงที่สุดไปศึกษาขั้นต่อไป

3. การสร้างสูตรแป้งชุบ (Batter) ที่เพิ่มความกรอบและลดการดูดซับน้ำมันที่เหมาะสม

การศึกษาแบ่งเป็น 2 ส่วน คือ การศึกษาอัตราส่วนของแป้งข้าวเจ้าและแป้งข้าวโพด และศึกษาชนิดและระดับความเข้มข้นของไฮโดรคอลลอยด์ในแป้งชุบ

3.1 การศึกษาอัตราส่วนของแป้งข้าวเจ้าและแป้งข้าวโพดในสูตรแป้งชุบ

ศึกษาอัตราส่วนของแป้ง 2 ชนิด ได้แก่ แป้งข้าวเจ้าและแป้งข้าวโพดในปริมาณไม่เกินร้อยละ 47.25 และทำการปรับอัตราส่วนแป้งสาลีเอนกประสงค์ดังแสดงในตารางที่ 10 โดยใช้แผนการทดลองแบบ augmented simplex - lattice ได้สูตรที่ต้องการศึกษาจำนวน 5 สูตร ทำซ้ำ 4 สูตรการทดลอง (สูตรการทดลอง F1-F9, ตารางที่ 11)

ตารางที่ 10 ส่วนผสมแป้งชุบทอดของเบอร์เกอร์กุ้งชุบแป้งทอดที่ใช้ในขั้นตอนการสร้างสูตรแป้งชุบที่เพิ่มความกรอบและลดการดูดซับน้ำมันที่เหมาะสม

Ingredients	Component (%)
Wheat flour	47.25
Corn flour	* } 47.25
Rice flour	*
Salt	5.5
Solid to water ratio	1 : 1.67

Note: * The flour composition as shown in Table 7

ตารางที่ 11 แผนการทดลองที่ใช้ในการศึกษาอัตราส่วนของแป้งข้าวเจ้าและแป้งข้าวโพดของผลิตภัณฑ์เบอร์เกอร์กุ้งชุบแป้งทอดแช่เยือกแข็ง

Treatment	Component proportion (%)	
	Corn Flour	Rice Flour
F1	23.62	23.62
F2	47.25	-
*F3	47.25	-
F4	-	47.25
F5	11.81	35.44
*F6	23.62	23.62
F7	35.44	11.81
*F8	-	47.25
*F9	47.25	-

Note: * The replicated design point

ทำการผลิตผลิตภัณฑ์โดยใช้สูตรการทดลองที่ได้จากข้อ 2 (สูตร OJ) และทำการผลิตตามขั้นตอนที่แสดงในภาพที่ 9 ทั้ง 9 สูตร (F1-F9) นำแป้งชุบที่ได้มาวิเคราะห์ความหนืดด้วย

เครื่องวัดความหนืด ตามวิธีการของ Lane และคณะ (1985) ดังภาคผนวก ก4. และทำการวัดปริมาณการเคลือบของแป้งชุบทอด โดยคำนวณเป็นร้อยละของการเคลือบ (% coating pick-up) ตามวิธีของ Salvador และคณะ (2002) ดังภาคผนวก ก5. แล้วนำผลิตภัณฑ์มาตรวจสอบคุณภาพดังนี้

3.1.1 วิเคราะห์ค่าสีในระบบ CIE L* a* และ b* เช่นเดียวกับข้อ 1.2.1

3.1.2 วิเคราะห์ปริมาณความชื้น เช่นเดียวกับข้อ 1.2.2

3.1.3 วิเคราะห์ปริมาณไขมัน เช่นเดียวกับข้อ 1.2.3

3.1.4 วิเคราะห์คุณลักษณะเนื้อสัมผัส เช่นเดียวกับข้อ 1.2.4 และวิเคราะห์ความกรอบตามวิธีของ Sanz และคณะ (2004) ดังแสดงในภาคผนวก ก3.

3.1.5 การทดสอบทางประสาทสัมผัสด้านความกรอบและการอมน้ำมันโดยผู้ทดสอบที่ผ่านการฝึกฝนการประเมินคุณลักษณะความกรอบและการอมน้ำมันจำนวน 10 คน โดยใช้ผลิตภัณฑ์เบอร์เกอร์กุ้งสูตรมาตรฐานในการฝึกฝน (ภาคผนวก ง2. และ ง3.) ทำการประเมินผลิตภัณฑ์เบอร์เกอร์กุ้งแช่เยือกแข็ง (ทั้งหมด 9 สูตร ทำการทดสอบ 2 ช่วง ช่วงละ 4 และ 5 สูตร) ที่ผ่านการละลาย อบและเสิร์ฟผลิตภัณฑ์หลังจากอบไม่เกิน 10 นาที ตัดแบ่งผลิตภัณฑ์เป็น 8 ชิ้นเล็ก และนำเสนอผลิตภัณฑ์แบบนำเสนอตัวอย่างแบบ Balance order and carry-over effects Design (Macfie *et al.*, 1989) ทำการล้างปากโดยใช้แผ่นขนมปังปอนด์ซับลิ้นประมาณ 3 วินาที จากนั้นบ้วนปากด้วยน้ำเปล่า ในการทดสอบจะใช้แบบสอบถามแบบเส้นสเกล 15 ซม (ที่ระดับ 1 และ 14 ซม หมายถึง ความเข้มของคุณลักษณะความกรอบและการอมน้ำมันต่ำและสูง ตามลำดับ ดังแสดงในภาคผนวก จ2.) จากการสัมภาษณ์และประชุมกลุ่มของผู้ทดสอบให้ได้คำนิยามและเทคนิคการประเมินความกรอบของผลิตภัณฑ์สรุปเป็นการประเมิน 2 ขั้นตอน ในการฝึกฝนเพื่อประเมินความกรอบของผลิตภัณฑ์ โดยขั้นตอนแรก คือ ประเมินจากเสียงความกรอบเมื่อกัดและเคี้ยวผลิตภัณฑ์ใน 2 ถึง 3 คำแรก และขั้นตอนที่สอง คือ ประเมินจากความกรอบของผลิตภัณฑ์ระหว่างการเคี้ยวจนกระทั่งกลืน ในขณะที่คุณลักษณะการอมน้ำมันของผลิตภัณฑ์ประเมินจากลักษณะปรากฏและความมันระหว่างการเคี้ยวเฉพาะส่วนของแป้งชุบทอดของผลิตภัณฑ์

3.1.6 การคัดเลือกสูตรที่มีอัตราส่วนของแป้งข้าวโพดและแป้งข้าวเจ้าที่เหมาะสม

นำข้อมูลที่ได้จากข้อ 3.1.1 ถึง 3.1.5 ไปวิเคราะห์ความแปรปรวนและวิเคราะห์สมการถดถอยเพื่อหาสมการจำลอง จากนั้นใช้สมการแต่ละชุด plot แนวโน้มการทดลองลงบนแผนภูมิคอนทัวร์โดยใช้โปรแกรมสำเร็จรูป Design Expert version 7.0.3 (Stat-Ease, Inc., MN, USA) จากนั้นพิจารณาสูตรการทดลองที่มีคะแนนความกรอบสูงและการอมน้ำมันต่ำจากการทดสอบทางประสาทสัมผัส เป็นสูตรที่มีอัตราส่วนของแป้งข้าวโพดและแป้งข้าวเจ้าที่เหมาะสม

(Optimized flour, OF) เพื่อนำไปผลิตผลิตภัณฑ์ ทำการปรับความหนืดของแป้งชุบที่ได้ให้เท่ากับสูตรที่มีปริมาณความชื้นและคะแนนความฉ่ำน้ำเหมาะสมที่ได้จากข้อ 2 (Optimized flour and adjusted viscosity, OFAV) วิเคราะห์ความหนืดของแป้งชุบและปริมาณการเคลือบของแป้งชุบทอดแล้วนำผลิตภัณฑ์มาตรวจสอบคุณภาพเช่นเดียวกับข้อ 3.1.1 ถึง 3.1.5โดยเปรียบเทียบกับสูตรแป้งชุบที่ใช้ผลิตผลิตภัณฑ์เบอร์เกอร์กุ้งชุบแป้งขั้นตอนที่ 2 (แป้งชุบสูตร OJ) ดังแสดงในตารางที่ 5

คัดเลือกสูตรที่ได้รับคะแนนจากการทดสอบทางประสาทสัมผัสในคุณลักษณะด้านความกรอบสูงและการอมน้ำมันต่ำไปศึกษาขั้นต่อไป

3.2 การสร้างสูตรแป้งชุบที่ใช้สารไฮโดรคอลลอยด์ที่ระดับต่างๆ

นำแป้งชุบที่ได้จากข้อ 3.1 มาศึกษาผลของการใช้สารไฮโดรคอลลอยด์ ได้แก่ เมทธิลเซลลูโลสและไฮดรอกซีโพรพิลเมทธิลเซลลูโลสที่ระดับความเข้มข้นร้อยละ 1 และ 2 โดยจัดแผนการทดลองแบบแฟคทอเรียล (Factorial) และวางแผนการทดลองแบบสุ่มอย่างสมบูรณ์ (Completely Randomized Design; CRD) วิเคราะห์ความหนืดของแป้งชุบ จากนั้นนำส่วนของเบอร์เกอร์กุ้ง (สูตร OJ) มาชุบแป้งที่ได้แล้ววัดปริมาณการเคลือบของแป้งชุบ และทำการผลิตผลิตภัณฑ์ตามขั้นตอนที่แสดงในภาพที่ 9 แล้วนำผลิตภัณฑ์มาตรวจสอบคุณภาพเช่นเดียวกับข้อ 3.1.1 ถึง 3.1.5

คัดเลือกสูตรที่มีปริมาณไขมันของแป้งชุบต่ำ คะแนนจากการทดสอบทางประสาทสัมผัสในคุณลักษณะด้านความกรอบสูงและการอมน้ำมันต่ำมาตรวจสอบคุณภาพเช่นเดียวกับข้อ 3.1.1 ถึง 3.1.5 เปรียบเทียบกับสูตรที่ใช้อัตราส่วนแป้งข้าวเจ้าและแป้งข้าวโพดที่เหมาะสมที่ได้จากข้อ 3.1 (สูตร OFAV)

4. การศึกษาการใช้กลิ่นรสกุ้งที่ระดับต่างๆ

นำผลิตภัณฑ์ที่ได้จากข้อ 3.2 (สูตร OJ) มาศึกษาผลของสารให้กลิ่นรสกุ้งที่ระดับความเข้มข้นต่างๆ โดยทำการทดลองผลิตเพื่อเลือกระดับความเข้มข้นของกลิ่นรสกุ้ง ได้ระดับความเข้มข้นของกลิ่นรสกุ้งเท่ากับร้อยละ 0.8 และ 1.2 โดยเติมในขั้นตอนการสับผสมเบอร์เกอร์และทำการผลิตตามขั้นตอนดังภาพที่ 9 แล้วนำผลิตภัณฑ์มาทดสอบทางประสาทสัมผัส โดยทดสอบความชอบด้านกลิ่นรสกุ้งเปรียบเทียบกับผลิตภัณฑ์เบอร์เกอร์กุ้งสูตรจำลองโดยผู้บริโภคคนไทยที่คุ้นเคยกับผลิตภัณฑ์เบอร์เกอร์และผลิตภัณฑ์จากกุ้งจำนวน 30 คน ด้วยวิธีการ Hedonic scale แบบ 9 ระดับคะแนน (9-point Hedonic scale) กำหนดให้ระดับคะแนน 1 หมายถึงไม่ชอบมากที่สุดไป

จนถึงระดับคะแนน 9 หมายถึงชอบมากที่สุด (ภาคผนวก จ3.) คัดเลือกสูตรที่ได้รับคะแนนการยอมรับสูงสุดเป็นผลิตภัณฑ์เบอร์เกอร์กุ้งชุบแป้งทอดแช่เยือกแข็งที่ได้รับการพัฒนาและทดสอบขั้นต่อไป

5. การยอมรับของผู้บริโภคที่มีต่อผลิตภัณฑ์เบอร์เกอร์กุ้งชุบแป้งทอดที่ได้รับการพัฒนา

5.1 การทดสอบการยอมรับผลิตภัณฑ์เบอร์เกอร์กุ้งชุบแป้งทอดที่ได้รับการพัฒนา

ทดสอบการยอมรับของผู้บริโภค (consumer test) ที่มีต่อผลิตภัณฑ์เบอร์เกอร์กุ้งชุบแป้งทอดสูตรที่ได้รับการพัฒนา (Developed burger; DB) ที่ได้จากการคัดเลือกในข้อ 2 3 และ 4 ด้วยวิธีการวิจัยเชิงปริมาณ ด้วยผู้บริโภคที่เป็นนักท่องเที่ยวชาวยุโรปที่เกาะเต่า จังหวัดสุราษฎร์ธานี ซึ่งเป็นผู้ที่ไม่แพ้อาหารทะเลและยินยอมทำการทดสอบจำนวน 100 คน การทดสอบจะจัดขึ้นบริเวณหน้าร้านสะดวกซื้อ 7-11 ซึ่งมีที่สำหรับนั่งตอบแบบสอบถามและเป็นสถานที่ที่สามารถรับสมัครตัวแทนของผู้บริโภคเป้าหมายจำนวนมากได้ (central location test; CLT) โดยจะทำการละลายและอบตัวอย่างด้วยตู้อบไฟฟ้าที่อุณหภูมิ 230 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 15 นาที ตัดแบ่งผลิตภัณฑ์เป็น 8 ชิ้นเล็กและเสิร์ฟผลิตภัณฑ์หลังจากอบไม่เกิน 10 นาที ผู้บริโภคจะทำการทดสอบการยอมรับของผลิตภัณฑ์เบอร์เกอร์กุ้งชุบแป้งทอดที่ได้รับการพัฒนาเปรียบเทียบกับผลิตภัณฑ์เบอร์เกอร์กุ้งชุบแป้งทอดสูตรจำลอง โดยทำการสอบถามเพื่อหาข้อมูลทั่วไปเกี่ยวกับผู้บริโภค พฤติกรรมการซื้อและบริโภคผลิตภัณฑ์เบอร์เกอร์ทั่วไป ความชอบที่ผู้บริโภคมีต่อผลิตภัณฑ์ในปัจจัยคุณภาพต่าง ๆ ได้แก่ ความชอบรวม ความกรอบของแป้งชุบ ความฉ่ำน้ำและรสชาติ และการยอมรับของผู้บริโภคที่มีต่อผลิตภัณฑ์เบอร์เกอร์กุ้งชุบแป้งทอดที่ได้รับการพัฒนาโดยใช้แบบสอบถามและใบยินยอมดังแสดงในภาคผนวก จ5.

5.2 การตรวจสอบคุณภาพผลิตภัณฑ์เบอร์เกอร์กุ้งชุบแป้งทอดที่ได้รับการพัฒนา

ตรวจสอบคุณภาพผลิตภัณฑ์เบอร์เกอร์กุ้งที่ได้รับการพัฒนาเปรียบเทียบกับผลิตภัณฑ์เบอร์เกอร์กุ้งชุบแป้งทอดสูตรจำลองเช่นเดียวกับข้อ 3.1.1 ถึง 3.1.5 และวิเคราะห์ปริมาณจุลินทรีย์เช่นเดียวกับข้อ 1.2.5

6. ศึกษาการเปลี่ยนแปลงคุณภาพของผลิตภัณฑ์ระหว่างการเก็บรักษาในสภาพแช่แข็ง

นำผลิตภัณฑ์เบอร์เกอร์กุ้งที่ได้รับการพัฒนาเช่นเดียวกับข้อ 5 มาทอดด้วยน้ำมันที่อุณหภูมิ 180°C เป็นเวลา 3 นาที ในสภาวะที่เติมและไม่เติม TBHQ เข้มข้น 500 ppm ทิ้งให้เย็นที่อุณหภูมิห้องก่อนทำการบรรจุด้วยถุง Nylon/LDPE ในสภาพบรรยากาศปกติและสภาพการบรรจุแบบสุญญากาศ นำตัวอย่างชุดการทดลองต่าง ๆ (2 x 2 ชุดการทดลอง) มาเก็บรักษาในสภาวะแช่แข็งที่อุณหภูมิ -18°ซ ทำการสุ่มเก็บตัวอย่างเพื่อการวิเคราะห์ทุก 1 เดือน เป็นระยะเวลา 6 เดือน

6.1 การวิเคราะห์ทางเคมี

สุ่มตัวอย่างจากชุดการทดลองต่าง ๆ มาวิเคราะห์ค่า Thiobarbituric reactive substances (Buege and Aust. 1978 ภาคผนวกที่ ข6.) และนำตัวอย่างมาสกัดน้ำมันด้วยวิธีการของ Bligh และ Dyer (1959) ดังภาคผนวกที่ ข3. แล้วนำน้ำมันสกัดที่ได้มาวิเคราะห์ดังนี้

6.1.1 Conjugated diene (Frankel and Huang, 1996) (ภาคผนวก ข4.)

6.1.2 ρ-anisidine value (AOCS, 1994)(ภาคผนวก ข5.)

6.1.3 Acid value (AOAC, 1994)(ภาคผนวก ข7.)

6.1.4. Fatty acid profile โดยใช้ GC/FID (การวิเคราะห์ค่า Fatty Acid Profile (AOAC, 2000) ส่งวิเคราะห์ที่สถาบันวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งประเทศไทย) โดยวิเคราะห์ที่ระยะเวลาการเก็บรักษา 0 3 และ 6 เดือน

6.2 การวิเคราะห์ทางกายภาพ

6.21 Expressible drip loss (ภาคผนวก ก2.)

6.2.2 Crispness value (Sanz *et al.*, 2004) (ภาคผนวก ก3.)

6.2.3 Texture profile analysis (TPA) (Huidobro *et al.*, 2005) (ภาคผนวก ก2.)

6.2.4 ค่าสี L* , a* และ b* ในระบบ CIE ด้วยเครื่องวัดค่าสี ยี่ห้อ Hunter Lab รุ่น Color Flex (ภาคผนวก ก1.)

6.3 การวิเคราะห์ทางประสาทสัมผัส

6.3.1 ทดสอบความกรอบ (ประเมินจากเสียงขณะกัดและเคี้ยวตัวอย่างใน 2 – 3 คำแรก และความกรอบที่ประเมินระหว่างการเคี้ยวจนกระทั่งกลืน) เช่นเดียวกับข้อ 3.1.5 ความฉ่ำน้ำ (ประเมินจากความนุ่มของผลิตภัณฑ์ขณะกัด ขณะเคี้ยวและขณะกลืนผลิตภัณฑ์) เช่นเดียวกับข้อ 2.3 และความหืน โดยใช้ผู้ทดสอบเช่นเดียวกับข้อ 2.3 ซึ่งผ่านการฝึกฝนผู้ทดสอบด้วยตัวอย่างที่มีระดับความหืนต่างๆ ได้แก่ตัวอย่างที่เก็บเป็นระยะเวลานาน ตัวอย่างที่ใช้น้ำมันทอดซ้ำ เป็นต้น โดยใช้สเกลแบบเส้นไม่มีโครงสร้าง ความยาว 15 เซนติเมตร ที่ระดับ 0 หมายถึงไม่

มีกลิ่นหืนและ 15 หมายถึงหืนมากที่สุด การเสริฟตัวอย่าง ปฏิบัติเช่นเดียวกับข้อ 2.3และ 3.1.5 ดังที่กล่าวมาแล้ว

6.3.2 ทดสอบการยอมรับคุณภาพผลิตภัณฑ์โดยรวม จากคะแนนเต็ม 10 คะแนน (กำหนดให้ระดับ 1 หมายถึง reject (มีการเปลี่ยนแปลงคุณภาพอยู่ในระดับที่ไม่สามารถรับประทานได้) 4 หมายถึง unacceptable (มีการเปลี่ยนแปลงคุณภาพอยู่ในระดับที่ผู้ทดสอบไม่ยอมรับแต่ยังสามารถรับประทานได้ 5 หมายถึง acceptable (มีการเปลี่ยนแปลงคุณภาพและอยู่ในระดับที่ยอมรับได้) และ 10 หมายถึง match (คุณภาพเทียบเท่ากับผลิตภัณฑ์ที่เตรียมใหม่) โดยฝึกฝนผู้ทดสอบให้คะแนนผลิตภัณฑ์ที่เก็บในระยะเวลาต่างๆ

7. การวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติ

วางแผนการทดลองแบบสุ่มอย่างสมบูรณ์ (Completely Randomized Design; CRD) ในการทดลองข้อ 2-4, 6 และจัดแผนการทดลองแบบแฟคทอเรียล (Factorial) ในการทดลองข้อ 3.2 และวิเคราะห์ความแปรปรวน (Analysis of variance; ANOVA) แล้วเปรียบเทียบความแตกต่างของค่าเฉลี่ยโดยใช้วิธี Duncan's Multiple Range Test (DMRT) รวมทั้งข้อมูลจากแบบสอบถามในข้อ 5.1 โดยการวิเคราะห์ความถี่ ไคร์แสควร์ (χ^2) และค่าเฉลี่ยจากโปรแกรมสำเร็จรูป SPSS for Window Version 10.0

การสร้างสมการทำนายโดยการวิเคราะห์รีเกรสชั่นและการสร้างแผนภูมิคอนทัวร์โดยใช้โปรแกรมสำเร็จรูป Design Expert version 7.0.3 (Stat-Ease, Inc., MN, USA)

บทที่ 3

ผลและวิจารณ์ผลการทดลอง

1. การสร้างแนวความคิดด้านคุณลักษณะทางประสาทสัมผัสของผลิตภัณฑ์ (product sensory concept development)

เพื่อให้มั่นใจคุณภาพความปลอดภัยของผลิตภัณฑ์เบอร์เกอร์กุ้งชุบแป้งทอดสูตรจำลอง ก่อนนำไปทดสอบกับผู้บริโภคได้มีการตรวจคุณภาพปริมาณเชื้อจุลินทรีย์ในผลิตภัณฑ์เบอร์เกอร์กุ้งชุบแป้งทอดสูตรจำลอง พบว่ามีปริมาณตามเกณฑ์มาตรฐานของกรมวิทยาศาสตร์การแพทย์ ดังแสดงในตารางภาคผนวก ค1.

ผลจากการวิเคราะห์คุณภาพผลิตภัณฑ์เบอร์เกอร์กุ้งชุบแป้งทอดสูตรจำลองแสดงในตารางที่ 13 พบว่าสีของตัวอย่างมีค่าความสว่าง (L*) ค่าสีแดง-สีเขียว (a*) และค่าสีเหลือง-สีน้ำเงิน (b*) เท่ากับ 43.78 9.91 และ 25.99 ตามลำดับ ซึ่งเมื่อพิจารณาจากคุณลักษณะด้านสีที่ได้จากการสัมภาษณ์ผู้บริโภคนักท่องเที่ยวชาวยุโรปในประเทศไทยจำนวน 30 คน โดยส่วนใหญ่เป็นผู้ชาย (ร้อยละ 80) อายุมากกว่า 50 ปี (ร้อยละ 57) และเป็นชาวอังกฤษ (ร้อยละ 47) (ตารางที่ 12) พบว่าผู้บริโภคร้อยละ 23 พอใจสีของแป้งชุบของตัวอย่างซึ่งคือสีเหลืองทอง เหลือง-น้ำตาลหรือน้ำตาลอ่อน ขณะที่มีผู้บริโภคร้อยละ 20 มีความเห็นว่าตัวอย่างมีสีอ่อนไป สีเหมือนเบอร์เกอร์ยังไม่สุก และพบว่าผู้บริโภคบางคนต้องการให้เนื้อเบอร์เกอร์มีสีส้มของกุ้งมากขึ้น (ตารางที่ 14)

ผลิตภัณฑ์เบอร์เกอร์กุ้งชุบแป้งทอดสูตรจำลองมีปริมาณความชื้นร้อยละ 44.49 ซึ่งปริมาณความชื้นนี้สัมพันธ์กับลักษณะเนื้อสัมผัสของผลิตภัณฑ์ จะเห็นว่าผู้บริโภคส่วนใหญ่ (ร้อยละ 67) มีความเห็นว่าตัวอย่างแห้งเกินไป แข็ง กลืนยาก และเหมือนเบอร์เกอร์เก่า อาจเนื่องจากผลิตภัณฑ์เบอร์เกอร์กุ้งชุบแป้งทอดสูตรจำลองมีปริมาณเกล็ดขนมปังผสมในเบอร์เกอร์สูง ขณะที่มีผู้บริโภคร้อยละ 30 มีความเห็นว่าตัวอย่างมีความกรอบน้อยไป และเมื่อพิจารณาลักษณะเนื้อสัมผัสที่ได้จากการวัดด้วยเครื่องมือพบว่าค่าความแข็งและค่าความกรอบเท่ากับ 13,414.19 และ 20.16 กรัม ตามลำดับ นั่นแสดงว่าที่ระดับค่าความแข็งและความกรอบดังกล่าวเป็นระดับที่ผู้บริโภครับรู้ว่าผลิตภัณฑ์มีความแข็งของทั้งชิ้นมากไปและมีความกรอบของแป้งชุบทอดน้อยไป ขณะที่ปริมาณไขมันร้อยละ 9.24 เป็นปริมาณที่ผู้บริโภคส่วนหนึ่ง (ร้อยละ 33) มีความเห็นว่าไม่ได้เป็นเบอร์เกอร์ที่มีความมันมากเกินไป

ผู้บริโภคร้อยละ 33 แสดงความเห็นว่าตัวอย่างมีกลิ่นรสกุ้งน้อยเกินไป อยากให้ผลิตภัณฑ์มีกลิ่นรสของกุ้งมากขึ้น ส่วนกลิ่นรสเครื่องเทศมีความพอดีแล้ว (จากความคิดเห็นของผู้บริโภคร้อยละ 33) และมีกลิ่นพริกไทย ความเค็ม ความหวานและกลิ่นรสหอมหัวใหญ่พอดีแล้ว ดังแสดงในตารางที่ 14

โดยสรุปผลิตภัณฑ์ที่จะพัฒนาควรจะมีความฉ่ำน้ำ รสชาติกุ้งและความกรอบมากขึ้นเมื่อเทียบกับผลิตภัณฑ์เบอร์เกอร์กุ้งชุบแป้งทอดสูตรจำลอง โดยมีแนวความคิดด้านคุณลักษณะทางประสาทสัมผัสของผลิตภัณฑ์คือ ผลิตภัณฑ์เบอร์เกอร์กุ้งชนิดชุบแป้งและเกล็ดขนมปังทอดที่มีกลิ่นและกลิ่นรสพริกไทย กลิ่นรสของหอมใหญ่ เค็มเล็กน้อย หวานเล็กน้อย มีกลิ่นรสกุ้ง มีความฉ่ำน้ำและมีความกรอบ ดังนั้นผู้วิจัยจึงมุ่งเน้นการปรับปรุงคุณลักษณะความฉ่ำน้ำ รสชาติกุ้งและความกรอบของผลิตภัณฑ์ในการศึกษาขั้นต่อไป

ตารางที่ 12 ข้อมูลทั่วไปเกี่ยวกับผู้บริโภคนักท่องเที่ยวชาวยุโรปที่ใช้ในการสัมภาษณ์เชิงลึกของผลิตภัณฑ์เบอร์เกอร์กุ้งชุบแป้งทอดสูตรจำลอง

Demographics		Consumer Frequency		
		Male (N=24)	Female (N=6)	Total (N=30)
Age	20 - 30 years old	4	2	6
	31 - 40 years old	3	1	4
	41 - 50 years old	3	0	3
	>51 years old	14	3	17
Country of residence				
	Denmark	1	0	1
	France	3	1	4
	Finland	1	0	1
	Germany	5	1	6
	Sweden	3	0	3
	Switzerland	1	0	1
	United Kingdom	10	4	14

ตารางที่ 13 คุณภาพของผลิตภัณฑ์เบอร์เกอร์กุ้งชุบแป้งทอดสูตรจำลอง

Qualities	
Moisture content (%)**	44.49±1.06
Fat content (%wet basis)**	9.24±0.32
Colour***	
L*	43.78±1.90
a*	9.91±0.56
b*	25.99±1.15
Texture Profile Analysis (TPA) from Texture Analyzer***	
Hardness (g)	13,414.19±498.63
Fracturability (g)	20.16±3.28
Adhesiveness (g*s)	-2.94±1.59
Springiness	0.57±0.06
Cohesiveness	0.27±0.01
Gumminess (g)	3,573.24±274.71
Chewiness (g*mm)	2,032.73±300.11
Microorganism	
Total Viable Count (CFU/g)	$1.8x10^3$
Escherichia coli (MPN/g)	< 3
Salmonella sp.(25g)	Negative
Staphylococcus aureus (MPN/g)	< 3
Vibrio cholerae	Negative

Note: ** Mean ± SD from triplicate determinations.
*** Mean ± SD from seven determinations.

ตารางที่ 14 รายการคุณลักษณะทางประสาทสัมผัสของผลิตภัณฑ์เบอร์เกอร์กุ้งชุบแป้งทอดสูตรจำลองที่ได้จากการสัมภาษณ์เชิงลึกผู้บริโภคนักท่องเที่ยวชาวยุโรปในประเทศไทย จำนวน 30 คน

Attributes	Frequency of consumer attitude				Product Characteristics from consumer
	Too little	Just right	Too much	Total	
Appearance	5	0	0	5	Thin, slim, want thicker
Colour					
Coating	6	7	2	15	Golden, yellow brown, brown, little brown colour, good colour, cooked too long, not enough fried
Burger	2	1	0	3	Look like chicken burger, want lighter colour, want more orange colour of shrimp
Texture					
Coating					
- Crispiness	9	6	5	20	Crispy, crunchy
Burger					
- Softness	0	6	1	7	Good texture, soft, lumpy
- Dryness	0	0	20	20	Not easy to swallow, too dry , dry in mouth, too hard texture, old burger
Taste					
Shrimp flavour	10	6	0	16	Taste of shrimp
Spicy/pepper flavour	1	10	4	15	Spicy
Pepper odour	0	4	0	4	Pepper
Overall taste	4	0	0	4	Not taste much, bland taste
Saltiness	1	2	1	4	Salty
Oiliness	0	10	0	10	Not oily, not too much fat
Sweetness	0	1	0	1	Little too sweet
Onion flavour	0	1	0	1	Taste of onion

2. การสร้างสูตรเบอร์เกอร์ที่เหมาะสม

การทดลองใช้ไฮโดรคอลลอยด์สามชนิด ได้แก่ แป้งมันสำปะหลังดัดแปร โซเดียมอัลจิเนตและไอโอต้าคาราจีแนนเป็นส่วนผสมของเบอร์เกอร์กุ้งในอัตราส่วนที่แตกต่างกัน แล้วนำมาผลิตเป็นผลิตภัณฑ์เบอร์เกอร์กุ้งชุบแป้งทอด พบว่าผลิตภัณฑ์ที่ได้มีคุณภาพด้านต่างๆ ดังนี้

2.1 ปริมาณความชื้นของผลิตภัณฑ์

ผลของไฮโดรคอลลอยด์ต่อปริมาณความชื้นของผลิตภัณฑ์แสดงในตารางที่ 15 พบว่าการใช้แป้งมันสำปะหลังดัดแปรเพียงอย่างเดียว (ร้อยละ 1, สูตรการทดลอง HM2 และ HM13) ส่งผลให้ตัวอย่างมีปริมาณความชื้นเฉลี่ยร้อยละ 49.96 ซึ่งน้อยกว่าสูตรการทดลองที่ใช้ไอโอต้าคาราจีแนนเพียงอย่างเดียว (ร้อยละ 1, สูตรการทดลอง HM9 และ HM10) โดยตัวอย่างมีปริมาณความชื้นเฉลี่ยร้อยละ 52.76 ส่วนตัวอย่างที่ใช้โซเดียมอัลจิเนตเพียงอย่างเดียว (ร้อยละ 1, สูตรการทดลอง HM3 และ HM5) มีปริมาณความชื้นเฉลี่ยร้อยละ 53.19 ขณะที่การใช้ไฮโดรคอลลอยด์ทั้งสามชนิดร่วมกันส่งผลให้ตัวอย่างมีปริมาณความชื้นสูงขึ้นอยู่ในช่วงร้อยละ 53.93 ถึง 54.58 (สูตรการทดลอง HM4 HM7 HM8 และ HM14) จะเห็นว่าตัวอย่างที่ใช้ไฮโดรคอลลอยด์มีปริมาณความชื้นสูงกว่าเมื่อเทียบกับผลิตภัณฑ์เบอร์เกอร์กุ้งชุบแป้งทอดสูตรจำลองที่มีปริมาณความชื้นร้อยละ 44.49 (p<0.05) อาจเนื่องมาจากความสามารถในการจับน้ำของสารทั้งสาม ไฮโดรคอลลอยด์จะเกิดอันตรกิริยากับน้ำและสามารถเกิดพันธะไฮโดรเจน พันธะไฮโดรโฟบิกและพันธะระหว่างประจุกับโมเลกุลอื่นๆได้ซึ่งก่อให้เกิดการจับเรียงตัวกันและเกิดโครงสร้างที่สามารถจับกับน้ำไว้ได้ (Sanchez *et al.*, 1995) จากโครงสร้างของไอโอต้าคาราจีแนนจะเห็นว่ามีหมู่ซัลเฟตซึ่งสามารถเกิดอันตรกิริยาแรงกระทำระหว่างประจุ (Yuguchi *et al.*, 2003) จึงสามารถจับกับน้ำได้ ส่วนโซเดียมอัลจิเนตมีหมู่คาร์บอกซิลในโมเลกุลของน้ำตาลซึ่งสามารถทำหน้าที่จับกับน้ำและทำให้เกิดแรงผลักกันของประจุระหว่างสายของไฮโดรคอลลอยด์ จึงสามารถเกิดเจลหรือมีน้ำในโครงสร้างได้ (Sanchez *et al.*, 1995) ซึ่งผลของการเพิ่มปริมาณความชื้นดังกล่าวสอดคล้องกับการวิจัยของ Lin และ Keeton (1998) พบว่าผลิตภัณฑ์เนื้อบดชนิดไขมันต่ำที่ใช้ไอโอต้าคาราจีแนนร่วมกับอัลจิเนตมีปริมาณความชื้นสูงแต่มีค่าแรงเฉือนน้อยกว่าสูตรการทดลองที่ใช้ไอโอต้าคาราจีแนนหรืออัลจิเนตเพียงอย่างเดียว จากการทดลองของ Berry (1994) พบว่านักเก็ตหมูที่ใช้โซเดียมอัลจิเนตมีปริมาณความชื้นมากกว่าชุดควบคุมทั้งนี้อาจเนื่องมาจากความสามารถในการจับน้ำของโซเดียมอัลจิเนต (Phillips and Williams, 1995) สำหรับแป้งมัน

สำปะหลังดัดแปรสามารถช่วยเพิ่มการจับน้ำในผลิตภัณฑ์ไส้กรอกเยอรมันชนิดไขมันต่ำและเบอร์เกอร์เนื้อไขมันต่ำ (Ruusunen *et al.*, 2003; Desmond *et al.*, 1998)

2.2 ลักษณะเนื้อสัมผัส (Texture Profile Analysis; TPA) ของผลิตภัณฑ์

จากการวิเคราะห์ลักษณะเนื้อสัมผัสของผลิตภัณฑ์ทั้ง 14 สูตรการทดลองได้ผลดังแสดงในตารางที่ 15 โดยตัวอย่างที่ใช้แป้งมันสำปะหลังดัดแปรและโซเดียมอัลจิเนตเพียงอย่างเดียว (ร้อยละ 1, สูตรการทดลอง HM3 และ HM5) มีค่าความแข็งต่ำ (เฉลี่ย 9,215.79 กรัม) ส่วนการใช้แป้งมันสำปะหลังดัดแปรร่วมกับโซเดียมอัลจิเนต (สูตรการทดลอง HM1) มีผลให้ค่าความแข็ง (hardness) การยึดติด (adhesiveness) ความยืดหยุ่น (springiness) การยึดเกาะกัน (cohesiveness) ความเหนียวคล้ายยาง (gumminess) และความคงทนต่อการบดเคี้ยว (chewiness) น้อยที่สุด ($p<0.05$) ขณะที่การใช้ไอโอต้าคาราจีแนนเพียงอย่างเดียว (สูตรการทดลอง HM9 และ HM10) ส่งผลให้ตัวอย่างมีค่าความแข็งสูง (เฉลี่ย 13,582.48 กรัม) นอกจากนั้นยังพบว่าตัวอย่างที่มีการใช้ไอโอต้าคาราจีแนนร้อยละ 0.5 ถึง 0.67 ร่วมกับไฮโดรคอลลอยด์อีกสองชนิดมีค่าความแข็งอยู่ในระดับสูงเช่นกัน (สูตรการทดลอง HM6 HM11 HM12 และ HM14) โดยมีค่าความแข็งอยู่ในช่วง 11,277.08 ถึง 13,675.61 กรัม ทั้งนี้อาจเนื่องจากไอออต้าคาราจีแนนมีความสามารถในการจับกับน้ำได้ดี ทำให้น้ำที่จำเป็นต้องใช้ในการคลุกส่วนผสมอื่นๆ ให้เข้ากันมีปริมาณน้อยลง ชิ้นเบอร์เกอร์จึงแห้งและเกิดการแตกที่ผิวหน้า หลังทอดจึงเกิดเป็นเปลือกแข็งบริเวณรอยแตกดังกล่าว ส่งผลให้ผลิตภัณฑ์มีค่าความแข็งสูง จากผลการศึกษาดังกล่าวสอดคล้องกับการวิจัยของ Matulis และคณะ (1995) ซึ่งพบว่าคาราจีแนนมีผลเพิ่มค่าความแข็งของผลิตภัณฑ์ไส้กรอกเยอรมัน Fernandez และคณะ (1998) พบว่าผลิตภัณฑ์หมูบดชุบแป้งทอดที่ใช้ไอโอต้าคาราจีแนนปริมาณร้อยละ 1 มีค่าความแข็งสูงกว่าชุดควบคุมที่ไม่ได้ใช้ไอโอต้าคาราจีแนน นอกจากนี้ไอโอต้าคาราจีแนนยังเพิ่มค่าความแข็งของเจลโปรตีนจากเนื้อ (Defreitas *et al.*, 1995 อ้างโดย Fernandez *et al.*, 1998) Trius และคณะ (1994) ก็พบว่าผลิตภัณฑ์ไส้กรอกเนื้อมีค่าความแข็งเพิ่มขึ้นเมื่อใช้ไอโอต้าคาราจีแนน ส่วน Foegeding และ Ramsey (1986,1987) รายงานว่าการใช้ไอโอต้าคาราจีแนนปริมาณร้อยละ 1 ไม่มีอิทธิพลต่อความแข็งและความยืดหยุ่นของผลิตภัณฑ์เนื้อชุบแป้งทอดแต่อย่างใด

ตารางที่ 15 ปริมาณความชื้นและลักษณะเนื้อสัมผัสของผลิตภัณฑ์เบอร์เกอร์กุ้งชุบแป้งทอดที่ใช้ชนิดและอัตราส่วนของไฮโดรคอลลอยด์ที่ระดับต่างๆ

Treatment	Moisture Content** (%)	Texture Profile Analysis (TPA)***					
		Hardness (g)	Adhesiveness (s)	Springiness	Cohesiveness	Gumminess(g)	Chewiness(g*mm)
HM1	52.82±0.77^{ab}	8,212.81±315.71^{h}	-162.88±77.97^{d}	0.44±0.03^{g}	0.28±0.02^{b}	2,281.79±227.61^{f}	1,005.23±162.43^{f}
HM2	50.34±1.47^{bc}	9,914.49±565.32^{cf}	-91.14±95.76^{bc}	0.50±0.04^{cf}	0.30±0.02^{ab}	2,990.74±377.03^{de}	1,496.64±278.55^{ef}
HM3	53.88±0.44^{a}	9,336.16±645.29^{g}	-0.97±4.58^{a}	0.45±0.03^{g}	0.29±0.04^{ab}	2,723.90±477.25^{de}	1,216.60±193.60^{ef}
HM4	54.29±1.36^{a}	10,046.59±363.19^{cf}	-16.34±32.15^{ab}	0.51±0.05^{def}	0.30±0.02^{ab}	3,009.49±277.75^{de}	1,518.40±153.93^{def}
*HM5	52.50±1.66^{ab}	9,095.43±391.46^{g}	-37.45±16.15^{abc}	0.47±0.04^{fg}	0.28±0.01^{ab}	2,584.92±170.81^{ef}	1,226.54±114.18^{ef}
HM6	53.53±1.53^{a}	11,277.08±459.43^{d}	-48.78±94.94^{abc}	0.59± 0.05^{c}	0.31±0.01^{a}	3,506.17±219.74^{c}	2,096.44±307.71^{bcd}
HM7	54.00±0.42^{a}	10,177.50±470.49^{c}	-6.68±16.70^{a}	0.55±0.04^{cde}	0.30±0.02^{ab}	3,088.02±267.68^{d}	1,691.99±218.23^{cde}
HM8	53.93±0.31^{a}	12,593.89±847.26^{bc}	-0.08±2.16^{a}	0.57±0.03^{c}	0.30± 0.02^{ab}	3,817.90±150.84^{abc}	2,166.21±137.04^{bc}
HM9	52.70±2.12^{ab}	13,655.45±904.11^{a}	-1.69±1.97^{a}	0.70±0.05^{a}	0.30±0.02^{ab}	4,151.20±519.34^{a}	2,924.97±406.03^{a}
*HM10	52.83±0.39^{ab}	13,509.51±860.34^{a}	-1.60±1.40^{a}	0.69±0.05^{ab}	0.31±0.02^{a}	4,210.46±461.09^{a}	2,335.23±1,127.91^{ab}
HM11	52.22±1.16^{ab}	12,353.23±949.10^{c}	-22.29±56.53^{abc}	0.55±0.03^{cd}	0.29±0.02^{ab}	3,630.75±450.16^{bc}	2,435.05±880.63^{ab}
*HM12	52.55±2.16^{ab}	13,675.61±617.19^{a}	-96.65±161.49^{cd}	0.57±0.06^{c}	0.30±0.03^{ab}	4,187.14±492.85^{a}	1,704.77±500.72^{cde}
*HM13	49.59±1.75^{c}	9,792.97±971.65^{efg}	-25.60±39.14^{abc}	0.55±0.03^{cde}	0.30±0.02^{ab}	2,955.52±410.30^{de}	2,461.38±791.98^{ab}
HM14	54.58±0.68^{a}	13,258.30±758.80^{ab}	-2.94±2.12^{a}	0.65±0.05^{bc}	0.30±0.02^{ab}	4,038.70±407.68^{ab}	2,617.85±389.35^{ab}

Note: * The replicated design point, ** Mean ± SD from triplicate determinations, *** Mean ± SD from seven determinations.
Different superscripts in the same column indicate significant differences (p<0.05).

2.3 คุณภาพทางประสาทสัมผัสของผลิตภัณฑ์

2.3.1 การกำหนดคำนิยามและขั้นตอนในการประเมินคุณลักษณะด้านของผลิตภัณฑ์เบอร์เกอร์กุ้งชุบแป้งทอด

เมื่อพิจารณาผลการสัมภาษณ์ผู้ทดสอบที่ผ่านการคัดเลือกจำนวน 16 คน (ตารางที่ 16) พบว่าจำนวนครั้งที่ใช้ในการเคี้ยวจนกระทั่งเริ่มรู้สึกถึงความฉ่ำน้ำของผู้ประเมินส่วนใหญ่เคี้ยว 6 – 8 และ 13 ครั้ง และเมื่อพิจารณาจากความรู้สึกที่ทำให้รับรู้ว่าตัวอย่างมีความฉ่ำน้ำ พบว่าผู้ประเมินส่วนใหญ่จะรู้สึกว่าตัวอย่างมีความฉ่ำน้ำก็ต่อเมื่อเคี้ยวตัวอย่างแล้วรู้สึกว่ามีน้ำออกมาจากตัวอย่าง เคี้ยวแล้วรู้สึกแฉะและเปียกที่ผลิตภัณฑ์ รู้สึกว่ามีน้ำอยู่ในผลิตภัณฑ์ เคี้ยวแล้วผลิตภัณฑ์แยกชิ้นแล้วมีน้ำหรือเนื้อนิ่มเละ/กลืนง่าย ไม่ฝืดคอ ลื่นคอ คอไม่แห้งและไม่ต้องดื่มน้ำตาม นอกจากนั้นยังมีผู้ประเมิน 1 คนที่ประเมินความฉ่ำน้ำว่าเป็นความรู้สึกที่เกิดจากน้ำผสมกับน้ำมัน ซึ่งจากข้อมูลทั้งจำนวนครั้งในการเคี้ยวจนกระทั่งเริ่มรู้สึกถึงความฉ่ำน้ำและความรู้สึกที่ทำให้ผู้ประเมินรับรู้ว่าตัวอย่างมีความฉ่ำน้ำสามารถนำมากำหนดเป็นคำนิยามและขั้นตอนในการประเมินคุณลักษณะด้านความฉ่ำน้ำของผลิตภัณฑ์เบอร์เกอร์กุ้งชุบแป้งทอดได้ดังนี้

คำนิยามของความฉ่ำน้ำ คือ ลักษณะของผลิตภัณฑ์ที่เคี้ยวแล้วรู้สึกได้ว่ามีน้ำออกมาจากอาหารและรู้สึกว่าอาหารเปียก แฉะ และนิ่มได้ง่าย ขณะกลืนรู้สึกลื่นคอ กลืนง่าย คอไม่แห้ง

ส่วนขั้นตอนในการประเมินคุณลักษณะด้านความฉ่ำน้ำมี 3 ขั้นตอน ดังนี้

ขั้นตอนที่ 1 ประเมินความฉ่ำน้ำจากความนุ่มของผลิตภัณฑ์ขณะกัดชิ้นอาหาร

ขั้นตอนที่ 2 ประเมินความฉ่ำน้ำจากความรู้สึกว่ามีน้ำออกมาจากอาหารและรู้สึกว่าอาหารเปียกในระหว่างการเคี้ยว 6 – 8 ครั้ง

ขั้นตอนที่ 3 ประเมินความฉ่ำน้ำจากความรู้สึกการกลืนง่ายในขณะกลืนอาหาร

คำนิยามและขั้นตอนการประเมินความฉ่ำน้ำของผลิตภัณฑ์เบอร์เกอร์กุ้งชุบแป้งทอดที่ได้มีความสอดคล้องและใกล้เคียงกับการประเมินความฉ่ำน้ำในผลิตภัณฑ์เนื้อต่างๆ เช่น ผลิตภัณฑ์โบโลญ่า (Gregg *et al.*, 1993) ผลิตภัณฑ์ไส้กรอกแฟรงเฟอร์เตอร์ที่ผลิตจากเนื้อไก่งวง (Turkey frankfurters) (Beggs *et al.*,1997) ผลิตภัณฑ์แฟรงเฟอร์เตอร์เนื้อ (Matulis *et al.*, 1995) และผลิตภัณฑ์เนื้อบด (Eckert *et al.*, 1997) โดยประเมินจากปริมาณความชื้นหรือปริมาณน้ำที่ออกมาจากชิ้นอาหารระหว่างการเคี้ยว 6-8 ครั้ง ขณะที่ Gregory (1991) ทำการประเมินความฉ่ำน้ำของผลิตภัณฑ์สเต็กเนื้อโดยใช้การประเมินจาก 2 ขั้นตอน คือ ความฉ่ำน้ำเริ่มต้น (initial juiciness)

ประเมินจากปริมาณของเหลวที่ออกมาจากชิ้นอาหารระหว่างการเคี้ยว 5-10 คำแรก และความฉ่ำน้ำที่ยังคงเหลือ (sustained juiciness) ประเมินจากปริมาณของเหลวที่ออกมาจากชิ้นอาหารระหว่างการเคี้ยว 5-10 คำสุดท้าย นอกจากนั้นความฉ่ำน้ำของผลิตภัณฑ์เนื้อบดไขมันต่ำประเมินได้จากการกัดและเคี้ยว 1-3 ครั้งแรกและหลังจากการเคี้ยว 7-15 ครั้งหรือตลอดการเคี้ยว (Taki 1991; Troutt *et al.*, 1993) ขณะที่การประเมินความฉ่ำน้ำของผลิตภัณฑ์นักเก็ตหมู ทำโดยวางชิ้นตัวอย่างระหว่างฟันกรามแล้วเคี้ยวเป็นจำนวน 5 ครั้ง (Berry, 1994) หรือการประเมินความฉ่ำน้ำของผลิตภัณฑ์เบอร์เกอร์เนื้อประเมินหลังจากการเคี้ยว 3-5 ครั้ง (Dreeling *et al.*, 2002)

ตารางที่ 16 จำนวนการเคี้ยวและคำนิยามของความฉ่ำน้ำที่ได้จากการสัมภาษณ์ผู้ทดสอบชิม

Results	Number of panelists
Mastication (Times)	
3	1
4	1
6-7	4
8	5
11	1
13	5
15	1
22	1
39	1
45	1
Juiciness Definition	
The softness of sample at first bite	3
The moist/wet feeling at sample	10
The amount of moist/wet released from sample during mastication	10
The amount of wet and oil released from sample during mastication	1
The mastication times for moist/wet perception	4
The amount of saliva for making sample softer	1
The smoothness during swallowing	7
The amount of moist remaining on tongue after swallow	1

2.3.2 การประเมินคุณภาพทางประสาทสัมผัสของผลิตภัณฑ์

เมื่อทำการประเมินคุณลักษณะความฉ่ำน้ำของผลิตภัณฑ์ 14 สูตรที่ได้จากการวางแผนการทดลองแบบ augmented simplex – centroid โดยผู้ทดสอบที่ผ่านการฝึกฝนจำนวน 13 คน ตามคำนิยามและการประเมินความฉ่ำน้ำทั้ง 3 ขั้นตอน (ตารางที่ 17) พบว่าให้ผลสอดคล้องกับปริมาณความชื้นในผลิตภัณฑ์ในผลการทดลองข้อ 2.1.1 กล่าวคือ สูตรการทดลองที่มีการใช้ไอโอต้าคาราจีแนนเพียงอย่างเดียว (สูตรการทดลอง HM9) ซึ่งเป็นสูตรการทดลองที่มีปริมาณความชื้นต่ำและลักษณะปรากฏไม่ดี (ลักษณะการเกิดรอยแตกที่บริเวณผิวหน้าซึ่งเกิดขึ้นระหว่างกระบวนการผลิต) ได้รับคะแนนความฉ่ำน้ำจากทั้ง 3 ขั้นตอนน้อยที่สุด ($p<0.05$) ซึ่งผลของความฉ่ำน้ำจากการใช้ไอโอต้าคาราจีแนนสอดคล้องกับการศึกษาของ Huffmen และคณะ (1992) พบว่าการใช้ไอโอต้าคาราจีแนนไม่มีผลต่อความฉ่ำน้ำของผลิตภัณฑ์หมูบดชนิดไขมันต่ำ Berry และ Bigner (1996) ศึกษาการเกิดเจลของไอโอต้าคาราจีแนนในผลิตภัณฑ์นักเก็ตหมู ก็พบว่าไอโอต้าคาราจีแนนไม่มีผลต่อความฉ่ำน้ำของผลิตภัณฑ์เมื่อเทียบกับผลิตภัณฑ์ชุดควบคุม ขณะที่การใช้โซเดียมอัลจิเนตส่งผลให้ตัวอย่างได้รับคะแนนความฉ่ำน้ำสูงซึ่งเนื่องมาจากคุณสมบัติการจับกับน้ำดังที่กล่าวข้างต้นซึ่งก็สอดคล้องกับปริมาณความชื้นที่เพิ่มขึ้นของผลิตภัณฑ์ดังผลการทดลองข้อที่ 2.1.1 และยังสอดคล้องกับการศึกษาของ Berry (1997) ซึ่งพบว่าเนื้อบดชนิดไขมันต่ำที่ใช้โซเดียมอัลจิเนตร้อยละ 0.1 ร่วมกับแป้งมันสำปะหลังดัดแปรร้อยละ 0.8 มีคะแนนความฉ่ำน้ำสูงกว่าสูตรควบคุม ขณะที่การใช้แป้งมันสำปะหลังดัดแปรร้อยละ 1 และการใช้ไอโอต้าคาราจีแนนร้อยละ 0.5 ต่างมีผลให้ตัวอย่างนักเก็ตหมูมีคะแนนความฉ่ำน้ำสูงกว่าสูตรควบคุม (Berry, 1994) ผลงานวิจัยของ Lyons และคณะ (1999) ได้สนับสนุนว่าสูตรการทดลองที่ใช้แป้งมันสำปะหลังมีผลเพิ่มคะแนนความฉ่ำน้ำของผลิตภัณฑ์ไส้กรอกหมูไขมันต่ำ และจากการวิจัยของ Desmond และคณะ (1998) รายงานว่าปริมาณแป้งมันสำปะหลังที่เพิ่มขึ้นช่วยเพิ่มความนุ่มเนื้อและความฉ่ำน้ำของผลิตภัณฑ์เบอร์เกอร์เนื้อไขมันต่ำ และการที่ผลิตภัณฑ์ที่ใช้แป้งมีความฉ่ำน้ำมากขึ้นนั้นอาจจะเนื่องมาจากคุณสมบัติของแป้งที่จะค่อยๆ ปล่อยน้ำที่ถูกตรึงไว้ระหว่างที่แป้งถูกทำลายทางกายภาพหรือการเคี้ยวนั่นเอง (Knight and Perkin, 1991 อ้างโดย Lyons *et al.*, 1999)

ตารางที่ 17 คะแนนความฉ่ำน้ำของผลิตภัณฑ์เบอร์เกอร์กุ้งชุบแป้งทอดที่ใช้ไฮโดรคอลลอยด์ที่ระดับต่างๆ

Treatment	Juiciness score**		
	1st step	2nd step	3rd step
HM1	7.37±0.90^{ab}	8.36±1.12^{a}	8.39±1.14^{a}
HM2	6.11±1.34^{cde}	7.16±1.45^{bcd}	7.42±1.45^{ab}
HM3	7.44±1.07^{ab}	8.31±1.44^{ab}	8.58±1.46^{a}
HM4	6.26±1.19^{bcde}	7.18±1.10^{bcd}	7.35±1.26^{abc}
*HM5	7.02±1.42^{abc}	8.04±1.43^{ab}	8.22±1.45^{a}
HM6	6.41±1.26^{abcde}	7.18±1.06^{bcd}	7.31±1.21^{abc}
HM7	6.43±1.47^{abcde}	7.31±1.41^{abc}	7.31±1.43^{abc}
HM8	7.61±1.96^{a}	8.27±1.97^{ab}	8.45±2.04^{a}
HM9	5.18±1.08^{e}	5.92±1.00^{d}	6.03±1.15^{c}
*HM10	5.81±1.61^{de}	6.38±1.60^{cd}	6.51±1.57^{c}
HM11	6.11±1.82^{cde}	6.50±1.30^{cd}	6.71±1.49^{bc}
*HM12	5.73±1.40^{de}	6.63±1.38^{cd}	6.86±1.48^{bc}
*HM13	6.50±1.46^{abcd}	7.17±1.42^{abcd}	7.32±1.54^{abc}
HM14	6.36±1.66^{bcde}	7.05±1.62^{abc}	7.31±1.81^{abc}

Note: * The replicated design point

** Scale = 15 (1 = low intensity, 14 = high intensity)

1st step is the softness of sample at first bite, 2nd step is the feeling of moist or wet of sample or moist released from sample during 6-8 chews, and 3td step is the smoothness during swallowing.

