

การลดการดูดกลืนน้ำมันในผลิตภัณฑ์ปลาขึ้นรูปแช่เยือกแข็งด้วยพอลิเมอร์ชีวภาพ



นางสาวสุภาววรรณ ตรงธรรมกิจ

สถาบันวิทยบริการ

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต

สาขาวิชาเทคโนโลยีทางอาหาร ภาควิชาเทคโนโลยีทางอาหาร

คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ปีการศึกษา 2544

ISBN 974-17-0175-6

REDUCTION OF OIL ABSORPTION IN FROZEN FISH FINGERS BY BIOPOLYMERS

Miss Suphawan Trongthamakit

A Thesis Submitted in Partial Fulfillment of the Requirements
for the Degree of Master of Science in Food Technology

Department of Food Technology

Faculty of Science

Chulalongkorn University

Academic Year 2001

ISBN 974-17-0175-6

หัวข้อวิทยานิพนธ์	การลดการดูดกลืนน้ำมันในผลิตภัณฑ์ปลาขึ้นรูปแช่เยือกแข็งด้วย พอลิเมอร์ชีวภาพ
โดย	นางสาวสุภาววรรณ ตรงธรรมกิจ
ภาควิชา	เทคโนโลยีทางอาหาร
อาจารย์ที่ปรึกษา	รองศาสตราจารย์ ดร. พันธิพา จันทวัฒน์
อาจารย์ที่ปรึกษาร่วม	อาจารย์ ดร. ชิดพงศ์ ประดิษฐ์สุวรรณ

คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย อนุมัติให้หัวข้อวิทยานิพนธ์ฉบับนี้เป็นส่วนหนึ่ง
ของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาโทมหาบัณฑิต

.....รองคณบดีฝ่ายบริหาร

(รองศาสตราจารย์ ดร. พิพัฒน์ การเที่ยง) รักษาราชการแทนคณบดีคณะวิทยาศาสตร์

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์

.....ประธานกรรมการสอบ

(อาจารย์ ดร. รมณี สงวนดีกุล)

.....อาจารย์ที่ปรึกษา

(รองศาสตราจารย์ ดร. พันธิพา จันทวัฒน์)

.....อาจารย์ที่ปรึกษาร่วม

(อาจารย์ ดร. ชิดพงศ์ ประดิษฐ์สุวรรณ)

.....กรรมการ

(รองศาสตราจารย์ ดร. นินนาท ชินประห์ษฐ์)

สุภาววรรณ ทรงธรรมกิจ : การลดการดูดกลืนน้ำมันในผลิตภัณฑ์ปลาขึ้นรูปแช่เยือกแข็ง
ด้วยพอลิเมอร์ชีวภาพ (REDUCTION OF OIL ABSORPTION IN FROZEN FISH
FINGERS BY BIOPOLYMERS) อ.ที่ปรึกษา : รศ.ดร.พันธิพา จันทวัฒน์,อ.ที่ปรึกษาร่วม :
อ. ดร. ชิดพงศ์ ประดิษฐสุวรรณ 121 หน้า. ISBN 974-17-0175-6.

งานวิจัยนี้ทำขึ้นเพื่อศึกษาผลของพอลิเมอร์ชีวภาพต่อการดูดกลืนน้ำมันในผลิตภัณฑ์ปลาขึ้นรูปแช่เยือกแข็งที่ผลิตจาก
ปลาทรายแดงและซูริมิ ปลาทรายแดงที่ใช้มีค่า ความชื้น 82.74 % โปรตีน 15.66% ไขมัน 0.66 % เถ้า 0.64 %
คาร์โบไฮเดรต 0.30 % total volatile base (TVB) 17.56 mg/100g และโปรตีนละลายในเกลือ 54.06 % ของปริมาณ
โปรตีนทั้งหมด ซูริมิมีค่า ความชื้น 80.23% โปรตีน 15.69% ไขมัน 0.09% เถ้า 0.84% คาร์โบไฮเดรต 3.15% และ gel
strength 500 g.cm แป้งซูปทอที่ใช้ผลิตจาก แป้งสาลีและแป้งข้าวโพด แป้งสาลี มีค่าความชื้น 12.80% โปรตีน
11.07 % ไขมัน 0.20 % คาร์โบไฮเดรต 75.47% และเถ้า 0.46% แป้งข้าวโพดมีค่าความชื้น 10.57% โปรตีน 0.18 %
ไขมัน 0.02 % คาร์โบไฮเดรต 89.09% และเถ้า 0.14% ในขั้นต้นได้ศึกษาการเปลี่ยนแปลงคุณภาพของน้ำมันปลาโอเลอิน
ระหว่างทอด โดยทอดปลาขึ้นรูปซูปแป้งทอดสุตรควบคุมในน้ำมันที่อุณหภูมิ 170 °C นาน 4 นาที 30 วินาที จำนวนรวมทั้งสิ้น
16 ชิ้น ในเวลา 120 นาที สุ่มตัวอย่างน้ำมันทุกๆ 30 นาที วัดค่าความหนืดและปริมาณกรดไขมันอิสระ ต่อมาศึกษาผลการเติม
พอลิเมอร์ชีวภาพในแป้งซูปทอ โดยแทนที่แป้งด้วย hydroxypropyl methylcellulose (HPMC) ร้อยละ 0.2, 0.4, 0.6 และ 0.8
โดยน้ำหนักแป้ง high amylose corn starch ร้อยละ 5, 10, 15 และ 20 โดยน้ำหนักแป้ง ไซขาวผงร้อยละ 1.5, 3.0, 4.5
และ 6.0 โดยน้ำหนักแป้ง เลือกปริมาณที่เหมาะสมโดยวัดค่าความหนืดปรากฏของน้ำแป้งดิบ ความชื้นของชั้นแป้งและเนื้อใน
ไขมันของชั้นแป้งและเนื้อใน ค่าความแข็ง(hardness) และสี (L, a*, b*)ของชั้นแป้ง และคุณภาพทางประสาทสัมผัสของ
ผลิตภัณฑ์เปรียบเทียบกับตัวอย่างที่ไม่ได้ใช้พอลิเมอร์ชีวภาพ สุดท้ายเปรียบเทียบประสิทธิภาพของพอลิเมอร์ชีวภาพทั้ง 3 ชนิด
ผลการประเมินคุณภาพน้ำมัน พบว่า ความหนืดและปริมาณกรดไขมันอิสระที่เพิ่มขึ้นในระยะเวลาทอด 120 นาทีไม่มีผลต่อการ
ดูดกลืนน้ำมันของผลิตภัณฑ์ การเพิ่มปริมาณ HPMC ทำให้ความหนืดปรากฏของน้ำแป้งดิบสูงขึ้น ผลิตภัณฑ์มีความชื้นเพิ่มขึ้น
ไขมันลดลง ความแข็งของชั้นแป้งลดลง ค่าความสว่างเพิ่มขึ้น ค่าสีแดงและสีเหลืองลดลง และคุณภาพทางประสาทสัมผัสด้อย
ลง ระดับที่เหมาะสมของ HPMC คือ 0.4 % โดยน้ำหนักแป้ง ซึ่งที่ระดับนี้มีไขมันรวมทั้งสิ้น 14.02 % high amylose corn
starch ทำให้ความหนืดปรากฏน้ำแป้งดิบลดลง ผลิตภัณฑ์มีความชื้นเพิ่มขึ้น ไขมันลดลง ความแข็งของชั้นแป้งลดลง แต่ที่ระดับ
20 % มีค่าเพิ่มขึ้น และคุณภาพทางประสาทสัมผัสเพิ่มขึ้น ระดับที่เหมาะสมของ high amylose corn starch คือ 10 %
โดยน้ำหนักแป้ง ที่ระดับนี้มีไขมันรวมทั้งสิ้น 14.32 % ไซขาวทำให้ความหนืดปรากฏน้ำแป้งดิบลดลง ผลิตภัณฑ์มีความชื้นเพิ่มขึ้น
ไขมันลดลง ค่าความสว่างลดลง ค่าสีแดงและสีเหลืองเพิ่มขึ้น และคุณภาพทางประสาทสัมผัสด้อยลง ระดับที่เหมาะสมของ
ไซขาวผง คือ 3.0% โดยน้ำหนักแป้ง ที่ระดับนี้มีไขมันรวมทั้งสิ้น 13.37 % ผลการเปรียบเทียบประสิทธิภาพของพอลิเมอร์ชีวภาพ
ทั้ง 3 ชนิด พบว่าไซขาวผง 3.0 % โดยน้ำหนักแป้ง ให้ผลิตภัณฑ์ที่มีคุณภาพทางประสาทสัมผัสของผลิตภัณฑ์อยู่ในเกณฑ์ที่ดีที่สุด
และปริมาณไขมันทั้งขึ้นกับราคาต้นทุนต่ำสุด

ภาควิชา...เทคโนโลยีทางอาหาร.....ลายมือชื่ออนิสิต.....
สาขา...เทคโนโลยีทางอาหาร.....ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษา.....
ปีการศึกษา...2544.....ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษาร่วม.....

4172508623 : MAJOR FOOD TECHNOLOGY

KEYWORD : OIL ABSORPTION / BIOPOLYMER / FISH FINGER

SUPHAWAN TRONGTHAMAKIT : REDUCTION OF OIL ABSORPTION IN FROZEN FISH FINGERS BY BIOPOLYMERS. THESIS ADVISOR : ASSOC. PROF. PANTIPA JANTAWAT, Ph.D. THESIS : COADVISOR : CHIDPHONG PRADISTSUWANA , Ph.D. 121 pp., ISBN 974-17-0175-6.

This study focused on effect of biopolymers on oil absorption in frozen fish finger from threadfin bream and surimi. Threadfin bream used was composed of 82.7 % moisture , 15.66 % protein, 0.66 % fat, 0.64 % ash, 0.31 % carbohydrate , 17.56 mg/100g total volatile base (TVB) and 54.06 % (of total protein) salt soluble protein. Surimi was composed of 80.23 % moisture, 15.69 % protein, 0.09 % fat, 0.84 % ash, 3.15 % carbohydrate and 500 g.cm gel strength. Batter was formulated from wheat flour and corn flour. Wheat flour was composed of 12.80 % moisture , 11.09 % protein, 0.20 % fat, 75.47 % carbohydrate and 0.46 % ash. Corn flour used composed of 10.57 % moisture, 0.18 % protein, 0.02 % fat, 89.09 % carbohydrate and 0.14 % ash. Initially, change in quality of palm olein during frying were studied. Sixteen pieces of coated fish finger were fried at 170 °C , 4 min and 30 secs each, for a total of 120 min. Quality of palm olein were checked every 30 min by determining viscosity and free fatty acid. Later the flour in batter formula was substituted with hydroxypropyl methylcellulose (HPMC) at 0.2, 0.4, 0.6 and 0.8 % (by flour weight) , high amylose corn starch at 5, 10, 15 and 20 % (by flour weight) and eggwhite powder at 1.5, 3.0, 4.5 and 6.0 (by flour weight). The best quality products were selected by determining apparent viscosity of liquid batter, moisture of batter and core, oil content of batter and core , hardness and color of batter, and the product sensory quality. Finally, the efficiency of the three biopolymers were compared.

The result showed that, the increase of viscosity and free fatty acid contents did not affect oil absorption in the products. As quantities of HPMC increased the apparent viscosity of liquid batter, the product moisture and lightness increased while the oil content, hardness, yellowness, redness and sensory quality decreased. The optimum HPMC quantity was 0.4 % (by flour weight), at this level, the total oil content of product was 14.02 %. As quantities of high amylose corn starch increased the apparent viscosity of liquid batter, the oil content and hardness decreased while the product moisture and sensory quality increased. The optimum high amylose corn starch quantity was 10 % (by flour weight), at this level, the total oil content of product was 14.32 %. As quantities of eggwhite powder increased the apparent viscosity of liquid batter, the oil content, lightness and sensory quality decreased while the product moisture, yellowness, redness increased. The optimum level of eggwhite powder was 3.0 % (by flour weight) and, at this level, the total oil content of product was 13.37 %, Finally, the efficiency of three biopolymers were compared, it was found that the best material was 3.0 % (by flour weight) eggwhite powder.

Department...Food Technology.....Student 's signature.....

Field of study.....Food Technology.....Advisor 's signature

Academic year.....2001.....Co-advisor 's signature

กิตติกรรมประกาศ

ผู้วิจัยกราบขอบพระคุณรองศาสตราจารย์ ดร. พันธิพา จันทร์วัฒน์ อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ และ อาจารย์ ดร.ชิตพงศ์ ประดิษฐสุวรรณ อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ร่วม ซึ่งให้คำแนะนำ ข้อคิดเห็นต่างๆ ในงานวิจัย ตลอดจนแก้ไขวิทยานิพนธ์จนเสร็จสมบูรณ์

กราบขอบพระคุณ อาจารย์ ดร. รมณี สงวนดีกุล และ รองศาสตราจารย์ ดร. นินนาท ชินประห์ชัย ที่กรุณาสละเวลาเป็นกรรมการสอบวิทยานิพนธ์

ขอขอบคุณ บัณฑิตวิทยาลัย ที่ให้ทุนสนับสนุนงานวิจัย

ขอขอบคุณ บริษัท ซีรอยอด อาหารทะเล จำกัด ที่ให้ความอนุเคราะห์ขุมितिที่ใช้ในงานวิจัย

ขอขอบคุณ บริษัท โอสิน จำกัด ที่ให้ความอนุเคราะห์น้ำมันปาล์มโอเลอินที่ใช้ในงานวิจัย

ขอขอบคุณ บริษัท National Starch & Chemical Starch Co. ที่ให้ความอนุเคราะห์แป้ง high amylose corn starch ที่ใช้ในงานวิจัย

ขอขอบพระคุณบิดา มารดา และพี่น้องทุกคน ที่สนับสนุนในด้านการเงินและให้กำลังใจ

ท้ายสุดนี้ผู้วิจัยขอขอบคุณ เจ้าหน้าที่ เพื่อนๆในภาควิชาเทคโนโลยีทางอาหาร คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย สำหรับความร่วมมือและคำแนะนำที่เป็นประโยชน์

สถาบันวิทยบริการ

สุภาววรรณ ตรงธรรมกิจ

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย.....	ง
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ.....	จ
กิตติกรรมประกาศ.....	ฉ
สารบัญ.....	ช
สารบัญตาราง.....	ฉ
สารบัญรูป.....	ฎ
บทที่	
1. บทนำ.....	1
2. วารสารปริทัศน์.....	2
3. การทดลอง.....	18
3.1 วิเคราะห์คุณภาพวัตถุดิบ.....	21
3.2 การเปลี่ยนแปลงคุณภาพของน้ำมันระหว่างทอด.....	21
3.3 ผลของพอลิเมอร์ชีวภาพต่อการดูดกลืนน้ำมันในผลิตภัณฑ์ปลาชั้นรูปแช่เยือกแข็ง.....	24
3.4 เปรียบเทียบประสิทธิภาพของพอลิเมอร์ชีวภาพ.....	27
4. ผลการทดลอง.....	28
4.1 วิเคราะห์คุณภาพวัตถุดิบ.....	28
4.2 การเปลี่ยนแปลงคุณภาพของน้ำมันระหว่างทอด.....	31
4.3 ผลของพอลิเมอร์ชีวภาพต่อการดูดกลืนน้ำมันในผลิตภัณฑ์ปลาชั้นรูปแช่เยือกแข็ง.....	34
4.3.1 ผลของ HPMC ต่อการดูดกลืนน้ำมันในผลิตภัณฑ์ปลาชั้นรูปชุบแป้งทอด.....	34
4.3.2 ผลของ high amylose corn starch ต่อการดูดกลืนน้ำมันในผลิตภัณฑ์ปลาชั้นรูปชุบแป้งทอด.....	40
4.3.3 ผลของไซขาวผงต่อการดูดกลืนน้ำมันในผลิตภัณฑ์ปลาชั้นรูปชุบแป้งทอด.....	46
4.4 เปรียบเทียบประสิทธิภาพของพอลิเมอร์ชีวภาพ.....	52
5. วิจารณ์ผลการทดลอง.....	58
5.1 วิเคราะห์คุณภาพวัตถุดิบ.....	58
5.2 การเปลี่ยนแปลงคุณภาพของน้ำมันระหว่างทอด.....	60

สารบัญ (ต่อ)

บทที่

หน้า

5.3 ผลของพอลิเมอร์ชีวภาพต่อการดูดกลืนน้ำมันในผลิตภัณฑ์ปลาขึ้นรูปแช่เยือกแข็ง..61	
5.3.1 ผลของ HPMCต่อการดูดกลืนน้ำมันในผลิตภัณฑ์ปลาขึ้นรูปชุบแป้งทอด....62	
5.3.2 ผลของ high amylose corn starch ต่อการดูดกลืนน้ำมันในผลิตภัณฑ์ปลาขึ้นรูปชุบแป้งทอด.....65	
5.3.3 ผลของไข่ขาวผงต่อการดูดกลืนน้ำมันในผลิตภัณฑ์ปลาขึ้นรูปชุบแป้งทอด.....67	
5.3.4 ประสิทธิภาพของพอลิเมอร์ชีวภาพ.....70	
6. สรุปผลการทดลองและข้อเสนอแนะ.....73	
รายการอ้างอิง.....75	
ภาคผนวก.....82	
ประวัติผู้เขียนวิทยานิพนธ์.....121	

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

สารบัญตาราง

ตารางที่	หน้า
3.1 ส่วนผสมของแป้งชูบทอด.....	22
3.2 ส่วนผสมสำหรับซูริมิและปลาทรายแดงในการผลิตปลาชั้นรูปแท่งเยือกแข็ง.....	23
3.3 องค์ประกอบของแป้งชูบทอดที่แทนที่แป้งด้วย HPMC ร้อยละ 0, 0.2, 0.4, 0.6 และ 0.8 โดยน้ำหนักแป้ง.....	24
3.4 องค์ประกอบของแป้งชูบทอดที่แทนที่แป้งด้วย high amylose corn starch ร้อยละ 0, 5, 10, 15 และ 20 โดยน้ำหนักแป้ง.....	25
3.5 องค์ประกอบของแป้งชูบทอดที่แทนที่แป้งด้วยไข่ขาวผง ร้อยละ 0, 1.5, 3.0 4.5 และ 6.0 โดยน้ำหนักแป้ง.....	25
4.1 องค์ประกอบทางเคมีของแป้งสาลีและแป้งข้าวโพด.....	28
4.2 องค์ประกอบทางเคมี โปรตีนที่ละลายในเกลือและค่า TVB ของปลาทรายแดง.....	29
4.3 องค์ประกอบทางเคมีของซูริมิ.....	30
4.4 ค่าความหนืดและปริมาณกรดไขมันอิสระของน้ำมันปาล์มโอเลอิน.....	31
4.5 ค่าความหนืดของน้ำมันปาล์มโอเลอินที่ใช้ทอดที่เวลา 0, 30, 60, 90 และ 120 นาที.....	32
4.6 ปริมาณกรดไขมันอิสระที่เกิดขึ้นในน้ำมันที่ใช้ทอดที่เวลา 0, 30, 60, 90 และ 120 นาที.....	32
4.7 ค่าความหนืดปรากฏของน้ำแป้งดิบที่แทนที่แป้งด้วย HPMC ร้อยละ 0, 0.2, 0.4, 0.6 และ 0.8 โดยน้ำหนักแป้ง.....	34
4.8 ค่าความแข็งของชั้นแป้งปลาชั้นรูปชูบแป้งทอดที่แทนที่แป้งด้วย HPMC ร้อยละ 0, 0.2, 0.4, 0.6 และ 0.8 โดยน้ำหนักแป้ง.....	37
4.9 ค่าสีของปลาชั้นรูปชูบแป้งทอดที่แทนที่แป้งด้วย HPMC ร้อยละ 0, 0.2, 0.4, 0.6 และ 0.8 โดยน้ำหนักแป้ง.....	38
4.10 ค่าความหนืดปรากฏของน้ำแป้งดิบที่แทนที่แป้งด้วย high amylose corn starch ร้อยละ 0, 5, 10, 15 และ 20 โดยน้ำหนักแป้ง.....	40
4.11 ค่าความแข็งของชั้นแป้งปลาชั้นรูปชูบแป้งทอดที่แทนที่แป้งด้วย high amylose corn starch ร้อยละ 0, 5, 10, 15 และ 20 โดยน้ำหนักแป้ง.....	43
4.12 ค่าสีของปลาชั้นรูปชูบแป้งทอดที่แทนที่แป้งด้วย high amylose corn starch ร้อยละ 0, 5, 10, 15 และ 20 โดยน้ำหนักแป้ง.....	44

สารบัญตาราง (ต่อ)

ตารางที่	หน้า
4.13 ค่าความหนืดปรากฏของน้ำแป้งดิบที่แทนที่แป้งด้วยไซชาวผงร้อยละ 0, 1.5, 3.0, 4.5 และ 6.0 โดยน้ำหนักแป้ง.....	46
4.14 ค่าความแข็งของชั้นแป้งปลาขึ้นรูปชุบแป้งทอดที่แทนที่แป้งด้วยไซชาวผง ร้อยละ 0, 1.5, 3.0, 4.5 และ 6.0 โดยน้ำหนักแป้ง.....	49
4.15 ค่าสีของปลาขึ้นรูปชุบแป้งทอดที่แทนที่แป้งด้วยไซชาวผงร้อยละ 0, 1.5, 3.0, 4.5 และ 6.0 โดยน้ำหนักแป้ง.....	50
4.16 ค่าความหนืดปรากฏของน้ำแป้งดิบสูตรควบคุมและสูตรที่แทนที่แป้งด้วย HPMC, high amylose corn starch และไซชาวผง ร้อยละ 0.4, 10.0 และ 3.0 โดยน้ำหนักแป้ง ตามลำดับ.....	52
4.17 ค่าความแข็งของชั้นแป้งปลาขึ้นรูปชุบแป้งทอดที่ชุบด้วยแป้งสูตรควบคุมและสูตรที่แทนที่แป้งด้วย HPMC, high amylose corn starch และไซชาวผง ร้อยละ 0.4, 10.0 และ 3.0 โดยน้ำหนักแป้ง ตามลำดับ.....	55
4.18 ค่าสีของปลาขึ้นรูปชุบแป้งทอดที่ชุบด้วยแป้งสูตรควบคุมและสูตรที่แทนที่แป้งด้วย HPMC, high amylose corn starch และไซชาวผง ร้อยละ 0.4, 10.0 และ 3.0 โดยน้ำหนักแป้ง ตามลำดับ.....	56

สารบัญญรูป

รูปที่	หน้า
4.1	ลักษณะของปลาทรายแดง.....29
4.2	ลักษณะของซูริมิ.....30
4.3	ปริมาณไขมันของปลาชั้นรูปชุบแป้งทอดที่เวลาทอด 0, 30, 60, 90 และ 120 นาที.....33
4.4	ปริมาณความชื้นของชั้นแป้งและเนื้อในปลาชั้นรูปชุบแป้งทอดที่แทนที่แป้งด้วย HPMC ร้อยละ 0, 0.2, 0.4, 0.6 และ 0.8 โดยน้ำหนักแป้ง.....35
4.5	ปริมาณไขมันของชั้นแป้ง เนื้อใน และรวมทั้งชั้นของปลาชั้นรูปชุบแป้งทอดที่แทนที่แป้งด้วย HPMC ร้อยละ 0, 0.2, 0.4, 0.6 และ 0.8 โดยน้ำหนักแป้ง.....36
4.6	คะแนนการประเมินคุณภาพทางประสาทสัมผัสของปลาชั้นรูปชุบแป้งทอดที่แทนที่แป้งด้วย HPMC ร้อยละ 0, 0.2, 0.4, 0.6 และ 0.8 โดยน้ำหนักแป้ง.....39
4.7	ปริมาณความชื้นของชั้นแป้งและเนื้อในปลาชั้นรูปชุบแป้งทอดที่แทนที่แป้งด้วย high amylose corn starch ร้อยละ 0, 5, 10, 15 และ 20 โดยน้ำหนักแป้ง.....41
4.8	ปริมาณไขมันของชั้นแป้ง เนื้อใน และรวมทั้งชั้นของปลาชั้นรูปชุบแป้งทอดที่แทนที่แป้งด้วย high amylose corn starch ร้อยละ 0, 5, 10, 15 และ 20 โดยน้ำหนักแป้ง.....42
4.9	คะแนนการประเมินคุณภาพทางประสาทสัมผัสของปลาชั้นรูปชุบแป้งทอดที่แทนที่แป้งด้วย high amylose corn starch ร้อยละ 0, 5, 10, 15 และ 20 โดยน้ำหนักแป้ง.....45
4.10	ปริมาณความชื้นของชั้นแป้งและเนื้อในปลาชั้นรูปชุบแป้งทอดที่แทนที่แป้งด้วยไข่ขาวผงร้อยละ 0, 1.5, 3.0, 4.5 และ 6.0 โดยน้ำหนักแป้ง.....47
4.11	ปริมาณไขมันของชั้นแป้ง เนื้อใน และรวมทั้งชั้นของปลาชั้นรูปชุบแป้งทอดที่แทนที่แป้งด้วยไข่ขาวผง ร้อยละ 0, 1.5, 3.0, 4.5 และ 6.0 โดยน้ำหนักแป้ง.....48
4.12	คะแนนการประเมินคุณภาพทางประสาทสัมผัสของปลาชั้นรูปชุบแป้งทอดที่แทนที่แป้งด้วยไข่ขาวผง ร้อยละ 0, 1.5, 3.0, 4.5 และ 6.0 โดยน้ำหนักแป้ง.....51
4.13	ปริมาณความชื้นที่ชั้นแป้งและเนื้อในปลาชั้นรูปชุบแป้งทอดที่ชุบด้วยแป้งสูตรควบคุมและสูตรที่แทนที่แป้งด้วย HPMC , high amylose corn starch และไข่ขาวผง ร้อยละ 0.4, 10.0 และ 3.0 โดยน้ำหนักแป้ง ตามลำดับ.....53

สารบัญรูป(ต่อ)

รูปที่	หน้า
4.14 ปริมาณไขมันของชั้นแป้ง เนื้อใน และรวมทั้งชิ้นของปลาชั้นรูปชุบแป้งทอดที่ชุบด้วยแป้งสุตรควบคุมและสุตรที่แทนที่แป้งด้วย HPMC, high amylose corn starch และไข่ขาวผงร้อยละ 0.4, 10.0 และ 3.0 โดยน้ำหนักแป้ง ตามลำดับ.....	54
4.15 คะแนนการประเมินคุณภาพทางประสาทสัมผัสของปลาชั้นรูปชุบแป้งทอดที่ชุบด้วยแป้งสุตรควบคุมและสุตรที่แทนที่แป้งด้วย HPMC, high amylose corn starch และไข่ขาวผง ร้อยละ 0.4, 10.0 และ 3.0 โดยน้ำหนักแป้ง ตามลำดับ.....	57



สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

บทที่ 1

บทนำ

ปัจจุบันอาหารซุบแป้งทอดมีผู้นิยมบริโภคอย่างแพร่หลาย เนื่องจากมีรสชาติและลักษณะโดยรวมที่ชวนบริโภคและมีแนวโน้มจะมีอัตราการบริโภคเพิ่มขึ้นจากการนิยมบริโภคอาหารประเภท fast food การซุบแป้งทอดช่วยเพิ่มความหลากหลายและเพิ่มมูลค่าให้แก่อาหารทอด โดยการเพิ่มน้ำหนักและขนาดให้แก่ผลิตภัณฑ์ทอด วัตถุประสงค์อาหารที่นิยมนำมาซุบแป้งทอด ได้แก่ ผัก ผลไม้ เนื้อสัตว์บกและสัตว์น้ำ แต่อาหารซุบแป้งทอดถูกมองว่าเป็นอาหารที่ก่อให้เกิดความเสี่ยงต่อผู้บริโภค เนื่องจากมีปริมาณไขมันในชั้นอาหารสูง ซึ่งเกิดจากกลไกการดูดกลืนน้ำมันที่เกิดขึ้นในระหว่างการทอด โดยทั่วไปผลิตภัณฑ์ทอดจะดูดกลืนน้ำมัน ร้อยละ 4-30 โดยน้ำหนักของผลิตภัณฑ์สุดท้าย (Moreira, Perez และ Barrufet, 1999) ซึ่งการบริโภคไขมันในปริมาณมาก จะเกิดการสะสมและเป็นสาเหตุให้เกิดโรคอ้วน โรคไขมันอุดตันในเส้นเลือด และโรคหัวใจ (American Heart Association, 1986) จากรายงานอุบัติการณ์ของการตายด้วยโรคหัวใจ โรคความดันโลหิตสูงและโรคหลอดเลือดอุดตันทั่วประเทศยกเว้นกรุงเทพมหานคร ปี พ.ศ.2543 พบว่าประชากรมีอัตราการตายด้วยโรคหัวใจ 19,708 คน ต่อประชากรที่เสียชีวิต 100,000 คน คิดเป็นร้อยละ 31.9 อัตราการตายด้วยโรคความดันโลหิตสูงและโรคหลอดเลือดอุดตัน 11,663 คน ต่อประชากรที่เสียชีวิต 100,000 คน คิดเป็นร้อยละ 18.9 (นโยบายและแผนสาธารณสุข, 2543)

ผลิตภัณฑ์จากปลาที่มีแนวโน้มการบริโภคสูงขึ้น เนื่องจากผู้บริโภคหันมาสนใจเรื่องสุขภาพมากขึ้น เพราะโปรตีนจากเนื้อปลาย่อยง่ายและปลาทะเลยังมีกรดไขมัน โอเมก้า-3 คือ กรด eicosapentaenoic (EPA) และ docosahexaenoic (DHA) ซึ่งช่วยลด cholesterol ในเส้นเลือด (Hamilton, 1995) โครงการวิจัยนี้จึงมีวัตถุประสงค์ในการศึกษากรรมวิธีในการลดการดูดกลืนน้ำมันในผลิตภัณฑ์ปลาขึ้นรูปแช่เยือกแข็งโดยใช้พอลิเมอร์ชีวภาพ ซึ่งก่อนหน้านี้นี้มีการใช้พอลิเมอร์ชีวภาพในแป้งซุบทอดเพื่อจุดประสงค์อื่นๆ เช่น ปรับปรุงความเหนียวของน้ำแป้งดิบ เพิ่มการยึดติดของแป้ง (cohesive) และการเกาะติด (adhesive) ของแป้งกับวัสดุแกน และปรับปรุงสีของอาหารทอด เป็นต้น (Mayers, 1996) พอลิเมอร์ชีวภาพ (biopolymers) ที่สนใจศึกษา คือ hydroxypropyl methylcellulose, high amylose corn starch และ ไซข้าวผง โดยพอลิเมอร์ชีวภาพทั้ง 3 ชนิดนี้มีโครงสร้างที่ชอบน้ำ (hydrophilic) มีสมบัติเกิดเจลและ/หรือสร้างฟิล์มที่ชอบน้ำซึ่งน่าจะช่วยลดการดูดกลืนน้ำมันในผลิตภัณฑ์ทอดได้

บทที่ 2

วารสารปริทัศน์

ปลาชิ้นรูปแช่เยือกแข็ง (frozen fish finger)

ปลาชิ้นรูปแช่เยือกแข็งเป็นผลิตภัณฑ์ปลาที่ผ่านการขึ้นรูปให้มีลักษณะเป็นแท่งยาว โดยใช้พิมพ์ เครื่องจักรขึ้นรูป (forming machine) หรือแช่เยือกแข็งแล้วตัด วิธีเหล่านี้ทำให้ได้ผลิตภัณฑ์ที่หลากหลาย อาทิ fish finger, fish nugget, fish chip และ fish stick วัตถุดิบที่ใช้ในการผลิต ได้แก่ เนื้อปลาบด (minced fish) หรือเนื้อปลาบดร่วมกับซูริมิ การใช้วัตถุดิบ 2 ชนิดร่วมกันช่วยให้สามารถผลิตเป็นผลิตภัณฑ์ที่มีเนื้อสัมผัสคล้าย fillet ซึ่งในท้องตลาดผลิตภัณฑ์ fillet ชุบหรือคลุกขนมปังมีราคาแพงเนื่องจากมีเศษเนื้อปลาเหลือจากการแล่ติดกับกระดูกและโครงของปลามาก ขั้นตอนการผลิตปลาชิ้นรูปแช่เยือกแข็ง แบ่งได้เป็น 3 ขั้นตอนหลัก ได้แก่ การสับผสมเครื่องปรุง การผสมและขึ้นรูป และการแช่เยือกแข็ง (Broughton, 1992)

การสับผสมเครื่องปรุง แบ่งวัตถุดิบเป็น 2 ส่วน คือ เนื้อปลาบดและซูริมิ ซึ่งมีขั้นตอนการเตรียมแยกส่วนกัน เมื่อสับผสมเครื่องปรุงและผลิตตามขั้นตอนจะได้ผลิตภัณฑ์ fish paste และ shredded pre-cooked surimi

fish paste ใช้ปลาราคาถูก เช่น ปลาทรายแดงเป็นวัตถุดิบ ปลาที่ใช้ควรมีคุณภาพด้านความสดดี Uchiyama (1978) รายงานว่าปลาทะเลที่มีคุณภาพความสดดีควรมีค่า TVB (total volatile base) อยู่ในช่วง 6-20 mg/100g และควรใช้ปลาชนิดเดียวกันเพื่อให้เกิดความสม่ำเสมอต่อองค์ประกอบ คุณภาพและสีของผลิตภัณฑ์ ขั้นตอนการผลิตทำโดยสับผสมเนื้อปลาบดกับเครื่องปรุงต่างๆ โดยใช้ silent cutter การสับจะช่วยทำให้เนื้อเยื่อมีขนาดเล็กลงและทำให้เครื่องปรุงกระจายได้ดีในเนื้อปลา เครื่องปรุงที่ใช้ ได้แก่ เกลือ น้ำ แป้งสาลี และไข่ขาวผงเพื่อช่วยเพิ่มรสชาติ เนื้อสัมผัสและการอุ้มน้ำ (water holding capacity) (Broughton, 1992) โดยเกลือช่วยปรับปรุงรสชาติ เนื้อสัมผัสและการอุ้มน้ำ ช่วยละลาย myofibrillar proteins ออกจากกล้ามเนื้อปลา จากการที่อิออนของโซเดียมและคลอไรด์สามารถจับกับประจุตรงข้ามบนผิวหน้าของโมเลกุลโปรตีน มีผลให้พันธะระหว่างขั้วไฟฟ้าของโมเลกุลโปรตีนถูกทำลาย โมเลกุลโปรตีนจึงแยกออกเป็นโมเลกุลเดี่ยวๆกระจายอยู่ในน้ำ (Broughton, 1992 และ Nowsad, Kanoh และ Niwa, 1993) แป้งสาลีช่วยปรับปรุงเนื้อสัมผัสและเพิ่มการอุ้มน้ำของผลิตภัณฑ์เมื่อผ่านการให้ความร้อน (Broughton, 1992) Hasting และ Currall (1989) ซึ่งรายงานว่ แป้งสาลีช่วยเพิ่มความยืดหยุ่นและทำให้เนื้อสัมผัสของผลิตภัณฑ์แน่นขึ้น สอดคล้องกับ Kim และ Lee (1987) ซึ่งรายงานว่อนุภาคของแป้งที่แทรกอยู่ในช่องว่างของโครงสร้างตาข่ายของเจลเนื้อปลา

จะเปลี่ยนสภาพเป็นเจลเมื่อมีความชื้นและได้รับความร้อนในระดับที่เหมาะสม การพองตัวของเจลแบ่งมีผลให้โครงสร้างตาข่ายของเจลแน่นและแข็งขึ้น ไช่ชาวผงช่วยปรับปรุงเนื้อสัมผัสของผลิตภัณฑ์เมื่อผ่านความร้อน (Broughton, 1992) Iso และคณะ (1985 a,b) รายงานว่าไช่ชาวผงเพิ่มความสามารถในการอุ้มน้ำและปรับปรุงเนื้อสัมผัสจากการเสริม interaction ระหว่าง myofibrillar proteins โดยโปรตีนไช่ชาวจับโมเลกุลน้ำไว้และแทรกอยู่ตามช่องว่างของโครงสร้าง และระหว่างการสับต้องมีการควบคุมอุณหภูมิไว้ไม่เกิน 10 °C เพราะกลไกการสับจะทำให้เกิดพลังงานความร้อนในเนื้อปลาและความร้อนอาจมีผลให้โปรตีนสูญเสียสภาพธรรมชาติ (denature) บางส่วน ซึ่งมีผลต่อความแข็งแรงของโครงสร้างเจลที่ได้ (Lee, 1984 และ Iso และคณะ, 1985b)

shredded pre-cooked surimi ซูริมิที่ผ่านการละลายน้ำแข็ง (thaw) จะนำมาสับผสมเครื่องปรุงโดยใช้ silent cutter เครื่องปรุงที่ใช้ ได้แก่ เกลือ น้ำ แป้งสาลี ไช่ชาวผง และผงชูรส เครื่องปรุงที่ใช้ช่วยเพิ่มรสชาติ ปรับปรุงเนื้อสัมผัส และการอุ้มน้ำดังที่กล่าวมาแล้ว และต้องพยายามควบคุมอุณหภูมิระหว่างสับให้ต่ำเพื่อป้องกันการเสียสภาพธรรมชาติบางส่วนของโปรตีนเช่นกัน จากนั้นจะนำ sol ที่ได้ไปขึ้นรูปด้วยพิมพ์หรือเครื่องขึ้นรูป และให้ความร้อน 2 ขั้นตอนเพื่อ set เจลที่อุณหภูมิ 40 °C นาน 20 - 30 นาที และ ที่อุณหภูมิ 90 °C นาน 15 - 20 นาที ตามลำดับ ทำให้เย็นทันทีและสับให้มีขนาดประมาณ 3 มม. โดยใช้ silent cutter ตัวอย่างที่มีขนาดดังกล่าวเมื่อนำไปผสมกับ fish paste จะให้ผลิตภัณฑ์ที่มีเนื้อสัมผัสคล้ายกล้ามเนื้อปลา (Broughton, 1992) การใช้อุณหภูมิในการ set เจล 2 ขั้นตอน โดยให้ความร้อนที่อุณหภูมิต่ำเป็นระยะเวลาหนึ่งก่อนการให้ความร้อนที่อุณหภูมิสูง จะมีผลให้เจลที่ได้มีความคงตัวและแข็งแรง (Lanier และ คณะ, 1982) Foegeding, Allen และ Dayton (1986) รายงานว่าในขั้นตอนการ set เจลในลักษณะนี้การคลายตัวของโมเลกุลโปรตีนจะเกิดอย่างช้าๆ ทำให้ interaction ระหว่างโปรตีนที่คลายตัวออกมาเกิดขึ้นอย่างมีระเบียบ โครงสร้างของเจลจึงมีความต่อเนื่อง สอดคล้องกับ Niwa (1985) ที่อธิบายว่าอุณหภูมิที่เพิ่มขึ้นอย่างช้าๆ จะทำให้โปรตีนมีเวลาเพียงพอสำหรับการคลายตัวและสร้าง interaction ระหว่างกัน ในขณะที่การให้ความร้อนที่อุณหภูมิสูงโดยไม่ผ่านความร้อนที่อุณหภูมิต่ำก่อนจะทำให้พันธะ disulfide และ interaction ระหว่างหมู่ไม่ชอบน้ำ (hydrophobic) เกิดขึ้นอย่างรวดเร็วและขัดขวางการเรียงตัวเป็นโครงสร้างสามมิติของโปรตีน