Mean ± SD from thirteen trained panelists.

Different superscripts in the same column indicate significant differences (p<0.05).

2.4 การคัดเลือกสูตรที่ใช้ไฮโดรคอลลอยด์ที่เหมาะสม

เมื่อใช้โปรแกรม Design Expert version 7.0.3 (Stat-Ease, Inc., MN, USA) สร้างสมการแบบหุ่นจำลองและแผนภูมิคอนทัวร์ (contour plot) ซึ่งแสดงความสัมพันธ์ของอัตราส่วนของแป้งมันสำปะหลังดัดแปร (MTS) โซเดียมอัลจิเนต (AL) และไอโอต้าคาราจีแนน (CA) ที่มีผลต่อปัจจัยคุณภาพด้านปริมาณความชื้นและคุณลักษณะความฉ่ำน้ำของผลิตภัณฑ์เบอร์เกอร์กุ้งชุบแป้งทอด ได้สมการจำลองดังแสดงในตารางที่ 18 และแผนภูมิคอนทัวร์ในแต่ละปัจจัยคุณภาพดังภาพที่ 10 ซึ่งจะเห็นว่าสมการจำลองของคะแนนความฉ่ำน้ำจากการประเมินขั้นที่ 1 และ 3 เป็นแบบหุ่นเส้นตรง (linear model) ขณะที่สมการจำลองของปริมาณความชื้นและคะแนนความฉ่ำน้ำจากการประเมินขั้นที่ 2 เป็นแบบหุ่นกำลังสอง (quadratic model) ซึ่งมีค่าสหสัมพันธ์ (R^2) อยู่ในช่วง 0.6375 – 0.9007 และสมการไม่มีความบกพร่อง (lack of fit, p>0.05) แต่สำหรับคะแนนความฉ่ำน้ำในการประเมินจากขั้นตอนที่ 1 มีค่าสหสัมพันธ์เท่ากับ 0.6375 โดยทั่วไปสมการที่มักนำไปใช้ควรมีค่าสหสัมพันธ์อย่างน้อยเท่ากับ 0.75 (Hu, 1999) สมการที่ประกอบด้วยปัจจัยของแป้งมันสำปะหลังดัดแปร โซเดียมอัลจิเนตและ ไอโอต้าคาราจีแนนสามารถอธิบายข้อมูลบางส่วนได้ แต่ยังขาดปัจจัยอื่นๆ ที่มีอิทธิพลต่อคะแนนความฉ่ำน้ำที่ได้จากการประเมินในขั้นตอนที่ 1 โดยพบว่าสมการดังกล่าวไม่สามารถอธิบายความแปรปรวนของข้อมูลส่วนที่เหลือได้ สมการดังกล่าวจึงไม่เหมาะในการนำมาคาดคะเนส่วนผสมของสูตรเบอร์เกอร์ ดังนั้นจึงนำสมการจำลองเฉพาะในด้านปริมาณความชื้น คะแนนความฉ่ำจากการประเมินขั้นตอนที่ 2 และ 3 เท่านั้น มาใช้ในการคำนวณค่าตอบสนองซึ่งเป็นคุณภาพด้านคุณลักษณะความฉ่ำน้ำของผลิตภัณฑ์ที่ได้ภายในช่วงที่ศึกษาของตัวแปร (แป้งมันสำปะหลังดัดแปร โซเดียมอัลจิเนตและไอโอต้าคาราจีแนน)

จากการพิจารณาสมการจำลองในปัจจัยด้านปริมาณความชื้นและคะแนนความฉ่ำน้ำทั้งสามขั้นตอน พบว่าปริมาณโซเดียมอัลจิเนต (AL) มีอิทธิพลต่อค่าตอบสนองมากที่สุด (ค่าสัมประสิทธิ์สูงที่สุด) อิทธิพลร่วมของโซเดียมอัลจิเนตและไอโอต้าคาราจีแนน (ALxCA) มีค่าสัมประสิทธิ์เป็นลบในสมการจำลองด้านคะแนนความฉ่ำน้ำจากการประเมินขั้นที่ 2 ส่งผลต่อค่าตอบสนองในทางตรงข้ามกับอิทธิพลของสารตัวอื่น

การคัดเลือกอัตราส่วนของไฮโดรคอลลอยด์ที่เหมาะสมจึงพิจารณาจากชนิดที่มีอิทธิพลต่อคุณลักษณะความฉ่ำน้ำของผลิตภัณฑ์โดยทำการซ้อนทับแผนภูมิคอนทัวร์ที่ได้จากสมการจำลองด้านปริมาณความชื้นซึ่งอยู่ในช่วงร้อยละ 52-54.58 คะแนนความฉ่ำน้ำที่ได้จากการประเมินขั้นตอนที่ 2 ซึ่งอยู่ในช่วง 6.2 – 8.65 คะแนน และคะแนนความฉ่ำจากการประเมินขั้นตอนที่ 3 ซึ่งมีคะแนนอยู่ในช่วง 6.36-8.74 คะแนน ได้สูตรการทดลองที่โปรแกรมสำเร็จรูป Design

Expert version 7.0.3 แนะนำว่าเหมาะสมที่สุดจำนวน 1 สูตร คือสูตรที่มีอัตราส่วนของแป้งมันสำปะหลังดัดแปรและโซเดียมอัลจิเนตเท่ากับร้อยละ 0.3 และ 0.7 ตามลำดับ (ภาพที่ 11)

ตารางที่ 18 สมการจำลองและค่าสหสัมพันธ์ซึ่งแสดงผลของปริมาณความชื้นและคะแนนความฉ่ำน้ำของผลิตภัณฑ์เบอร์เกอร์กุ้งชุบแป้งทอดที่ใช้ชนิดและอัตราส่วนของไฮโดรคอลลอยด์

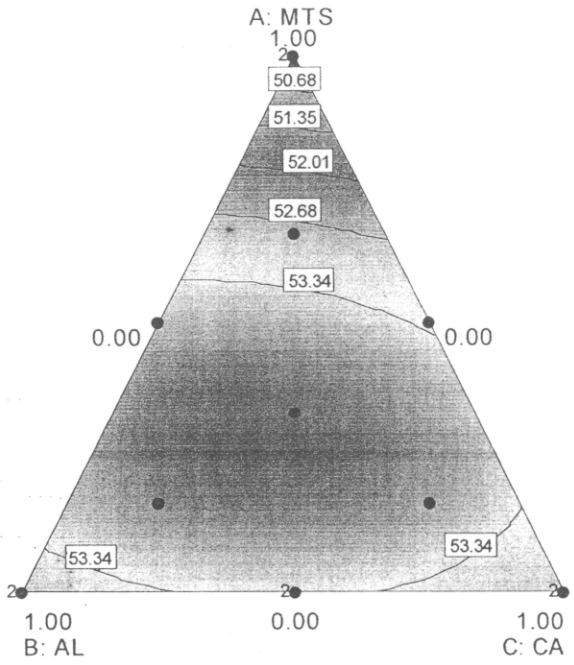
Parameter	Regression models	R^2	Probability of model	Lack of fit (*p*)
Moisture content	Y = 50.02MTS + 52.93AL + 52.78CA + 8.65 MTS x AL + 7.56 MTS x CA + 2.25 AL xCA	0.7590	0.0221	0.2656
Juiciness score				
1st step	Y = 6.88MTS + 7.28AL + 5.65CA	0.6375	0.0038	0.2578
2nd step	Y = 7.42MTS + 8.23AL + 6.45CA + 3.04 MTS x AL + 0.40 MTS x CA – 1.87AL x CA	0.9007	0.0008	0.4407
3rd step	Y = 7.83MTS + 8.43AL + 6.46CA	0.7713	0.0003	0.1986

Note: MTS; Modified tapioca starch, AL: Sodium alginate, CA; Iota carrageenan,

p: probability level

1st step is the softness of sample at first bite, 2nd step is the feeling of moist or wet of sample or moist released from sample during 6-8 chews, and 3rd step is the smoothness during swallowing.

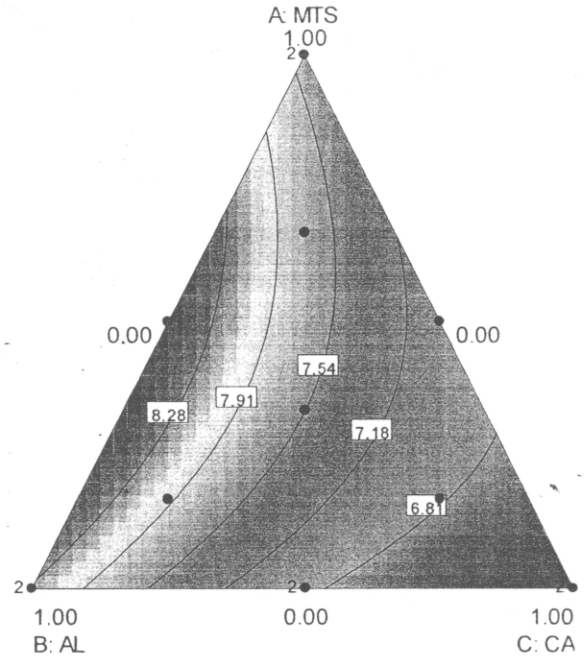
(A)



%MC

Moisture content (%)

(B)

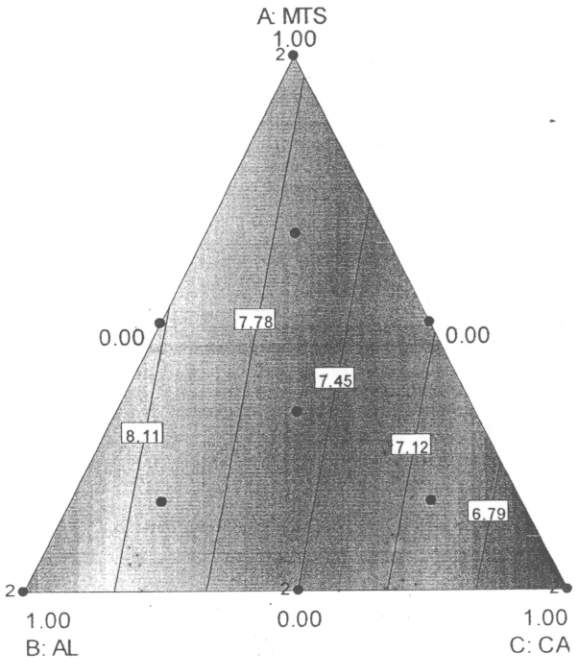


Juiciness score at Second step

Predicted juiciness scores derived from second step

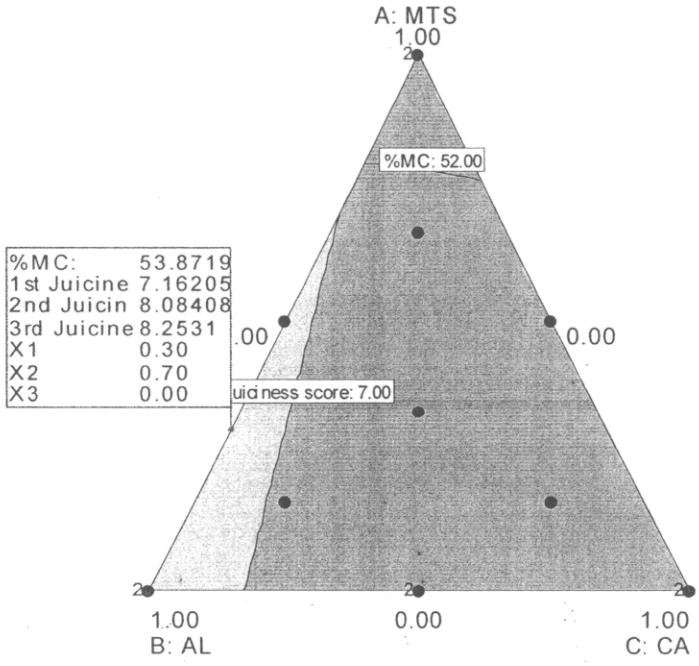
ภาพที่ 10 แผนภูมิคอนทัวร์ของปริมาณความชื้น (A) คะแนนความฉ่ำน้ำจากการประเมินขั้นตอนที่ 2 (B) และคะแนนความฉ่ำน้ำจากการประเมินขั้นตอนที่ 3 (C) จากการวัดคุณภาพของผลิตภัณฑ์เบอร์เกอร์กุ้งชุบแป้งทอดที่ใช้อัตราส่วนของแป้งมันสำปะหลังดัดแปรโซเดียมอัลจิเนตและไอโอต้าคาราจีแนนต่างกัน

(C)



Predicted juiciness scores derived from third step

ภาพที่ 10 (ต่อ)



Overlay plot

ภาพที่ 11 พื้นที่ซ้อนทับแสดงปริมาณที่เหมาะสมของแป้งมันสำปะหลังดัดแปร (MTS) โซเดียมอัลจิเนต (AL) และไอโอต้าคาราจีแนน (CA) (พื้นที่สีเหลือง) ที่มีผลต่อค่าตอบสนองด้านปริมาณความชื้น (ร้อยละ 52-54.58) คะแนนความฉ่ำน้ำที่ได้จากการประเมินขั้นตอนที่ 2 และ 3 (6.2 – 8.65 และ 6.36-8.74 คะแนน ตามลำดับ)

เมื่อทำการผลิตเบอร์เกอร์กุ้งชุบแป้งทอดสูตรที่มีไฮโดรคอลลอยด์เหมาะสมที่ได้จากสมการพยากรณ์เพื่อให้ได้ผลิตภัณฑ์ที่มีปริมาณความชื้นและความฉ่ำน้ำเหมาะสม (ใช้โซเดียมอัลจิเนตและแป้งมันสำปะหลังดัดแปรร้อยละ 0.7 และ 0.3 ตามลำดับ หรือสูตร Optimized Juiciness; OJ) และสูตรจำลองที่ทำการปรับลดเกล็ดขนมปังในส่วนผสมของเบอร์เกอร์เหลือร้อยละ 6.5 (สูตร 6.5BC) แล้ววิเคราะห์คุณภาพของผลิตภัณฑ์เปรียบเทียบกับสูตรจำลองที่ใช้ปริมาณเกล็ดขนมปังร้อยละ 12.5 (สูตร 12.5BC) ได้ผลดังนี้

2.4.1 ปริมาณความชื้นของผลิตภัณฑ์

จากการวิเคราะห์ปริมาณความชื้นของตัวอย่างผลิตภัณฑ์เบอร์เกอร์กุ้งชุบแป้งทอดทั้งสามสูตรการทดลองดังแสดงในตารางที่ 19 พบว่าผลิตภัณฑ์สูตร 6.5BC ซึ่งเป็นสูตรที่ลดปริมาณเกล็ดขนมปังและไม่มีการใช้ไฮโดรคอลลอยด์มีปริมาณความชื้นมากกว่าผลิตภัณฑ์สูตร 12.5BC แต่น้อยกว่าผลิตภัณฑ์สูตร OJ ($p<0.05$) นั่นแสดงว่าการลดปริมาณเกล็ดขนมปังเพียงอย่างเดียวยังไม่สามารถปรับปรุงคุณภาพด้านปริมาณความชื้นของผลิตภัณฑ์ได้ดีเท่ากับการใช้

โซเดียมอัลจิเนตร่วมกับแป้งมันสำปะหลังดัดแปรที่ระดับปริมาณดังกล่าว ถึงแม้ว่าสูตรที่ใช้ปริมาณเกล็ดขนมปังร้อยละ 6.5 จะสามารถเพิ่มปริมาณความชื้นได้เมื่อเทียบกับสูตร 12.5BC

2.4.2 ปริมาณไขมันของผลิตภัณฑ์

ผลการวิเคราะห์ปริมาณไขมันของตัวอย่างผลิตภัณฑ์เบอร์เกอร์กุ้งชุบแป้งทอดทั้ง สามสูตรดังแสดงในตารางที่ 19 พบว่าผลิตภัณฑ์สูตร 6.5BC มีปริมาณไขมันทั้งในส่วนของแป้งชุบและเบอร์เกอร์สูงกว่าสูตรการทดลองอื่น ($p<0.05$) ขณะที่ไม่พบความแตกต่างระหว่างผลิตภัณฑ์สูตร 12.5BC และผลิตภัณฑ์สูตร OJ ($p>0.05$) จะเห็นว่าการใช้โซเดียมอัลจิเนตและแป้งมันสำปะหลังดัดแปรที่ระดับจากการพยากรณ์ ไม่มีผลต่อปริมาณไขมันของตัวอย่าง กระบวนการดูดซับน้ำมันของผลิตภัณฑ์อาหารชุบแป้งทอดส่วนใหญ่จะเกิดขึ้นที่ในแป้งชุบ ซึ่งหากบริเวณดังกล่าวเกิดการสูญเสียปริมาณความชื้นในระหว่างการทอดมาก ก็จะส่งผลให้เกิดการดูดซับไขมันของอาหารมากขึ้นด้วย (Gamble *et al.*, 1987; Sulaeman *et al.*, 2004) เมื่อพิจารณาควบคู่ไปกับปริมาณความชื้นที่ยังคงอยู่ในตัวอย่างพบว่าผลิตภัณฑ์สูตร OJ และผลิตภัณฑ์สูตร 12.5BC มีปริมาณความชื้นในส่วนของแป้งชุบไม่แตกต่างกัน ($p>0.05$) นั่นหมายถึงการสูญเสียความชื้นของตัวอย่างทั้งสองในระหว่างกระบวนการทอดไม่แตกต่างกัน จึงเกิดการแทนที่ด้วยน้ำมันหรือตัวอย่างเกิดการดูดซับน้ำมันได้ไม่แตกต่างกัน ส่งผลให้ตัวอย่างทั้งสองมีปริมาณไขมันไม่แตกต่างกัน ($p>0.05$) และการที่ตัวอย่างที่ลดปริมาณเกล็ดขนมปังมีปริมาณไขมันสูงที่สุด อาจอธิบายได้จากการสูญเสียความชื้นเมื่อเปรียบเทียบกับผลิตภัณฑ์สูตร OJ โดยจะพบว่าตัวอย่างที่ลดปริมาณเกล็ดขนมปังมีปริมาณความชื้นของเนื้อเบอร์เกอร์น้อยกว่าผลิตภัณฑ์สูตร OJ จึงอาจเกิดการแทนที่ด้วยไขมันได้มากกว่านั่นเอง

ตารางที่ 19 ปริมาณความชื้นและปริมาณไขมันของผลิตภัณฑ์เบอร์เกอร์กุ้งชุบแป้งทอดสูตรจำลองที่ใช้ปริมาณเกล็ดขนมปังร้อยละ 12.5 สูตรใช้ปริมาณเกล็ดขนมปังร้อยละ 6.5 และสูตรที่มีปริมาณความชื้นและความฉ่ำน้ำเหมาะสมที่ได้จากสมการพยากรณ์

Treatment	Moisture Content (%)		Fat Content (%)	
	Coating	Burger	Coating	Burger
12.5BC	27.56±1.19^{b}	59.98±0.74^{c}	7.86±0.03^{b}	9.51±0.29^{b}
6.5BC	30.43±0.90^{a}	63.50±0.22^{b}	9.80±0.69^{a}	10.88±0.12^{a}
OJ	27.34±1.59^{b}	65.18±0.27^{a}	7.82±0.19^{b}	9.53±0.06^{b}

Note: Mean ± SD from triplicate determinations.

Different superscripts in the same column indicate significant differences ($p<0.05$).

2.4.3 ลักษณะเนื้อสัมผัสของผลิตภัณฑ์

เมื่อพิจารณาลักษณะเนื้อสัมผัสของตัวอย่างทั้งสามสูตรการทดลอง (ตารางที่ 20) พบว่าผลิตภัณฑ์สูตร 12.5BC มีค่าความแข็งสูงที่สุด ($p<0.05$) ขณะที่ไม่พบความแตกต่างของค่าความแข็งระหว่างผลิตภัณฑ์สูตร 6.5BC และผลิตภัณฑ์สูตร OJ ($p>0.05$) ลักษณะเนื้อสัมผัสของอาหารเกิดจากการสร้างพันธะกันระหว่างโปรตีนและพอลิแซ็กคาไรด์โดยเฉพาะเกิดอันตรกิริยาระหว่างประจุ (Morris, 1973 อ้างโดย Imeson *et al.*, 1977) ซึ่งการลดเกล็ดขนมปังในส่วนผสมเบอร์เกอร์ทำให้สัดส่วนของปริมาณส่วนผสมแห้งลดลงเป็นการลดการจับกันระหว่างโปรตีนกับพอลิแซ็กคาไรด์ส่งผลให้การจับกันระหว่างส่วนผสมเกิดได้น้อยและทำให้เกิดโครงสร้างที่เพิ่มความแข็งในผลิตภัณฑ์ได้น้อยลง ผลิตภัณฑ์สูตร OJ และสูตร 6.5BC จึงมีค่าความแข็งน้อยกว่าผลิตภัณฑ์สูตร 12.5BC ขณะที่ผลิตภัณฑ์สูตร 6.5BC และสูตร OJ มีค่าความคงทนต่อการบดเคี้ยวน้อยกว่าผลิตภัณฑ์สูตร 12.5BC ($p<0.05$) นั่นอาจเกิดจากการลดปริมาณเกล็ดขนมปังในสูตร 6.5BC และสูตร OJ นอกจากนั้นยังไม่พบความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญของค่าการยึดติดกันระหว่างผลิตภัณฑ์ทั้งสามสูตรการทดลอง ($p>0.05$)

ตารางที่ 20 ลักษณะเนื้อสัมผัสของผลิตภัณฑ์เบอร์เกอร์กุ้งชุบแป้งทอดสูตรจำลองที่ใช้ปริมาณเกล็ดขนมปังร้อยละ 12.5 สูตรที่ใช้ปริมาณเกล็ดขนมปังร้อยละ 6.5 และสูตรที่มีปริมาณความชื้นและความฉ่ำน้ำเหมาะสมที่ได้จากสมการพยากรณ์

Treatment	Texture Profile Analysis (TPA)						
	Hardness (g)	Fracturability (g*s)	Adhesiveness (s)	Springiness	Cohesiveness	Gumminess (g)	Chewiness (g*mm)
12.5BC	13,527.36±412.95^{a}	20.11±3.54^{a}	-2.83±1.69^{a}	0.57±0.07^{a}	0.27±0.01^{a}	3,612.46±271.44^{a}	2,055.69±316.48^{a}
6.5BC	7,756.04±272.78^{b}	14.81±4.37^{b}	-1.89±3.80^{a}	0.46±0.03^{b}	0.24±0.02^{b}	1,823.56±158.87^{c}	841.82±109.07^{b}
OJ	7,446.43±675.01^{b}	18.47±2.36^{ab}	-6.66±6.03^{a}	0.39±0.02^{c}	0.28±0.02^{a}	2,116.32±198.16^{b}	829.13±93.90^{b}

Note: Mean ± SD from seven determinations.

Different superscripts in the same column indicate significant differences (p<0.05).

75

2.4.4 คุณลักษณะทางประสาทสัมผัสของผลิตภัณฑ์

เมื่อพิจารณาผลการทดสอบทางประสาทสัมผัสตัวอย่างเบอร์เกอร์กุ้งชุบแป้งทอดทั้งสามสูตร (ตารางที่ 21) พบว่าผลิตภัณฑ์สูตร 12.5BC ได้รับคะแนนความฉ่ำน้ำในทั้งสามขั้นตอนน้อยที่สุด ($p<0.05$) ขณะที่ผลิตภัณฑ์สูตร OJ ได้รับคะแนนความฉ่ำน้ำในทั้งสามขั้นตอนสูงที่สุด ($p<0.05$) เมื่อนำคะแนนที่ได้ไปเปรียบเทียบกับคะแนนความฉ่ำน้ำจากสามขั้นตอนของการประเมินที่ได้จากการคะเนด้วยโปรแกรม Design Expert version 7.0.3 (เท่ากับ 7.16 8.08 และ 8.25 ตามลำดับ ดังแสดงในภาพที่ 11) พบว่าคะแนนความฉ่ำน้ำที่ได้จากการทดสอบจริงแตกต่างจากคะแนนที่ได้คาดคะเนไว้คิดเป็นร้อยละ 0.13 0.11 และ 0.08 ตามลำดับ ซึ่งความแตกต่างระหว่างค่าที่วัดได้จริงกับค่าที่ได้จากการคาดคะเนไม่เกินร้อยละ 10 ถือว่าเป็นสมการที่สามารถใช้ในการทำนายและหาจุดที่เหมาะสมของผลิตภัณฑ์ได้ (สุจินดา ศรีวัฒนา, 2548) จากผลการทดลองจะเห็นว่าการลดปริมาณเกล็ดขนมปังทั้งในสูตร 6.5BC และสูตร OJ สามารถเพิ่มคะแนนความฉ่ำน้ำของตัวอย่าง และการใช้โซเดียมอัลจิเนตร่วมกับแป้งมันสำปะหลังดัดแปรร้อยละ 0.3 และ 0.7 ตามลำดับช่วยเพิ่มคะแนนความฉ่ำน้ำได้ ซึ่งผลคะแนนความฉ่ำน้ำสอดคล้องกับปริมาณความชื้นของผลิตภัณฑ์ จึงสามารถกล่าวได้ว่าโซเดียมอัลจิเนตและแป้งมันสำปะหลังดัดแปรที่เลือกใช้ในปริมาณดังกล่าวมีคุณสมบัติในการจับน้ำทำให้ตัวอย่างมีปริมาณความชื้นและคะแนนความฉ่ำน้ำเพิ่มขึ้น

ดังนั้นในขั้นตอนการสร้างสูตรเบอร์เกอร์ที่มีไฮโดรคอลลอยด์ที่เหมาะสมโดยให้ได้สูตรเบอร์เกอร์ที่มีปริมาณความชื้นและความฉ่ำน้ำมากกว่าผลิตภัณฑ์เบอร์เกอร์กุ้งชุบแป้งสูตรจำลองจึงคัดเลือกสูตรที่ใช้โซเดียมอัลจิเนตร่วมกับแป้งมันสำปะหลังดัดแปรร้อยละ 0.3 และ 0.7 ตามลำดับ นำไปศึกษาต่อในขั้นต่อไป

ตารางที่ 21 คะแนนความฉ่ำน้ำของผลิตภัณฑ์เบอร์เกอร์กุ้งชุบแป้งทอดสูตรจำลองที่ใช้ปริมาณเกล็ดขนมปังร้อยละ 12.5 สูตรที่ใช้ปริมาณเกล็ดขนมปังร้อยละ 6.5 และสูตรที่มีปริมาณความชื้นและความฉ่ำน้ำเหมาะสมที่ได้จากสมการพยากรณ์

Treatment	Juiciness score*		
	1st step	2nd step	3rd step
12.5BC	5.79±1.12^{c}	6.54±1.24^{c}	6.64±1.29^{c}
6.5BC	6.97±1.32^{b}	7.72±1.46^{b}	7.72±1.55^{b}
OJ	8.23±1.45^{a}	9.17±1.64^{a}	8.98±1.64^{a}

Note: * Scale = 15 (1 = low intensity, 14 = high intensity)

1st step is the softness of sample at first bite, 2nd step is the feeling of moist or wet of sample or moist released from sample during 6-8 chews. and 3rd step is the smoothness during swallowing.

Mean ± SD from twelve trained panelists.

Different superscripts in the same column indicate significant differences (p<0.05).

3. การสร้างสูตรแป้งชุบ (Batter) ที่ลดการดูดซับน้ำมันที่เหมาะสม

3.1 การศึกษาอัตราส่วนของแป้งข้าวเจ้าและแป้งข้าวโพดในสูตรแป้งชุบ

เมื่อนำเบอร์เกอร์กุ้งที่มีปริมาณความชื้นและความฉ่ำน้ำเหมาะสม (สูตร OJ) ที่ได้จากขั้นตอนที่ 2 มาศึกษาอัตราส่วนระหว่างแป้งข้าวเจ้าและแป้งข้าวโพดของแป้งชุบทอด โดยใช้แผนการทดลองแบบ augmented simplex - lattice ได้สูตรการทดลองทั้งหมด 5 สูตรและเป็นสูตรซ้ำการทดลอง 4 สูตร แล้วทำการวัดความหนืดของแป้งชุบ (ตารางที่ 22) พบว่าแป้งชุบสูตรการทดลอง F2 F3 และ F9 ซึ่งมีอัตราส่วนของแป้งข้าวโพดสูง (ร้อยละ 47.25) มีค่าความหนืดต่ำกว่าสูตรการทดลองอื่นๆ โดยมีความหนืดเฉลี่ยเท่ากับ 164.61 cPs ขณะที่แป้งชุบทอดที่มีอัตราส่วนแป้งข้าวเจ้าสูงร้อยละ 47.25 (สูตรการทดลอง F4 และ F8) มีความหนืดสูงเฉลี่ยเท่ากับ 383.66 cPs (p<0.05) จากผลการทดลองดังกล่าวแสดงให้เห็นว่าการเพิ่มอัตราส่วนของแป้งข้าวโพดส่งผลให้ความหนืดของแป้งชุบลดลงอย่างมีนัยสำคัญ (p<0.05) ทั้งนี้ผลการทดลองที่ได้มีความสอดคล้องกับการรายงานของ Xue และ Ngadi (2005) ที่พบว่าแป้งชุบที่มีส่วนผสมของแป้งข้าวเจ้าเป็นหลัก (rice flour system) มีความหนืดสูงกว่าแป้งชุบที่มีส่วนผสมของแป้งข้าวโพดเป็นหลัก (corn flour system) กล้าณรงค์ ศรีรอดและเกื้อกูล ปิยะจอมขวัญ (2546) กล่าวว่าแป้งจากธัญพืชมีรูปแบบการพองตัวและการละลาย 2 ขั้นตอน ซึ่งแสดงถึงแรงของพันธะภายในเม็ดแป้งที่แตกต่างกัน 2 ชนิด คือ พันธะบริเวณผลึกและบริเวณอสัณฐานของเม็ดแป้ง แป้งจากธัญพืชจะมีจำนวนพันธะสูงแต่มีกำลังการพองตัวและการละลายต่ำเมื่อเทียบกับแป้งจากส่วนหัวและส่วนราก เนื่องจากแป้งธัญพืชมีปริมาณอะไมโลสสูง ซึ่งการมีอะไมโลสสูงจะทำให้โครงสร้างร่างแหในเม็ดแป้งแข็งแรงทำให้เกิดการพองตัวได้ต่ำ และเมื่อพิจารณาจากปริมาณอะไมโลสของแป้งข้าวโพดและแป้งข้าวเจ้าพบว่าแป้งทั้งสองมีปริมาณอะไมโลสเท่ากับร้อยละ 28 และ 17 ตามลำดับ (Hizukuri, 1988 อ้างโดย กล้าณรงค์ ศรีรอดและเกื้อกูล ปิยะจอมขวัญ, 2546) แป้งข้าวโพดจึงอาจเกิดการพองตัวได้ต่ำกว่าแป้งข้าวเจ้าทำให้แป้งชุบทอดที่ได้จากแป้งข้าวเจ้ามีความหนืดสูงกว่า นอกจากนั้นอาจเนื่องจากปริมาณโปรตีนในแป้งข้าวเจ้ามีสูงกว่า โดย Xue และคณะ (2005) พบว่าแป้งข้าวเจ้าและแป้งข้าวโพดมีปริมาณโปรตีนเท่ากับร้อยละ 6.78 และ 3.86 ตามลำดับ ซึ่งเป็นที่ทราบกันดีแล้วว่าโปรตีนสามารถเกิดพันธะไฮโดรเจนกับโมเลกุลของน้ำได้ จึงเป็นไปได้ที่แป้งข้าวเจ้าจะสามารถจับกับน้ำได้มากกว่าทำให้ปริมาณน้ำอิสระในแป้งชุบเหลือน้อยกว่า ส่งผลให้ความหนืดสูงกว่านั่นเอง Dogan และคณะ (2005) พบว่าปริมาณโปรตีนที่มากกว่าในแป้งถั่วทำให้แป้งชุบทอดจากแป้งถั่วมีความหนืดสูงกว่าแป้งข้าวเจ้า นอกจากนั้นยังสอดคล้องกับปริมาณน้ำที่แป้งใช้ในการดูดซับโดยพบว่า

แป้งข้าวโพดจะใช้น้ำ 39.9 กรัม ต่อแป้ง 100 กรัม (Wurzburg, 1972) ขณะที่แป้งข้าวเจ้ามีความสามารถในการจับกับน้ำได้มากถึง 140 กรัม ต่อแป้ง 100 กรัม (Dogan, *et al.*, 2005)

จากการวิเคราะห์ปริมาณการเคลือบของแป้งชุบทั้ง 9 สูตร (ตารางที่ 22) พบว่าผลิตภัณฑ์เบอร์เกอร์กุ้งชุบแป้งทอดที่แป้งชุบมีอัตราส่วนแป้งข้าวเจ้าสูงร้อยละ 35.44 และ 47.25 (สูตรการทดลอง F4 F5 และ F8) มีปริมาณการเคลือบสูงเฉลี่ยเท่ากับร้อยละ 19.33 ซึ่งจากผลการทดลองจะเห็นว่าให้ผลสอดคล้องกับความหนืดของแป้งชุบ กล่าวคือสูตรการทดลองที่มีอัตราส่วนของแป้งข้าวเจ้าสูงจะส่งผลให้มีความหนืดสูงและตัวอย่างมีปริมาณการเคลือบสูง เช่นเดียวกันกับรายงานของ Dogan และคณะ (2005) และ Lane และ Ghany (1985) ที่พบว่าปริมาณการเคลือบที่เพิ่มขึ้นมีความสัมพันธ์กับการเพิ่มขึ้นของความหนืดของแป้งชุบทอด

ตารางที่ 22 ความหนืดและปริมาณการเคลือบของแป้งชุบ (ร้อยละ) ที่มีอัตราส่วนของแป้งข้าวโพดและแป้ง ข้าวเจ้าต่างกัน

Treatment	Proportion (%)		Viscosity of batter	Coating pick-up
	Corn Flour	Rice Flour	(cPs)	(%)
F1	23.62	23.62	229.67±0.29^{b}	13.08±0.04^{b}
F2	47.25	-	163.67±1.15^{d}	15.27±0.02^{b}
*F3	47.25	-	165.17±3.01^{d}	14.91±0.29^{b}
F4	-	47.25	379.33±18.45^{a}	20.76±0.82^{a}
F5	11.81	35.44	384.83±2.57^{a}	16.98±0.93^{ab}
*F6	23.62	23.62	231.00±2.65^{b}	12.07±0.52^{b}
F7	35.44	11.81	189.83±8.39^{c}	12.52±0.42^{b}
*F8	-	47.25	388.00±4.77^{a}	20.26±1.28^{a}
*F9	47.25	-	165.50±2.50^{d}	16.46±0.51^{ab}

Note: * The replicated design point

Mean ± SD from triplicate determinations.

Different superscripts in the same column indicate significant differences (p<0.05).

3.1.1 ค่าสีของผลิตภัณฑ์

จากการวิเคราะห์ค่าสีของผลิตภัณฑ์เบอร์เกอร์กุ้งชุบแป้งทอดที่ใช้อัตราส่วนของแป้งข้าวเจ้าและแป้งข้าวโพดในแป้งชุบต่างกันทั้ง 9 สูตรได้ผลดังตารางที่ 23 พบว่าตัวอย่างที่ใช้แป้งข้าวโพดในแป้งชุบร้อยละ 47.25 (สูตรการทดลอง F2 F3 และ F9) มีค่าความสว่างเฉลี่ยเท่ากับ 49.86 ขณะที่ตัวอย่างที่ใช้แป้งข้าวเจ้าในแป้งชุบร้อยละ 47.25 (สูตรการทดลอง F4 และ F8) มีค่าความสว่างเฉลี่ยเท่ากับ 54.94 ทั้งนี้ Roger (1990) กล่าวว่าแป้งข้าวโพดที่เพิ่มเข้าไปในแป้งชุบมีส่วนให้แป้งชุบทอดมีสีเหลือง-น้ำตาลสูงขึ้นเนื่องจากแคโรทีนในแป้งข้าวโพด จึงเป็นไปได้ว่าตัวอย่างที่ใช้อัตราส่วนแป้งข้าวโพดในแป้งชุบทอดจะมีค่าความสว่างน้อยลงเนื่องจากแคโรทีนส่งผลให้แป้งชุบทอดมีสีเหลือง-น้ำตาลเพิ่มขึ้นนั่นเอง ส่วนค่าสีแดง-สีเขียวมีแนวโน้มลดลงเมื่อแป้งชุบมีอัตราส่วนแป้งข้าวเจ้าเพิ่มขึ้น ขณะที่ค่าสีเหลือง-สีน้ำเงินมีแนวโน้มลดลงเมื่อมีอัตราส่วนของแป้งข้าวโพดในแป้งชุบเพิ่มขึ้น

ตารางที่ 23 ค่าสีของผลิตภัณฑ์เบอร์เกอร์กุ้งชุบแป้งทอดที่มีอัตราส่วนของแป้งข้าวโพดและแป้งข้าวเจ้าในแป้งชุบทอดต่างกัน

Treatment	Proportion (%)		Colour		
	Corn Flour	Rice Flour	L*	a*	b*
F1	23.62	23.62	52.06 ± 1.11^{c}	5.56 ± 0.93^{a}	22.34 ± 1.23^{ab}
F2	47.25	-	49.42 ± 0.51^{d}	4.81 ± 0.73^{ab}	20.01 ± 0.95^{d}
*F3	47.25	-	48.80 ± 1.04^{d}	3.79 ± 0.71^{cde}	18.78 ± 0.88^{e}
F4	-	47.25	55.44 ± 0.91^{ab}	3.10 ± 0.66^{e}	21.73 ± 0.98^{abc}
F5	11.81	35.44	54.19 ± 1.22^{b}	3.45 ± 0.79^{de}	21.00 ± 0.83^{bcd}
*F6	23.62	23.62	54.06 ± 1.66^{b}	4.58 ± 0.82^{bc}	22.59 ± 1.34^{a}
F7	35.44	11.81	55.97 ± 2.45^{a}	3.68 ± 0.40^{cde}	21.58 ± 0.58^{abc}
*F8	-	47.25	54.45 ± 0.94^{ab}	4.07 ± 0.52^{bcd}	21.99 ± 1.06^{ab}
*F9	47.25	-	51.36 ± 1.96^{c}	4.31 ± 1.13^{bcd}	20.47 ± 1.79^{cd}

Note: * The replicated design point

Mean ± SD from seven determinations.

Different superscripts in the same column indicate significant differences

3.1.2 ปริมาณความชื้นของผลิตภัณฑ์

ผลของการใช้แป้งข้าวเจ้าและแป้งข้าวโพดเป็นส่วนผสมในแป้งชุบทอดในอัตราส่วนต่างๆ ต่อปริมาณความชื้นของผลิตภัณฑ์แสดงในตารางที่ 24 พบว่าการใช้แป้งข้าวโพดในปริมาณสูงให้ผลไม่แตกต่างกับการใช้แป้งข้าวเจ้าในปริมาณสูง ขณะที่การใช้แป้งข้าวโพดร่วมกับแป้งข้าวเจ้าไม่ส่งผลต่อปริมาณความชื้นอย่างชัดเจน เนื่องจากการวิเคราะห์ปริมาณความชื้นของผลิตภัณฑ์ทั้งชิ้นทำให้ไม่สามารถเห็นความแตกต่างที่อาจเกิดขึ้นระหว่างปริมาณความชื้นของแป้งชุบและของเนื้อเบอร์เกอร์

3.1.3 ปริมาณไขมันของผลิตภัณฑ์

จากผลการวิเคราะห์ปริมาณไขมันของผลิตภัณฑ์ที่ใช้แป้งข้าวเจ้าและแป้งข้าวโพดเป็นส่วนผสมในแป้งชุบทอดในอัตราส่วนต่างๆ (ตารางที่ 24) พบว่าตัวอย่างมีปริมาณไขมันไม่แตกต่างกัน ($p>0.05$) เนื่องจากการวิเคราะห์ปริมาณไขมันของผลิตภัณฑ์ทั้งชิ้นทำให้ไม่สามารถเห็นความแตกต่างที่อาจเกิดขึ้นระหว่างปริมาณไขมันของแป้งชุบและของเนื้อเบอร์เกอร์

ตารางที่ 24 ปริมาณความชื้นและปริมาณไขมันของผลิตภัณฑ์เบอร์เกอร์กุ้งชุบแป้งทอดที่มีอัตราส่วนของแป้งข้าวโพดและแป้งข้าวเจ้าในแป้งชุบทอดต่างกัน

Treatment	Proportion (%)		Moisture content	Fat content
	Corn Flour	Rice Flour	(%)	(%)
F1	23.62	23.62	54.37±1.17^{bc}	13.27±0.08^{a}
F2	47.25	-	56.67±1.39^{ab}	14.36±0.04^{a}
*F3	47.25	-	51.38±0.50^{d}	14.89±0.69^{a}
F4	-	47.25	57.93±0.21^{a}	12.37±0.79^{a}
F5	11.81	35.44	57.66±1.82^{a}	14.32±0.53^{a}
*F6	23.62	23.62	57.17±1.41^{ab}	12.91±0.56^{a}
F7	35.44	11.81	58.36±1.62^{a}	13.75±0.36^{a}
*F8	-	47.25	53.55±1.78^{cd}	12.67±0.84^{a}
*F9	47.25	-	59.01±1.62^{a}	15.38±0.43^{a}

Note: * The replicated design point

Mean ± SD from triplicate determinations.

Different superscripts in the same column indicate significant differences

3.1.4 ลักษณะเนื้อสัมผัส (Texture Profile Analysis; TPA) และค่าความกรอบของผลิตภัณฑ์

จากการวิเคราะห์ลักษณะเนื้อสัมผัสของตัวอย่างที่ใช้แป้งข้าวเจ้าและแป้งข้าวโพดเป็นส่วนผสมในแป้งชุบทอดในอัตราส่วนต่างๆ ได้ผลดังแสดงในตารางที่ 25 พบว่าตัวอย่างที่มีการใช้อัตราส่วนของแป้งข้าวเจ้าสูง (ร้อยละ 47.25) เช่น สูตรการทดลอง F4 และ F8 มีค่าความแข็งเฉลี่ยเท่ากับ 9,823.14 กรัม ขณะที่สูตรการทดลอง F2 และ F9 ที่ใช้อัตราส่วนแป้งข้าวโพดสูง (ร้อยละ 47.25) มีค่าความแข็งเฉลี่ยเท่ากับ 8,967.74 กรัม และพบว่าสูตรการทดลองที่มีอัตราส่วนของแป้งข้าวเจ้าสูงส่งผลให้ตัวอย่างมีค่าความกรอบสูงกว่าตัวอย่างที่ใช้แป้งข้าวโพดในปริมาณสูง (p<0.05) อีกด้วย ซึ่งจะเห็นว่าผลดังกล่าวสอดคล้องกับความหนืดและปริมาณการเคลือบของแป้งชุบ Dogan และคณะ (2005) กล่าวว่าแป้งชุบที่มีความหนืดสูงทำให้ผลิตภัณฑ์มีปริมาณการเคลือบสูงและส่งผลให้ตัวอย่างมีความแข็งสูงขึ้นและสอดคล้องกับการรายงานของ Fiszman และคณะ (2003) ที่กล่าวว่าแป้งชุบที่มีความหนืดสูงจะส่งผลให้ผลิตภัณฑ์ชุบแป้งทอดมีความแข็งสูงขึ้น

ด้วย นอกจากนั้นการที่แป้งข้าวเจ้าส่งผลให้ตัวอย่างมีความแข็งและความกรอบสูงอาจเนื่องจากอะไมโลสในแป้งข้าวเจ้ามีขนาดใหญ่กว่าอะไมโลสในแป้งข้าวโพด ทำให้มีโอกาสเกิดอันตรกิริยาระหว่างพอลิแซ็กคาไรด์กับพอลิแซ็กคาไรด์ได้มากกว่า จะส่งผลให้ตัวอย่างมีความแข็งสูง ขณะที่อะไมโลเพกตินของแป้งข้าวโพดมีขนาดใหญ่กว่าแป้งข้าวเจ้า อะไมโลเพกตินสามารถอุ้มน้ำไว้ในโครงสร้างได้จึงทำให้แป้งชุบทอดที่มีแป้งข้าวโพดมีความนุ่มกว่าแป้งชุบทอดที่มีอัตราส่วนของแป้งข้าวเจ้าสูง (Mohamed *et al.*, 1998)

ส่วนค่าความกรอบของตัวอย่างประเมินจากค่าแรงที่ใช้ในการกดผิวตัวอย่าง ดังแสดงในตารางที่ 26 พบว่าสูตรการทดลองที่มีอัตราส่วนแป้งข้าวเจ้าสูงมีแนวโน้มให้ค่าแรงที่ใช้สูงขึ้นด้วย สอดคล้องกับการศึกษาการวัดความกรอบของผลิตภัณฑ์ชุบแป้งทอดของ Sanz และคณะ (2004b) กล่าวว่าตัวอย่างที่มีค่าแรงที่สูงกว่าหมายถึงตัวอย่างมีความกรอบมากกว่า ทั้งนี้อาจเนื่องจากการเกิดอันตรกิริยาระหว่างพอลิแซ็กคาไรด์กับพอลิแซ็กคาไรด์ของแป้งข้าวเจ้าซึ่งส่งผลให้ตัวอย่างมีความกรอบมากขึ้น (Mohamed *et al.*, 1998)

ตารางที่ 25 ลักษณะเนื้อสัมผัสของผลิตภัณฑ์เบอร์เกอร์กุ้งชุบแป้งทอดที่มีอัตราส่วนของแป้งข้าวโพดและแป้งข้าวเจ้าในแป้งชุบทอดต่างกัน

Treatment	Texture Profile Analysis (TPA)						
	Hardness (g)	Fracturability (g*s)	Adhesiveness (s)	Springiness	Cohesiveness	Gumminess (g)	Chewiness (g*mm)
F1	9,858.78±685.07^{abc}	19.21±5.34^{abc}	-2.89±3.85^{a}	0.45±0.07^{ab}	0.29±0.02^{a}	2,830.89±299.35^{ab}	1,285.29±275.58^{ab}
F2	9,289.50±564.54^{bcd}	17.63±3.91^{bc}	-3.68±3.96^{a}	0.43±0.04^{b}	0.27±0.01^{ab}	2,554.24±219.23^{bcd}	1,102.06±157.39^{bc}
*F3	10,456.10±537.49^{a}	16.52±5.35^{c}	-5.14±3.88^{a}	0.50±0.04^{a}	0.28±0.01^{ab}	2,914.39±193.35^{a}	1,471.53±192.06^{a}
F4	10,085.43±637.67^{ab}	18.33±0.29^{abc}	-5.87±3.22^{a}	0.44±0.06^{b}	0.27±0.02^{ab}	2,683.93±383.85^{abc}	1,182.93±247.73^{bc}
F5	9,410.91±461.37^{bcd}	18.21±0.20^{abc}	-8.30±9.91^{a}	0.45±0.05^{ab}	0.26±0.02^{bc}	2,469.86±233.91^{cd}	1,119.71±218.56^{bc}
*F6	9,149.30±564.54^{cd}	18.24±3.91^{abc}	-8.59±3.96^{a}	0.45±0.04^{ab}	0.26±0.01^{c}	2,337.22±219.23^{d}	1,047.28±157.39^{bc}
F7	9,529.16±802.09^{bc}	18.06±0.33^{abc}	-10.87±9.77^{a}	0.41±0.03^{b}	0.26±0.01^{bc}	2,495.38±248.39^{cd}	1,033.60±127.79^{bc}
*F8	9,560.86±1310.02^{bc}	21.55±2.19^{a}	-5.44±8.54^{a}	0.42±0.06^{b}	0.27±0.02^{abc}	2,587.46±478.62^{bcd}	1,101.27±336.58^{bc}
*F9	8,645.98±258.07^{d}	20.84±2.54^{ab}	-2.74±4.52^{a}	0.41±0.04^{b}	0.27±0.01^{bc}	2,293.60±44.82^{d}	931.00±97.69^{c}

Note: * The replicated design point

Mean ± SD from seven determinations.

Different superscripts in the same column indicate significant differences (p<0.05).

84

ตารางที่ 26 ลักษณะเนื้อสัมผัสด้านความกรอบของผลิตภัณฑ์เบอร์เกอร์กุ้งชุบแป้งทอดที่มีอัตราส่วนของแป้งข้าวโพดและแป้งข้าวเจ้าในแป้งชุบทอดต่างกัน

Treatment	Force (g)
F1	76.64 ± 23.95^{a}
F2	58.38 ± 16.91^{c}
*F3	63.29 ± 11.72^{bc}
F4	72.90 ± 16.45^{ab}
F5	66.43 ± 14.46^{abc}
*F6	60.03 ± 9.31^{c}
F7	63.31 ± 13.87^{bc}
*F8	73.41 ± 11.75^{ab}
*F9	67.59 ± 15.50^{abc}

Note: * The replicated design point

Mean ± SD from fifteen determinations.

Different superscripts in the same column indicate significant differences ($p<0.05$).

3.1.5 การประเมินคุณภาพทางประสาทสัมผัสของผลิตภัณฑ์

เมื่อทำการประเมินคุณลักษณะด้านความกรอบและความมันของผลิตภัณฑ์ 9 สูตรที่ได้จากการวางแผนการทดลองแบบ augmented simplex – lattice โดยผู้ทดสอบที่ผ่านการฝึกฝนจำนวน 10 คน ตามคำนิยามและการประเมินคุณลักษณะความกรอบและความมัน (ตารางที่ 27) พบว่าสูตรการทดลองที่มีการใช้แป้งทั้งสองชนิดโดยมีอัตราส่วนของแป้งข้าวเจ้าสูงกว่าส่งผลให้ตัวอย่างมีแนวโน้มได้รับคะแนนความกรอบสูงขึ้น นอกจากนั้นยังพบว่าสูตรการทดลอง F4 และ F8 ซึ่งเป็นสูตรที่มีการใช้แป้งข้าวเจ้าร้อยละ 47.25 ได้คะแนนความกรอบจากเสียงขณะกัดและเคี้ยวตัวอย่างใน 2 – 3 คำแรกเฉลี่ยเท่ากับ 4.55 คะแนน ส่วนความกรอบของผลิตภัณฑ์ที่ประเมินระหว่างการเคี้ยวจนกระทั่งกลืนของทั้งสองสูตรดังกล่าวเฉลี่ยเท่ากับ 4.37 คะแนน ขณะที่สูตรการทดลอง F2 ที่มีการใช้แป้งข้าวโพดร้อยละ 47.25 ได้รับคะแนนความกรอบจากเสียงขณะกัดและเคี้ยวตัวอย่างใน 2 – 3 คำแรกเท่ากับ 3.48 คะแนน และคะแนนความกรอบของผลิตภัณฑ์ที่ประเมินระหว่างการเคี้ยวจนกระทั่งกลืนเท่ากับ 3.40 คะแนน

เมื่อพิจารณาคะแนนความมันของผลิตภัณฑ์ทั้ง 9 สูตร พบว่า ตัวอย่างที่ใช้อัตราส่วนของแป้งข้าวโพดร้อยละ 47.25 (สูตรการทดลอง F2 และ F9) ได้รับคะแนนความมันที่ประเมินจากลักษณะปรากฏสูงเฉลี่ยเท่ากับ 5.15 คะแนน ซึ่งสอดคล้องกับคะแนนความมันจากการประเมินระหว่างการเคี้ยวเฉพาะส่วนของแป้งชุบของผลิตภัณฑ์สูงเช่นกัน (เฉลี่ย 5.65 คะแนน) ขณะที่ตัวอย่างที่ใช้แป้งทั้งสองชนิดได้รับคะแนนความมันจากการประเมินระหว่างการเคี้ยวเฉพาะส่วนของแป้งชุบของผลิตภัณฑ์ต่ำ

ตารางที่ 27 คะแนนความกรอบและความมันของผลิตภัณฑ์เบอร์เกอร์กุ้งชุบแป้งทอดที่มีอัตราส่วนของแป้งข้าวโพดและแป้งข้าวเจ้าในแป้งชุบทอดต่างกัน

Treatment	Crispiness Score**		Oiliness Score**	
	Loudness	Crispiness during chewing	Appearance	Oiliness***
F1	4.00±1.05^{abc}	3.54±1.24^{c}	3.76±1.09^{b}	4.60±0.67^{b}
F2	3.48±1.28^{c}	3.40±1.17^{bc}	4.60±1.17^{ab}	5.30±1.57^{ab}
*F3	4.00±1.41^{abc}	3.60±1.58^{abc}	4.18±1.82^{b}	5.30±1.42^{ab}
F4	4.20±0.79^{abc}	4.10±1.60^{abc}	3.90±1.10^{b}	4.86±1.42^{b}
F5	4.34±1.30^{abc}	4.10±1.20^{abc}	3.90±1.66^{b}	4.60±1.35^{b}
*F6	4.60±1.17^{ab}	4.44±1.11^{ab}	4.40±1.58^{ab}	4.70±1.42^{b}
F7	4.60±1.51^{ab}	4.34±1.65^{abc}	4.30±1.06^{b}	4.90±1.20^{b}
*F8	4.90±1.20^{a}	4.64±0.67^{a}	4.25±0.99^{b}	5.26±1.27^{ab}
*F9	3.74±0.98^{bc}	3.64±1.25^{abc}	5.70±2.21^{a}	6.00±0.94^{a}

Note: * The replicated design point

** Scale = 15 (1 = low intensity, 14 = high intensity)

*** Oiliness during chewing coating without burger

Mean ± SD from ten trained panelists.

Different superscripts in the same column indicate significant differences (p<0.05).

3.1.6 การคัดเลือกสูตรที่เหมาะสม

เมื่อใช้โปรแกรม Design Expert version 7.0.3 (Stat-Ease, Inc., MN, USA) สร้างสมการแบบหุ่นจำลองและแผนภูมิคอนทัวร์ ซึ่งแสดงความสัมพันธ์ของอัตราส่วนของแป้งข้าวเจ้าและแป้งข้าวโพดที่ใช้เป็นส่วนผสมในแป้งชุบทอดที่มีผลต่อปัจจัยคุณภาพด้านปริมาณความชื้น ปริมาณไขมัน ค่าความกรอบที่ได้จากการวัดลักษณะเนื้อสัมผัส คะแนนความกรอบและคะแนน

ความมันของผลิตภัณฑ์เบอร์เกอร์กุ้งชุบแป้งทอด ได้สมการจำลองดังแสดงในตารางที่ 28 และแผนภูมิคอนทัวร์ในแต่ละปัจจัยคุณภาพดังภาพที่ 12 ซึ่งจะเห็นว่าสมการจำลองของปริมาณความชื้น ปริมาณไขมัน ค่าความกรอบ คะแนนความกรอบจากการประเมินทั้ง 2 ขั้นตอนและคะแนนความมันจากลักษณะปรากฏเป็นแบบหุ่นเส้นตรง (linear model) และสมการจำลองของคะแนนความมันจากการเคี้ยวเฉพาะส่วนของแป้งชุบของผลิตภัณฑ์แบบหุ่นกำลังสอง (quadratic model) ซึ่งมีค่าสหสัมพันธ์ (R^2) อยู่ในช่วง 0.0003 – 0.75 และสมการไม่มีความบกพร่อง (lack of fit, $p>0.05$) แต่พบว่าแป้งข้าวเจ้าและแป้งข้าวโพดไม่มีอิทธิพลต่อค่าความกรอบ คะแนนความกรอบทั้งสองขั้นตอนและความมันจากลักษณะปรากฏ ($p>0.05$) รวมทั้งคุณลักษณะทั้งหมดดังกล่าวและปริมาณไขมัน มีค่าสหสัมพันธ์น้อยกว่า 0.75 ดังนั้นสมการดังกล่าวจึงไม่เหมาะในการนำมาคาดคะเน จึงนำสมการจำลองเฉพาะด้านความมันจากการประเมินระหว่างการเคี้ยวเฉพาะส่วนของแป้งชุบของผลิตภัณฑ์มาใช้ในการคำนวณค่าตอบสนองซึ่งเป็นคุณภาพด้านการอมน้ำมันของผลิตภัณฑ์ที่ได้ภายในช่วงของตัวแปร (แป้งข้าวเจ้าและแป้งข้าวโพด)

จากการพิจารณาสมการจำลองในปัจจัยด้านคะแนนความมัน พบว่าปริมาณแป้งข้าวโพดมีผลให้ค่าตอบสนองด้านความมันสูงกว่าแป้งข้าวเจ้า (ค่าสัมประสิทธิ์สูงกว่า) หรืออาจกล่าวได้ว่าแป้งข้าวเจ้ามีผลในทางที่ดีเนื่องจากมีผลให้ตัวอย่างมีความมันน้อยกว่าแป้งข้าวโพด และพบว่าอิทธิพลร่วมของแป้งข้าวโพดและแป้งข้าวเจ้า (AxB) มีค่าสัมประสิทธิ์เป็นลบในสมการจำลอง หรืออาจกล่าวได้ว่าการใช้แป้งทั้งสองชนิดร่วมกันมีผลดีต่อผลิตภัณฑ์เนื่องจากมีผลให้ตัวอย่างมีความมันลดลงนั่นเอง

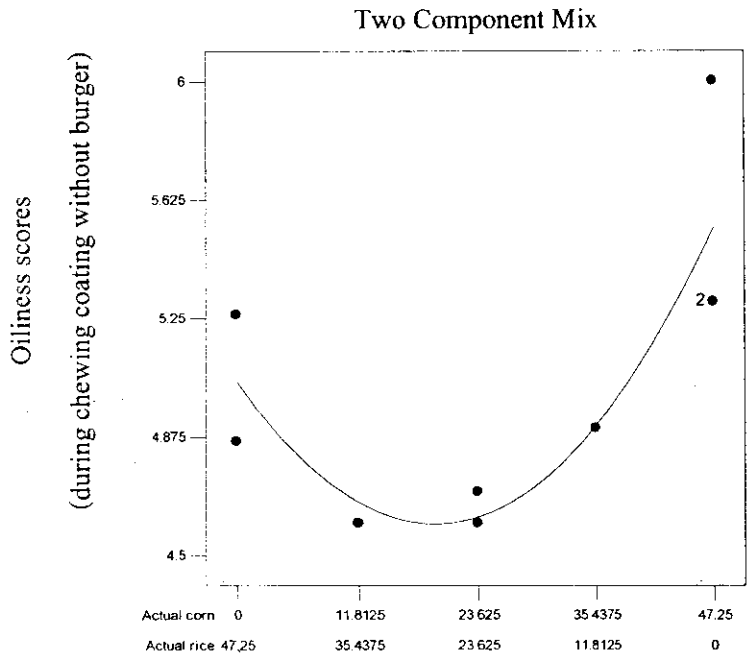
การคัดเลือกอัตราส่วนของแป้งทั้งสองชนิดจึงพิจารณาจากแป้งที่มีอิทธิพลต่อคุณลักษณะความมันของผลิตภัณฑ์ ซึ่งสูตรการทดลองที่โปรแกรม Design Expert version 7.0.3 แนะนำว่าเหมาะสมที่สุดจำนวน 1 สูตร คือสูตรที่มีอัตราส่วนของแป้งข้าวโพดและแป้งข้าวเจ้าเท่ากับร้อยละ 18.9 และ 28.35 ตามลำดับ (ภาพที่ 13)

ตารางที่ 28 สมการจำลองและค่าสหสัมพันธ์ซึ่งแสดงผลของปริมาณความชื้น ปริมาณไขมัน คะแนนความกรอบและคะแนนการอมน้ำมันของผลิตภัณฑ์เบอร์เกอร์กุ้งชุบแป้งทอดที่มีอัตราส่วนของแป้งข้าวโพดและแป้งข้าวเจ้าในแป้งชุบทอดต่างกัน

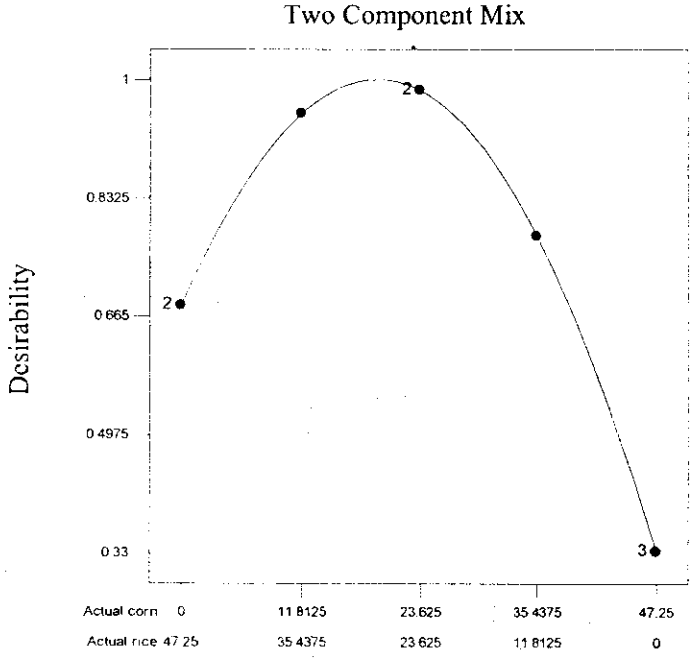
Parameters	Regression models	R^2	Probability of model	Lack of fit (p)
Moisture content (%)	Y = 56.18A + 56.30B	0.0003	0.9633	0.8562
Fat content (%)	Y = 14.68A + 12.66B	0.65	0.0085	0.0752
Crispiness value (g) by texture analyzer	Y= 62.68A + 72.14B	0.38	0.0784	0.9333
Crispiness score				
- Loudness	Y = 3.88A + 4.61B	0.43	0.0539	0.5239
- Crispiness during chewing	Y = 3.64A + 4.35B	0.38	0.0747	0.6711
Oiliness score				
- Appearance	Y = 4.69A + 3.88B	0.33	0.1028	0.8559
- Oiliness during chewing coating without burger	Y = 5.53A + 5.05B – 2.68AxB	0.75	0.0161	0.9689

Note: A; Corn flour and B; Rice flour

p; probability level



ภาพที่ 12 แผนภูมิคอนทัวร์ของคะแนนการอมน้ำมันจากการเคี้ยวเฉพาะส่วนของแป้งชุบของผลิตภัณฑ์เบอร์เกอร์กุ้งชุบแป้งทอดที่มีอัตราส่วนของแป้งข้าวโพดและแป้งข้าวเจ้าในแป้งชุบทอดต่างกัน



ภาพที่ 13 อัตราส่วนที่เหมาะสมของแป้งข้าวโพดและแป้งข้าวเจ้าในสูตรแป้งชุบทอดสำหรับผลิตภัณฑ์เบอร์เกอร์กุ้ง

เมื่อทำการผลิตผลิตภัณฑ์เบอร์เกอร์กุ้งชุบแป้งทอดที่มีส่วนผสมของแป้งข้าวโพดและแป้งข้าวเจ้าในแป้งชุบทอดที่เหมาะสมที่ได้จากสมการพยากรณ์ (ใช้แป้งข้าวโพดและแป้งข้าวเจ้าร้อยละ 18.9 และ 28.35 ตามลำดับ หรือสูตร Optimized flour; OF) ซึ่งเป็นสูตรที่มีการใช้อัตราส่วนน้ำต่อส่วนผสมแห้งเท่ากับ 1 : 1.67 ขณะที่สูตรที่มีปริมาณความชื้นและความฉ่ำน้ำเหมาะสม (สูตร OJ) ที่ได้จากขั้นตอนที่ 2 (ใช้โซเดียมอัลจิเนตและแป้งมันสำปะหลังดัดแปรเป็นส่วนผสมของเนื้อเบอร์เกอร์ร้อยละ 0.7 และ 0.3 ตามลำดับ) ใช้อัตราส่วนน้ำต่อส่วนผสมแห้งเท่ากับ 1 : 2 ทั้งนี้เนื่องจากในขั้นตอนการศึกษาอัตราส่วนของแป้งข้าวเจ้าและแป้งข้าวโพด มีการลดปริมาณแป้งสาลีซึ่งเป็นแป้งที่ทำหน้าที่สร้างความหนืดให้กับแป้งชุบลง จึงจำเป็นต้องลดอัตราส่วนน้ำลงเล็กน้อยเพื่อให้แป้งชุบที่ได้มีความหนืดพอเหมาะกับการเคลือบผลิตภัณฑ์ได้ทั้งชิ้น เมื่อได้สูตรที่มีปริมาณแป้งข้าวโพดและแป้งข้าวเจ้าเหมาะสม นำสูตรดังกล่าวมาปรับความหนืดให้เท่ากับสูตรที่มีปริมาณความชื้นและความฉ่ำน้ำเหมาะสม ซึ่งสูตรที่ปรับความหนืดแล้ว (Optimized flour and adjusted viscosity; OFAV) แล้ววิเคราะห์คุณภาพของผลิตภัณฑ์ทั้งสามสูตรการทดลอง ได้ผลดังนี้

ผลการวิเคราะห์ความหนืดของแป้งชุบทั้งสามสูตรแสดงดังตารางที่ 29 พบว่า แป้งชุบสูตร OJ มีความหนืดเท่ากับ 475.67 cPs ซึ่งสูงกว่าแป้งชุบสูตร OF (ความหนืดเท่ากับ 282.83 cPs) ($p<0.05$) สอดคล้องกับงานวิจัยของ Xue และ Ngadi (2005) พบว่าแป้งชุบที่ประกอบด้วยแป้งข้าวเจ้าและแป้งข้าวโพดส่งผลให้ความหนืดต่ำ เนื่องจากโมเลกุลของแป้งข้าวเจ้าและแป้งข้าวโพดมีความสามารถในการจับกับน้ำได้น้อย จึงไม่เกิดการพองตัวและไม่เกิดอันตรกิริยาหรือเกิดการจับระหว่างกัน ความหนืดของแป้งชุบที่มีแป้งทั้งสองเป็นส่วนผสมจึงต่ำกว่าเมื่อเทียบกับแป้งชุบที่มีอัตราส่วนของแป้งสาลีเป็นส่วนประกอบสูง เนื่องจากในแป้งสาลีมีกลูเตนซึ่งมีความสามารถในการจับกับน้ำ ทำให้ในระบบของแป้งมีน้ำอิสระน้อยลง ความหนืดของแป้งชุบที่มีแป้งสาลีเป็นส่วนผสมจึงสูงกว่า เช่นเดียวกับการศึกษาของ Shih และ Daigle (1999) พบว่าการทดแทนร้อยละ 50 ของแป้งสาลีด้วยแป้งข้าวเจ้าส่งผลให้แป้งชุบมีความหนืดลดลง

เมื่อพิจารณาปริมาณการเคลือบของแป้งชุบ (ตารางที่ 29) พบว่าแป้งชุบสูตร OF ซึ่งมีความหนืดน้อยที่สุดมีปริมาณการเคลือบของแป้งชุบน้อยที่สุดด้วย ($p<0.05$) เช่นเดียวกันกับรายงานของ Dogan และคณะ (2005) และ Lane และ Ghany (1985) ที่พบว่าปริมาณการเคลือบที่เพิ่มขึ้นมีความสัมพันธ์กับการเพิ่มขึ้นของความหนืดของแป้งชุบ

ตารางที่ 29 ความหนืดและปริมาณการเคลือบของแป้งชุบ (ร้อยละ) สูตรต่างๆ (สูตรที่มีปริมาณความชื้นและความฉ่ำน้ำเหมาะสม สูตรที่มีส่วนผสมของแป้งข้าวเจ้าและแป้งข้าวโพดที่ได้จากสมการพยากรณ์และสูตรที่ทำการปรับความหนืด)

Treatment	Solid to water ratio of batter	Viscosity of batter (cPs)	Coating pick-up (%)
OJ	1 : 2	475.67±1.53[a]	12.35±0.14[b]
OF	1 : 1.67	282.67±1.53[b]	8.85±0.32[c]
OFAV	1 : 1.3	475.83±2.75[a]	15.54±0.30[a]

Note: Mean ± SD from triplicate determinations.

Different superscripts in the same column indicate significant differences ($p<0.05$).

3.1.7 ค่าสีของผลิตภัณฑ์

ผลจากการวิเคราะห์ค่าสีของผลิตภัณฑ์เบอร์เกอร์กุ้งชุบแป้งทอดสูตร OJ สูตร OF และสูตร OFAV แสดงในตารางที่ 30 พบว่าผลิตภัณฑ์สูตร OJ มีค่าความสว่างน้อยที่สุดแต่มีค่าสีแดง-สีเขียวสูงที่สุด ($p<0.05$) ขณะที่สูตร OFAV มีค่าสีเหลือง-สีน้ำเงินสูงที่สุด ($p<0.05$)

ตารางที่ 30 ค่าสีของผลิตภัณฑ์เบอร์เกอร์กุ้งชุบแป้งทอด สูตรต่างๆ (สูตรที่มีปริมาณความชื้นและความฉ่ำน้ำเหมาะสม สูตรที่มีส่วนผสมของแป้งข้าวเจ้าและแป้งข้าวโพดที่ได้จากสมการพยากรณ์และสูตรที่ทำการปรับความหนืด)

Treatment	Colour		
	L*	a*	b*
OJ	40.60±0.93^{c}	12.64±0.73^{a}	28.45±0.70^{b}
OF	47.32±0.71^{a}	10.16±0.82^{c}	27.86±1.35^{b}
OFAV	46.29±0.60^{b}	11.04±0.61^{b}	29.96±0.57^{a}

Note: Mean ± SD from seven determinations.

Different superscripts in the same column indicate significant differences ($p<0.05$).

3.1.8 ปริมาณความชื้นของผลิตภัณฑ์

จากการวิเคราะห์ปริมาณความชื้นของตัวอย่างผลิตภัณฑ์เบอร์เกอร์กุ้งชุบแป้งทอดสูตร OJ สูตร OF และสูตร OFAV (ตารางที่ 31) พบว่าผลิตภัณฑ์สูตร OF มีปริมาณความชื้นของแป้งชุบทอดน้อยที่สุด ขณะที่ปริมาณความชื้นของเนื้อเบอร์เกอร์ทั้งสามสูตรไม่แตกต่างกัน ($p>0.05$) ซึ่งผลดังกล่าวสอดคล้องกับความหนืดและปริมาณการเคลือบของแป้งชุบโดยจะเห็นว่าแป้งชุบสูตรที่มีความหนืดสูงกว่าจะสามารถเคลือบผลิตภัณฑ์ได้มากกว่าและมีผลให้ตัวอย่างมีปริมาณความชื้นของแป้งชุบทอดมากกว่าด้วย

3.1.9 ปริมาณไขมันของผลิตภัณฑ์

ผลการวิเคราะห์ปริมาณไขมันของผลิตภัณฑ์เบอร์เกอร์กุ้งชุบแป้งทอดทั้งสามสูตรดังแสดงในตารางที่ 31 พบว่าผลิตภัณฑ์ทั้งสามสูตรมีปริมาณไขมันของเนื้อเบอร์เกอร์ไม่แตกต่างกัน ($p>0.05$) เมื่อพิจารณาปริมาณไขมันของแป้งชุบทอดพบว่าผลิตภัณฑ์สูตร OF มีปริมาณ

ไขมันของแป้งชุบทอดน้อยที่สุด (p<0.05) ขณะที่ผลิตภัณฑ์สูตร OFAV มีปริมาณไขมันของแป้งชุบทอดมากกว่าสูตร OF (มีอัตราส่วนของแป้งข้าวเจ้าและแป้งข้าวโพดเท่ากัน) ขณะที่ตัวอย่างสูตร OJ มีปริมาณไขมันมากกว่าสูตร OF ทั้งนี้เนื่องจากผลิตภัณฑ์สูตร OJ มีอัตราส่วนของแป้งสาลีสูงกว่า (ผลิตภัณฑ์สูตร OJ และสูตร OF มีอัตราส่วนของแป้งสาลีในแป้งชุบเท่ากับร้อยละ 88.5 และ 47.25 ตามลำดับ) อย่างไรก็ตามมีการรายงานว่าการมีปริมาณแป้งสาลีในแป้งชุบทอดสูงส่งผลให้ตัวอย่างมีการดูดซับน้ำมันสูงเนื่องจากความสามารถในการจับกับน้ำมันของกลูเตนในแป้งสาลีนั่นเอง ทั้งนี้ผลการทดลองดังกล่าวสอดคล้องกับงานวิจัยของ อดิศักดิ์ เอกโสวรรณ (2543) ศึกษาการลดการดูดซับน้ำมันของแป้งชุบทอดด้วยการใช้แป้งข้าวเจ้าทดแทนแป้งสาลีในปริมาณต่างๆ พบว่าการใช้แป้งข้าวเจ้าทดแทนแป้งสาลีในปริมาณมากขึ้นมีผลให้การดูดซับน้ำมันในแป้งชุบทอดมีแนวโน้มลดลง เนื่องจากแป้งข้าวเจ้ามีสมบัติในการต้านการอมน้ำมันในแป้งชุบทอดได้ดีกว่าแป้งสาลี ที่เป็นเช่นนี้อาจเป็นผลมาจากโปรตีนในแป้งสาลี คือ กลูเตนินซึ่งมีคุณสมบัติแตกต่างไปจากโปรตีนในแป้งข้าวเจ้าซึ่งส่วนใหญ่จะเป็นโอริเซนิน (อมรรัตน์ มุขประเสริฐ, 2534 อ้างโดย อดิศักดิ์ เอกโสวรรณ, 2543) Shih และ Daigle (1999) ยังรายงานว่าโปรตีนในแป้งสาลีมีคุณสมบัติในการรวมกับไขมันได้ดีกว่าแป้งข้าวเจ้า นอกจากนั้นยังมีการศึกษาการทดแทนแป้งสาลีด้วยแป้งข้าวโพดของ Llorca และคณะ (2003) ศึกษาส่วนประกอบของแป้งชุบทอดต่อการดูดซับไขมันในระหว่างการทอดของผลิตภัณฑ์ปลาหมึกชุบแป้งแช่แข็ง พบว่าการทดแทนแป้งสาลีด้วยแป้งข้าวโพดร้อยละ 6 มีปริมาณการดูดซับไขมันน้อยกว่าสูตรที่ใช้แป้งสาลีทั้งหมด เนื่องจากการใช้แป้งข้าวโพดทดแทนเป็นการลดปริมาณกลูเตนจึงมีผลลดปริมาณน้ำมันของผลิตภัณฑ์ปลาหมึกชุบแป้งทอด

ตารางที่ 31 ปริมาณความชื้นและปริมาณไขมันของผลิตภัณฑ์เบอร์เกอร์กุ้งชุบแป้งทอด สูตรต่างๆ (สูตรที่มีปริมาณความชื้นและความฉ่ำน้ำเหมาะสม สูตรที่มีส่วนผสมของแป้งข้าวเจ้าและแป้งข้าวโพดที่ได้จากสมการพยากรณ์และสูตรที่ทำการปรับความหนืด)

Treatment	Moisture Content (%)		Fat content (%)	
	Coating	Burger*	Coating	Burger*
OJ	39.11±0.89^{a}	69.00±0.51^{a}	12.48±1.30^{a}	9.45±0.67^{a}
OF	30.67±1.60^{b}	67.45±0.63^{a}	9.06±1.13^{b}	7.86±1.63^{a}
OFAV	39.93±1.10^{a}	68.57±1.03^{a}	12.26±0.12^{a}	7.98±0.07^{a}

Note: Mean ± SD from triplicate determinations.

Different superscripts in the same column indicate significant differences (p<0.05).

*Burger without coating

3.1.10 ลักษณะเนื้อสัมผัส (Texture Profile Analysis; TPA) และค่าความกรอบของผลิตภัณฑ์

เมื่อพิจารณาลักษณะเนื้อสัมผัสของผลิตภัณฑ์ทั้งสามสูตรการทดลอง (ตารางที่ 32) พบว่าผลิตภัณฑ์สูตร OF มีค่าความแข็งและค่าความคงทนต่อการบดเคี้ยวสูงที่สุด (p<0.05) เนื่องจากสูตรดังกล่าวใช้แป้งข้าวเจ้าซึ่งมีอะไมโลสทำให้มีโอกาสเกิดอันตรกิริยาระหว่างพอลิแซ็กคาไรด์กับพอลิแซ็กคาไรด์ได้มากกว่าจึงอาจส่งผลให้ตัวอย่างมีความแข็งและใช้แรงในการบดเคี้ยวมากกว่าสูตรที่เหลือ ขณะที่ไม่พบความแตกต่างของลักษณะเนื้อสัมผัสของผลิตภัณฑ์สูตร OJ และสูตร OFAV ยกเว้นค่าความเหนียวคล้ายยางซึ่งผลิตภัณฑ์สูตร OJ มีค่าสูงที่สุด (p<0.05) นอกจากนั้นยังพบว่าค่าความกรอบของผลิตภัณฑ์ทั้งสามไม่มีความแตกต่างกัน (p>0.05)

ค่าความกรอบของผลิตภัณฑ์ทั้งสามสูตรแสดงดังตารางที่ 33 พบว่าผลิตภัณฑ์สูตร OFAV มีค่าแรงที่ใช้ในการกดต่ำที่สุดซึ่งหมายถึงมีความกรอบน้อยที่สุด (p<0.05)

ตารางที่ 32 ลักษณะเนื้อสัมผัสของผลิตภัณฑ์เบอร์เกอร์กุ้งชุบแป้งทอด สูตรต่างๆ (สูตรที่มีปริมาณความชื้นและความฉ่ำน้ำเหมาะสม สูตรที่มีส่วนผสมของแป้งข้าวเจ้าและแป้งข้าวโพดที่ได้จากสมการพยากรณ์และสูตรที่ทำการปรับความหนืด)

Treatment	Texture Profile Analysis (TPA)						
	Hardness (g)	**Fracturability (g*s)**	**Adhesiveness (s)**	**Springiness**	**Cohesiveness**	**Gumminess (g)**	**Chewiness (g*mm)**
OJ	7,936.02±369.53^{b}	16.63±2.65^{a}	-1.05±2.69^{a}	0.42±0.02^{a}	0.27±0.01^{a}	2,124.83±155.11^{a}	891.05±81.82^{b}
OF	10,687.80±943.26^{a}	19.02±2.54^{a}	-7.81±2.58^{b}	0.43±0.06^{a}	0.27±0.02^{a}	2,927.10±397.22^{b}	1,270.32±294.62^{a}
OFAV	8,013.24±149.77^{b}	18.42±1.17^{a}	-1.08±5.54^{a}	0.41±0.02^{a}	0.26±0.02^{a}	2,119.42±150.48^{b}	865.71±104.13^{b}

Note: Mean ± SD from seven determinations.

Different superscripts in the same column indicate significant differences (p<0.05).

95

ตารางที่ 33 ค่าความกรอบของผลิตภัณฑ์เบอร์เกอร์กุ้งชุบแป้งทอด สูตรต่างๆ (สูตรที่มีปริมาณความชื้นและความฉ่ำน้ำเหมาะสม สูตรที่มีส่วนผสมของแป้งข้าวเจ้าและแป้งข้าวโพดที่ได้จากสมการพยากรณ์และสูตรที่ทำการปรับความหนืด)

Treatment	Force (g)
OJ	105.99±15.20[a]
OF	105.31±19.60[a]
OFAV	91.22±12.45[b]

Note: Mean ± SD from fifteen determinations.

Different superscripts in the same column indicate significant differences ($p<0.05$).

3.1.11 การประเมินคุณภาพทางประสาทสัมผัสของผลิตภัณฑ์

เมื่อพิจารณาผลการทดสอบทางประสาทสัมผัสผลิตภัณฑ์เบอร์เกอร์กุ้งชุบแป้งทอดทั้งสามสูตร (ตารางที่ 34) พบว่าผลิตภัณฑ์สูตร OFได้รับคะแนนความกรอบที่ประเมินจากเสียงขณะกัดและเคี้ยวตัวอย่างใน 2 – 3 คำแรกและความกรอบระหว่างการเคี้ยวจนกระทั่งกลืนน้อยที่สุด และได้รับคะแนนความมันที่ประเมินจากลักษณะปรากฏและความมันจากการประเมินระหว่างการเคี้ยวเฉพาะส่วนของแป้งชุบสูงที่สุด ($p<0.05$) ขณะที่ผลิตภัณฑ์สูตร OFAV ได้รับคะแนนความกรอบจากการประเมินจากขั้นตอนที่ 2 สูงที่สุด ($p<0.05$) และได้รับคะแนนความมันจากทั้งสองขั้นตอนน้อยกว่าสูตร OF แต่ไม่แตกต่างจากสูตร OJ ($p<0.05$) ซึ่งคะแนนความมันดังกล่าวสอดคล้องกับปริมาณไขมันของตัวอย่าง (ตารางที่ 31)

ตารางที่ 34 คะแนนความกรอบและความมันของผลิตภัณฑ์เบอร์เกอร์กุ้งชุบแป้งทอด สูตรต่างๆ (สูตรที่มีปริมาณความชื้นและความฉ่ำน้ำเหมาะสม สูตรที่มีส่วนผสมของแป้งข้าวเจ้าและแป้งข้าวโพดที่ได้จากสมการพยากรณ์และสูตรที่ทำการปรับความหนืด)

Treatment	Crispiness Score*		Oiliness Score*	
	Loudness	Crispiness during chewing	Appearance	Oiliness**
OJ	6.53±1.87^{ab}	5.37±1.67^{b}	4.19±0.87^{b}	5.03±1.17^{ab}
OF	5.84±0.76^{b}	5.65±1.64^{b}	4.97±1.41^{a}	5.63±1.26^{a}
OFAV	6.97±0.72^{a}	6.77±1.02^{a}	4.16±0.96^{b}	4.67±0.99^{b}

Note: * Scale = 15 (1 = low intensity, 14 = high intensity)

** Oiliness during chewing coating without burger

Mean ± SD from ten trained panelists.

Different superscripts in the same column indicate significant differences (p<0.05).

ดังนั้นในขั้นตอนการสร้างสูตรแป้งชุบที่มีอัตราส่วนแป้งข้าวเจ้าและแป้งข้าวโพดที่เหมาะสมโดยให้ได้ผลิตภัณฑ์เบอร์เกอร์กุ้งชุบแป้งทอดที่มีความกรอบสูงและการอมน้ำมันต่ำ จึงคัดเลือกสูตร OFAV (สูตรที่ใช้แป้งข้าวเจ้าและแป้งข้าวโพดร้อยละ 18.9 และ 28.35 ตามลำดับ และทำการปรับความหนืดของแป้งชุบ) นำไปศึกษาต่อในขั้นต่อไป

3.2 การสร้างสูตรแป้งชุบที่ใช้สารไฮโดรคอลลอยด์ที่ระดับต่างๆ

เมื่อนำผลิตภัณฑ์เบอร์เกอร์กุ้งชุบแป้งทอดสูตรที่ใช้แป้งข้าวเจ้าและแป้งข้าวโพดในแป้งชุบร้อยละ 18.9 และ 28.35 ตามลำดับ และทำการปรับความหนืดของแป้งชุบที่ได้จากขั้นตอนที่ 3.1 (ผลิตภัณฑ์สูตร OFAV) มาศึกษาอัตราส่วนของเมทธิลเซลลูโลสและไฮดรอกซีโพรพิลเมทธิลเซลลูโลส (ที่ระดับความเข้มข้นร้อยละ 1 และ 2) ทำการวัดความหนืดของแป้งชุบทั้ง 4 สูตรการทดลองได้ผลดังตารางที่ 35 พบว่าทั้งชนิดและความเข้มข้นของไฮโดรคอลลอยด์มีผลต่อความหนืดของแป้งชุบ โดยแป้งชุบที่ใช้ไฮดรอกซีโพรพิลเมทธิลเซลลูโลสมีความหนืดสูงกว่าแป้งชุบที่ใช้เมทธิลเซลลูโลส (p<0.05) อาจเนื่องจากโครงสร้างของไฮดรอกซีโพรพิลเมทธิลเซลลูโลสมีกิ่งก้านมากกว่า (นิธิยา รัตนาปนนท์, 2545) จึงทำให้เกิดแรงต้านการเคลื่อนที่ขณะวัด

ความหนืดได้มากกว่า และพบว่าเมื่อความเข้มข้นของไฮโดรคอลลอยด์ทั้งสองชนิดเพิ่มขึ้นส่งผลให้ความหนืดของแป้งชุบเพิ่มขึ้น ซึ่งสอดคล้องกับการศึกษาของ Sanz และคณะ (2004a) พบว่าเมื่อความเข้มข้นของเมทธิลเซลลูโลสเพิ่มขึ้น (จากร้อยละ 1 เป็นร้อยละ 2) ความหนืดของแป้งชุบก็เพิ่มขึ้น เช่นเดียวกับ Naruenartwongsakul และคณะ (2004) พบว่าความเข้มข้นของไฮโดรคอลลอยด์ (เมทธิลเซลลูโลสและไฮดรอกซีโพรพิลเมทธิลเซลลูโลสจากร้อยละ 0 ถึง 0.6) ที่เพิ่มขึ้นมีผลเพิ่มความหนืดของแป้งชุบ Christianson (1982) กล่าวว่าการที่ไฮโดรคอลลอยด์มีผลเพิ่มความหนืดของแป้งชุบเป็นผลมาจากการเกิดอันตรกิริยาระหว่างไฮโดรคอลลอยด์กับส่วนของเหลวจากเม็ดแป้ง และการใช้ไฮโดรคอลลอยด์ส่งผลให้เกิดแรงต้านการเคลื่อนที่มากกว่าแรงที่ใช้ในการกวนสารละลายที่มีเพียงแป้งและน้ำ ขณะที่ชนิดของไฮโดรคอลลอยด์ไม่มีผลต่อปริมาณการเคลือบของแป้งชุบ แต่พบว่าปริมาณการเคลือบที่เพิ่มขึ้นเป็นผลจากความหนืดของแป้งชุบที่เพิ่มขึ้นนั่นเอง ปริมาณการเคลือบที่เพิ่มขึ้นมีความสัมพันธ์กับการเพิ่มขึ้นของความหนืดของแป้งชุบ โดยแป้งชุบที่มีความเข้มข้นของไฮโดรคอลลอยด์มากกว่าจะให้ผลิตภัณฑ์นักเก็ตไก่มีปริมาณการเคลือบของแป้งชุบทอดมากกว่า (Hsia *et al.*, 1992)

ตารางที่ 35 ความหนืดและปริมาณการเคลือบของแป้งชุบ (ร้อยละ) ที่มีเมทธิลเซลลูโลสและไฮดรอกซีโพรพิลเมทธิลเซลลูโลสที่ระดับต่างกัน

Hydrocolloids	Concentration (%)	Viscosity of batter (cPs)	Coating pick-up (%)
MC	1	751.33±1.16	19.05±0.63
	2	1,294.00±1.16	24.88±1.51
HPMC	1	952.00±4.00	18.77±1.39
	2	1,292.00±2.00	24.59±1.51

Note: Mean ± SD from triplicate determinations.

Significant effect of

- Hydrocolloids on viscosity of batter ($p<0.05$) and coating pick-up ($p<0.05$).
- Concentration on viscosity of batter ($p<0.05$) and coating pick-up ($p>0.05$).
- Interaction of hydrocolloids x concentration on viscosity of batter ($p>0.05$) and coating pick- up ($p>0.05$).

3.2.1 ค่าสีของผลิตภัณฑ์

จากการวิเคราะห์ค่าสีของผลิตภัณฑ์เบอร์เกอร์กุ้งชุบแป้งทอดที่ใช้ไฮโดรคอลลอยด์ในแป้งชุบได้ผลดังตารางที่ 36 พบว่าชนิดของไฮโดรคอลลอยด์ไม่มีผลต่อค่าความสว่าง แต่มีผลต่อค่าสีแดง-สีเขียวและสีเหลือง-สีน้ำเงิน โดยพบว่าตัวอย่างที่ใช้เมทธิลเซลลูโลสมีค่าสีแดง-สีเขียวมากกว่าแต่มีค่าสีเหลือง-สีน้ำเงินน้อยกว่าตัวอย่างที่ใช้ไฮดรอกซีโพรพิลเมทธิลเซลลูโลส (p<0.05) และพบว่าความเข้มข้นมีผลต่อค่าความสว่างและค่าสีแดง-สีเขียวแต่ไม่มีผลต่อค่าสีเหลือง-สีน้ำเงิน โดยพบว่าตัวอย่างที่ใช้ไฮโดรคอลลอยด์ร้อยละ 2 มีค่าความสว่างและค่าสีแดง-สีเขียวน้อยกว่าตัวอย่างที่ใช้ไฮโดรคอลลอยด์ร้อยละ 1 (p<0.05)

ตารางที่ 36 ค่าสีของผลิตภัณฑ์เบอร์เกอร์กุ้งชุบแป้งทอดที่มีเมทธิลเซลลูโลสและไฮดรอกซีโพรพิลเมทธิลเซลลูโลส ในแป้งชุบทอดที่ระดับต่างกัน

Hydrocolloids	Concentration (%)	Colour		
		L*	a*	b*
MC	1	47.89±0.78	10.38±0.65	28.89±1.02
	2	46.98±1.02	8.39±0.91	28.26±1.06
HPMC	1	43.74±1.87	11.14±1.25	29.71±1.67
	2	45.93±1.15	9.71±0.80	26.46±2.29

Note: Mean ± SD from seven determinations.

Significant effect of

- Hydrocolloids on L* (p>0.05), a*(p<0.05) and b*(p<0.05).
- Concentration on L* (p<0.05), a*(p<0.05) and b*(p>0.05).
- Interaction of hydrocolloids x concentration on L* (p<0.05), a*(p>0.05) and b*(p<0.05).