การผสมและขึ้นรูป ขั้นตอนนี้เป็น การผสมส่วนประกอบ 2 ส่วน ได้แก่ fish paste และ shredded pre-cooked surimi ในอัตราส่วนตั้งแต่ 50 ต่อ 50 ถึง 70 ต่อ 30 โดยใช้เครื่องผสม (mixer) หรือผสมด้วยมือ จะไม่ใช้ silent cutter เนื่องจากจะทำลายส่วนที่เป็น shredded pre-cooked surimi เมื่อผสมเข้ากันแล้วจึงนำไปขึ้นรูปด้วยพิมพ์ เครื่องจักรขึ้นรูป หรือแช่เยือกแข็งแล้วตัด (Broughton, 1992)

การแช่เยือกแข็ง ผลิตรภัณฑ์ที่ผ่านการขึ้นรูปแล้วสามารถนำไปซุบแข็งหรือคลุกขนมปังและทอดได้ทันที หรือเพื่อให้มีอายุการเก็บที่นานขึ้นอาจนำไปแช่เยือกแข็ง โดยเมื่ออาหารอยู่ในสภาวะเยือกแข็งปฏิกิริยาทางเคมีและชีวเคมีของอาหารจะเกิดช้าลง จุลินทรีย์บางชนิดถูกทำลายและยุติการเจริญ การทำลายจุลินทรีย์เกิดจากโปรตีนเสียสภาพและเซลล์ถูกทำลายจากผลึกน้ำแข็ง การถนอมอาหารวิธีนี้จึงช่วยรักษาคุณค่าทางอาหารและความสดได้ดี แต่รักษาเนื้อสัมผัสได้ปานกลาง (Fellows, 1990) Antony และ คณะ (1994) ผลิตปลาขึ้นรูปแช่เยือกแข็งโดยแช่แข็งด้วย plate freezer ที่อุณหภูมิ -40°C จนตัวอย่างมีอุณหภูมิ -20°C ตัดให้มีขนาด $7 \times 2.5 \times 1$ ซม. ซุบและคลุกขนมปังจากนั้นแช่เยือกแข็งอีกครั้ง ที่อุณหภูมิ -40°C แล้วบรรจุถุงที่ผลิตจากฟิล์ม Low density polyethylene/ Nylon/Primacore® เก็บที่ -20°C ได้นานถึง 28 สัปดาห์ โดยผลิตรภัณฑ์ที่ได้ยังมีคะแนนการทดสอบทางประสาทสัมผัสด้านสี เนื้อสัมผัสและรสชาติอยู่ในช่วงยอมรับได้

ปลาทรายแดง

ปลาทรายแดงเป็นปลาหน้าดินที่จับได้โดยใช้เครื่องมืออวนลากแบบแผ่นตะเฒ่า ปลาหน้าดิน คือ ปลาที่หากินตามพื้นท้องทะเล มีหลายชนิด เช่น ปลาทรายแดง (Nemipteridae) ปลาปากกลม (Synodontidae) ปลาสีกุน (Carangidae) และ ปลาแป้น (Leiognathidae) (อันธิประชา อิศรางกูร และ สุชาติ ปรียานนท์, 2506) ปลาทรายแดงพบในอ่าวไทยเป็นปลาที่อยู่ในตระกูล *Nemipterus* และเป็นสัตว์กินเนื้อ (เกศินี รักวิทย์, 2520) ปลาทรายแดงชนิดที่พบมากในอ่าวไทย ได้แก่ *Nemipterus mesoprion* และ *Nemipterus hexodon* (ปรียานนท์, สุชะวณิช, 2532) ปลาที่กล่าวนี้มีปริมาณการจับทั่วประเทศในปี 2540 ร้อยละ 3.92 ของปริมาณปลาที่จับได้ทั้งหมด มีมูลค่า 1192.10 ล้านบาท (สถิติและสารสนเทศการประมง, 2540) ปลาทรายแดงมีลักษณะที่สำคัญ คือ ลำตัวแบน ด้านข้างลำตัวมีแถบสีเหลืองประมาณ 6-7 แถบ ครีบหลังมีสีแดงและปลายหางมีสีเหลือง เป็นปลาที่มีฤดูการวางไข่ตลอดทั้งปี (กะวิ สารณคมน์กุล, 2533) มีอัตราการจับเฉลี่ยสูงสุดในระดับความลึก 51-60 เมตร และต่ำสุดในระดับความลึก 10-20 เมตร (อันธิประชา อิศรางกูร และ สุชาติ ปรียานนท์, 2506) ปลาทรายแดงมีการจำหน่ายเป็นสินค้าสดและนำไปแปรรูปเป็นปลาตากแห้ง ทำเค็ม ทำลูกชิ้น ย่างรมควัน และทำปลาบดแช่เยือกแข็งหรือซูริมิ (อุดม สุนทรวิภาต และคณะ, 2530)

ซูริมิ

ซูริมิ คือ เนื้อปลาบดแช่เยือกแข็ง ที่ผลิตโดยการนำปลาสดที่ผ่านการตัดหัวและครักได้ มาผ่านกรรมวิธีการแยกเนื้อปลาโดยใช้เครื่องแยกเนื้อปลาและกระดูก ซึ่งจะได้เนื้อปลาบด จากนั้น นำปลาบดมาล้างแล้วผ่านกรรมวิธีบีบน้ำ 3-4 ครั้ง แล้วจึงผสมวัตถุดิบอาหาร ได้แก่ น้ำตาล และฟอสเฟต นวดให้เข้ากันทำเป็นก้อนสีเหลืองและทรงอื่นๆ นำไปผ่านกระบวนการแช่เยือกแข็ง ให้มีระยะเวลาการเกิดผลึกน้ำแข็งอย่างรวดเร็ว แล้วจึงลดอุณหภูมิที่บริเวณจุดกึ่งกลางของ ผลิตภัณฑ์ให้เท่ากับ -18°C หรือต่ำกว่า (มอก 935-2533) ปลาที่นำมาผลิตซูริมิ ได้แก่ ปลา ทวายแดง ปลาตาโต ปลาปากคม และอื่นๆ (สถิติและสารสนเทศการประมง, 2540) ผลิตภัณฑ์ ที่แปรรูปจากซูริมิจะมี gel strength มากหรือน้อย ขึ้นอยู่กับชนิดของปลา ความสด และเทคนิค ในการผลิตซูริมิ การเกิดเจลของซูริมิจัดเป็นคุณสมบัติด้านหน้าที่ (functional property) ของ โปรตีน ที่มีผลทำให้ได้ผลิตภัณฑ์ที่มีเนื้อสัมผัสหลากหลายชนิดตามความต้องการของผู้บริโภค การเกิดเจลเป็นปรากฏการณ์ที่โมเลกุลของโปรตีนเกิดการเรียงตัวประสานกันอย่างมีแบบแผนเป็น โครงสร้างสามมิติ โดยมีโมเลกุลของน้ำแทรกอยู่ระหว่างร่างแหเหล่านั้น ทำให้เกิดเนื้อสัมผัสที่มีความยืดหยุ่น โปรตีนของปลาที่มีบทบาทสำคัญในการเกิดเจล ได้แก่ myofibrillar proteins ซึ่งประกอบด้วย myosin, actin และโปรตีนอื่นที่ทำหน้าที่ควบคุมการยึดหดของกล้ามเนื้อ มี โมเลกุลของ myosin ร้อยละ 43 ของ myofibrillar proteins ทั้งหมด โมเลกุลของ myosin ประกอบด้วย 2 หน่วยย่อย (sub unit) คือ heavy meromyosin (HMM) และ light meromyosin (LMM) โดย HMM ประกอบด้วย 2 ส่วน ได้แก่ ส่วนหัวที่มีรูปร่างเป็นก้อนกลม (globular head) เรียกว่า subfragment -1 หรือ S1 และส่วนหางซึ่งเป็นโพลีเปปไทด์สายยาว เรียกว่า subfragment -2 หรือ S2 ซึ่งส่วนหางของ HMM 2 สายจะพันรอบกันเป็น α -helix ซึ่งมีลักษณะเป็นแท่ง (rod shape) แต่ละสายของ HMM มีน้ำหนักโมเลกุลประมาณ 200,000 ดาลตัน และ LMM ได้แก่ ส่วนของสายโพลีเปปไทด์ที่มีน้ำหนักโมเลกุลต่ำ ซึ่งแต่ละหน่วยมีขนาด อยู่ระหว่าง 16,000-27,500 ดาลตัน ขึ้นกับชนิดของสัตว์ (Bechtel, 1986 และ Ojima, Yoshikawa และ Nishita, 1997) myofibrillar proteins ละลายได้ดีในสารละลายเกลือโซเดียมคลอไรด์ จากการ ที่เกลือช่วยลดเสถียรภาพและแรงดึงดูดของประจุระหว่างโมเลกุลโปรตีนและทำให้เกิดการแผ่ออก บางส่วน โดยโปรตีนที่ละลายออกมาจะเกิดการ polymerize และก่อตัวเป็นโครงร่างตาข่าย เมื่อได้รับความร้อน โครงร่างตาข่ายที่กักน้ำและสารอื่นที่มีน้ำหนักโมเลกุลต่ำไว้ภายใน เรียกว่า เจล ซึ่งจะให้คุณสมบัติที่มีความยืดหยุ่น (Hermansson, 1978) Chan, Gill และ Paulson (1993) รายงานว่ากลไกการเกิดเจล เกิดจาก HMM และ LMM เริ่มจาก myosin เกิดการคลายตัว และ เกิด interaction ระหว่าง HMM S-2 ที่มีโครงสร้างแบบเกลียว โดยเกิดที่อุณหภูมิ $30-40^{\circ}\text{C}$ และ

เมื่ออุณหภูมิสูงขึ้นประมาณ 40-55 °C จะเกิดการจับกันของ myosin โดยเกิด interaction ของ LMM และพบว่าความสามารถในการเกิดพันธะของ HMM มีความสัมพันธ์กับการเพิ่มขึ้นของ หมู่ไม่ชอบน้ำบนผิวหน้าของโมเลกุล HMM ซึ่งเป็นผลมาจากการคลายตัวของโมเลกุลโปรตีนในช่วงอุณหภูมิต่ำกว่า 45 °C เท่านั้น ปฏิกิริยาดังกล่าวนี้ต่างจากของ LMM ซึ่งหมู่ที่ไม่ชอบน้ำที่เพิ่มขึ้นเมื่ออุณหภูมิสูงขึ้นมีผลให้ LMM เกิดพันธะได้มากขึ้น Yasui, Ishioroshi และ Samejima (1980) พบว่าโปรตีนชนิดอื่นที่เป็นส่วนประกอบของ myofibrillar proteins ได้แก่ troponin และ tropomyosin ไม่มีผลต่อการเกิดเจล แต่ actin มีส่วนช่วยให้ความแข็งแรงของเจลเพิ่มขึ้น โดย myosin บางส่วนจะเกิดเป็น actomyosin ซึ่งเป็นตัวเชื่อมโยงกับ myosin ที่เหลืออยู่ในรูปอิสระและทำให้เกิดโครงสร้างเจล

แป้งชุบทอด

แป้งชุบทอด เป็น สารผสมที่มีลักษณะเหลวข้น ประกอบด้วยส่วนผสม 2 ส่วน คือ ส่วนผสมแห้งและน้ำ โดยส่วนผสมแห้งส่วนใหญ่แขวนลอยอยู่ในน้ำ ใช้ชุบอาหารก่อนทอด ส่วนผสมแห้งมีแป้งเป็นองค์ประกอบหลัก แป้งที่ใช้มาก ได้แก่ แป้งสาลีและแป้งข้าวโพด เป็นต้น ส่วนประกอบอื่นๆที่อาจมี ได้แก่ เกลือ ผงฟู และสารให้กลิ่นรสอื่นๆ โดยส่วนผสมเหล่านี้มีผลต่อรสชาติและลักษณะปรากฏของผลิตภัณฑ์ชุบแป้งทอด การชุบผลิตภัณฑ์ด้วยแป้งชุบทอด ก่อนการทอดจะช่วยเสริมลักษณะของผลิตภัณฑ์อาหารในด้านสี รูปร่างและช่วยเพิ่มกลิ่นรสให้แก่ผลิตภัณฑ์หลังทอด ผลิตภัณฑ์ที่นิยมชุบด้วยแป้งชุบทอด ได้แก่ เนื้อสัตว์และผักชนิดต่างๆ

ส่วนประกอบของแป้งชุบทอด

ส่วนประกอบของแป้งชุบทอด แบ่งได้ 2 กลุ่ม คือ กลุ่มที่เป็นองค์ประกอบหลัก ได้แก่ แป้งบางชนิด เช่น แป้งสาลีและแป้งข้าวโพด เป็นต้น กับส่วนที่เป็นองค์ประกอบย่อย ได้แก่ ผงฟู เกลือ และนมผงขาดมันเนย

แป้งสาลี เป็นองค์ประกอบหลักของแป้งชุบทอด มีส่วนประกอบสำคัญ คือ แป้ง (starch) โปรตีนและไขมัน องค์ประกอบสำคัญที่เป็นตัวกำหนดคุณภาพของแป้งสาลี คือ โปรตีน ซึ่งมีอิทธิพลต่อความเหนียวของน้ำแป้งดิบ ลักษณะผลิตภัณฑ์หลังทอดและคุณค่าทางโภชนาการ (Loewe,1996) แป้งสาลีมีโปรตีนที่สำคัญ คือ gliadin และ glutenin ซึ่งสามารถรวมตัวกัน

เกิดเป็นกลูเตนที่กักเก็บก๊าซและให้โครงสร้างที่เบากับผลิตภัณฑ์หลังทอด ขณะที่โปรตีนจากแป้งชนิดอื่นไม่มีสมบัติดังกล่าว (Suderman และ Cunningham, 1983) แป้งสาลีประกอบด้วย amylose และ amylopectin ในอัตราส่วนประมาณ 3 ต่อ 7 (BeMiller และ Whistler, 1996) มีอุณหภูมิในการเกิดเจล (gelatinization temperature) 52-64 °C (Rapaille และ Vanhemelrijck, 1992)

แป้งข้าวโพด หมายถึงแป้งที่ได้จากเมล็ดข้าวโพดที่ผ่านกรรมวิธีบดเปียก (wet milling) แยกโปรตีนและไขมันออกแล้วอบแห้ง (มาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม 637-2529) แป้งข้าวโพดประกอบด้วย amylose และ amylopectin ในอัตราส่วนประมาณ 3 ต่อ 7 (BeMiller และ Whistler, 1996) มีอุณหภูมิในการเกิดเจล 62-74 °C (Rapaille และ Vanhemelrijck, 1992) แป้งข้าวโพดมีสมบัติให้โครงสร้างที่เบาและเปราะแก่ผลิตภัณฑ์ชุบทอด (Loewe, 1996)

เกลือ ทำหน้าที่เพิ่มรสชาติของผลิตภัณฑ์ ในระบบที่น้ำจำกัดเกลือจะแย่งน้ำกับโปรตีนของแป้ง ทำให้อัตราการดูดน้ำของโปรตีนต่ำลง ส่งผลให้ความเหนียวของแป้งชุบทอดลดลง (Loewe, 1996)

ผงฟู ทำหน้าที่ให้ผลิตภัณฑ์ขึ้นฟูและเนื้อสัมผัสมีลักษณะเบาและมีรูพรุน โครงสร้างดังกล่าวนี้เกิดจากการสร้างก๊าซระหว่างการเตรียมหรือการให้ความร้อน ก๊าซที่เกิดขึ้นประกอบด้วย อากาศ ไอน้ำและคาร์บอนไดออกไซด์ (Bennion, 1995) ผงฟูผลิตจากส่วนผสม 3 ชนิด คือ sodium bicarbonate หรือ baking soda สารที่ให้ความเป็นกรด และแป้งข้าวโพดซึ่งเป็นส่วนผสมอยู่ร้อยละ 25-30 เพื่อทำหน้าที่ไม่ให้อาหารสองชนิดแรกผสมกันโดยตรงและดูดความชื้นซึ่งจะทำให้ผงฟูจับกันเป็นก้อน โดยทั่วไปแบ่งผงฟูได้เป็น 2 ประเภท คือผงฟูออกฤทธิ์ 1 ครั้ง (single acting) และผงฟูออกฤทธิ์ 2 ครั้ง (double acting) ผงฟูออกฤทธิ์ 1 ครั้งจะทำปฏิกิริยาทันทีและผลิตก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ที่ได้ทั้งหมดออกมา ผงฟูชนิดนี้ประกอบด้วย baking soda กับกรด tartaric หรือ cream of tartar หรือเกลือ phosphate เช่น calcium acid phosphate ส่วนผงฟูออกฤทธิ์ 2 ครั้ง เป็นผงฟูที่ให้ปฏิกิริยา 2 ขั้นตอน ประกอบด้วย baking soda กับกรด 2 ชนิด คือ กรดชนิดที่ทำปฏิกิริยาเร็วและกรดชนิดที่ทำปฏิกิริยาช้า กรดชนิดที่ทำปฏิกิริยาเร็ว ได้แก่ calcium acid phosphate จะทำปฏิกิริยาทันทีที่ผสมส่วนผสมเข้าด้วยกัน กรดชนิดที่ทำปฏิกิริยาช้าเป็นเกลือฟอสเฟต เช่น sodium pyrophosphate หรือ sodium aluminium sulphate จะทำปฏิกิริยาผลิตก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ออกมาเมื่อให้ความร้อนแก่ผลิตภัณฑ์ ในขั้นตอนการอบ (Kamel และ Stauffer, 1993)

นมผงขาดมันเนย มีหน้าที่ปรับปรุงสีของผลิตภัณฑ์อาหารทอด ช่วยเพิ่มสีน้ำตาลจากปฏิกิริยา Maillard ซึ่งเกิดจากกรดอะมิโนทำปฏิกิริยากับน้ำตาลรีดิวซ์ ทำให้เกิดสารสีน้ำตาล คือ 5-hydroxymethyl-2-furaldehyde หรือเรียกว่า melanoidin ดังนั้นปริมาณการใช้ต้องไม่มากเกินไป เพราะจะทำให้สีผิวของผลิตภัณฑ์เข้มเกินไปในขณะที่ภายในยังไม่สุก (Loewe, 1996)

การทอดแบบน้ำมันท่วม (Deep Fat Frying)

การทอดแบบน้ำมันท่วม เป็นการทอดในภาชนะก้นลึก ใช้น้ำมันในปริมาณมากให้ท่วมผลิตภัณฑ์ อุณหภูมิที่ใช้ทอดสูงประมาณ 150-220 °C และใช้เวลาในการทอดไม่นาน การทอดแบบน้ำมันท่วมเป็นวิธีที่ได้รับความนิยมทั้งในระดับอุตสาหกรรมและในครัวเรือน เนื่องจากให้ผลิตภัณฑ์ที่มีสีสม่ำเสมอทั้งชิ้น ในกระบวนการทอดมีน้ำมันเป็นตัวกลางในการถ่ายโอนความร้อนให้แก่อาหาร ปริมาณน้ำมันที่ดูดกลืนโดยผลิตภัณฑ์ทอดจึงขึ้นอยู่กับกลไกการดูดกลืนน้ำมันที่เกิดขึ้นในระหว่างการทอด (Moreira และคณะ, 1999) โดยขณะทอดเมื่อให้ความร้อนแก่น้ำมันในอาหารจะเปลี่ยนสถานะกลายเป็นไอระเหยออกมา ซึ่งจะเห็นเป็นฟองฟูอย่างรุนแรงขณะทอดและค่อยๆลดลงเมื่ออาหารเริ่มสุก การสูญเสียไอน้ำระหว่างทอดจะทำให้เกิดรูเปิด (pore) ทั้งที่ผิวนอกและเนื้อในของอาหาร จากนั้นน้ำมันจะเข้าสู่รูเปิดด้วยแรงซึมผ่านรูเข็ม (capillary force) และการสูญเสียความชื้นบริเวณผิวหน้าอาหารจะทำให้เกิดกลไกการสร้างเปลือก (crust) บริเวณผิวหน้าอาหารที่มีลักษณะแข็งกรอบและมีรูพรุน เนื่องจากไอน้ำที่ยังเหลืออยู่ด้านในของอาหารพยายามดันผ่านโครงสร้างบริเวณผิวของอาหารออกสู่ภายนอก (Paul และ Mittal, 1997) และสีน้ำตาลที่เกิดขึ้นที่ผิวของอาหารเกิดจากปฏิกิริยา caramelization และ/หรือปฏิกิริยา Maillard โดยปฏิกิริยา caramelization เกิดจากการเสียน้ำ (dehydration) ของโมเลกุลน้ำตาลเมื่อได้รับความร้อน ทำให้เกิดพันธะคู่หรือการสร้างวงแหวน anhydro ซึ่งเป็นวงแหวนไม่อิ่มตัว (unsaturated ring) เช่น ใน furans การเคลื่อนย้ายตำแหน่งของพันธะคู่ในรูป conjugate ทำให้เกิดสารที่ดูดกลืนแสงและให้สี และปฏิกิริยา Maillard เกิดจากกรดอะมิโนทำปฏิกิริยากับน้ำตาลรีดิวซ์ ทำให้เกิดสารสีน้ำตาล คือ 5-hydroxymethyl-2-furaldehyde หรือเรียกว่า melanoidin (BeMiller และ Whistler, 1996) การทอดแบบน้ำมันท่วมทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงคุณภาพของน้ำมันที่ใช้ทอด เนื่องจากความชื้นจากอาหารและอุณหภูมิที่ใช้ในการทอดสูงซึ่งคุณภาพของน้ำมันมีอิทธิพลต่อการดูดกลืนน้ำมันของผลิตภัณฑ์ทอด น้ำมันที่เสื่อมคุณภาพเมื่อใช้ทอดอาหารจะทำให้ผลิตภัณฑ์มีการดูดกลืนน้ำมันมากขึ้นการเสื่อมคุณภาพของน้ำมันเกิดขึ้นจากปฏิกิริยาต่างๆที่สำคัญมี 3 ปฏิกิริยา ได้แก่ ปฏิกิริยา hydrolysis, oxidation และ polymerization (Blumenthal, 1991)

Hydrolysis เป็นปฏิกิริยาเคมีหลักที่เกิดขึ้นในน้ำมันที่ใช้ทอดอาหารแบบน้ำมันท่วม จากการที่ใช้อุณหภูมิในการทอดสูงและน้ำในอาหารที่ออกสู่น้ำมันในรูปของไอน้ำทำปฏิกิริยากับ triglycerides ทำให้เกิดกรดไขมันอิสระ monoglycerides, diglycerides และ glycerins (Bennion, 1995 และ Lawson, 1985) สารที่เกิดจากปฏิกิริยา hydrolysis มีผลให้จุดเกิดควันของน้ำมัน (smoke point) ต่ำลง และลดแรงตึงระหว่างหน้า (interfacial tension) ระหว่างอาหารและน้ำมัน ทำให้อาหารทอดดูดกลืนน้ำมันมากขึ้น (Lawson, 1985) องค์ประกอบของอาหารที่เร่งให้เกิดปฏิกิริยานี้ ได้แก่ น้ำในอาหารและไอน้ำที่สร้างขึ้นจากปฏิกิริยาของผงฟูเมื่อได้รับความร้อน (Bennion, 1995 และ Moreira และคณะ, 1999)

Oxidation ปฏิกิริยานี้เกิดขึ้นได้ภายใต้สภาวะที่มีออกซิเจน น้ำมันจะทำปฏิกิริยากับออกซิเจนเป็นผลให้พันธะคู่ในโมเลกุลของน้ำมันลดจำนวนลง ปฏิกิริยา oxidation ที่เกิดที่อุณหภูมิต่ำ จะเกิดได้ระหว่างการเก็บโดยเกิดอย่างช้าๆ เรียกว่า auto-oxidation และปฏิกิริยานี้สามารถเกิดได้เร็วถ้าน้ำมันอยู่ในภาวะที่มีอุณหภูมิสูงและมีการสัมผัสกับออกซิเจนในอากาศ โดยมีโลหะหนักพวกเหล็กและทองแดงเป็น pro-oxidants หรือเป็นตัวกระตุ้นให้เกิดสารตั้งต้นของปฏิกิริยาซึ่ง ได้แก่ อนุมูลอิสระของไขมัน หลังจากเกิดอนุมูลอิสระจะเกิดปฏิกิริยาต่อได้ hydroperoxides จากนั้น hydroperoxides จะสลายตัว (degradation) ได้ 3 รูปแบบ คือเกิด fission ทำให้เกิดสาร aldehydes, alcohols, acids และ hydrocarbons เกิดปฏิกิริยา free radical formation ได้เป็น oxidized monomers, oxidative dimers, oxidative polymers, trimers, epoxides, alcohols, hydrocarbons, non polar dimers และ non polar polymers และเกิดปฏิกิริยา dehydration ได้ ketones ซึ่งสารเหล่านี้ทำให้เกิดกลิ่นหืนในน้ำมัน (Moreira และคณะ, 1999 และ Paul และ Mittal, 1997)

Polymerization เป็นปฏิกิริยาที่เกิดจากการรวมตัวภายในและระหว่างโมเลกุล triglycerides ทำให้เกิดสารพอลิเมอร์ ปฏิกิริยานี้จะเกิดร่วมกับปฏิกิริยา oxidation และจะเกิดที่อุณหภูมิสูงประมาณ 163-190 °C โดยเกิดจาก carbon-carbon และ/หรือ carbon-oxygen-carbon bridges ของโมเลกุล fatty acids ทำให้เกิดสาร cyclic polymers ที่มีผลทำให้น้ำมันมีสมบัติทางกายภาพด้านความหนืดเพิ่มขึ้นและสีเข้มขึ้น อาจเกิดลักษณะอมฟองเนื่องจากความหนืดที่สูงขึ้นทำให้น้ำมันปลดปล่อยความชื้นออกสู่อากาศภายนอกได้ยากขึ้น (Bennion, 1995 และ Lawson, 1985)

ปัจจัยสำคัญที่มีผลต่อการดูดกลืนน้ำมัน

ในกระบวนการทอดที่มีน้ำมันเป็นตัวกลางในการถ่ายโอนความร้อนให้แก่อาหาร การดูดกลืนหรืออมน้ำมันจะมากหรือน้อยขึ้นอยู่กับปัจจัยสำคัญ ได้แก่ คุณภาพและองค์ประกอบของน้ำมันที่ใช้ทอด อุณหภูมิและเวลาทอด ความชื้นของอาหาร รูปร่างและองค์ประกอบของอาหาร แรงตึงระหว่างน้ำต้งต้น (initial interfacial tension) ความพรุนของอาหาร (porosity) การสร้างเปลือกของอาหาร และการปฏิบัติก่อนการทอด (Saguy และ Pinthus, 1995 และ Blumenthal, 1991)

คุณภาพและองค์ประกอบของน้ำมัน น้ำมันที่เสื่อมคุณภาพ เช่น น้ำมันที่ผ่านการใช้งานมาระยะเวลาหนึ่ง หากนำมาใช้ทอดอาหารจะทำให้อาหารดูดกลืนน้ำมันมาก เนื่องจากความร้อน น้ำจากอาหาร และออกซิเจนในอากาศ ทำให้น้ำมันเกิดการเปลี่ยนแปลงทางกายภาพและเคมี การเปลี่ยนแปลงทางกายภาพ ได้แก่ สีของน้ำมันเข้มขึ้น ความหนืดเพิ่มขึ้น จุดเกิดควันต่ำลง และเกิดการสร้างฟอง (White, 1991) การเปลี่ยนแปลงทางกายภาพที่เกิดขึ้นเกิดเนื่องจากปฏิกิริยาทางเคมีของน้ำมัน ได้แก่

น้ำมันเกิดปฏิกิริยา hydrolysis ได้ กรดไขมันอิสระ monoglycerides diglycerides และ glycerol (White, 1991) ซึ่งเป็นผลให้จุดเกิดควันของน้ำมันต่ำลง (Moreira และคณะ, 1999)

น้ำมันถูก oxidized และสร้าง hydrogen peroxides, dienoic acids, epoxides, hydroxides และ ketones (White, 1991) ซึ่งเป็นผลให้น้ำมันมีกลิ่นหืน (Moreira และคณะ, 1999)

น้ำมันสร้างพันธะ คาร์บอน-คาร์บอน ระหว่างกรดไขมัน หรือกรดไขมันที่มีโครงสร้างแบบ cyclic fatty acids ทำให้เกิด dimeric acids ซึ่งเป็น cross-linking ระหว่างโมเลกุลของ triglycerides หรือภายในโมเลกุล triglycerides ทำให้เกิดพอลิเมอร์ที่มีมวลโมเลกุลสูงขึ้น (White, 1991) ซึ่งเป็นผลให้ความหนืดเพิ่มขึ้น สีของน้ำมันเข้มขึ้น และเกิดการสร้างฟอง (Bennion, 1995)

มีวิธีการหลายวิธีที่วัดการเสื่อมคุณภาพของน้ำมัน โดยวิธีเหล่านี้วัดการสร้างสารประกอบที่ระเหยได้ (volatile compounds) หรือสารประกอบที่ระเหยไม่ได้ (nonvolatile compounds) สารประกอบที่ระเหยได้ ได้แก่ hydrocarbons, aldehydes, ketones, furans และ carboxylic acids สารประกอบที่ระเหยไม่ได้ ได้แก่ polar monomers และ nonpolar monomers, dimers, trimers และสารประกอบที่มีมวลโมเลกุลสูง (White, 1991)

การเปลี่ยนแปลงของอาหารที่ระยะเวลาทอดต่างๆ แบ่งเป็นระยะได้ 5 ระยะ ได้แก่ break in oil, fresh oil, optimum oil, degrade oil และ runaway oil ในระยะ break in oil ผลิตภัณฑ์ยังไม่สุก แป้งยังไม่เกิดเจล สีและกลิ่นของอาหารยังไม่เปลี่ยนแปลง ยังไม่เกิดเปลือกแข็งที่ผิวของอาหารและอาหารดูคลื่อนน้ำมันเล็กน้อย fresh oil อาหารเริ่มสุก เกิดสีน้ำตาลเล็กน้อย แป้งเกิดเจลบางส่วน เกิดการสร้างเปลือกที่มีความกรอบที่ผิวหน้าอาหาร และมีการดูคลื่อนน้ำมันเล็กน้อย optimum oil อาหารสุกเกิดสีน้ำตาลทองที่ผิว เกิดโครงสร้างที่แข็งและกรอบที่ผิวด้านนอก เกิดกลิ่นรสที่ดี และตรงกลางชิ้นอาหารสุกอย่างทั่วถึง มีการดูคลื่อนน้ำมันปานกลาง degrade oil ผลิตภัณฑ์อาหารจะมีสีคล้ำและ/หรือเป็นจุดดำที่ผิวหน้าและมีการดูคลื่อนน้ำมันมาก อาหารจะมีผิวหน้าที่แข็งมาก runaway oil อาหารจะมีสีเข้มมากและอาหารมีลักษณะชุ่มด้วยน้ำมัน เกิดการยุบตัวของผิวนอก อาหารมีกลิ่นและรสไหม้ (Paul และ Mittal, 1997)

อุณหภูมิและเวลาที่ใช้ทอด อุณหภูมิทอดในช่วง 150-180 °C ยังไม่มีผลต่อการดูคลื่อนน้ำมันของอาหาร การดูคลื่อนน้ำมันจะลดลงถ้าใช้อุณหภูมิในช่วง 180-200 °C อย่างไรก็ตาม อุณหภูมิในช่วงนี้อาจไม่เหมาะที่จะใช้ทอดอาหารบางชนิด โดยเฉพาะพวกที่มีน้ำตาลเป็นองค์ประกอบค่อนข้างมาก เพราะอาจทำให้ผิวมีสีเข้มแต่ตรงกลางชิ้นอาหารยังไม่สุก แต่การใช้ อุณหภูมิทอดต่ำ ทำให้ต้องใช้เวลาในการทอดนานขึ้นการอมน้ำมันของผลิตภัณฑ์เกิดได้มากขึ้น (Paul และ Mittal, 1997) Pinthus และ Saguy (1994) ศึกษาการทอดชิ้นมันฝรั่งขึ้นรูปที่มีเส้นผ่านศูนย์กลาง 2 และ 3 เซนติเมตร ทอดที่อุณหภูมิ 170 °C นาน 30 - 300 วินาที เมื่อเวลาทอดนานขึ้นมันฝรั่งทอดมีปริมาณน้ำมันในชิ้นเพิ่มขึ้น สอดคล้องกับงานวิจัยของ Makinson และคณะ (1987) ที่ทดลองทอดอาหารทั้งหมด 16 ชนิด ได้แก่ กุ้ง กุ้ง หอมใหญ่ มันฝรั่ง สับปะรด มะเขือม่วง มะเขือเทศ เห็ด เนื้อวัว เนื้อไก่ ไส้กรอก เนื้อแกะ ตับ เนื้อหมู เนื้อลูกวัว กุ้ง และ ไส้กรอกเยอรมัน ในน้ำมันที่อุณหภูมิ 175 ± 5 °C แปรเวลาในการทอดเป็น 0, 10, 30 และ 70 วินาที พบว่าเมื่อเวลาในการทอดนานขึ้นความชื้นของผลิตภัณฑ์ที่เหลืออยู่หลังทอดลดลง และปริมาณไขมันเพิ่มขึ้น โดยที่เวลาทอด 70 วินาที ผลิตภัณฑ์มีความชื้นต่ำสุดและไขมันสูงที่สุด

ความชื้นของอาหาร ความชื้นของอาหารบอกรวมปริมาณน้ำที่มีในอาหาร Cybulska และ Doe (1997) รายงานว่าน้ำในอาหารมี 5 ประเภท ได้แก่ constitutional water, vicinal water, multilayer water, free water และ entrapped water โดยอธิบายว่า constitutional water คือน้ำที่จำเป็นในการคงรูปโมเลกุลของอาหาร เป็นส่วนหนึ่งของโมเลกุลอาหารโดยเกาะติดด้วยพันธะที่แข็งแรงมาก เช่น พันธะ covalent vicinal water คือ bound water ที่ยึดติดกับตำแหน่งที่

ขอบน้ำของส่วนประกอบอาหารที่ไม่เกี่ยวกับของเหลวและรวมตัวอยู่เป็นชั้น multilayer water คือ bound water ที่มีกรรมตัวเป็นชั้นอยู่รอบ hydrophobic groups free water เป็นน้ำที่แทรกอยู่ในช่องว่างของอาหาร ยึดอยู่กับองค์ประกอบอาหารด้วยพันธะที่ไม่แข็งแรงหรือเป็นตัวทำละลายในสารละลายความเข้มข้นต่ำๆ และ entrapped water คือน้ำอิสระที่ถูกกักอยู่ใน matrix หรือ เจล Saguy และ Pinthus (1995) กล่าวไว้ว่าขณะทอดเมื่ออาหารสัมผัสกับน้ำมันที่มีอุณหภูมิสูง free water เริ่มระเหยกลายเป็นไอออกมาก่อนและน้ำมันจะแพร่เข้าสู่รูเปิดของอาหาร ถ้าอาหารมีความชื้นเริ่มต้นสูงการดูดกลืนน้ำมันจะเกิดมากขึ้น เนื่องจากความชื้นที่เสียไปประหวัดทอดทำให้มีช่องว่างที่น้ำมันจะผ่านเข้าได้มากขึ้น (Saguy และ Pinthus, 1995) Gamble, Rice และ Selman (1987) ศึกษาการทอดมันฝรั่ง โดยแปรอุณหภูมิและเวลาในการทอด ใช้อุณหภูมิทอด 145, 165 และ 185 °C และเวลา 0-5 นาที แปรเวลาห่างกันช่วงละ 30 วินาที พบว่าการสูญเสียความชื้นและการดูดกลืนน้ำมันของมันฝรั่งมีความสัมพันธ์เชิงเส้นกับเวลาที่สองของเวลาในการทอด และกลไกการสูญเสียความชื้นของมันฝรั่งมีอิทธิพลต่อปริมาณน้ำมันของมันฝรั่งทอด

รูปร่างและองค์ประกอบของอาหาร รูปร่างและองค์ประกอบของอาหารมีผลต่อการดูดกลืนน้ำมันของอาหารทอด อาหารที่มีอัตราส่วนของพื้นที่ผิวต่อมวล (surface-to-mass-ratio) มาก เช่น อาหารที่มีผิวหน้าขรุขระจะดูดกลืนน้ำมันมาก เนื่องจากมีพื้นที่ผิวที่สัมผัสกับน้ำมันมาก และองค์ประกอบของอาหารบางชนิดมีผลต่อการดูดกลืนน้ำมัน (Saguy และ Pinthus, 1995) Mohamed, Hamid และ Hamid (1998) รายงานว่าโปรตีนไข่ขาว (ovalbumin) ช่วยลดการดูดกลืนน้ำมันของก้อนแป้งทอด เนื่องจากสมบัติการเกิดเจลเมื่อได้รับความร้อน (thermal gelation) และการเกิดฟิล์ม (film forming ability) แต่ไข่แดง กลูเตน และนมผงขาดมันเนยจะเพิ่มการดูดกลืนน้ำมัน Pinthus, Weinberg และ Saguy (1993) รายงานว่าเซลลูโลสผงและอนุพันธ์ของเซลลูโลส คือ hydroxypropyl methylcellulose (HPMC) ช่วยลดการดูดกลืนน้ำมันของโดนัททอด เนื่องจากมีโครงสร้างที่ขอบน้ำ และ HPMC มีความสามารถในการเกิดเจลและฟิล์ม

แรงตึงระหว่างหน้าเริ่มต้น การดูดกลืนน้ำมันของอาหารระหวัดทอดเกิดมาก ถ้าอาหารมีแรงตึงระหว่างหน้าระหวัดอาหารและน้ำมันต่ำ ที่ระยะเวลาทอดสั้นๆ ความสัมพันธ์ของแรงตึงระหว่างหน้าของอาหารและน้ำมันไม่ชัดเจน การดูดกลืนน้ำมันจะเกิดขึ้นเมื่อแรงตึงระหว่างหน้าของอาหารและน้ำมันลดลง น้ำมันจะแพร่เข้าสู่รูเปิดของอาหารบริเวณที่เป็น liquid-vapor interfacial area กลไกการผ่านเข้าสู่รูเปิดจึงสัมพันธ์โดยตรงกับแรงตึงระหว่างหน้าของอาหาร

และน้ำมัน มุมสัมผัส (contact angle) ระหว่างผิวหน้าอาหารกับน้ำมัน และความพรุนของอาหาร (Saguy และ Pinthus, 1995) Pinthus และ Saguy (1994) ศึกษาแรงตึงระหว่างหน้าของอาหารและน้ำมันในมันฝรั่งขึ้นรูป โดยการใช้ตัวกลางในการทอด 2 ชนิด ได้แก่ น้ำมันถั่วเหลืองและน้ำมันถั่วเหลืองที่ผ่านการใช้งาน (โดยใช้ทอดอาหารมาแล้วที่อุณหภูมิ 170 °C และเก็บนาน 1 เดือน) วัดแรงตึงผิวของน้ำมันด้วย tensiometer วัดมุมในการสัมผัสระหว่างตัวกลางที่ใช้ทอดกับมันฝรั่งด้วย goniometer วิเคราะห์การดูดกลืนน้ำมันและการสูญเสียความชื้นของ มันฝรั่งทอด จากผลการวิจัยน้ำมันถั่วเหลืองใหม่และน้ำมันถั่วเหลืองที่ผ่านการใช้งานมีค่าแรงตึงระหว่างหน้า 0.34×10^{-3} และ 0.19×10^{-3} N/m ตามลำดับ และมีมุมสัมผัส 38 และ 33 องศา ตามลำดับ และมันฝรั่งที่ทอดด้วยน้ำมันใหม่มีปริมาณไขมันต่ำกว่าที่ใช้ น้ำมันที่ผ่านการใช้งานมาแล้ว

ความพรุน ความพรุนเริ่มต้นของอาหารมีความสัมพันธ์เชิงเส้นกับการดูดกลืนน้ำมัน ถ้าอาหารมีความพรุนมาก แสดงว่ามีปริมาตรส่วนที่ว่างที่น้ำมันจะผ่านเข้าไปได้มาก สามารถประมาณความพรุนของอาหารได้จากวิธีหาความหนาแน่น (density method) ความพรุนของอาหารจะเพิ่มขึ้นเมื่อเวลาในการทอดนานขึ้น (Pinthus, Weinberg และ Saguy, 1995a) Pinthus และคณะ (1995a) ศึกษาการเปลี่ยนแปลงความพรุนกับการดูดกลืนน้ำมันในมันฝรั่งขึ้นรูปแช่เยือกแข็งที่เก็บที่อุณหภูมิ -18 ± 2 °C พบว่าถ้าเก็บนานขึ้นความพรุนจะมาก และเมื่อนำไปทอดที่อุณหภูมิ 170 °C นาน 5 นาที จะดูดกลืนน้ำมันเพิ่มมากขึ้นด้วย

เปลือกนอกของอาหาร มีอิทธิพลต่อการถ่ายโอนความร้อน (heat transfer) และการถ่ายโอนมวล (mass transfer) ระหว่างทอด เปลือกจะถูกสร้างขึ้นขณะทอดเมื่ออุณหภูมิของน้ำในอาหารสูงขึ้น น้ำจะเปลี่ยนสถานะเป็นไอระเหยออกมา การสูญเสียไอน้ำบริเวณผิวหน้าและการหดตัวของเนื้อเยื่ออาหาร จะทำให้เกิดการสร้างเปลือกที่มีลักษณะแห้งแข็งและมีรูพรุน (Moreira และคณะ, 1999) Pinthus, Weinberg และ Saguy (1995b) รายงานว่าน้ำมันจะดูดกลืนในชิ้นอาหาร ร้อยละ 35-38 ผิวนอกของอาหาร ร้อยละ 60-65 เมื่อทอดเป็นเวลา 1 และ 5 นาที และพบว่าที่เวลาทอด 5 นาที ผลิตภัณฑ์มีค่า yield strength ของผิวนอกมีความพรุนและการดูดกลืนน้ำมันเพิ่มขึ้นเมื่อเทียบกับตัวอย่างที่ทอดเป็นเวลา 1 นาที

การปฏิบัติก่อนการทอด การลวกหรือวิธีการอื่นๆที่ใช้ลดความชื้นของอาหารก่อนทอด จะลดการดูดกลืนน้ำมันได้ เช่น การลวกด้วยน้ำร้อน ใช้ไอน้ำร้อนและการแช่เยือกแข็งก่อนทอด ช่วยลดการดูดกลืนน้ำมันได้ การลดความชื้นก่อนทอดจะทำให้อาหารมีความชื้นเริ่มต้นลดลง น้ำที่ระเหยออกไประหว่างทอดจะลดลง น้ำมันจึงเข้าแทนที่ได้น้อยลง (Saguy และ Pinthus, 1995)

พอลิเมอร์ชีวภาพ (Biopolymer)

พอลิเมอร์ชีวภาพ เป็นสารพอลิเมอร์ที่เกิดขึ้นตามธรรมชาติจากสิ่งมีชีวิต แบ่งได้เป็น 3 กลุ่ม ได้แก่ polysacchrides, โปรตีน และ polynucleic acids (Alger, 1989) มีการใช้พอลิเมอร์ชีวภาพในกลุ่ม polysaccharides และโปรตีนในผลิตภัณฑ์ชุบแป้งทอดเพื่อวัตถุประสงค์ต่างๆ ได้แก่ ปรับปรุงความเหนียวของน้ำแป้งดิบ เพิ่มความแข็งแรงยึดติด (adhesive strength) และความแรงเชื่อมแน่น (cohesive strength) ของแป้งชุบทอดกับวัสดุแกน เพิ่มเสถียรภาพระหว่างการละลายน้ำแข็ง (freeze thaw stability) ลดพลังงานและ cholesterol ในอาหาร และปรับปรุงสีของอาหารทอด (Loewe, 1996)

พอลิเมอร์ชีวภาพชนิดที่ใช้ในงานวิจัยนี้

พอลิเมอร์ชีวภาพที่ใช้ในงานวิจัยมี 3 ชนิด ได้แก่ HPMC , high amylose corn starch และ ไข่ขาวผง

HPMC เป็นอนุพันธ์ของเซลลูโลส เซลลูโลสตามธรรมชาติเป็นพอลิเมอร์ของ (1-4)-linked - β - D-glucopyranosyl units พบมากในเซลล์พืช มีสมบัติไม่ละลายน้ำแต่พองตัวได้ในน้ำและไม่ให้พลังงาน HPMC ได้จากการแทนที่กลุ่มของ glucose backbone ด้วย methyl หรือ hydroxypropyl เมื่อ alkaline cellulose ทำปฏิกิริยากับ methyl chloride และ propylene oxide ทำให้มีสมบัติละลายน้ำได้และเกิดเจลเมื่อได้รับความร้อน ให้โครงสร้างแบบร่างแหสามมิติกักเก็บน้ำไว้ในโครงสร้าง สมบัตินี้เองที่ช่วยลดการดูดกลืนน้ำมันในอาหารทอด HPMC มีอุณหภูมิในการเกิดเจล 60-90 °C ความแข็งแรงของเจลขึ้นกับจำนวนหมู่ methyl และ hydroxypropyl โดยหมู่ methyl จะให้โครงสร้างที่แข็งแรง ในทางตรงกันข้ามหมู่ hydroxypropyl จะให้เจลที่นิ่มและโครงสร้างที่ขอบน้ำมากกว่าเจลที่แทนที่ด้วยหมู่ methyl (Coffey, Bell และ Henderson, 1995 และ BeMiller และ Whistler, 1996) ปัจจุบันมีการใช้ HPMC ในอาหารเพื่อวัตถุประสงค์ต่างๆ อาทิ เพิ่มความคงตัวของอิมัลชันในน้ำสลัด ลดการสูญเสียความชื้นใน

ผลิตภัณฑ์เบเกอร์รี่ เป็นสารเชื่อมและช่วยหล่อลื่นใน extruded foods และช่วยควบคุมขนาดของผลิตภัณฑ์ในอาหารแช่แข็ง (Grover, 1993)

Pinthus และ คณะ (1993) รายงานว่า HPMC และเซลลูโลสผงช่วยลดการดูดกลืนน้ำมันในโดนัทได้ โดยเซลลูโลสผงและHPMC มีโครงสร้างที่ชอบน้ำ แต่HPMCมีประสิทธิภาพในการลดการดูดกลืนน้ำมันได้ดีกว่าเซลลูโลสผงเนื่องจากมีสมบัติในการเกิดเจลเมื่อได้รับความร้อน และสามารถสร้างฟิล์มที่มีความชอบน้ำบนผิวหน้าอาหาร จึงช่วยลดการสูญเสียความชื้นและลดการดูดกลืนน้ำมันของโดนัททอด Huse และคณะ (1998) ทดลองเคลือบผิวหน้าผลิตภัณฑ์ cowpea paste ด้วย HPMC โดยการพ่นฝอย (spraying) และ ชุบ (dipping) พบว่า HPMC ช่วยลดการดูดกลืนน้ำมันได้ พบว่าปริมาณน้ำมันของ cowpea paste หลังทอดลดลง โดยวิธีชุบจะให้ปริมาณไขมันหลังทอดต่ำสุด และมีความชื้นเหลืออยู่มากขึ้น สอดคล้องกับงานวิจัยของ Balasubramaniam และ คณะ (1997) ที่ทดลองเคลือบผิวหน้าลูกชิ้นไก่ด้วยฟิล์มของ HPMC พบว่าลูกชิ้นไก่ที่ได้มีปริมาณไขมันที่ผิวนอกและเนื้อในต่ำ และมีปริมาณความชื้นที่ผิวนอกและเนื้อในสูงขึ้นเมื่อเปรียบเทียบกับลูกชิ้นที่ไม่ได้เคลือบผิว Holowania และ คณะ (2000) รายงานว่าใช้สารละลาย HPMC เข้มข้น ร้อยละ 1 โดยปริมาตร ผสมกับส่วนผสมที่จะนำไปคลุกชิ้นไก่ ใช้อัตราส่วนผสมสารละลาย HPMC ต่อส่วนผสมที่จะนำไปคลุก 1 ต่อ 50 โดยน้ำหนัก คลุกแล้วทอดไก่ที่อุณหภูมิ 174 °C นาน 2.75 นาที เปรียบเทียบกับตัวอย่างที่ไม่ได้คลุก พบว่าHPMC ช่วยให้ชิ้นไก่มีความชื้นเพิ่มขึ้นและไขมันลดลง

High amylose corn starch แป้ง มีองค์ประกอบที่สำคัญ 2 ส่วน คือ amylose และ amylopectin พบมากในส่วนของราก เมล็ดและลำต้นพืช amylose มีโครงสร้างเป็นเส้นตรง ประกอบด้วยกลูโคสเชื่อมต่อกันด้วยพันธะ α -1,4 glycosidic ขณะที่ amylopectin มีโครงสร้างเป็นเส้นตรงและประกอบด้วยกิ่งก้านมากมายของ(1 \rightarrow 6)-linked- α glucopyranosyl unit (Kaster and Fennema, 1986) แป้งทั่วไปมี amylose เป็นองค์ประกอบ ร้อยละ 20-30 ส่วน high amylose corn starch เป็นแป้งที่ผ่านการดัดแปรทางพันธุกรรม เพื่อให้มี amylose อยู่ในช่วง ร้อยละ 50-80 เรียกว่า amylo maize starch และอาจมีการดัดแปรทางเคมี (chemical modification) ร่วมด้วย โดยใช้กระบวนการ oxidization, etherification และ esterification เพื่อให้มีสมบัติตามต้องการ ซึ่ง granule ของแป้งชนิดนี้จะมีโครงสร้างที่เป็นผลึก (crystalline) สูง ทำให้มีอุณหภูมิในการเกิดเจลสูงกว่าแป้งปกติ (BeMiller, 1973 และ BeMiller และ Whister, 1996) BeMiller และ Whister (1996) รายงานว่า high amylose corn starch มีอุณหภูมิในการเกิดเจล 120-170 °C ในระบบที่มีน้ำเพียงพอ โดยแป้งข้าวโพดทั่วไปมีอุณหภูมิในการเกิดเจล 62-80 °C สอดคล้องกับ BeMiller (1973) ที่รายงานว่าสารละลาย amylose กระจายตัวในน้ำ

(dispersible) ยาก ต้องให้ความร้อน 150°C นาน 5 นาที จึงละลายได้สมบูรณ์และเกิดเจลอย่างรวดเร็วเมื่ออุณหภูมิสูงขึ้น amylose ดูดซับน้ำได้ประมาณ 4 เท่า จึงให้เจลที่มีความหนืดสูงจากโครงสร้างที่เป็นสายตรงเชื่อมต่อกันของกลูโคสทำให้มีสมบัติในการเกิดเจลและฟิล์ม เนื่องจากเกิด interaction ระหว่างโมเลกุลของกลูโคส ทำให้มีความสามารถในการลดการดูดกลืนน้ำมันในผลิตภัณฑ์ทอดได้ มีการใช้ high amylose corn starch ในอาหารเพื่อจุดประสงค์ต่างๆ เช่น ทำเป็นฟิล์มสำหรับบรรจุภัณฑ์อาหาร เป็นสารให้ความข้นหนืดในอาหารเช่นใน instant pudding และน้ำเกรวี่ เป็นสารเชื่อมใน extruded products และผลิตภัณฑ์เนื้อสัตว์ เป็นต้น (BeMiller, 1973)

Shih และ Daigle (1999) รายงานว่าแป้งชุบทอดที่ทำจากแป้งข้าวเจ้าดูดกลืนน้ำมันน้อยกว่าแป้งชุบทอดที่ทำจากแป้งสาลี เนื่องจากแป้งข้าวเจ้ามีปริมาณ amylose เป็นองค์ประกอบสูงกว่าแป้งสาลี และได้ศึกษาเปรียบเทียบแป้งข้าว 2 ชนิด คือ waxy rice flour และ long grain rice flour พบว่าก่อนแป้งทอดที่ทำจาก long grain rice flour มีปริมาณไขมันต่ำกว่าก่อนแป้งทอดที่ทำจาก waxy rice flour เนื่องจาก long grain rice flour มีปริมาณ amylose สูงกว่า คือ มีอัตราส่วน amylopectin ต่อ amylose เป็น 80 ต่อ 20 และ waxy rice flour มี amylopectin ต่อ amylose เป็น 98 ต่อ 2 สอดคล้องกับงานวิจัยของ Mohamed และคณะ (1998) ที่ทดลองแทนที่แป้งข้าวเจ้าด้วยแป้งข้าวเหนียวในปริมาณ 0-500 g ในแป้งข้าวเจ้า 1 kg พบว่าแป้งชุบทอดที่ทำจากแป้งข้าวเจ้าอย่างเดียวดูดกลืนน้ำมันต่ำกว่าและให้ความกรอบมากกว่าตัวอย่างที่ใช้แป้งข้าวเหนียว เนื่องจากแป้งข้าวเจ้ามี amylose สูงกว่าจึงช่วยเพิ่ม interaction ระหว่างสายของกลูโคสทำให้การดูดกลืนน้ำมันลดลง

ไข่ขาวผง ไข่ขาวผงเป็นโปรตีนรูปทรงกลม (globular proteins) ประกอบด้วยองค์ประกอบหลัก คือ ovalbumin ร้อยละ 54 ของน้ำหนักแห้ง และโปรตีนอื่นๆ ได้แก่ ovotransferin, ovomucoid, ovomucin และ lysozyme ในปริมาณต่ำ โดย ovalbumin เป็น monomeric phosphoglycoprotein มี N-terminus เป็นหมู่ acetyl และประกอบด้วย cysteine 4 โมเลกุล และ cysteine 1 โมเลกุล มีมวลโมเลกุลประมาณ 44.5 กิโลดาลตัน สามารถเกิดเจลและ/หรือฟิล์มบนผิวหน้าอาหารเมื่อได้รับความร้อน ซึ่งเกิดจากการเสียสภาพธรรมชาติของโปรตีน สมบัตินี้เองที่ช่วยลดการดูดกลืนน้ำมันในอาหารทอดได้ มีอุณหภูมิในการเกิดเจล $71-74^{\circ}\text{C}$ การเสียสภาพของโปรตีนไข่ขาวแบ่งเป็น 2 ขั้นตอน ขั้นตอนแรกโมเลกุลของโปรตีนยืดออก โดยพันธะที่เคยมีตามธรรมชาติแตกออกบางส่วน ต่อมาโมเลกุลเหล่านี้จะเข้ามามีพันธะกันใหม่ในสามทิศทางเกิดโครงสร้างแบบร่างแหและกักเก็บน้ำไว้ในโครงสร้างด้วยพันธะ disulfide และไฮโดรเจน (Etsushiro และ Naofumi, 1997) Damodaran (1996) อธิบายว่า

โมเลกุลของน้ำสามารถจับกับหมู่ของโปรตีน ได้แก่ charged group (ion-dipole interaction), backbone peptide groups, amine group ของ asparagine และ glutamine , hydroxyl group ของ serine , threonine และ tyrosine residues (alldipole-dipole interaction) และ nonpolar residues (dipole - induced dipole interaction, hydrophobic hydration) มีการใช้ไข่ขาวผงเพื่อจุดประสงค์ต่างๆ ในอาหาร เช่น ปรับปรุงสมบัติด้านหน้าที่ของอาหาร เช่น gel strength และสมบัติการอุ้มน้ำ และการเป็นสารในฟอง เป็นต้น (Etsushiro และ Naofumi, 1997)

Mohamed, Lajis และ Hamid (1995) รายงานว่าโปรตีนไข่ขาวช่วยลดการดูดกลืนน้ำมันของโดนัททอดได้แต่ไม่ช่วยเพิ่มความกรอบ (crispness) ในทางตรงกันข้ามโปรตีนบางชนิด ได้แก่ กลูเตน ไข่แดง โปรตีนถั่วเหลืองและนมผงขาดมันเนย ทำให้โดนัททอดมีการดูดกลืนน้ำมันมากขึ้น สอดคล้องกับงานวิจัยของ Mohamed และคณะ (1998) ที่รายงานว่าโปรตีนไข่ขาวทำให้ก้อนแป้งทอดมีปริมาณน้ำมันลดลง แต่กลูเตน ไข่แดง โปรตีนถั่วเหลือง และนมผงขาดมันเนย ทำให้ก้อนแป้งดูดกลืนน้ำมันสูงขึ้น

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

การทดลอง

วัสดุอาหาร

แป้งสาลีอเนกประสงค์	ตราบัวแดง (บริษัท ยูไนเต็ดฟลาวมิลล์ จำกัด มหาชน)
แป้งข้าวโพด	ตราแม็กกาแรต (บริษัท เบนแอนด์โก จำกัด)
ผงฟู	ตรารอยัล (บริษัท เสรีวัฒณ์ฟู๊ดส์ จำกัด)
เกลือป่น	ตราปรุngthิพย์ (บริษัท สหพัฒน์พิบูล จำกัด)
ผงชูรส	ตราอายิโนะโมะไต้ะ (บริษัท อายิโนะโมะไต้ะ จำกัด)
นมผงขาดมันเนย	ตรามิชชั่น (บริษัท มิชชั่นเฮ้ลท์ฟู๊ด จำกัด)
น้ำมันปาล์มโอดีเอ็น	ตราโอดีเอ็น (บริษัท โอดีเอ็น จำกัด)

ปลาทรายแดง (*Nemipterus spp.*) ซื้อจากตลาดบางปะกอก กรุงเทพฯ เลือกเฉพาะที่ลูกตาใส เหงือกสีแดงสด ผิวหนังเป็นมันเงา และเนื้อแน่นไม่นุ่มตามแรงมือกด ปลาที่ใช้มีน้ำหนักตัวโดยเฉลี่ย 150-200 g ตัดหัว ควักได้และแล่ บรรจุในกล่องโฟมพร้อมน้ำแข็ง เพื่อควบคุมอุณหภูมิไม่ให้เกิน 4 °C

ซูริมิ ทำจากปลาทรายแดง จากบริษัท ซีรอยอด อาหารทะเล จำกัด มีค่า gel strength 500 g.cm

พอลิเมอร์ชีวภาพ

HPMC จาก บริษัท ซิกม่า ประเทศไทย จำกัด มีความหนืด 4,000 cPs (สารละลายความเข้มข้นร้อยละ 2 ในน้ำที่ 20 °C) มีหมู่ methoxy ร้อยละ 29 degree of substitution (DS) ของ methoxy เป็น 1.7-1.9 และ propylene ร้อยละ 7 molar substitution (MS) ของ propylene oxide เป็น 0.1-0.2

ไข่ขาวผง จากบริษัท ไทยฟู๊ดส์แอนด์เคมีคอล จำกัด

High amylose corn starch (CRISP FILM) จากบริษัท National Starch & Chemical Starch Co. มี amylose เป็นองค์ประกอบร้อยละ 50-70

สารเคมี

Sulfuric acid	(A.R.)
Sodium hydroxide	(A.R.)
Boric acid	(A.R.)
Copper sulphate	(A.R.)
Potassium sulphate	(A.R.)
Methyl red	(A.R.)
Methylene blue	(A.R.)
Petroleum ether	(A.R.)
Trichloroacetic acid	(A.R.)
Bromocresol green	(A.R.)
Ethyl alcohol	(A.R.)
Potassium carbonate	(A.R.)
Potassium chloride	(A.R.)
Potassium dihydrogen phosphate	(A.R.)
Di-sodium hydrogen phosphate	(A.R.)
Phenolphthalein	(A.R.)

บรรจุภัณฑ์

ถุงพลาสติกชนิด Nylon 15 μm / Linear Low Density Polyethylene 120 μm
(NY / LLDPE) ขนาด 22 X 25 cm

ถุงพลาสติก ชนิด Polyethylene Terephthalate 12 μm / Polyethylene 20
 μm -Metallized Polyethylene Terephthalate 12 μm / Polyethylene Terephthalate 20 μm /
Linear Low Density Polyethylene 50 μm (PET / PE -VmPET / PET / LLDPE) ขนาด 11
X 23.7 cm

อุปกรณ์

อุปกรณ์ที่ใช้เตรียมผลิตภัณฑ์

เครื่องบดเนื้อที่ประกอบด้วยแผ่นปิดหน้าที่มีรูเปิดขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 5 mm
(Kenwood, A9070)

เครื่องสับผสมเนื้อ Braun, Type 4259)

กระทะไฟฟ้าก้นลึกระบบดิจิตอล (Deep fat frying, YAMATO Thermo-Mate BF600)

นาฬิกาจับเวลา

เครื่องชั่งน้ำหนัก ทศนิยม 3 ตำแหน่ง (Satorious, B310S)

เครื่องวัดอุณหภูมิระบบดิจิตอล (FLUKE, 51)

เครื่องแช่แข็งด้วยไนโตรเจนเหลว Cryo-Test Chamber (Air Product, XL-55 HP)

เครื่องบันทึกอุณหภูมิ (YOKOGAWA, LR 4210) ซึ่งประกอบด้วยสาย thermocouple ชนิด copper – constantan อุณหภูมิ -200 ถึง 400 °C

เครื่องผสมอาหาร (Kenwood, A9070)

ตู้แช่เยือกแข็งแบบนอน (SANYO, SF-C95) อุณหภูมิ -18 °C

เครื่องปิดผนึกสุญญากาศ (Multivac, AG506)

ไส้เทียมทำจาก cellophane ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 18 mm

ฟิมล์เตนเลส ขนาด 27 x 8 x 0.9 mm

อ่างควบคุมอุณหภูมิ (Mammert, D-91126) ช่วงอุณหภูมิ 0 - 95 °C

อุปกรณ์ที่ใช้วิเคราะห์คุณภาพทางกายภาพ

เครื่องวัดเนื้อสัมผัส (Stable Micro System, TA-XT2I)

เครื่องวัดความหนืด (Brookfield Viscometer) (Brookfield Engineering Laboratories USA. รุ่น DV-II version 3.2

เครื่องวัดความหนืด (Brookfield Viscometer) (Brookfield Engineering Laboratories USA. รุ่น RVT)

ตู้อบช่วงอุณหภูมิ 50-250 °C (WTB binder, E-53)

เครื่องวัดสี (Minolta Chroma Meter, CR 300 series)

เครื่องชั่งน้ำหนัก ทศนิยม 4 ตำแหน่ง (Sartorius, A200S)

อุปกรณ์ที่ใช้วิเคราะห์คุณภาพทางเคมี

ชุดวิเคราะห์โปรตีน (Kjeldahltherm and vadopest I, Gerhardt, KT 85)

ชุดวิเคราะห์ไขมัน (Gerhardt Soxtherm Automatic, S166)

เตาเผา (Isotemp, FT01/138) ช่วงอุณหภูมิ อุณหภูมิห้อง - 1125 °C

เครื่องหมุนเหวี่ยงแยกสารละลายแบบควบคุมอุณหภูมิต่ำ (Heraeus-Christ, Verifuge K)

จานคอนเวย์ (Conway) สำหรับวิเคราะห์ค่า TVB ทำจากแก้วเนื้อหนาเส้นผ่านศูนย์กลางภายใน 75 mm ลึก 15-20 mm ขอบวงในสูง 10 mm และมีฝาปิด

ขั้นตอนและวิธีดำเนินงานวิจัย

3.1 วิเคราะห์คุณภาพวัตถุดิบ

วัตถุดิบที่ใช้ในการผลิตปลาขึ้นรูปแช่แข็งแบ่งทอด แบ่งเป็น 2 ประเภท ประเภทแรกเป็นแป้งสำหรับผลิตแป้งแช่ทอด ประกอบด้วย แป้งสาลีและแป้งข้าวโพด ประเภทที่สอง วัตถุดิบที่นำมาผลิตเป็นปลาขึ้นรูปแช่เยือกแข็ง ได้แก่ ปลาทรายแดงและซูริมิ

3.1.1 แป้งสาลีและแป้งข้าวโพด วิเคราะห์ความชื้น ไขมัน โปรตีนและเถ้า (AOAC,1995) วิเคราะห์ตัวอย่างละ 3 ซ้ำ (วิธีวิเคราะห์แสดงในภาคผนวก ก)

3.1.2 วัตถุดิบที่ผลิตปลาขึ้นรูปแช่เยือกแข็ง

ปลาทรายแดง เมื่อนำมาถึงห้องทดลอง ล้างด้วยน้ำเย็นอุณหภูมิไม่เกิน 10 °C ตัดหัว ควักไส้ และแลให้มีลักษณะเป็น fillet นำไปผ่านเครื่องบดที่มีรูเปิดขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 5 mm วิเคราะห์หองค์ประกอบทางเคมี ได้แก่ ความชื้น โปรตีน ไขมัน และ เถ้า (AOAC, 1995) โปรตีนที่ละลายในเกลือ (MFRD,1987) และคุณภาพทางเคมี โดยวิเคราะห์ค่า TVB (MFRD,1987) วิเคราะห์ตัวอย่าง 3 ซ้ำ (วิธีวิเคราะห์แสดงไว้ในภาคผนวก ก)

ซูริมิแช่เยือกแข็ง ละลายน้ำแข็งในตู้เย็นที่อุณหภูมิประมาณ 5 °C นาน 18 ชม. ทิ้งให้มีขนาดเล็กและบดผ่านรูเปิดขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 5 mm วิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมี ได้แก่ ความชื้น โปรตีน ไขมันและเถ้า (AOAC,1995) วิเคราะห์ตัวอย่าง 3 ซ้ำ (วิธีวิเคราะห์แสดงไว้ในภาคผนวก ก)

3.2 การเปลี่ยนแปลงคุณภาพของน้ำมันระหว่างทอด

ประเมินคุณภาพเริ่มต้นของน้ำมันปาล์มโพลีเอสเตอร์ ประเมินคุณภาพทางกายภาพ โดยวัดค่าความหนืดด้วย Brookfield Viscometer ที่อุณหภูมิ 25 °C ใช้หัววัด CC48 ความเร็วรอบ 20 rpm ประเมินคุณภาพทางเคมี โดยวิเคราะห์ปริมาณกรดไขมันอิสระ (AOAC,1995) และคำนวณค่า acid value (AOAC, 1995) ศึกษาการเปลี่ยนแปลงคุณภาพของน้ำมันปาล์มโพลีเอสเตอร์ระหว่างทอดที่อุณหภูมิ 170 °C ภายในระยะเวลา 120 นาที การทอดแต่ละครั้งใช้น้ำมัน 3.5 ลิตร

เนื่องจากต้องการใช้สภาวะดังกล่าวในการทอดตลอดงานวิจัย ทดลองโดยนำปลาขึ้นรูปแช่เยือกแข็งที่ผลิตตามสูตรและวิธีของ Broughton (1992) มีขนาดต่อชิ้น 4x1.8x0.9 cm น้ำหนัก 9.2-9.5 g ชุบในแป้งชุบทอดสูตรควบคุมที่ผลิตตามสูตรของ Burge (1996) ส่วนผสมแห้งต่อน้ำ 1 ต่อ 1.3 นาน 15 วินาที ดึงขึ้นมาพักน้ำแป้งดิบหลังชุบ 2 วินาที ทอดในน้ำมันที่อุณหภูมิ 170 °C นาน 4 นาที 30 วินาที วางบนกระดาษซับน้ำมัน 10 นาที ทอดทีละชิ้นต่อเนื่องกันทั้งหมด 16 ชิ้น ภายในเวลา 120 นาที สุ่มตัวอย่างน้ำมันทุกๆ 30 นาที เพื่อประเมินคุณภาพทางกายภาพ

ประเมินคุณภาพทางกายภาพของน้ำมันที่ใช้ทอด โดยวัดค่าความหนืด ด้วย Brookfield Viscometer ที่อุณหภูมิ 25 °C ใช้หัววัด CC48 ความเร็วรอบ 20 rpm และประเมินคุณภาพทางเคมี โดยวัดปริมาณกรดไขมันอิสระ (AOAC, 1995) ประเมินคุณภาพของปลาขึ้นรูปชุบแป้งทอด โดยวิเคราะห์ปริมาณไขมัน (AOAC, 1995)

วางแผนการทดลองแบบ Completely Randomized Design ทดลอง 3 ซ้ำ วิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติโดยใช้โปรแกรมคอมพิวเตอร์สำเร็จรูป MSTAT (Nissin, 1986) เปรียบเทียบค่าเฉลี่ยโดยวิธี Duncan' New Multiple Range Test (Cochran และ Cox, 1985)

ตารางที่ 3.1 ส่วนผสมของแป้งชุบทอด

ส่วนผสม	ปริมาณ (ร้อยละโดยน้ำหนัก)
แป้งสาลี	79.30
แป้งข้าวโพด	15.86
ผงฟู	1.84
นมผงขาดมันเนย	0.75
เกลือ	2.25

ผลิตปลาขึ้นรูปแช่เยือกแข็ง โดยแบ่งส่วนประกอบเป็น 2 ส่วน ส่วนแรก ได้แก่ ปลาทรายแดงแล้เป็น fillet บดผ่านรูเปิดเส้นผ่านศูนย์กลาง 5 mm สับผสมกับเครื่องปรุงตามสูตรของ Broughton (1992) (ตารางที่ 3.2) ด้วยเครื่องสับผสมเป็นเวลา 10 นาที และควบคุมอุณหภูมิระหว่างสับไม่ให้เกิน 10 °C ได้เป็น fish paste ส่วนที่สอง ได้แก่ ซูริมิแช่เยือกแข็งที่ผ่านการทำละลายน้ำแข็งที่อุณหภูมิประมาณ 5 °C นาน 18 ชม. บดผ่านรูเปิดขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 5 mm สับผสมกับเครื่องปรุงตามสูตรของ Broughton (1992) ด้วยเครื่องสับผสมเป็นเวลา 5 นาที และควบคุมอุณหภูมิระหว่างสับไม่ให้เกิน 10 °C บรรจุในไส้เทียม cellophane ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 1.8 cm set เจลในน้ำที่อุณหภูมิ 40 °C นาน 20 นาที และที่อุณหภูมิ 90 °C นาน 20 นาที ทำให้เย็นทันทีในน้ำอุณหภูมิ 3 ± 2 °C และเก็บที่อุณหภูมิ 5 °C นาน 24 ชม. จากนั้นลอกไส้เทียมออกและสับด้วยเครื่องสับผสมเป็นเวลา 4 วินาที ให้มีขนาดประมาณ 3 mm ได้เป็น shredded pre-cooked surimi นำส่วนประกอบทั้งสองมาผสมกันที่ อัตราส่วน fish paste ต่อ shredded pre-cooked surimi ที่เหมาะสมที่สุด คือ 70:30 (จากการทดลองเบื้องต้น) อัดใส่พิมพ์เก็บที่ -18 °C นาน 12 ชม. ตัดเป็นแท่งขนาด 4 x 1.8 x 0.9 cm แช่เยือกแข็งด้วยไนโตรเจนเหลวที่อุณหภูมิ -40 °C (จากการทดลองเบื้องต้น) จนอุณหภูมิกายในเป็น -18 °C (ภาพผลิตภัณฑ์แสดงในภาคผนวก ข.1) บรรจุใส่ถุงพลาสติก NY/LLDPE ถุงละ 15 ชิ้น เก็บที่อุณหภูมิ -18 °C

ตารางที่ 3.2 ส่วนผสมสำหรับซูริมิและปลาทรายแดงในการผลิตปลาขึ้นรูปแช่เยือกแข็ง

ส่วนผสม	ปริมาณ (ร้อยละ)	
	ซูริมิ	ปลาทรายแดง
เกลือ	2.5	1.5
น้ำ	30	30
แป้งสาลี	3	7.5
ไข่ขาวผง	1	1.5
ผงชูรส	0.75	-

3.3 ผลของพอลิเมอร์ชีวภาพต่อการดูดกลืนน้ำมันในผลิตภัณฑ์ปลาชั้นรูปแท่งแข็ง

จากผลการทดลองในข้อ 3.2 สรุปได้ว่าสามารถใช้ไขมันในการทอดผลิตภัณฑ์ปลาชั้นรูปแท่งแข็งทอดที่สภาวะทอดในงานวิจัยต่อเนื่องกันภายในเวลา 120 นาที จากนั้นศึกษาผลของพอลิเมอร์ชีวภาพต่อการดูดกลืนน้ำมันในปลาชั้นรูปแท่งแข็งทอดที่น้ำหนักชุบติดน้ำแป้งดิบเท่ากัน โดยแปรระดับการแทนที่แป้งด้วย HPMC เป็นร้อยละ 0, 0.2, 0.4, 0.6 และ 0.8 โดยน้ำหนักแป้ง (แสดงดังตารางที่ 3.3) high amylose corn starch แทนที่แป้งในสูตรควบคุม ร้อยละ 0, 5, 10, 15 และ 20 โดยน้ำหนักแป้ง (แสดงดังตารางที่ 3.4) และไข่ขาวผงแทนที่แป้งในสูตรควบคุม ร้อยละ 0, 1.5, 3.0, 4.5 และ 6.0 โดยน้ำหนักแป้ง (แสดงดังตารางที่ 3.5) (ระดับการแปรทุกตัวอย่างได้จากการทดลองเบื้องต้น)

ตารางที่ 3.3 องค์ประกอบของแป้งชุบทอดที่แทนที่แป้งด้วย HPMC ร้อยละ 0, 0.2, 0.4, 0.6, และ 0.8 โดยน้ำหนักแป้ง

ระดับการแทนที่แป้ง ร้อยละโดยน้ำหนักแป้ง (g)	องค์ประกอบ (g)				
	แป้งสาลี	แป้งข้าวโพด	ผงฟู	นมผงขาดมันเนย	เกลือ
0 (0) ¹	79.30	15.86	1.84	0.75	2.25
0.2 (0.19)	79.14	15.83	1.84	0.75	2.25
0.4 (0.38)	78.98	15.80	1.84	0.75	2.25
0.6 (0.57)	78.83	15.76	1.84	0.75	2.25
0.8 (0.76)	78.67	15.73	1.84	0.75	2.25

(¹) น้ำหนัก HPMC

ตารางที่ 3.4 องค์ประกอบของแป้งชูบทอดที่แทนที่แป้งด้วย high amylose corn starch ร้อยละ 0, 5, 10, 15 และ 20 โดยน้ำหนักแป้ง

ระดับการแทนที่แป้ง ร้อยละโดยน้ำหนักแป้ง (g)	องค์ประกอบ (g)				
	แป้งสาลี	แป้งข้าวโพด	ผงฟู	นมผงขาดมันเนย	เกลือ
0 (0) ¹	79.30	15.86	1.84	0.75	2.25
5 (4.76)	75.33	15.07	1.84	0.75	2.25
10 (9.52)	71.37	14.27	1.84	0.75	2.25
15 (14.27)	67.41	13.48	1.84	0.75	2.25
20 (19.03)	63.44	12.69	1.84	0.75	2.25

(¹) น้ำหนัก high amylose corn starch

ตารางที่ 3.5 องค์ประกอบของแป้งชูบทอดที่แทนที่แป้งด้วยไข่ขาวผง ร้อยละ 0, 1.5, 3.0, 4.5 และ 6.0 โดยน้ำหนักแป้ง

ระดับการแทนที่แป้ง ร้อยละโดยน้ำหนักแป้ง (g)	องค์ประกอบ (g)				
	แป้งสาลี	แป้งข้าวโพด	ผงฟู	นมผงขาดมันเนย	เกลือ
0 (0) ¹	79.30	15.86	1.84	0.75	2.25
1.5 (1.43)	78.11	15.62	1.84	0.75	2.25
3.0 (2.85)	76.93	15.38	1.84	0.75	2.25
4.5 (4.28)	75.73	15.15	1.84	0.75	2.25
6.0 (5.71)	74.54	14.91	1.84	0.75	2.25

(¹) น้ำหนักไข่ขาวผง

เตรียมน้ำแป้งดิบที่ผลิตตามสูตรของ Burge (1996) อัตราส่วนของส่วนผสมแห้งต่อน้ำ 1 ต่อ 1.3 ประเมินคุณภาพทางกายภาพของน้ำแป้งดิบ โดยวัดค่าความหนืดปรากฏ ด้วย Brookfield Viscometer ความเร็วรอบ 50 rpm วัดที่อุณหภูมิ 30 ± 2 °C จากการทดลองพบว่าการแทนที่แป้งด้วยพอลิเมอร์ไข่ขาวทั้ง 3 ชนิด ทำให้ความหนืดปรากฏของน้ำแป้งดิบเปลี่ยน จึงทดลองเบื้องต้นเพื่อหาระยะเวลาในการพักน้ำแป้งหลังชูบเพื่อให้ได้น้ำหนักชูบติดน้ำแป้งดิบที่

เท่ากัน (การหาน้ำหนักชุปติดทำตามวิธีของ Hutchison, Smith และ Kulp (1996) ดังแสดงในภาคผนวก ก.7) สำหรับแป้งที่ผสม HPMC แทนที่แป้งร้อยละ 0, 0.2, 0.4, 0.6 และ 0.8 โดยน้ำหนักแป้ง ชุปปลาขึ้นรูปแช่เยือกแข็งลงในน้ำแป้งดิบ 15 วินาที และพักหลังชุบ เป็นเวลา 2, 4, 6, 10 และ 17 วินาที แป้งที่ผสม high amylose corn starch แทนที่แป้ง ร้อยละ 0, 5, 10, 15 และ 20 โดยน้ำหนักแป้ง ชุบนาน 15 วินาที พักหลังชุบ 2, 2, 1, 1 และ 1 วินาที และแป้งที่ผสมไข่ขาวผงแทนที่แป้งร้อยละ 0, 1.5, 3.0, 4.5 และ 6 โดยน้ำหนักแป้ง ชุบนาน 15 วินาที และพักน้ำแป้งดิบหลังชุบ 2, 2, 1.5, 1.5, และ 1.5 วินาที ตามลำดับ (น้ำหนักชุปติดน้ำแป้งดิบจากการทดลองเบื้องต้นแสดงในภาคผนวก จ.6, จ.17 และ จ.28) จากนั้นทอดในน้ำมันที่อุณหภูมิ 170°C นาน 4 นาที 30 วินาที วางบนกระดาษซับน้ำมัน 10 นาที ลอกชั้นแป้งออกจากเนื้อใน ประเมินคุณภาพทางเคมี ได้แก่ ปริมาณความชื้นของชั้นแป้งและเนื้อใน ไขมันของชั้นแป้ง เนื้อใน และ รวมทั้งชั้น (ได้จากผลรวมของไขมันที่ชั้นแป้งและเนื้อใน) ตามวิธี AOAC (1995) วัดค่าความแข็ง (hardness) ของชั้นแป้ง ด้วยเครื่อง texturometer โดยใช้หัววัดรุ่น P/0.25S กำหนดค่า prespeed, speed และ post speed เป็น 1 mm/s หน่วยที่วัดได้เป็น g (วิธีวัดแสดงในภาคผนวก ข.3) และผลิตภัณฑ์ปลาขึ้นรูปชุบแป้งทอดทั้งชิ้นโดยวัดค่าสีวัดด้วยเครื่อง Hunterlab Digital Color Difference Meter วัดเป็น L, a*, b* (วิธีวัดแสดงในภาคผนวก ข.4) และประเมินคุณภาพทางประสาทสัมผัส