3.2.2 ปริมาณความชื้น

ผลของไฮโดรคอลลอยด์ทั้งสองชนิดในแป้งชุบต่อปริมาณความชื้นของผลิตภัณฑ์แสดงในตารางที่ 37 พบว่าชนิดของไฮโดรคอลลอยด์ไม่มีผลต่อปริมาณความชื้นในส่วนของแป้งชุบซึ่งสอดคล้องกับการวิจัยของ Mallikarjunan และคณะ (1997) ศึกษาผลการรักษาความชื้นของผลิตภัณฑ์มันบดก้อนชุบแป้งทอด พบว่าชุดการทดลองที่ใช้ไฮดรอกซีโพรพิลเมทธิลเซลลูโลสสามารถรักษาความชื้นในส่วนของแป้งชุบได้ไม่แตกต่างกับชุดการทดลองที่ใช้เมทธิลเซลลูโลส แต่พบว่าชนิดของไฮโดรคอลลอยด์มีผลต่อปริมาณความชื้นของเนื้อเบอร์เกอร์โดยพบว่าเนื้อเบอร์เกอร์ที่ใช้ไฮดรอกซีโพรพิลเมทธิลเซลลูโลสมีปริมาณความชื้นสูงกว่า ($p<0.05$) ส่วนความเข้มข้นของไฮโดรคอลลอยด์ไม่มีผลต่อปริมาณความชื้นของเนื้อเบอร์เกอร์แต่มีผลต่อปริมาณความชื้นของส่วนของแป้งชุบ โดยพบว่าการเพิ่มความเข้มข้นจากร้อยละ 1 เป็น 2 ส่งผลให้ส่วนของแป้งชุบของผลิตภัณฑ์มีปริมาณความชื้นสูงขึ้น ($p<0.05$) ซึ่งสอดคล้องกับการศึกษาของ Sanz และคณะ (2004a) พบว่าชุดการทดลองที่มีส่วนผสมของเมทธิลเซลลูโลสที่เพิ่มขึ้นจากร้อยละ 0 ถึง 2 มีผลรักษาความชื้นของผลิตภัณฑ์ได้มากขึ้น ซึ่งความสามารถในการรักษาความชื้นของไฮดรอกซีโพรพิลเมทธิลเซลลูโลสและเมทธิลเซลลูโลสเกิดจากความแข็งแรงของอันตรกิริยาระหว่างพันธะไฮโดรเจนของโมเลกุลน้ำและไฮโดรคอลลอยด์ (Akdeniz *et al.*, 2006) โดยสารไฮโดรคอลลอยด์ดังกล่าวเป็นอนุพันธุ์ของเซลลูโลสซึ่งเมื่อได้รับความร้อนมากกว่า 60 องศาเซลเซียส หมู่เมทธิลจะจับกับโมเลกุลใกล้เคียงเกิดเจลและจัดเรียงตัวเป็นชั้น เจลที่จัดเรียงตัวเป็นชั้นจะช่วยป้องกันการเคลื่อนที่ของความชื้นได้ (Wall *et al.*, 1978 อ้างโดย Mallikarjunan, 1997) ดังนั้นการใช้ปริมาณหรือความเข้มข้นมากขึ้นจึงส่งผลให้ไฮโดรคอลลอยด์สามารถเกิดเจลและจัดเรียงตัวกันได้ดีขึ้น จึงสามารถรักษาความชื้นของผลิตภัณฑ์ได้ดีขึ้นนั่นเอง

3.2.3 ปริมาณไขมันของผลิตภัณฑ์

จากผลการวิเคราะห์ปริมาณไขมันของผลิตภัณฑ์ที่ใช้เมทธิลเซลลูโลสและไฮดรอกซีโพรพิลเมทธิลเซลลูโลสในแป้งชุบ (ตารางที่ 37) พบว่าชนิดของไฮโดรคอลลอยด์ไม่มีผลต่อปริมาณไขมันในส่วนของแป้งชุบแต่มีผลต่อปริมาณไขมันในเนื้อเบอร์เกอร์ โดยผลิตภัณฑ์ที่ใช้ ไฮดรอกซีโพรพิลเมทธิลเซลลูโลสมีปริมาณไขมันในเนื้อเบอร์เกอร์ต่ำกว่า จะเห็นว่าปริมาณไขมันมีความสัมพันธ์กับปริมาณความชื้น โดยตัวอย่างที่มีปริมาณความชื้นมากจะมีปริมาณไขมันน้อย เนื่องจากเจลที่จัดเรียงตัวเป็นชั้นของไฮโดรคอลลอยด์จะช่วยป้องกันการเคลื่อนที่ของความชื้นและไขมันระหว่างตัวผลิตภัณฑ์และน้ำมันที่ใช้ทอด (Wall *et al.*, 1978 อ้างโดย Mallikarjunan, 1997) นอกจากนั้นยังพบว่ากวามเข้มข้นของไฮโดรคอลลอยด์มีผลต่อปริมาณไขมันของส่วนของแป้งชุบแต่ไม่มีผลต่อปริมาณไขมันของเนื้อเบอร์เกอร์ โดยเมื่อใช้ความเข้มข้นของไฮโดรคอลลอยด์

เพิ่มขึ้นจากร้อยละ 1 เป็น 2 จะช่วยลดปริมาณไขมันในแป้งชุบทอดได้มากขึ้น ซึ่งผลดังกล่าวสัมพันธ์กับปริมาณความชื้นในตัวอย่าง กล่าวคือผลิตภัณฑ์ที่มีปริมาณความชื้นสูงจะมีปริมาณไขมันต่ำ Sanz และคณะ (2004a) พบว่าความเข้มข้นของเมทธิลเซลลูโลสที่เพิ่มขึ้นในแป้งชุบจากร้อยละ 1.5 เป็น 2 ส่งผลลดปริมาณไขมันและเพิ่มปริมาณความชื้นของปลาหมึกชุบแป้งทอด

ตารางที่ 37 ปริมาณความชื้นและปริมาณไขมันของผลิตภัณฑ์เบอร์เกอร์กุ้งชุบแป้งทอดที่มีเมทธิลเซลลูโลสและไฮดรอกซีโพรพิลเมทธิลเซลลูโลสในแป้งชุบทอดที่ระดับต่างกัน

Hydrocolloids	Concentration (%)	Moisture Content (%)		Fat Content (%)	
		Coating	Burger*	Coating	Burger*
MC	1	30.61±0.09	64.34±0.47	11.46±0.88	10.18±0.42
	2	35.74±0.45	64.91±0.48	9.36±0.14	10.74±1.03
HPMC	1	28.56± 2.16	65.59±0.88	11.08±0.48	9.44±0.33
	2	38.63±0.92	65.78±0.38	8.93±0.37	9.16±0.25

Note: Mean ± SD from triplicate determinations. *Burger without coating

Significant effect of

- Hydrocolloids on moisture content of coating and burger ($p>0.05$ and $p<0.05$, respectively) and fat content of coating and burger ($p>0.05$ and $p<0.05$, respectively).
- Concentration on moisture content of coating and burger ($p<0.05$ and $p>0.05$, respectively) and fat content of coating and burger ($p<0.05$ and $p>0.05$, respectively).
- Interaction of hydrocolloids x concentration on moisture content of coating and burger ($p<0.05$ and $p>0.05$, respectively) and fat content of coating and burger ($p>0.05$ and $p>0.05$, respectively).

3.2.4 ลักษณะเนื้อสัมผัส (Texture Profile Analysis; TPA) และค่าความกรอบของผลิตภัณฑ์

จากการวิเคราะห์ลักษณะเนื้อสัมผัสของผลิตภัณฑ์เบอร์เกอร์กุ้งชุบแป้งทอดที่ใช้เมทธิลเซลลูโลสและไฮดรอกซีโพรพิลเมทธิลเซลลูโลสในแป้งชุบ (ตารางที่ 38) พบว่าชนิดของไฮโดรคอลลอยด์มีผลต่อค่าความแข็งและแรงที่ใช้ในการบดเคี้ยว โดยผลิตภัณฑ์ที่ใช้

เมทธิลเซลลูโลสมีค่าทั้งสองสูงกว่า (p<0.05) เนื่องจากโครงสร้างเมทธิลเซลลูโลสมีกิ่งก้านน้อยกว่า (นิธิยา รัตนปนนท์, 2545) การเกิดโครงสร้างของพอลิแซ็กคาไรด์กับพอลิแซ็กคาไรด์จึงเกิดได้แน่นกว่าจึงส่งผลให้ผลิตภัณฑ์แข็งและเหนียวมากกว่า (Mohamed *et al.*, 1998) และพบว่าความเข้มข้นของไฮโดรคอลลอยด์ร้อยละ 1 มีผลให้ค่าความแข็งและแรงที่ใช้ในการบดเคี้ยวน้อยกว่าการใช้ไฮโดรคอลลอยด์ร้อยละ 2 (p<0.05)

ส่วนค่าความกรอบของผลิตภัณฑ์แสดงในตารางที่ 39 พบว่าชนิดและความเข้มข้นของไฮโดรคอลลอยด์มีผลต่อแรงที่ใช้ในการกดชิ้นตัวอย่าง โดยตัวอย่างที่ใช้ไฮดรอกซีโพรพิลเมทธิลเซลลูโลสมีค่าแรงสูงกว่า (p<0.05) และพบว่าตัวอย่างที่ใช้ไฮโดรคอลลอยด์ร้อยละ 1 มีค่าแรงน้อยกว่าการใช้ไฮโดรคอลลอยด์ที่ระดับความเข้มข้นร้อยละ 2 (p<0.05)

ตารางที่ 38 ลักษณะเนื้อสัมผัสของผลิตภัณฑ์เบอร์เกอร์กุ้งชุบแป้งทอดที่มีเมทธิลเซลลูโลสและไฮดรอกซีโพรพิลเมทธิลเซลลูโลสในแป้งชุบทอดที่ระดับต่างกัน

Hydrocolloids	Concentration (%)	Texture Profile Analysis (TPA)						
		Hardness (g)	Fracturability (g*s)	Adhesiveness (s)	Springiness	Cohesiveness	Gumminess (g)	Chewiness (g*mm)
MC	1	9,990.72±724.90	13.02±4.20	-4.47±5.48	0.44±0.03	0.29±0.02	2,874.74±264.85	1,259.66±158.24
	2	11,293.98±1,381.94	17.22±5.11	-2.24±2.89	0.46±0.04	0.26±0.02	2,925.85±542.67	1,360.91±333.65
HPMC	1	7,968.79±492.39	17.21±1.23	-0.83±3.51	0.40±0.04	0.26±0.02	2,085.76±230.52	841.26±162.24
	2	10,941.74±596.88	18.39±1.93	-5.56±3.22	0.46±0.07	0.27±0.01	2,906.13±175.88	1,349.49±220.82

Note: Mean ± SD from seven determinations.

Significant effect of

- Hydrocolloids on Hardness ($p<0.05$), Fracturability ($p>0.05$), Adhesiveness ($p>0.05$), Springiness ($p>0.05$), Cohesiveness ($p>0.05$), Gumminess ($p<0.05$) and Chewiness ($p<0.05$).
- Concentration on Hardness ($p<0.05$), Fracturability ($p>0.05$), Adhesiveness ($p>0.05$), Springiness ($p<0.05$), Cohesiveness ($p>0.05$), Gumminess ($p<0.05$) and Chewiness ($p<0.05$).
- Interaction of hydrocolloids x concentration on Hardness ($p<0.05$), Fracturability ($p>0.05$), Adhesiveness ($p<0.05$), Springiness ($p>0.05$), Cohesiveness ($p<0.05$), Gumminess ($p<0.05$) and Chewiness ($p<0.05$).

103

ตารางที่ 39 ค่าความกรอบของผลิตภัณฑ์เบอร์เกอร์กุ้งชุบแป้งทอดที่มีเมทธิลเซลลูโลสและไฮดรอกซีโพรพิลเมทธิลเซลลูโลสในแป้งชุบทอดที่ระดับต่างกัน

Hydrocolloids	Concentration (%)	Force (g)
MC	1	130.76±16.02
	2	148.57±39.68
HPMC	1	147.41±17.34
	2	175.55±36.27

Note: Mean ± SD from fifteen determinations.

Significant effect of

- Hydrocolloids on crispiness value ($p<0.05$).
- Concentration on crispiness value ($p<0.05$).
- Interaction of hydrocolloids x concentration on crispiness value ($p>0.05$).

3.2.5 การประเมินคุณภาพทางประสาทสัมผัสของผลิตภัณฑ์

เมื่อทำการประเมินคุณลักษณะด้านความกรอบและความมันของผลิตภัณฑ์เบอร์เกอร์กุ้งชุบแป้งทอดโดยผู้ทดสอบที่ผ่านการฝึกฝนจำนวน 10 คน ตามคำนิยามและการประเมินคุณลักษณะความกรอบและความมัน (ตารางที่ 40) พบว่าคะแนนความกรอบและการอมน้ำมันไม่แตกต่างกันเมื่อใช้ไฮโดรคอลลอยด์ทั้งสองชนิดที่ความเข้มข้นทั้งสองระดับ

ดังนั้นในการเลือกสูตรที่เหมาะสมของสารไฮโดรคอลลอยด์จึงพิจารณาจากผลิตภัณฑ์สูตรที่มีปริมาณความชื้นสูงแต่มีปริมาณไขมันต่ำซึ่งได้แก่ผลิตภัณฑ์สูตรที่ใช้ไฮดรอกซีโพรพิลเมทธิลเซลลูโลสร้อยละ 2 แล้วนำสูตรดังกล่าวไปศึกษาต่อในขั้นต่อไป

ตารางที่ 40 คะแนนความกรอบและความมันของผลิตภัณฑ์เบอร์เกอร์กุ้งชุบแป้งทอดที่มีเมทธิลเซลลูโลสและไฮดรอกซีโพรพิลเมทธิลเซลลูโลสในแป้งชุบทอดที่ระดับต่างกัน

Hydrocolloids	Concentration (%)	Crispiness Score*		Oiliness Score*	
		Loudness	Crispy during chewing	Appearance	Oiliness**
MC	1	7.00±2.09	6.42±2.07	3.78±1.32	3.87±1.35
	2	7.08±2.23	6.34±2.01	3.59±0.82	3.55±1.08
HPMC	1	8.13±1.96	7.09±1.89	3.77±1.56	3.77±1.50
	2	7.04±1.60	6.17±1.11	3.83±0.91	3.72±0.86

Note: * Scale = 15 (1 = low intensity, 14 = high intensity)

** Oiliness during chewing coating without burger

Mean ± SD from ten trained panelists.

Hydrocolloids, Concentration and Interaction of hydrocolloids x concentration had no significant effect on crispiness score (loundness and crispy during chewing) and oiliness score (appearance and oiliness**) (p>0.05).

3.2.6 ความหนืดของแป้งชุบและปริมาณการเคลือบ

เมื่อทำการผลิตแป้งชุบที่ใช้ไฮดรอกซีโพรพิลเมทธิลเซลลูโลสร้อยละ 2 (2%HPMC) แล้วทำการวัดค่าความหนืดเปรียบเทียบกับแป้งชุบสูตรที่ใช้แป้งที่เหมาะสมร่วมกับปรับความหนืด (สูตร OFAV) ที่ได้จากขั้นตอนที่ 3.1 ได้ผลแสดงดังตารางที่ 41 พบว่าแป้งชุบสูตรที่ใช้ไฮดรอกซีโพรพิลเมทธิลเซลลูโลสร้อยละ 2 มีความหนืดสูงกว่าแป้งชุบสูตร OFAV อย่างเห็นได้ชัด (p<0.05) สอดคล้องกับการรายงานของ Christianson (1982 อ้างโดย Naruenartwongsakul *et al.*, 2004) กล่าวว่าการที่ไฮโดรคอลลอยด์มีผลเพิ่มความหนืดของแป้งชุบเป็นผลมาจากการเกิดอันตรกิริยาระหว่างไฮโดรคอลลอยด์กับส่วนของเหลวจากเม็ดแป้ง และการใช้ไฮโดรคอลลอยด์ส่งผลให้เกิดแรงต้านการเคลื่อนที่มากกว่าแรงที่ใช้ในการกวนสารละลายที่มีเพียงแป้งและน้ำ นอกจากนั้นยังพบว่าปริมาณการเคลือบของแป้งชุบสูตรที่ใช้ไฮดรอกซีโพรพิลเมทธิลเซลลูโลสร้อยละ 2 มีค่าสูงกว่า (p<0.05) ซึ่งก็สอดคล้องกับความหนืดของแป้งชุบนั่นเอง

ตารางที่ 41 ความหนืดและปริมาณการเคลือบของแป้งชุบ (ร้อยละ) สูตรที่ใช้แป้งที่เหมาะสมร่วมกับปรับความหนืด (สูตร OFAV) และสูตรที่ใช้ไฮดรอกซีโพรพิลเมทธิลเซลลูโลสร้อยละ 2

Treatment	Viscosity of batter (cPs)	Coating pick-up (%)
OFAV	536.00±2.00[b]	15.89±0.88[b]
2%HPMC	1,292.00±2.00[a]	24.59±1.50[a]

Note: Mean ± SD from triplicate determinations.

Different superscripts in the same column indicate significant differences ($p<0.05$).

3.2.7 ค่าสีของผลิตภัณฑ์

จากการวิเคราะห์ค่าสีของผลิตภัณฑ์เบอร์เกอร์กุ้งชุบแป้งทอดที่ใช้ไฮดรอกซีโพรพิลเมทธิลเซลลูโลสและสูตร OFAV (ตารางที่ 42) พบว่ามีเพียงค่าความสว่างที่แตกต่างกัน โดยผลิตภัณฑ์สูตร OFAV มีค่าความสว่างน้อยกว่าผลิตภัณฑ์สูตรที่ใช้ไฮดรอกซีโพรพิลเมทธิลเซลลูโลสร้อยละ 2 ($p<0.05$)

ตารางที่ 42 ค่าสีของผลิตภัณฑ์เบอร์เกอร์กุ้งชุบแป้งทอดสูตรที่ใช้แป้งที่เหมาะสมร่วมกับปรับความหนืด (สูตร OFAV) และสูตรที่ใช้ไฮดรอกซีโพรพิงเมทธิลเซลลูโลสร้อยละ 2

Treatment	Colour		
	L*	a*	b*
OFAV	47.98±1.32[b]	9.81±1.16[a]	26.44±1.30[a]
2%HPMC	49.38±1.36[a]	9.41±0.97[a]	26.35±1.65[a]

Note: Mean ± SD from seven determinations.

Different superscripts in the same column indicate significant differences ($p<0.05$).

3.2.8 ปริมาณความชื้นของผลิตภัณฑ์

ผลของการใช้ไฮดรอกซีโพรพิลเมทธิลเซลลูโลสในแป้งชุบต่อปริมาณความชื้นของผลิตภัณฑ์เปรียบเทียบกับผลิตภัณฑ์สูตร OFAV แสดงดังตารางที่ 43 พบว่าส่วนของแป้งชุบของผลิตภัณฑ์ที่ใช้ไฮดรอกซีโพรพิลเมทธิลเซลลูโลสร้อยละ 2 มีปริมาณความชื้นน้อยกว่า

ผลิตภัณฑ์สูตร OFAV (p<0.05) ขณะที่ไม่พบความแตกต่างของปริมาณความชื้นของเนื้อเบอร์เกอร์ในผลิตภัณฑ์ทั้งสองสูตร (p>0.05)

3.2.9 ปริมาณไขมันของผลิตภัณฑ์

จากการวิเคราะห์ปริมาณไขมันของผลิตภัณฑ์ที่ใช้ไฮดรอกซีโพรพิลเมทธิลเซลลูโลสในแป้งชุบเปรียบเทียบกับผลิตภัณฑ์สูตร OFAV (ตารางที่ 43) พบว่าผลิตภัณฑ์สูตรที่ใช้ไฮดรอกซีโพรพิลเมทธิลเซลลูโลสร้อยละ 2 มีปริมาณไขมันน้อยกว่าผลิตภัณฑ์สูตร OFAV คิดเป็นร้อยละ 2.98 (p<0.05) ขณะที่ไม่พบความแตกต่างของปริมาณไขมันของเนื้อเบอร์เกอร์ในผลิตภัณฑ์ทั้งสองสูตร (p>0.05) นั่นแสดงว่าการใช้ไฮดรอกซีโพรพิลเมทธิลเซลลูโลสร้อยละ 2 ในแป้งชุบสามารถลดการดูดซับไขมันของผลิตภัณฑ์ได้

ตารางที่ 43 ปริมาณความชื้นและปริมาณไขมันของผลิตภัณฑ์เบอร์เกอร์กุ้งชุบแป้งทอดสูตรที่ใช้แป้งที่เหมาะสมร่วมกับปรับความหนืด (สูตร OFAV) และสูตรที่ใช้ไฮดรอกซีโพรพิลเมทธิลเซลลูโลสร้อยละ 2

Treatment	Moisture Content (%)		Fat Content (%)	
	Coating	Burger*	Coating	Burger*
OFAV	26.96±0.74[a]	64.26±0.44[a]	8.39±0.01[a]	9.04±0.27[a]
2%HPMC	23.83±0.64[b]	64.17±0.56[a]	5.41±0.14[b]	8.95±0.47[a]

Note: Mean ± SD from triplicate determinations.

Different superscripts in the same column indicate significant differences (p<0.05).

*Burger without coating

3.2.10 ลักษณะเนื้อสัมผัส (Texture Profile Analysis; TPA) และค่าความกรอบของผลิตภัณฑ์

เมื่อพิจารณาลักษณะเนื้อสัมผัสของผลิตภัณฑ์ทั้งสองสูตรการทดลอง (ตารางที่ 44) ไม่พบความแตกต่างของลักษณะเนื้อสัมผัสส่วนใหญ่ ($p>0.05$) ยกเว้นค่าความแข็ง โดยพบว่าผลิตภัณฑ์สูตร OFAV มีค่าความแข็งมากกว่า ($p<0.05$) และพบว่าตัวอย่างไม่มีความแตกต่างกันของค่าความกรอบที่วัดจากค่าแรงที่ใช้ในการกดลงบนผิวของผลิตภัณฑ์ (ตารางที่ 45)

ตารางที่ 44 ลักษณะเนื้อสัมผัสของผลิตภัณฑ์เบอร์เกอร์กุ้งชุบแป้งทอดสูตรที่ใช้แป้งที่เหมาะสมร่วมกับปรับความหนืด (สูตร OFAV) และสูตรที่ใช้ไฮดรอกซีโพรพิลเมทธิลเซลลูโลสร้อยละ 2

Treatment	Texture Profile Analysis (TPA)						
	Hardness (g)	Fracturability (g*s)	Adhesiveness (s)	Springiness	Cohesiveness	Gumminess (g)	Chewiness (g*mm)
OFAV	11,658.05±1,126.11[a]	22.79±3.12[a]	-3.16±6.30[a]	0.45±0.07[a]	0.27±0.02[a]	3,148.65±401.05[a]	1,433.11±339.49[a]
2%HPMC	9,349.32±702.40[b]	23.84±3.80[a]	-5.12±10.90[a]	0.45±0.04[a]	0.26±0.01[a]	2,382.75±135.07[b]	1,084.10±139.38[a]

Note: Mean ± SD from seven determinations.

Different superscripts in the same column indicate significant differences ($p<0.05$).

109

ตารางที่ 45 ค่าความกรอบของผลิตภัณฑ์เบอร์เกอร์กุ้งชุบแป้งทอดสูตรที่ใช้แป้งที่เหมาะสมร่วมกับปรับความหนืด (สูตร OFAV) และสูตรที่ใช้ไฮดรอกซีโพรพิลเมทธิลเซลลูโลสร้อยละ 2

Treatment	Force (g)
OFAV	90.05±28.86[a]
2%HPMC	84.28±22.63[a]

Note: Mean ± SD from fifteen determinations.

Different superscripts in the same column indicate significant differences ($p<0.05$).

3.2.11 การประเมินคุณภาพทางประสาทสัมผัสของผลิตภัณฑ์

เมื่อพิจารณาผลการทดสอบทางประสาทสัมผัสผลิตภัณฑ์เบอร์เกอร์กุ้งชุบแป้งทอดโดยผู้ทดสอบที่ผ่านการฝึกฝนจำนวน 10 คน ตามคำนิยามและการประเมินคุณลักษณะความกรอบและความมัน (ตารางที่ 46) พบว่าผลิตภัณฑ์สูตรที่ใช้ไฮดรอกซีโพรพิลเมทธิลเซลลูโลสร้อยละ 2 ได้รับคะแนนความกรอบที่ประเมินจากเสียงขณะกัดและเคี้ยวตัวอย่างใน 2 – 3 คำแรก และความกรอบระหว่างการเคี้ยวจนกระทั่งกลืนมากกว่าผลิตภัณฑ์สูตร OFAV ($p<0.05$) ขณะที่ไม่พบความแตกต่างของคะแนนความมันทั้งที่ได้จากการประเมินจากลักษณะปรากฏและความมันจากการประเมินระหว่างการเคี้ยวเฉพาะส่วนของแป้งชุบ ($p>0.05$)

ดังนั้นในขั้นตอนการสร้างสูตรแป้งชุบไฮโดรคอลลอยด์ที่เหมาะสมโดยให้ได้ผลิตภัณฑ์เบอร์เกอร์กุ้งชุบแป้งทอดที่มีความกรอบสูงและการอมน้ำมันต่ำ จึงคัดเลือกสูตรที่ใช้ไฮดรอกซีโพรพิลเมทธิลเซลลูโลสร้อยละ 2 (2%HPMC) นำไปศึกษาต่อในขั้นต่อไป

ตารางที่ 46 คะแนนความกรอบและความมันของผลิตภัณฑ์เบอร์เกอร์กุ้งชุบแป้งทอดสูตรที่ใช้แป้งที่เหมาะสมร่วมกับปรับความหนืด (สูตร OFAV) และสูตรที่ใช้ไฮดรอกซี โพรพิลเมทธิลเซลลูโลสร้อยละ 2

Treatment	Crispiness Score*		Oiliness Score*	
	Loudness	Crispy during chewing	Appearance	Oiliness**
OFAV	6.0±2.11[b]	5.4±1.84[b]	3.6±1.43[a]	4.0±1.89[a]
2%HPMC	9.2±1.69[a]	9.4±1.07[a]	3.2±0.42[a]	3.4±0.84[a]

Note: * Scale = 15 (1 = low intensity, 14 = high intensity)

** Oiliness during chewing coating without burger

Mean ± SD from ten trained panelists.

Different letters in the same column indicate significant differences ($p<0.05$).

4. การศึกษาการใช้สารให้กลิ่นรสกุ้งที่ระดับต่างๆ

จากการศึกษาการใช้สารให้กลิ่นรสกุ้งที่ระดับความเข้มข้นร้อยละ 0.8 และ 1.2 เปรียบเทียบกับผลิตภัณฑ์เบอร์เกอร์กุ้งชุบแป้งสูตรจำลอง (ตารางที่ 47) พบว่าคะแนนเฉลี่ยความชอบของผลิตภัณฑ์สูตรจำลองและสูตรที่ใช้สารให้กลิ่นรสกุ้งที่ระดับความเข้มข้นทั้งสองไม่แตกต่างกัน ($p>0.05$) โดยผู้ทดสอบจำนวน 18 คนได้ให้ข้อเสนอแนะว่ากลิ่นรสกุ้งดังกล่าวมีกลิ่นคล้ายหัวกุ้งที่เข้มเกินไปและไม่เหมือนกลิ่นเนื้อกุ้ง ดังนั้นจึงเลือกสูตรที่ไม่มีการเติมสารให้กลิ่นรสกุ้งในการศึกษาการยอมรับผลิตภัณฑ์ของผู้บริโภคในขั้นต่อไป

ตารางที่ 47 คะแนนความชอบด้านกลิ่นรสกุ้งของผลิตภัณฑ์เบอร์เกอร์กุ้งชุบแป้งทอดที่ใช้สารให้กลิ่นรสกุ้งที่ระดับความเข้มข้นร้อยละ 0.8 และ 1.2 เปรียบเทียบกับผลิตภัณฑ์เบอร์เกอร์กุ้งชุบแป้งสูตรจำลอง

Treatment	Shrimp flavour liking scores
Mock-up	6.47±1.43[a]
0.8% shrimp flavourant	6.67±0.96[a]
1.2% shrimp flavourant	6.73±1.41[a]

Note: Mean ± SD from thirty panelists.

Different superscripts in the same column indicate significant differences ($p<0.05$).

5. การยอมรับของผู้บริโภคที่มีต่อผลิตภัณฑ์เบอร์เกอร์กุ้งชุบแป้งทอดที่ลดการดูดซับน้ำมัน

5.1 การทดสอบการยอมรับผลิตภัณฑ์เบอร์เกอร์กุ้งชุบแป้งทอดที่ลดการดูดซับไขมัน

นำผลิตภัณฑ์เบอร์เกอร์กุ้งชุบแป้งทอดสูตรที่ได้รับการพัฒนา (Developed burger) ซึ่งเป็นสูตรที่มีปริมาณความชื้นและความฉ่ำน้ำสูง รวมทั้งมีปริมาณไขมันต่ำและมีความกรอบสูง (สูตรการทดลองสุดท้ายที่ได้จากขั้นตอนที่ 3.2) มาทดสอบการยอมรับของผู้บริโภคที่เป็นนักท่องเที่ยวชาวยุโรปในประเทศไทยจำนวน 100 คน เปรียบเทียบกับผลิตภัณฑ์เบอร์เกอร์กุ้งชุบแป้งทอดสูตรจำลอง โดยทำการสอบถามเพื่อหาข้อมูลทั่วไปเกี่ยวกับผู้บริโภค พฤติกรรมการซื้อและบริโภคผลิตภัณฑ์เบอร์เกอร์ ความชอบที่ผู้บริโภคมีต่อผลิตภัณฑ์ในปัจจัยคุณภาพต่าง ๆ ได้แก่ ความชอบรวม ความกรอบของแป้งชุบ ความฉ่ำน้ำและรสชาติ และการยอมรับของผู้บริโภคที่มีต่อผลิตภัณฑ์เบอร์เกอร์กุ้งชุบแป้งทอดที่ได้รับการพัฒนา ซึ่งใช้แบบสอบถามในภาคผนวก จ5. ปรากฏผลดังตารางที่ 48

5.1.1 ข้อมูลทางประชากรศาสตร์ของผู้บริโภค

ลักษณะทางประชากรศาสตร์ของผู้บริโภคที่เป็นนักท่องเที่ยวชาวยุโรปในประเทศไทยที่ทดสอบผลิตภัณฑ์ (ตารางที่ 48) จำนวน 100 คน เป็นเพศชาย ร้อยละ 60 เพศหญิง ร้อยละ 40 ซึ่งเป็นผู้ที่มีอายุอยู่ในช่วง 20 – 30 ปี มากที่สุดคือร้อยละ 62 รองลงมาอยู่ในช่วงอายุ 31

– 40 ปี คิดเป็นร้อยละ 20 โดยผู้บริโภคส่วนใหญ่ (ร้อยละ 82) มีสถานภาพโสด อาชีพของผู้บริโภคส่วนใหญ่คืออาชีพค้าขาย/ธุรกิจส่วนตัวและรองลงมาเป็นนักเรียน/นักศึกษาคิดเป็นร้อยละ 46 และ 25 ตามลำดับ ระดับการศึกษาของผู้บริโภคส่วนใหญ่อยู่ในระดับมัธยมศึกษาตอนปลายและปริญญาตรีร้อยละ 35 และ 32 ตามลำดับ ขณะที่ร้อยละ 11 มีระดับการศึกษาสูงกว่าปริญญาตรี และส่วนใหญ่มีรายได้ต่อเดือน(หักภาษีแล้ว) มากกว่า 1,500 ยูโร รองลงมามีรายได้อยู่ในช่วง 901 – 1,500 ยูโร คิดเป็นร้อยละ 38 และ 24 ตามลำดับ ผู้บริโภคส่วนใหญ่มาจากประเทศอังกฤษร้อยละ 45 รองลงมาเป็นประเทศฝรั่งเศสร้อยละ 15

ตารางที่ 48 ข้อมูลทั่วไปเกี่ยวกับผู้บริโภคนักท่องเที่ยวชาวยุโรปที่ใช้ในการทดสอบการยอมรับผลิตภัณฑ์เบอร์เกอร์กุ้งชุบแป้งทอดแช่เยือกแข็ง

	Demographics	Consumer Frequency (%)		
		Male(N=60)	Female(N=40)	Total(N=100)
Age	< 20 years old	4	7	11
	20 - 30 years old	4	22	62
	31 - 40 years old	12	8	20
	41 - 50 years old	2	2	4
	51 - 60 years old	2	1	3
	> 61 years old	0	0	0
Status	Single	49	33	82
	Partner or Married and no children	8	5	13
	Married with children	3	2	5
Career	Student	15	10	25
	Housewife	1	0	1
	Agriculturist	1	0	1
	Government employee	0	3	3
	Restaurant/food related	4	4	8
	Own business/ Private sectors	29	17	46
	Academia	4	4	8
	Pensioners	1	1	2
	Unemployed	5	1	6

ตารางที่ 48 (ต่อ)

Demographics		Consumer Frequency (%)		
		Male(N=60)	Female(N=40)	Total(N=100)
Education	High school	23	12	35
	Diploma degree	10	12	22
	Bachelor degree	22	10	32
	Higher than bachelor degree	5	6	11
Income	< 300 Euro	5	6	11
	300 – 600 Euro	9	5	14
	601 – 900 Euro	8	5	13
	901 – 1,500 Euro	13	11	24
	> 1,500 Euro	25	13	38
Country of residence				
	Austria	1	1	2
	Belgium	0	2	2
	Denmark	2	3	5
	France	12	3	15
	Germany	5	4	9
	Ireland	1	0	1
	Italy	0	1	1
	Netherlands	1	3	4
	Norway	2	2	4
	Spain	1	0	1
	Sweden	4	5	9
	Switzerland	1	1	2
	United Kingdom	30	15	45

5.1.2 พฤติกรรมการบริโภคผลิตภัณฑ์แฮมเบอร์เกอร์

จากการทดสอบผู้บริโภค ดังแสดงในตารางที่ 49 เมื่อพิจารณาจากความถี่ในการรับประทานแฮมเบอร์เกอร์ พบว่า ผู้บริโภคส่วนใหญ่ (ร้อยละ 96) รับประทาน 2 หรือน้อยกว่า 2 ครั้งต่อสัปดาห์ ชนิดของแฮมเบอร์เกอร์ที่เป็นที่นิยมได้แก่ เบอร์เกอร์เนื้อวัว เบอร์เกอร์ชีสและเบอร์เกอร์ไก่ คิดเป็นร้อยละ 37 34 และ 17 ตามลำดับ ผู้บริโภคร้อยละ 95 ยังไม่เคยรับประทานเบอร์เกอร์กุ้ง ขณะที่ผู้บริโภคที่เคยรับประทาน (ร้อยละ 5) มีความชอบผลิตภัณฑ์เบอร์เกอร์กุ้งอยู่ในระดับไม่ชอบจนถึงชอบมากที่สุด และพบว่าผู้บริโภคร้อยละ 53 เคยเตรียมเบอร์เกอร์จากผลิตภัณฑ์เบอร์เกอร์แช่เยือกแข็งและระดับความชอบต่อผลิตภัณฑ์เบอร์เกอร์ที่เตรียมเองของผู้บริโภคดังกล่าวส่วนใหญ่เป็นชอบ รองลงมาคือไม่แน่ใจและชอบมากที่สุดคิดเป็นร้อยละ 47.17 26.42 และ 22.64 ตามลำดับ นอกจากนั้นยังพบว่าเพศ อายุ สถานภาพสมรส อาชีพ ระดับการศึกษาและรายได้ไม่มีผลต่อพฤติกรรมและทัศนคติของผู้บริโภคต่อผลิตภัณฑ์แฮมเบอร์เกอร์ที่ทำการสัมภาษณ์

ตารางที่ 49 ข้อมูลเกี่ยวกับพฤติกรรมการบริโภคแฮมเบอร์เกอร์

Questions	Consumer Frequency (%)		
	Male(N=60)	Female(N=40)	Total(N=100)
1. How often do you eat hamburger?			
everyday	0	0	0
5-6 times/week	0	1	1
3-4 times/week	3	0	3
≤ 2 times/week	57	39	96
2. What type of hamburger do you like most?			
pork	0	1	1
chicken	8	9	17
fish	5	2	7
beef	24	13	37
shrimp	1	0	1
cheese	22	12	34
vegetable	0	3	3
3. Have you ever eaten 'Shrimp Burger'?			
Yes	4	1	5
No	56	39	95
4. How do you like 'Shrimp Burger'? [a]			
Dislike very much	0	0	0
Dislike	20	0	20
Neither like nor dislike	20	0	20
Like	40	0	40
Like very much	0	20	20

Note: [a]Only the consumer who answer "Yes" in the question 3

ตารางที่ 49 (ต่อ)

Questions	Consumer Frequency (%)		
	Male(N=60)	Female(N=40)	Total(N=100)
5. Have you prepared the burger from the frozen product before?			
Yes	32	21	53
No	28	19	47
6. How do you like the product you prepare? [(b)]			
Dislike very much	0	0	0
Dislike	1.89	1.89	3.77
Neither like nor dislike	15.09	11.32	26.42
Like	32.08	15.09	47.17
Like very much	11.32	11.32	22.64

Note: [(b)]Only the consumer who answer "Yes" in the question 5

5.1.3 การยอมรับของผู้บริโภคที่มีต่อผลิตภัณฑ์เบอร์เกอร์กุ้งชุบแป้งทอด

เมื่อผู้บริโภคทำการทดสอบความชอบผลิตภัณฑ์เบอร์เกอร์กุ้งชุบแป้งทอดที่ได้รับการพัฒนาเปรียบเทียบกับผลิตภัณฑ์เบอร์เกอร์กุ้งชุบแป้งทอดสูตรจำลอง โดยวิธี hedonic scale (9 คะแนน) ซึ่งให้ 1 เป็นคะแนนที่ไม่ชอบมากที่สุด และ 9 เป็นคะแนนที่ชอบมากที่สุด ได้ผลดังตารางที่ 50 โดยพบว่าความชอบด้านความกรอบของผลิตภัณฑ์อยู่ในระดับชอบเล็กน้อยถึงชอบปานกลาง โดยผลิตภัณฑ์เบอร์เกอร์กุ้งชุบแป้งทอดที่ได้รับการพัฒนาและผลิตภัณฑ์เบอร์เกอร์กุ้งสูตรจำลองได้รับคะแนนความชอบด้านความกรอบเท่ากับ 6.72 และ 6.53 คะแนน ซึ่งไม่แตกต่างกัน (p>0.05) ขณะที่ผลิตภัณฑ์เบอร์เกอร์กุ้งชุบแป้งทอดที่ได้รับการพัฒนาได้คะแนนเฉลี่ยความชอบด้านความฉ่ำน้ำ รสชาติและความชอบรวมเท่ากับ 7.44 7.48 และ 7.40 คะแนน ตามลำดับ ซึ่งมากกว่าผลิตภัณฑ์เบอร์เกอร์กุ้งสูตรจำลองที่มีคะแนนเฉลี่ยความชอบของทั้งสามคุณลักษณะเท่ากับ 6.68 7.15 และ 6.91 คะแนน ตามลำดับ (p<0.05)

เมื่อพิจารณาความถี่ของช่วงคะแนนต่อปัจจัยคุณภาพทั้งหมดของผลิตภัณฑ์เบอร์เกอร์กุ้งชุบแป้งทอดที่ได้รับการพัฒนา ดังแสดงในตารางที่ 50 พบว่า ผู้บริโภคส่วนใหญ่ให้คะแนนความชอบปัจจัยด้านความกรอบของแป้งชุบอยู่ในระดับชอบปานกลางและชอบมากเป็นร้อยละ 34 และ 27 ตามลำดับ ในปัจจัยด้านความฉ่ำน้ำ ผู้บริโภคส่วนใหญ่ให้คะแนนความชอบอยู่ในระดับชอบปานกลางและชอบมากเป็นร้อยละ 32 และ 45 ตามลำดับ ในปัจจัยด้านรสชาติผู้บริโภคให้คะแนนความชอบอยู่ในระดับชอบเล็กน้อยและชอบปานกลางเป็นร้อยละ 39 และ 35 ส่วนความชอบรวม ผู้บริโภคให้คะแนนความชอบอยู่ในระดับชอบปานกลางถึงชอบมากเป็นร้อยละ 39 และ 37 ทั้งนี้จากการทดสอบพบว่าเพศ อายุ สถานภาพสมรส อาชีพ ระดับการศึกษา รายได้ และพฤติกรรมการบริโภคแฮมเบอร์เกอร์ (ความถี่และการเตรียมเบอร์เกอร์จากผลิตภัณฑ์แช่เยือกแข็ง) ไม่มีผลต่อความชอบของผู้บริโภคที่มีต่อผลิตภัณฑ์เบอร์เกอร์กุ้งชุบแป้งทอดที่ได้รับการพัฒนาในทุกปัจจัย (p>0.05)

ตารางที่ 50 ความถี่และคะแนนความชอบของผลิตภัณฑ์เบอร์เกอร์กุ้งชุบแป้งทอดสูตรจำลองและสูตรที่ได้รับการพัฒนา

Attribute	Consumer frequency (%)									Liking score*
	Like extremely	Like very much	Like moderately	Like slightly	Neither like nor dislike	Dislike slightly	Dislike moderately	Dislike very much	Dislike extremely	
Mocked-up burger										
Crispiness	5	23	32	19	7	10	3	1	0	6.53±1.53[a]
Juiciness	4	25	36	18	7	8	1	1	0	6.68±1.38[b]
Overall taste	8	33	40	10	5	2	2	0	0	7.15±1.20[b]
Overall liking	7	26	40	16	4	4	2	1	0	6.91±1.34[b]
Developed burger										
Crispiness	4	27	34	16	10	9	0	0	0	6.72±1.32[a]
Juiciness	9	45	32	11	1	2	0	0	0	7.44±0.98[a]
Overall taste	13	11	35	39	0	13	0	0	0	7.48±0.99[a]
Overall liking	10	37	39	12	1	1	0	0	0	7.40±0.93[a]

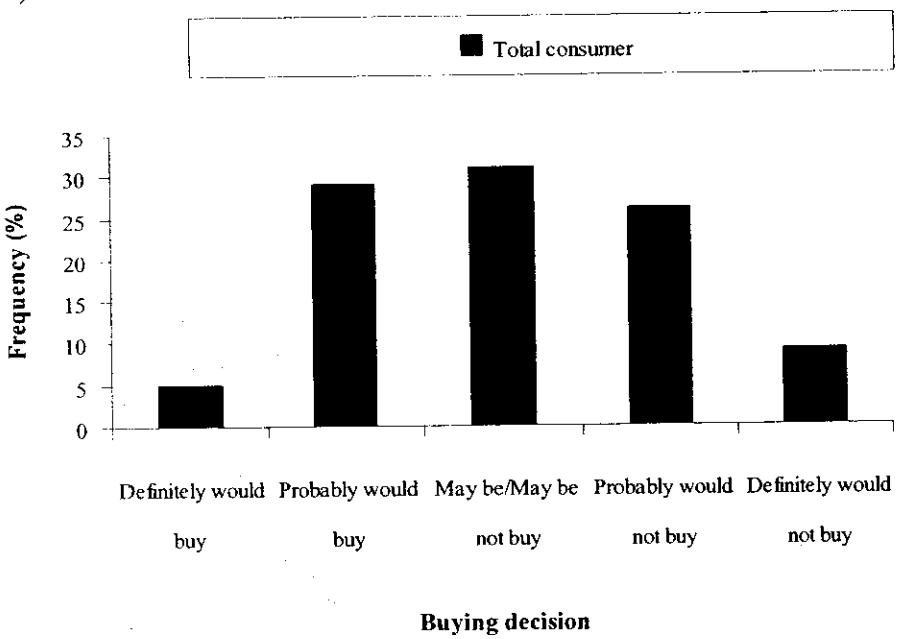
Note: *Values are the means ± SD from 100 consumers, Different superscripts in the same attributes indicate significant differences ($p<0.05$).

120

อย่างไรก็ตามหากมีผลิตภัณฑ์เบอร์เกอร์กุ้งชุบแป้งทอดแช่เยือกแข็งจำหน่ายในท้องตลาด โดยบรรจุขนาดและราคาเช่นเดียวกับผลิตภัณฑ์เบอร์เกอร์แช่เยือกแข็ง คือ 6 ชิ้นต่อถุง ในราคา 5.48 ยูโร (ประมาณ 240 บาท) พบว่า ผู้บริโภคคิดว่าอาจจะซื้อหรือไม่ซื้อ อาจจะซื้อและอาจจะไม่ซื้อผลิตภัณฑ์ดังกล่าวเป็นร้อยละ 31 29 และ 26 ตามลำดับ (ภาพที่ 14) โดยเมื่อพิจารณาจากผู้บริโภคที่แบ่งตามเพศพบว่าผู้บริโภคชายคิดว่าอาจจะซื้อหรือไม่ซื้อร้อยละ 22 ขณะที่ผู้บริโภคหญิงส่วนใหญ่ (ร้อยละ 16) คิดว่าอาจจะซื้อ เมื่อพิจารณาจากช่วงอายุของผู้บริโภค พบว่า กลุ่มของผู้บริโภคส่วนใหญ่ซึ่งอยู่ในช่วงอายุ 20 -30 ปี คิดว่าอาจจะซื้อหรือไม่ซื้อผลิตภัณฑ์คิดเป็นร้อยละ 21 ขณะที่กลุ่มช่วงอายุ 31-40 ปี คิดว่าอาจจะซื้อผลิตภัณฑ์ร้อยละ 9 ผู้บริโภคที่มีสถานภาพโสดซึ่งเป็นกลุ่มใหญ่ (ร้อยละ 82) คิดว่าอาจจะซื้อและอาจจะซื้อหรือไม่ซื้อคิดเป็นร้อยละ 23 และ 27 ตามลำดับ ขณะที่ผู้ที่แต่งงานแล้วแต่ยังไม่มีบุตร (ร้อยละ 13) คิดว่าอาจจะซื้อหรือไม่ซื้อคิดเป็นร้อยละ 4 สำหรับผู้บริโภคที่มีการศึกษาระดับมัธยมศึกษาอาจจะซื้อหรือไม่ซื้อร้อยละ 15 ขณะที่ผู้บริโภคที่มีการศึกษาเท่ากับปริญญาตรีคิดว่าอาจจะซื้อผลิตภัณฑ์ร้อยละ 11 เมื่อพิจารณาจากรายได้ พบว่า ผู้ที่มีรายได้ต่ำกว่า 600 ยูโร ส่วนใหญ่คิดว่าอาจจะซื้อหรือไม่ซื้อโดยรวมคิดเป็นร้อยละ 14ขณะที่ผู้ที่มีรายได้อยู่ในช่วง 601 – 1,500 ยูโรส่วนใหญ่ (ร้อยละ 14) คิดว่าอาจจะซื้อผลิตภัณฑ์ อย่างไรก็ตามพบว่าผู้ที่มีรายได้มากกว่า 1,500 ยูโร ส่วนใหญ่คิดว่าอาจจะไม่ซื้อผลิตภัณฑ์ซึ่งคิดเป็นร้อยละ 12 นอกจากนั้นยังพบว่าผู้ที่ตัดสินใจว่าไม่ซื้อผลิตภัณฑ์แน่นอน (ร้อยละ 9 ของผู้บริโภคทั้งหมด) เสนอว่าน่าจะลดราคาของผลิตภัณฑ์เบอร์เกอร์กุ้งชุบแป้งทอดแช่เยือกแข็งจาก 5.48 ยูโร มาอยู่ในช่วงราคา 2 – 3.2 ยูโร (ประมาณ 87 – 140 บาท)

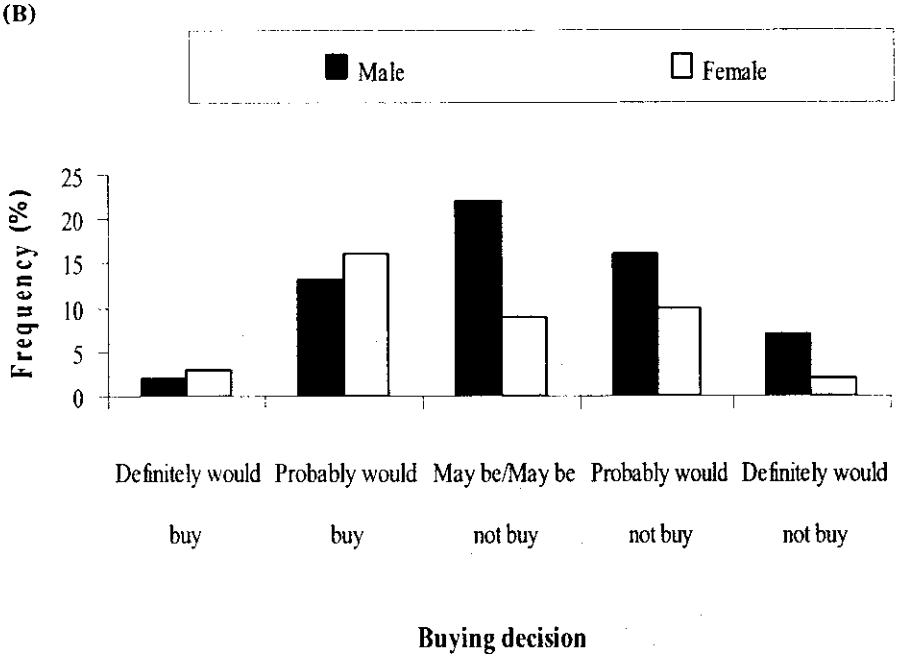
เมื่อถามความคิดเห็นด้านการบริโภคผลิตภัณฑ์ดังกล่าวพบว่า ผู้บริโภคร้อยละ 48 เสนอว่าสามารถรับประทานในรูปแบบขนมทานเล่นหรือเป็นนักเก็ต (ตารางที่ 51) และผู้บริโภคมีความเห็นว่าสามารถทานในรูปแบบของอาหารมื้อหลัก (ทานกับผักลวก) และทานในรูปแบบของแซนวิชคิดเป็นร้อยละ 26 และ 18 ตามลำดับ

(A)

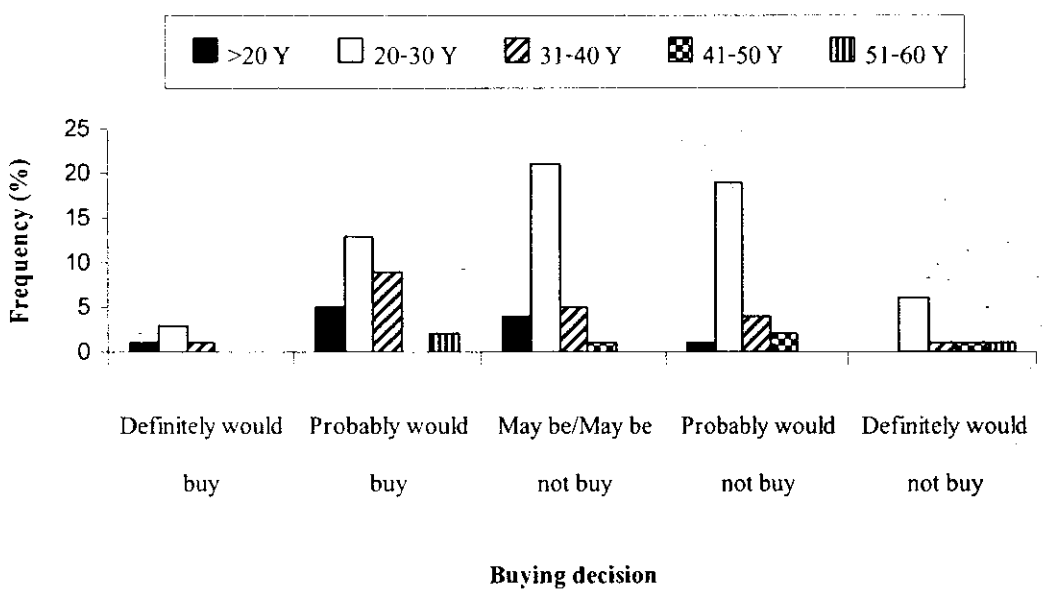


ภาพที่ 14 การตัดสินใจซื้อที่มีต่อผลิตภัณฑ์เบอร์เกอร์กุ้งชุบแป้งทอดแช่เยือกแข็งสูตรที่ได้รับการพัฒนาของผู้บริโภคทั้งหมด (A) ผู้บริโภคแบ่งตามเพศ (B) ผู้บริโภคแบ่งตามอายุ (C) ผู้บริโภคแบ่งตามสถานภาพสมรส (D) ผู้บริโภคแบ่งตามระดับการศึกษา (E) และผู้บริโภคแบ่งตามรายได้ (F)

(B)

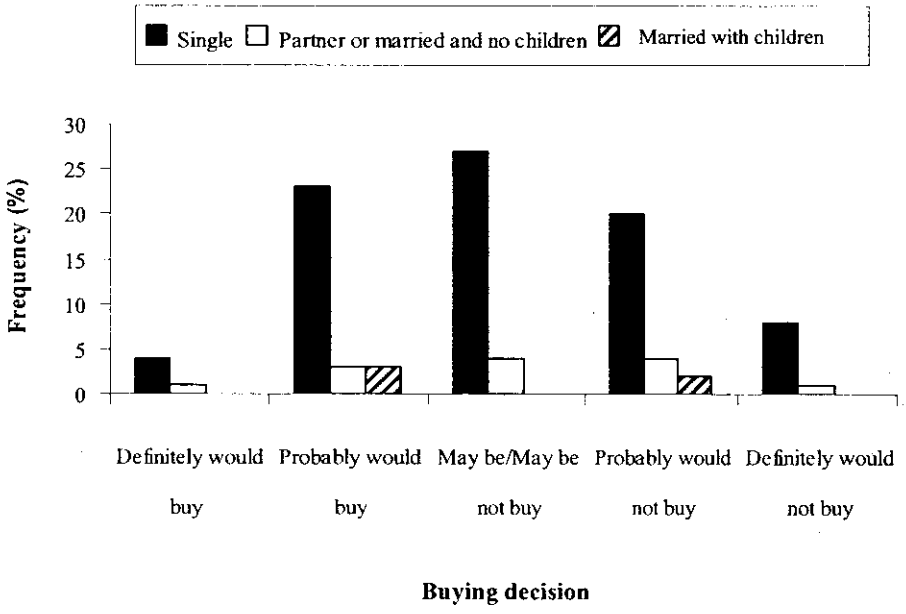

Male
Female
Frequency (%)
25
20
15
10
5
0
Definitely would buy
Probably would buy
May be/May be not buy
Probably would not buy
Definitely would not buy
Buying decision

(C)

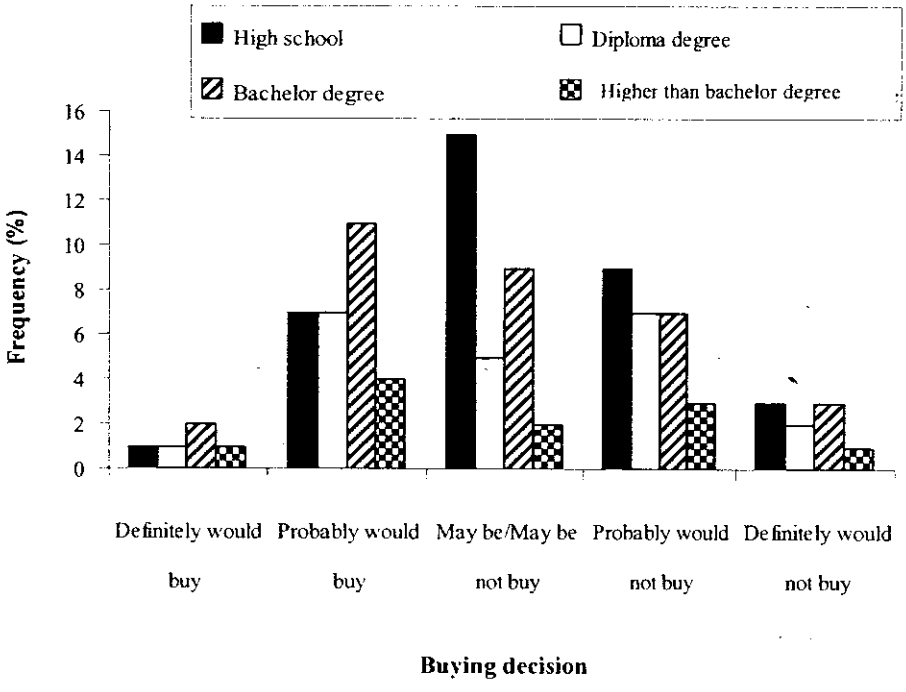

>20 Y
20-30 Y
31-40 Y
41-50 Y
51-60 Y
Frequency (%)
25
20
15
10
5
0
Definitely would buy
Probably would buy
May be/May be not buy
Probably would not buy
Definitely would not buy
Buying decision

ภาพที่ 14 (ต่อ)

(D)

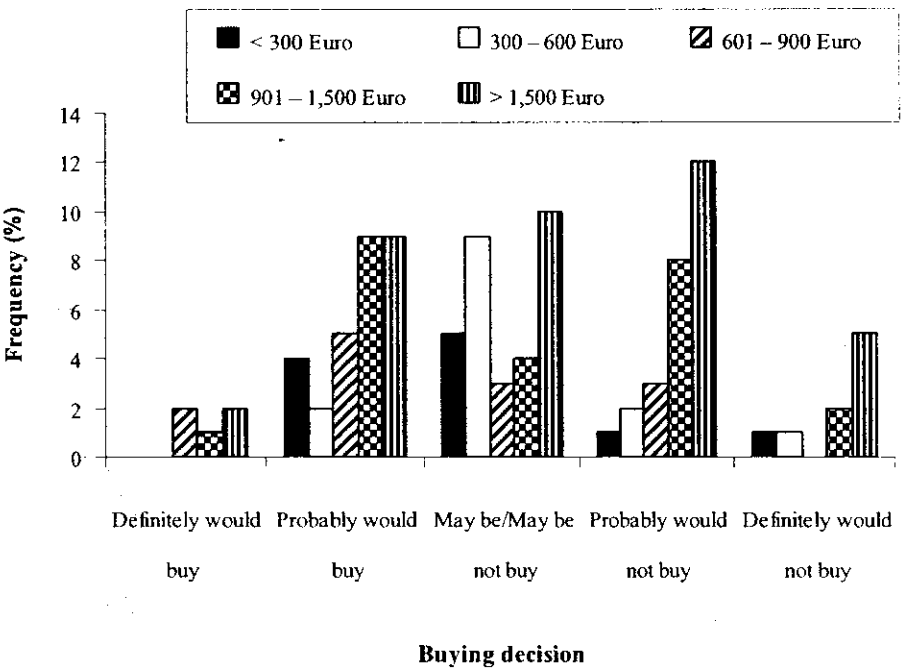

Single
Partner or married and no children
Married with children
Frequency (%)
30
25
20
15
10
5
0
Definitely would buy
Probably would buy
May be/May be not buy
Probably would not buy
Definitely would not buy
Buying decision

(E)


High school
Diploma degree
Bachelor degree
Higher than bachelor degree
Frequency (%)
16
14
12
10
8
6
4
2
0
Definitely would buy
Probably would buy
May be/May be not buy
Probably would not buy
Definitely would not buy
Buying decision

ภาพที่ 14 (ต่อ)

(F)



ภาพที่ 14 (ต่อ)

Figure 14 (continued)

ตารางที่ 51 รูปแบบการบริโภคผลิตภัณฑ์เบอร์เกอร์กุ้งชุบแป้งทอด

Eating style	Consumer Frequency (%)		
	Male (N=60)	Female (N=40)	Total (N=100)
Steaks	7	1	8
Snack or nugget	31	17	48
Sandwich	11	7	18
Main meal (with blanched vegetable)	11	15	26

5.2 การตรวจสอบคุณภาพของผลิตภัณฑ์เบอร์เกอร์กุ้งชุบแป้งทอดที่ได้รับการพัฒนาและผลิตภัณฑ์เบอร์เกอร์กุ้งสูตรจำลอง

ผลจากการวิเคราะห์คุณภาพผลิตภัณฑ์เบอร์เกอร์กุ้งชุบแป้งทอดสูตรจำลองเปรียบเทียบกับผลิตภัณฑ์เบอร์เกอร์ที่ได้รับการพัฒนาแสดงในตารางที่ 52 พบว่า สีของผลิตภัณฑ์เบอร์เกอร์ที่ได้รับการพัฒนามีค่าความสว่าง (L*) และค่าสีเหลือง-สีน้ำเงิน (b*) ไม่แตกต่างกัน ($p>0.05$) แต่มีค่าสีแดง-สีเขียว (a*) มากกว่าผลิตภัณฑ์เบอร์เกอร์กุ้งชุบแป้งทอดสูตรจำลอง ($p<0.05$) เมื่อพิจารณาปริมาณความชื้นพบว่าผลิตภัณฑ์เบอร์เกอร์ที่ได้รับการพัฒนามีปริมาณความชื้นของเนื้อเบอร์เกอร์และความชื้นรวมทั้งชิ้นมากกว่า ($p<0.05$) แต่ปริมาณความชื้นของส่วนแป้งชุบไม่แตกต่างกัน ($p>0.05$) ขณะที่ปริมาณไขมันของผลิตภัณฑ์เบอร์เกอร์ที่ได้รับการพัฒนาในส่วนของเนื้อเบอร์เกอร์ไม่แตกต่างกัน ($p>0.05$) แต่มีปริมาณไขมันของส่วนแป้งชุบและไขมันรวมทั้งชิ้นน้อยกว่าคิดเป็นร้อยละ 20.54 ($p<0.05$) ซึ่งปริมาณไขมันรวมทั้งชิ้นของผลิตภัณฑ์ที่ลดลงดังกล่าวไม่สามารถนำไปกล่าวอ้างว่าเป็นผลิตภัณฑ์ที่ลดปริมาณไขมันตามประกาศกระทรวงสาธารณสุข ฉบับที่ 182 ปี พ.ศ. 2541 ที่กำหนดไว้ว่าการกล่าวอ้างถึงผลิตภัณฑ์ว่าสามารถลดปริมาณไขมันได้เมื่อเทียบกับผลิตภัณฑ์อื่นที่เป็นอาหารชนิดเดียวกันต้องมีปริมาณไขมันรวมลดลงตั้งแต่ร้อยละ 25 ขึ้นไป

การวิเคราะห์ลักษณะเนื้อสัมผัสของเนื้อเบอร์เกอร์ทั้งสองสูตรแสดงในตารางที่ 52 พบว่าผลิตภัณฑ์เบอร์เกอร์ที่ได้รับการพัฒนามีค่าความแข็ง ค่าความยืดหยุ่น ค่าความเหนียวคล้ายยางและค่าแรงที่ใช้ในการบดเคี้ยวน้อยกว่าผลิตภัณฑ์เบอร์เกอร์กุ้งชุบแป้งทอดสูตรจำลอง ($p<0.05$) ขณะที่เมื่อพิจารณาค่าความกรอบของตัวอย่างพบว่าผลิตภัณฑ์เบอร์เกอร์ที่ได้รับการพัฒนาใช้ค่าแรงในการกด ระยะทางและพื้นที่ใต้กราฟน้อยกว่าผลิตภัณฑ์เบอร์เกอร์กุ้งชุบแป้งทอดสูตรจำลองซึ่งหมายถึงมีความกรอบมากกว่าผลิตภัณฑ์เบอร์เกอร์กุ้งชุบแป้งทอดสูตรจำลองนั่งเอง ($p<0.05$)

จากการตรวจคุณภาพปริมาณเชื้อจุลินทรีย์ของเบอร์เกอร์ทั้งสองสูตรพบว่ามีปริมาณตามเกณฑ์มาตรฐานคุณภาพทางจุลชีววิทยาของอาหารและภาชนะสัมผัสอาหารในหัวข้ออาหารพร้อมบริโภค อาหารปรุงสุกทั่วไปจากมาตรฐานของกรมวิทยาศาสตร์การแพทย์ ดังแสดงในตารางภาคผนวก ค6.

ตารางที่ 52 คุณภาพของผลิตภัณฑ์เบอร์เกอร์กุ้งชุบแป้งทอดสูตรจำลองและสูตรที่ได้รับการพัฒนา

Qualities		Mocked-up Burger	Developed Burger
Moisture content (%) of**	Coating	21.37±0.62[a]	23.83±0.64[a]
	Burger without coating	56.31±1.10[b]	64.17±0.56[a]
	Whole battered burger	41.40±1.19[b]	48.96±1.33[a]
Fat content (%) of**	Coating	7.32±0.06[a]	5.41±0.14[b]
	Burger without coating	10.41±1.25[a]	8.95±0.47[a]
	Whole battered burger	10.33±0.59[a]	8.57±0.41[b]
Colour***	L*	49.59±0.99[a]	49.38±1.36[a]
	a*	7.24±1.37[b]	9.41±0.97[a]
	b*	27.35±0.96[a]	26.35±1.65[a]
Texture Profile Analysis	Hardness (g)	15,063.72±2642.49[a]	9,349.32±702.40[b]
(TPA) from Texture	Fracturability (g)	20.78±5.22[a]	23.84±3.80[a]
Analyzer***	Adhesiveness (g*s)	-18.54±21.59[a]	-5.12±10.90[a]
	Springiness	0.52±0.03[a]	0.45±0.04[b]
	Cohesiveness	0.28±0.02[a]	0.26±0.01[a]
	Gumminess (g)	4,180.13±879.72[a]	2,382.75±135.07[b]
	Chewiness (g*mm)	2,178.88±454.82[a]	1,084.10±139.38[b]
Crispiness value	Force	261.51±98.93[a]	84.28±22.63[b]

Note: ** Mean ± SD from triplicate determinations.

*** Mean ± SD from seven determinations.

Different superscripts in the same row indicate significant differences ($p<0.05$).

ตารางที่ 52 (ต่อ)

Qualities	Mocked-up Burger	Developed Burger
Microorganism		
Total Viable Count (CFU/g)	$2.3x10^2$	35
Escherichia coli (MPN/g)	< 3	< 3
Salmonella sp.(25g)	Negative	Negative
Staphylococcus aureus (MPN/g)	< 3	< 3
Vibrio cholerae	Negative	Negative

6. การเปลี่ยนแปลงคุณภาพของผลิตภัณฑ์เบอร์เกอร์กุ้งชุบแป้งทอด

6.1 คุณภาพทางเคมี

6.1.1 องค์ประกอบของกรดไขมัน

องค์ประกอบของกรดไขมันในเบอร์เกอร์กุ้ง (ตารางที่ 53) ประกอบด้วยกรดปาล์มิติก และกรดโอลิอิกเป็นองค์ประกอบหลัก ซึ่งมีปริมาณร้อยละ 38-39 และร้อยละ 36 ตามลำดับ นอกจากนี้ยังมีกรดลิโนเลอิก ประมาณร้อยละ 9-10 และกรดไขมันไม่อิ่มตัว (Polyunsaturated fatty acid, PUFA) ร้อยละ 10-11 ทั้งนี้องค์ประกอบของกรดไขมันที่สกัดได้จากเบอร์เกอร์กุ้งส่วนใหญ่เป็นส่วนของน้ำมันปาล์มที่ถูกดูดซับในขั้นตอนการทอดเบื้องต้น (prefry) โดยเบอร์เกอร์กุ้งมีไขมันเป็นองค์ประกอบร้อยละ 10.33และปริมาณไขมันที่วิเคราะห์เฉพาะของแป้งชุบร้อยละ 7.32 (ตารางที่ 52)

น้ำมันปาล์มประกอบด้วยกรดปาล์มมิติก และกรดโอเลอิกเป็นองค์ประกอบหลักโดยมีประมาณร้อยละ 45 และ 40 ตามลำดับ (Zamora, 2009) เช่นเดียวกับการศึกษาของ Tokur และคณะ (2006) พบว่าผลิตภัณฑ์ปลาแท่งชุบแป้งทอด (fish fingers) จากเนื้อปลาคาร์ฟ มีปริมาณกรดลิโนเลอิก (18:2 ω 6) สูง ซึ่งเกิดจากการดูดซับน้ำมันทอดในขั้นตอนการทอดเบื้องต้น ส่วนในเนื้อกุ้งขาว *(Penaeus vannamei)* ประกอบด้วยกรดไขมันไม่อิ่มตัว (PUFA) เป็นองค์ประกอบหลัก โดยมีปริมาณสูงถึงร้อยละ 42.2 มีกรดปาล์มิติกเป็นกรดไขมันอิ่มตัวที่มีมากที่สุดถึงร้อยละ 21.8 และกรดโอเลอิกเป็นไขมันไม่อิ่มตัวชนิด monounsatatated fatty acid (MUFA) ที่มีปริมาณสูงถึงร้อยละ 11.4

นอกจากนี้ยังพบว่า Cis -4, 7, 10, 13, 16, 19 - Docosahexaenoic acid C22 : 6 n-3, (DHA) และ Cis-5, 8, 11, 14, 17, -Eicosatetraenoic acid (20 : 5 n3, EPA) เป็นกรดไขมันที่เป็นองค์ประกอบหลักของ PUFA ในกุ้งขาว โดยมีปริมาณสูงถึงร้อยละ 9.99 และ 9.46 ตามลำดับ (Sriket *et.al.*, 2007) กรดไขมันดังกล่าวพบในปริมาณสูงเฉพาะในอาหารทะเล และมีบทบาทสำคัญต่อการป้องกันโรค (Tokur *et.al.*, 2006) โดยเฉพาะสามารถลดความเสี่ยงต่อการเกิดโรคหัวใจ (Hu, 1997 อ้างโดย Ansorena and Astiasarán., 2004) แต่อย่างไรก็ตามกรดไขมันดังกล่าวไม่คงตัวต่อการออกซิเดชันของไลปิด จะเห็นว่าเมื่อเวลาการเก็บรักษานานขึ้นสัดส่วนของ PUFA จะลดลง (ตารางที่ 54 และ 55) ขณะที่กรดไขมันชนิดอื่นๆ มีการเปลี่ยนแปลงเล็กน้อย ซึ่งเป็นผลจากการเปลี่ยนแปลงสัดส่วนของกรดไขมันไม่อิ่มตัว อย่างไรก็ตามการเก็บรักษาเบอร์เกอร์กุ้งที่มีการเติม Tertiary butyl hydro quinine (TBHQ) และการเติม TBHQ ร่วมกับการบรรจุแบบสุญญากาศ (TV) มีผลชะลอการเปลี่ยนแปลง PUFA โดยเฉพาะ DHA เมื่อเทียบกับชุดควบคุม (C) โดยในเดือนที่ 6 มีการลดลงของ DHA สูงถึงร้อยละ 85.4 ขณะที่ชุด T หรือ TV ปริมาณ DHA ลดลงเพียงร้อยละ 51.2-56.1 โดย TBHQ ซึ่งเป็น phenolic antioxidant ซึ่งเป็นสารต้านการเกิดออกซิเดชันของไขมันที่มีผลชะลอหรือยับยั้งปฏิกิริยาในระยะเหนี่ยวนำ (Initiations) โดย TBHQ ทำปฏิกิริยากับอนุมูลอิสระของไขมันหรือยับยั้งการเกิดระยะขยายตัวของปฏิกิริยา (Propagation) โดยทำปฏิกิริยากับเปอร์ออกไซด์ หรืออนุมูลอัลคอกซี (Rajalakshmi and Narasimhan, 1995) ส่วนการบรรจุแบบสุญญากาศซึ่งทำให้ปริมาณออกซิเจนน้อยกว่าการบรรจุแบบปกติ จะส่งผลให้เกิดการออกซิเดชันลดลง เนื่องจากออกซิเดชันมีบทบาทสำคัญในระยะขยายตัวของปฏิกิริยา (Porter *et.al.*, 1995) เช่นเดียวกับ Ansorena และ Astiasarán (2004) พบว่าการเติมสารต้านการเกิดออกซิเดชันได้แก่ Butalated hydroxyanisulc (BHA) และ Butylated hydroxytoluene (BHT) ในไส้กรอกหมักแบบแห้ง มีประสิทธิภาพในการชะลอการเปลี่ยนแปลง PUFA และ MUFA และการบรรจุแบบสุญญากาศเป็นวิธีการที่ดีที่สุดในการลดการเกิดสารประกอบที่ระเหยได้จากการออกซิเดชันไลปิด อย่างไรก็ตาม TBHQ อาจจะสูญเสียความคงตัวขณะให้ความร้อนสูง เช่นการทอดที่อุณหภูมิ 185 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 1 ชั่วโมง โดย TBHQ คงตัวน้อยกว่า BHA Propyl gallate (PG) และ BHT ตามลำดับ และ TBHQ มีแนวโน้มสูญเสียจากการระเหยมากที่สุด (Nawar, 1996)

6.1.2 Conjugated Diene Value (CDV)

Conjugated diene เกิดขึ้นเกือบทันทีหลังจากการฟอร์มเบอร์ออกไซด์ ไลปิดไม่อิ่มตัวที่พบในธรรมชาติ จะเปลี่ยนรูปจาก non Conjugated double bonds เป็น Conjugated double bonds ซึ่ง

ตารางที่ 53 องค์ประกอบของไขมันของผลิตภัณฑ์เบอร์เกอร์กุ้งชุบแป้งทอด สูตรควบคุม (C) สูตรที่ใช้การบรรจุแบบสุญญากาศ (CV) สูตรที่ใช้ TBHQ (T) และสูตรที่ใช้ TBHQ ร่วมกับการบรรจุแบบสุญญากาศ (TV) ที่เก็บรักษาเป็นระยะเวลา 0 เดือน (กรัมต่อ 100 กรัม)

Fatty acid composition		Treatment			
		C	CV	T	TV
Caprylic acid	C8:0	0.31	0.28	0.23	0.26
Capric acid	C10:0	1.35	0.97	1.18	1.07
Lauric acid	C12:0	2.45	2.26	2.04	2.16
Myristic acid	C14:0	2.75	2.54	2.49	2.56
Pentadecanoic acid	C15:0	0.18	0.17	0.17	0.17
Palmitic acid	C16:0	38.47	38.87	39.13	39.18
Palmitoleic acid	C16:1 n-7	0.50	0.47	0.46	0.47
Heptadecanoic acid	C17:0	0.22	0.21	0.21	0.21
Stearic acid	C18:0	5.90	5.77	5.28	5.67
Cis-9-Octadecenoic acid	C18:1 n-9	36.00	36.64	36.37	36.32
Cis-9,12-Octadecadienoic acid	C18:2 n-6	9.38	9.68	9.55	9.69
Cis-9,12,15-Octadecatrienoic acid	C18:3 n-3	0.32	0.32	0.30	0.31
Arachidic acid	C20:0	0.26	0.26	0.27	0.25
Cis-11-Eicosenoic acid	C20:1 n-9	0.19	0.20	0.19	0.22
Cis-5,8,11,14-Eicasatetraenoic acid	C20:4 n-6	0.20	0.20	0.19	0.19
Cis-5,8,11,14,17-Eicosatetraenoic acid	C20:5 n-3 (EPA)	0.29	0.30	0.29	0.29
Cis-13-Docosenoic acid	C22:1 n-9	0.22	0.21	0.21	0.21
Cis-4,7,10,13,16,19-Docosahexaenoic acid	C22:6 n-3 (DHA)	0.41	0.41	0.40	0.41
Unidentified peak		0.60	0.26	0.50	0.36

ตารางที่ 54 องค์ประกอบของไขมันของผลิตภัณฑ์เบอร์เกอร์กุ้งชุบแป้งทอด สูตรควบคุม (C) สูตรที่ใช้การบรรจุแบบสุญญากาศ (CV) สูตรที่ใช้ TBHQ (T) และสูตรที่ใช้ TBHQ ร่วมกับการบรรจุแบบสุญญากาศ (TV) ที่เก็บรักษาเป็นระยะเวลา 3 เดือน (กรัมต่อ 100 กรัม)

Fatty acid composition		Treatment			
		C	CV	T	TV
Caprylic acid	C8:0	0.20	0.12	0.16	0.18
Capric acid	C10:0	0.30	0.24	0.26	0.33
Lauric acid	C12:0	1.73	1.52	1.48	1.84
Myristic acid	C14:0	2.01	1.95	1.78	2.12
Pentadecanoic acid	C15:0	0.12	0.12	0.10	0.22
Palmitic acid	C16:0	40.21	40.27	40.45	40.01
Palmitoleic acid	C16:1 n-7	0.31	0.30	0.28	0.32
Heptadecanoic acid	C17:0	0.16	0.17	0.15	0.17
Stearic acid	C18:0	4.82	5.00	4.68	5.02
Cis-9-Octadecenoic acid	C18:1 n-9	38.43	38.59	38.85	38.06
Cis-9,12-Octadecadienoic acid	C18:2 n-6	10.17	10.04	10.35	10.19
Cis-9,12,15-Octadecatrienoic acid	C18:3 n-3	0.28	0.27	0.27	0.30
Arachidic acid	C20:0	0.26	0.27	0.26	0.27
Cis-11-Eicosenoic acid	C20:1 n-9	0.13	0.14	0.13	0.14
Cis-5,8,11,14-Eicasatetraenoic acid	C20:4 n-6	0.14	0.14	0.12	0.15
Cis-5,8,11,14,17-Eicasatetraenoic acid	C20:5 n-3 (EPA)	0.24	0.24	0.22	0.26
Cis-13-Docosenoic acid	C22:1 n-9	0.11	0.12	0.09	0.12
Cis-4,7,10,13,16,19-Docosahexaenoic acid	C22:6 n-3 (DHA)	0.26	0.27	0.24	0.29
Unidentified peak		0.11	0.19	0.10	0.12

ตารางที่ 55 องค์ประกอบของไขมันของผลิตภัณฑ์เบอร์เกอร์กุ้งชุบแป้งทอด สูตรควบคุม (C) สูตรที่ใช้การบรรจุแบบสุญญากาศ (CV) สูตรที่ใช้ TBHQ (T) และสูตรที่ใช้ TBHQ ร่วมกับการบรรจุแบบสุญญากาศ (TV) ที่เก็บรักษาเป็นระยะเวลา 6 เดือน (กรัมต่อ 100 กรัม)

Fatty acid composition		Treatment			
		C	CV	T	TV
Caprylic acid	C8:0	0.12	0.13	0.11	0.13
Capric acid	C10:0	0.22	0.22	0.19	0.21
Lauric acid	C12:0	1.29	1.27	1.16	1.25
Myristic acid	C14:0	1.70	1.66	1.58	1.64
Pentadecanoic acid	C15:0	0.11	0.10	0.10	0.10
Palmitic acid	C16:0	40.59	40.24	40.60	40.46
Palmitoleic acid	C16:1 n-7	0.28	0.27	0.26	0.27
Heptadecanoic acid	C17:0	0.16	0.15	0.15	0.15
Stearic acid	C18:0	4.91	4.90	4.80	4.85
Cis-9-Octadecenoic acid	C18:1 n-9	39.11	39.42	39.44	39.28
Cis-9,12-Octadecadienoic acid	C18:2 n-6	9.91	10.03	10.04	10.15
Cis-9,12,15-Octadecatrienoic acid	C18:3 n-3	0.26	0.25	0.25	0.26
Arachidic acid	C20:0	0.29	0.30	0.30	0.29
Cis-11-Eicosenoic acid	C20:1 n-9	0.15	0.15	0.14	0.16
Cis-5,8,11,14-Eicasatetraenoic acid	C20:4 n-6	0.10	0.10	0.09	0.14
Cis-5,8,11,14,17-Eicosatetraenoic acid	C20:5 n-3 (EPA)	0.21	0.20	0.19	0.21
Cis-13-Docosenoic acid	C22:1 n-9	0.12	0.09	0.10	0.10
Cis-4,7,10,13,16,19-Docosahexaenoic acid	C22:6 n-3 (DHA)	0.06	0.18	0.18	0.20
Unidentified peak		0.20	0.28	0.27	0.16

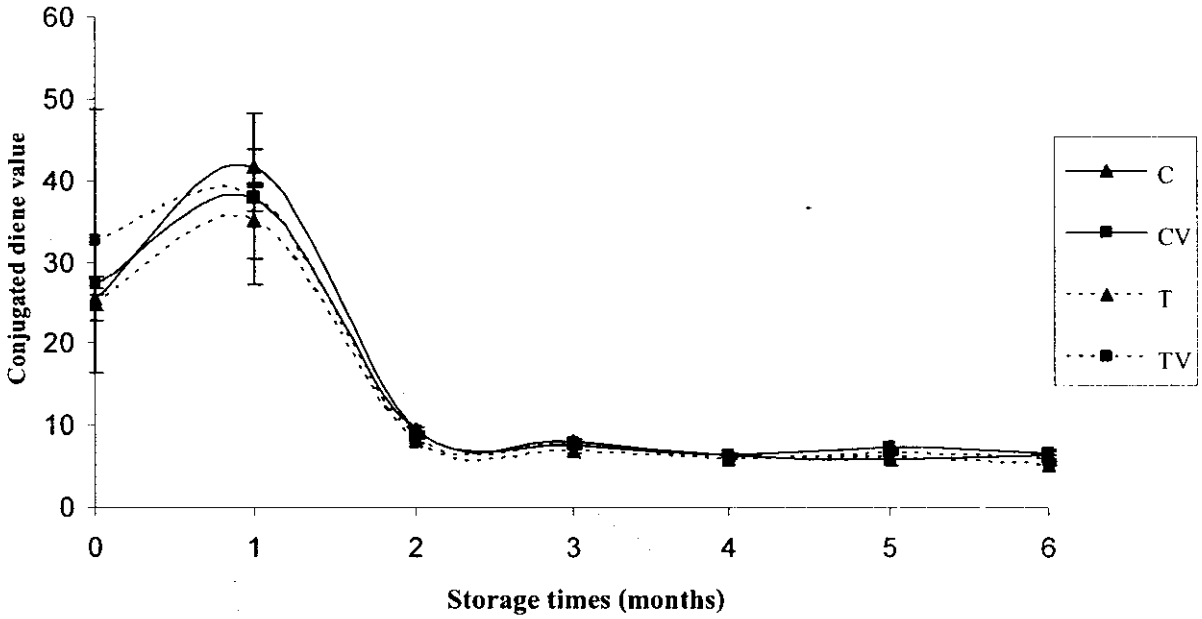
ถูกกลืนหลัง UV ที่ 234 นาโนเมตร การวัดค่าดูดกลืนแสงดังกล่าวจึงเป็นวิธีที่ทดสอบที่มีความไวในการติดตามการออกซิเดชันของไขมันในช่วงเริ่มต้น ซึ่งไฮโดรเบอร์ออกไซด์ไม่มีการเปลี่ยนแปลงหรือมีการเปลี่ยนแปลงโดยการแตกตัวเป็นสารประกอบอื่นเพียงเล็กน้อย (Frankel, 2005 อ้างโดย Gokoglu *et al.*, 2009) ไฮโดรเปอร์ออกไซด์มากกว่าร้อยละ 90 ที่เกิดจากการออกซิเดชันของไลปิดจะมีระบบ Conjugated diene ซึ่งมีความคงตัวของอนุมูลอิสระโดยการเรียงตัวของพันธะคู่ ดังนั้นผลิตภัณฑ์ที่ประกอบด้วยกรดไขมันไม่อิ่มตัวที่มีพันธะคู่อย่างน้อย 2 คู่ขึ้นไป เช่น กรดลิโนเลอิก ก็สามารถออกซิไดซ์ และวัดค่า Conjugated diene ได้

จากภาพที่ 15 จะเห็นว่าทุกสิ่งทดลองมีการเปลี่ยนแปลงในรูปแบบที่ไม่แตกต่างกัน โดยในช่วง 1 เดือนแรกของการเก็บรักษาจะมีค่า CDV สูงขึ้น เนื่องจากการฟอร์มไฮโดรเปอร์ออกไซด์ ซึ่งเป็นผลิตภัณฑ์ปฐมภูมิที่ได้จากากรออกซิเดชันของไขมัน โดยการให้ความร้อนที่อุณหภูมิในการทอดสามารถเร่งการเปลี่ยนแปลงของไขมันทำให้เพิ่มการออกซิเดชันด้วยความร้อน (Thermal oxidation) ในผลิตภัณฑ์อาหาร (Sanchez-Muniz , 2006 อ้างโดย Librelotto *et al.*, 2008)

หลังจาก 1 เดือน ค่า CDV ลดลง และมีค่าคงที่ตลอดระยะเวลา 2-6 เดือน เนื่องจากช่วงหลังของการออกซิเดชันของไลปิด ไฮโดรเปอร์ออกไซด์เป็นผลิตภัณฑ์ที่ไม่คงตัวจะแตกตัวโดยกลไกของอนุมูลอิสระ ในขั้นแรกของการสลายตัวจะเกิดการตัดพันธะออกซิเจน-ออกซิเจนที่ไม่แข็งแรงของหมู่ไฮโดรเปอร์ออกไซด์ ทำให้เกิดอนุมูลอัลคอกซีและอนุมูลไฮดรอกซี อนุมูลดังกล่าวสามารถทำปฏิกิริยากับอนุมูลอิสระหรือโมเลกุลอื่นๆ เกิดเป็นผลิตภัณฑ์ทุติยภูมิ (Secondary product) เช่น อัลดีไฮด์ ไฮโดรคาร์บอน แอลกอฮอล์ กรด อีปอกไซด์ ออกโซเอสเทอร์ (Nawar, 1996; Shahidi, 2001) ดังนั้นผลิตภัณฑ์ทุติยภูมิดังกล่าว เป็นผลิตภัณฑ์ที่ไม่สามารถดูดกลืนแสง UV ได้ จึงทำให้ค่าการดูดกลืนแสงลดลง

6.1.3 Thiobarbituric acid reactive substance (TBARS)

การเปลี่ยนแปลงค่า TBARS ของเบอร์เกอร์กุ้งชุปแป้งทอดแสดงในภาพที่ 16 ค่า TBARS ของทุกสิ่งทดลองสูงขึ้นในช่วง 2 เดือนแรกของการเก็บรักษา และมีค่าลดลงในเดือน 2-4 ภายหลังการเก็บรักษาที่ 4 เดือนจนถึง 6 เดือน พบว่าค่า TBARS สูงขึ้นอีกครั้ง เช่นเดียวกับการศึกษาของ Farouk และ Freke (2008) ที่พบว่าเนื้อกวางแช่เยือกแข็งมีค่ามาลอนไดอัลดีไฮด์ (MDA) เพิ่มขึ้นใน 3 เดือนแรกจากนั้นค่าลดลงและเพิ่มอีกครั้งที่ 9 เดือน การเพิ่มค่า TBARS ในช่วงแรกแสดงให้เห็นว่าเกิดการฟอร์มของผลิตภัณฑ์ทุติยภูมิของการออกซิเดชันของไลปิด โดย TBARS เป็นตัวบ่งชี้ที่สำคัญของการวัดการเกิดออกซิเดชันของไลปิด ซึ่งวัดค่าความเข้มข้นของ



ภาพที่ 15 การเปลี่ยนแปลงค่า Conjugated diene ของผลิตภัณฑ์เบอร์เกอร์กุ้งชุบแป้งทอด สูตรควบคุม (C) สูตรที่ใช้การบรรจุแบบสุญญากาศ (CV) สูตรที่ใช้ TBHQ (T) และสูตรที่ใช้ TBHQ ร่วมกับการบรรจุแบบสุญญากาศ (TV) ที่เก็บรักษาเป็นระยะเวลา 6 เดือน

* Bars represent standard deviation of triplicate determinations. Significant effect of

- Treatments on Conjugated diene (p>0.05).
- Storage time on Conjugated diene (p<0.05).

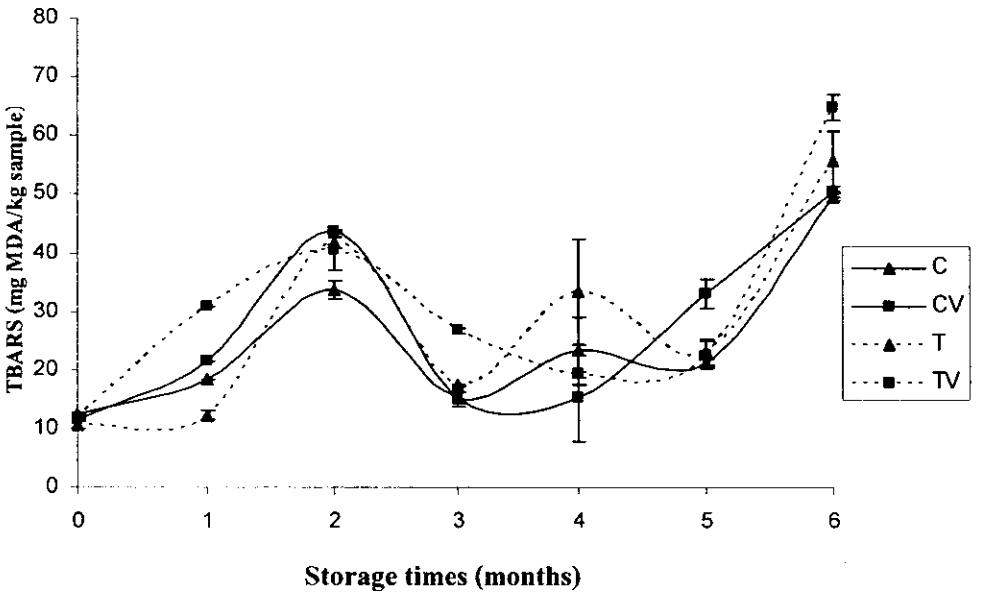
ผลิตภัณฑ์ทุติยภูมิที่มีขั้วจากปฏิกิริยาออกซิเดชันของไลปิดโดยเฉพาะอัลดิไฮด์ (Nawar, 1996) การเพิ่มค่า TBARS ในช่วงเริ่มต้นเกิดจากผลของความร้อนและออกซิเจนในช่วงการทอดทำให้กรดไขมันและไขมันสลายตัว โดยปริมาณการเกิดออกซิเดชันของไขมันในเนื้อที่ผ่านการทำให้สุกจะมีความคงตัวน้อยกว่าเนื้อดิบ โดย Keller และ Kinsella (1995) พบว่าค่า TBA สูงเมื่อแฮมเบอร์เกอร์ผ่านความร้อนถึง 70 °ซ และมีค่าสูงขึ้นตลอดการเก็บรักษาที่-18°ซ เป็นเวลา 36 วัน

ส่วนการลดลงของค่า TBARS ในการเก็บรักษาเดือนที่ 2-4 นั้น อาจจะเกิดจากปฏิกิริยาระหว่างโปรตีนและผลิตภัณฑ์จากการออกซิเดชันของไลปิด (Alzagtat and Ali, 2002) นอกจากนี้ Esterbauer และคณะ (1991, อ้างโดย Farouk and Freke., 2008) รายงานว่ามาลอนไดอัลดิไฮด์ (MDA) สามารถทำปฏิกิริยากับกรดอะมิโน เกิดเป็น MDA-amino acid Complex เมื่อทั้งสองผลิตภัณฑ์ถึงจุดวิกฤติหนึ่ง โดย Kwon และคณะ (1995 อ้างโดย Fernandez *et al.*, 1997) พบว่า

สารประกอบพวกมาลอนอัลดิไฮด์สามารถจับกับองค์ประกอบอื่นในอาหารได้แก่ โปรตีนที่ละลายน้ำได้ อัลโดเลส และไมโอซิน ในสัดส่วน มาลอนอัลดิไฮด์ 1.3-2.6 กรัม ต่อโปรตีน 1 มิลลิกรัม และสามารถจับกับกรดอะมิโนในกลุ่มฮีสทีดีน อาร์จินัน ไทโรซิน และเมไธโอนีนได้ เกิดเป็นสารประกอบเชิงซ้อนที่มีความคงตัว ซึ่งเป็นสาเหตุสำคัญที่ทำให้บริเวณของมาลอนอัลดิไฮด์ที่ตรวจด้วยวิธีการหาค่า TBA มีค่าลดลง (Fernandez *et al.*, 1997) นอกจากนี้สารจำนวนอัลดิไฮด์ซึ่งเป็นสารระเหย (Volatile Compound) สามารถสูญเสียจากการระเหย (Evaporation) หรือการสลายตัว (Decomposition) ได้ (Nawar, 1996) โดย Shahidi (2001) รายงานปริมาณอัลดิไฮด์ที่ระเหยได้ (Volatile aldehydes) ได้แก่ hexanal และ pentanal ที่เกิดจากออกซิเดชันจากความร้อนและโฟโตออกซิเดชันของ omega-6 และ omega-3 fatty acid มีค่าสูงขึ้นไป 7 วันแรกของการเก็บรักษาที่ 4°ซ หลังจากนั้นจะมีค่าลดลงตลอดการเก็บรักษา 21 วัน

การเพิ่มขึ้นของค่า TBARS อีกครั้งในเดือนที่ 4-6 อาจจะเป็นผลมาจากการออกซิเดชันของกรดไขมันที่เพิ่มขึ้นในเบอร์เกอร์กุ้ง ซึ่งเกิดจากกระบวนการไฮโดรไลซีสของไตรอะซิลกลีเซอรอล (triacylglycerols) ระหว่างการทอดแบบน้ำมันท่วมโดยมีผลจากความชื้นจากผลิตภัณฑ์ ผลิตภัณฑ์อาหารเมื่อสัมผัสกับน้ำมันทอดที่มีอุณหภูมิ 130-200 °ซ น้ำภายในผลิตภัณฑ์จะมีอุณหภูมิสูงขึ้นจนถึงจุดเดือนอย่างรวดเร็ว ไอน้ำที่เกิดขึ้นจะไฮโดรไลซ์โตรอะซิลกลีเซอรอลเป็นกรดไขมันและกลีเซอรอลเอสเทอร์ (diacylglycerol, monoacylglycerol และ glycerol) ในช่วงเวลาสั้น ๆ ประมาณ 5-10 นาทีของการทอดแบบน้ำมันท่วม (Pokorny, 1998 อ้างโดย Bhattacharya *et al.*, 2008) โดยกรดไขมันจะมีความไวต่อปฏิกิริยาออกซิเดชันมากกว่ากรดไขมันที่อยู่ในรูปเอสเทอร์ โดยผลิตภัณฑ์ที่ได้จากการออกซิเดชันของไลปิดอาจจะมีมากกว่าการรวมตัวกับสารประกอบจำพวกโปรตีนดังที่กล่าวมา ทำให้ค่า TBARs สูงขึ้น สอดคล้องกับองค์ประกอบของกรดไขมัน (ตารางที่ 54 และ 55) จะเห็นว่าปริมาณ PUFA มีค่าลดลง

นอกจากนี้การใช้ TBHQ และ การบรรจุแบบสุญญากาศให้ผลที่แตกต่างจากชุดควบคุมเล็กน้อย ($p<0.05$) ขณะที่การศึกษาผล Ansorena และ Astiasarán (2004) พบว่าการเกิดออกซิเดชันของไส้กรอกหมักแบบแห้งมีค่าลดลงเมื่อมีการเติม BHA และ BHT นอกจากนี้การบรรจุแบบสุญญากาศมีประสิทธิภาพชะลอการเกิดสารประกอบที่ระเหยได้จากการออกซิเดชันได้แก่ Hexanal, Heptanal , Pentylfurane, Octenal, Nonanal เป็นต้น



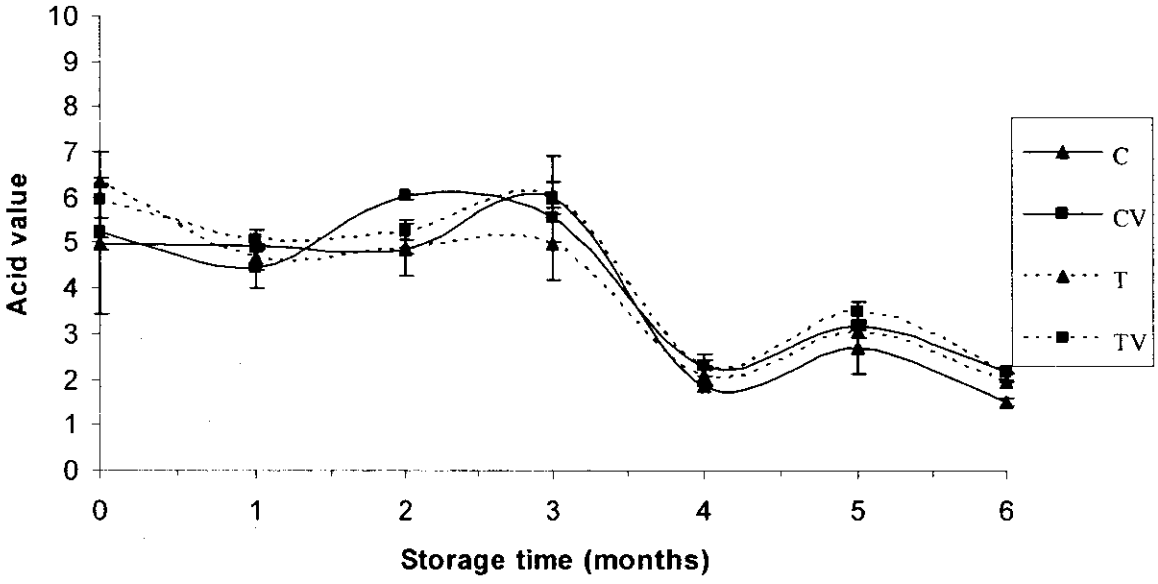
ภาพที่ 16 การเปลี่ยนแปลงค่า TBARS ของผลิตภัณฑ์เบอร์เกอร์กุ้งชุบแป้งทอด สูตรควบคุม (C) สูตรที่ใช้การบรรจุแบบสุญญากาศ (CV) สูตรที่ใช้ TBHQ (T) และสูตรที่ใช้ TBHQ ร่วมกับการบรรจุแบบสุญญากาศ (TV) ที่เก็บรักษาเป็นระยะเวลา 6 เดือน

* Bars represent standard deviation of triplicate determinations. Significant effect of

- Treatments on TBARS (p<0.05).
- Storage time on TBARS (p<0.05).

6.1.4 ค่ากรด (acid value)

การเปลี่ยนแปลงค่ากรดระหว่างการเก็บรักษาแสดงในภาพที่ 17 จะเห็นว่าเบอร์เกอร์กุ้งชุบแป้งทอดทุกตัวอย่างมีค่ากรดคงที่ตลอดระยะเวลาการเก็บรักษา 3 เดือน และมีค่าลดลงหลังจากเก็บรักษาในเดือนที่ 4-6 เนื่องจากการเกิดออกซิเดชันของกรดไขมันโดยเฉพาะกรดไขมันไม่อิ่มตัว ซึ่งง่ายต่อการเกิดออกซิเดชันมากกว่ากรดไขมันอิ่มตัว และผลที่ได้สอดคล้องกับการเพิ่มขึ้นของค่า TBARS ในช่วงเดือนที่ 4-6 (ภาพที่ 16) และการลดลงของ PUFA (ตารางที่ 54 และ 55) ดังที่กล่าวมาแล้ว



ภาพที่ 17 การเปลี่ยนแปลงค่ากรดของผลิตภัณฑ์เบอร์เกอร์กุ้งชุบแป้งทอด สูตรควบคุม (C) สูตรที่ใช้การบรรจุแบบสุญญากาศ (CV) สูตรที่ใช้ TBHQ (T) และสูตรที่ใช้ TBHQ ร่วมกับการบรรจุแบบสุญญากาศ (TV) ที่เก็บรักษาเป็นระยะเวลา 6 เดือน

* Bars represent standard deviation of triplicate determinations. Significant effect of

- Treatments on acid value (p>0.05).
- Storage time on acid value (p<0.05).