การประเมินคุณภาพด้านต่างๆของน้ำแป้งดิบและผลิตภัณฑ์ปลาขึ้นรูปชุบแป้งทอด วางแผนการทดลองแบบ Completely Randomized Design ทดลอง 3 ซ้ำ วิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติโดยใช้โปรแกรมคอมพิวเตอร์สำเร็จรูป MSTAT (Nissin, 1986) เปรียบเทียบค่าเฉลี่ยโดยวิธี Duncan's New Multiple Range Test (Cochran และ Cox, 1985)

การทดสอบทางประสาทสัมผัส ใช้วิธี scoring test โดยใช้แบบสอบถามชนิด quantitative descriptive analysis with scoring (ภาคผนวก ค) มีช่วงคะแนน 1-9 โดย 9 หมายถึงผลิตภัณฑ์ที่มีการยอมรับมากที่สุด และ 5 หมายถึง ผลิตภัณฑ์ไม่ได้รับการยอมรับ ประเมินคุณภาพด้าน สี ความกรอบ การอมน้ำมัน รสชาติ และการยอมรับรวม ใช้ผู้ทดสอบที่ผ่านการฝึกฝนด้วยวิธีของ Meilgard, Coville และ Carr (1987) จำนวน 9 คน (ขั้นตอนการฝึกฝนและวิธีการคัดเลือกแสดงในภาคผนวก ค) วางแผนการทดลอง แบบ Randomized Complete Block Design ทดลอง 3 ซ้ำ วิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติโดยใช้โปรแกรมคอมพิวเตอร์สำเร็จรูป MSTAT (Nissin, 1986) เปรียบเทียบค่าเฉลี่ยโดยวิธี Duncan's New Multiple Range Test

3.4 เปรียบเทียบประสิทธิภาพของพอลิเมอร์ชีวภาพ

จากข้อ 3.3 ได้ระดับการแทนที่แป้งด้วย HPMC, high amylose corn starch และไซข้าวผงที่เหมาะสม นำมาเปรียบเทียบประสิทธิภาพของพอลิเมอร์ชีวภาพทั้ง 3 ชนิดที่ระดับดังกล่าวกับตัวอย่างควบคุม โดยเตรียมน้ำแป้งดิบในครั้งเดียวกันตามสูตรและวิธีในข้อ 3.3 ประเมินคุณภาพทางกายภาพของน้ำแป้งดิบ ตามวิธีเช่นเดียวกับข้อ 3.3 ชุบปลาขึ้นรูปแช่เยือกแข็ง โดยควบคุมให้น้ำหนักชุบติดน้ำแป้งดิบของทั้ง 4 ตัวอย่างเท่ากัน โดยชุบปลาขึ้นรูปแช่เยือกแข็งลงในน้ำแป้งดิบ 15 วินาที และพักหลังน้ำแป้งดิบหลังชุบตามเวลาที่กำหนดในข้อ 3.3 แล้วทอดในน้ำมันปาล์มโอเลอินที่อุณหภูมิ 170 °C ใช้น้ำมันครั้งละ 3.5 ลิตร ทอดผลิตภัณฑ์นาน 4 นาที 30 วินาที วางบนกระดาษซับน้ำมัน 10 นาที ลอกชั้นแป้งออกจากเนื้อในประเมินคุณภาพทางเคมี โดยวิเคราะห์ความชื้นของชั้นแป้งและเนื้อใน ปริมาณไขมันของชั้นแป้ง เนื้อใน และรวมทั้งชั้น (คำนวณจากผลรวมของไขมันที่ชั้นแป้งและเนื้อใน) ตามวิธี AOAC (1995) วัดค่าความแข็ง ของชั้นแป้ง และผลิตภัณฑ์ปลาขึ้นรูปชุบแป้งทอดทั้งชั้น วัดค่าสีด้วยเครื่อง (L, a*, b*) และประเมินคุณภาพทางประสาทสัมผัสด้าน สี ความกรอบ การอมน้ำมัน รสชาติ และการยอมรับรวม ทำตามวิธีเช่นเดียวกับข้อ 3.3

การประเมินคุณภาพด้านต่างๆของน้ำแป้งดิบและผลิตภัณฑ์ปลาขึ้นรูปชุบแป้งทอด วางแผนการทดลองแบบ Completely Randomized Design ทดลอง 3 ซ้ำ วิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติโดยใช้โปรแกรมคอมพิวเตอร์สำเร็จรูป MSTAT (Nissin, 1986) เปรียบเทียบค่าเฉลี่ยโดยวิธี Duncan's New Multiple Range Test (Cochran และ Cox, 1985) การทดสอบทางประสาทสัมผัสวางแผนการทดลองแบบ Randomized Complete Block Design ทดลอง 3 ซ้ำ วิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติโดยใช้โปรแกรมคอมพิวเตอร์สำเร็จรูป MSTAT (Nissin, 1986) เปรียบเทียบค่าเฉลี่ยโดยวิธี Duncan's New Multiple Range Test (Cochran และ Cox, 1985)

สถาบันวิจัยปศุสัตว์
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

บทที่ 4

ผลการทดลอง

4.1 วิเคราะห์คุณภาพของวัตถุดิบ

วัตถุดิบที่ใช้ในการผลิตปลาขึ้นรูปชุบแป้งทอด แบ่งเป็น 2 ประเภท ประเภทแรก แป้งที่ใช้ผลิตแป้งชุบทอด ประกอบด้วย แป้งสาลีและแป้งข้าวโพด ประเภทที่สองวัตถุดิบที่ผลิตเป็นปลาขึ้นรูปแช่เยือกแข็ง ได้แก่ ปลาทรายแดง และ ชูริมิ

4.1.1 แป้งสาลีและแป้งข้าวโพด วิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมีโดยประมาณ ผลการวิเคราะห์ดังแสดงในตารางที่ 4.1

4.1.2 วัตถุดิบที่ผลิตปลาขึ้นรูปแช่เยือกแข็ง

ปลาทรายแดง วิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมีโดยประมาณ โปรตีนที่ละลายในเกลือ และวัดค่า TVB ผลการวิเคราะห์ดังแสดงในตารางที่ 4.2 และลักษณะปรากฏของปลาทรายแดง (แสดงในรูปที่ 4.1)

ชูริมิแช่เยือกแข็ง มีค่า gel strength 500 g.cm วิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมีโดยประมาณ ผลการวิเคราะห์ดังแสดงในตารางที่ 4.3 และลักษณะปรากฏของชูริมิ (แสดงในรูปที่ 4.2)

ตารางที่ 4.1 องค์ประกอบทางเคมีของแป้งสาลีและแป้งข้าวโพด

ชนิดแป้ง	ค่าเฉลี่ย ¹ (ร้อยละ)				
	ความชื้น	โปรตีน	ไขมัน	คาร์โบไฮเดรต ²	เถ้า
แป้งสาลี	12.80 ± 0.72	11.07 ± 0.85	0.20 ± 0.01	75.47	0.46 ± 0.04
แป้งข้าวโพด	10.57 ± 0.21	0.18 ± 0.01	0.02 ± 0.01	89.09	0.14 ± 0.01

¹ค่าเฉลี่ยจากการวิเคราะห์ 3 ซ้ำ

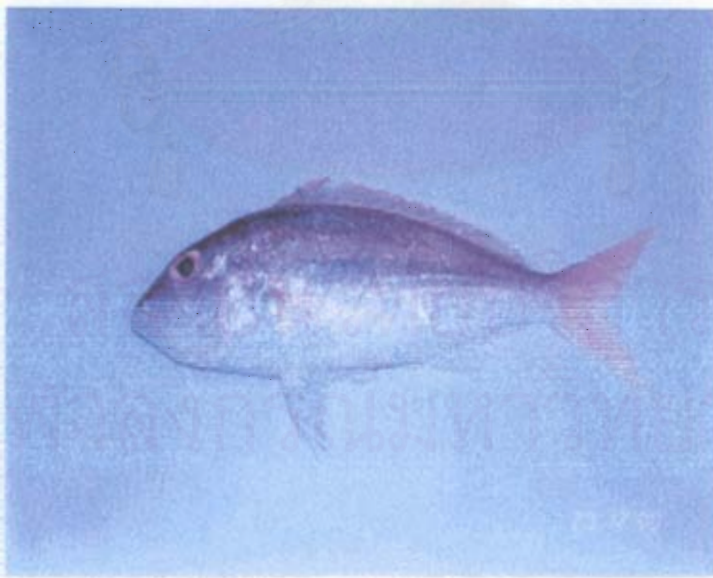
²คำนวณจากผลต่างของ 100 กับปริมาณองค์ประกอบอื่นๆ

ตารางที่ 4.2 องค์ประกอบทางเคมี ปริมาณโปรตีนที่ละลายในเกลือและค่า TVB ของปลาทรายแดง

องค์ประกอบ	ค่าเฉลี่ย ¹
ความชื้น (ร้อยละโดยน้ำหนัก)	82.74 ± 0.22
โปรตีน (ร้อยละโดยน้ำหนัก)	15.66 ± 0.19
ไขมัน (ร้อยละโดยน้ำหนัก)	0.66 ± 0.02
เถ้า (ร้อยละโดยน้ำหนัก)	0.64 ± 0.01
คาร์โบไฮเดรต ² (ร้อยละโดยน้ำหนัก)	0.30
โปรตีนที่ละลายในเกลือ (ร้อยละโดยปริมาณโปรตีนทั้งหมด)	54.06 ± 0.76
ค่า TVB (mg/100g)	17.56 ± 0.39

¹ค่าเฉลี่ยจากการวิเคราะห์ 3 ซ้ำ

²คำนวณจากผลต่างของ 100 กับปริมาณองค์ประกอบอื่นๆ ยกเว้นโปรตีนที่ละลายในเกลือ และค่า TVB



รูปที่ 4.1 ลักษณะของปลาทรายแดง

ตารางที่ 4.3 องค์ประกอบทางเคมีของซูริมิ

องค์ประกอบ	ค่าเฉลี่ย ¹ (ร้อยละโดยน้ำหนัก)
ความชื้น	80.23 ± 0.35
โปรตีน	15.69 ± 0.27
ไขมัน	0.09 ± 0.01
เถ้า	0.84 ± 0.02
คาร์โบไฮเดรต ²	3.15

¹ค่าเฉลี่ยจากการวิเคราะห์ 3 ซ้ำ

²คำนวณจากผลต่างของ 100 กับปริมาณองค์ประกอบอื่นๆ



รูปที่ 4.2 ลักษณะของซูริมิ

แป้งสาลีและแป้งข้าวโพดมีความชื้น ไขมัน คาร์โบไฮเดรต และเถ้า ในปริมาณใกล้เคียงกัน แต่แป้งสาลีมีโปรตีนสูงและแป้งข้าวโพดมีโปรตีนต่ำ ปลาทรายแดงและซูริมีมีความชื้นและโปรตีนสูง มีไขมัน เถ้าและคาร์โบไฮเดรตต่ำ ปลาทรายแดงมีปริมาณโปรตีนที่ละลายในเกลือสูงถึงร้อยละ 54.06 ของปริมาณโปรตีนทั้งหมด และที่มีค่า TVB 17.56 mg/100g มีคุณภาพความสดอยู่ในเกณฑ์ดี โดย Uchiyama (1978) กล่าวว่าปลาทะเลที่มีค่า TVB อยู่ในช่วง 6-20 mg/100g มีคุณภาพด้านความสดอยู่ในเกณฑ์ดี

4.2 การเปลี่ยนแปลงคุณภาพของน้ำมันระหว่างทอด

ประเมินคุณภาพของน้ำมันปาล์มโกลเด้นเริ่มต้นก่อนใช้งานได้ผลดังแสดงในตารางที่ 4.4 และศึกษาการเปลี่ยนแปลงคุณภาพของน้ำมันปาล์มโกลเด้นระหว่างทอดที่อุณหภูมิ 170°C ภายในเวลา 120 นาที ผลิตปลาชิ้นรูปชุปแป้งทอดตามวิธีในข้อ 3.2 ประเมินคุณภาพของน้ำมันที่ใช้ทอดและปลาชิ้นรูปชุปแป้งทอด ทุกๆ 30 นาที ประเมินคุณภาพทางกายภาพของน้ำมัน โดยวัดค่าความหนืด และประเมินคุณภาพทางเคมี โดยวัดปริมาณกรดไขมันอิสระ ได้ผลดังแสดงในตารางที่ 4.5 และ 4.6 ปลาชิ้นรูปชุปแป้งทอดประเมินคุณภาพทางเคมี โดยวิเคราะห์ปริมาณไขมันทั้งชิ้น ได้ผลดังแสดงในรูปที่ 4.3

ตารางที่ 4.4 ค่าความหนืดและปริมาณกรดไขมันอิสระของน้ำมันปาล์มโกลเด้น

สมบัติที่วิเคราะห์	ค่าเฉลี่ย ¹
ความหนืด (cPs)	52.77 ± 0.40
ปริมาณกรดไขมันอิสระ (ร้อยละ)	0.31 ± 0.00

¹ ค่าเฉลี่ยจากการวิเคราะห์ 3 ซ้ำ

น้ำมันปาล์มโอเลอินที่ใช้มีค่าความหนืดเฉลี่ย 52.77 cPs ปริมาณกรดไขมันอิสระเฉลี่ยร้อยละ 0.31 ซึ่งคำนวณเป็นค่า acid value ได้ 0.6 mg sodium hydroxide ต่อตัวอย่างน้ำมัน 1 g ซึ่งจัดเป็นน้ำมันปาล์มโอเลอินผ่านกรรมวิธีที่มีคุณภาพในเกณฑ์มาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม มอก. 288-2535

ตารางที่ 4.5 ค่าความหนืดของน้ำมันปาล์มโอเลอินที่ใช้ทอดที่เวลาทอด 0, 30, 60, 90 และ 120 นาที

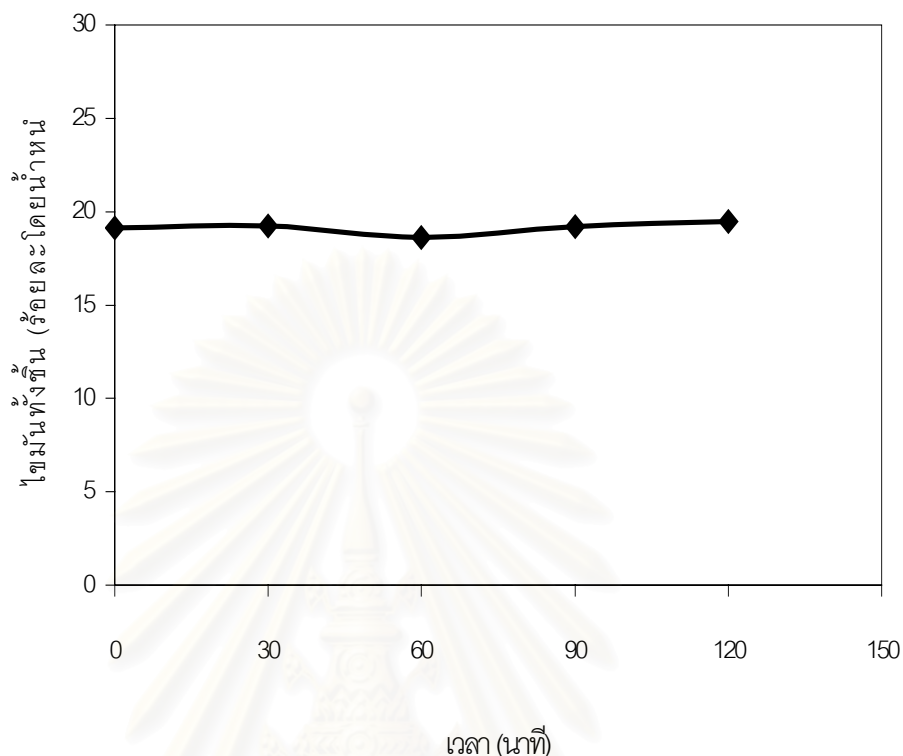
ระยะเวลา (นาที)	ความหนืด (cPs)
0	53.53 ^b ± 0.35
30	53.83 ^b ± 0.61
60	55.37 ^{ab} ± 0.12
90	55.80 ^{ab} ± 1.51
120	57.27 ^a ± 2.55

a, b ตัวเลขที่มีอักษรกำกับต่างกัน แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$)

ตารางที่ 4.6 ปริมาณกรดไขมันอิสระที่เกิดขึ้นในน้ำมันที่ใช้ทอดที่เวลา 0, 30, 60, 90 และ 120 นาที

ระยะเวลา (นาที)	กรดไขมันอิสระ (ร้อยละ)
0	0.31 ^e ± 0.00
30	0.32 ^d ± 0.01
60	0.33 ^c ± 0.00
90	0.34 ^b ± 0.00
120	0.36 ^a ± 0.00

a,b,c,... ตัวเลขที่มีอักษรกำกับต่างกัน แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$)



รูปที่ 4.3 ปริมาณไขมันของปลาขึ้นรูปชุบแป้งทอดที่เวลาทอด 0, 30, 60, 90 และ 120 นาที

จากการวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติ พบอิทธิพลของเวลาทอดต่อค่าความหนืด (ตารางที่ 4.5) และปริมาณกรดไขมันอิสระของน้ำมัน (ตารางที่ 4.6) เมื่อเวลาทอดเพิ่มขึ้นน้ำมันมีความหนืดและปริมาณกรดไขมันอิสระเพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$) แต่เวลาทอดที่เพิ่มขึ้นไม่มีผลต่อปริมาณไขมันของปลาขึ้นรูปชุบแป้งทอด ($p > 0.05$)

จากการวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติทั้งหมด พบว่าความหนืดและปริมาณกรดไขมันอิสระของน้ำมันทอดที่เพิ่มขึ้นยังไม่มีผลต่อปริมาณไขมันที่ดูดกลืนในปลาขึ้นรูปชุบแป้งทอดที่ทอดที่สภาวะดังกล่าว ซึ่งสอดคล้องกับ USDA (1997) ที่รายงานว่าน้ำมันที่ใช้ทอดผลิตภัณฑ์ปลา ไก่ และเนื้อชุบแป้งหรือคลุกขนมปังต้องมีปริมาณกรดไขมันอิสระไม่เกินร้อยละ 2

4.3 ผลของพอลิเมอร์ชีวภาพต่อการดูดกลืนน้ำมันในผลิตภัณฑ์ปลาขึ้นรูปแช่เยือกแข็ง

ศึกษาผลของ HPMC, high amylose corn starch และไข่ขาวผง ต่อการดูดกลืนน้ำมันในปลาขึ้นรูปชุบแป้งทอดที่น้ำหนักชุบติดน้ำแป้งดิบเท่ากัน โดยแปรระดับการแทนที่แป้งด้วย HPMC ร้อยละ 0, 0.2, 0.4, 0.6 และ 0.8 โดยน้ำหนักแป้ง high amylose corn starch แทนที่แป้งร้อยละ 0, 5, 10, 15 และ 20 โดยน้ำหนักแป้ง และไข่ขาวผงแทนที่แป้งร้อยละ 0, 1.5, 3.0, 4.5 และ 6.0 โดยน้ำหนักแป้ง วัดค่าความหนืดปรากฏของน้ำแป้งดิบ ผลิตภัณฑ์ปลาขึ้นรูปชุบแป้งทอดวิเคราะห์ปริมาณความชื้นของชั้นแป้งและเนื้อใน ปริมาณไขมันของชั้นแป้ง เนื้อใน และรวมทั้งชิ้น ค่าสี ความแข็งของชั้นแป้ง และประเมินคุณภาพทางประสาทสัมผัสด้านสี ความกรอบ การร่อนน้ำมัน รสชาติและการยอมรับรวมของผลิตภัณฑ์ที่ได้ ผลการวิเคราะห์แสดงในตารางที่ 4.7-4.15 และรูปที่ 4.4-4.12

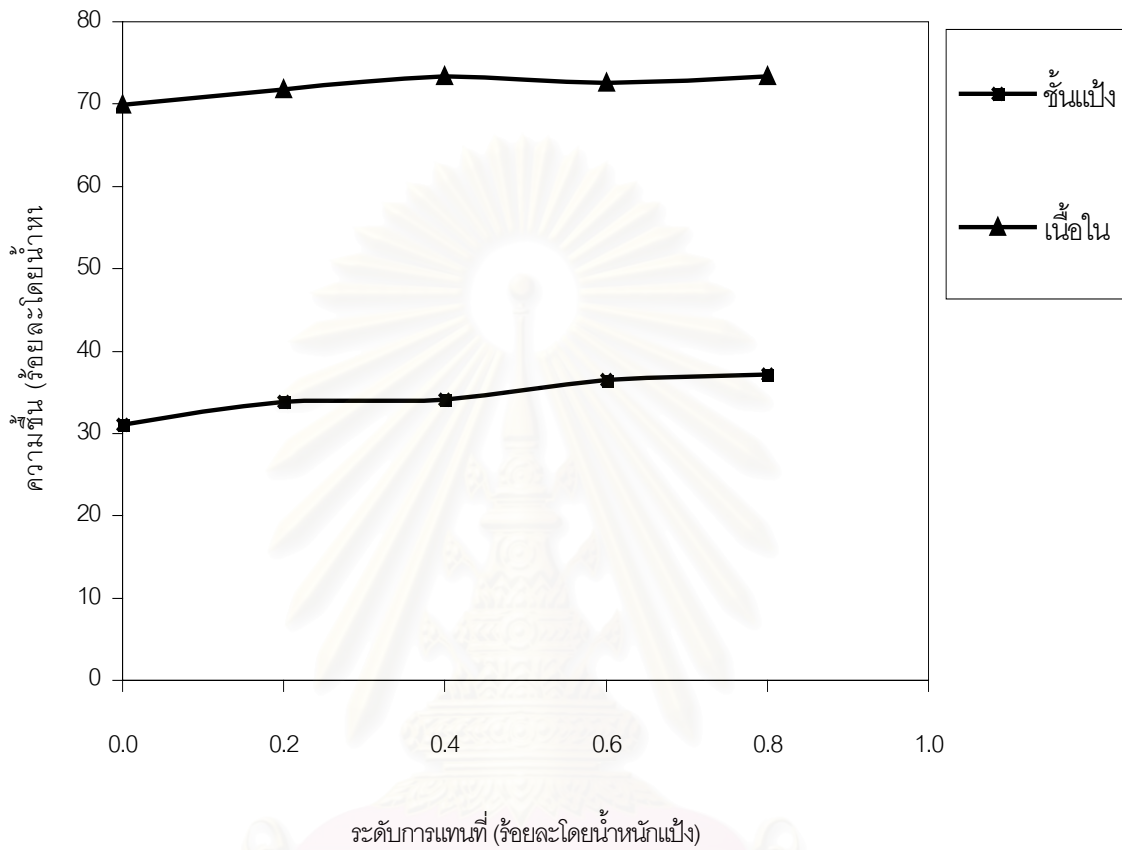
4.3.1 ผลของ HPMC ต่อการดูดกลืนน้ำมันในผลิตภัณฑ์ปลาขึ้นรูปชุบแป้งทอด

ตารางที่ 4.7 ค่าความหนืดปรากฏของน้ำแป้งดิบที่แทนที่แป้งด้วย HPMC ร้อยละ 0, 0.2, 0.4, 0.6 และ 0.8 โดยน้ำหนักแป้ง

ระดับการแทนที่ (ร้อยละโดยน้ำหนักแป้ง)	ความหนืด (cPs)
0	1841.33 ^e ± 52.20
0.2	2734.00 ^d ± 100.11
0.4	4134.67 ^c ± 231.53
0.6	5589.33 ^b ± 51.43
0.8	7861.33 ^a ± 40.27

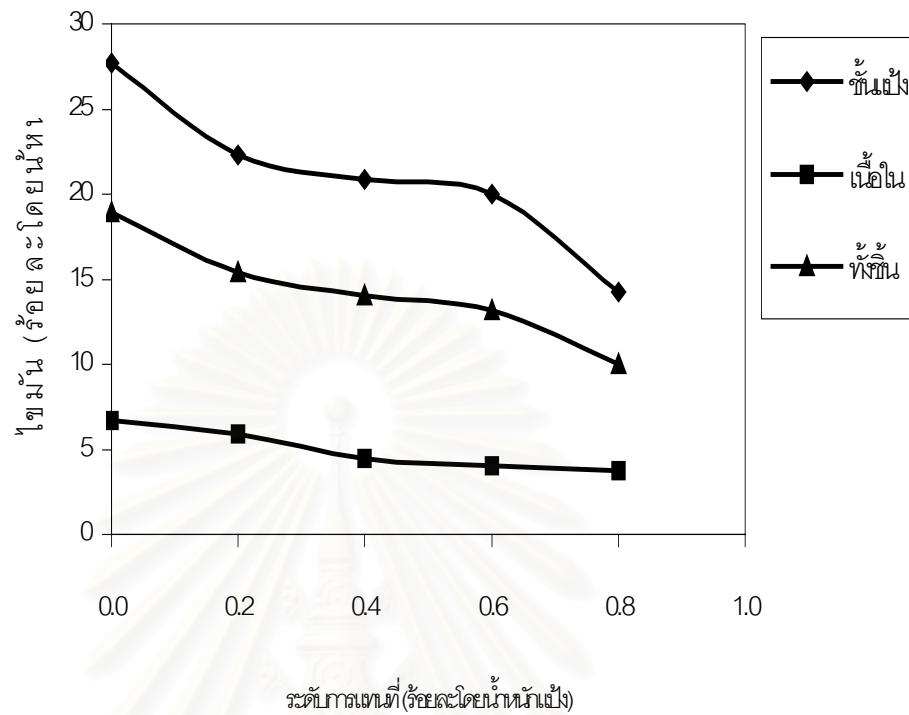
a, b, c,.... ตัวเลขที่มีอักษรกำกับต่างกัน แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$)

จากการวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติ พบว่าปริมาณ HPMC มีผลต่อความหนืด โดยเมื่อระดับการแทนที่แบ่งด้วย HPMC เพิ่มขึ้น น้ำแบ่งดิบมีความหนืดเพิ่มขึ้นตามลำดับ ($p \leq 0.05$)



รูปที่ 4.4 ปริมาณความชื้นของชั้นแบ่งและเนื้อในปลาชั้นรูปชุปแบ่งทอดที่แทนที่แบ่งด้วย HPMC ร้อยละ 0, 0.2, 0.4, 0.6 และ 0.8 โดยน้ำหนักแบ่ง

จากการวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติ พบว่าปริมาณ HPMC มีผลต่อความชื้นของชั้นแบ่งและเนื้อในของปลาชั้นรูปชุปแบ่งทอด โดยเมื่อระดับการแทนที่แบ่งด้วย HPMC สูงขึ้น ปลาชั้นรูปชุปแบ่งทอดมีปริมาณความชื้นที่ชั้นแบ่งและเนื้อในเพิ่มขึ้น ($p \leq 0.05$)



รูปที่ 4.5 ปริมาณไขมันของชั้นน้ำ เนื่อใน และรวมทั้งชั้นของปลาชั้นรูปชุปแป้งทอดที่แทนที่แป้งด้วย HPMC ร้อยละ 0, 0.2, 0.4, 0.6 และ 0.8 โดยน้ำหนักแป้ง

จากการวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติ พบว่าปริมาณ HPMC มีผลต่อปริมาณไขมันที่ชั้นน้ำ เนื่อใน และรวมทั้งชั้นของปลาชั้นรูปชุปแป้งทอด โดยพบว่าเมื่อระดับการแทนที่แป้งด้วย HPMC เพิ่มขึ้น ปลาชั้นรูปชุปแป้งทอดมีไขมันที่ชั้นน้ำ เนื่อใน และรวมทั้งชั้นลดลง ($p \leq 0.05$)

ตารางที่ 4.8 ค่าความแข็งของชั้นแป้งปลาขึ้นรูปชุบแป้งทอดที่แทนที่แป้งด้วย HPMC ร้อยละ 0, 0.2, 0.4, 0.6 และ 0.8 โดยน้ำหนักแป้ง

ระดับการแทนที่ (ร้อยละโดยน้ำหนักแป้ง)	ความแข็งของชั้นแป้ง (g)
0	132.07 ^a ± 8.95
0.2	137.39 ^a ± 5.86
0.4	81.36 ^b ± 2.61
0.6	69.32 ^c ± 2.42
0.8	64.26 ^c ± 4.08

a, b, c ตัวเลขที่มีอักษรกำกับต่างกัน แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$)

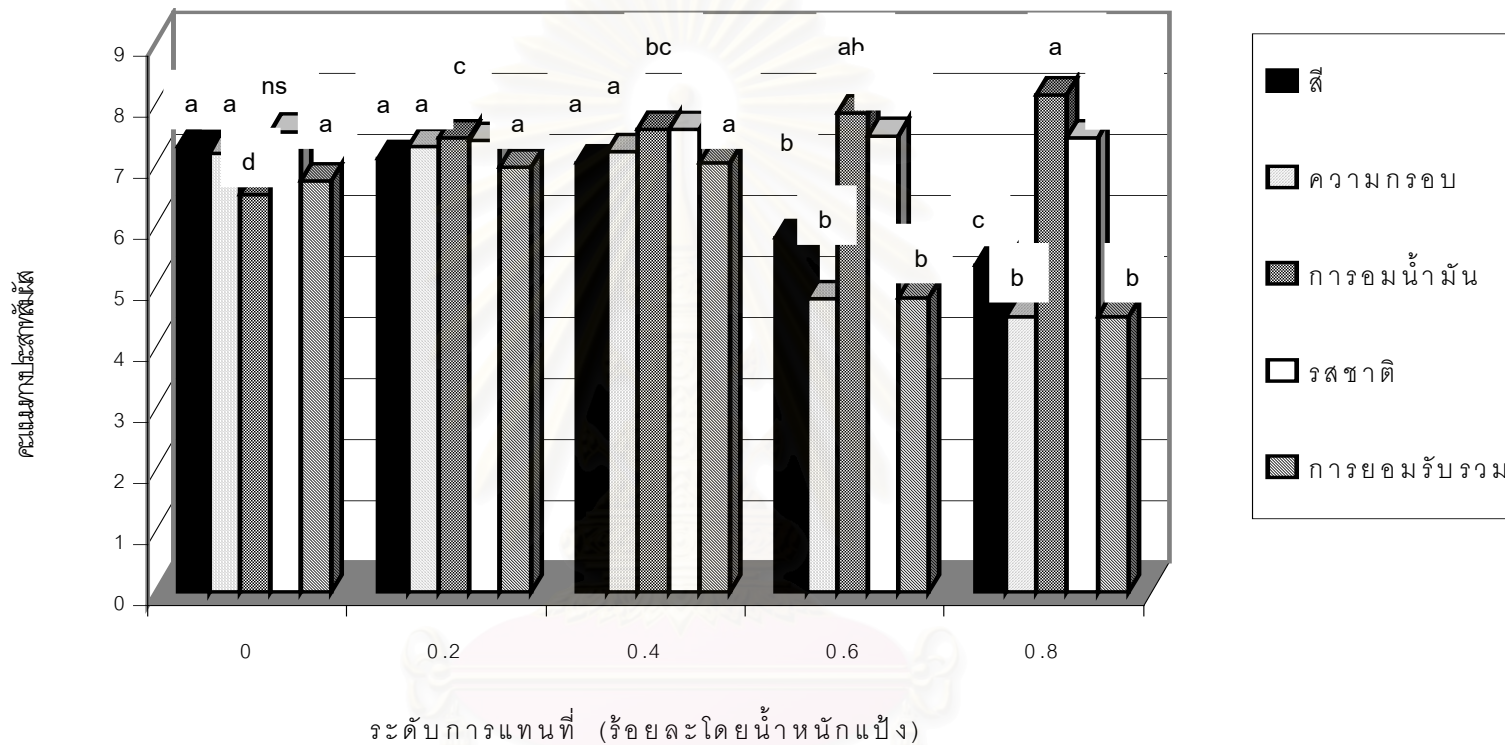
จากการวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติ พบว่าปริมาณ HPMC มีผลต่อค่าความแข็งของชั้นแป้งปลาขึ้นรูปชุบแป้งทอด โดยพบว่าเมื่อระดับการแทนที่แป้งด้วย HPMC เพิ่มขึ้น ปลาขึ้นรูปชุบแป้งทอดมีความแข็งของชั้นแป้งลดลง ($p \leq 0.05$)

ตารางที่ 4.9 ค่าสีของปลาขึ้นรูปชุบแป้งทอดที่แทนที่แป้งด้วย HPMC ร้อยละ 0, 0.2, 0.4, 0.6 และ 0.8 โดยน้ำหนักแป้ง

ระดับการแทนที่ (ร้อยละโดยน้ำหนักแป้ง)	L	ค่าสีเฉลี่ย	
		a*	b*
0	58.66 ^b ± 1.74	1.89 ^a ± 0.61	19.25 ^a ± 0.90
0.2	59.79 ^b ± 0.47	1.12 ^{ab} ± 0.50	18.87 ^a ± 0.77
0.4	61.15 ^b ± 3.19	1.03 ^b ± 0.45	19.93 ^a ± 0.63
0.6	64.29 ^a ± 0.77	-1.09 ^c ± 0.28	16.45 ^b ± 1.37
0.8	64.68 ^a ± 0.40	-0.44 ^d ± 0.19	15.30 ^b ± 0.68

a, b, c ตัวเลขที่มีอักษรกำกับต่างกันในแถวตั้งเดียวกันแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$)

จากการวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติ พบว่าปริมาณ HPMC มีผลต่อค่าความสว่าง สีแดง และ สีเหลืองของปลาขึ้นรูปชุบแป้งทอด โดยพบว่าเมื่อระดับการแทนที่แป้งด้วย HPMC เพิ่มขึ้น ปลาขึ้นรูปชุบแป้งทอดมีค่าความสว่างเพิ่มขึ้น แต่ค่าสีแดงและสีเหลืองลดลง ($p \leq 0.05$)



รูปที่ 4.6 คะแนนการประเมินคุณภาพทางประสาทสัมผัสของปลาขึ้นรูปชุบแป้งทอดที่แทนที่แป้งด้วย HPMC ร้อยละ 0, 0.2, 0.4, 0.6 และ 0.8 โดยน้ำหนักแป้ง จากการศึกษาวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติ พบว่าปริมาณ HPMC มีผลต่อคะแนนทางประสาทสัมผัส ด้านสี ความกรอบ การอมน้ำมันและความชอบรวมของปลาขึ้นรูปชุบแป้งทอด ($p \leq 0.05$) แต่ไม่มีผลต่อคะแนนด้านรสชาติ ($p > 0.05$) โดยพบว่าเมื่อระดับการแทนที่แป้งด้วย HPMC เพิ่มขึ้น ผลลัพธ์ที่มีคะแนนการอมน้ำมันเพิ่มขึ้น แต่คะแนนด้านสี ความกรอบและการยอมรับรวมลดลง และที่ระดับการแทนที่ ร้อยละ 0.2 และ 0.4 โดยน้ำหนักแป้ง ผลลัพธ์ที่มีคะแนนการยอมรับรวมสูงสุด

จากการวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติทั้งหมด สามารถเลือกระดับการแทนที่แป้งด้วย HPMC ที่ดีที่สุดสำหรับปลาขึ้นรูปชุบแป้งทอด โดยผลิตภัณฑ์ที่ได้มีไขมันต่ำและคะแนนทางประสาทสัมผัสในระดับสูง โดยเฉพาะมีคะแนนการอมน้ำมันสูงซึ่งหมายถึงผลิตภัณฑ์มีการอมน้ำมันน้อยและมีรสชาติดีของผลิตภัณฑ์ชุบแป้งทอด (ภาคผนวก จ.14) จากเกณฑ์ที่กล่าวมา ปริมาณ HPMC ที่เหมาะสมที่สุดสำหรับปลาขึ้นรูปชุบแป้งทอด คือ ร้อยละ 0.4 โดยน้ำหนักแป้ง

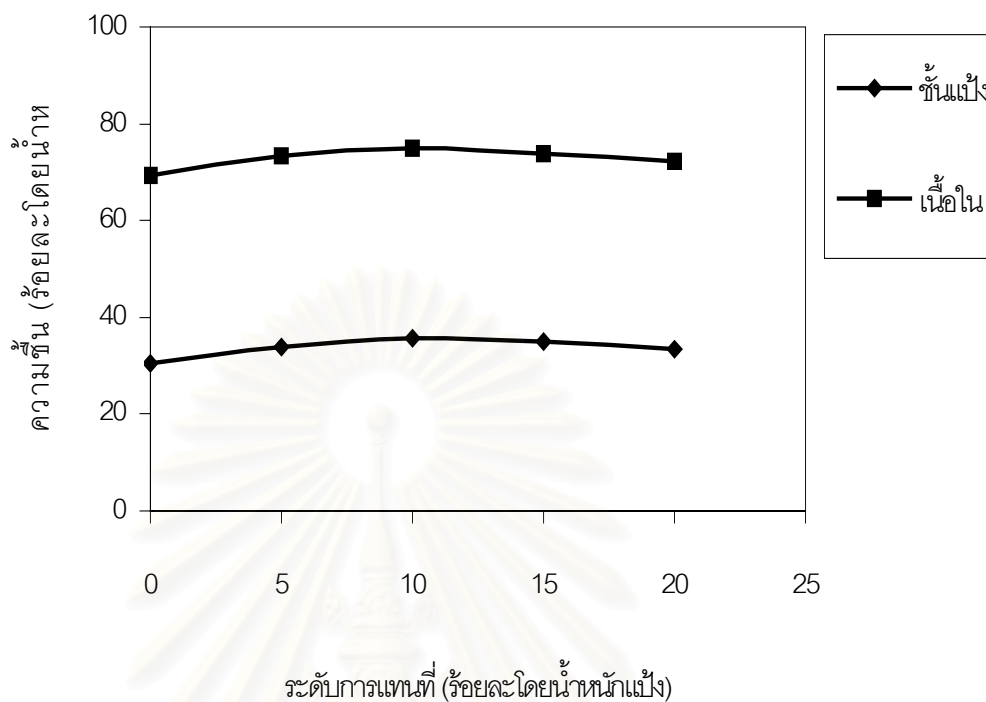
4.3.2 ผลของ high amylose corn starch ต่อการดูดกลืนน้ำมันในผลิตภัณฑ์ปลาขึ้นรูปชุบแป้งทอด