6.1.5 ค่าพาราแอนิซิดัน (p-anisidine, p-AV)

p-AV เป็นค่าที่ให้ข้อมูลเกี่ยวกับสารประกอบคาร์บอนิล รวมทั้งสารประกอบอื่น ๆ ที่มีน้ำหนักโมเลกุลสูงที่เกิดจากการสลายตัวที่เกิดขึ้นระหว่างการแปรรูปดังนั้น p-AV ส่วนใหญ่แล้วมักจะเป็นการวัดค่า 2-alkenals โดยการทำปฏิกิริยาระหว่าง aldehyde Carbonyl bond กับ หมู่ p-anisidine amine ฟอร์มเป็น Sciff base ซึ่งดูดกลืนแสงที่ 350 นาโนเมตร

จากตารางที่ 56 จะเห็นว่าค่า p-AV มีค่าสูงขึ้นระหว่างการเก็บรักษาเดือนที่ 1 และ 2 หลังจากนั้นมีค่าลดลง สอดคล้องกับการลดลงของค่า TBARS (ภาพที่ 16) อย่างไรก็ตามค่า p-AV มีค่าลดลงตลอดระยะเวลาการเก็บรักษา และไม่สามารถวิเคราะห์ได้หลังเก็บรักษา 3 เดือน ทั้งนี้อาจจะเป็นเพราะสารประกอบดังกล่าว รวมทั้ง oxidized lipid อื่น ๆ สามารถรวมตัวกับโปรตีนเกิดเป็นสารประกอบเชิงซ้อนในสภาวะที่มีน้ำ (ความชื้นมากกว่าร้อยละ 50) (Bhattacharya *et.al.*, 2008) ดังนั้นในตัวอย่างเบอร์เกอร์กุ้ง ประกอบด้วยความชื้นร้อยละ 55-60 จึงสามารถเกิดการรวมตัวเป็น

ตารางที่ 56 การเปลี่ยนแปลงค่า para-Anisidine ของผลิตภัณฑ์เบอร์เกอร์กุ้งชุบแป้งทอด สูตรควบคุม (C) สูตรที่ใช้การบรรจุแบบสุญญากาศ (CV) สูตรที่ใช้ TBHQ (T) และสูตรที่ใช้ TBHQ ร่วมกับการบรรจุแบบสุญญากาศ (TV) ที่เก็บรักษาเป็นระยะเวลา 6 เดือน

Treatment	Storage times (months)						
	0	1	2	3	4	5	6
Control	19.30 ± 2.66	65.69 ± 28.36	12.37 ± 5.74	nd	nd	nd	nd
Control + Vacuum	16.20 ± 5.16	62.49 ± 19.17	26.88 ± 0.91	nd	nd	nd	nd
Control + TBHQ	10.35± 1.21	66.69 ± 12.83	40.01 ± 1.29	nd	nd	nd	nd
Control + TBHQ+Vacuum	6.23 ± 0.40	72.01 ± 14.45	8.50 ± 7.05	nd	nd	nd	nd

Note : Mean ± SD of triplicate determinations.

* Significant effect of

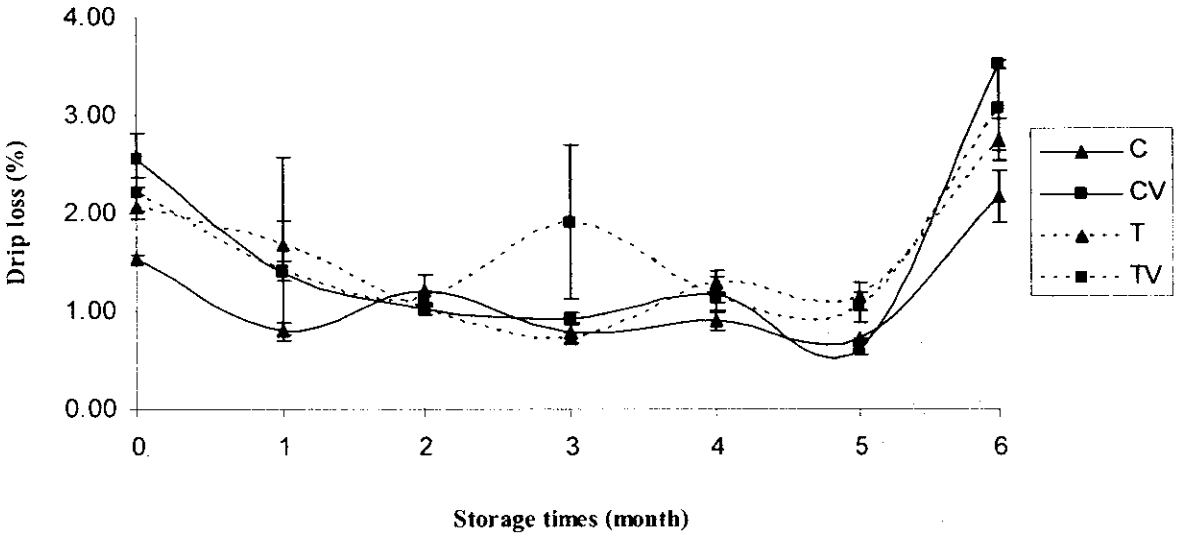
- Treatments on para-Anisidine (p<0.05).
- Storage time on para-Anisidine (p<0.05).

สารประกอบเชิงซ้อน ทำให้สารประกอบคาร์บอนิลที่สามารถทำปฏิกิริยากับหมู่ p-Anisidine amine ไม่สามารถสกัดออกมา โดยตัวทำละลายในขั้นตอนการเตรียมตัวอย่างเพื่อวิเคราะห์ได้

6.2 คุณภาพทางกายภาพ

6.2.1 ค่าการสูญเสียน้ำหลังการทำละลาย (Drip loss)

การเปลี่ยนแปลงค่าการสูญเสียน้ำหลังการละลายของเบอร์เกอร์กุ้งชุบแป้งทอดระหว่างการเก็บรักษา แสดงในภาพที่ 18 Lawrie (1991 อ้างโดย Zorrilla *et al.*, 2000) รายงานว่าโปรตีนเนื้อสัตว์ที่สับเป็นชิ้นเล็กๆ มีแนวโน้มเกิดของเหลว (exude fluid) ง่ายกว่าเนื้อทั้งชิ้น เนื่องจากโครงสร้างของเนื้อถูกทำลาย ดังนั้นผลิตภัณฑ์เบอร์เกอร์กุ้งเป็นผลิตภัณฑ์เนื้อกุ้งที่ผ่านการสับละเอียด จึงมีแนวโน้มสูญเสียน้ำมากกว่า แม้ว่าผลิตภัณฑ์เบอร์เกอร์กุ้งในการทดลองมีการเติมสารไฮโดรคอลลอยด์ ได้แก่ แป้งมันสำปะหลังดัดแปรและโซเดียมอัลจิเนต ซึ่งมีคุณสมบัติช่วยปรับปรุงผลผลิตจากการทำให้สุก (cooking yield) เพิ่มความชื้น ความฉ่ำน้ำ และดัดแปลงเนื้อสัมผัส (Keeton, 1984) ผลดังกล่าวแสดงให้เห็นว่าสารไฮโดรคอลลอยด์ช่วยชะลอการสูญเสียน้ำหลังการทำละลายได้นาน 5



ภาพที่ 18 การเปลี่ยนแปลงค่าการสูญเสียน้ำหนักหลังการละลายของผลิตภัณฑ์เบอร์เกอร์กุ้งชุบแป้งทอด สูตรควบคุม (C) สูตรที่ใช้การบรรจุแบบสุญญากาศ (CV) สูตรที่ใช้ TBHQ (T) และสูตรที่ใช้ TBHQ ร่วมกับการบรรจุแบบสุญญากาศ (TV)ที่เก็บรักษาเป็นระยะเวลา 6 เดือน

* Significant effect of

- Treatments on drip loss (p<0.05).
- Storage time on drip loss (p<0.05).

เดือน และค่าการสูญเสียน้ำหนักหลังการทำละลายของทุกตัวอย่างมีค่าสูงขึ้นอย่างชัดเจนในเดือนที่ 6 ของการเก็บรักษา เช่นเดียวกับ Lyons และคณะ (1999) รายงานว่า การใช้คาราจีแนน ร่วมกับสตาร์ชมันสำปะหลัง ในไส้กรอกหมูไขมันต่ำ แม้ว่าสามารถลดการสูญเสียระหว่างการหุงต้ม แต่พบว่ามีค่าการสูญเสียหลังการแช่เยือกแข็งและทำละลายสูงขึ้น นอกจากนี้ Farouk และ Freke (2008) พบว่า % expressed water และค่าการสูญเสียหลังการหุงต้ม (cooking loss) ของเนื้อกวางแช่เยือกแข็งมีแนวโน้มสูงขึ้น เมื่อระยะเวลาการเก็บนานขึ้น และมีค่าสูงสุดหลังเก็บรักษานาน 6 เดือน ที่ -18°ซ เนื่องจากการลดลงของคุณสมบัติเชิงหน้าที่ของกล้ามเนื้อโปรตีนของเนื้อกวาง โดยมีการรวมตัวของโปรตีน (protein aggregation) รวมทั้งการออกซิเดชันของไลปิด ส่งผลให้เกิดการรวมตัวระหว่างผลิตภัณฑ์จากการออกซิเดชั่นของไลปิดและโปรตีนเป็นสารประกอบเชิงซ้อน ทำให้ประจุข้างของโปรตีน (protein charge site) ลดลง และทำให้การจับตัวกับน้ำลดลงด้วย

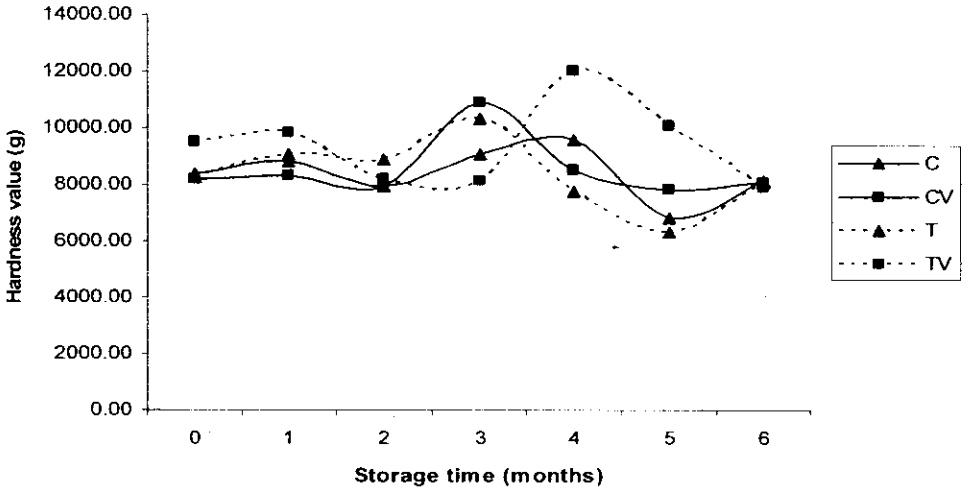
กระบวนการแช่เยือกแข็งและการเก็บรักษาในสภาวะแช่แข็งเป็นเวลานานมีผลทำให้คุณภาพผลิตภัณฑ์ลดลง โดย Brewer (1989) แสดงให้เห็นว่า การเก็บรักษาแบบแช่แข็งเป็นเวลานาน ทำให้ค่าความชื้น ความสามารถในการอุ้มน้ำ และความฉ่ำน้ำของหมูบดลดลง แต่มีค่า TBA การสูญเสียระหว่างการทำละลายสูงขึ้น เนื่องจากการเปลี่ยนแปลงโปรตีนเกิดขึ้นขณะแช่เยือกแข็งส่งผลให้คุณสมบัติเชิงหน้าที่ของโปรตีนเปลี่ยนแปลง นอกจากนี้มีรายงานว่าการละลายของโปรตีนมีค่าลดลงระหว่างการเก็บรักษาในสภาวะแช่แข็ง เนื่องจากการสูญเสียสภาพ และเกิดการรวมตัวของไมโอไฟบริลลาร์ในเนื้อปลาบด (Benjakul *et al.*, 2005, Leelapongwattana *et al.*, 2005)

6.2.2 ค่าเนื้อสัมผัส

ค่าเนื้อสัมผัสจากการวัดโดย Texture Profile Analysis และค่าความกรอบ (crispness value) แสดงดังภาพที่ 19-25 จากผลการทดลอง พบว่า ผลของการเก็บรักษา การเติมหรือไม่เติม TBHQ และการบรรจุที่แตกต่างกันมีผลต่อค่าความแข็ง ค่าการยึดติด ค่าความยืดหยุ่น ค่าความเหนียวคล้ายยาง ค่าการยึดเกาะ ค่าแรงในการบดเคี้ยว ค่าความกรอบเล็กน้อย ($P<0.05$) ซึ่งแตกต่างจากการวัดค่าโดยทางประสาทสัมผัส ซึ่งพบว่าค่าความกรอบลดลง (ภาพที่ 29-30) ทั้งนี้เนื่องจากการวัดด้วยเครื่อง Texture Analyzer เป็นการวัดค่าแรงที่ผ่านการกดตัวอย่างทั้งชิ้นของเบอร์เกอร์กุ้ง (ส่วนของเบอร์เกอร์ ร่วมกับส่วนของแป้งชุบ) ทำให้ค่าแรงแตกต่างเล็กน้อย ขณะที่การวัดด้วยทางประสาทสัมผัส แม้ว่าผู้ทดสอบจะประเมินโดยการกดตัวอย่างผ่านชั้นแป้งและเบอร์เกอร์ก็ตาม แต่ผู้ทดสอบจะให้ความสนใจ (focus) เฉพาะส่วนของชั้นแป้ง ทำให้แยกแยะความแตกต่างได้ดีกว่าการใช้เครื่องมือทดสอบ

6.2.3 ค่าสี

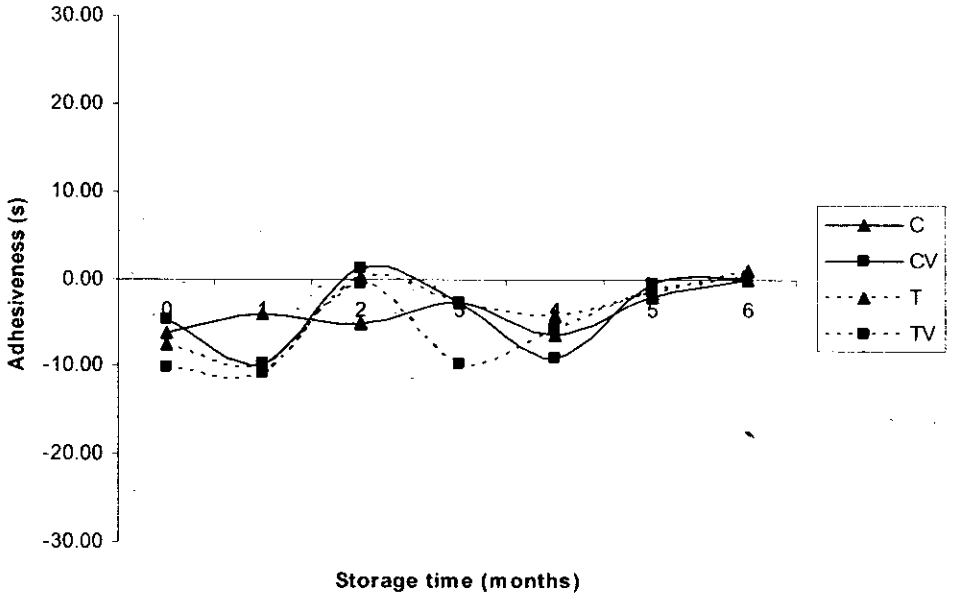
ค่าสีของเบอร์เกอร์กุ้งชุบแป้งทอด ระหว่างเก็บรักษาเป็นเวลา 6 เดือน แสดงในภาพที่ 26-28 จากรูปจะเห็นว่า อิทธิพลของสิ่งทดลองได้แก่ ผลการเติมหรือไม่เติม TBHQ การบรรจุแบบธรรมดาหรือสุญญากาศ และระยะเวลาการเก็บรักษามีผลต่อค่าสี L* (ความสว่าง) a* (สีแดง-เขียว) และ b* (สีเหลือง-น้ำเงิน) เพียงเล็กน้อย ($p<0.05$) โดยไม่แสดงให้เห็นแนวโน้มของการเปลี่ยนแปลง ทั้งนี้อาจเกิดจากความไม่สม่ำเสมอของสีตัวอย่างในส่วนแป้งชุบ รวมทั้งผลของน้ำมันที่ใช้ทอด (น้ำมันใหม่และน้ำมันทอดซ้ำ) แม้ว่าผู้วิจัยได้สุ่มตัวอย่างมากถึง 7 ซ้ำ ของการวัดค่าก็ตาม อย่างไรก็ตามจากผลการทดลองที่ได้ จะเห็นว่าการเปลี่ยนแปลงดังกล่าวไม่มีผลต่อการประเมินคุณภาพโดยรวมของผลิตภัณฑ์เบอร์เกอร์กุ้งชุบแป้งทอดตลอดระยะการเก็บรักษาที่ -18 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 6 เดือน



ภาพที่ 19 การเปลี่ยนแปลงค่าความแข็งของผลิตภัณฑ์เบอร์เกอร์กุ้งชุบแป้งทอด สูตรควบคุม (C) สูตรที่ใช้การบรรจุแบบสุญญากาศ (CV) สูตรที่ใช้ TBHQ (T) และสูตรที่ใช้ TBHQ ร่วมกับการบรรจุแบบสุญญากาศ (TV) ที่เก็บรักษาเป็นระยะเวลา 6 เดือน

* Significant effect of -Treatments on hardness (p<0.05).

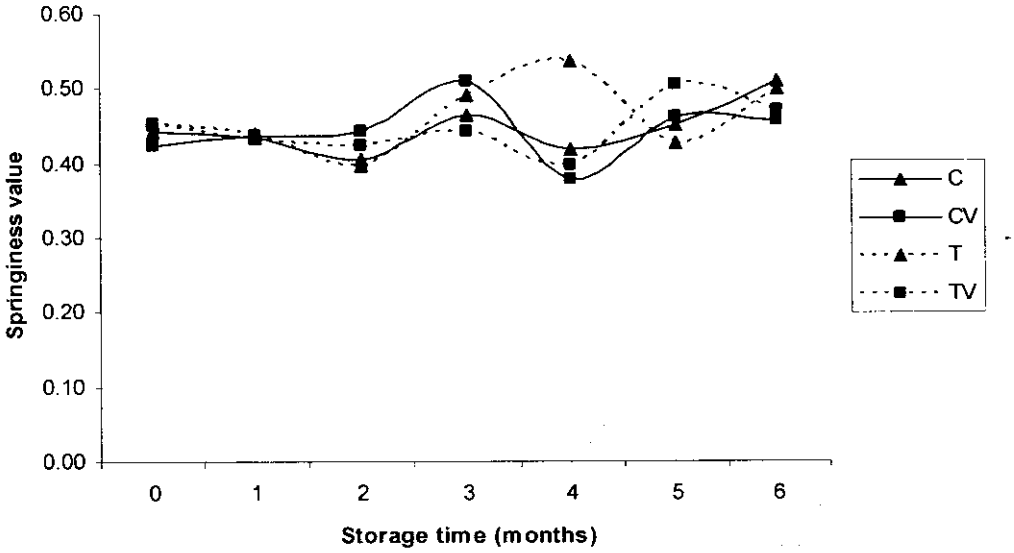
- Storage time on hardness (p<0.05).



ภาพที่ 20 การเปลี่ยนแปลงค่าการยึดติดของผลิตภัณฑ์เบอร์เกอร์กุ้งชุบแป้งทอด สูตรควบคุม (C) สูตรที่ใช้การบรรจุแบบสุญญากาศ (CV) สูตรที่ใช้ TBHQ (T) และสูตรที่ใช้ TBHQ ร่วมกับการบรรจุแบบสุญญากาศ (TV) ที่เก็บรักษาเป็นระยะเวลา 6 เดือน

* Significant effect of -Treatments on adhesiveness (p<0.05).

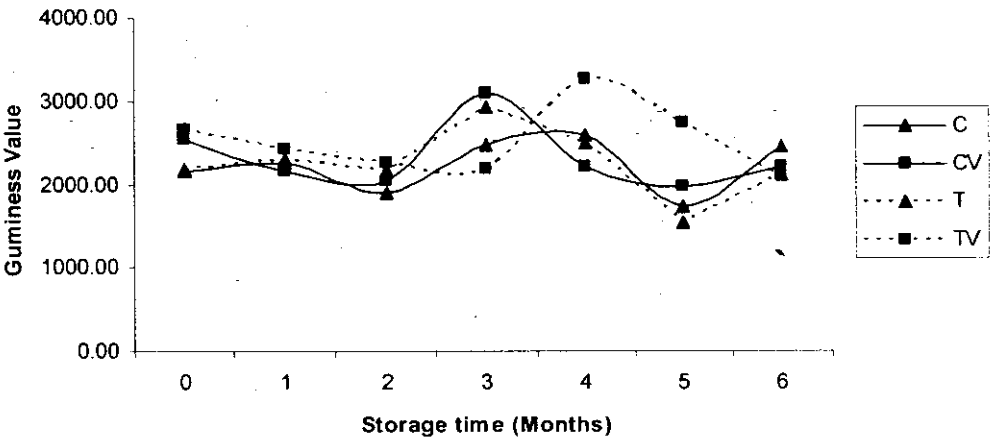
- Storage time on adhesiveness (p<0.05).



ภาพที่ 21 การเปลี่ยนแปลงค่าความยืดหยุ่นของผลิตภัณฑ์เบอร์เกอร์กุ้งชุบแป้งทอด สูตรควบคุม (C) สูตรที่ใช้การบรรจุแบบสุญญากาศ (CV) สูตรที่ใช้ TBHQ (T) และสูตรที่ใช้ TBHQ ร่วมกับการบรรจุแบบสุญญากาศ (TV) ที่เก็บรักษาเป็นระยะเวลา 6 เดือน

* Significant effect of -Treatments on springiness (p<0.05).

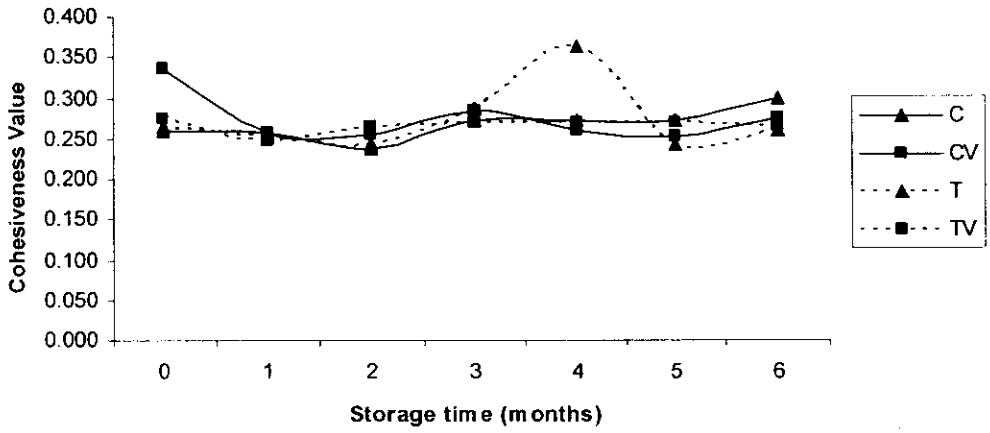
- Storage time on springiness (p<0.05).



ภาพที่ 22 การเปลี่ยนแปลงค่าความเหนียวคล้ายยางของผลิตภัณฑ์เบอร์เกอร์กุ้งชุบแป้งทอด สูตรควบคุม (C) สูตรที่ใช้การบรรจุแบบสุญญากาศ (CV) สูตรที่ใช้ TBHQ (T) และสูตรที่ใช้ TBHQ ร่วมกับการบรรจุแบบสุญญากาศ (TV) ที่เก็บรักษาเป็นระยะเวลา 6 เดือน

* Significant effect of -Treatments on gumminess (p<0.05).

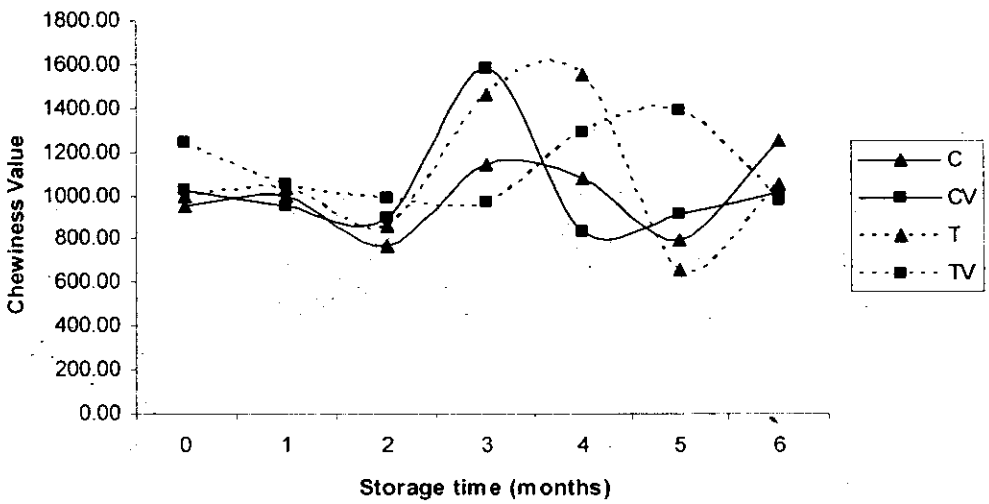
- Storage time on gumminess (p<0.05).



ภาพที่ 23 การเปลี่ยนแปลงค่าการยึดเกาะของผลิตภัณฑ์เบอร์เกอร์กุ้งชุบแป้งทอด สูตรควบคุม (C) สูตรที่ใช้การบรรจุแบบสุญญากาศ (CV) สูตรที่ใช้ TBHQ (T) และสูตรที่ใช้ TBHQ ร่วมกับการบรรจุแบบสุญญากาศ (TV) ที่เก็บรักษาเป็นระยะเวลา 6 เดือน

* Significant effect of -Treatments on cohesiveness ($p<0.05$).

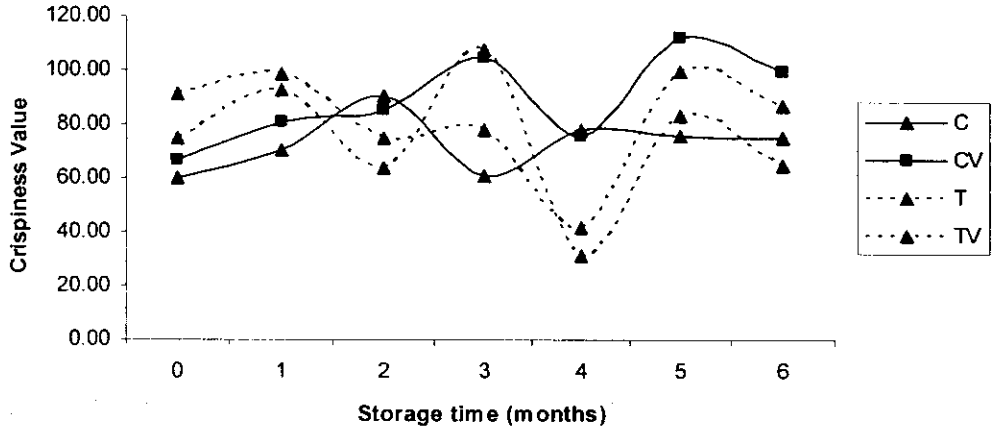
- Storage time on cohesiveness ($p<0.05$).



ภาพที่ 24 การเปลี่ยนแปลงค่าแรงในการบดเคี้ยวของผลิตภัณฑ์เบอร์เกอร์กุ้งชุบแป้งทอด สูตรควบคุม (C) สูตรที่ใช้การบรรจุแบบสุญญากาศ (CV) สูตรที่ใช้ TBHQ (T) และสูตรที่ใช้ TBHQ ร่วมกับการบรรจุแบบสุญญากาศ (TV) ที่เก็บรักษาเป็นระยะเวลา 6 เดือน

* Significant effect of -Treatments on chewiness ($p<0.05$).

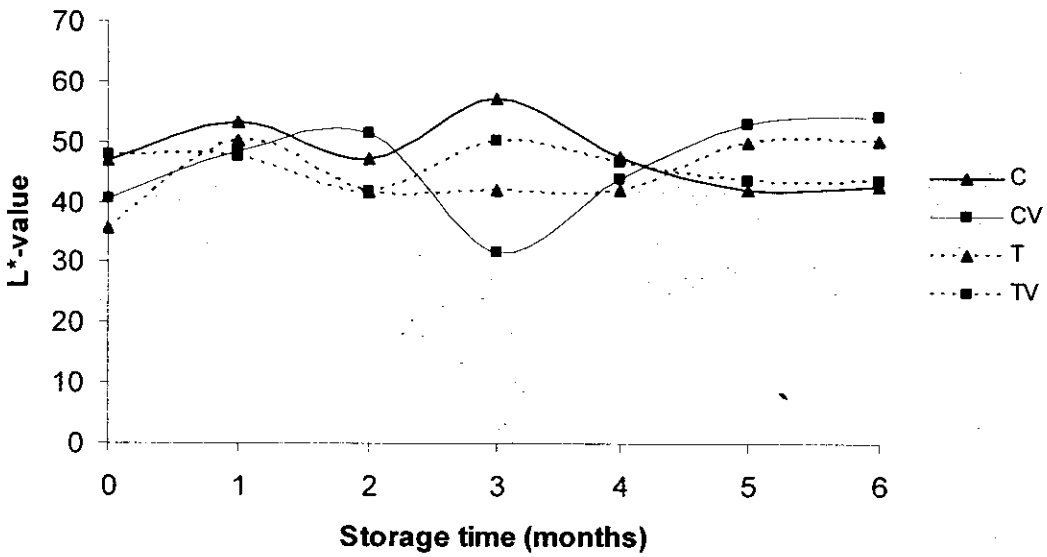
- Storage time on chewiness ($p<0.05$).



ภาพที่ 25 การเปลี่ยนแปลงค่าความกรอบของผลิตภัณฑ์เบอร์เกอร์กุ้งชุบแป้งทอด สูตรควบคุม (C) สูตรที่ใช้การบรรจุแบบสุญญากาศ (CV) สูตรที่ใช้ TBHQ (T) และสูตรที่ใช้ TBHQ ร่วมกับการบรรจุแบบสุญญากาศ (TV) ที่เก็บรักษาเป็นระยะเวลา 6 เดือน

* Significant effect of -Treatments on crispness (p<0.05).

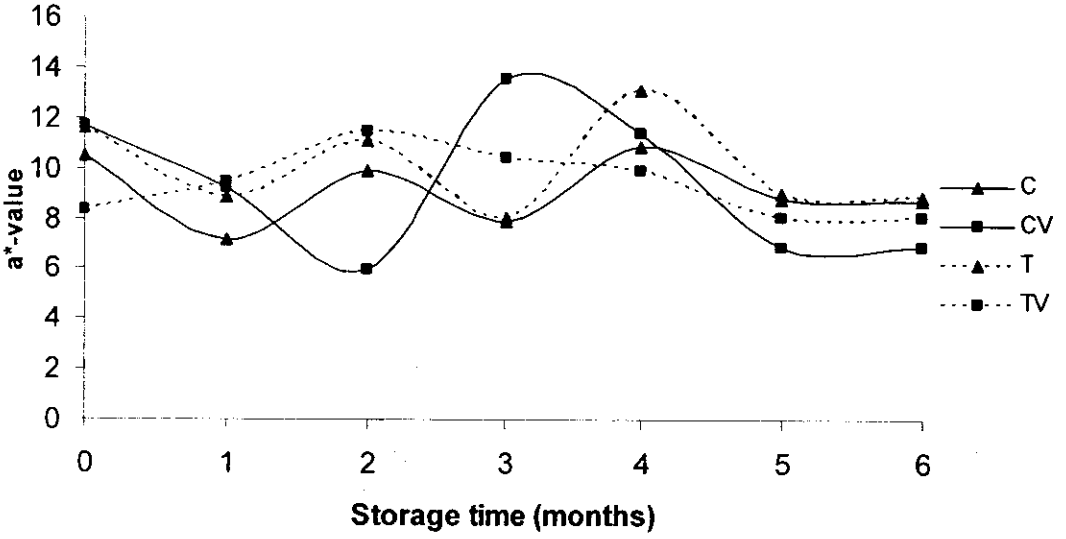
- Storage time on crispness (p<0.05).



ภาพที่ 26 การเปลี่ยนแปลงค่าความสว่างของผลิตภัณฑ์เบอร์เกอร์กุ้งชุบแป้งทอด สูตรควบคุม (C) สูตรที่ใช้การบรรจุแบบสุญญากาศ (CV) สูตรที่ใช้ TBHQ (T) และสูตรที่ใช้ TBHQ ร่วมกับการบรรจุแบบสุญญากาศ (TV) ที่เก็บรักษาเป็นระยะเวลา 6 เดือน

* Significant effect of -Treatments on L* value (p<0.05).

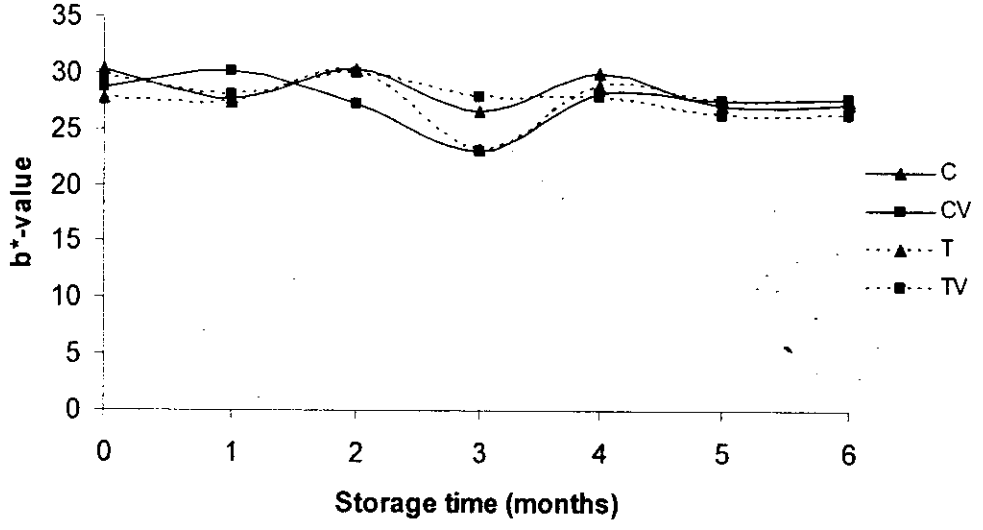
- Storage time on L* value (p<0.05).



ภาพที่ 27 การเปลี่ยนแปลงค่าความเป็นสีแดง-สีเขียวของผลิตภัณฑ์เบอร์เกอร์กุ้งชุบแป้งทอด สูตรควบคุม (C) สูตรที่ใช้การบรรจุแบบสุญญากาศ (CV) สูตรที่ใช้ TBHQ (T) และสูตรที่ใช้ TBHQ ร่วมกับการบรรจุแบบสุญญากาศ (TV) ที่เก็บรักษาเป็นระยะเวลา 6 เดือน

* Significant effect of -Treatments on a* value (p<0.05).

- Storage time on a* value (p<0.05).



ภาพที่ 28 การเปลี่ยนแปลงค่าความเป็นสีเหลือง-สีน้ำเงินของผลิตภัณฑ์เบอร์เกอร์กุ้งชุบแป้งทอด สูตรควบคุม (C) สูตรที่ใช้การบรรจุแบบสุญญากาศ (CV) สูตรที่ใช้ TBHQ (T) และสูตรที่ใช้ TBHQ ร่วมกับการบรรจุแบบสุญญากาศ (TV) ที่เก็บรักษาเป็นระยะเวลา 6 เดือน

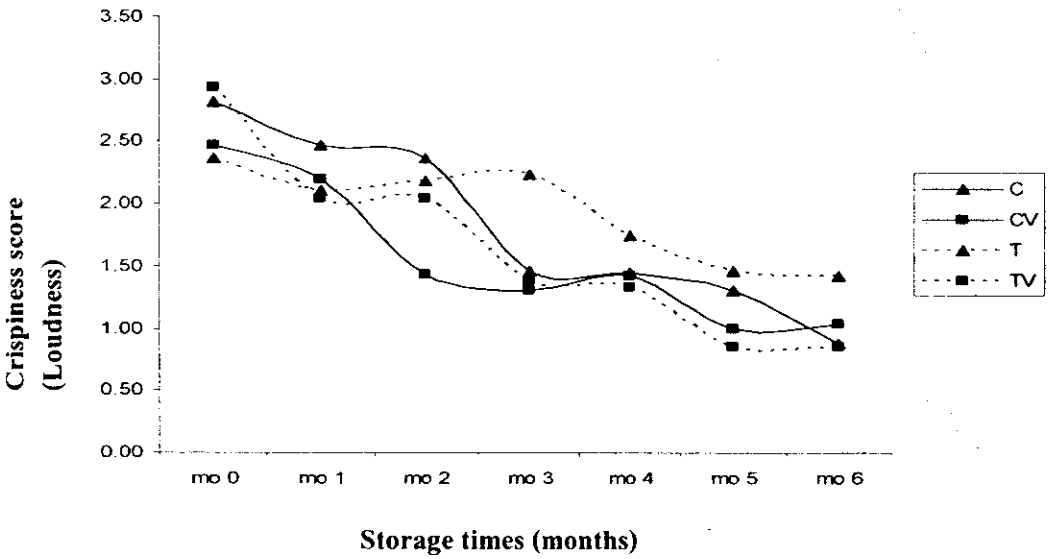
* Significant effect of -Treatments on b* value (p<0.05).

- Storage time on b* value (p<0.05).

6.3 ผลการทำสอบทางประสาทสัมผัส

6.3.1 คะแนนความกรอบ

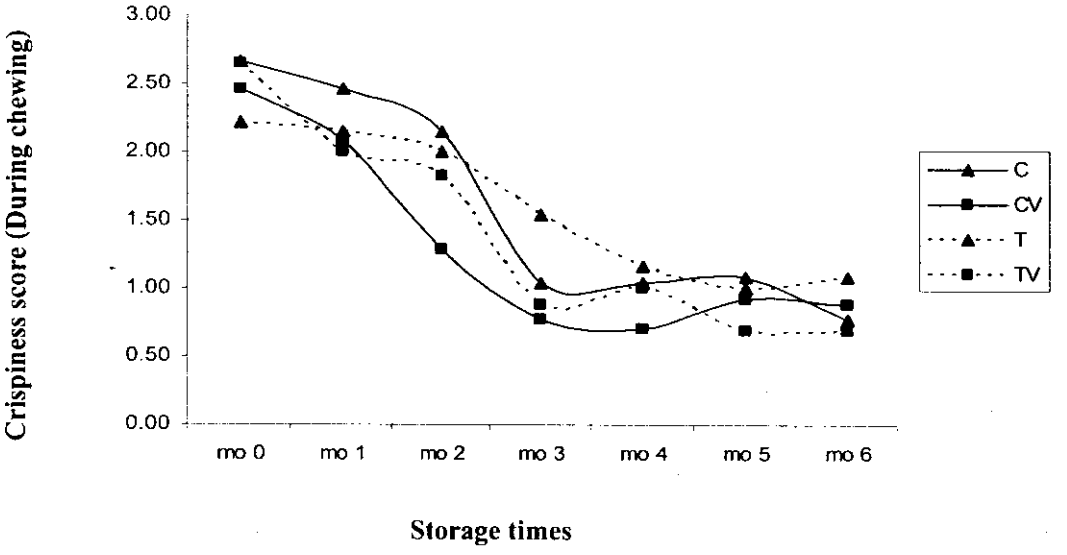
การเปลี่ยนแปลงคะแนนความกรอบที่ประเมินจากเสียงขณะกัด และเคียงตัวอย่างใน 2-3 ตัวแรกและคะแนนความกรอบที่ประเมินระหว่างการเคี้ยวจนกระทั่งกลืนผลิตภัณฑ์ระหว่างการเก็บรักษาผลิตภัณฑ์เบอร์เกอร์กุ้งชุบแป้งทอด แสดงในภาพที่ 29 และ 30 ผลการทดลองแสดงให้เห็นว่าค่าคะแนนความกรอบที่ประเมินทั้งสองแบบมีแนวโน้มลดลงตลอดระยะเวลาการเก็บรักษา 6 เดือน แต่ไม่พบอิทธิพลของสิ่งทดลองได้แก่ ผลการเติม TBHQ และการบรรจุที่แตกต่างกัน การลดลงของความกรอบ อาจเกิดจากการสูญเสียน้ำในส่วนของเบอร์เกอร์ขณะทำละลาย ทำให้น้ำบางส่วนถูกดูดซับในส่วนของแป้งชุบที่เคลือบชิ้นเบอร์เกอร์ เมื่อผ่านขั้นตอนการอบตัวอย่าง เพื่อ



ภาพที่ 29 การเปลี่ยนแปลงคะแนนความกรอบที่ประเมินจากเสียงขณะกัดและเคี้ยวตัวอย่างใน 2 – 3 คำแรกของผลิตภัณฑ์เบอร์เกอร์กุ้งชุบแป้งทอด สูตรควบคุม (C) สูตรที่ใช้การบรรจุแบบสุญญากาศ (CV) สูตรที่ใช้ TBHQ (T) และสูตรที่ใช้ TBHQ ร่วมกับการบรรจุแบบสุญญากาศ (TV) ที่เก็บรักษาเป็นระยะเวลา 6 เดือน

* Significant effect of -Treatments on crispness score (loudness) (p>0.05).

- Storage time on crispness score (loudness) (p<0.05).



ภาพที่ 30 การเปลี่ยนแปลงคะแนนความกรอบที่ประเมินระหว่างการเคี้ยวจนกระทั่งกลืนของผลิตภัณฑ์เบอร์เกอร์กุ้งชุบแป้งทอด สูตรควบคุม (C) สูตรที่ใช้การบรรจุแบบสุญญากาศ (CV) สูตรที่ใช้ TBHQ (T) และสูตรที่ใช้ TBHQ ร่วมกับการบรรจุแบบสุญญากาศ (TV) ที่เก็บรักษาเป็นระยะเวลา 6 เดือน

* Significant effect of -Treatments on crispness score (during chewing) (p>0.05).

- Storage time on crispness score (during chewing) (p<0.05).

ทดสอบทางประสาทสัมผัสโดยควบคุมอุณหภูมิและเวลาคงที่ ซึ่งอาจจะไม่เพียงพอต่อการลดความชื้นในชั้นของแป้งชุบ จึงส่งผลให้ความกรอบลดลง

6.3.2 คะแนนความฉ่ำน้ำ

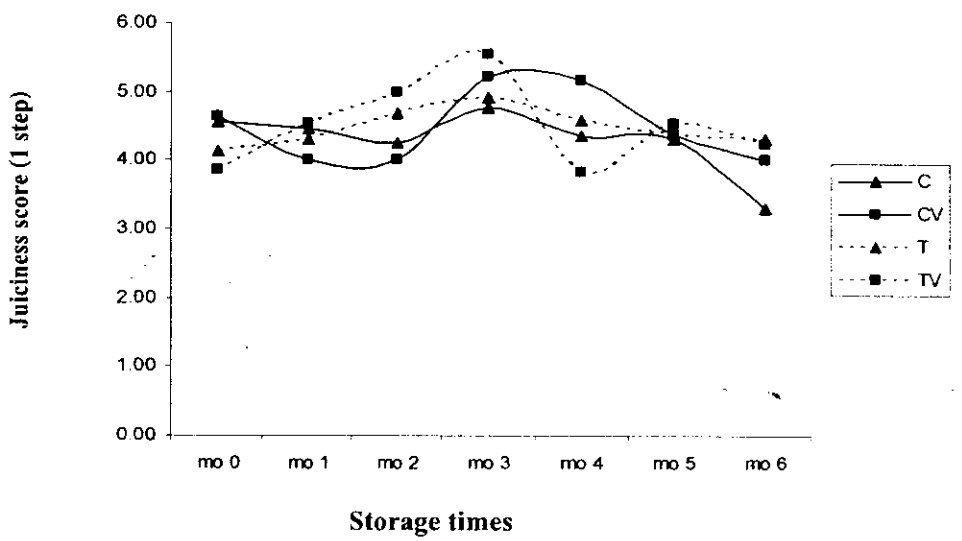
การเปลี่ยนแปลงคะแนนความฉ่ำน้ำที่ประเมินจากความนุ่มของผลิตภัณฑ์ขณะกัดชิ้นผลิตภัณฑ์ ขณะเคี้ยวผลิตภัณฑ์และขณะกลืนผลิตภัณฑ์ แสดงดังภาพที่ 31 32และ 33 ตามลำดับ พบว่าผลของระยะการเก็บรักษา การเติม TBHQ และการบรรจุมีผลต่อความฉ่ำน้ำที่ประเมินแตกต่างกันทั้ง 3 แบบเล็กน้อย แม้ว่าค่าการสูญเสียน้ำหลังทำละลายจะมีค่าสูงขึ้นอย่างชัดเจนในเดือนที่ 6 ของการเก็บรักษา (ภาพที่ 18) แต่การสูญเสียน้ำดังกล่าวไม่ได้ส่งผลอย่างชัดเจนต่อค่าความฉ่ำน้ำ ทั้งนี้นอกจากปริมาณความชื้นในผลิตภัณฑ์ที่มีผลต่อความฉ่ำน้ำแล้วการประเมินค่าคะแนนดังกล่าว ผู้ประเมินยังรับรู้ความรู้สึกจากผลรวมของปัจจัยต่าง ๆ ได้แก่ ปริมาณน้ำมัน ร่วมในการประเมินด้วย

6.3.3 คะแนนความหืน

จากภาพที่ 34 แสดงการเปลี่ยนแปลงคะแนนความหืนของเบอร์เกอร์กุ้งชุบแป้งทอดตลอดระยะเวลาการเก็บรักษา 6 เดือน จะเห็นว่าคะแนนความหืนค่อนข้างคงที่จนกระทั่งถึงเดือนที่

5 และหลังจากนั้นจะมีค่าสูงขึ้น ($P < 0.05$) อย่างไรก็ตามไม่พบความแตกต่างระหว่างสิ่งทดลองที่เติมหรือไม่เติม TBHQ และการบรรจุที่แตกต่างกัน ($P > 0.05$) โดยคะแนนความหืนจะค่าสอดคล้องกับค่า TBARS (ภาพที่ 16) ซึ่งทุกตัวอย่างจะมีค่าสูงสุดหลังเก็บรักษา 6 เดือน โดย Verma และ Sahoo (2000) บ่งชี้ว่ามาลอนไดอัลดิไฮด์ มีค่าความเข้มข้นต่ำสุดที่สามารถรับรู้ความรู้สึกกลิ่นหืน (rancidity) ได้ที่ระดับความเข้มข้นระหว่าง 1000 และ 2000 ไมโครกรัมต่อกิโลกรัม ขณะที่ Greene และ Cumuze (1982) รายงานว่าค่า TBARS ช่วง 600-2000 ไมโครกรัมต่อกิโลกรัม เป็นค่าต่ำสุดที่สามารถรับรู้กลิ่นรสออกซิไดซ์ (oxidized flavor) ในเนื้อบด โดยผู้ทดสอบที่ไม่มีประสบการณ์ ดังนั้นเบอร์เกอร์กุ้งที่เก็บรักษาในเดือนที่ 6 จะมีค่า TBARS อยู่ในช่วง 49.39-64.85 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม ซึ่งมีค่าสูงกว่าค่า Threshold ดังกล่าวมาก จึงทำให้ผู้ทดสอบได้กลิ่นหืนอย่างชัดเจน

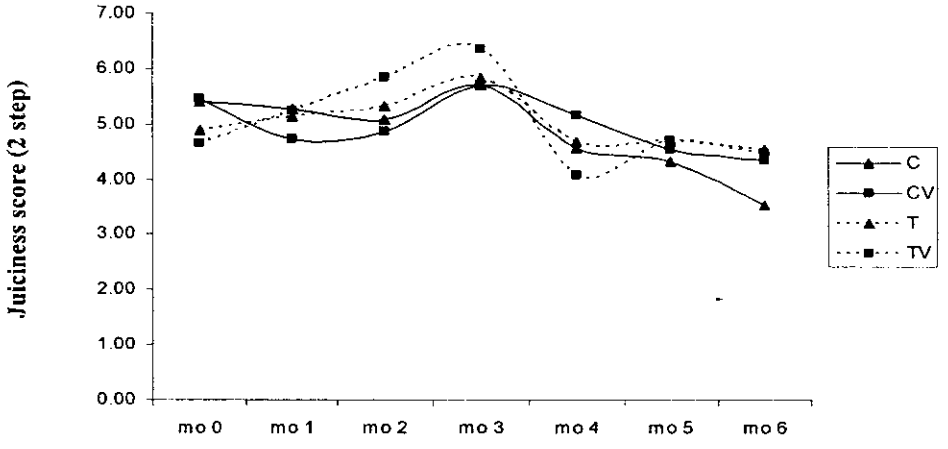
ไฮโดรเปอร์ออกไซด์ซึ่งเป็นผลิตภัณฑ์ปฐมภูมิของการออกซิเดชันไลปิด เป็นผลิตภัณฑ์ที่ไม่มีรสและกลิ่น แต่หลังจากการสลายตัวของไฮโดรเบอร์ออกไซด์จะเกิดสารประกอบต่าง ๆ เช่น อัลดีไฮด์ ไฮโดรคาร์บอน อัลกอฮอล์ คีโตน ฟูราน ซึ่งเป็นสารประกอบที่ระเหยได้ และให้กลิ่นต่อผลิตภัณฑ์ สารประกอบดังกล่าวมีกลิ่นเฉพาะและมีค่าความเข้มถึงต่ำสุดที่รับรู้กลิ่นได้ (Threshold) ที่แตกต่างกัน เช่น Vinyl Ketone จะมีค่า threshold ต่ำสุดที่ความเข้มข้น 0.0002 ppm รองลงมาได้แก่ Unsaturated alcohol มีค่า 0.001 ppm และ diunsaturated aldehyde มีค่า 0.002 ppm



ภาพที่ 31 การเปลี่ยนแปลงคะแนนความฉ่ำน้ำที่ประเมินจากความนุ่มของผลิตภัณฑ์ขณะกัดชิ้นอาหารของผลิตภัณฑ์ เบอร์เกอร์กุ้งชุบแป้งทอดสูตรควบคุม (C) สูตรที่ใช้การบรรจุแบบสุญญากาศ (CV) สูตรที่ใช้ TBHQ (T) และสูตรที่ใช้ TBHQ ร่วมกับการบรรจุแบบสุญญากาศ (TV) ที่เก็บรักษาเป็นระยะเวลา 6 เดือน

* Significant effect of -Treatments on juiciness score (1st step) ($p<0.05$).