ตารางที่ 4.10 ค่าความหนืดปรากฏของน้ำแป้งดิบที่แทนที่แป้งด้วย high amylose corn starch ร้อยละ 0, 5, 10, 15 และ 20 โดยน้ำหนักแป้ง

ระดับการแทนที่ (ร้อยละโดยน้ำหนักแป้ง)	ความหนืด (cPs)
0	1891.33 ^a ± 43.00
5	1586.67 ^b ± 54.60
10	1456.00 ^c ± 30.20
15	1210.67 ^d ± 72.70
20	1102.00 ^e ± 15.87

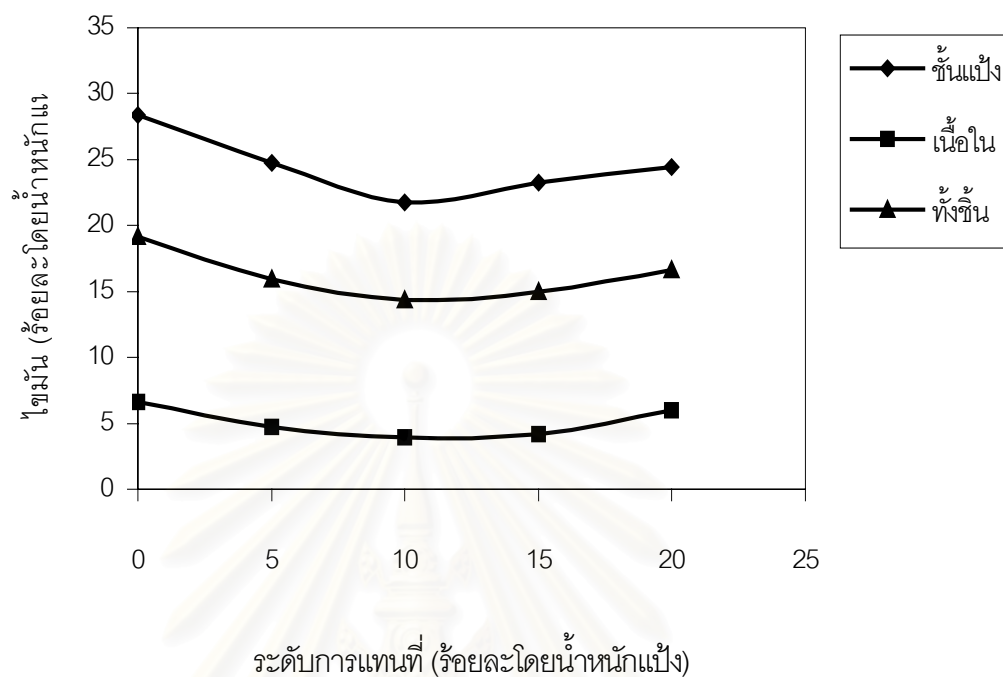
a, b, c,... ตัวเลขที่มีอักษรกำกับต่างกัน แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$)

จากการวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติ พบว่าปริมาณ high amylose corn starch มีผลต่อความหนืดปรากฏ โดยเมื่อระดับการแทนที่แป้งด้วย high amylose corn starch เพิ่มขึ้น น้ำแป้งดิบมีความหนืดปรากฏลดลงตามลำดับ ($p \leq 0.05$)



รูปที่ 4.7 ปริมาณความชื้นของชั้นแป้งและเนื้อในปลาชี่นรูปชุปแป้งทอดที่แทนที่แป้งด้วย high amylose corn starch ร้อยละ 0, 5, 10, 15 และ 20 โดยน้ำหนักแป้ง

จากการวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติ พบว่าปริมาณ high amylose corn starch มีผลต่อความชื้นที่ชั้นแป้งและเนื้อในของปลาชี่นรูปชุปแป้งทอด เมื่อระดับการแทนที่แป้งด้วย high amylose corn starch สูงขึ้น ผลลัพธ์ที่มีความชื้นที่ชั้นแป้งและเนื้อในเพิ่มขึ้น ($p \leq 0.05$) และที่ระดับการแทนที่ร้อยละ 10 โดยน้ำหนักแป้ง ผลลัพธ์ที่มีความชื้นที่ชั้นแป้งและเนื้อในสูงที่สุด แต่มีค่าลดลงเมื่อระดับการแทนที่เป็นร้อยละ 15 และ 20 โดยน้ำหนักแป้ง



รูปที่ 4.8 ปริมาณไขมันของชั้นแป้ง เนื้อใน และรวมทั้งชั้นของปลาชั้นรูปชุปแป้งทอดที่แทนที่แป้งด้วย high amylose corn starch ร้อยละ 0, 5, 10, 15 และ 20 โดยน้ำหนักแป้ง

จากการวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติ พบว่าปริมาณ high amylose corn starch มีผลต่อปริมาณไขมันที่ชั้นแป้ง เนื้อใน และรวมทั้งชั้นของปลาชั้นรูปชุปแป้งทอด โดยพบว่าการแทนที่แป้งด้วย high amylose corn starch เพิ่มขึ้น ผลผลิตที่มีไขมันที่ชั้นแป้ง เนื้อใน และรวมทั้งชั้นต่ำลง ($p \leq 0.05$) และที่ระดับการแทนที่ร้อยละ 10 โดยน้ำหนักแป้ง ผลผลิตที่มีค่าดังกล่าวต่ำที่สุด แต่มีค่าเพิ่มขึ้นเมื่อระดับการแทนที่เป็นร้อยละ 15 และ 20 โดยน้ำหนักแป้ง

ตารางที่ 4.11 ค่าความแข็งของชั้นแป้งปลาชี่นรูปชุปแป้งทอดที่แทนที่แป้งด้วย high amylose corn starch ร้อยละ 0, 5, 10, 15 และ 20 โดยน้ำหนักแป้ง

ระดับการแทนที่ (ร้อยละโดยน้ำหนักแป้ง)	ความแข็งของชั้นแป้ง (g)
0	128.55 ^b ± 6.69
5	83.87 ^d ± 4.14
10	75.05 ^d ± 3.80
15	108.61 ^c ± 8.22
20	149.48 ^a ± 9.46

a, b, c, ... ตัวเลขที่มีอักษรกำกับต่างกัน แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$)

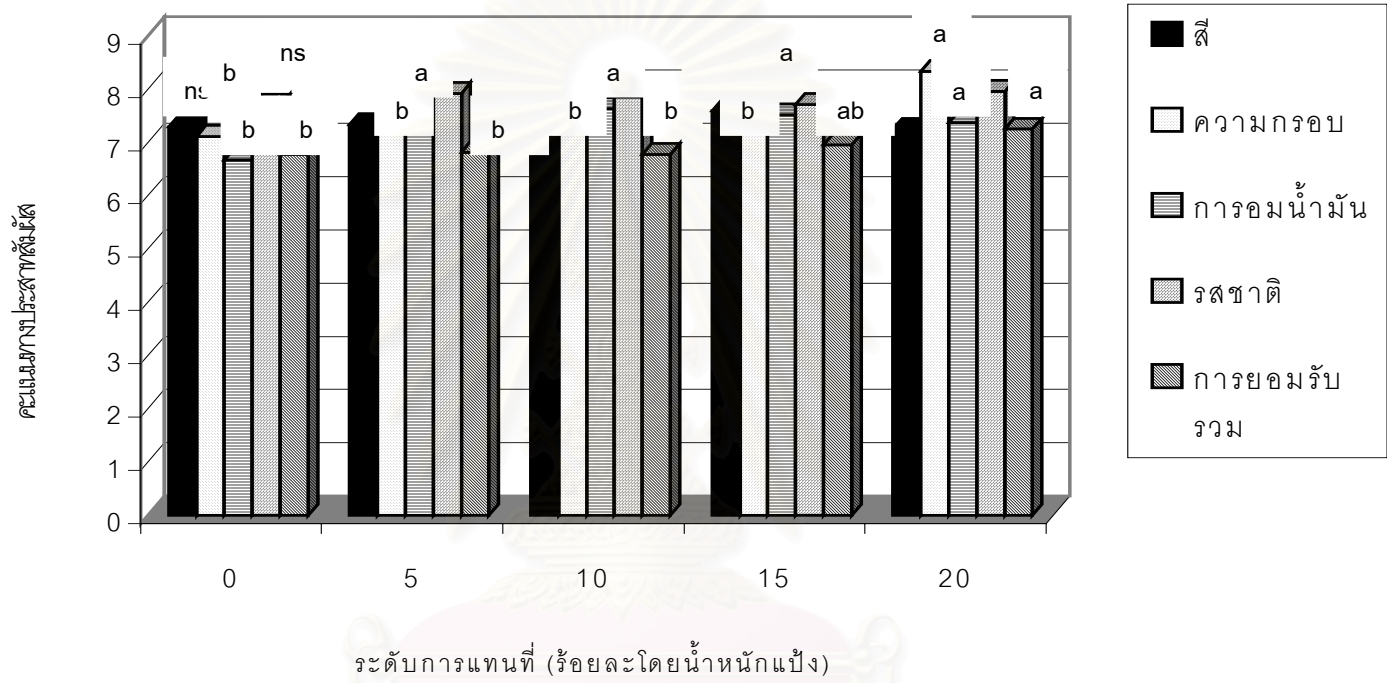
จากการวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติ พบว่าปริมาณ high amylose corn starch มีผลต่อค่าความแข็งของชั้นแป้งปลาชี่นรูปชุปแป้งทอด โดยพบว่าการแทนที่แป้งด้วย high amylose corn starch เพิ่มขึ้นทำให้ผลิตภัณฑ์มีค่าความแข็งของชั้นแป้งลดลง ($p \leq 0.05$) และที่ระดับการแทนที่ร้อยละ 10 โดยน้ำหนักแป้ง ผลิตภัณฑ์มีค่าความแข็งต่ำที่สุด แต่มีค่าเพิ่มขึ้นเมื่อระดับการแทนที่เป็นร้อยละ 15 และ 20 โดยน้ำหนักแป้ง

ตารางที่ 4.12 ค่าสีของปลาขึ้นรูปชุบแป้งทอดที่แทนที่แป้งด้วย high amylose corn starch ร้อยละ 0, 5, 10, 15 และ 20 โดยน้ำหนักแป้ง

ระดับการแทนที่ (ร้อยละโดยน้ำหนักแป้ง)	L	ค่าสีเฉลี่ย ^{ns}	
		a*	b*
0	58.33 ± 1.16	1.92 ± 0.38	19.46 ± 0.75
5	58.16 ± 0.99	1.79 ± 1.58	18.94 ± 1.47
10	58.44 ± 1.01	1.22 ± 0.76	18.95 ± 1.74
15	58.18 ± 1.15	1.36 ± 0.64	19.75 ± 0.86
20	59.17 ± 1.51	1.16 ± 0.82	19.58 ± 1.22

ns ไม่มีนัยสำคัญ ($p > 0.05$)

จากการวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติ พบว่าปริมาณ high amylose corn starch ไม่มีผลต่อค่าความสว่าง สีแดงและสีเหลืองของปลาขึ้นรูปชุบแป้งทอด โดยพบว่าเมื่อระดับการแทนที่แป้งด้วย high amylose corn starch เพิ่มขึ้น ปลาขึ้นรูปชุบแป้งทอดมีค่าความสว่าง สีแดงและสีเหลืองไม่เปลี่ยนแปลง ($p > 0.05$)



รูปที่ 4.9 คะแนนการประเมินคุณภาพทางประสาทสัมผัสของปลาขึ้นรูปชุบแป้งทอดที่แทนที่แป้งด้วย high amylose corn starch ร้อยละ 0, 5, 10, 15 และ 20 โดยน้ำหนักแป้ง

จากการวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติ พบว่าปริมาณ high amylose corn starch มีผลต่อคะแนนทางประสาทสัมผัสด้านความกรอบ การอมน้ำมัน และการยอมรับรวมของปลาขึ้นรูปชุบแป้งทอด ($p \leq 0.05$) ไม่มีผลต่อคะแนนด้านสีและรสชาติ ($p > 0.05$) โดยที่ระดับการแทนที่แป้งด้วย high amylose corn starch เพิ่มขึ้น ผลลัพธ์ที่มีคะแนนความกรอบ การอมน้ำมันและการยอมรับรวมเพิ่มขึ้น และที่ระดับการแทนที่ร้อยละ 15 และ 20 โดยน้ำหนักแป้ง ผลลัพธ์ที่มีคะแนนการยอมรับรวมสูงสุด

จากการวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติทั้งหมด สามารถเลือกระดับการแทนที่แป้งด้วย high amylose corn starch ที่ดีที่สุดสำหรับปลาขึ้นรูปชุบแป้งทอด จากเกณฑ์ที่กล่าวมาแล้วในข้อ 4.3.1 ปริมาณ high amylose corn starch ที่เหมาะสมที่สุดสำหรับปลาขึ้นรูปชุบแป้งทอด คือ ร้อยละ 10 โดยน้ำหนักแป้ง

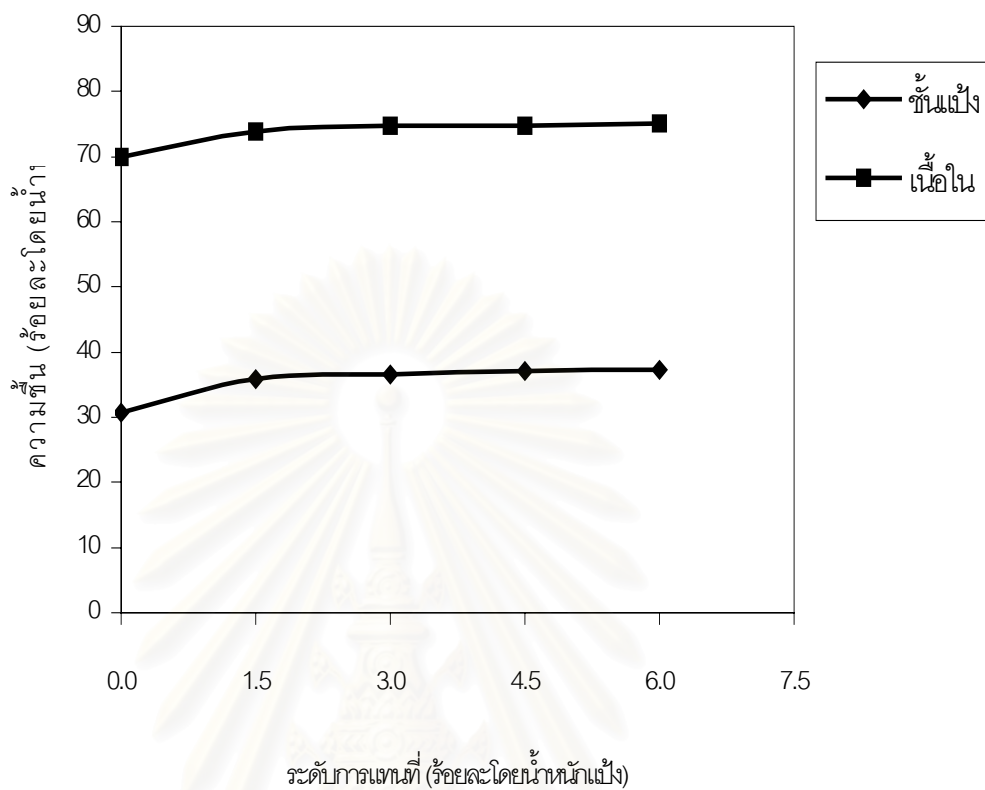
4.3.3 ผลของไขขาวผงต่อการดูดกลืนน้ำมันในผลิตภัณฑ์ปลาขึ้นรูปชุบแป้งทอด

ตารางที่ 4.13 ค่าความหนืดปรากฏของน้ำแป้งดิบที่แทนที่แป้งด้วยไขขาวผง ร้อยละ 0, 1.5, 3.0, 4.5 และ 6.0 โดยน้ำหนักแป้ง

ระดับการแทนที่ (ร้อยละโดยน้ำหนักแป้ง)	ความหนืด (cPs)
0	1869.00 ^a ± 32.60
1.5	1743.33 ^b ± 65.06
3.0	1662.33 ^c ± 38.08
4.5	1604.67 ^{cd} ± 18.15
6.0	1544.67 ^d ± 35.00

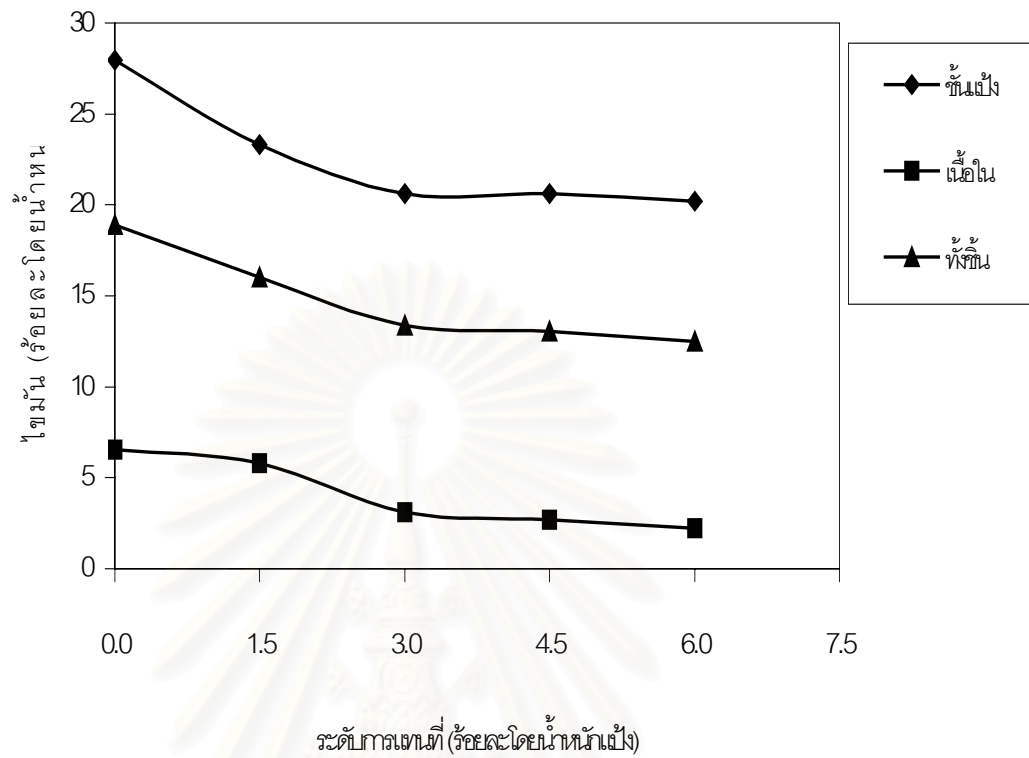
a, b, c,... ตัวเลขที่มีอักษรกำกับต่างกัน แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$)

จากการวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติ พบว่าปริมาณไขขาวผงมีผลต่อความหนืดปรากฏของน้ำแป้งดิบ พบว่าเมื่อแทนที่แป้งด้วยไขขาวผงเพิ่มขึ้น น้ำแป้งดิบมีค่าความหนืดปรากฏลดลงตามลำดับ ($p \leq 0.05$)



รูปที่ 4.10 ปริมาณความชื้นของชั้นแป้งและเนื้อในปลาชั้นรูปชุปแป้งทอดที่แทนที่แป้งด้วยไข่ขาวผงร้อยละ 0, 1.5, 3.0, 4.5 และ 6.0 โดยน้ำหนักแป้ง

จากการวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติ พบว่าปริมาณไข่ขาวผงมีผลต่อความชื้นที่ชั้นแป้งและเนื้อในของปลาชั้นรูปชุปแป้งทอด โดยพบว่าเมื่อระดับการแทนที่แป้งด้วยไข่ขาวผงเพิ่มขึ้น ผลลัพธ์ที่มีความชื้นที่ชั้นแป้งและเนื้อในเพิ่มขึ้น ($p \leq 0.05$) และที่ระดับร้อยละ 3.0, 4.5 และ 6.0 โดยน้ำหนักแป้ง ผลลัพธ์ที่มีค่าความชื้นที่ชั้นแป้งและเนื้อในไม่แตกต่างกัน



รูปที่ 4.11 ปริมาณไขมันของชั้นแป้ง เนื้อใน และรวมทั้งชั้นของปลาชั้นรูปชุปแป้งทอดที่แทนที่แป้งด้วยไข่ขาวผง ร้อยละ 0, 1.5, 3.0, 4.5 และ 6.0 โดยน้ำหนักแป้ง

จากการวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติ พบว่าปริมาณไข่ขาวผงมีผลต่อปริมาณไขมันที่ชั้นแป้ง เนื้อใน และรวมทั้งชั้นของปลาชั้นรูปชุปแป้งทอด โดยพบว่าเมื่อระดับการแทนที่แป้งด้วยไข่ขาวผงเพิ่มขึ้น ผลกระทบที่มีปริมาณไขมันที่ชั้นแป้ง เนื้อใน และรวมทั้งชั้นลดลงตามลำดับ ($p \leq 0.05$)

ตารางที่ 4.14 ค่าความแข็งของชั้นแป้งปลาขึ้นรูปชุปแป้งทอดที่แทนที่แป้งด้วยไข่ขาวผง ร้อยละ 0, 1.5, 3.0, 4.5 และ 6.0 โดยน้ำหนักแป้ง

ระดับการแทนที่ (ร้อยละโดยน้ำหนักแป้ง)	ความแข็งชั้นแป้ง (g)
0	131.58 ^a ± 5.76
1.5	57.51 ^b ± 3.73
3.0	46.12 ^c ± 2.62
4.5	48.72 ^c ± 1.78
6.0	52.31 ^{bc} ± 1.59

a, b, c ตัวเลขที่มีอักษรกำกับต่างกัน แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$)

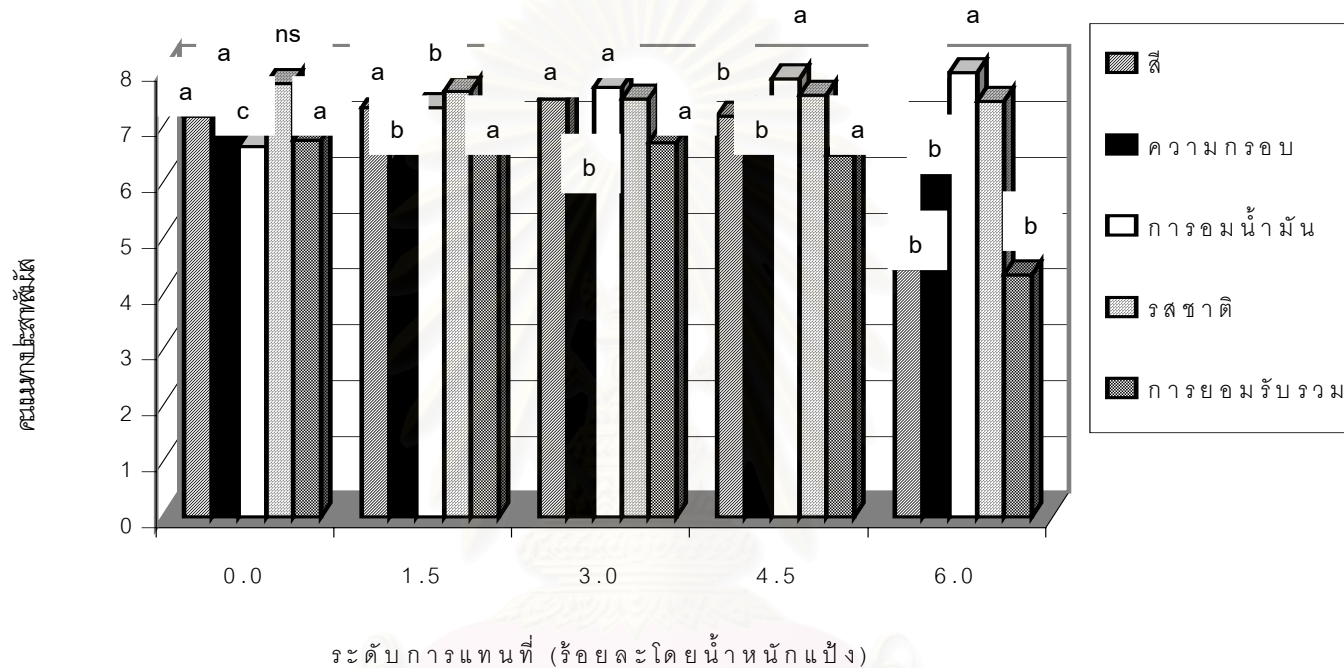
จากการวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติ พบว่าปริมาณไข่ขาวผงมีผลต่อความแข็งของชั้นแป้งของปลาขึ้นรูปชุปแป้งทอด โดยพบว่าเมื่อระดับการแทนที่ด้วยไข่ขาวผงเพิ่มขึ้น ทำให้ผลิตภัณฑ์มีความแข็งของชั้นแป้งลดลง ($p \leq 0.05$)

ตารางที่ 4.15 ค่าสีของปลาขึ้นรูปหุบแป่งทอดที่แทนที่แป้งด้วยไข่ขาวผง ร้อยละ 0, 1.5, 3.0, 4.5 และ 6.0 โดยน้ำหนักแป้ง

ระดับการแทนที่ (ร้อยละโดยน้ำหนักแป้ง)	L	ค่าสีเฉลี่ย	
		a*	b*
0	59.14 ^a ± 0.93	1.90 ^b ± 0.38	19.09 ^c ± 0.95
1.5	57.11 ^b ± 0.60	1.98 ^b ± 0.57	22.08 ^b ± 1.18
3.0	57.54 ^b ± 0.47	2.32 ^b ± 0.19	23.38 ^{ab} ± 0.20
4.5	57.14 ^b ± 0.77	2.44 ^b ± 0.37	23.78 ^{ab} ± 0.46
6.0	56.80 ^b ± 0.40	3.26 ^a ± 0.71	24.75 ^a ± 1.18

a, b, c ตัวเลขที่มีอักษรกำกับต่างกันในแถวตั้งเดียวกัน แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$)

จากการวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติ พบว่าปริมาณไข่ขาวผงมีผลต่อค่าความสว่าง สีแดง และสีเหลืองของปลาขึ้นรูปหุบแป่งทอด โดยพบว่าเมื่อระดับการแทนที่แป้งด้วยไข่ขาวผงเพิ่มขึ้น ปลาขึ้นรูปหุบแป่งทอดมีค่าความสว่างลดลง ค่าสีแดงและสีเหลืองเพิ่มขึ้น ($p \leq 0.05$)



รูปที่ 4.12 คะแนนการประเมินคุณภาพทางประสาทสัมผัสของปลาช่อนรูปชุปแป้งทอดที่แทนที่แป้งด้วยไข่ขาวผง ร้อยละ 0, 1.5, 3.0, 4.5 และ 6.0 โดยน้ำหนักแป้ง

จากการประเมินข้อมูลทางสถิติ พบว่าปริมาณไข่ขาวผงมีผลต่อคะแนนทางประสาทสัมผัสด้านสี ความกรอบ การอมน้ำมัน และการยอมรับรวม ($p \leq 0.05$) ไม่มีผลต่อคะแนนด้านรสชาติ ($p > 0.05$) โดยไข่ขาวผงทำให้คะแนนการอมน้ำมันเพิ่มขึ้น แต่คะแนนด้านสี ความกรอบ และการยอมรับรวมลดลง และพบว่าใช้ไข่ขาวผงแทนที่แป้งร้อยละ 1.5, 3.0 และ 4.5 โดยน้ำหนักแป้ง ผลลัพธ์ที่มีการยอมรับรวมสูงสุด

จากการวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติทั้งหมด สามารถเลือกระดับการแทนที่แป้งด้วยไซชาวผงที่ดีที่สุด สำหรับปลาขึ้นรูปชุบแป้งทอดโดยใช้เกณฑ์ดังที่กล่าวมาแล้วในข้อ 4.3.1 ปริมาณไซชาวผงที่เหมาะสมที่สุด สำหรับปลาขึ้นรูปชุบแป้งทอด คือ ร้อยละ 3.0 โดยน้ำหนักแป้ง

4.4 ประสิทธิภาพของพอลิเมอร์ชีวภาพ

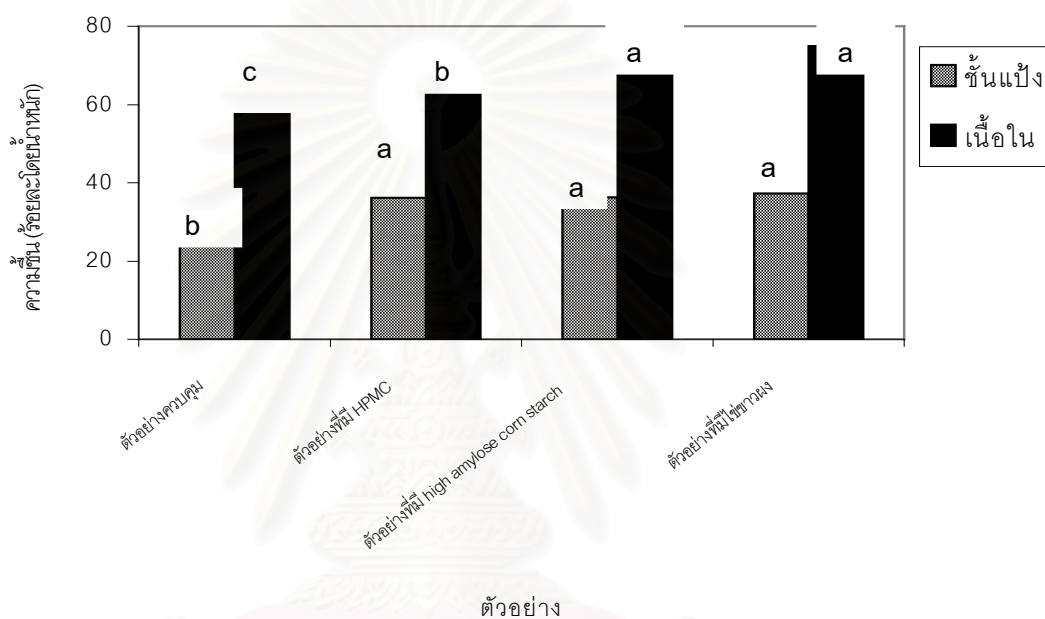
จากข้อ 4.3 ได้ระดับการแทนที่แป้งด้วย HPMC, high amylose corn starch และ ไซชาวผงที่เหมาะสม เปรียบเทียบประสิทธิภาพของพอลิเมอร์ชีวภาพทั้ง 3 ชนิด ตามวิธีในข้อ 3.4 ประเมินคุณภาพของน้ำแป้งดิบ ได้แก่ ความหนืดปรากฏ ปลาขึ้นรูปชุบแป้งทอด ได้แก่ ปริมาณความชื้นของชั้นแป้งและ เนื้อใน ไขมันของชั้นแป้ง เนื้อในและรวมทั้งชิ้น ค่าสี ความแข็งของชั้นแป้ง และประเมินคุณภาพทางประสาทสัมผัสด้าน สี ความกรอบ การร่อนน้ำมัน รสชาติ และการยอมรับรวม แสดงดังตารางที่ 4.16-4.18 และรูปที่ 4.13 - 4.15

ตารางที่ 4.16 ค่าความหนืดปรากฏของน้ำแป้งดิบสูตรควบคุมและสูตรที่แทนที่แป้งด้วย HPMC, high amylose corn starch และ ไซชาวผง ร้อยละ 0.4, 10.0 และ 3.0 โดย น้ำหนักแป้ง ตามลำดับ

น้ำแป้งดิบ	ความหนืด (cPs)
ตัวอย่างควบคุม	1805.00 ^b ± 82.61
ตัวอย่างที่มี HPMC เป็นส่วนผสม	4183.33 ^a ± 140.03
ตัวอย่างที่มี high amylose corn starch เป็นส่วนผสม	1512.00 ^c ± 83.31
ตัวอย่างที่มี ไซชาวผงเป็นส่วนผสม	1673.67 ^{bc} ± 131.69

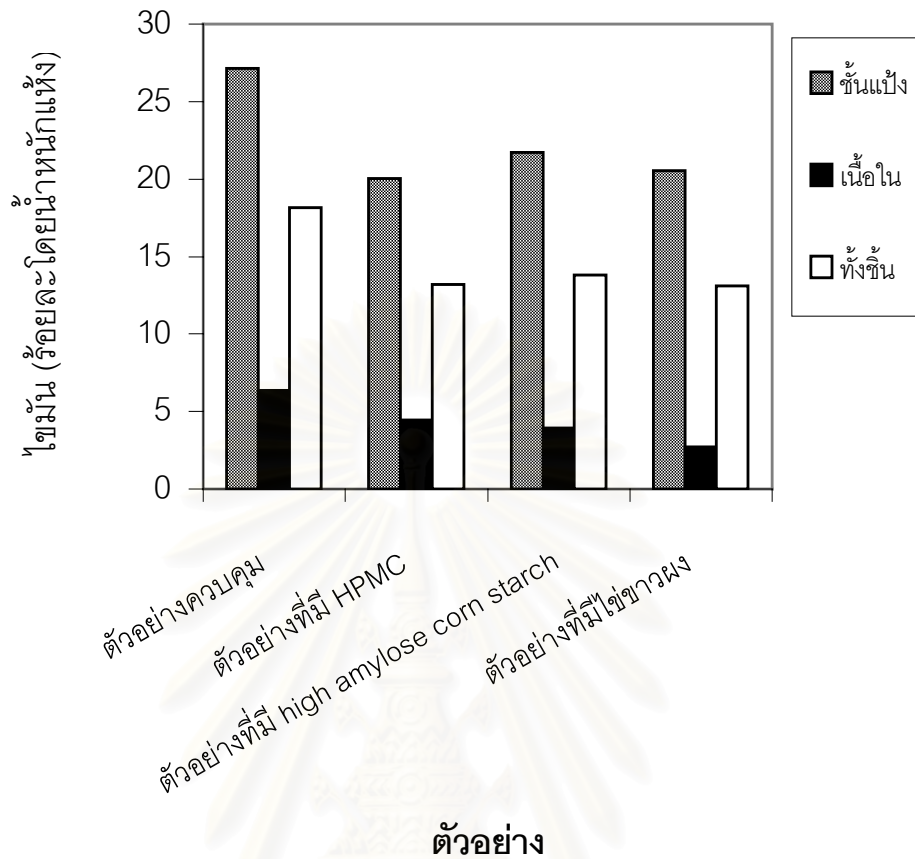
a, b, c ตัวเลขที่มีอักษรกำกับต่างกัน แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$)

จากการวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติพบว่า การแทนที่แป้งด้วย HPMC, high amylose corn starch และ ไซข้าวผง ร้อยละ 0.4, 10.0 และ 3.0 โดยน้ำหนักแป้ง ตามลำดับ มีผลต่อความหนืดปรากฏของน้ำแป้งดิบ ($p \leq 0.05$) เมื่อเทียบกับตัวอย่างควบคุมการแทนที่แป้งด้วย HPMC ทำให้น้ำแป้งดิบมีความหนืดปรากฏเพิ่มขึ้น ($p \leq 0.05$) ขณะที่การแทนที่แป้งด้วย high amylose corn starch และ ไซข้าวผงที่ระดับดังกล่าวทำให้น้ำแป้งดิบมีความหนืดปรากฏลดลง ($p \leq 0.05$) โดย น้ำแป้งดิบที่มี HPMC เป็นส่วนผสมมีความหนืดสูงที่สุด และน้ำแป้งดิบที่มี high amylose corn starch เป็นส่วนผสมมีความหนืดต่ำที่สุด ($p \leq 0.05$)



รูปที่ 4.13 ปริมาณความชื้นที่ชั้นแป้งและเนื้อในปลาชั้นรูปซุบแป้งทอดที่ซุบด้วยแป้งสูตรควบคุมและสูตรที่แทนที่แป้งด้วย HPMC, high amylose corn starch และ ไซข้าวผง ร้อยละ 0.4, 10.0 และ 3.0 โดยน้ำหนักแป้ง ตามลำดับ

จากการวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติ พบอิทธิพลของการแทนที่แป้งด้วย HPMC, high amylose corn starch และ ไซข้าวผงที่ระดับดังกล่าวต่อความชื้นที่ชั้นแป้งและเนื้อในของปลาชั้นรูปซุบแป้งทอด ($p \leq 0.05$) โดยเมื่อเปรียบเทียบกับตัวอย่างควบคุมตัวอย่างที่แทนที่แป้งด้วย พอลิเมอร์ชีวภาพทั้ง 3 ชนิดมีค่าความชื้นของชั้นแป้งและเนื้อในสูงกว่า และตัวอย่างที่มี HPMC มีค่าความชื้นของเนื้อในต่ำกว่าตัวอย่างที่มี high amylose corn starch และ ไซข้าวผง ขณะที่ความชื้นที่ชั้นแป้งไม่แตกต่างกัน



รูปที่ 4.14 ปริมาณไขมันชั้นแป้ง เนื้อใน และรวมทั้งชิ้นของปลาชั้นรูปซุบแป้งทอดที่ซุบด้วย แป้งสูตรควบคุมและสูตรที่แทนที่แป้งด้วย HPMC, high amylose corn starch และ ไซข้าวผง ร้อยละ 0.4, 10 และ 3.0 โดยน้ำหนักแป้ง ตามลำดับ

จากการวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติ พบอิทธิพลของปริมาณว่าการแทนที่แป้งด้วย HPMC, high amylose corn starch และ ไซข้าวผงที่ระดับดังกล่าว ต่อปริมาณไขมันที่ชั้นแป้ง เนื้อใน และรวมทั้งชิ้นของปลาชั้นรูปซุบแป้งทอด ($p \leq 0.05$) โดยพบว่าพอลิเมอร์ชีวภาพทั้ง 3 ชนิด ทำให้ผลิตภัณฑ์ที่ได้มีค่าดังกล่าวลดลงเมื่อเทียบกับตัวอย่างควบคุม

ตารางที่ 4.17 ค่าความแข็งของชั้นแป้งปลาชั้นรูปซูปแป้งทอดที่ซูปด้วยแป้งสูตรควบคุมและสูตรที่แทนที่แป้งด้วย HPMC, high amylose corn starch และ ไซขาวผง ร้อยละ 0.4, 10.0 และ 3.0 โดยน้ำหนักแป้ง ตามลำดับ

ตัวอย่าง	ค่าความแข็ง (g)
ตัวอย่างควบคุม	130.86 ^a ± 4.84
ตัวอย่างที่มีHPMCเป็นส่วนผสม	83.12 ^b ± 2.32
ตัวอย่างที่มี high amylose corn starch เป็นส่วนผสม	74.81 ^c ± 2.35
ตัวอย่างที่มี ไซขาวผงเป็นส่วนผสม	48.97 ^d ± 2.30

a, b, c, ... ตัวเลขที่มีอักษรกำกับต่างกัน แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$)

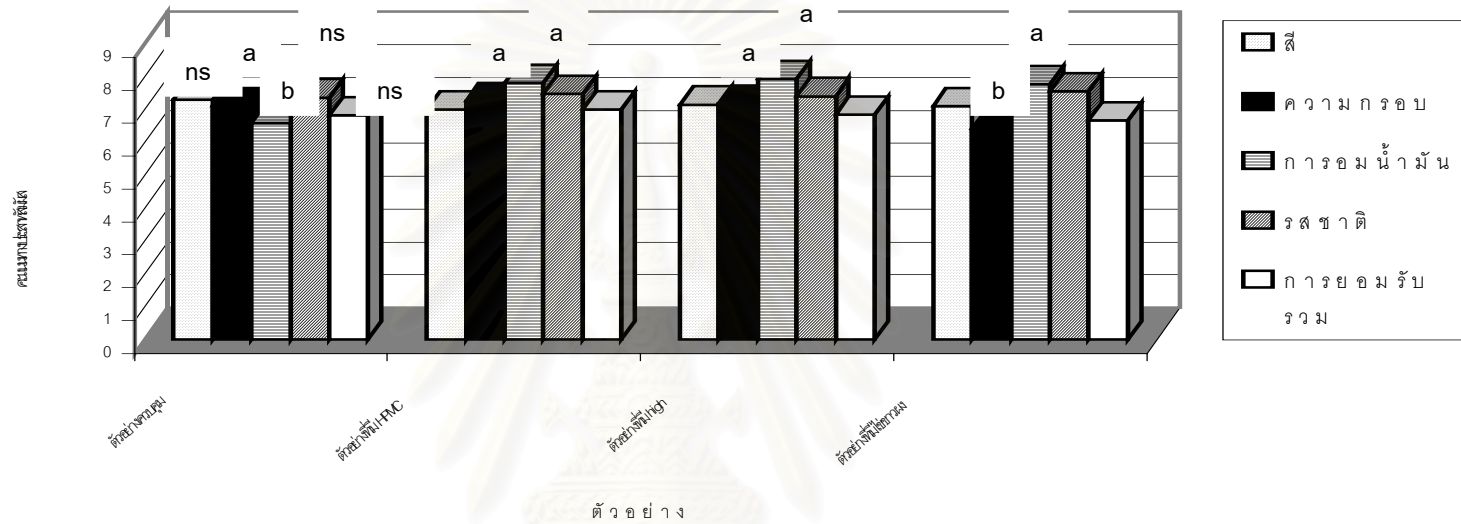
จากการวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติ พบอิทธิพลของการแทนที่แป้งด้วย HPMC, high amylose corn starch และไซขาวผงที่ระดับดังกล่าวต่อค่าความแข็งของชั้นแป้งปลาชั้นรูปซูปแป้งทอด ($p \leq 0.05$) เมื่อเทียบกับตัวอย่างควบคุมพบว่าพอลิเมอร์ชีวภาพทั้ง 3 ชนิดที่ระดับดังกล่าวทำให้ผลิตภัณฑ์ที่ได้มีความแข็งของชั้นแป้งลดลง ตัวอย่างที่มี HPMC เป็นส่วนผสมมีค่าความแข็งของชั้นแป้งสูงสุดและตัวอย่างที่มีไซขาวผงเป็นส่วนผสมมีค่าความแข็งของชั้นแป้งต่ำที่สุด ($p \leq 0.05$)

ตารางที่ 4.18 ค่าสีของปลาขึ้นรูปชุบแป้งทอดที่ชุบด้วยแป้งสูตรควบคุมและสูตรที่แทนที่แป้งด้วย HPMC , high amylose corn starch และ ไซขาวผง ร้อยละ 0.4,10 และ 3.0 โดยน้ำหนักแป้ง ตามลำดับ

ตัวอย่าง	ค่าสีเฉลี่ย		
	L	a*	b*
ตัวอย่างควบคุม	59.17 ^b ± 1.73	1.71 ^b ± 0.35	20.29 ^b ± 0.85
ตัวอย่างที่มี HPMC เป็นส่วนผสม	61.26 ^a ± 0.71	0.83 ^c ± 0.19	19.02 ^{bc} ± 0.65
ตัวอย่างที่มี high amylose corn starch เป็นส่วนผสม	59.14 ^b ± 1.83	1.15 ^{bc} ± 0.40	17.49 ^c ± 0.74
ตัวอย่างที่มีไซขาวผงเป็นส่วนผสม	58.84 ^b ± 0.71	2.46 ^a ± 0.33	22.78 ^a ± 2.25

a, b, c ตัวเลขที่มีอักษรกำกับต่างกันในแถวตั้งเดียวกันแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$)

จากการวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติ พบอิทธิพลของปริมาณการแทนที่แป้งด้วย HPMC, high amylose corn starch และไซขาวผงที่ระดับดังกล่าวต่อค่าสีของปลาขึ้นรูปชุบแป้งทอด ($p \leq 0.05$) เมื่อเทียบกับตัวอย่างควบคุม HPMC ทำให้ผลิตภัณฑ์ที่ได้มีค่าความสว่างเพิ่มขึ้น ค่าสีแดงและสีเหลืองลดลง high amylose corn starch ทำให้ผลิตภัณฑ์ที่ได้มีค่าสีเหลืองลดลง และไซขาวผงทำให้ผลิตภัณฑ์ที่ได้มีค่าสีแดงและเหลืองเพิ่มขึ้น เมื่อเปรียบเทียบผลของพอลิเมอร์ชีวภาพ ตัวอย่างที่มี HPMC เป็นส่วนผสมมีค่าความสว่างสูงกว่าและค่าสีแดงต่ำกว่าตัวอย่างที่มี high amylose corn starch และตัวอย่างที่มีไซขาวผงเป็นส่วนผสม เมื่อพิจารณาค่าสีเหลือง ตัวอย่างที่มีไซขาวผงเป็นส่วนผสมมีค่าดังกล่าวสูงกว่าตัวอย่างที่ใช้พอลิเมอร์ชีวภาพอีก 2 ชนิดเป็นส่วนผสม



รูปที่ 4.15 คะแนนการประเมินทางคุณภาพประสาทสัมผัสของปลาขึ้นรูปชุบแป้งทอดที่ชุบด้วยแป้งสุตรควบคุมและสุตรที่แทนที่แป้งด้วย HPMC, high amylose corn starch และ ไข่ขาวผง ร้อยละ 0.4, 10.0 และ 3.0 โดยน้ำหนักแป้ง ตามลำดับ

จากผลการวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติ พบว่า HPMC, high amylose corn starch และไข่ขาวผงที่ระดับดังกล่าว ไม่มีผลต่อคะแนนทางประสาทสัมผัสด้านสี รสชาติ และการยอมรับรวม ($p > 0.05$) เมื่อเทียบกับตัวอย่างควบคุมพอลิเมอร์ชีวภาพทั้ง 3 ชนิดที่ระดับดังกล่าวทำให้ผลิตภัณฑ์คะแนนด้านการอมน้ำมันเพิ่มขึ้น ($p \geq 0.05$) แต่คะแนนการอมน้ำมันของตัวอย่างที่ใช้พอลิเมอร์ชีวภาพทั้ง 3 ชนิดไม่แตกต่างกัน และเมื่อเทียบกับตัวอย่างควบคุมตัวอย่างที่มีไข่ขาวผงมีคะแนนด้านความกรอบลดลงและต่ำกว่าตัวอย่างที่ตัวอย่างที่มี high amylose corn starch หรือตัวอย่างที่มี HPMC เป็นส่วนผสม

วิจารณ์ผลการทดลอง

5.1 วิเคราะห์คุณภาพวัตถุดิบ

การศึกษาในขั้นตอนนี้ ได้วิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมีของแป้งสาลีและแป้งข้าวโพดที่เป็นวัตถุดิบหลักในการผลิตแป้งชุบทอด วิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมีของซูริมีที่ใช้ วิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมีและคุณภาพด้านความสดของปลาทรายแดง เนื่องจากในงานวิจัยนี้ใช้ซูริมีผสมกับปลาทรายแดงเพื่อให้ได้ผลิตภัณฑ์ปลาขึ้นรูปแช่เยือกแข็งที่มีเนื้อสัมผัสคล้าย fillet จากผลการวิเคราะห์องค์ประกอบโดยประมาณของแป้งทั้ง 2 ชนิด ดังตารางที่ 4.1 แป้งสาลีมีความชื้น โปรตีน ไขมัน คาร์โบไฮเดรต และ เถ้า ร้อยละ 12.80, 11.07, 0.20, 75.47 และ 0.46 ตามลำดับ แป้งข้าวโพดมีองค์ประกอบตามที่กล่าวมาแล้ว ร้อยละ 10.57, 0.18, 0.02, 89.09 และ 0.14 ตามลำดับ พบว่าแป้งสาลีและแป้งข้าวโพดมีองค์ประกอบต่างๆ ใกล้เคียงกัน ยกเว้นโปรตีนจะเห็นได้ว่าแป้งสาลีมีโปรตีนสูงแต่แป้งข้าวโพดมีโปรตีนต่ำมาก โปรตีนในแป้งสาลีมีบทบาทที่สำคัญ คือ ทำให้น้ำแป้งมีความข้นหนืด กล่าวได้ว่าถ้าแป้งสาลีที่ใช้มีปริมาณโปรตีนสูง น้ำแป้งจะมีความหนืดสูง ส่งผลให้การเกาะติดของน้ำแป้งติดกับวัสดุแกนที่ถูกชุบดีขึ้น (Olewnik และ Kulp, 1996) โปรตีนในแป้งสาลีที่สำคัญ คือ gliadin และ glutenin ซึ่งโปรตีนทั้งสองชนิดนี้จะรวมตัวกันเป็นกลูเตนที่กักเก็บก๊าซไว้ในโครงสร้างได้ เมื่อได้รับความร้อนจึงให้โครงสร้างที่มีลักษณะเบาแก่ผลิตภัณฑ์แป้งชุบทอด (Suderman และ Cunningham, 1983) นอกจากนี้ Olewnik และ Kulp (1996) รายงานว่าถ้าใช้แป้งสาลีที่มีโปรตีนสูงจะให้แป้งชุบทอดที่มีความกรอบมาก ผิวมีลักษณะเปราะและขรุขระ มีสีเข้ม และผลิตภัณฑ์มีความชื้นสุดท้ายหลังทอดต่ำแต่มีการดูดกลืนน้ำมันมาก นอกจากแป้งสาลีแล้วนิยมใช้แป้งข้าวโพดเป็นส่วนผสมในแป้งสำหรับชุบทอด โดยแป้งข้าวโพดจะช่วยให้แป้งเกาะติดกับวัสดุแกนที่ถูกชุบได้ดีขึ้นเมื่อได้รับความร้อน (Burge, 1996) Rapaille และ Vanhemelrijck (1992) รายงานว่าแป้งข้าวโพดเมื่อได้รับความร้อนจะให้ paste ที่มีความหนืดสูงกว่าแป้งสาลี องค์ประกอบอื่นของแป้งที่สำคัญ คือ คาร์โบไฮเดรต เนื่องจากแป้งมีคาร์โบไฮเดรตเป็นส่วนประกอบหลัก คาร์โบไฮเดรตประกอบด้วย amylose และ amylopectin ซึ่งอัตราส่วนของ amylose และ amylopectin ในแป้งมีอิทธิพลต่อลักษณะและคุณภาพของผลิตภัณฑ์ชุบแป้งทอด แป้งสาลีและแป้งข้าวโพดมีอัตราส่วนของ amylose และ amylopectin เท่าๆกัน ประมาณ 3 ต่อ 7 (BeMiller และ Whistler, 1996) ปริมาณ amylose และ amylopectin มีอิทธิพลต่อลักษณะและคุณภาพของผลิตภัณฑ์ชุบแป้งทอดด้านความกรอบ การพองตัว ความสามารถในการเกาะติดขึ้นอาหารและการอมน้ำมันของผลิตภัณฑ์ชุบแป้งทอด

โดยถ้าแป้งมี amylose สูงจะให้เม็ดแป้งที่พองตัวได้น้อยเนื่องจาก amylose มีโครงสร้างที่เป็นผลึกสูง เมื่อผ่านการทอดความชื้นสุดท้ายจะต่ำผลิตภัณฑ์จึงมีความกรอบมาก (Whistler และ Daniel, 1990) และ amylose ช่วยลดการดูดกลืนน้ำมันเนื่องจากมีความสามารถในการเกิดเจลและฟิล์มที่ช่วยต้านการแพร่ของน้ำมันที่เข้ามาในชิ้นอาหาร (Saguy และ Pinthus, 1995) ซึ่งจะกล่าวรายละเอียดต่อไปในข้อ 5.3.2 สำหรับแป้งที่มี amylopectin สูง เมื่อได้รับความร้อนจะให้เจลที่มีความหนืดสูงและคงตัวดีทำให้การเกาะติดชิ้นอาหารดีกว่าแป้งที่มี amylopectin ต่ำ (Whistler และ Daniel, 1990)

ในงานวิจัยนี้ได้เลือกซื้อปลาโดยพิจารณาลักษณะปรากฏตามข้อกำหนดลักษณะปลาสดของ Fishery Technological Development Division (1981) ได้แก่ ลูกตาใส เหงือกมีสีแดง ผิวหนังเป็นมันเงา และเนื้อไม่นุ่มตามแรงมือกด โดยปลาที่ใช้มีน้ำหนักระหว่าง 150-200 g ผลการวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมีและคุณภาพด้านความสดของปลาทรายแดงดังตารางที่ 4.2 แสดงให้เห็นว่าปลาทรายแดงมีความชื้น โปรตีน ไขมัน เถ้า คาร์โบไฮเดรต และโปรตีนที่ละลายในเกลือต่อปริมาณโปรตีนทั้งหมดร้อยละ 82.74, 15.66, 0.66, 0.64, 0.30 และ 54.06 โดยน้ำหนัก ตามลำดับ พบว่าปลาทรายแดงมีปริมาณโปรตีนและโปรตีนที่ละลายในเกลือสูง แต่มีปริมาณไขมันต่ำ ซึ่งเป็นสมบัติที่จะให้ผลิตภัณฑ์ที่มีความสามารถในการเกิดเจลดี เนื่องจากโปรตีนที่ละลายในเกลือ คือ โปรตีน myofibrillar เป็นโปรตีนที่ทำให้เกิดโครงสร้างเจลของเนื้อปลา เมื่อได้รับความร้อน และการที่ปลาทรายแดงมีไขมันต่ำจึงเหมาะสมในการทำเป็นผลิตภัณฑ์ที่ต้องการเจลของเนื้อปลา เพราะไขมันจะไปขัดขวางการรวมตัวของหมู่ที่ไม่ชอบน้ำที่อยู่บริเวณ globular head ของ myosin โดยหมู่ที่ไม่ชอบน้ำของไขมันจะไปรวมตัวกับหมู่ที่ไม่ชอบน้ำของ myosin จึงขัดขวางการรวมตัวเป็นร่างแหของ myosin เป็นผลให้เจลที่ได้ไม่แข็งแรง (Shimizu, Toyohara และ Lanier, 1992) ส่วนความสดของเนื้อปลามีผลต่อค่า gel strength เช่นกัน ถ้าปลาที่ใช้มีความสดลดลงเจลที่ได้จะมีค่าดังกล่าวลดลงด้วย (Noguchi, 1982) ในงานวิจัยนี้ได้วิเคราะห์ความสดของปลาทรายแดง ได้แก่ TVB โดยค่านี้ คือปริมาณสารประกอบไนโตรเจนที่ระเหยได้ทั้งหมด ค่า TVB จึงรวมปริมาณ trimethylamine (TMA), dimethylamine (DMA) และแอมโมเนีย สารเหล่านี้จะเกิดขึ้นเมื่อปลาเริ่มเสื่อมคุณภาพจากปฏิกิริยาของเอนไซม์ในตัวปลาและเอนไซม์จากจุลินทรีย์ (Connell, 1975) Gill, Conway และ Evrovski (1992) รายงานว่าเอนไซม์สำคัญที่มีผลต่อการเสื่อมเสียของกล้ามเนื้อปลา ได้แก่ trimethylamine oxide aldolase (TMAO-ase) จากไตและเนื้อเยื่อ (tissue) ของปลา จะเปลี่ยน trimethylamine-N-oxide (TMAO) ที่เป็นองค์ประกอบในปลาให้เป็น TMA, DMA และ formaldehyde ฉะนั้นค่า TVB จึงเป็นตัวชี้ในการวัดความสดของเนื้อปลาได้ดี ปลาทรายแดงที่ใช้ในการทดลองนี้มีค่า TVB เฉลี่ย 17.56 mg/100g สอดคล้องกับ Uchiyama (1978) ที่รายงานว่าปลาทะเลที่มีค่า TVB ในช่วง 6-20

mg/100g เหมาะที่จะใช้ผลิตเป็นผลิตภัณฑ์ที่เกิดเจลได้ดี

ผลการวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมีของซูริมิ ดังตารางที่ 4.3 ซูริมิที่ใช้มี ค่า gel strength 500 g.cm จัดอยู่ในเกรด AA ซึ่งค่า gel strength เป็นค่าที่บอกถึงสมบัติด้านเนื้อสัมผัสของเจล สามารถประเมินได้จากค่าทางกายภาพ คือ ความเค้น (stress) และความเครียด (strain) ที่ให้กับตัวอย่างเจลแล้วทำให้ตัวอย่างแตกออก โดยค่าความเค้นจะบอกถึงแรงต้านของเจลในด้านความแน่นเนื้อ (firmness) ส่วนค่าความเครียดจะบอกถึงความสามารถในการยึดเกาะของเจล (cohesiveness) (Lin และ Zayas, 1987) ซูริมิที่ใช้มี ความชื้น โปรตีน ไขมัน เถ้า และคาร์โบไฮเดรต ร้อยละ 80.23, 15.69, 0.09, 0.84 และ 3.15 โดยน้ำหนักตามลำดับ จากผลการวิเคราะห์พบว่าซูริมามีปริมาณโปรตีนสูงและไขมันต่ำ เนื่องจากในกระบวนการผลิตซูริมิเนื้อปลาบจะผ่านการล้างด้วยน้ำ Martinez (1989) กล่าวว่าในขั้นตอนนี้เป็น การขจัดไขมันและองค์ประกอบอื่นที่ละลายน้ำได้ ได้แก่ โปรตีนที่ละลายในน้ำ หรือโปรตีน sarcoplasmic คงเหลือโปรตีน myofibrillar ซึ่งมีสมบัติเชิงหน้าที่ที่ดีสำหรับการเกิดเจลและเป็นโปรตีนกลุ่มหลักซึ่งมีปริมาณมากในเนื้อสัตว์ทั่วไป

5.2 การเปลี่ยนแปลงคุณภาพของน้ำมันระหว่างการทอด

ในขั้นตอนนี้ได้ศึกษาการเปลี่ยนแปลงคุณภาพของน้ำมันปาล์มโอเลอินที่ใช้ทอดที่อุณหภูมิ 170 °C เป็นเวลาต่อเนื่องกัน 120 นาที เพื่อดูผลการเปลี่ยนแปลงคุณภาพของน้ำมันในระหว่างทอด โดยทดลองตามวิธีในข้อ 3.2 และสุ่มตัวอย่างน้ำมันที่ใช้ทอดและปลาชิ้นรูปหุบแป้งทอด ทุกๆ 30 นาที มาประเมินคุณภาพทางกายภาพและเคมี เนื่องจาก Moreira และคณะ (1999) กล่าวว่าสามารถประเมินคุณภาพของน้ำมันระหว่างทอดได้ 2 ทาง คือ ทางกายภาพและเคมี ซึ่งการเปลี่ยนแปลงทางเคมีจะมีผลต่อคุณภาพทางกายภาพและสมบัติด้านการถ่ายโอนความร้อนของน้ำมัน โดยน้ำมันที่เสื่อมคุณภาพเมื่อใช้ทอดจะมีผลทำให้อาหารดูดกลืนน้ำมันเพิ่มขึ้นดังจะได้กล่าวในรายละเอียดต่อไป

ในการทดลองได้ประเมินคุณภาพเริ่มต้นของน้ำมัน (ตารางที่ 4.4) และพบว่าน้ำมันปาล์มโอเลอินมีความหนืดเฉลี่ย 52.77 cPs (วัดที่อุณหภูมิ 25°C) และมีปริมาณกรดไขมันอิสระร้อยละ 0.31 (คำนวณในรูป oleic acid) ซึ่งคำนวณเป็น acid value ได้ 0.6 mg sodium hydroxide ต่อตัวอย่างน้ำมัน 1 g ซึ่งจัดอยู่ในเกณฑ์มาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม มอก. 288-2535 และสอดคล้องกับ USDA (1997) ที่รายงานว่าน้ำมันที่ใช้ทอดผลิตภัณฑ์ปลา ไก่ และเนื้อหุบแป้งหรือคอกหมูบั้งต้องมีกรดไขมันอิสระไม่เกินร้อยละ 2 จากผลการทดลองตารางที่ 4.5 และ 4.6 พบอิทธิพลของเวลาทอดต่อความหนืดและปริมาณกรดไขมันอิสระของน้ำมัน ($p < 0.05$)

พบว่าที่เวลาทอด 120 นาที น้ำมันมีความหนืดเพิ่มขึ้นจาก 53.53 เป็น 57.27 cPs โดยเพิ่มขึ้นร้อยละ 6.99 และปริมาณกรดไขมันอิสระเพิ่มขึ้นจากร้อยละ 0.31 เป็น 0.36 เพิ่มขึ้นร้อยละ 14.40 ความหนืดที่เพิ่มขึ้นเป็นผลมาจากปฏิกิริยาที่สำคัญ คือ ปฏิกิริยา polymerization จากการเกิด cross-linking ระหว่างโมเลกุลหรือภายในโมเลกุลของ triglycerides ทำให้เกิดสารพอลิเมอร์ที่มีมวลโมเลกุลใหญ่ขึ้น จากความหนืดที่เพิ่มขึ้นมีผลให้การดูดกลืนน้ำมันเพิ่มขึ้นได้ เนื่องจากน้ำมันจะมีอัตราการถ่ายโอนความร้อนลดลง และสารพอลิเมอร์ที่ผลิตขึ้นมีคุณสมบัติเป็นสาร surfactant จึงลดค่า interfacial tension ระหว่างผิวหน้าของอาหารและน้ำมันลง (Moreira และคณะ, 1999) และปริมาณกรดไขมันอิสระที่เพิ่มขึ้นเกิดจากปฏิกิริยาที่สำคัญ คือ hydrolysis ซึ่งเกิดเมื่อให้ความร้อนน้ำในอาหารเปลี่ยนสถานะกลายเป็นไอแล้วทำปฏิกิริยากับ triglycerides ทำให้เกิดกรดไขมันอิสระและ glycerol (Moreira และคณะ, 1999) เมื่อพิจารณาปริมาณไขมันของปลาชั้นรูปชุปแป้งทอด (รูปที่ 4.3) ไม่พบอิทธิพลของเวลาทอดต่อปริมาณไขมัน ($p > 0.05$) โดยตลอดระยะเวลา 120 นาทีปริมาณไขมันมีค่าไม่เปลี่ยนแปลง เมื่อพิจารณาความสัมพันธ์ร่วมกัน พบว่าความหนืดและปริมาณกรดไขมันอิสระที่เพิ่มขึ้นยังไม่มีผลต่อการดูดกลืนน้ำมันในผลิตภัณฑ์ปลาชั้นรูปชุปแป้งทอด สอดคล้องกับ Tseng, Moreira และ Sun (1996) ที่ทดลองศึกษาคุณภาพของน้ำมันตัวเหลือง โดยทอดมันฝรั่งที่อุณหภูมิ 190°C เป็นเวลา 60 ช.ม. พบว่าน้ำมันมีความหนืดเพิ่มขึ้นจาก 2.04×10^{-3} เป็น 4.39×10^{-3} Pa.S แต่ปริมาณน้ำมันในผลิตภัณฑ์ทอดไม่เปลี่ยนแปลง แสดงให้เห็นว่าการเปลี่ยนแปลงคุณภาพทางกายภาพและเคมีของน้ำมันระหว่างทอดต้องถึงระดับหนึ่ง จึงจะมีผลต่อการดูดกลืนน้ำมันของผลิตภัณฑ์ ฉะนั้นในงานวิจัยนี้จึงใช้อุณหภูมิในการทอด 170°C และเวลาในการทอดไม่เกิน 120 นาที ที่ภาวะเดียวกันตลอดงานวิจัย เพื่อควบคุมคุณภาพของน้ำมันให้สม่ำเสมอในทุกๆการทดลอง

5.3 ผลของพอลิเมอร์ชีวภาพต่อการดูดกลืนน้ำมันในผลิตภัณฑ์ปลาชั้นรูปชุปแป้งทอด

ศึกษาผลของ HPMC, high amylose corn starch และไข่ขาวผง ต่อการดูดกลืนน้ำมันในผลิตภัณฑ์ปลาชั้นรูปชุปแป้งทอดที่น้ำหนักชุปติดน้ำแป้งดิบเท่ากัน โดยแปรระดับการแทนที่แป้งด้วย HPMC เป็น ร้อยละ 0, 0.2, 0.4, 0.6 และ 0.8 โดยน้ำหนักแป้ง high amylose corn starch ร้อยละ 0, 5, 10, 15 และ 20 โดยน้ำหนักแป้ง และไข่ขาวผง ร้อยละ 0, 1.5, 3.0, 4.5 และ 6.0 โดยน้ำหนักแป้ง (จากการทดลองเบื้องต้น) ศึกษาสมบัติทางกายภาพของน้ำแป้งดิบ ได้แก่ ความหนืดปรากฏ จากนั้นชุปแป้งและทอดที่อุณหภูมิ 170°C นาน 4 นาที 30 วินาที ประเมินคุณภาพทางกายภาพและเคมี โดยวิเคราะห์ปริมาณความชื้นของชั้นแป้งและเนื้อใน ไขมันของชั้นแป้ง เนื้อในและรวมทั้งชิ้น ความแข็งของชั้นแป้ง ค่าสีของผลิตภัณฑ์ และประเมิน

คุณภาพทางประสาทสัมผัสด้านสี ความกรอบ การอมน้ำมัน รสชาติ และการยอมรับรวม

5.3.1 ผลของ HPMC ต่อการดูดกลืนน้ำมันในผลิตภัณฑ์ปลาชั้นรูปซุบแห้ง

ทอด

จากผลการทดลองพบอิทธิพลของปริมาณ HPMC ต่อความหนืดของน้ำแป้งดิบ ($p \leq 0.05$) ดังตารางที่ 4.7 เมื่อระดับการแทนที่แป้งด้วย HPMC เพิ่มขึ้นน้ำแป้งดิบมีความหนืดปรากฏเพิ่มขึ้น เนื่องจาก HPMC มีสมบัติที่สำคัญ คือ สามารถละลายและพองตัวอุ้มน้ำไว้ในโมเลกุล Zecher และ Gerrish (1992) กล่าวว่าความหนืดของสารละลาย HPMC เพิ่มขึ้นเมื่อความเข้มข้นและ/หรือมวลโมเลกุลสูงขึ้น ด้วยเหตุนี้เมื่อเพิ่มปริมาณการแทนที่แป้งด้วย HPMC ความหนืดจึงเพิ่มขึ้น เนื่องจากโมเลกุลเคลื่อนที่เข้ามาชิดกันและเกิดการพันกันของสายโซ่โมเลกุลซึ่งเป็นการพันกันทางกายภาพทำให้ต้านการไหลความหนืดปรากฏจึงเพิ่มขึ้น (Saunders, 1988) ขณะที่น้ำแป้งดิบเองมีความหนืดต่ำ เพราะแป้งมีสมบัติไม่ละลายในน้ำที่อุณหภูมิห้องโดยพองตัวได้เพียงเล็กน้อย (BeMiller และ Whistler, 1996)

จากผลการทดลองเมื่อระดับการแทนที่แป้งด้วย HPMC เพิ่มขึ้น น้ำแป้งดิบมีความหนืดปรากฏเพิ่มขึ้นทำให้การเกาะติดชิ้นอาหารมากขึ้น เพื่อให้ได้น้ำหนักซุบติดเท่ากันระหว่างร้อยละ 34-39 โดยน้ำหนัก จึงจำเป็นต้องใช้เวลาในการตั้งขึ้นมาพักหลังซุบต่างๆกัน โดยน้ำแป้งดิบที่มีระดับการแทนที่แป้งด้วย HPMC ร้อยละ 0, 0.2, 0.4, 0.6 และ 0.8 โดยน้ำหนัก แป้ง ซุบ 15 วินาที และใช้เวลาในการพักน้ำแป้งดิบ 2, 4, 6, 10 และ 17 วินาที ตามลำดับ

ผลการวิเคราะห์ความชื้นและไขมันของปลาชั้นรูปซุบแห้งทอด พบอิทธิพลของ HPMC ต่อปริมาณความชื้นของชั้นแป้งและในเนื้อปลา ($p \leq 0.05$) โดย HPMC ทำให้ผลิตภัณฑ์มีค่าความชื้นที่ชั้นแป้งและในเนื้อปลาเพิ่มขึ้น (รูปที่ 4.4) และพบอิทธิพลของ HPMC ต่อปริมาณไขมันในชั้นแป้งและในเนื้อปลา (รูปที่ 4.5) โดย HPMC ทำให้ผลิตภัณฑ์มีปริมาณไขมันโดยรวมลดลง ($p \leq 0.05$) โดยมีไขมันทั้งสิ้นลดลงสูงสุดคิดเป็นร้อยละ 47.93 ที่ระดับการแทนที่ร้อยละ 0.8 โดยน้ำหนักแป้ง ผลดังกล่าวอธิบายได้จากกลไกการดูดกลืนน้ำมันที่เกิดขึ้นในขณะทอด โดยเมื่ออาหารสัมผัสกับน้ำมันที่มีอุณหภูมิสูง น้ำอิสระจะระเหยกลายเป็นไอและโมเลกุลของน้ำชั้นในถัดมาจะระเหยเป็นไอดำตามลำดับทำให้เกิดรูเปิดที่ผิวนอกและเนื้อในอาหาร น้ำมันที่อยู่รอบๆผิวหน้าอาหารจะแทรกเข้ามาในช่องว่างที่เกิดขึ้น (Saguy และ Pinthus, 1995) แต่เมื่อมี HPMC เป็นส่วนผสมอยู่ในชั้นแป้ง เมื่อ HPMC ได้รับความร้อนจะเกิดเจลและฟิล์มที่มีโครงสร้างแบบร่างแหและกักเก็บน้ำไว้ในโครงสร้าง จากการที่หมู่ methyl เกิด hydrophobic interaction กันเองและเข้ารวมกลุ่มกันอยู่โดยมีหมู่ชอบน้ำอยู่ทางด้านนอก ทำให้เกิดเจลที่มีลักษณะอุ้มน้ำและชอบน้ำ

ถ้าโครงสร้างที่เกิดขึ้นมีความต่อเนื่องจะให้ลักษณะเหมือนฟิล์มที่ช่วยกันไม่ให้ไอน้ำผ่านออก และถ้าโครงสร้างที่เกิดขึ้นมีความต่อเนื่องจะให้ลักษณะเหมือนฟิล์มที่ช่วยกันไม่ให้ไอน้ำผ่านออกและต้านน้ำมันไม่ให้แพร่เข้ามาในอาหารทอดได้อย่างมีประสิทธิภาพ โดย HPMC มีอุณหภูมิในการเกิดเจล 60-90 °C (BeMiller และ Whistler, 1996 และ Balasubramaniam และ คณะ, 1997) เมื่อปริมาณ HPMC เพิ่มขึ้นผลิตภัณฑ์ที่มีความชื้นเหลืออยู่มากขึ้นและไขมันต่ำลง เนื่องจากปริมาณที่มากขึ้นโอกาสที่โมเลกุลจะชนกันทำให้เกิดโครงสร้างร่างแหที่มีความสมบูรณ์มีมากขึ้น และมีหมู่ที่จับกับน้ำไว้มากยิ่งขึ้นด้วย สอดคล้องกับงานวิจัยในอดีตที่ผ่านมาหลายงาน เช่น Pinthus และ คณะ (1993) รายงานว่า HPMC ช่วยลดการดูดกลืนน้ำมันในโดนัททอดจากสมบัติการเกิดเจลและฟิล์ม Holowania และ คณะ (2000) ทดลองใช้สารละลาย HPMC เข้มข้นร้อยละ 1 โดยปริมาตรผสมกับส่วนผสมที่จะนำไปคลุกขึ้นไก่ อัตราส่วนสารละลาย HPMC ต่อส่วนผสมที่จะนำไปคลุก 1 ต่อ 50 โดยน้ำหนัก ทอดไก่ที่อุณหภูมิ 170 °C นาน 2.75 นาที เปรียบเทียบกับตัวอย่างที่ไม่ได้คลุก พบว่า HPMC ทำให้ขึ้นไก่มีความชื้นเพิ่มขึ้นและไขมันลดลง เมื่อพิจารณาคะแนนการทดสอบทางประสาทสัมผัสด้านการอมน้ำมัน (รูปที่ 4.6) พบอิทธิพลของ HPMC ต่อค่าดังกล่าว ($p \leq 0.05$) โดย HPMC ทำให้ผลิตภัณฑ์มีคะแนนการอมน้ำมันสูงขึ้นโดยผู้ทดสอบมีความเห็นว่าผลิตภัณฑ์อมน้ำมันลดลง ซึ่งสัมพันธ์กับปริมาณไขมันที่ลดลงดังรูปที่ 4.5 โดยผลิตภัณฑ์ที่มีปริมาณไขมันที่ขึ้นแป้ง เนื้อใน และรวมทั้งขึ้นลดลงเมื่อปริมาณ HPMC เพิ่มขึ้น เมื่อพิจารณาค่าความแข็งของชั้นแป้งของปลาขึ้นรูปชุบแป้งทอด ดังตารางที่ 4.8 พบอิทธิพลของปริมาณ HPMC ต่อค่าดังกล่าว ($p \leq 0.05$) ที่ระดับการแทนที่แป้งด้วย HPMC ร้อยละ 0.8 โดยน้ำหนักแป้ง ผลิตภัณฑ์มีค่าความแข็งของชั้นแป้งลดลงมากที่สุดจาก 132.07 เป็น 64.26 g สอดคล้องกับคะแนนการทดสอบทางประสาทสัมผัสด้านความกรอบ (รูปที่ 4.6) คือ HPMC ทำให้ผลิตภัณฑ์มีความกรอบลดลง และที่ระดับการแทนที่ร้อยละ 0.6 และ 0.8 โดยน้ำหนักแป้ง ผู้ทดสอบเห็นว่าสมบัติด้านความกรอบของผลิตภัณฑ์ด้อยลงจนถึงระดับที่ยอมรับไม่ได้ ทั้งนี้ อาจเนื่องจากผลิตภัณฑ์มีความชื้นเหลืออยู่ที่ขึ้นแป้งและเนื้อในเพิ่มขึ้น ซึ่งเป็นผลจากสมบัติของ HPMC ที่ช่วยลดการสูญเสียความชื้นระหว่างทอดดังรายละเอียดที่ได้กล่าวมาแล้ว

ค่าสีของปลาขึ้นรูปชุบแป้งทอดที่วัดด้วยเครื่องวัดสีดังตารางที่ 4.9 แสดงอิทธิพลของปริมาณ HPMC ต่อค่าดังกล่าว ($p \leq 0.05$) เมื่อระดับการแทนที่แป้งด้วย HPMC เพิ่มขึ้น ผลิตภัณฑ์มีค่าความสว่างเพิ่มขึ้น ค่าสีแดงและสีเหลืองลดลงซึ่งสัมพันธ์กับคะแนนการทดสอบทางประสาทสัมผัสด้านสี (รูปที่ 4.6) เมื่อปริมาณ HPMC เพิ่มขึ้นผลิตภัณฑ์มีคะแนนด้านสีลดลงเช่นกัน โดยผู้ทดสอบเห็นว่าผลิตภัณฑ์มีสีที่อ่อนลง ซึ่งอาจอธิบายได้ว่าในกระบวนการทอดสีของผลิตภัณฑ์เกิดจากปฏิกิริยา Maillard ร่วมกับ caramelization โดยปฏิกิริยา Maillard เกิดจากการที่ความร้อนทำให้น้ำตาลรีดิคซ์เกิดปฏิกิริยาทางเคมีกับกรดอะมิโนของโปรตีนเกิดสารพอลิเมอร์

ที่มีสีน้ำตาล คือ 5-hydroxymethyl-2-furaldehyde หรือเรียกว่า melanoidin และปฏิกิริยา caramelization เกิดจากการเสียน้ำของน้ำตาลจากพลังงานความร้อนทำให้เกิดพันธะคู่หรือการสร้างวงแหวน anhydro ซึ่งเป็นวงแหวนไม่อิ่มตัว เช่น furans การเคลื่อนย้ายตำแหน่งของพันธะคู่ในรูป conjugate ทำให้เกิดสารที่ดูดกลืนแสงและให้สี (Lawson, 1985 และ BeMiller และ Whistler, 1996) จากผลการทดลอง HPMC ทำให้สีของผลิตภัณฑ์อ่อนลง อาจเนื่องจากปฏิกิริยา Maillard เกิดได้ยากขึ้น เพราะอัตราการเกิดสีน้ำตาลของปฏิกิริยานี้มีปัจจัยจากค่า water activity (A_w) มาเกี่ยวข้องด้วย (Hutchings, 1999) จากสมบัติของ HPMC ที่ช่วยลดการเสียน้ำขึ้นขณะทอดอาจทำให้ผลิตภัณฑ์มีค่า A_w อยู่ในช่วงที่ไม่เหมาะสมในการเกิดปฏิกิริยาจึงทำให้อัตราการเกิดสารให้สีลดลงผลิตภัณฑ์จึงมีสีอ่อนลง โดยปฏิกิริยานี้จะเริ่มเกิดที่ A_w ต่ำและมีอัตราการเกิดสูงสุดที่ A_w เท่ากับ 0.7 (Hutchings, 1999) สอดคล้องกับ Mayers (1996) กล่าวว่า HPMC และ MC ทำให้ผลิตภัณฑ์ทอดมีความสว่างมากขึ้น เนื่องจากมีสมบัติที่ทำให้ผลิตภัณฑ์มีความชื้นเหลืออยู่หลังทอดมากส่งผลให้อัตราการเกิดสีน้ำตาลจากปฏิกิริยา Maillard ลดลง ทำให้ผู้บริโภคเกิดความรู้สึกคล้ายกับว่าผลิตภัณฑ์ทอดได้รับความร้อนไม่เพียงพอ นอกจากนี้การที่ผลิตภัณฑ์ทอดอมน้ำมันลดลงจะทำให้มีสีสว่างขึ้นด้วย

เมื่อพิจารณาคะแนนการทดสอบทางประสาทสัมผัสด้านรสชาติ ดังรูปที่ 4.6 ไม่พบอิทธิพลของปริมาณ HPMC ต่อค่าดังกล่าว ($p > 0.05$) สรุปได้ว่าพอลิเมอร์ชีวภาพที่ใช้เป็นสารไม่มิกลินรสและไม่มีผลต่อรสชาติของผลิตภัณฑ์หลังการให้ความร้อน