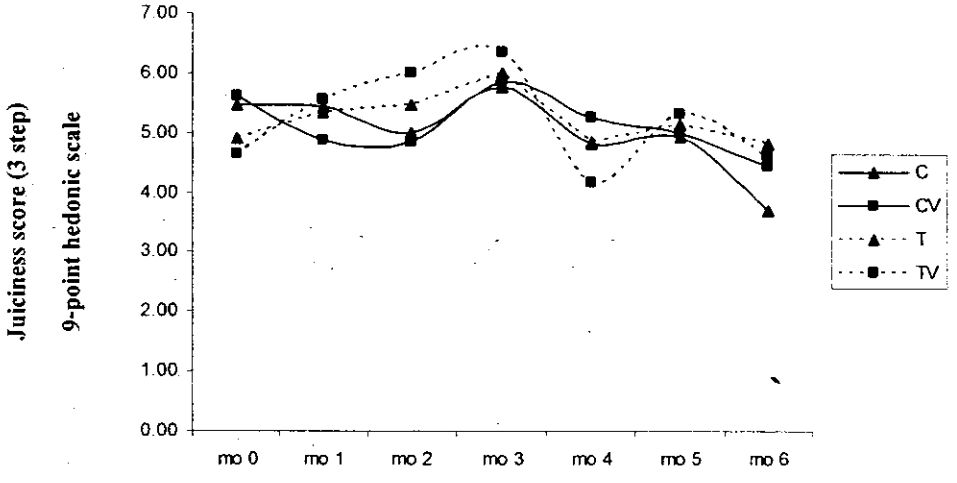
- Storage time on juiciness score (1st step) ($p<0.05$).



ภาพที่ 32 การเปลี่ยนแปลงคะแนนความฉ่ำน้ำที่ประเมินขณะเคี้ยวของผลิตภัณฑ์เบอร์เกอร์กุ้งชุบแป้งทอด สูตรควบคุม (C) สูตรที่ใช้การบรรจุแบบสุญญากาศ (CV) สูตรที่ใช้ TBHQ (T) และสูตรที่ใช้ TBHQ ร่วมกับการบรรจุแบบสุญญากาศ (TV) ที่เก็บรักษาเป็นระยะเวลา 6 เดือน

* Significant effect of -Treatments on juiciness score (2nd step) (p<0.05).

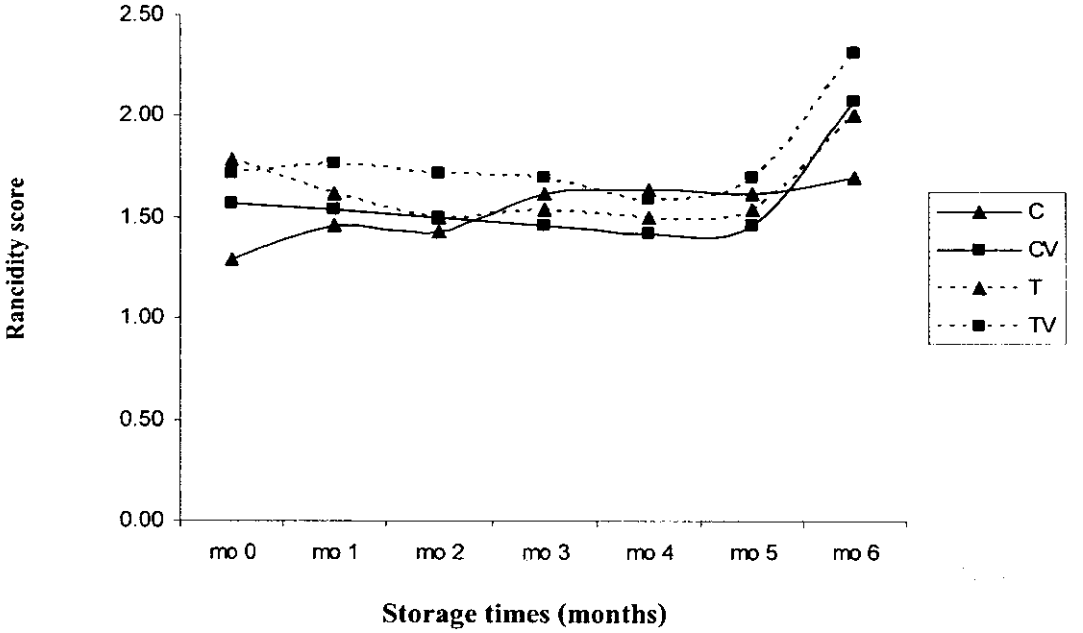
- Storage time on juiciness score (2nd step) (p<0.05).



ภาพที่ 33 การเปลี่ยนแปลงคะแนนความฉ่ำน้ำที่ประเมินขณะกลืนผลิตภัณฑ์เบอร์เกอร์กุ้งชุบแป้งทอด สูตรควบคุม (C) สูตรที่ใช้การบรรจุแบบสุญญากาศ (CV) สูตรที่ใช้ TBHQ (T) และสูตรที่ใช้ TBHQ ร่วมกับการบรรจุแบบสุญญากาศ (TV) ที่เก็บรักษาเป็นระยะเวลา 6 เดือน

* Significant effect of -Treatments on juiciness score (3rd step) (p<0.05).

- Storage time on juiciness score (3rd step) (p<0.05).



ภาพที่ 34 การเปลี่ยนแปลงคะแนนความหืนของผลิตภัณฑ์เบอร์เกอร์กุ้งชุบแป้งทอด สูตรควบคุม (C) สูตรที่ใช้การบรรจุแบบสุญญากาศ (CV) สูตรที่ใช้ TBHQ (T) และสูตรที่ใช้ TBHQ ร่วมกับการบรรจุแบบสุญญากาศ (TV) ที่เก็บรักษาเป็นระยะเวลา 6 เดือน

* Significant effect of -Treatments on rancidity score (p>0.05).

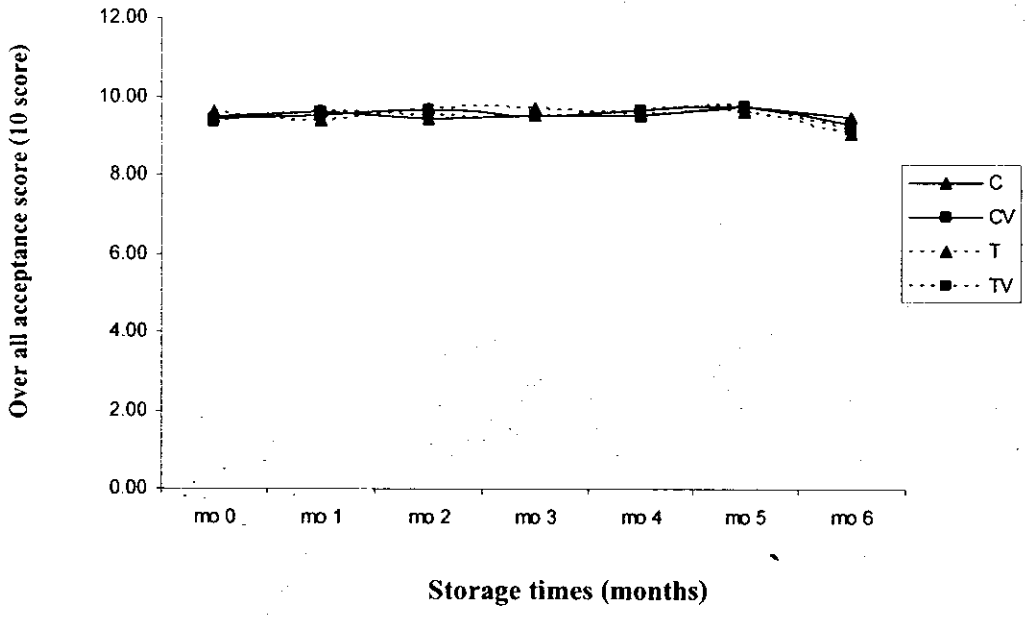
- Storage time on rancidity score (p<0.05).

ขณะที่ furan มีค่า threshold สูงถึง 1-27 ppm (Shahidi, 2001) ดังนั้นปริมาณและค่า threshold ของสารประกอบ แต่ละชนิด มีบทบาทสำคัญต่อการได้รับกลิ่นหืนในผลิตภัณฑ์อาหาร

6.3.4 การยอมรับคุณภาพโดยรวม

การเปลี่ยนแปลงการยอมรับคุณภาพโดยรวมของเบอร์เกอร์กุ้งชุบแป้งทอดระหว่างการเก็บรักษา แสดงในภาพที่ 35 จะเห็นว่าการเติมหรือไม่ TBHQ การบรรจุแบบธรรมดาหรือแบบสุญญากาศ และระยะเวลาการเก็บรักษาที่ -18°ซ นาน 6 เดือน ไม่มีผลต่อคะแนนคุณภาพโดยรวม โดยตัวอย่างเบอร์เกอร์กุ้งชุบแป้งทอดที่เก็บไว้ 6 เดือนยังมีระดับคะแนน 9-9. 5 (คุณภาพใกล้เคียงกับผลิตภัณฑ์ที่เตรียมใหม่) แม้ว่าปัจจัยดังกล่าวมีผลต่อทำให้คะแนนความกรอบลดลง และคะแนนความหืนเพิ่มขึ้น แต่การเปลี่ยนแปลงดังกล่าวเป็นการเปลี่ยนแปลงเพียงเล็กน้อย โดยตัวอย่างที่เก็บเดือนที่ 0 และเดือนที่ 6 มีความกรอบลดลง 2 คะแนน ขณะที่คะแนนความหืนมีค่าสูงขึ้นประมาณ 0.5 คะแนน ดังนั้นการเปลี่ยนแปลงในระดับดังกล่าวจึงไม่มีผลต่อการยอมรับคุณภาพโดยรวมของผลิตภัณฑ์ ทั้งนี้การเก็บรักษาโดยการแช่เยือกแข็ง เป็นวิธีการเก็บรักษาที่สามารถชะลอการ

เปลี่ยนแปลงคุณภาพผลิตภัณฑ์ได้ ดังนั้นจากการศึกษาครั้งนี้ผลิตภัณฑ์เบอร์เกอร์กุ้งชุบแป้งทอดจึงมีอายุการเก็บรักษานานกว่า 6 เดือน การเติม TBHQและ/หรือการบรรจุแบบสุญญากาศไม่มีผลเด่นชัดในการชะลอการเปลี่ยนแปลงคุณภาพผลิตภัณฑ์ และไม่สามารถใช้โมเดลทางคณิตศาสตร์เพื่อทำนายอายุการเก็บรักษาของผลิตภัณฑ์ได้ เนื่องจากผลิตภัณฑ์ยังมีคะแนนการยอมรับคุณภาพโดยรวมในระดับที่สูง และไม่แตกต่างจากผลิตภัณฑ์ที่เก็บในเดือนที่ 0 อีกทั้งไม่มีแนวโน้มของการเปลี่ยนแปลงของคุณภาพโดยรวม เช่นเดียวกับการศึกษาของ Tokur และคณะ (2008) ซึ่งพบว่าการทดสอบทางประสาทสัมผัสเนื้อปลาแท่งชุบแป้งทอดจากเนื้อปลาคาร์ฟ ยังคงมีคุณลักษณะด้านสีกลิ่น กลิ่นรส และการยอมรับโดยทั่วไปที่แสดงถึงคุณภาพที่ดี โดยมีระดับคะแนนอยู่ในระดับชอบปานกลาง ถึงชอบมาก ตลอดระยะเวลาการเก็บรักษาที่- 18°ซ เป็นเวลา 5 เดือน



ภาพที่ 35 การเปลี่ยนแปลงคะแนนการยอมรับคุณภาพโดยรวมของผลิตภัณฑ์เบอร์เกอร์กุ้งชุบแป้งทอดสูตรควบคุม (C) สูตรที่ใช้การบรรจุแบบสุญญากาศ (CV) สูตรที่ใช้ TBHQ (T) และสูตรที่ใช้ TBHQ ร่วมกับการบรรจุแบบสุญญากาศ (TV) ที่เก็บรักษาเป็นระยะเวลา 6 เดือน

* Significant effect of -Treatments on overall acceptance score (p>0.05).

- Storage time on overall acceptance score (p>0.05).

บทที่ 4

สรุปผลการทดลอง

1. การพัฒนาผลิตภัณฑ์เบอร์เกอร์กุ้งชุบแป้งทอดแช่เยือกแข็งโดยการสร้างแนวคิดด้านคุณลักษณะทางประสาทสัมผัสของผลิตภัณฑ์จากผู้บริโภคชาวยุโรปพบว่า ผลิตภัณฑ์ที่จะพัฒนาควรจะมีความฉ่ำน้ำ รสชาติกุ้งและความกรอบมากขึ้นเมื่อเทียบกับผลิตภัณฑ์เบอร์เกอร์กุ้งชุบแป้งทอดสูตรจำลอง โดยมีแนวความคิดด้านคุณลักษณะทางประสาทสัมผัสของผลิตภัณฑ์คือ ผลิตภัณฑ์เบอร์เกอร์กุ้งชนิดชุบแป้งและเกล็ดขนมปังทอดที่มีกลิ่นและกลิ่นรสพริกไทย กลิ่นรสของหอมใหญ่ เค็มเล็กน้อย หวานเล็กน้อย มีกลิ่นรสกุ้ง มีความฉ่ำน้ำและมีความกรอบ

2. การพัฒนาความฉ่ำน้ำของผลิตภัณฑ์เบอร์เกอร์กุ้งชุบแป้งทอดโดยใช้แป้งมันสำปะหลังดัดแปร โซเดียมอัลจิเนตและไอโอต้าคาราจีแนนเป็นส่วนประกอบในปริมาณร้อยละ 1 ของส่วนผสมทั้งหมดในผลิตภัณฑ์พบว่าการใช้แป้งมันสำปะหลังดัดแปรร่วมกับโซเดียมอัลจิเนตส่งผลเพิ่มปริมาณความชื้นและคะแนนความฉ่ำน้ำ ในขณะที่คาราจีแนนมีผลทำให้ผลิตภัณฑ์มีความแข็งมากขึ้น สูตรที่ใช้แป้งมันสำปะหลังดัดแปรร่วมกับโซเดียมอัลจิเนตในอัตราส่วนร้อยละ 0.3 และ 0.7 ตามลำดับ เป็นสูตรที่มีปริมาณความชื้นและความฉ่ำน้ำเหมาะสมโดยคะแนนความฉ่ำน้ำสูงกว่าผลิตภัณฑ์เบอร์เกอร์กุ้งชุบแป้งสูตรจำลองคิดเป็นร้อยละ 34.49 - 42.14 และมีปริมาณความชื้นของเนื้อเบอร์เกอร์เพิ่มขึ้นร้อยละ 8.67

3. การปรับปรุงความกรอบและลดปริมาณไขมันของผลิตภัณฑ์เบอร์เกอร์กุ้งชุบแป้งทอดโดยศึกษาอัตราส่วนที่เหมาะสมของแป้งข้าวโพดและแป้งข้าวเจ้าในแป้งชุบทอด ได้สูตรที่ประกอบด้วยแป้งข้าวโพดและแป้งข้าวเจ้าร้อยละ 18.9 และ 28.35 ตามลำดับ พบว่าสัดส่วนของแป้งข้าวเจ้าและแป้งข้าวโพดไม่มีอิทธิพลต่อปริมาณไขมันของแป้งชุบ คะแนนความกรอบและคะแนนความมันที่ประเมินจากการทดสอบทางประสามสัมผัส อย่างไรก็ตามพบว่าหลังจากทำการปรับความหนืดของแป้งชุบสูตรดังกล่าวแล้ว (สูตร OFAV) พบว่าได้รับคะแนนความกรอบที่ประเมินจากเสียงขณะกัดและเคี้ยวและความกรอบระหว่างการเคี้ยวสูงกว่าผลิตภัณฑ์ชุดที่มีปริมาณความชื้นและความฉ่ำน้ำเหมาะสม (สูตร OJ) คิดเป็นร้อยละ 6.74 - 26.07 ตามลำดับ และได้รับคะแนนความมันจากลักษณะปรากฏและความมันระหว่างการเคี้ยวเฉพาะส่วนของแป้งชุบต่ำกว่าผลิตภัณฑ์สูตร OJ คิดเป็น ร้อยละ 0.71 และ 7.16 ตามลำดับ และมีปริมาณไขมันในแป้งชุบทอดและเบอร์เกอร์ลดลงเท่ากับร้อยละ 1.76 และ 15.56 ตามลำดับ เมื่อเทียบกับผลิตภัณฑ์สูตร OJ

4. การปรับปรุงความกรอบและลดการดูดซับไขมันของผลิตภัณฑ์เบอร์เกอร์กุ้งชุบแป้งทอดโดยใช้เมทธิลเซลลูโลสและไฮดรอกซีโพรพิลเมทธิลเซลลูโลสที่ระดับความเข้มข้นร้อยละ 1 และ 2 พบว่าชนิดของไฮโดรคอลลอยด์ไม่มีผลต่อปริมาณความชื้นและปริมาณไขมันในแป้งชุบทอด แต่การใช้ไฮดรอกซีโพรพิลเมทธิลเซลลูโลสส่งผลให้ผลิตภัณฑ์เบอร์เกอร์มีปริมาณความชื้นสูงและปริมาณไขมันต่ำกว่า (p<0.05) ส่วนความเข้มข้นของไฮโดรคอลลอยด์ไม่มีผลต่อปริมาณความชื้นและปริมาณไขมันในเบอร์เกอร์ การเพิ่มความเข้มข้นของไฮโดรคอลลอยด์ส่งผลให้ส่วนของแป้งชุบทอดของผลิตภัณฑ์เบอร์เกอร์มีปริมาณความชื้นสูงขึ้นและปริมาณไขมันลดลง (p<0.05) ขณะที่ทั้งชนิดและระดับความเข้มข้นของไฮโดรคอลลอยด์ไม่มีผลต่อคะแนนความกรอบและการดูดซับน้ำมันของผลิตภัณฑ์ ซึ่งได้สูตรที่ใช้ไฮโดรคอลลอยด์ที่เหมาะสมที่ทำให้ผลิตภัณฑ์มีปริมาณไขมันต่ำและมีความกรอบสูงคือสูตรที่ใช้ไฮดรอกซีโพรพิลเมทธิลเซลลูโลสร้อยละ 2 (2%HPMC) ซึ่งเป็นสูตรที่มีปริมาณความชื้นและปริมาณไขมันในส่วนของแป้งชุบทอดลดลงร้อยละ 11.61 และ 35.52 ตามลำดับ (p<0.05) เมื่อเทียบกับผลิตภัณฑ์สูตร OFAV และได้รับคะแนนความกรอบสูงกว่าผลิตภัณฑ์สูตร OFAV คิดเป็นร้อยละ 53.33 - 74.04

5. การปรับปรุงกลิ่นรสกุ้งของผลิตภัณฑ์เบอร์เกอร์กุ้งชุบแป้งทอดด้วยสารให้กลิ่นรสกุ้งที่ระดับความเข้มข้นร้อยละ 0.8 และ 1.2 ในด้านคะแนนความชอบด้านกลิ่นรสกุ้งพบว่าไม่มีความแตกต่างกันของความชอบด้านกลิ่นรสกุ้งจากผลิตภัณฑ์เบอร์เกอร์กุ้งชุบแป้งสูตรจำลองซึ่งไม่ได้เติมกลิ่นรสกุ้ง (p>0.05)

6. การยอมรับผลิตภัณฑ์เบอร์เกอร์กุ้งชุบแป้งทอดที่ได้รับการพัฒนาของผู้ บริโภคที่เป็นนักท่องเที่ยวชาวยุโรปในประเทศไทยจำนวน 100 คน พบว่าผลิตภัณฑ์เบอร์เกอร์กุ้งชุบแป้งทอดที่ได้รับการพัฒนาได้คะแนนเฉลี่ยความชอบด้านความฉ่ำน้ำ รสชาติและความชอบรวมในระดับชอบปานกลางถึงชอบมาก ซึ่งมากกว่าผลิตภัณฑ์เบอร์เกอร์กุ้งชุบแป้งทอดสูตรจำลอง ที่ได้รับคะแนนจากคุณลักษณะทั้งสามในระดับชอบเล็กน้อยถึงชอบปานกลาง (p<0.05) ขณะที่ไม่พบความแตกต่างของคะแนนความชอบด้านความกรอบระหว่างผลิตภัณฑ์เบอร์เกอร์กุ้งสูตรจำลองและผลิตภัณฑ์เบอร์เกอร์กุ้งชุบแป้งทอดที่ได้รับการพัฒนา (p>0.05) และจากการวิเคราะห์คุณภาพพบว่าผลิตภัณฑ์เบอร์เกอร์ที่ได้รับการพัฒนามีปริมาณความชื้นของเนื้อเบอร์เกอร์และความชื้นรวมทั้งชิ้นเพิ่มขึ้นเท่ากับร้อยละ 13.96 และ 18.26 ตามลำดับ และพบว่าผลิตภัณฑ์เบอร์เกอร์กุ้งชุบแป้งทอดที่ได้รับการพัฒนามีปริมาณไขมันของส่วนแป้งชุบและไขมันรวมทั้งชิ้นลดลงเท่ากับร้อยละ 35.30 และ 20.54 ตามลำดับ เมื่อเทียบกับผลิตภัณฑ์เบอร์เกอร์กุ้งชุบแป้งทอดสูตรจำลอง

7. การเก็บรักษาผลิตภัณฑ์เบอร์เกอร์กุ้งชุบแป้งทอดที่ได้รับการพัฒนาที่ -18 °ซ เป็นเวลา 6 เดือนมีผลทำให้เกิดการออกซิเดชั่นของไลปิดและการสูญเสียน้ำหนักหลังการทำละลาย

สูงขึ้น ส่งผลให้มีคะแนนความหืนเพิ่มขึ้น และคะแนนความกรอบลดลง แต่อย่างไรก็ตามการเปลี่ยนแปลงดังกล่าวไม่มีผลต่อคะแนนการยอมรับคุณภาพโดยรวม โดยผลิตภัณฑ์เบอร์เกอร์กุ้งชุบแป้งทอดที่เก็บรักษานาน 6 เดือนมีคะแนนไม่แตกต่างกับตัวอย่างที่เตรียมใหม่ การเติมสาร TBHQ ในน้ำมันทอด และการบรรจุแบบสุญญากาศมีผลชะลอการเปลี่ยนแปลงไม่แตกต่างจากตัวอย่างที่ทอดน้ำมันที่ไม่เติม TBHQและบรรจุแบบปกติ และทุกตัวอย่างมีอายุการเก็บรักษานานกว่า 6 เดือน ที่ -18°ซ

ข้อเสนอแนะ

หากมีการศึกษาต่อไปหรือผลิตผลิตภัณฑ์เบอร์เกอร์กุ้งชุบแป้งทอดที่ได้จากการวิจัยในครั้งนี้เพื่อทำการจำหน่ายทางการค้า ควรมีการศึกษาเพิ่มเติมดังต่อไปนี้

1. ควรจะลดปริมาณไขมันรวมทั้งชิ้นให้ได้มากกกว่าร้อยละ 25 ขึ้นไป จะได้นำไปกล่าวอ้างว่าเป็นผลิตภัณฑ์ที่ลดปริมาณไขมันได้ตามของประกาศกระทรวงสาธารณสุข โดยศึกษาการใช้แป้งชนิดอื่นๆ ที่สามารถเพิ่มความกรอบและลดการดูดซับไขมันของผลิตภัณฑ์ชุบแป้งทอดเพื่อ เช่น แป้งถั่วเหลือง (Dogan *et al*., 2005)

2. ศึกษาการใช้สารไฮโดรคอลลอยด์ชนิดอื่นๆ ที่มีคุณสมบัติลดการดูดซับไขมันและมีราคาถูกกว่าไฮดรอกซีโพรพิลเมทธิลเซลลูโลส เนื่องจากไฮดรอกซีโพรพิลเมทธิลเซลลูโลสราคากรัมละ 50 บาท ซึ่งทำให้ต้นทุนของผลิตภัณฑ์เพิ่มสูงเกินไป

3. ศึกษาการใช้กลิ่นรสกุ้งชนิดต่างๆ เพื่อให้เหมาะสมกับแนวคิดผลิตภัณฑ์เบอร์เกอร์กุ้งชุบแป้งทอด

เอกสารอ้างอิง

กรมวิทยาศาสตร์การแพทย์ กระทรวงสาธารณสุข. 2545. เกณฑ์มาตรฐานคุณภาพทางจุลชีววิทยาของอาหารปรุงสุกและแช่เยือกแข็งที่ต้องอุ่นก่อนบริโภค (ออนไลน์). สืบค้นจาก : http://www.dmsc.moph.go.th/webroot/food/files/news/news45food/news45_t3.htm [23 มีนาคม 2549].

กล้าณรงค์ ศรีรอตและเกื้อกูล ปียะจอมขวัญ. 2546. เทคโนโลยีของแป้ง. พิมพ์ครั้งที่ 3. สำนักพิมพ์มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์. กรุงเทพฯ. 303 หน้า.

งามทิพย์ ภู่วโรดม. 2537. ก๊าซกับการบรรจุผลิตภัณฑ์อาหาร. พิมพ์ครั้งที่ 2. ภาควิชาเทคโนโลยีการบรรจุ คณะอุตสาหกรรมเกษตร มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์. กรุงเทพฯ. 173 หน้า

ไทยฟาร์มโซน. 2547. กุ้งแปรรูป:ผลิตภัณฑ์ที่น่าจับตามอง (ออนไลน์). สืบค้นจาก : http://www.thaifarmzone.com/shrimp.html. [15 พฤศจิกายน 2547].

ถิรนันท์ คุณานพรัตน์, สุวิช ศิริวัฒนโยธิน และศักรินทร์ ภูมิรัตน์. 2544. อิทธิพลของปริมาณอะไมโลสที่มีต่อการดูดซับน้ำมันของโดทอดแบบจุ่ม. ว.วิจัยและพัฒนา มจธ. 24: 221-234.

ทนาวุฒิ ปริญญาพัฒนบุตร. 2547. ไก่ชุบแป้งทอด. อาหาร. 34: 46-48.

ทิพย์วรรณา งามศักดิ์. 2545. หลักการพัฒนาผลิตภัณฑ์อาหาร. พิมพ์ครั้งที่ 1. คลังนานาวิทยา. ขอนแก่น. 155 หน้า.

นิธิยา รัตนาปนนท์. 2545. เคมีอาหาร. พิมพ์ครั้งที่ 1. โอเดียนสโตร์. กรุงเทพฯ. 487 หน้า.

ฝ่ายวิจัย ธนาคารนครหลวงไทย. 2549. อุตสาหกรรมกุ้งไทย (ออนไลน์). สืบค้นจาก : http:\\www.thaishipper.com/content/content.asp?Archives=true&ID=16899 [17 กรกฎาคม 2550].

เพียงโสม ชาญชัยวรวิทย์, ถิรนันท์ คุณานพรัตน์ และวลัยพร ศรีชุมพวง. 2547. การใช้ฟิล์มไฮโดรคอลลอยด์เพื่อรักษาคุณภาพของกล้วยหลังทอด. อาหาร. 34: 164-170.

มณฑาทิพย์ ยุ่นฉลาด. 2535. ฟิล์มและสารเคลือบที่รับประทานได้. อาหาร. 22: 3-6.

รุ่งนภา พงศ์สวัสดิ์มานิต. 2550. การพัฒนาผลิตภัณฑ์ในอุตสาหกรรมเกษตร. พิมพ์ครั้งที่ 2. ภาควิชาพัฒนาผลิตภัณฑ์ คณะอุตสาหกรรมเกษตร มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์. 466 หน้า.

วิไล รังสาดทอง. 2545. เทคโนโลยีการแปรรูปอาหาร. ภาควิชาเทคโนโลยีอุตสาหกรรมเกษตร สถาบัน เทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ. 401 หน้า.

ศิริเฉลิม สวัสดิวัตน์. 2543. หมึกแดง COOK BOOK 3. พิมพ์ครั้งที่ 9. อัมรินทร์พริ้นติ้งแอนด์พับลิชชิ่ง. กรุงเทพฯ. 127 หน้า.

สุจินดา ศรีวัฒนา, 2548. แบบหุ่นจำลองและสูตรอาหารที่เหมาะสม. อาหาร. 35: 168-176.

สุทธวัฒน์ เบญจกุล, 2548. เคมีและคุณภาพสัตว์น้ำ. สำนักพิมพ์โอเดียนสโตร์. กรุงเทพมหานคร. 344 หน้า.

สำนักงานมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม. 2535. มาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมแป้งดัดแปร. กระทรวงอุตสาหกรรม. กรุงเทพฯ.

สำนักงานมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม. 2543. มาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมแป้งผสมสำหรับประกอบอาหารทอด. กระทรวงอุตสาหกรรม. กรุงเทพฯ.

อดิศักดิ์ เอกโสวรรณ. 2543. การลดการอมน้ำมันของแป้งชุบทอดด้วยการใช้แป้งข้าวเจ้าทดแทนแป้งสาลี. ว.ทางวิชาการมหาวิทยาลัยหอการค้าไทย. 20: 87-93.

Akdeniz, N. Sahin, S., and Sumnu, G. 2005. Functionality of batters containing different gums for deep-fat frying of carrot slices. J. Food Eng. 75: 522-526.

Alzagtat, A.A. and Ali, I. 2002. Protein-lipid interactions in food systems: a review. Intern. J. Food Sci Nutr. 53: 249-260.

Ansorena, D. and Astiasarán, I. 2004. Effect of storage and packaging on fatty acid composition and oxidation in dry fermented sausages made with added olive oil and antioxidants. Meat Sci. 67: 237-244.

AOAC. 2000. Official Method of Analysis, Association of Official Analytical Chemists, Inc. Washington, DC.

ASTM Special Technical Publication 758. 1981. Guidelines for the selection and training of sensory panel members. American society for testing and materials 1981. Philadelphia.

Balasubramaniam, V.M., Chinnan, M.S. and Mallikajunan, P. 1997. The effect of edible film on oil uptake and moisture retention of a deep-fat fried poultry product. J. Food Proc. Eng. 20: 17-29.

Bater, B., Descamps, N.O. and Maurer, A.J. 1992. Quality characteristics of hydrocolloid added oven roasted turkey breasts. J. Food Sci. 14: 455-461.

Beggs, K.L.H., Bobers, J.A. and Brown, D. 1997. Sensory and physical characteristics of reduced-fat turkey frankfurters with modified corn starch and water. J Food Sci. 62: 1240-1244.

Benjakul, S., Visessanguan, W., Thongkaew, C. and Tanaka, M. 2005. Effect of frozen storage on chemical and gel forming properties of fish commonly used for Surimi production in Thailand. Food Hydrocolloid. 19: 197-207.

Berry, B.W. 1994. Properties of low-fat, nonbreaded pork nuggets with added gums and modified Starches. J. Food Sci. 59: 742-746.

Berry, B.W. 1997. Sodium alginate plus modified tapioca starch improves properties of low-fat beef patties. J. Food Sci. 62: 1245-1249.

Berry, B.W. and Bigner, M.E. 1996. Use of carrageenan and konjac flour gel in low fat restructured pork nuggets. Food Res. Int. 29: 355-362.

Bhattacharya, A.B., Sajilata, M.G. and Singhal, R.S. 2008. Lipid profile of foods fried in thermally polymerized plam oil. Food Chem. 109: 808-812.

Brewer, M.S., McKeith, F.K. and Britt, K. 1992. Fat, soy and carrageenan effects on sensory and physical characteristics of ground beef patties. J. Food Sci. 57: 1051-1052,1055.

Cheman, Y.B., Baker, J. and Mokri, A.A.K. 1995. Effect of packaging film on storage stability of intermediate-moisture deep-fried mackerel. Int. J. Food Sci. Technol. 30 : 175 - 181.

Desmond, E.M., Troy, D.J. and Buckley, D.J. 1998. The effect of tapioca starch, oat fibre and whey protein on the physical and sensory properties of low-fat beef burgers. Lebensm-Wiss. U.-Technol. 31: 653-657.

Dogan, S.F., Sahin, S., and Sumnu, G. 2005. Effects of soy and rice flour addition on batter rheology and quality of deep-fat fried chicken nuggets. J. of Food Eng. 71: 127-132.

Draget, K.I., SmidsrØd, O. and Skjåk-Bræk, G. 2005. Alginates from Algae. *In* Polysaccharides and Polyamides in The Food Industry. (A. Steinbuchel and S.K. Rhee, eds.) p.1-30. Wiley-VCH. Weinheim.

Dreeling, N., Allen, P. and Butler, F. 2000a. Effect of cooking method on sensory and instrumental texture attributes of low-fat beefburgers. Lebensm-Wiss. U.-Technol. 33: 234-238.

Dreeling, N., Allen, P. and Butler, F. 2000b. Effect of the degree of comminution on sensory and texture attributes of low-fat beefburgers. Lebensm-Wiss. U.-Technol. 33: 290-294.

Du-Ling. Gennadios, A., Henna, M.A. and Cuppet, S.L. 1998. Quality evaluation of deep-fat fried onion rings. J. Food Quality. 21: 95-105.

Eckert, L.A., Maca, J.V., Miller, R.K. and Acuff, G.R. 1997. Sensory, microbial and chemical characteristics of fresh aerobically stored ground beef containing sodium lactate and sodium propionate. J. Food Sci. 62: 429-433.

Egbert, W.R., Huffman, L.D., Chen, C. and Dylewski, D.P. 1991. Development of low fat ground beef. Food Technol. 45(6): 64-73.

El-Magoni, S.B., Laroia, S., and Hansen, P.M.T. 1996. Flavour and texture characteristics of low fat ground beef patties formulated with whey protein concentrate. Meat Sci. 42: 179-193.

Fan, J., Singh, R.P., and Pinthus, E.J. 1997. Physicochemical changes in starch during deep-fat frying of a model corn starch patty. J. Food Proc. Presev. 21: 443-460.

Fennema, O.R. 1996. Food Chemistry. 3rd Ed. Marcel Dekker. New York.

Fernández, J., Pérez-Álvarez, J.A. and Fernández-López, A. 1997. Thiobarbituric acid test for monitoring lipid oxidation in meat. Food Chem. 59: 345-353.

Fernandez, P., Cofrades, S., Salas, M.T., Carballo, J. and Colmennero, F.J. 1998. High pressure-cooking of chicken meat batters with starch, egg white, and iota carrageenan. J. Food Sci. 63: 267-271.

Fiszman, S.M. and Salvador, A. 2003. Recent developments in coating batters. Trend Food Sci. and Technol. 14: 399-407.

Foegeding, E. A. and Ramsey, S. R. 1986. Effect of gums on low-fat meat batters. J. Food Sci. 51: 33-36, 46.

Foegeding, E.A. and Ramsey, S.R. 1987. Rheological and water holding properties of gelled meat batters containing iota carrageenan, kappa carrageenan or xanthan gum. J. Food Sci. 52: 549-553.

Gacula, M.C. 1993. Design and Analysis of Sensory Optimization. Food and Nutrition press, Inc. Trumbull.

Gamble, M.H., Rice, P. and Selman, J.D. 1987. Distribution and morphology of oil deposits in some fried products. J. Food Sci. 52: 1742.

Gennadios, A. and Weller, C. 1990. Edible film and coating from wheat and corn protein. Food Technol. 44(12): 63.

Gennadios, A., Hanna, M.A. and Kurth, L.B. 1997. Application of edible coatings on meats, poultry and seafoods. Lebensm-Wiss. U.-Technol. 30: 337-350.

Giese, J. 1992. Developing low-fat meat product. Food Techol. 50(9): 100-108.

Gokoglu, N., Topuz, O.K. and Yerlikaya, P. 2009. Effects of pomegranate sauce on quality of marinated anchovy during refrigerated storage. LWT-Food Sci. Technol. 42: 113-118.

Gomez-Guillen, M.C. and Montero, P. 1996. Addition of hydrocolloids and non muscle proteins to sardine (*Sardina pilchadus*) mince gels. Food Chem. 56: 421-427.

Greene, B.A. and Cumuze, T.H. 1982. Relationship between TBA numbers and inexperienced panelists assessments of oxidized flavor in cooked beef. J. Food Sci. 47: 52-58.

Gregg, L.L., Claus, J.R., Hnackey, C.R. and Marriott, N.G. 1993. Low-fat, high added water bologna from massaged, minced batter. J. Food Sci. 58: 259-264.

Gregory, E.M., Giles, J.E., Rogers, S.A., Tan, L.T., Naidoo, R.J. and Ferguson, D.M. 1991. Tenderizing, ageing, and thawing effects on sensory, chemical, and physical properties of beef steaks. J Food Sci. 56: 1125-1129.

Heckman E. 1977. Starch and its modifications for the food industry. *In* Food Colloids. (H.D. Graham, ed.) p. 465-499. Avi publishing company. Westport.

Heggins, C., Qian, I., and Williams, K. 1999. Water dispersible coating composition for fat-fried foods. US patent 5,976,607.

Higgin , 1998. Water dispersible coating composition for fat-fried foods. US. Patent 5,849,351.

Holownia, K.I., Chinnan, M.S., Erickson, M.C. and Mallikajunan, P. 2000. Quality evaluation of edible film-coating chicken strips and frying oils. J. Food Sci. 65: 1087-1090.

Hsia, H.Y., Smith, D.M., and Steffe, J.F. 1992. Rheological properties and adhesion characteristics of flour-based batters for chicken nuggets as affected by three hydrocolloids. J. Food Sci. 57: 16-18.

http://www.foodinnovation.com/docs/NATL7.pdf (2006)

http://www.scientificpsychic.com/fitness/fatty acids1.html (17 February 2009).

Hu, R. 1999. Food product design: A Computer-aid Statistical Approach. Technomic Publishing Co., Inc. Pennsylvania. 225p.

Huffmen, D.L., Mikel, W.B., Egbert, W.R., Chen, C. and Smith, K.L. 1992. Development of lean pork sausage products. Cereal Foods World. 37: 439-442.

Huidobro, F.R., Miguel, E. and Onega, B.B. 2005. A comparison between two methods (warner-bratzler and texture profile analysis) for testing either raw meat or cooked meat. Meat Sci. 69: 527-536.

Imeson, A., Ledward, D.A. and Mitchell, J.R. 1977. On the nature of the interaction between some anionic polysaccharides and proteins. J. Sci. Food Agri. 28: 661-668.

International Standard ISO 8586-1. 1993. Sensory Analysis – General guidance for the selection and monitoring of assessors. International Organization for Standardization, Geneve.

Karel, K. and Loewe, R. 1990. Batters and Breadings in Food Processing. The American Association of cereal chemists, Inc. Minnesota.

Keeton, J.T. 1994. Low-fat meat products-technological problems with processing. Meat Sci. 36: 261-276.

Kester, J.J. and Fennema, O.R. 1986. Edible films and coatings. Food Technol. 40(12): 47-59.

Lane, R.H., Ghany, M.A. and Jones, S.W. 1985. Viscosity and pickup of a fish and chip batter: Determinants of variation. J. Food Quality. 9: 107-113.

Leelapongwattana, K., Benjakul, S., Visessanguan, W. and Howell, N.K. 2005. Physicochemical and biochemical changes during frozen storage of minced flesh of lizard fish (Saurida micropectoralis). Food Chem. 90: 141-150.

Lenchin, J.M. and Bell, H. 1985. Process for coating foodstuff with batter containing high amylase flour for microwave cooking. US patent 4,529,607.

Librellotto, J., Bastida, S., Serrano, A., Cafrades, S., Jiménnez-Colmenero, F. and Sánchez-Muniz, F.J. 2008. Changes in fatty acids and polar material of restructured low-fat or walnut-added steaks pan-fried in olive oil. Meat Sci. 80:431-441.

Lin, K.W. and Keeton, J.T. 1998. Texture and physiochemical properties of low-fat, precooked ground beef patties containing carrageenan and sodium alginate. J. Food Sci. 63: 571-574.

Linden, G. and Lorient, D., 1999. New Ingredient in Food Processing. CRD Press, Inc. Boca Raton.

Llorca, E., Hernando, I., Munuera, I.P., Fiszman, S.M. and Lluch, M.A. 2001. Effect of frying on the microstructure of frozen battered squid rings. Eur. Food Res. Technol. 213: 448-455.

Llorca, E., Hernando, I., Munuera, I.P., Fiszman, S.M. and Lluch, M.A. 2003. Effect of batter formulation on lipid uptake during frying and lipid fraction of frozen battered squid. Eur. Food Res. Technol. 216: 297-302.

Loewe, R. 1990. Ingredient selection for batter systems. *In* Batters and Breadings in Food Processing. (K. Kulp and R. Loewe, eds.) p. 12-28. Association of Cereal Chemists, Inc. Minnesota.

Loewe, R. 1993. Role of ingredients in batter systems. Cereal Foods World. 38: 673-677.

Lyons, P.H., Kerry, J.F., Morrissey, P.A. and Buckley, D.J. 1999. The influence of added whey protein/carrageenan gels and tapioca starch on the textural properties of low fat pork sausages. Meat Sci. 51: 43-52.

Lyons, P.H., Kerry, J.F., Morrissey, P.A. and Denis, J.B. 1999. The influence of added whey

Macfie, H.J. and Bratchell, N. 1989. Designs to balance the effect of order of presentation and first-order carry-over effects in hall tests. J. Sensory Stud. 4: 129-148.

Madhavi, S.L., Deshpande, S.S. and Salunkhe, D.K.1996. Food Antioxidants Technological, Toxicological and Health Perspective. Marcel Dekker, Inc. New York.

Mallikarjunan, P., Chinnan, M.S., Balasubramaniam, V.M. and Phillips, R.D. 1997. Edible coatings for deep-fat frying of starchy products. Lebensm-Wiss. U.-Technol. 30: 709-714.

Matulis, R.J., McKeith, F.K., Sutherland, J.W. and Brewer, M.S. 1995. Sensory characteristic of frankfurters as affected by salt, fat, soyprotien, and carrageenan. J. Food Sci. 60: 48-54.

Meilgaard, M. 1999. Selection and training of panel members. *In* Sensory Evaluation Techniques. (Meilgaard, M., Civille, G.V. and Carr, B.T., eds.) 3rd Ed. p. 131-160. CRC Press, Inc. Boca Raton.

Mellema, M. 2003. Mechanism and reduction of fat uptake in deep-fat fried foods. Trend Food Sci. Technol. 14: 364-373.

Meyers, M.A. and Conklin, J.R. 1990. A method of inhibiting oil absorption in coated fried foods using hydroxypropyl methylcellulose. U.S. Patent 4,900,573.

Mimi Bobeck. 2004. Shrimp burgers recipe (online). Available: www.recipezaar.com/50219. (2004)

Modi, V.K., Mahendrakar, N.S., Narasimha R.D. and Sachindra, N.M. 2003. Quality of buffalo meat burger containing legume flours as binders. Meat Sci. 66: 143-149.

Mohamed, S., Hamid, N.R. and Hamid, M.A. 1998. Food components affecting the oil absorption and crispness of fried batter. J. Food Sci. 78: 39-45.

Montero, P. and Perez-Maeos, M. 2002. Effect of Na+, K+ and Ca2+ on gels formed from fish mince containing a carrageenan or alginate. Food Hydrocolloids. 16: 375-385.

Moreira, R.G., Palau, J.E. and Sun, X. 1995. Deep-fat frying of tortilla chips. Food Technol. 49(4): 146-150.

Mukprasirt, A., Herald, T.J. and Flores, R.A. 2000. Rheological characterization of rice flour-based batters. J. Food Sci. 65: 1194-1197.

Naruenartwongsakul, S., Chinnan, M.S., Bhumiratana, S., and Yoovidhya, T. 2004. Pasting characteristics of wheat flour-based batters containing cellulose ethers. Lebensm-Wiss. U.-Technol. 37: 489-495.

National Starch and Chemical Company, 2006. National ®7(online). Available:

Nawar, W.W. 1996. Lipid. *In* Food Chemistry 3rd ed. (Fennema, O.R., ed.) p. 225-319.

Phillips, G.O. and Williams, P.A. 1995. Interactions of hydrocolloids in foods system. *In* Ingredient Interaction. (A.G. Gaonkar, ed.) p. 131-169. Marcel Dekker, Inc. New York.

Piculell, L. 1991. Effects of ions on the disorder-order transitions of gel forming polysaccharides. Food Hydrocolloids. 5: 57-69.

Pinthus, E.J., Weinberg, P. and Saguy, I.S. 1993. Criterion for oil uptake during deep-fat frying. J. Food Sci. 58: 204-205.

Porter, N.A., Caldwell, S.E. and Mills, K.A. 1995. Mechanism of free radical oxidantion of unsaturated Lipids-a review. Lipids. 30: 277-290.

Priya, R., Singhal, R.S. and Kulkarni, P.R. 1996. Carboxymethylcellulose and hydroxypropylmethylcellulose as additives in reduction of oil content in batter based deep-fat fried boondis. Carbohyd. Polym. 29: 333-335.

protein/carrageenan gel and tapioca starch on the textural properties of low fat sausages. Meat Sci. 51:43-52.

Rajalakshmi, D. and Narasimhan, S. 1995. Food antioxidants: sources and methods of evaluation. *In* Food Antioxidants-Technological, Toxicological and Health Perspectives

(Madhan, D.L., Deshpande, S.S. and Salunke, D.K., eds.) p. 65-158. Marcel Dekker, Inc. New York.

Roger, M. B. 1990. Functionality of corn in food coatings. *In* Batters and Breadings in Food Processing. (Kulp, K. and Loewe, R., eds.) p. 29-50. Association of Cereal Chemists, Inc. Minnesota.

Ruusunen, M., Vainionpaa, J., Puolanne, E., Marika, L., Lahteenmaki, L., Niemisto, M. and Ahvenainen, R. 2003. Physical and sensory properties of low-salt phosphate-free frankfurthers composed with various ingredients. Meat Sci. 63: 9-16.

Salvador, A. Sanz. T. and Fiszman, S. 2002. Effect of corn flour, salt, and leavening on the texture of fried, battered squid rings. J. Food Sci. 67: 730-733.

Sanchez, V.E., Bartholomai, G.B. and Pilosof, A.M.R. 1995. Rheological properties of food gums as related to their water binding capacity and to soy protein interaction. Lebensm-Wiss. U.-Technol. 28: 380-385.

Sanz, T., Salvador, A. and Fiszman, S.M. 2004a. Effect of concentration and temperature on properties of methylcellulose-added batters; Application to battered, fried seafood. Food Hydrocolloids. 18: 127-131.

Sanz, T., Salvador, A. and Fiszman, S.M. 2004b. Innovative method for preparation a frozen, battered food without a prefrying step. Food Hydrocolloids. 18: 227-231.

Schnell, P.G. 1976. Method to improve the physical organoleptical and functional properties of flour-based products through the use of yeast and product of said method. US. Patent 3,997,673

Shahidi, F. 2001. Headspace volatile aldehydes as indicators of lipid oxidation in food. *In* Headspace Analysis of Foods and Flavors. (Rouseff, R.L. and Cadwallader, K.R., eds.), Kluwer Academic/Plenum Publishers, p113-122.

Shih, F. and Daigle, K. 1999. Oil uptake properties of fried batters from rice flour.J. Agric. Food Chem. 47: 1611-1615.

Shukla, T.P. 1993. Batters and breadings for traditional and microwavable foods. Cereal Foods World. 38: 701-702.

Singh, R.P. 1995. Heat and mass transfer in foods during deep-fat frying. Food Technol. 49(4): 134-137.

Specialchem. 2005. Rheology additives(online). Available: www.specialchem4coatings.com/tc/rheology/index.aspx. [6 March 2005].

Sriket, P., Benjakul, S., Visessanguan, w., Kijroongrojana, K. 2007. Comparative studies on chemical omposition and thermal propertes of black tiger shrimp (Penaeus monodon) and white shrimp (*Penaeus Vannamei*) meats. Food Chem. 103: 1199-1207.

Suderman, D.R. and Cunningham, F.E. 1983. *In* Batter and Breading. (D.R. Suderman, eds.). Avi publishing company. Westport.

Sulaeman, A., Giraud D.W., Keeler, L., Taylor, S.L. and Driskell, J.A. 2004. Effect of moisture content of carrot slices on the fat content, carotenoid content, and sensory characteristics of deep-fried carrot Chips. J. Food Sci. 69: 450-454.

Taki, G.H. 1991. Functional ingredient blend produces low-fat meat products to meet consumer expectations. Food Technol. 45(11): 70-74.

Thai Packaging Center. 1990. Handbook of Packaging: Use of plastic in Packaging. Thailand Institute of Scientific and Technological Research. Bangkok.

Tokur, B., Ozkütük, S., Atici, E., Ozyurt, G. and Ozyurt, C.E. 2006. Chemical and sensory quality changes of fish fingers, made from mirror carp (*Cyprinus carpio L.*, 1758), during frozen storage (-18°C). Food Chem. 99: 335-341.

Trius, A., Sebranek, J.G., Rust, R.E., and Carr, J.M. 1994. Carrageenans in beaker sausages as affected by pH and sodium tripolyphosphate. J. Food Sci. 59: 946-951.