เมื่อพิจารณาคะแนนการทดสอบทางประสาทสัมผัสด้านการยอมรับรวม พบอิทธิพลของ HPMC ต่อคะแนนการยอมรับรวม ($p \leq 0.05$) โดย HPMC ทำให้ผลิตภัณฑ์มีค่าดังกล่าวลดลงและระดับการแทนที่ร้อยละ 0.6 และ 0.8 โดยน้ำหนักแบ่ง ผู้ทดสอบไม่ยอมรับผลิตภัณฑ์ เพราะมีความเห็นว่าผลิตภัณฑ์ขาดคุณสมบัติที่ดีของผลิตภัณฑ์ชุบแป้งทอดในด้านสีและความกรอบ

จากผลการประเมินประสิทธิภาพของ HPMC ต่อการลดการดูดกลืนน้ำมันในปลาขึ้นรูปชุบแป้งทอด พบว่าที่ระดับการแทนที่ร้อยละ 0.4 โดยน้ำหนักแบ่ง เป็นระดับที่เหมาะสมที่สุด เนื่องจากให้ผลิตภัณฑ์ที่มีปริมาณไขมันทั้งชิ้นต่ำ โดยลดลงจากร้อยละ 18.95 เป็น 14.02 คิดเป็นร้อยละ 26.02 และมีคะแนนประเมินทางประสาทสัมผัสในเกณฑ์ยอมรับได้จากผู้ทดสอบ

5.3.2 ผลของ high amylose corn starch ต่อการดูดกลืนน้ำมันในผลิตภัณฑ์ปลาขึ้นรูปชุปแป้งทอด

จากผลการทดลองพบอิทธิพลของปริมาณ high amylose corn starch ต่อความหนืดปรากฏของน้ำแป้งดิบ ($p \leq 0.05$) ดังตารางที่ 4.10 เมื่อระดับการแทนที่แป้งด้วย high amylose corn starch เพิ่มขึ้นน้ำแป้งดิบมีความหนืดปรากฏลดลง ทั้งนี้อาจอธิบายได้ว่า high amylose corn starch มีโครงสร้างที่เป็นผลึกสูงและไม่พองตัวในน้ำที่อุณหภูมิห้อง ในขณะที่แป้งสาลีและแป้งข้าวโพดพองตัวในน้ำได้บ้าง และแป้งสาลีมีปริมาณโปรตีนสูงซึ่งสามารถสร้างพันธะไฮโดรเจนกับน้ำและทำให้น้ำแป้งดิบมีความหนืดสูงขึ้น (Olewnik และ Kulp, 1996) นอกจากนี้ amylose ที่อยู่ในโครงสร้างของ high amylose corn starch มีมวลโมเลกุลที่ต่ำกว่า amylose ในแป้งสาลีและข้าวโพด (BeMiller, 1973 และ BeMiller และ Whistler, 1996) จากเหตุผลเหล่านี้น่าจะเป็นสาเหตุให้น้ำแป้งดิบมีความหนืดปรากฏลดลง

จากผลการทดลองเมื่อระดับการแทนที่แป้งด้วย high amylose corn starch เพิ่มขึ้น น้ำแป้งดิบมีความหนืดลดลงทำให้การเกาะติดชิ้นอาหารลดลง เพื่อให้ได้น้ำหนักชุปติดเท่ากันระหว่างร้อยละ 34-39 โดยน้ำหนัก ทำให้ต้องใช้เวลาในการตั้งขึ้นมาพักหลังชุปต่างๆกัน โดยน้ำแป้งดิบที่มีระดับการแทนที่แป้งด้วย high amylose corn starch ร้อยละ 0, 5, 10, 15 และ 20 โดยน้ำหนักแป้ง ชุป 15 วินาที ใช้เวลาในการตั้งขึ้นมาพักหลังชุป 2, 2, 1, 1 และ 1 วินาที ตามลำดับ

ผลการวิเคราะห์ความชื้นและไขมันของปลาขึ้นรูปชุปแป้งทอด พบอิทธิพลของ high amylose corn starch ต่อปริมาณความชื้นของชิ้นแป้งและในเนื้อปลา ($p \leq 0.05$) โดย high amylose corn starch ทำให้ผลิตภัณฑ์มีค่าดังกล่าวเพิ่มขึ้น (รูปที่ 4.7) และพบอิทธิพลของ high amylose corn starch ต่อปริมาณไขมันที่ชิ้นแป้ง และในเนื้อปลา ($p \leq 0.05$) โดยมีค่าดังกล่าวลดลง (รูปที่ 4.8) เนื่องจาก high amylose corn starch มีสมบัติเกิดเจลเมื่อได้รับความร้อนและมีน้ำในระบบ โดยการเกิดเจลเริ่มจาก granule ของเม็ดแป้งเกิดการพองตัวแล้วปลดปล่อย amylose ออกมาและจากการที่ amylose มีโครงสร้างที่เป็นเส้นตรงจึงไปช่วยเสริม interaction ระหว่างโมเลกุลของกลูโคสในแป้งที่เป็นส่วนผสมในสูตรทำให้เกิดฟิล์มที่ช่วยลดการระเหยของไอน้ำและช่วยด้านการแพร์ของน้ำมันได้ โดย high amylose corn starch มีอุณหภูมิในการเกิดเจลสูงประมาณ 120-170 °C ในระบบที่มีน้ำเพียงพอ (BeMiller, 1973) ที่ระดับการแทนที่ร้อยละ 10 โดยน้ำหนักแป้งผลิตภัณฑ์ที่มีความชื้นที่ชิ้นแป้งและเนื้อในสูงสุด และมีไขมันที่ชิ้นแป้งและเนื้อในต่ำสุด โดยปริมาณไขมันทั้งชิ้นลดลงต่ำสุดคิดเป็นร้อยละ 25.38 ที่ระดับการแทนที่สูงกว่านี้ความชื้นจะมีแนวโน้มลดลงและไขมันมีแนวโน้มเพิ่มขึ้น อาจเนื่อง

high amylose corn starch มีคุณสมบัติในการเกิดเจลสูงและต้องมีน้ำเพียงพอการเกิดเจลและฟิล์มจึงจะสมบูรณ์ ซึ่งการแทนที่ในปริมาณที่มากอาจทำให้การเกิดเจลช้ำน้ำจึงสูญเสียไปได้ บางส่วนระหว่างการทอด นอกจากนี้ยังอาจถูกแป้งสาลีและแป้งข้าวโพดที่เป็นส่วนผสมในสูตรดึงน้ำไปใช้ในการพองตัวและเกิดเจลก่อน เนื่องจากมีคุณสมบัติในการเกิดเจลต่ำกว่า BeMiller และ Whistler (1996) รายงานว่าแป้งสาลีและแป้งข้าวโพดมีคุณสมบัติในการเกิดเจล 52-85 °C และ 62-80 °C ตามลำดับ สอดคล้องกับงานวิจัยของ Shih และ Daigle (1999) ที่รายงานว่าการแทนที่แป้งชุบทอดที่ทำจากแป้งข้าวเจ้าดูดกคืนน้ำมันน้อยกว่าตัวอย่างที่ทำจากแป้งสาลี เนื่องจากแป้งข้าวเจ้ามีปริมาณ amylose เป็นองค์ประกอบสูงกว่าแป้งสาลี และสอดคล้องกับงานวิจัยของ Mohamed และ คณะ (1998) ที่รายงานว่าการแทนที่แป้งข้าวเจ้าด้วยแป้งข้าวเหนียวในปริมาณ 0 - 500 g ต่อแป้งข้าวเจ้า 1 kg จะให้แป้งชุบทอดที่ดูดกคืนน้ำมันสูงกว่าตัวอย่างที่ทำจากแป้งข้าวเจ้าอย่างเดียว เนื่องจากแป้งข้าวเจ้ามีปริมาณ amylose สูงกว่า จึงช่วยเสริม interaction ระหว่างสายของกลูโคสเป็นฟิล์มที่แข็งแรงช่วยต้านการแพร่ของไอน้ำและน้ำมันทำให้การดูดกคืนน้ำมันลดลง เมื่อพิจารณาคะแนนการทดสอบทางประสาทสัมผัสด้านการอมน้ำมัน (รูปที่ 4.9) พบอิทธิพลของ high amylose corn starch ต่อ ค่าดังกล่าว ($p \leq 0.05$) โดย high amylose corn starch ทำให้ผู้ทดสอบรู้สึกว่ามีผลิตภัณฑ์อมน้ำมันลดลง คะแนนคุณภาพด้านนี้จึงผลิตภัณฑ์จึงสูงขึ้น ซึ่งสัมพันธ์กับปริมาณไขมันที่ลดลงดังรูปที่ 4.8

เมื่อพิจารณาค่าความแข็งชั้นแป้งของปลาขึ้นรูปชุบแป้งทอดที่วัดด้วยเครื่อง texturometer ดังตารางที่ 4.11 พบอิทธิพลของปริมาณ high amylose corn starch ต่อค่าดังกล่าว ($p \leq 0.05$) โดยที่ระดับการแทนที่ร้อยละ 5 และ 10 โดยน้ำหนักแป้ง ผลิตภัณฑ์มีค่าความแข็งลดลงเมื่อเทียบกับตัวอย่างควบคุม สอดคล้องกับค่าความชื้นที่เพิ่มขึ้น (รูปที่ 4.7) เนื่องจากสมบัติของ high amylose corn starch ที่สร้างฟิล์มช่วยลดการเสียน้ำขณะทอด ดังรายละเอียดที่กล่าวมาแล้ว แต่ที่ระดับการแทนที่ร้อยละ 20 พบว่าผลิตภัณฑ์มีค่าความแข็งของชั้นแป้งสูงขึ้นและสูงกว่าตัวอย่างควบคุม อาจเนื่องจาก high amylose corn starch มีคุณสมบัติในการเกิดเจลสูงเมื่อใช้แทนที่ในปริมาณที่มากอาจส่งผลให้น้ำในระบบไม่เพียงพอที่จะทำให้อ่างเกิดการพองตัวสมบูรณ์ ซึ่งสอดคล้องกับค่าความชื้นที่ลดลง (รูปที่ 4.7) และปริมาณไขมันมีแนวโน้มเพิ่มขึ้น (รูปที่ 4.8) ปริมาณความชื้นที่ลดลงและการมีส่วนของ high amylose corn starch ที่ไม่พองตัวน่าจะเป็นสาเหตุให้ความแข็งของผลิตภัณฑ์ที่ระดับดังกล่าวสูงกว่าตัวอย่างควบคุม ในส่วนของคะแนนการทดสอบทางประสาทสัมผัสด้านความกรอบ (รูปที่ 4.9) พบอิทธิพลของปริมาณ high amylose corn starch ต่อค่าดังกล่าว ($p \leq 0.05$) พบว่าที่ระดับการแทนที่แป้งร้อยละ 5, 10 และ 15 โดยน้ำหนักแป้ง ผู้ทดสอบไม่สามารถบอกได้ว่าผลิตภัณฑ์

นี้ลดลง คะแนนความกรอบจึงไม่แตกต่างกัน แต่ที่ระดับการแทนที่ร้อยละ 20 โดยน้ำหนักแป้ง ผู้ทดสอบรู้สึกว่าคุณสมบัติที่กรอบขึ้น โดยมีคะแนนเพิ่มขึ้นจาก 6.77 เป็น 7.25 จากเหตุผลที่กล่าวมาแล้ว เมื่อพิจารณาค่าสีของปลาขึ้นรูปชุบแป้งทอดที่วัดด้วยเครื่องวัดสี ดังตารางที่ 4.12 ไม่พบอิทธิพลของปริมาณ high amylose corn starch ต่อค่าความสว่าง ค่าสีแดงและสีเหลือง ($p>0.05$) อาจเนื่องมาจากพอลิเมอร์ชีวภาพที่ใช้เป็นแป้งเช่นเดียวกับแป้งสาลีและแป้งข้าวโพด ถึงแม้จะมีปริมาณโปรตีนต่ำกว่าแป้งสาลีแต่ในสูตรก็ยังมีโปรตีนอื่นที่ช่วยให้สีน้ำตาลจากปฏิกิริยา Maillard คือ โปรตีนจากนมผงขาดมันเนย ซึ่งอาจทำให้ความแตกต่างของสีเกิดขึ้นน้อยมาก สอดคล้องกับคะแนนการทดสอบทางประสาทสัมผัส (รูปที่ 4.9) ที่ไม่พบอิทธิพลของปริมาณ high amylose corn starch ต่อค่าดังกล่าว ($p>0.05$) โดยผู้ทดสอบเห็นว่าผลิตภัณฑ์มีสีไม่แตกต่างกัน

เมื่อพิจารณาคะแนนการทดสอบทางประสาทสัมผัสด้านรสชาติ ดังรูปที่ 4.9 ไม่พบอิทธิพลของปริมาณ high amylose corn starch ต่อค่าดังกล่าว ($p>0.05$) เนื่องจากพอลิเมอร์ชีวภาพที่ใช้ไม่มีสี กลิ่น และไม่มีผลต่อรสชาติของผลิตภัณฑ์หลังทอด

เมื่อพิจารณาคะแนนการทดสอบทางประสาทสัมผัสด้านการยอมรับรวม พบอิทธิพลของปริมาณ high amylose corn starch ต่อคะแนนการยอมรับรวม ($p\leq 0.05$) โดย high amylose corn starch ที่ระดับการแทนที่ร้อยละ 20 โดยน้ำหนักแป้ง ทำให้ผลิตภัณฑ์มีคะแนนการยอมรับรวมเพิ่มขึ้น (รูปที่ 4.9) เนื่องจากผลิตภัณฑ์มีความกรอบเพิ่มขึ้นจากเหตุผลที่กล่าวมาแล้ว แต่ที่ระดับการแทนที่ร้อยละ 5, 10 และ 15 โดยน้ำหนักแป้งผลิตภัณฑ์มีคะแนนการยอมรับรวมไม่แตกต่างกันและไม่ต่างจากตัวอย่างควบคุม

จากผลการประเมินประสิทธิภาพของ high amylose corn starch ต่อการลดการดูดกลืนน้ำมันในผลิตภัณฑ์ปลาขึ้นรูปชุบแป้งทอด พบว่าที่ระดับการแทนที่ร้อยละ 10 โดยน้ำหนักแป้งเป็นระดับที่เหมาะสมที่สุด เนื่องจากให้ผลิตภัณฑ์ที่มีปริมาณไขมันทั้งชิ้นต่ำโดยลดลงร้อยละ 25.38 และมีคะแนนการประเมินทางประสาทสัมผัสได้รับการยอมรับจากผู้ทดสอบ

5.3.3 ผลของไข่ขาวผงต่อการดูดกลืนน้ำมันในผลิตภัณฑ์ปลาขึ้นรูปชุบแป้งทอด

จากผลการทดลองพบอิทธิพลของปริมาณไข่ขาวผงต่อความเหนียวปรากฏของน้ำแป้งดิบ ($p\leq 0.05$) โดยเมื่อระดับการแทนที่แป้งด้วยไข่ขาวผงเพิ่มขึ้นน้ำแป้งดิบมีความเหนียวปรากฏลดลง เนื่องจากไข่ขาวผงมีสมบัติกระจายตัวและละลายน้ำได้ดี (Etsushiro และ Naofumi, 1997) ในขณะที่แป้งประกอบด้วย amylose และ amylopectin อยู่ใน granule ของแป้ง จึงอยู่ในสภาพแขวนลอยในน้ำโดยแป้งสาลีและแป้งข้าวโพดมีขนาด granule เป็น 2-55 และ 2-30 μm

นอกจากนี้แบ่งทั้งสองชนิดนี้ยังสามารถพองตัวในน้ำได้เล็กน้อย (BeMiller และ Whistler, 1996) จึงมีค่าความหนืดปรากฏระดับหนึ่ง และเมื่อถูกแทนที่ด้วยไซขาวผงปริมาณแบ่งลดลงจึงทำให้การต้านทานการไหลลดลง ค่าความหนืดปรากฏของน้ำแป้งดิบจึงลดลง

จากผลการทดลอง การแทนที่แบ่งด้วยไซขาวผงทำให้ความหนืดน้ำแป้งดิบลดลงการเกาะติดขึ้นอาหารจึงลดลง เพื่อให้ได้น้ำหนักชุปติดที่เท่ากันจึงใช้เวลาในการชุป 15 วินาที และตั้งขึ้นมาพักหลังชุปที่เวลาต่าง ๆ กัน โดยน้ำแป้งดิบที่มีระดับการแทนที่แบ่งด้วยไซขาวผงร้อยละ 0, 1.5, 3.0, 4.5 และ 6.0 โดยน้ำหนักแบ่ง ใช้เวลาพักน้ำแป้ง 2, 2, 1.5, 1.5 และ 1.5 วินาที ตามลำดับ

ผลการวิเคราะห์ความชื้นและไขมันของปลาขึ้นรูปชุปแบ่งทอด พบอิทธิพลของไซขาวผงต่อปริมาณความชื้นและไขมันในชั้นแบ่งและในเนื้อปลา ($p \leq 0.05$) โดยไซขาวผงทำให้ผลิตภัณฑ์มีความชื้นเพิ่มขึ้น (รูปที่ 4.10) และไขมันลดลง (รูปที่ 4.11) โดยไขมันทั้งชั้นลดลงสูงสุดคิดเป็นร้อยละ 29.33 ที่ระดับการแทนที่ร้อยละ 3.0 โดยน้ำหนักแบ่ง จากกลไกการดูดกลืนน้ำมันดังที่กล่าวมาแล้วในข้อ 5.3 การระเหยของไอน้ำในอาหารทำให้เกิดรูเปิดและน้ำมันจะผ่านเข้าสู่รูเปิดทำให้อาหารทอดเกิดการอมน้ำมัน จากผลการทดลองไซขาวผงทำให้ผลิตภัณฑ์มีความชื้นเพิ่มขึ้นและไขมันลดลง เนื่องจากไซขาวผงมีสมบัติที่สำคัญ คือ เมื่อได้รับความร้อนจะเกิดเจลแบบร่างแหและเกิดฟิล์ม โดยมีอุณหภูมิในการเกิดเจล $71-74^{\circ}\text{C}$ การเกิดเจลของไซขาวเกิดจากการเสียสภาพธรรมชาติของโปรตีนจากความร้อน เริ่มจากโมเลกุลของโปรตีนยึดออกต่อมาโมเลกุลเหล่านี้จะเข้ามามีพันธะกันในสามทิศทางด้วยพันธะ disulfide และไฮโดรเจน โครงสร้างแบบร่างแหนี้จะกักเก็บน้ำไว้ภายใน (Etsushiro และ Naofumi, 1997) และที่ระดับการแทนที่ร้อยละ 3 โดยน้ำหนักแบ่ง ปริมาณความชื้นและไขมันไม่แตกต่างจากที่ระดับที่สูงกว่านี้ อาจเนื่องมาจากที่ระดับดังกล่าวปริมาณไซขาวผงที่ใช้มีระดับเพียงพอที่จะเกิดเจลและเกิดพันธะระหว่างโมเลกุลจนทำให้เกิดชั้นฟิล์มที่มีประสิทธิภาพในการป้องกันการสูญเสียความชื้น และด้านการแพร่เข้าของน้ำมันได้ดี สอดคล้องกับงานวิจัยของ Mohamed และคณะ (1995) ที่รายงานว่าโปรตีนไซขาวช่วยลดการดูดกลืนน้ำมันของโดนัททอดแต่ไม่ช่วยเพิ่มความกรอบ แต่โปรตีนชนิดอื่นๆ ได้แก่ กากเตน ไข่แดง โปรตีนถั่วเหลืองและนมผงขาดมันเนยทำให้โดนัทดูดกลืนน้ำมันมากขึ้น เมื่อพิจารณาคะแนนการทดสอบทางประสาทสัมผัสด้านการอมน้ำมันพบอิทธิพลของไซขาวผงต่อค่าดังกล่าว ($p \leq 0.05$) โดยไซขาวผงทำให้ผลิตภัณฑ์มีคะแนนคุณภาพด้านนี้ดีขึ้นซึ่งสัมพันธ์กับปริมาณน้ำมันที่ตรวจพบจากการวิเคราะห์ดังรูปที่ 4.11

เมื่อพิจารณาค่าความแข็งของชั้นแบ่งปลาขึ้นรูปชุปแบ่งทอด ดังตารางที่ 4.14 พบอิทธิพลของปริมาณไซขาวผงต่อค่าดังกล่าว ($p \leq 0.05$) เมื่อระดับการแทนที่แบ่งด้วยไซขาวผงเพิ่มขึ้น

ผลิตภัณฑ์มีค่าความแข็งของชั้นแป้งลดลง สอดคล้องกับคะแนนการทดสอบทางประสาทสัมผัส ด้านความกรอบ (รูปที่ 4.12) คือไซขาวผงทำให้ผลิตภัณฑ์มีคะแนนด้านความกรอบลดลง ซึ่งเป็นผลสืบเนื่องมาจากผลิตภัณฑ์มีความชื้นทั้งในชั้นแป้งและในเนื้อปลาอยู่ในปริมาณที่มากกว่า ตัวอย่างควบคุม ซึ่งเป็นผลมาจากสมบัติของไซขาวผงที่ช่วยลดการสูญเสียความชื้นขณะทอด ดังรายละเอียดที่กล่าวมาแล้ว

เมื่อพิจารณาค่าสีของปลาชั้นรูปชุบแป้งทอดที่วัดด้วยเครื่องวัดสีดังตารางที่ 4.15 พบอิทธิพลของปริมาณไซขาวผงต่อค่าดังกล่าว ($p \leq 0.05$) เมื่อระดับการแทนที่แป้งด้วยไซขาวผงเพิ่มขึ้นผลิตภัณฑ์มีค่าความสว่างลดลง ค่าสีแดงและค่าสีเหลืองเพิ่มขึ้น เนื่องจากสีของอาหาร ทอดเกิดจากปฏิกิริยา Maillard ร่วมกับ caramelization ดังรายละเอียดที่ได้กล่าวมาแล้วใน ข้อ 5.3.1 และไซขาวผงเป็นโปรตีนจึงสามารถทำปฏิกิริยากับน้ำตาลรีดิวซ์และให้สารสีน้ำตาล คือ 5 - hydroxymethyl - 2 - furaldehyde ได้ดี (Bennion, 1995 และ BeMiller และ Whistler, 1996) และตัวไซขาวผงเองมีสีเหลืองอ่อนเนื่องจากได้ผ่านการให้ความร้อนโดยวิธีการพ่นฝอย ซึ่งน่าจะเป็นอีกเหตุผลหนึ่งที่ทำให้ผลิตภัณฑ์สุดท้ายมีค่าความสว่างลดลง ค่าสีแดงและสีเหลืองเพิ่มขึ้น ผลดังกล่าวนี้สอดคล้องกับคะแนนการทดสอบทางประสาทสัมผัสด้านสี (รูปที่ 4.12) เมื่อปริมาณไซขาวผงเพิ่มขึ้นผลิตภัณฑ์มีคะแนนด้านสีลดลง เนื่องจากผลิตภัณฑ์มีสีเข้มเมื่อเทียบกับตัวอย่าง ควบคุม และที่ระดับการแทนที่ร้อยละ 6 โดยน้ำหนักแป้ง ผลิตภัณฑ์มีสีเข้มมากทำให้ไม่ได้รับการยอมรับจากผู้ทดสอบ

เมื่อพิจารณาคะแนนการทดสอบทางประสาทสัมผัสด้านรสชาติ ดังรูปที่ 4.12 ไม่พบอิทธิพลของปริมาณไซขาวผงต่อค่าดังกล่าว ($p > 0.05$) สรุปได้ว่าพอลิเมอร์ชีวภาพที่ใช้ไม่มีผลต่อรสชาติของผลิตภัณฑ์หลังทอด

เมื่อพิจารณาคะแนนการยอมรับทางประสาทสัมผัสด้านการยอมรับรวม พบอิทธิพลของไซขาวผงต่อคะแนนการยอมรับรวม ($p \leq 0.05$) โดยไซขาวผงทำให้ผลิตภัณฑ์มีค่าดังกล่าวลดลง เนื่องจากมีสีเข้มขึ้นและความกรอบลดลง (รูปที่ 4.12) และที่ระดับการแทนที่ร้อยละ 6 โดยน้ำหนักแป้ง ผู้ทดสอบไม่ยอมรับผลิตภัณฑ์ เพราะมีความเห็นว่าผลิตภัณฑ์ขาดคุณสมบัติที่ดีของผลิตภัณฑ์ทอดในด้านสีโดยผลิตภัณฑ์มีสีเข้มเกินไป

จากผลการประเมินประสิทธิภาพของไซขาวผงต่อการลดการดูดกลืนน้ำมันในผลิตภัณฑ์ปลาชั้นรูปชุบแป้งทอด พบว่าที่ระดับการแทนที่ร้อยละ 3 โดยน้ำหนักแป้ง เป็นระดับที่เหมาะสมที่สุด เนื่องจากให้ผลิตภัณฑ์ที่มีปริมาณไขมันทั้งชิ้นต่ำ โดยลดลงร้อยละ 29.33 และมีคะแนนการประเมินทางประสาทสัมผัสได้รับการยอมรับจากผู้ทดสอบโดยใช้ไซขาวผงในปริมาณที่ต่ำ

5.4 ประสิทธิภาพของพอลิเมอร์ชีวภาพ

จากการทดลองที่ผ่านมา สามารถเลือกระดับการแทนที่แป้งด้วยพอลิเมอร์ชีวภาพแต่ละชนิดที่เหมาะสมสำหรับปลาชั้นรูปชุปแป้งทอด แต่ยังไม่ทราบประสิทธิภาพในเชิงเปรียบเทียบของพอลิเมอร์ชีวภาพทั้ง 3 ชนิด ดังนั้นจึงออกแบบการทดลองนี้ เพื่อคัดเลือกชนิดที่เหมาะสมที่สุด จากข้อ 5.3 ได้คัดเลือก HPMC, high amylose corn starch และ ไซไซขาวผง ที่ระดับการแทนที่แป้งร้อยละ 0.4, 10.0 และ 3.0 โดยน้ำหนักแป้ง ตามลำดับ ในขั้นตอนนี้ทดลองโดยควบคุมน้ำหนักชุปติดของน้ำแป้งดิบทุกตัวอย่างให้เท่ากัน เพื่อประเมินประสิทธิภาพของพอลิเมอร์ชีวภาพให้ชัดเจนยิ่งขึ้น

จากผลการทดลองพบอิทธิพลของ HPMC, high amylose corn starch และไซไซขาวผง ที่ระดับดังกล่าวต่อความหนืดปรากฏของน้ำแป้งดิบ ($p \leq 0.05$) ดังตารางที่ 4.16 โดย HPMC ทำให้ความหนืดปรากฏของน้ำแป้งดิบเพิ่มขึ้น แต่ high amylose corn starch และไซไซขาวผง ทำให้ค่าดังกล่าวลดลง HPMC แม้จะใช้ในระดับต่ำแต่มีผลทำให้ความหนืดเพิ่มขึ้นมากเมื่อเทียบกับตัวอย่างควบคุมโดยเพิ่มจาก 1805.00 เป็น 4183.33 cPs เนื่องจากมีสมบัติละลายและพองตัวอุ้มน้ำไว้ในโมเลกุล (BeMiller และ Whistler, 1996) ส่วน high amylose corn starch มีโครงสร้างที่เป็นผลึกสูง ไม่พองตัวในน้ำที่อุณหภูมิห้อง และ amylose ที่อยู่ใน high amylose corn starch มีมวลโมเลกุลต่ำกว่า amylose ที่อยู่ในแป้งชนิดอื่นในสูตร (BeMiller, 1973 และ BeMiller และ Whistler, 1996) และใช้แทนที่ในปริมาณที่มากจึงทำให้น้ำแป้งดิบมีความหนืดต่ำที่สุดโดยลดจาก 1805.00 เป็น 1512.00 cPs ไซไซขาวผงทำให้น้ำแป้งดิบมีความหนืดลดลงเนื่องจากสมบัติการละลายและกระจายตัวได้ดีในน้ำ (Etsushiro และ Naofumi, 1997) โดยความหนืดปรากฏของน้ำแป้งดิบลดลงจาก 1805.00 เป็น 1673.67 cPs

จากความหนืดที่แตกต่างของน้ำแป้งดิบ จึงได้แปรเวลาในการพักน้ำแป้งดิบเพื่อให้ได้น้ำหนักชุปติดเท่ากันระหว่างร้อยละ 34-39 โดยน้ำหนัก น้ำแป้งสูตรควบคุม สูตรที่แทนที่แป้งด้วย HPMC, high amylose corn starch และไซไซขาวผง ร้อยละ 0.4, 10.0 และ 3.0 โดยน้ำหนักชุป 15 วินาที พักเป็นเวลา 2, 7, 1.5 และ 1 วินาที ตามลำดับ

จากผลการวิเคราะห์ปริมาณความชื้นและไขมันของปลาชั้นรูปชุปแป้งทอด พบว่าพอลิเมอร์ชีวภาพทั้ง 3 ชนิดที่ระดับดังกล่าว ทำให้ผลลิตภัณฑ์มีความชื้นในชั้นแป้งและในเนื้อปลาเพิ่มขึ้นเมื่อเทียบกับตัวอย่างควบคุม ($p \leq 0.05$) ดังรูปที่ 4.13 แต่มีปริมาณไขมันในชั้นแป้ง ในเนื้อปลา และรวมทั้งชิ้นลดลง ($p \leq 0.05$) ดังรูปที่ 4.14 เนื่องจากพอลิเมอร์ชีวภาพทั้ง 3 ชนิดมีสมบัติในการเกิดเจลและฟิล์มเมื่อได้รับความร้อน โดยมีอุณหภูมิในการเกิดเจลของ HPMC,

high amylose corn starch และไข่ขาวผง เป็น 60-90 °C , 120-170 °C และ 71-74 °C ตามลำดับ (BeMiller และ Whistler, 1996 และ Etsushiro และ Naofumi, 1997) โดย HPMC และไข่ขาวผงมีสมบัติพิเศษ คือ มีโครงสร้างที่ขอบน้ำสูง (Etsushiro และ Naofumi, 1997) และ high amylose corn starch มี amylose ซึ่งมีโครงสร้างเป็นเส้นตรงในปริมาณสูงจึงช่วยเสริม interaction ของกลูโคสของแป้งในสูตร (BeMiller, 1973) จากสมบัติเหล่านี้ทำให้พอลิเมอร์ชีวภาพทั้ง 3 ชนิดมีประสิทธิภาพในการลดการดูดกลืนน้ำมันได้ แต่ขณะเดียวกันก็ทำให้ผลิตภัณฑ์มีความชื้นเพิ่มขึ้น พบว่าปริมาณไขมันทั้งขึ้นสำหรับสูตรควบคุม สูตรที่มี HPMC, high amylose corn starch และไข่ขาวผง เป็นร้อยละ 18.17, 13.22, 13.81 และ 13.09 โดยน้ำหนักแห้งตามลำดับ จากผลการทดลองจะเห็นว่าไข่ขาวผงมีประสิทธิภาพดีที่สุด โดยทำให้ผลิตภัณฑ์มีความชื้นในชั้นแป้งและในเนื้อปลาสูงที่สุด และลดปริมาณไขมันได้มากที่สุดโดยมีประสิทธิภาพในการลดไขมันทั้งขึ้นลง ร้อยละ 27.96 เมื่อพิจารณาคะแนนการทดสอบทางประสาทสัมผัสด้านการอมไขมัน (รูปที่ 4.15) พอลิเมอร์ชีวภาพทั้ง 3 ชนิดทำให้ผลิตภัณฑ์มีคะแนนคุณภาพด้านนี้สูงขึ้น ($p \leq 0.05$) โดยผู้ทดสอบให้ความเห็นว่าผลิตภัณฑ์ที่ใช้พอลิเมอร์ชีวภาพมีการอมไขมันต่ำกว่าตัวอย่างควบคุมแต่ผู้ทดสอบไม่สามารถบอกความแตกต่างในแต่ละพอลิเมอร์ชีวภาพ เนื่องจากปริมาณไขมันที่ลดลงมีค่าใกล้เคียงกัน (รูปที่ 4.14)

เมื่อพิจารณาสมบัติด้านความแข็งของชั้นแป้งปลาขึ้นรูปชุบแป้งทอด (ตารางที่ 4.17) พบว่าพอลิเมอร์ชีวภาพทั้ง 3 ชนิดที่ระดับดังกล่าวทำให้ผลิตภัณฑ์มีค่าความแข็งของชั้นแป้งลดลง ($p \leq 0.05$) โดยค่าความแข็งสำหรับสูตรควบคุม สูตรที่มี HPMC, high amylose corn starch และไข่ขาวผง เป็น 130.86, 83.12, 74.81 และ 48.97 g ตามลำดับ ซึ่งสัมพันธ์กับปริมาณความชื้นที่เพิ่มขึ้น ดังรูปที่ 4.13 เนื่องจากพอลิเมอร์ชีวภาพทั้ง 3 ชนิดช่วยลดการสูญเสียความชื้นขณะทอดดังรายละเอียดที่กล่าวมาแล้ว โดยไข่ขาวผงที่ระดับดังกล่าวลดการดูดกลืนน้ำมันได้ดีที่สุด แต่ทำให้ผลิตภัณฑ์มีความชื้นเหลืออยู่สูงที่สุดด้วยผลิตภัณฑ์จึงมีค่าความแข็งต่ำที่สุด ซึ่งสอดคล้องกับคะแนนการทดสอบทางประสาทสัมผัสด้านความกรอบ (รูปที่ 4.15) ผู้ทดสอบรู้สึกว่าคุณภาพที่ผสมไข่ขาวผงในแป้งชุบทอดมีความกรอบต่ำ โดยมีคะแนนลดลงจาก 7.11 เป็น 6.41 เมื่อเทียบกับตัวอย่างควบคุม

เมื่อพิจารณาค่าสีของปลาขึ้นรูปชุบแป้งทอดที่วัดด้วยเครื่องวัดสี (ตารางที่ 4.18) พบว่า HPMC ทำให้ผลิตภัณฑ์มีค่าความสว่างเพิ่มขึ้น ค่าสีแดงและสีเหลืองลดลงเล็กน้อยเมื่อเทียบกับตัวอย่างควบคุม อาจเนื่องมาจาก HPMC ทำให้ปฏิกิริยา Maillard เกิดได้ยาก จากการที่ผลิตภัณฑ์มีค่า Aw สูง (Hutchings, 1999) และการที่ผลิตภัณฑ์อมน้ำมันลดลงทำให้ค่าความสว่างเพิ่มขึ้น (Mayers, 1996) ดังรายละเอียดที่กล่าวมาแล้ว ส่วน high amylose corn starch ทำให้ผลิตภัณฑ์มีค่าสีเหลืองลดลงเล็กน้อย อาจเนื่องจากใช้แทนที่แป้งสาลีซึ่งมีปริมาณโปรตีนสูงกว่าแล้วทำให้

อัตราการเกิดปฏิกิริยา Maillard ลดลงเล็กน้อย แต่ความสว่างไม่ลดลงอาจเนื่องจากผลิตภัณฑ์ที่ได้มือน้ำมันลดลง และใช้ขาวผงทำให้ผลิตภัณฑ์มีค่าความสว่างลดลง ค่าสีแดงและสีเหลืองเพิ่มขึ้นเล็กน้อย เนื่องจากใช้ขาวผงทำให้ปฏิกิริยา Maillard เกิดมากขึ้นดังรายละเอียดที่กล่าวมาแล้วในข้อ 5.3.1-5.3.3 เมื่อพิจารณาร่วมกันจึงเห็นได้ว่า HPMC ให้ผลิตภัณฑ์ที่มีค่าความสว่างมากที่สุดหรือผลิตภัณฑ์ที่ได้มีสีอ่อนลง ในขณะที่ใช้ขาวผงให้ค่าสีเหลืองและแดงสูงที่สุดหรือผลิตภัณฑ์ที่ได้มีสีเข้มมากที่สุด อย่างไรก็ตามเมื่อพิจารณาร่วมกับคะแนนการทดสอบทางประสาทสัมผัสด้านสี (รูปที่ 4.15) ผู้ทดสอบเห็นว่าพอลิเมอร์ชีวภาพทั้ง 3 ชนิดให้ผลิตภัณฑ์ที่มีสีไม่แตกต่างกัน อาจเนื่องทั้ง 3 ตัวอย่างแม้สีจะต่างกันบ้างแต่ก็อยู่ในระดับของผลิตภัณฑ์ซุบแป้งทอดที่ดีเหมือนกัน ผู้ทดสอบจึงให้คะแนนในเกณฑ์ใกล้เคียงกัน

เมื่อพิจารณาคะแนนด้านรสชาติ ดังรูปที่ 4.13 พบว่าผลิตภัณฑ์ที่มีส่วนผสมของ HPMC, high amylose corn starch และ ใช้ขาวผงมีรสชาติไม่แตกต่างกัน เนื่องจากพอลิเมอร์ชีวภาพทั้ง 3 ชนิดไม่ทำให้อารมณ์ของแป้งซุบทอดเปลี่ยนแปลงหลังทอด

จากผลการทดลองทั้งหมดสรุปได้ว่าพอลิเมอร์ชีวภาพทั้ง 3 ชนิดมีประสิทธิภาพในการลดการดูดกลืนน้ำมันทั้งในชั้นแป้ง ในเนื้อปลา และรวมทั้งชั้นของผลิตภัณฑ์ปลาชั้นรูปซุบแป้งทอด และสามารถคงคุณภาพของผลิตภัณฑ์ไว้ โดยผลิตภัณฑ์ที่ใช้พอลิเมอร์ชีวภาพทั้ง 3 ชนิด มีคะแนนทางประสาทสัมผัสอยู่ในเกณฑ์ดี เมื่อพิจารณาความคุ้มค่าในการใช้พอลิเมอร์ชีวภาพ โดยพิจารณาประสิทธิภาพในการลดการดูดกลืนน้ำมันและราคาของสารพอลิเมอร์ชีวภาพ พบว่าตัวอย่างควบคุม ผลิตภัณฑ์ที่ใช้ HPMC, high amylose corn starch และ ใช้ขาวผง มีปริมาณไขมันทั้งชั้นร้อยละ 18.17, 13.22, 13.81 และ 13.09 ตามลำดับ แสดงว่าผลิตภัณฑ์ที่มีปริมาณไขมันลดลงร้อยละ 27.24, 24.00 และ 27.96 ตามลำดับ เมื่อเทียบกับผลิตภัณฑ์ที่ไม่ได้ใช้พอลิเมอร์ชีวภาพ และเมื่อพิจารณาดัชนีต้นทุนของพอลิเมอร์ชีวภาพพบว่า HPMC, high amylose corn starch และ ใช้ขาวผง แทนที่แป้งร้อยละ 0.4, 10.0 และ 3.0 โดยน้ำหนักแป้งตามลำดับ มีราคา 116, 5 และ 4 บาทต่อน้ำแป้งดิบ 1 kg ตามลำดับ สรุปได้ว่าใช้ขาวผงที่ระดับดังกล่าวมีประสิทธิภาพในการลดการดูดกลืนน้ำมันดีที่สุดและมีราคาต้นทุนต่ำที่สุดด้วย