Trout, G.R. Chen, C.M. and Dale, S. 1990. Effect of calcium carbonate and sodium alginate on the texture characteristics, color and color stability of restructured pork chops. J. Food Sci. 55: 38-42.

Troutt, E.S. Hunt, M.C., Johnson, D.E., Claus, J.R., Kastner, C.L. and Kropf, D.H. Characteristics of low-fat ground beef containing texture-modifying ingredients. J. Food Sci. 57:19-24.

Ufheil, G. and Esche,r F. 1996. Dynamics of oil uptake during deep-fat frying of potato slices. Lebensm-Wiss. U.-Technol. 29: 640-644.

Velde, F. and Ruiter, G.A. 2005. Carrageenan. *In* Polysaccharides and Polyamides in The Food Industry. (A. Steinbuchel and S.K. Rhee, eds.) p.1-30. Wiley-VCH. Weinheim.

Verma, S.P. and Sahoo, J. 2000. Improvement in the quality of ground chevon during refrigerated storage by tocopherol acetate preblending. Meat Sci. 56: 403-413.

Vickers, Z. and Bourne, M.C. 1976. Crispness in food. J. Food Sci. 41: 1153.

Wikipedia Foundation, Inc. 2006. Hamburger. (online) Available: http://en.wikipedia.org/wiki/Hamburger. [20 March, 2007].

William, R. and Mittal, G.S. 1999a. Low fat fried food with edible coatings: Modeling and simulation. J. Food Sci. 64: 317-322.

William, R. and Mittal, G.S. 1999b. Water and fat transfer properties of polysaccharide films on fried pastry mix. Lebensm-Wiss. U.-Technol. 32: 440-445.

Wurzburg, O.B. 1972. Starch in the food industry. *In* CRC Handbook of Food Additives. (T.E. Furia, ed.) p.361-395. CRC Press, Inc. Ohio.

Xiong, Y.L., Noel, D.C. and Moody, W.G. 1999. Texture and sensory properties of low fat beef sausages with added water and polysaccharides as affected by pH and salt. J. Food Sci. 64: 550-554.

Xue, J. and Ngadi, M. 2006. Rheologinal properties of batter systems formulated using different flour combinations. J. Food Eng. 77: 334-341.

Yang, C.S. and Chen, T.C. 1979. Yields of deep-fat fried chicken parts as affected by preparation, frying conditions and shortening. J. Food Sci. 44: 1074-1092.

Yuguchi, Y. Urakawa, H and Kajiwara,K. 2003. Structure characteristics of carrageenan gels: various types of counter ions. Food Hydrocolliods. 17: 481-485.

Zamora, A. 2009. Fats, Oil, fatty acids, Triglycerides (Online). Avaible

Zerrilla, S.E., Rovedo, C.O. and Singh, R.P. 2000. A new approach to correlate textural and cooking parameters with operating conditions during double-sided cooking of meat patties. J. Text. Stud. 31:499-523.

ภาคผนวก

ภาคผนวก ก การวิเคราะห์ค่าทางกายภาพ

ก1. การวัดค่าสีโดยใช้เครื่องวัดค่าสี

อุปกรณ์

1. เครื่องวัดค่าสี ยี่ห้อ Hunter Lab รุ่น Color Flex

วิธีการ

1. เปิดเครื่องคอมพิวเตอร์และเลือกโปรแกรมสำเร็จรูป
2. ทำการ calibrate เครื่องวัดค่าสีด้วยแผ่นสีมาตรฐาน ดังนี้
   2.1 เลือก standardize แล้วเลือกขนาด Port 0.5 นิ้ว
   2.2 วางแผ่นสีมาตรฐานสีดำ โดยวางด้านสีดำมันลงบน
   2.3 วางแผ่นสีมาตรฐานสีขาว โดยให้จุดสีขาวบนแผ่นสีอยู่กึ่งกลาง Port
3. กำหนดค่าในการวัด โดยเลือก active view
   3.1 scale เลือก CIE Lab เพื่อให้เครื่องวัดค่าสีในระบบ Hunter Lab (ค่าที่วัดได้จะเป็นค่า L* a* และ *)
   3.2 เลือกค่าแหล่งกำเนิดแสง (Illuminant) และค่าแหล่งแสงอ้างอิง (MI Illuminant) เท่ากับ D65
4. วางตัวอย่าง (ตัดแบ่งชิ้นเบอร์เกอร์ออกเป็น 8 ส่วน) ลงบน Port
5. ใช้ฝาครอบปิดตัวอย่างเพื่อมิให้แสงรบกวนจากภายนอก
6. เริ่มวัดค่าสีโดยเลือก read sample และรอจนเครื่องอ่านค่าเสร็จ

ก2. การวัดค่าเนื้อสัมผัส Texture Profile Analysis (TPA) (Huidobro *et al.*, 2005)

อุปกรณ์

1. เครื่องวัดเนื้อสัมผัส ยี่ห้อ Texture Analyzer รุ่น TA-XT2i
2. หัววัด cylinder ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 5 มิลลิเมตร (P/50)
3. เครื่องคอมพิวเตอร์พร้อมโปรแกรมสำเร็จรูป

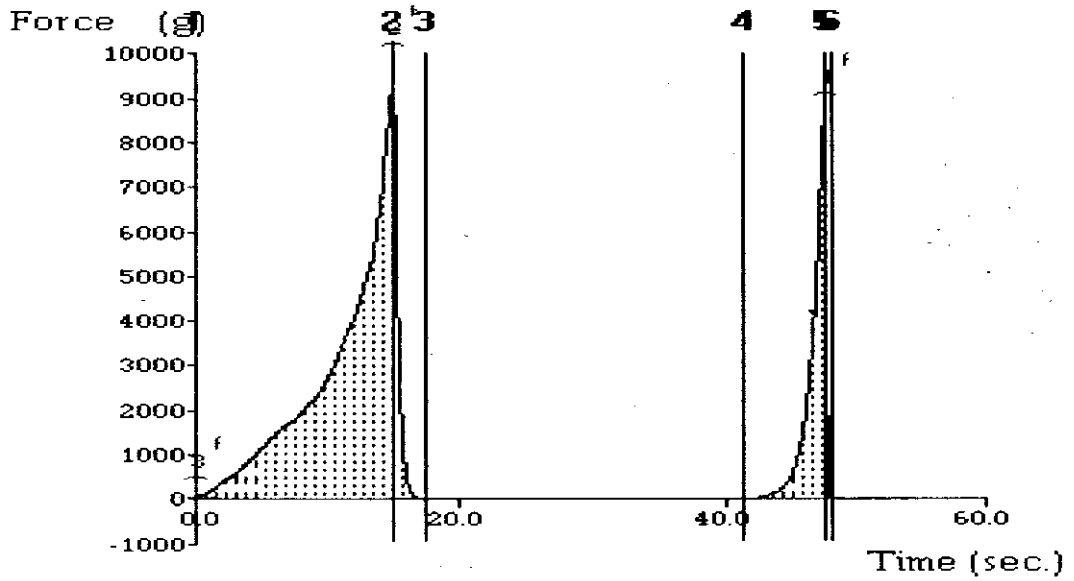
วิธีการ

1. เปิดเครื่องวัดลักษณะเนื้อสัมผัสและคอมพิวเตอร์ และเลือกโปรแกรมสำเร็จรูป
2. ทำการ calibrate เครื่องวัดลักษณะเนื้อสัมผัส โดยใช้ลูกตุ้มน้ำหนัก 5 กิโลกรัม Load cell ขนาด 25 kN.

3. ติดตั้งหัววัด (cylinder probe P/50) และวางฐานตัวอย่างบนเครื่องวัดลักษณะเนื้อสัมผัส แล้วทำการ calibrate หัววัด

4. เลือก T.A. setting เพื่อตั้งสภาวะของเครื่องวัดลักษณะเนื้อสัมผัส โดยใช้ pre-test speed, test-speed และ post-test speed เท่ากับ 3 1 และ 3 มิลลิเมตรต่อวินาที ตามลำดับ และกดลงตามความสูงของชิ้นตัวอย่างร้อยละ 75 ตามโปรแกรมการวัดค่า Texture Profile Analysis ที่ต้องกดตัวอย่าง 2 ครั้ง

5. วางชิ้นตัวอย่าง (ตัดแบ่งชิ้นเบอร์เกอร์ออกเป็น 8 ส่วน) ลงบนฐานวัด แล้วเลือก run a test เพื่อวัดค่า และรายงานผลเป็นค่าความแข็ง (hardness, ได้จากค่าแรงสูงสุดที่อ่านได้จากการกดครั้งที่ 1) ค่าการแตกหัก (fracturability, ได้จากค่าแรงตรงยอดแหลมแรกของกราฟ) ค่าการยึดเกาะ (adhesiveness, ได้จากพื้นที่ใต้กราฟที่เกิดขึ้นหลังจากถอนแรงออกจากตัวอย่าง) ค่าความยืดหยุ่น(springiness, ได้จากอัตราส่วนของระยะทางที่เกิดขึ้นตามแนวแกนเวลาของกราฟในขณะกดครั้งที่ 2 หารด้วยขณะกดครั้งที่ 1) ค่าการยึดติด (cohesiveness, ได้จากอัตราส่วนของพื้นที่ใต้กราฟจากการกดครั้งที่ 1 หารด้วยจากการกดครั้งที่ 2) ค่าความเหนียวคล้ายยาง (gumminess, ได้จากการคูณของค่าความแข็งกับค่าการยึดติด) และค่าแรงในการบดเคี้ยว (chewiness, ได้จากผลคูณของค่าความแข็ง ค่าการยึดติดและค่าความยืดหยุ่น) (รุ่งนภา พงศ์สวัสดิ์มานิต, 2550)



ภาพภาคผนวก ก2. กราฟแสดงลักษณะเนื้อสัมผัสของผลิตภัณฑ์เบอร์เกอร์กุ้งชุบแป้งทอด

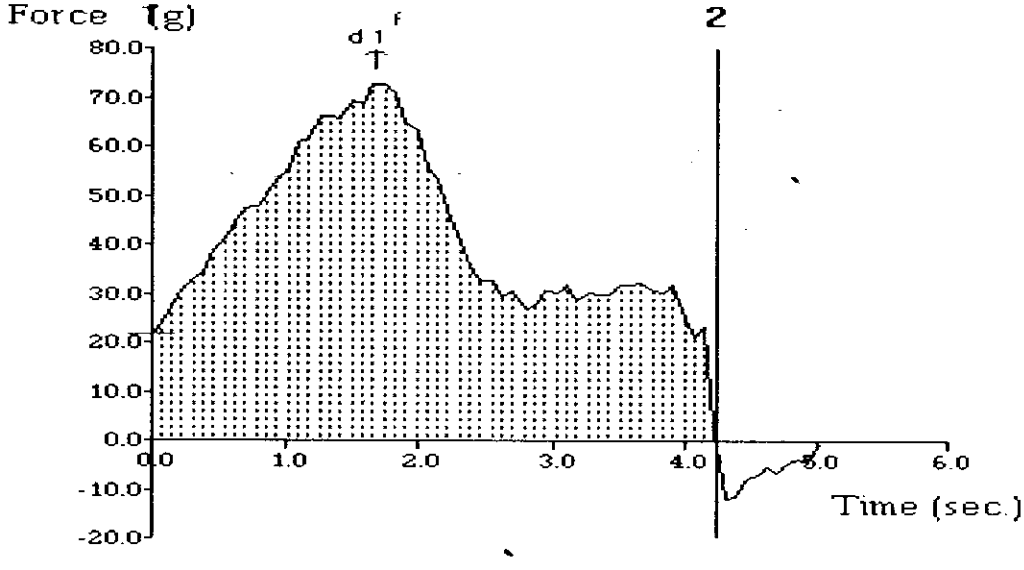
ก3. การวัดค่าความกรอบ (Sanz *et al.*, 2004a)

อุปกรณ์

1. เครื่องวัดเนื้อสัมผัส ยี่ห้อ Texture Analyzer รุ่น TA-XT2i
2. หัววัด cylinder ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 2 มิลลิเมตร (P2)
3. เครื่องคอมพิวเตอร์พร้อมโปรแกรมสำเร็จรูป

วิธีการ

1. เปิดเครื่องวัดลักษณะเนื้อสัมผัสและคอมพิวเตอร์ และเลือกโปรแกรมสำเร็จรูป
2. ทำการ calibrate เครื่องวัดลักษณะเนื้อสัมผัส โดยใช้ลูกตุ้มน้ำหนัก 5 กิโลกรัม Load cell ขนาด 25 kN.
3. ติดตั้งหัววัด (cylinder probe P2) และวางฐานตัวอย่างบนเครื่องวัดลักษณะเนื้อสัมผัส แล้วทำการ calibrate หัววัด
4. เลือก T.A. setting เพื่อตั้งสภาวะของเครื่องวัดลักษณะเนื้อสัมผัส โดยใช้ cross head speed เท่ากับ 1 มิลลิเมตรต่อวินาที
5. วางชิ้นตัวอย่าง(ใช้เบอร์เกอร์ทั้งชิ้น) ลงบนฐานวัด แล้วเลือก run a test เพื่อวัดค่า โดยให้หัววัดทำการวัดชิ้นตัวอย่างที่ตำแหน่งที่มีระยะห่างจากขอบเบอร์เกอร์ประมาณ 1 เซนติเมตร และรายงานผลเป็นค่าแรงสูงสุด (force) ที่ได้ ($d1^f$) ดังแสดงในภาพภาคผนวก ก3.



ภาพภาคผนวก ก3. กราฟแสดงค่าความกรอบของผลิตภัณฑ์เบอร์เกอร์กุ้งชุบแป้งทอด

ก4. การวัดความหนืดของแป้งชุบโดยใช้ Brookfield รุ่น DVII$^+$ (ดัดแปลงจาก Lane et al., 1985)

อุปกรณ์

1. เครื่องวัดความหนืด Brookfield รุ่น DVII$^+$
2. เข็มวัดความหนืดเบอร์ 2

วิธีการ

1. นำแป้งชุบอุณหภูมิประมาณ 10-15 องศาเซลเซียสใส่บีกเกอร์ขนาด 250 มิลลิลิตร
2. จุ่มเข็มวัดความหนืดเบอร์ 2 ลงในตัวอย่างแป้งชุบ และทำการเลือกความเร็วรอบให้เท่ากับ 20 rpm
3. บักทึกค่าความหนืดซึ่งมีหน่วยเป็น cPs

ก5. การวัดปริมาณการเคลือบของแป้งชุบ (Salvador *et al.*, 2002)

อุปกรณ์

1. เครื่องชั่งไฟฟ้าอย่างละเอียด

วิธีการ

1. นำชิ้นเบอร์เกอร์ที่ได้จากขั้นตอนการชั่งน้ำหนัก (ชิ้นละ 50±5 กรัม) และขึ้นรูปแล้วมาชั่งน้ำหนักที่แน่นอน
2. ทำการคลุกแป้งฝุ่นและชุบแป้งแล้วนำมาชั่งน้ำหนักอีกครั้ง

การคำนวณ

$$\text{ปริมาณการเคลือบ (ร้อยละ)} = \frac{(I - B) \times 100}{B}$$

กำหนดให้ B คือ น้ำหนักของชิ้นเบอร์เกอร์หลังขึ้นรูป

I คือ น้ำหนักของชิ้นเบอร์เกอร์หลังชุบแป้ง

ก6. การวิเคราะห์ค่า Expressible drip loss

อุปกรณ์

1. ตุ้มน้ำหนักขนาด 5 kg
2. กระดาษกรองเบอร์ 1 ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 12 ซม.
3. จานเลี้ยงเชื้อ

วิธีการ

1. แบ่งเบอร์เกอร์กุ้งแช่เยือกแข็งที่มีอุณหภูมิห้องเป็น 8 ชิ้นเท่าๆกันแล้วชั่งน้ำหนักแต่ละชิ้น
2. วางชิ้นตัวอย่างบนกระดาษกรอง 3 แผ่น และวางกระดาษกรองอีก 2 แผ่นด้านบนชิ้นตัวอย่าง แล้วนำจานเลี้ยงเชื้อมาวางทับไว้
3. วางตุ้มน้ำหนักบนจานเลี้ยงเชื้อไว้ 2 นาที แล้วชั่งน้ำหนักชิ้นตัวอย่าง

คำนวณค่า Expressible drip loss จากสูตร

$$\text{Expressible drip loss \%} = \frac{\text{น้ำหนักก่อนชั่ง - น้ำหนักหลังชั่ง}}{\text{น้ำหนักก่อนชั่ง}} \times 100$$

ภาคผนวก ข การวิเคราะห์ค่าทางเคมี

ข1. การวิเคราะห์ปริมาณไขมัน (A.O.A.C., 2000)

อุปกรณ์

1. อุปกรณ์ชุดสกัดไขมัน (soxhlet apparatus) ประกอบด้วย ขวดก้นกลมใส่ตัวทำละลาย ซอคเลต (soxhlet) เครื่องควบแน่น (condenser) และเตาให้ความร้อน (heating mantle)
2. หลอดใส่ตัวอย่าง (extraction thimble)
3. ตู้อบไฟฟ้าอุณหภูมิ
4. โถดูดความชื้น
1. เครื่องชั่งไฟฟ้าอย่างละเอียด

วิธีการ

1. อบขวดก้นกลมสำหรับหาปริมาณไขมันซึ่งมีขนาดความจุ 250 มิลลิลิตรในตู้อบไฟฟ้าที่อุณหภูมิ 105±2 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 3 ชั่วโมงนำออกจากตู้อบใส่ไว้ในโถดูดความชื้น ปล่อยทิ้งไว้จนกระทั่งอุณหภูมิของขวดก้นกลมลดลงเท่ากับอุณหภูมิห้องแล้วชั่งน้ำหนัก
2. ทำซ้ำเช่นข้อที่ 1 จนได้ผลต่างของน้ำหนักที่ชั่งสองครั้งติดต่อกันไม่เกิน 1-3 มิลลิกรัม
3. ชั่งตัวอย่างอาหารบนกระดาษกรองที่ทราบน้ำหนักประมาณ 1-2 กรัม ห่อให้มิดชิดแล้วใส่ลงในหลอดสำหรับใส่ตัวอย่าง คลุมด้วยสำลี เพื่อให้สารละลายมีการกระจายอย่างสม่ำเสมอ
4. นำตัวอย่างใส่ลงในซอคเลต เติมสารละลายปิโตรเลียมอีเทอร์ลงในขวดก้นกลมหาไขมัน ปริมาตร 150 มิลลิลิตร แล้ววางบนเตาให้ความร้อน
5. ทำการสกัดไขมันเป็นเวลา 14 ชั่วโมง โดยปรับเตาความร้อนให้หยดของสารทำละลายกลั่นตัวจากอุปกรณ์ควบแน่นด้วยอัตรา 150 หยดต่อนาที
6. เมื่อครบ 14 ชั่วโมง นำหลอดใส่ตัวอย่างออกจากซอตเลต และกลั่นเก็บสารทำละลายจนเหลือสารทำละลายในขวดก้นกลมเพียงเล็กน้อยด้วยเครื่องระเหยตัวทำละลาย
7. นำขวดหาไขมันไปอบในตู้อบไฟฟ้าที่อุณหภูมิ 105±2 องศาเซลเซียส จนแห้งจึงนำออกจากตู้อบใส่ไว้ในโถดูดความชื้น ปล่อยทิ้งไว้จนกระทั่งอุณหภูมิของขวดก้นกลมลดลงเท่ากับอุณหภูมิห้องแล้วชั่งน้ำหนัก

8. ทำซ้ำเช่นข้อที่ 7 จนได้ผลต่างของน้ำหนักที่ชั่งสองครั้งติดต่อกันไม่เกิน 1-3 มิลลิกรัม

การคำนวณ

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

กำหนดให้ W_1 คือ น้ำหนักตัวอย่างเริ่มต้น (กรัม)

W_2 คือ น้ำหนักไขมันหลังอบ (กรัม)

ข2. การวิเคราะห์ปริมาณความชื้น (A.O.A.C., 2000)

อุปกรณ์

2. ตู้อบไฟฟ้าอุณหภูมิ
3. ภาชนะหาความชื้น
4. โถดูดความชื้น
5. เครื่องชั่งไฟฟ้าอย่างละเอียด

วิธีการ

1. อบภาชนะสำหรับหาความชื้นในตู้อบไฟฟ้าที่อุณหภูมิ 105±2 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 3 ชั่วโมงนำออกจากตู้อบใส่ไว้ในโถดูดความชื้น ปล่อยทิ้งไว้ให้เย็นแล้วชั่งน้ำหนัก

2. ทำซ้ำเช่นข้อที่ 1 จนได้ผลต่างของน้ำหนักที่ชั่งสองครั้งติดต่อกันไม่เกิน 1-3 มิลลิกรัม

3. ชั่งตัวอย่างอาหารที่ต้องการหาความชื้นให้ได้น้ำหนักที่แน่นอน ประมาณ 1-2 กรัม ใส่ลงในภาชนะหาความชื้นซึ่งทราบน้ำหนักแล้ว

4. นำไปอบในตู้อบไฟฟ้าที่อุณหภูมิ 105±2 องศาเซลเซียส นาน 5-6 ชั่วโมง นำออกจากตู้อบใส่ไว้ในโถดูดความชื้น ปล่อยทิ้งไว้จนกระทั่งอุณหภูมิของภาชนะลดลงเท่ากับอุณหภูมิห้องแล้วชั่งน้ำหนักภาชนะพร้อมตัวอย่างนั้น จกานั้นนำกลับไปเข้าตู้อบอีก

5. ทำซ้ำเช่นข้อที่ 4 จนได้ผลต่างของน้ำหนักที่ชั่งสองครั้งติดต่อกันไม่เกิน 1-3 มิลลิกรัม

การคำนวณ

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

กำหนดให้ W_1 คือ น้ำหนักตัวอย่างก่อนอบ (กรัม)

W_2 คือ น้ำหนักตัวอย่างหลังอบ (กรัม)

ข3. การสกัดไขมัน (Bligh and Dyer, 1959)

อุปกรณ์

1. เครื่องโฮโมจิไนซ์ (IKA Labortechnik homogenizer, Selangor, Malaysia)
2. กรวยแยก (Separating flask)
3. เครื่องระเหยสุญญากาศ (EYELA rotary evaporator N-100, Tokyo, Japan)
4. ถังก๊าซไนโตรเจน

วิธีการ

1. ชั่งตัวอย่างเบอร์เกอร์แช่เยือกแข็ง 25 กรัม เติมสารละลายที่ประกอบด้วยคลอโรฟอร์ม : เมธานอล : น้ำกลั่น (50:100:50) ปริมาณ 200 มล. แล้วโฮโมจิไนซ์ที่ความเร็ว 9,500 รอบต่อนาที เป็นเวลา 2 นาที
2. เติมสารละลายคลอโรฟอร์ม 50 มล. แล้วโฮโมจิไนซ์ที่ความเร็ว 9,500 รอบต่อนาที เป็นเวลา 1 นาที
3. เติมน้ำกลั่น 25 มล. แล้วโฮโมจิไนซ์ที่ความเร็ว 9,500 รอบต่อนาที เป็นเวลา 30 วินาที แล้วเทใส่กรวยแยก
4. แยกชั้นของคลอโรฟอร์มโดยกรองผ่านกระดาษกรองเบอร์ 4 ใส่ในขวดรูปชมพู่
5. ระเหยคลอโรฟอร์มด้วยเครื่องระเหยสุญญากาศที่ 25 °C แล้วเป่าก๊าซไนโตรเจน 15 นาที

ข4. การวิเคราะห์ปริมาณ Conjugated diene (CD) (Frankel and Huang, 1996)

อุปกรณ์

1. เครื่อง spectrophotometer (UV-1601, Shimadzu, Japan)

วิธีการ

1. ชั่งน้ำมันสกัด 0.1 กรัม เติมสารละลาย iso-octane 5 มล.
2. วัดค่าการดูดกลืนแสงที่ 234 nm.

ข5. การวิเคราะห์ค่า p-anisidine (AOCS, 1994)

อุปกรณ์

1. เครื่อง spectrophotometer (UV-1601, Shimadzu, Japan)

วิธีการ

1. ชั่งตัวอย่างน้ำมันสกัด 0.5 – 4.0 กรัม ในขวดปรับปริมาตรขนาด 25 มล. แล้วปรับปริมาตรด้วย iso-octane
2. วัดค่าการดูดกลืนแสงที่ 350 nm. (Ab) โดยใช้ iso-octane เป็น blank
3. ดูดสารละลายจากข้อ 1 มา 5 มล. ใส่ในหลอดทดลองที่ 1 และดูด iso-octane ใส่หลอดที่ 2
4. เติมสารละลาย ρ - anisidine 1 มล. ทั้ง 2 หลอด (ใช้ ρ - anisidine 2.5 กรัม/ลิตร ใน glacial acetic acid) เขย่าแล้ววางทิ้งไว้ 10 นาที
5. นำหลอดที่ 1 มาวัดค่าการดูดกลืนแสงที่ 350 nm. (As) โดยใช้หลอดที่ 2 เป็น blank

คำนวณค่า ρ - anisidine จากสูตร

$$\rho \text{ - anisidine} = \frac{25 \times (1.2As - Ab)}{m}$$

เมื่อ As คือ ค่าการดูดกลืนแสงของตัวอย่างน้ำมันสกัดหลังจากทำปฏิกิริยากับ ρ - anisidine

Ab คือ ค่าการดูดกลืนแสงของตัวอย่างน้ำมันสกัด

m คือ น้ำหนัก (กรัม) ของตัวอย่างน้ำมันสกัด

ข6. การวิเคราะห์ค่า TBARS (Buege and Aust, 1978)

อุปกรณ์

1. เครื่อง spectrophotometer (UV-1601, Shimadzu, Japan)
2. เครื่องโฮโมจิไนซ์ (IKA Labortechnik homogenizer, Selangor, Malaysia)
3. เครื่องหมุนเหวี่ยง (RC-5B plus centrifuge, Sorwell, Norwalk, CT, USA)

วิธีการ

1. ชั่งตัวอย่างเบอร์เกอร์กุ้งชุบแป้งทอด 0.5 กรัม แล้วโฮโมจิไนส์ด้วยสารละลาย TBA ซึ่งประกอบด้วย Thiobarbituric acid 0.375% Trichloroacetic acid 15% และ HCl 0.25 N
2. ต้มสารละลายผสมในน้ำเดือดเป็นเวลา 10 นาที
3. ทำให้เย็นโดยน้ำไหล
4. เหวี่ยงแยกสารละลายที่ความเร็วรอบ 3,600 xg ที่ 25 องศาเซลเซียส นาน 20 นาที
5. นำส่วนใสมาวัดค่าการดูดกลืนแสงที่ 532 nm. โดยเปรียบเทียบกับกราฟมาตรฐาน (0.1.2.3.4 และ 5 μg/ml) รายงานค่า TBARS เป็น mg malonaldehyde / kg sample

ข7. การวิเคราะห์ค่ากรด (AOAC, 1994)

อุปกรณ์

1. อุปกรณ์ที่ใช้ในการไตเตรต

วิธีการ

1. ชั่งตัวอย่างน้ำมันสกัด 1 กรัม เติมสารละลายเอธานอลที่ทำให้เป็นกลาง 50 มล. เขย่าแรงๆ จนน้ำมันละลาย
2. หยดฟีนอฟทาลีนแล้วไตเตรตด้วยสารละลาย NaOH 0.01 N ที่ทราบความเข้มข้นแน่นอน(หาความเข้มข้นที่แน่นอนด้วยการ standardize กับ potassium acid phthalate) เขย่าจนได้สารละลายสีชมพูคงอยู่ประมาณ 1 นาที
3. คำนวณค่ากรดจากสูตร

$$A.V. = \frac{56.1 \times NaOH\ (ml) \times NaOH\ concentration\ (N)}{Oil\ (g)}$$

เมื่อ A.V. คือ ค่ากรด

NaOH (ml) คือ ปริมาณสารละลาย NaOH ที่ใช้ในการไตเตรต

NaOH concentration (N) คือ ความเข้มข้นที่แน่นอนของสารละลาย NaOH

ภาคผนวก ค เกณฑ์มาตรฐานคุณภาพทางจุลชีววิทยา

ตารางภาคผนวก ค1. เกณฑ์มาตรฐานคุณภาพทางจุลชีววิทยาของอาหารในหัวข้ออาหารปรุงสุกแล้วแช่แข็งที่ต้องอุ่นก่อนบริโภค

Appendix table C1. Standard of microorganism content of cooked and frozen food

Microorganism	Content
Total Viable Count (CFU/g)	$< 1 \times 10^5$
Coliform (MPN/g)	< 100
Escherichia coli (MPN/g)	< 3
Staphylococcus aureus (MPN/g)	< 50
Bacillus cereus (CFU/g)	< 50
Clostridium perfringens/0.1 g	Negative
Salmonella sp./25 g	Negative
Vibrio cholerae/25 g	Negative

ที่มา: กรมวิทยาศาสตร์การแพทย์ กระทรวงสาธารณสุข (2545)

ภาคผนวก ง วิธีการและตัวอย่างมาตรฐานที่ใช้ในการฝึกฝนผู้ทดสอบชิม (ดัดแปลงจาก International Standard ISO 8586-1, 1993; ASTM Special Technical Publication 758, 1981; Meilgaard, 1999)

วิธีการคัดเลือกผู้ทดสอบชิม

1. ทำการทดสอบทางประสาทสัมผัสเพื่อคัดเลือกผู้ทดสอบที่สามารถแยกแยะความแตกต่างในคุณลักษณะที่ต้องการทดสอบของตัวอย่างได้ โดยทำการทดสอบชิมตัวอย่างเบอร์เกอร์กุ้งชุบแป้งทอดที่มีคุณลักษณะแตกต่างกัน 4 สูตร สูตรละ 2 ซ้ำ แล้วให้คะแนนความเข้มในคุณลักษณะต่างๆ ของตัวอย่างทั้ง 8 สูตรการทดลอง

2. คัดเลือกผู้ทดสอบที่มีคะแนนเฉลี่ยไม่แตกต่างกันและมีค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน (standard deviation) ต่ำ มาเป็นผู้ทดสอบที่จะเข้ารับการฝึกฝน

วิธีการและตัวอย่างมาตรฐานที่ใช้ในการฝึกฝนผู้ทดสอบที่ผ่านการคัดเลือก

1. อธิบายวัตถุประสงค์ บทบาทของผู้ทดสอบ วิธีการที่นำมาใช้ในการทดสอบ คำนิยามและขั้นตอนของการประเมินคุณลักษณะต่างๆ ของผลิตภัณฑ์เบอร์เกอร์กุ้งชุบแป้งทอดที่จะทำการประเมินให้ผู้ทดสอบทราบและทำความเข้าใจให้ตรงกัน

2. ทำการฝึกฝนให้ผู้ทดสอบมีความชำนาญ โดยใช้ตัวอย่างมาตรฐานซึ่งเป็นตัวอย่างเบอร์เกอร์กุ้งชุบแป้งทอดที่ได้จากการนำสูตรจำลองมาปรับส่วนผสมและวิธีการผลิตเพื่อให้ได้ตัวอย่างที่มีคุณลักษณะต่างๆ แตกต่างกันไป ดังแสดงในตารางภาคผนวกที่ ง1. – ง3.

3. ให้ผู้ทดสอบช่วยกันกำหนดคะแนนของตัวอย่างมาตรฐานและทำการทดสอบชิมตัวอย่างมาตรฐานดังกล่าวซ้ำหลายๆ ครั้งเพื่อให้ผู้ทดสอบมีความแม่นยำในการประเมินมากขึ้น

4. ทำการประเมินความแม่นยำของผู้ทดสอบในการฝึกฝนแต่ละครั้งโดยการทดสอบชิมตัวอย่างเบอร์เกอร์กุ้งชุบแป้งทอด 2 สูตร (blind test)

5. ทำการฝึกฝนและทดสอบความแม่นยำจนผู้ทดสอบแต่ละคนมีคะแนนเฉลี่ยไม่แตกต่างกันมากหรือมีค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานต่ำและมีแนวโน้มการให้คะแนนเป็นไปในทิศทางเดียวกันหรือไม่มีความสัมพันธ์ (interaction) ระหว่างผู้ทดสอบกับตัวอย่างที่ใช้ (ตารางภาคผนวก ง 4. และ ง5.)

6. ในการทดสอบทางประสาทสัมผัสของผลิตภัณฑ์เบอร์เกอร์ในแต่ละขั้นของงานวิจัยจะทำการฝึกฝนซ้ำติดต่อกันก่อนอย่างน้อย 4 ครั้ง (ประมาณ 2 วัน วันละ 2 ครั้ง)

ตารางภาคผนวก ง1. ตัวอย่างมาตรฐานที่ใช้ในการฝึกฝนผู้ทดสอบชิมด้านคุณลักษณะความฉ่ำน้ำ

Treatment	Moisture content (%)	Juiciness score*		
		1st step	2nd step	3rd step
SJ 1	49.99±0.86	4	5	5
SJ 2	59.51±1.45	11	12	12

Note: * Scale = 15, 0 = none, 15 = the highest intensity

1st step is the softness of sample at first bite, 2nd step is the feeling of moist or wet of sample or moist released from sample during 6-8 chews, and 3rd step is the smoothness during swallowing.

Mean ± SD of triplicate determinations.

ตารางภาคผนวก ง2. ตัวอย่างมาตรฐานที่ใช้ในการฝึกฝนผู้ทดสอบชิมด้านคุณลักษณะความกรอบ

Treatment	Moisture content (%)	Crispiness Score*	
		Loudness	Crispness during chewing
SC 1	55.69±0.83	2	3
SC 2	50.71±0.45	10	12

Note: * Scale = 15, 0 = none, 15 = the highest intensity

Mean ± SD of triplicate determinations.

ตารางภาคผนวก ง3. ตัวอย่างมาตรฐานที่ใช้ในการฝึกฝนผู้ทดสอบชิมด้านคุณลักษณะการอมน้ำมัน

Treatment	Moisture content (%)	Fat content (%)	Oiliness Score*	
			Appearance	Oiliness**
SO 1	55.69±0.83	12.25±0.14	3	4
SO 2	55.87±0.51	16.76±0.27	12	12

Note: * Scale = 15, 0 = none, 15 = the highest intensity

** Oiliness during chewing coating without burger

Mean ± SD of triplicate determinations.

ตารางภาคผนวก ง4. ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานของคะแนนความฉ่ำน้ำระหว่างการฝึกฝนผู้ทดสอบชิม

Test	Sample	SD of juiciness score		
		1st step	2nd step	3rd step
1	A	1.96	1.97	2.04
	B	1.82	1.30	1.49
2	C	1.42	1.43	1.45
	D	1.26	1.06	1.21

ตารางภาคผนวก ง5. ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานของคะแนนความกรอบและการอมน้ำมันระหว่างการฝึกฝนผู้ทดสอบชิม

Test	Sample	SD of crispness and oiliness score			
		Crispiness Score		Oiliness Score	
		Loudness	Crispy during chewing	Appearance	Oiliness*
1	A	1.64	1.39	1.78	1.50
	B	1.54	1.50	2.20	2.05
2	C	1.81	1.63	2.65	2.33
	D	1.58	1.64	2.18	1.69

Note: * Oiliness during chewing coating without burger

ภาคผนวก จ การทดสอบคุณภาพทางประสาทสัมผัส

จ1. แบบฟอร์มที่ใช้ในการสัมภาษณ์เชิงลึกผู้บริโภคชาวต่างชาติเพื่อสร้างแนวความคิดผลิตภัณฑ์

Questionnaire

Date..... ID.....

PART I:

The burger contains ground shrimp (White shrimp), egg, bread crumb, salt, pepper, onion, mustard and parmesan cheese.

Are you allergic to Shrimp? ❍ Yes ❍ No

Age..... Gender..... Country of Residence.....

How long have you been in Thailand for this trip? .....

PART II:

What are the good attributes in this battered shrimp burger?

.....

.....

.....

.....

What are the bad things that you don't want in this burger?

.....

.....

.....

.....

Thank you very much for your participation and your kind help to our research.

จ2. แบบทดสอบคุณภาพทางประสาทสัมผัสด้านความฉ่ำน้ำของผลิตภัณฑ์เบอร์เกอร์กุ้งชุบแป้งทอด

ชื่อผู้ทดสอบ.....วันที่.....เวลา.....ID.....

คำแนะนำ: กรุณาทดสอบผลิตภัณฑ์เบอร์เกอร์กุ้งชุบแป้งทอด แล้วขีดระดับความเข้มในด้านความฉ่ำน้ำทั้งสามขั้นตอนลงบนเส้น โดยกำหนดคำนิยามของความฉ่ำ ดังนี้

ความฉ่ำน้ำของผลิตภัณฑ์เบอร์เกอร์กุ้งชุบแป้งทอด คือ ความรู้สึกว่ามีน้ำออกมาจากตัวอย่างหรือรู้สึกว่าตัวอย่างเปียก แฉะ หรือรู้สึกเย็นๆที่ลิ้น ขณะกลืนรู้สึกลื่นคอ ไม่ฝืดคอ ไม่ติดคอ กลืนง่าย โดยการประเมินความฉ่ำของผลิตภัณฑ์มี 3 ขั้นตอน คือ

1. ขณะกัดชิ้นอาหาร
2. ขณะเคี้ยว 6-8 ครั้ง
3. ขณะกลืน

รหัสตัวอย่าง.....

1. ความฉ่ำน้ำที่ประเมินจากความนุ่มของผลิตภัณฑ์ขณะกัดชิ้นอาหาร

น้อย มาก

2. ความฉ่ำน้ำที่ประเมินจากความรู้สึกว่ามีน้ำออกมาจากอาหารในระหว่างการเคี้ยว 6-8 ครั้ง

น้อย มาก

3. ความฉ่ำน้ำที่ประเมินได้จากความรู้สึกการกลืนง่ายในขณะกลืน

น้อย มาก

ข้อเสนอแนะ.....

จ3. แบบทดสอบคุณภาพทางประสาทสัมผัสด้านความกรอบและการอมน้ำมันของผลิตภัณฑ์เบอร์เกอร์กุ้งชุบแป้งทอด

ชื่อผู้ทดสอบ.....วันที่.....เวลา.....ID.....

คำแนะนำ: กรุณาทดสอบผลิตภัณฑ์เบอร์เกอร์กุ้งชุบแป้งทอด แล้วขีดระดับความเข้มในด้านความกรอบและการอมน้ำมันลงบนเส้น โดยกำหนดขั้นตอนการประเมิน ดังนี้

ความกรอบ: ประเมินจาก 2 ขั้นตอน คือ

ขั้นตอนที่ 1 ประเมินจากเสียงความกรอบเมื่อกัดและเคี้ยวผลิตภัณฑ์ใน 2 ถึง 3 คำแรก

ขั้นตอนที่ 2 ประเมินจากความกรอบของผลิตภัณฑ์ระหว่างการเคี้ยวจนกระทั่งกลืน

การอมน้ำมัน: ประเมินจาก 2 ขั้นตอน คือ

ขั้นตอนที่ 1 ประเมินจากลักษณะปรากฏ

ขั้นตอนที่ 2 ประเมินระหว่างการเคี้ยวเฉพาะส่วนของแป้งชุบทอดของผลิตภัณฑ์

รหัสตัวอย่าง.....

1. ความกรอบ: จากเสียงความกรอบเมื่อกัดและเคี้ยวผลิตภัณฑ์ใน 2 ถึง 3 คำแรก

น้อย มาก

2. ความกรอบ: จากความกรอบของผลิตภัณฑ์ระหว่างการเคี้ยวจนกระทั่งกลืน

น้อย มาก

3. การอมน้ำมัน: จากลักษณะปรากฏ

น้อย มาก

4. การอมน้ำมัน: ระหว่างการเคี้ยวเฉพาะส่วนของแป้งชุบทอดของผลิตภัณฑ์

น้อย มาก

ข้อเสนอแนะ.....

จ4. แบบทดสอบคุณภาพทางประสาทสัมผัสด้านความชอบกลิ่นรสกุ้งของผลิตภัณฑ์เบอร์เกอร์กุ้งชุบแป้งทอด

ชื่อผู้ทดสอบ.....วันที่.....เวลา.....ID.....

คำแนะนำ: กรุณาทดสอบผลิตภัณฑ์เบอร์เกอร์กุ้งชุบแป้งทอด แล้วใส่เครื่องหมาย ✓ ที่ตรงกับความรู้สึกของท่านมากที่สุด พร้อมกำกับรหัสของแต่ละตัวอย่าง

รหัส.....	○	○	○	○	○	○	○	○	○
	ชอบมาก ที่สุด	ชอบมาก	ชอบ ปานกลาง	ชอบ เล็กน้อย	เฉยๆ	ไม่ชอบ เล็กน้อย	ไม่ชอบ ปานกลาง	ไม่ชอบมาก	ไม่ชอบ มากที่สุด
รหัส.....	○	○	○	○	○	○	○	○	○
	ชอบมาก ที่สุด	ชอบมาก	ชอบ ปานกลาง	ชอบ เล็กน้อย	เฉยๆ	ไม่ชอบ เล็กน้อย	ไม่ชอบ ปานกลาง	ไม่ชอบมาก	ไม่ชอบ มากที่สุด
รหัส.....	○	○	○	○	○	○	○	○	○
	ชอบมาก ที่สุด	ชอบมาก	ชอบ ปานกลาง	ชอบ เล็กน้อย	เฉยๆ	ไม่ชอบ เล็กน้อย	ไม่ชอบ ปานกลาง	ไม่ชอบมาก	ไม่ชอบ มากที่สุด

ข้อเสนอแนะ.....

จ5. ใบยินยอมและแบบสอบถามสำหรับสัมภาษณ์ผู้บริโภคชาวยุโรปต่อผลิตภัณฑ์เบอร์เกอร์กุ้งชุบแป้งทอด

DEVELOPMENT OF FROZEN BATTERED SHRIMP BURGER

INFORMATION SHEET

Dear Potential Participants;

You are participating in a questionnaire survey related to my thesis project. The title of project is "Development of frozen battered shrimp burger for export". The objective of this questionnaire survey is to ask about your acceptance in the product. We would like you to taste two battered shrimp burgers and answer the questions. Your kind participation will approximately take 10 minutes. Any further question you may have, please feel free to ask the researcher 'Ms. Pichayana Jucmanee'.

Product description: *The burgers contain ground shrimp (White shrimp), egg, bread crumb, salt, pepper, onion, mustard and parmesan cheese. The ingredients were mixed and shaped followed by dipping in batter from flour mixture (wheat, corn and rice flour). The burgers were breaded, fried and frozen. The frozen burgers were baked with temperature 230°C 15 minutes in an oven before serving.*

CONSENT FORM

- I have read and understood the Information Sheet and have had the details of the study explained to me.
- I am not allergic to the food ingredients of this product.
- I agree to voluntarily participate in this study under the conditions set out in the Information Sheet.
- I understand I have the right to withdraw from the study at any time and to decline to answer any particular questions.

Participants Signature:..... **Date:**.....

Full Name – printed .....

Prince of Songkla University **Food Technology**

Hat Yai, Songkhla **Master Degree**

ID.....

Frozen Battered Shrimp Burger Acceptance Questionnaire

Information for participants: This questionnaire survey is a part of Ms. Pichayana Juemanee master degree-thesis. At present the researcher is a student at Prince of Songkla University, Thailand. Your opinion and information given to us will be greatly appreciated and very useful for Pichayana's achievement to get a degree. There are three parts to the questionnaire. We would like you to taste the battered shrimp burgers and answer all the questions in each part before moving on to the next part. This survey should take about 10 minutes in total to complete.

Product description: *There are two testing sample, both burgers contains ground shrimp (White shrimp), egg, bread crumb, salt, pepper, onion, mustard and parmesan cheese. The ingredients were mixed and shaped followed by dipping in batter from flour mixture (wheat, corn and rice flour). The burger were breaded, fried and freezed. The frozen burgers were baked with temperature 230°C 15 minutes in an oven before serve.*

Part I: Burger consumptions

Suggestion: Please tick (√) the box that most suits your opinion.

1. How often do you eat hamburger?

   ❍ everyday ❍ 5-6 times/week

   ❍ 3-4 times/week ❍ 2 or less than/week

2. What type of hamburger do you like most?

   ❍ pork burger ❍ chicken burger ❍ fish burger ❍ beef burger

   ❍ buffalo burger ❍ shrimp burger ❍ turkey burger ❍ cheese burger

   ❍ others (please specify).....

3. Have you ever eaten **'Shrimp Burger'**? ❍ Yes ❍ No (skip no.4)

4. How do you like **'Shrimp Burger'**?

   ❍ like very much ❍ like ❍ Neither like nor dislike ❍ dislike ❍ dislike very much

5. Have you prepared the burger from the frozen product before? ❍ Yes ❍ No

6. How do you like the product you prepare?

   ❍ like very much ❍ like ❍ Neither like nor dislike ❍ dislike ❍ dislike very much

Part II: Burger acceptance

Suggestion: Please evaluate the first sample by looking and tasting it and tick (√) the box that most suits your opinion.
There are 9 levels of liking on each statement listed below.

Sample no. ……

1. Overall liking	○ Like extremely	○ Like very much	○ Like moderately	○ Like slightly	○ Neither like nor dislike	○ Dislike slightly	○ Dislike moderately	○ Dislike very much	○ Dislike extremely
2. Batter crispiness	○ Like extremely	○ Like very much	○ Like moderately	○ Like slightly	○ Neither like nor dislike	○ Dislike slightly	○ Dislike moderately	○ Dislike very much	○ Dislike extremely
3. Moistness	○ Like extremely	○ Like very much	○ Like moderately	○ Like slightly	○ Neither like nor dislike	○ Dislike slightly	○ Dislike moderately	○ Dislike very much	○ Dislike extremely
4. Oiliness	○ Like extremely	○ Like very much	○ Like moderately	○ Like slightly	○ Neither like nor dislike	○ Dislike slightly	○ Dislike moderately	○ Dislike very much	○ Dislike extremely
5. Overall taste	○ Like extremely	○ Like very much	○ Like moderately	○ Like slightly	○ Neither like nor dislike	○ Dislike slightly	○ Dislike moderately	○ Dislike very much	○ Dislike extremely

Comments……

Suggestion: Please evaluate the last sample by looking and tasting it and tick (√) the box that most suits your opinion.
There are 9 levels of liking on each statement listed below.

Sample no. ……

1. Overall liking	○ Like extremely	○ Like very much	○ Like moderately	○ Like slightly	○ Neither like nor dislike	○ Dislike slightly	○ Dislike moderately	○ Dislike very much	○ Dislike extremely
2. Batter crispiness	○ Like extremely	○ Like very much	○ Like moderately	○ Like slightly	○ Neither like nor dislike	○ Dislike slightly	○ Dislike moderately	○ Dislike very much	○ Dislike extremely
3. Moistness	○ Like extremely	○ Like very much	○ Like moderately	○ Like slightly	○ Neither like nor dislike	○ Dislike slightly	○ Dislike moderately	○ Dislike very much	○ Dislike extremely
4. Oiliness	○ Like extremely	○ Like very much	○ Like moderately	○ Like slightly	○ Neither like nor dislike	○ Dislike slightly	○ Dislike moderately	○ Dislike very much	○ Dislike extremely
5. Overall taste	○ Like extremely	○ Like very much	○ Like moderately	○ Like slightly	○ Neither like nor dislike	○ Dislike slightly	○ Dislike moderately	○ Dislike very much	○ Dislike extremely

1. Would you buy the Frozen battered shrimp burger (6 burgers/pack) if it is available in the market at the price of 5.48 Euro?

❍ Definitely would buy ❍ Probably would buy ❍ May be/May be not ❍ Probably would not buy ❍ Definitely would not buy

If you not buy *what price that you prefer to buy?*.....Euro per pack.

2. If you do not eat this product in the hamburger style, how can you eat it? (please choose a choice you most likely prefer)

❍ steaks ❍ snack (nugget) ❍ sandwich ❍ main meal (with blanched vegetable) ❍ other.....

Comments.....

Part III

Suggestion: We would like to know a little bit about you to help us in our data analysis.

Your name and address are not required and please feel free to omit any question you are not comfortable with.

1. **Gender** ❍ male ❍ female

2. **Age** ❍ less than 20 years ❍ 20 - 30 years ❍ 31 - 40 years
❍ 41 - 50 years ❍ 51 – 60 years ❍ more than 61 years

3. **Status** ❍ single ❍ married & no children ❍ married & with .....children

4. **Education** ❍ Primary school or lower ❍ Intermediate school ❍ High school ❍ Diploma degree
❍ Bachelor degree ❍ above/upper than bachelor degree

5. **Career** ❍ student ❍ housewife ❍ agriculturist ❍ government employee
❍ restaurant / food related ❍ own business ❍ private sectors ❍ academia
❍ pensioners ❍ others (please specify).....

6. **Average your income - per <u>month</u> (after tax/vat)**
❍ less than 300 Euro ❍ 300 – 600 Euro ❍ 601 – 900 Euro ❍ 901 – 1,500 Euro ❍ more than 1,500 Euro

7. **Country of Residence**
❍ Austria ❍ Belgium ❍ Denmark ❍ France ❍ Germany
❍ Italy ❍ Netherlands ❍ Spain ❍ Sweden ❍ Switzerland
❍ UK ❍ Other.....

Thank you very much for your participation and your kind help to our research.