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

บทที่ 6

สรุปผลการทดลองและข้อเสนอแนะ

สรุปผลการทดลอง

1. ปลาทรายแดงที่ใช้เป็นวัตถุดิบในการผลิตปลาขึ้นรูปแช่เยือกแข็ง มีคุณภาพความสด อยู่ในเกณฑ์ดี
2. น้ำมันปาล์มโอเลอินที่ใช้มีคุณภาพเริ่มต้น โดยมีความหนืด 52.77cPs (ที่อุณหภูมิ 25 °C) และมีปริมาณกรดไขมันอิสระ ร้อยละ 0.31 (คำนวณในรูป oleic acid) ผลการศึกษา การเปลี่ยนแปลงคุณภาพของน้ำมันปาล์มโอเลอินที่อุณหภูมิ 170 °C ระยะเวลา 120 นาที โดยใช้น้ำมันในการทอดครั้งละ 3.5 ลิตร ทอดปลาขึ้นรูปชุบแป้งทอดที่ชุบด้วยแป้งสุตรควบคุม ทอดนาน 4 นาที 30 วินาที ที่ละชิ้นต่อเนื่องกันทั้งหมด 16 ชิ้น สุ่มตัวอย่างทุกๆ 30 นาที พบว่าค่าความหนืดของน้ำมันที่เพิ่มขึ้นจาก 55.53 เป็น 57.27 cPs และปริมาณกรดไขมันอิสระที่เพิ่มขึ้นจากร้อยละ 0.31 เป็น 0.36 ยังไม่มีผลต่อการดูดกลืนน้ำมันของปลาขึ้นรูปชุบแป้งทอด ในงานวิจัยนี้จึงใช้สภาวะดังกล่าวในการทอดทดลองงานวิจัย
3. ผลของพอลิเมอร์ชีวภาพที่น้ำหนักชุบติดน้ำแป้งดิบเท่ากัน พบว่าระดับการแทนที่แป้งด้วย HPMC, high amylose corn starch และไข่ขาวผงมีผลต่อความหนืดปรากฏของน้ำแป้งดิบ ค่าความชื้น ไขมัน ความแข็งของชั้นแป้ง ค่าสีของผลิตภัณฑ์ และคุณภาพทางประสาทสัมผัส ด้านสี ความกรอบ การอมน้ำมัน และการยอมรับรวม ระดับการแทนที่แป้งที่เหมาะสมของ HPMC, high amylose corn starch และไข่ขาวผง เป็น ร้อยละ 0.4, 10.0 และ 3.0 โดยน้ำหนักแป้ง ตามลำดับ
4. จากการเปรียบเทียบประสิทธิภาพของพอลิเมอร์ชีวภาพ พบว่าพอลิเมอร์ชีวภาพที่เหมาะสมในงานวิจัยนี้ คือ ไข่ขาวผงแทนที่แป้งร้อยละ 3.0 โดยน้ำหนักแป้ง ผลิตภัณฑ์ที่ได้มีคุณภาพทางประสาทสัมผัสอยู่ในเกณฑ์ที่ดีที่สุด ปริมาณไขมันลดลงมากที่สุดคิดเป็นร้อยละ 27.96 และมีราคาต้นทุนของพอลิเมอร์ชีวภาพต่ำที่สุด คือ 4 บาทต่อน้ำแป้งดิบ 1 kg

ข้อเสนอแนะ

1. ควรมีการดัดแปลงใช้พอลิเมอร์ชีวภาพในการลดการดูดกลืนน้ำมันในผลิตภัณฑ์ทอดชนิดอื่นๆ และพัฒนาไปสู่ระดับอุตสาหกรรม
2. ควรมีการศึกษาอายุการเก็บของปลาขึ้นรูปชุบแป้งทอดที่ใช้พอลิเมอร์ชีวภาพ



สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

รายการอ้างอิง

เอกสารภาษาไทย

- กะวิ สารณคณกุล. 2533. การศึกษาชีวประวัติเบื้องต้นบางประการของปลาทรายแดง *Nemipterus delagoae* และ *N. tambuloides*. กลุ่มชีวประวัติสัตว์ทะเล. กรุงเทพมหานคร : ศูนย์พัฒนาประมงทะเลฝั่งอันดามัน กองประมงทะเล กรมประมง กระทรวงเกษตรและสหกรณ์.
- เกศินี รักรวิชัย. 2520. ชีวประวัติบางประการของปลาทรายแดง (*Nemipterus hexodon*). รายงานปลาหน้าดิน. กรุงเทพมหานคร : กองประมงทะเล กรมประมง กระทรวงเกษตรและสหกรณ์.
- นโยบายและแผนสาธารณสุข, สำนักงาน. 2543. สถิติสาธารณสุข ปี พ.ศ. 2543. กรุงเทพมหานคร : กรมการปกครอง กระทรวงมหาดไทย.
- ปริญญากุ สุชะวิสิษฐ์. 2532. รายชื่อปลาทะเลในน่านน้ำอ่าวไทย. กรุงเทพมหานคร : กองประมงทะเล กรมประมง กระทรวงเกษตรและสหกรณ์.
- มาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม, สำนักงาน. 2529. แป้งข้าวโพด 637-2529. กรุงเทพมหานคร : กระทรวงอุตสาหกรรม.
- มาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม, สำนักงาน. 2533. เนื้อปลาบด (ซูริมิ) เยือกแข็ง 935-2533. กรุงเทพมหานคร : กระทรวงอุตสาหกรรม.
- มาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม, สำนักงาน. 2535. น้ำมันปาล์ม 288-2535. กรุงเทพมหานคร : กระทรวงอุตสาหกรรม.
- สถิติและสารสนเทศการประมง, ฝ่าย. 2540. สถิติการประมงแห่งประเทศไทย ปี พ.ศ. 2540. กรุงเทพมหานคร : กองเศรษฐกิจการประมง กรมประมง กระทรวงเกษตรและสหกรณ์.
- อันธิประชา อิศรางกูร และ สุชาติ ปริญญาพันธ์. 2506. การศึกษาเบื้องต้นเกี่ยวกับชีวประวัติของปลาทรายแดง (*Nemipterus hexodon*) ในอ่าวไทย. กรุงเทพมหานคร : กรมประมง กระทรวงเกษตรและสหกรณ์.
- อุดม สุนทรวิภาต, จีราวรรณ แย้มประยูร, ฝ่องเพ็ญ รัตตกุล และเฉลิม พัฒนวิบูล. 2530. ซูริมิ. วารสารการประมง 40 : 70-71.

เอกสารภาษาอังกฤษ

- Alger, M.S.M. 1989. Polymer Science Dictionary. 1st ed. London : Elsevier Science.
- American Heart Association. 1986. Circulation. 74 : 1465.
- Antony, K. P., Gopal, T. K. S., Thankamma, R., and Prabhu, P.V. 1994. Effect of packaging materials on the shelf life of frozen fish fingers. Fishery Tech. 31(2) :148-152.
- AOAC. 1995. Official methods of analysis. 16th ed. Washington D.C. : Association of Official Analytical Chemists.
- Balasubramaniam, V.M., Chinnan, M.S., Mallikarjunan, P., and Phillips, R.D. 1997. The Effect of edible film fried poultry product. J. Food Proc. Eng. 20 : 17-29.
- Bechtel, P.J. 1986. Development and contractile proteins. In P.J. Bechtel (ed.), Muscle as food, pp.2-31. Orlando : Academic Press.
- BeMiller, J.N. 1973. Starch amylose. In R.L. Whistler (ed.), Industrial gums, pp. 545-565. New York : Academic Press.
- BeMiller, J.N., and Whistler, R.L. 1996. Carbohydrates. In O.R. Finnema (ed.), Food chemistry, 3rd ed. pp. 157-225. New York : Marcel Dekker.
- Bennion, M. 1995. Introductory foods. pp. 399-401. New Jersey : Prentice-Hall.
- Blumenthal, M.M. 1991. A new look at the chemistry and physics of deep-fat frying. Food Technol. 45(2): 68-71, 94
- Broughton, T. 1992. Production of battered and breaded fish products from minced fish and surimi. Asean Canada Fisheries Post Harvest Technology Project Phase 2, pp. 1-82. Singapore.
- Burge, R.M. 1996. Functionality of corn in food coating. In K. Kulp, and R. Loewe (eds.), Batters and breadings in food processing, pp. 29-51. Minnesota : American Association of Cereal Chemists.
- Chan, J.K., Gill, T.A., and Paulson, A.T. 1993. Thermal aggregation of myosin subfragment from cod and herring. J. Food Sci. 58 : 1057-1067, 1069.
- Cochran, W.C., and Cox, G.M. 1985. Experimental design. New York : John Wiley & Sons.

- Coffey, D.G., Bell, D.A., and Henderson, A. 1995. Cellulose and cellulose derivatives. In A.M. Stephen (ed.) Food polysaccharides and their applications, pp. 128-134. New York : Marcel Dekker.
- Connell, J.J. 1975. Control of fish quality. London : Fishing News.
- Cybulska, B.E., and Doe, P.E. 1997. Water and food quality. In Z.E. Sikoroski (ed.), Chemical and functional properties of food components. pp. 9-33. Basel : Technomic.
- Damodaran, S. 1996. Amino acids, peptide and proteins. In O.R. Fennema (ed.), Food chemistry, 3 rd ed. pp.321-431. New York : Marcel Dekker.
- Etsushiro, D., and Naofumi, K. 1997. Structure and functionality of egg proteins. In D. Srinivasan (ed.) Food proteins and their application, pp. 325-340. New York : Marcel Dekker.
- Fellows, P.J. 1990. Food processing technology : Principle and practice. West Sussex Ellis Horwood .
- Fishery Technological Development Division. 1981. First year report of fish processing (Thailand) project to IDRC (Canada). Thailand : Fishery Technological Development Division, Department of Fisheries.
- Foegeding, E.A., Allen, C.E., and Dayton, W.R. 1986. Effect of heating rate on thermally formed myosin, fibrinogen and albumin gels. J. Food Sci. 51 : 104-108.
- Gamble, M.H., Rice, P., and Selman, J.D. 1987. Relationship between oil uptake and moisture loss during frying of potato slice from c.v. record U.K. tubers. Int. J. Food Sci. Technol. 22 : 233-241.
- Gill, T.A., Conway, J., and Evroski, J. 1992. Change in fish muscle proteins at high and low temperture. In J. George, and JR. Flick (eds.), Advances in seafood biochemistry composition and quality, pp. 213-321. Pennsylvania Technomic.
- Grover, J.A. 1993. Methylcellulose and its derivatives, In R.L. Whistler and J.N. BeMiller, (eds.), Industrial gums, pp. 475-504. San Diego : Academic Press.
- Hamilton, R.J. 1995. Developments in oils and fats. London : Chapman & Hall.

- Hastings, R.J., and Currall, J.E.P. 1989. Effect of water, oil, egg white and starch on the texture of cod surimi gels by response surface methodology. J. Text. Studies. 19(4) : 431-451.
- Hermansson, A.M. 1978. Physicochemical aspects of soy protein structure formation. J. Text. Studies. 9 : 33-38.
- Holowania, K.I., Chinnan, M.S., Erickson, M.C. and Mallikarjunan. 2000. Quality evaluation of edible film coated chicken strips and frying oils. Int. of Food Tech. 65 : 1087-1090.
- Huse, H.L., Mallikarjunan, P., Chinnan, M.S., Hung, Y.C., and Phillips, R.D. 1998. Edible coatings for reducing oil uptake in production of Akara (deep-fat frying of cowpea paste). J. Food Proc. Pres. 22 : 155-165.
- Hutchings, J.B. 1999. Food color and appearance. Maryland : Aspen Publishers.
- Hutchison, J., Smith, H., and Kulp, K. 1996. Batter and breading process equipment. In K. Kulp and R. Loewe (eds.), Batters and breadings in food processing, pp.163-183. Minnesota : American Association of Cereal Chemists.
- Iso, N., MiZuno, H., Saito, T., Lin, C.Y., Fujit, T., and Nagahisa, E. 1985 a. The effect of additives (egg white and soy protein) on the rheological properties of kamaboko. Bull. Jap. Soc. Sci. Fish. 51 : 485-490.
- Iso, N., MiZuno, H., Saito, T., Lin, C.Y., Fujit, T., Nagahisa, E., and Wang, Z. 1985b. Physical properties of kamaboko made from Nami-surimi and Otoshimi. Bull. Jap. Soc. Sci. Fish. 51 : 1495-1499.
- Kamel, B.S., and Stauffer, C.E. 1993. Advances in baking technology. London : Blackie Academic & Professional.
- Kaster, J.J., and Fennema, O.R. 1986. Edible films and coatings : A review. Food Technol. 40(12) : 47-59.
- Kim, J.M., and Lee, C.M. 1987. Effect of starch on textural properties of surimi gel. J. Food Sci. 52 : 722-725.
- Lanier, T.C., Lin, T.S., Liu, Y.M., and Hamann, D.D. 1982. Heat gelation properties of actomyosin and surimi prepared from Atlantic croaker. J. Food Sci. 47 : 1921-1924.

- Lawson, H.W. 1985. Standards for fats and oils. pp. 133-177. Westport Connecticut : AVI.
- Lee, C. M. 1984. Surimi process technology. Food Technol. 38(1) : 69-78.
- Lin, C. S., and Zayas, J.F. 1987. Microstructure comparisons of meat emulsions prepared with corn protein emulsified and unemulsified fat. J. Food Sci. 52(1) : 267-270.
- Loewe, R. 1996. Ingredient selection for batter systems. In K. Kulp and R. Loewe (eds.), Batters and breadings in food processing. pp. 11-29. Minnesota : American Association of Cereal Chemists.
- Makinson, J.H., Greenfield, H., Wong, M.L., and Wills, R.B.H. 1987. Fat uptake during deep-fat frying of coated and uncoated foods. J. Food Comp. Anal. 1 : 93-101.
- Martinez, I. 1989. Water retention properties and solubility of the myofibrillar proteins : Interrelationships and possible value as indicators of the gel strength in cod surimi by a multivariate data analysis. J. Sci Food Agric. 48 : 469-479.
- Mayers, M.A. 1996. Functionality of hydrocolloids in batter coating system. In K. Kulp and R. Loewe (eds.), Batters and breadings in food processing. pp. 117-143. Minnesota : American Association of Cereal Chemists.
- Meilgard, M., Coville, V.G., and Carr, B.T. 1987. Sensory evaluation techniques. Florida : CRC Press.
- MFRD. (Marine Fisheries Research Development). 1987. Laboratory manual on analytical methods and procedure for fish and fish product. Singapore : Southeast Asian Fisheries Development Center.
- Mohamed, S., Hamid, N.A., and Hamid, M.A. 1998. Food components affecting the oil absorption and crispness of fried batter. J. Sci. Food Agric. 78 : 39-45.
- Mohamed, S., Lajis, S.M., and Hamid, N.A. 1995. Effect of protein from different sources on the characteristics of sponge cake, rice cakes doughnuts and frying batters. J. Sci. Food Agric. 68 : 271-277.
- Moreira, R.G., Perez, M.E.C., and Barrufet, M.A. 1999. Deep-fat frying. Gaiyhersburg : Aspen.

- Nissin, O. 1986. MSTAT. (computer program). Michigan State University : Department of Crop and Soil Science.
- Niwa, E. 1985. Functional aspects of surimi. In R.E. Martin and R.L. Collette (eds.), Engineered seafood including surimi, pp. 136-144. Washington : Seattle.
- Noguchi, S.F. 1982. Science of frozen surimi. In Practical Technical Handbook for Kneaded Seafoods. pp. 40-62. Tokyo : Nippon Shokuhin Keizai-sha.
- Nowsad, A.A., Kanoh, S., and Niwa, E. 1993. Effect of amine salt on the elasticity of suwari gel from alaska pollock. Nippon Suisan Gakkaishi. 59 : 1017-1021.
- Ojima, T., Yoshikawa, S., and Nishita, K. 1997. Isolation and characterization of myosin from walleye pollock surimi. Fisheries- Science. 63(5) : 811-815.
- Olewnilk, M., and Kulp, K. 1996. Factor affecting performance characteristics of wheat flour in batters. In K. Kulp and R. Loewe (eds.), Batters and breadings in food processing, pp. 93-117. Minnesota : American Association of Cereal Chemist.
- Paul, S., and Mittal, G.S. 1997. Regulating the use of degraded oil/ fat in deep-fat oil frying. Crit. Rev. Food Sci. Nutr. 37(7) : 635-662.
- Pinthus, E.J., Weinberg, P., and Saguy, I.S. 1993. Criterion for oil uptake during deep-fat frying. J. Food Sci. 58(1) : 204-205,222.
- Pinthus, E.J., Weinberg, P., and Saguy, I.S.1995a. Oil uptake during deep-fat frying : Factors and mechanism. Food Technol. 49(4) : 142-145.
- Pinthus, E.J., Weinberg, P., and Saguy, I.S.1995b. Deep fat fried potato product oil uptake as affected by crust physical properties. J. Food Sci. 60 : 770-772.
- Pinthus, E.J., and Saguy, I.S. 1994. Initial interfacial tension and oil uptake by deep-fat fried foods. J. Food Sci. 59(4) : 804-806.
- Rapaille, A., and Vanhemelrijck, J. 1992. Modified starches. In A. Imeson (ed.), Thickening and gelling agents for food, pp. 199-227. London : Blackie Academic & Professional.
- Saguy, I.S., and Pinthus, E.J. 1995. Oil uptake during deep fat frying : Factors and mechanism. Food Technol. 49(4) : 142-145.
- Saunders, K.J. 1988. Organic polymer chemistry. London : Chapman & Hall.

- Shih, F., and Daigle, K. 1999. Oil uptake properties of fried batters from rice flour. J. Agric. Food Chem. 47 : 1611-1615.
- Shimizu, Y., Toyohara, H., and Lanier, I.C. 1992. Surimi production from fatty and dark fleshed fish species. In T.C. Lanier, and C.M. Lee (eds.), Surimi technology, pp.181-207. New york : Marcel Dekker.
- Suderman, D.R., and Cunningham, F.E. 1983. Batters and breadings. Westport, Connecticut : AVI.
- Tseng, Y.C., Moreira, R., and Sun, X. 1996. Total frying-use time effect on soybean oil deterioration and on tortilla chip quality. Int. J. of Food Sci and Tech. 31 : 287-294.
- Uchiyama, H. 1978. Analytical method for estimating freshness of fish. Thailand : Training Department Southeast Asia Fisheries Development Center.
- U.S. Department of Agriculture. 1997. Agricultural statistics. National Agricultural Statistics Service. Washington, D.C. : Government Printing Office.
- White, P.J. 1991. Methods for measuring changes in deep-fat frying oils. Food Technol. 42 : 75-80.
- Whistler, R., and Daniel, J.R. 1990. Functions of polysaccharides in foods. In A.L. Branen, P.M. Davidson, and S. Sainan (eds.), Food Additives, pp. 395-423. New York : Marcel Dekker.
- Yasui, T., Ishioroshi, M., and Samejima, K. 1980. Heat-induced gelation of myosin in the presence of actin. J. Food Biochem. 4 : 61-78.
- Zecher, D., and Gerrish, T. 1992. Cellulose derivatives. In A. Imeson (ed.), Thickening and gelling agents for food, pp. 60-65. London : Blackie Academic & Professional.



ภาคผนวก

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ภาคผนวก ก

วิธีวิเคราะห์และวิธีคำนวณ

ก.1 การวิเคราะห์ปริมาณความชื้น

ตามวิธี AOAC (1995)

อุปกรณ์

ตู้อบลมร้อน

วิธีทดลอง

1. อบภาชนะ (dish) ที่อุณหภูมิ 105 °C จนกระทั่งน้ำหนักคงที่ ทิ้งให้เย็นใน desiccator
2. ชั่งน้ำหนักตัวอย่างประมาณ 2 g ที่ทราบน้ำหนักที่แน่นอนใส่ภาชนะ
3. นำตัวอย่างเข้าอบในตู้อบ ที่อุณหภูมิ 105 °C จนน้ำหนักคงที่
4. ทำให้เย็นใน desiccator แล้วชั่งน้ำหนัก

การคำนวณ

$$\text{ความชื้น (ร้อยละ)} = \frac{[\text{น้ำหนักก่อนอบแห้ง (g)} - \text{น้ำหนักหลังอบแห้ง (g)}]}{\text{น้ำหนักก่อนอบแห้ง (g)}} \times 100$$

ก.2 วิเคราะห์ปริมาณโปรตีน

ตามวิธี AOAC (1995)

อุปกรณ์

ชุดวิเคราะห์ปริมาณโปรตีน

สารเคมี

1. สารละลายกรด sulfuric เข้มข้น
2. สารละลายกรด sulfuric ความเข้มข้น 0.1 N
3. สารละลาย sodium hydroxide ความเข้มข้นร้อยละ 50 โดยปริมาตร
4. สารละลายกรด boric ความเข้มข้นร้อยละ 4 โดยปริมาตร
5. Catalyst (ส่วนผสมของ potassium sulphate 1.8 g และ copper sulphate 0.32 g)
6. Indicator (methyl red ร้อยละ 0.016 และ methylene blue ร้อยละ 0.083 ใน ethanol)

วิธีทดลอง

1. ชั่งตัวอย่าง 2 g ใส่ลงในขวดย่อย
2. เติม catalyst
3. เติมสารละลายกรด sulfuric เข้มข้น 30 ml
4. ย่อยตัวอย่างด้วยเครื่อง Kjeldatherm จนกระทั่งได้สารละลายสีเหลืองอ่อน กลับตัวอย่างที่ย่อยได้ด้วยเครื่อง Vapodest I โดยใช้สารละลาย สารละลาย sodium hydroxide เป็นตัวทำปฏิกิริยา และเก็บสารที่กลั่นได้ในสารละลายกรด boric ซึ่งเติม methyl red – methylene blue เพื่อใช้เป็น indicator 2-3 หยด ไตไตรทสารละลายที่กลั่นได้ด้วยสารละลายกรด sulfuric ความเข้มข้น 0.1 N

การคำนวณ

$$\text{ปริมาณโปรตีน (ร้อยละ)} = A \times B \times 6.25 \times 1.4$$

A = ความเข้มข้นของกรด sulfuric ที่ใช้ไตไตรท

B = ปริมาตรกรด sulfuric ที่ใช้ไตไตรท (ml)

C = น้ำหนักตัวอย่างที่ใช้ (g)

ก.3 การวิเคราะห์ปริมาณโปรตีนที่ละลายในเกลือ

ตามวิธี MFRD (1987)

อุปกรณ์

1. เครื่องกวนผสมแบบแม่เหล็ก
2. เครื่องหมุนเหวี่ยงแยกสารละลายแบบควบคุมอุณหภูมิต่ำ
3. ชุดวิเคราะห์ปริมาณโปรตีน

สารเคมี

1. สารละลาย phosphate buffer เตรียมโดย ผสมสารละลาย potassium di-hydrogen phosphate ความเข้มข้น 0.03 M กับ di-sodium hydrogen phosphate ความเข้มข้น 0.03 M ในอัตราส่วน 1:1 แล้วปรับ pH เป็น 6.85
2. สารละลาย potassium chloride phosphate buffer ความเข้มข้น 0.6 M
3. สารละลายกรด sulfuric เข้มข้น
4. สารละลาย sodium hydroxide ความเข้มข้นร้อยละ 50 โดยปริมาตร
5. สารละลายกรด boric ความเข้มข้นร้อยละ 4 โดยปริมาตร

7. Catalyst (ส่วนผสมของ potassium sulphate 1.8 g และ copper sulphate 0.32 g)

วิธีทดลอง

1. ชั่งตัวอย่าง 10 g เติมสารละลาย potassium chloride phosphate buffer จำนวน 200 ml ผสมให้เข้ากันด้วยเครื่องกวนผสมแบบแม่เหล็ก เป็นเวลา 4 นาที
2. ตั้งทิ้งไว้ให้เย็นในน้ำแข็งเป็นเวลา 2 ชั่วโมง
3. หมุนเหวี่ยงเพื่อแยกสารละลายด้วยเครื่องหมุนเหวี่ยงแบบควบคุมอุณหภูมิอัตโนมัติ ความเร็ว 9000 rpm เป็นเวลา 20 นาที ควบคุมอุณหภูมิให้อยู่ระหว่าง 0 - 5 °C
4. นำส่วนใสจำนวน 20 ml ไปวิเคราะห์ปริมาณโปรตีน ตามวิธีที่แสดงไว้ในภาคผนวก ก.2

การคำนวณ

$$\text{ปริมาณโปรตีนที่ละลายในเกลือ (mgN/100g)} = \frac{AXBX14X100}{C}$$

C

A = ความเข้มข้นของกรด sulfuric ที่ใช้ไตเตรท

B = ปริมาตรกรด sulfuric ที่ใช้ไตเตรท (ml)

C = น้ำหนักของปลา (g) x [20/ (น้ำหนักของปลา (g) + 200)]

ก.4 การวิเคราะห์ปริมาณไขมัน

ตามวิธี AOAC (1995)

อุปกรณ์

ชุดวิเคราะห์ปริมาณไขมัน

สารเคมี

Petroleum ether

วิธีทดลอง

1. ชั่งตัวอย่างแห้ง 2 g แล้วห่อด้วยกระดาษกรอง Whatman No.1
2. ใส่ห่อตัวอย่างใน thimble ชุดสกัดไขมัน
3. ต่อบนชุดสกัดที่แห้งและทราบน้ำหนักที่แน่นอนกับชุดวิเคราะห์
4. เติม petroleum ether ซึ่งใช้เป็นตัวสกัด 250 ml ลงในชุดวิเคราะห์ไขมันผ่าน thimble ลงมา
5. สกัดไขมันเป็นเวลา 4 ชั่วโมง ควบคุมอุณหภูมิโดย ปรับระดับเตาให้ความร้อนที่ระดับ 2

6. ระเหย petroleum ether ออกจากขวดไขมันที่สกัดได้ แล้วอบขวดที่ 105 °C เป็นเวลา 1 ชั่วโมงหรือจนน้ำหนักคงที่
7. ทำให้เย็นใน dessiccator แล้วชั่งน้ำหนักขวดสกัด

การคำนวณ

$$\text{ไขมัน (ร้อยละ)} = \frac{\text{ปริมาณไขมันที่สกัดได้ (g)}}{\text{น้ำหนักตัวอย่างแห้ง (g)}} \times 100$$

ก.5 การวิเคราะห์เถ้า

ตามวิธี AOAC (1995)

อุปกรณ์

เตาเผา

วิธีทดลอง

1. ชั่งตัวอย่าง 5 g ใส่ใน crucible ที่แห้งสนิทและทราบน้ำหนักที่แน่นอน แล้วนำตัวอย่างไปเผาจนตัวอย่างไม่มีควัน
2. นำตัวอย่างไปเผาต่อใน muffle furnace ที่ 550 °C เป็นเวลา 3 ชั่วโมง หรือจนกระทั่งได้เถ้าที่มีสีขาว
3. ทำให้เย็นใน dessiccator แล้วชั่งน้ำหนัก

การคำนวณ

$$\text{ปริมาณเถ้า (ร้อยละ)} = \frac{\text{ปริมาณเถ้า (g)}}{\text{น้ำหนักตัวอย่าง (g)}} \times 100$$

ก.6 ปริมาณค่าที่ระเหยได้ทั้งหมด (TVB)

ตามวิธีของ MFRD (1987)

อุปกรณ์

1. จานคอนเวย์
2. ตู้บ่มเลี้ยงเชื้อ

สารเคมี

1. สารละลายกรด trichloroacetic ความเข้มข้นร้อยละ 4 โดยปริมาตร
2. สารละลาย potassium carbonate อิมิตัว โดยละลาย potassium carbonate 112 g ในน้ำกลั่น 100 ml

3. สารละลายกรด boric ความเข้มข้นร้อยละ 1 โดยปริมาตร ผสม indicator โดยละลายสารละลายกรด boric 10 g ใน ethyl alcohol 200 ml ผสมกับ indicator (bromocresol green ร้อยละ 0.1 และ methyl red ร้อยละ 0.2 ใน ethanol) 10 ml ปรับปริมาตรด้วยน้ำกลั่นจนครบ 1 ลิตร
4. สารละลาย sulfuric ความเข้มข้น 0.02 N

การเตรียมตัวอย่าง

ชั่งตัวอย่าง 2 g เติมสารละลาย trichloroacetic 8 ml ผสมให้เข้ากันตั้งทิ้งไว้และคนเป็นครั้งคราวเป็นเวลา 30 นาที แล้วกรองผ่านกระดาษกรองเบอร์ 1 นำส่วนใสที่กรองได้ไปวิเคราะห์

วิธีทดลอง

1. ปิเปตสารละลายกรด boric 1 ml ใส่ในจานระเหยแบบคอนเวย์ชั้นใน
2. ปิเปตสารละลายตัวอย่าง 1 ml ใส่ในจานระเหยแบบคอนเวย์ชั้นนอก
3. ปิเปตสารละลาย potassium carbonate อิมิตัว 1 ml ใส่ในจานระเหยแบบคอนเวย์ชั้นนอก รีบปิดฝาคอนเวย์ให้สนิททิ้งไว้ 1 ชั่วโมง ที่อุณหภูมิ 37 °C
4. ไตเตรทชั้นในของจานระเหยแบบคอนเวย์ด้วยกรด sulfuric ความเข้มข้น 0.02 N จนสีเขียวเริ่มหายไป

การคำนวณ

$$\text{TVB (mg/100g)} = \frac{A \times B \times 14 \times [(C \times M/100) + V]}{C} \times 100$$

A = ความเข้มข้นของกรด sulphuric ที่ใช้ไตเตรท

B = ปริมาตรของกรด sulphuric ที่ใช้ไตเตรท (ml)

C = น้ำหนักตัวอย่างที่ใช้ (g)

M = ปริมาณความชื้นในตัวอย่าง (ร้อยละ)

V = ปริมาตรของกรด trichloroacetic ที่ใช้ในการสกัด (ml)

ก.7 การคำนวณน้ำหนักชุกติดเปียก

ตามวิธีของ Hutchison, Smith และ Kulp (1996)

อุปกรณ์ เครื่องชั่งน้ำหนักทศนิยม 3 ตำแหน่ง

การเตรียมตัวอย่าง เลือกตัวอย่างปลาที่ขึ้นรูปแช่เยือกแข็งที่มีขนาดใกล้เคียงกันประมาณ 4 X 1.8 X 0.9 cm หนักประมาณ 9.2-9.5 g

วิธีทดลอง

1. ชั่งน้ำปลาที่ขึ้นรูปแช่เยือกแข็งก่อนชুব
2. ใสปากคีบจับตามแนวยาวชুবในน้ำแบ่งดิบ 15 วินาที ดึงขึ้นมาพักหลังชুবตามเวลาที่กำหนด
3. ชั่งน้ำหนักหลังชুব

การคำนวณ

$$\text{น้ำหนักชুবติดเปียก (ร้อยละโดยน้ำหนัก)} = \frac{\text{น้ำหนักหลังชুব (g)} - \text{น้ำหนักก่อนชুব (g)}}{\text{น้ำหนักหลังชুব (g)}} \times 100$$

ก.8 การวิเคราะห์ปริมาณกรดไขมันอิสระ

ตามวิธี AOAC (1995)

อุปกรณ์

อ่างควบคุมอุณหภูมิ

สารเคมี

1. ethanol
2. สารละลาย phenolphthalein ความเข้มข้นร้อยละ 1 โดยปริมาตร
3. สารละลาย sodium hydroxide ความเข้มข้น 0.1 N

วิธีทดลอง

1. ใส ethanol 50 ml
2. หยดน้ำมันลงไป 2 หยด
3. ใสสารละลาย phenolphthalein 2 ml
4. เอา flask แช่ในน้ำที่ควบคุมอุณหภูมิในช่วง 60-65 °C ประมาณ 10 นาที
5. เติมสารละลาย sodium hydroxide ในปริมาณเพียงพอจนเป็นสีชมพูอ่อนอย่างถาวร เรียกว่า neutralized alcohol
6. ชั่งน้ำหนักน้ำมัน 56.4 g ใสใน flask ที่มี neutralized alcohol
7. ไตรเทอร์ตอลผสมในข้อ 6 ด้วยสารละลาย sodium hydroxide ความเข้มข้น 0.1 N ระหว่างนั้นจะให้ความร้อนโดยใช้อ่างควบคุมอุณหภูมิเป็นครั้งคราวและเขย่าแรงๆจนเกิดสีชมพูบน supernate alcohol จุดปริมาตรของสารละลาย sodium hydroxide ที่ใช้ไตรเทอร์ต

การคำนวณ

$$\begin{aligned} \text{กรดไขมันอิสระ (ร้อยละ)} &= \text{CVP/M} \\ \text{และ acid value (mg/100g น้ำมัน)} &= \text{กรดไขมันอิสระ (ร้อยละ)} \times 1.99 \end{aligned}$$

V = ปริมาตรของ sodium hydroxide ที่ใช้ไตเตรท (ml)

C = g/mole ของ oleic acid เท่ากับ 28.2

P = ความเข้มข้นของ sodium hydroxide ที่ใช้ไตเตรท (N)

M = น้ำหนักของน้ำมัน (g)



สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ภาคผนวก ข

วิธีการใช้เครื่องมือ

ข.1 การวัดความหนืดด้วยเครื่อง Brookfield Viscometer รุ่น RVT

อุปกรณ์ Brookfield Viscometer

วิธีใช้เครื่อง

1. ใส่ตัวอย่างลงในบีกเกอร์ขนาด 500 ml ติด spindle เข้ากับแกนของเครื่องวัด จุ่มลงในตัวอย่างโดยให้ร่องของ spindle อยู่ในระดับเดียวกับผิวหน้าของตัวอย่าง
2. เลือกชนิดของ spindle ปรับระดับความเร็วรอบให้มีค่า 50 rpm
3. เปิด switch ให้ spindle หมุนเป็นเวลา 15 วินาที แล้วอ่านค่าตัวเลขบนหน้าปัทม์

ข.2 การวัดความหนืดด้วยเครื่อง Brookfield Viscometer รุ่น DV-II version 3.2

อุปกรณ์ Brookfield Viscometer

วิธีใช้เครื่อง

1. แยกส่วนของ sample cup ออกจาก adjusting ring โดยผลักอุปกรณ์หมายเลข 3 เพื่อเอาฟองน้ำใน sample ออกก่อน
2. เปิด switch เครื่องหมายเลข 2 หลังจากนั้นหน้าจอที่ viscometer จะขึ้นคำว่า
Replace spindle
Press any key
3. ใส่หัววัดที่ต้องการ เบอร์ CC 48 ต่อส่วนของ sample cup และ adjusting ring โดยระวังอย่าให้ส่วนของ sample cup กระแทกกับหัววัดแล้วผลักแกนยึดด้วย
4. เลือกชนิดของหัววัดที่ใช้ในเครื่องให้ตรงกับหัววัดที่ใช้

การ calibrate เครื่อง

1. กด motor on/off
2. กด set speed เป็น 20 rpm
3. ค่อยๆหมุน adjusting ring ในทิศตามเข็มนาฬิกาที่ละตำแหน่งแล้วรอประมาณ

15 วินาที แล้วจึงหมุนต่อเมื่อได้ค่า % torque อยู่ระหว่าง 0.5-1 แล้วค่อยหมุน adjustmenting ring ย้อนกลับคืน 1 ตำแหน่ง

การวัดความหนืด

1. กด motor on/off ก่อนใส่ตัวอย่าง
2. ใส่ตัวอย่างที่วัดใน sample cup
3. กด set speed เป็น 20 rpm
4. กด motor on เครื่องจะทำงาน
5. จับเวลา 15 วินาที กด select display

ข.3 วัดเนื้อสัมผัส

อุปกรณ์ Texturometer (TA-XT2I)

วิธีใช้เครื่อง

1. เปิดเครื่อง เข้าไปที่ Texture expert
2. calibrate force และติดหัว P/0.25S เข้ากับ adaptor และ ตัวเครื่อง และติดเข้าที่ฐาน
3. เลือก TA setting ตั้งค่าต่างๆ ดังนี้
 - pre-speed 1.0 mm/s
 - speed 1.0 mm/s
 - post-speed 1.0 mm/s
4. สร้างสูตร เพื่อใช้ในการคำนวณหาค่าต่างๆที่ต้องการวัด โดยไปที่ fine เลือก macro define window
5. วัดค่าโดยนำตัวอย่างวางบนแท่น เลือก TA run a test
6. คลิกเมาท์ด้านขวามือ แล้วเลือก select all
7. กดเลือกสูตรด้านบนหน้าจอ จากนั้น computer จะคำนวณค่าออกมาตามสูตร

ข.4 วัดสี

อุปกรณ์ เครื่องวัดสี (Minolta, CR 300)

วิธีใช้เครื่อง

1. เลื่อนสวิตช์ POWER ON พร้อมกับกดปุ่ม ALL DATA CLEAR
2. กดปุ่ม INDEX SET
3. เลือกแหล่งแสง C หรือ D แล้วกดปุ่ม ENTER
4. กดปุ่ม CALIBRATE เพื่อป้อนค่า Y,x,y ตามแหล่งแสงที่เลือกไว้ในข้อ3
5. นำหัววัดวางบนแผ่น CALIBRATE
6. กดปุ่ม COLOR SPACE SELECT เพื่อเลือกระบบสีที่ต้องการ เช่น L, a*, b* เป็นต้น
7. วัดตัวอย่างโดยกดปุ่ม MEASURE
8. ถ้าต้องการวิเคราะห์ทางสถิติ กดปุ่ม STAT เครื่องจะแสดงค่า Max, Min, Mean และ SD

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ภาคผนวก ค

การฝึกฝนและคัดเลือกผู้ทดสอบทางประสาทสัมผัส

วิธีการดัดแปลงจากวิธีของ Meilgaard, Civille และ Carr (1987) ตามขั้นตอนดังนี้

1. การคัดเลือก

คัดเลือกผู้ทดสอบที่คุ้นเคยกับผลิตภัณฑ์ปลาขึ้นรูปชุบแป้งทอด โดยผู้ทดสอบต้องไม่มีโรคประจำตัวที่มีผลต่อการทดสอบทางประสาทสัมผัสและมีเวลาว่างตลอดการฝึกฝน จำนวน 20 คน

2. การฝึกฝน

- 2.1 สร้างความคุ้นเคยกับผลิตภัณฑ์โดยการระดมความคิดและการประชุมกลุ่มเพื่อสร้างความเข้าใจที่ตรงกันเกี่ยวกับผลิตภัณฑ์ที่ทดสอบ
- 2.2 แปรลักษณะด้านความกรอบและสี ประเมินคุณภาพโดยแบบทดสอบชนิด Triangle test จำนวน 15 ครั้ง คัดเลือกผู้ทดสอบที่อธิบายลักษณะได้ถูกต้องมากที่สุดจำนวน 9 คน เป็นผู้ทดสอบตลอดการทดลอง

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ภาคผนวก ง

แบบทดสอบการประเมินทางประสาทสัมผัส
TRIANGLE TEST

ง.1 แบบทดสอบการประเมินทางประสาทสัมผัสที่ใช้ฝึกฝนผู้ทดสอบ

ชื่อ..... วันที่.....

คำแนะนำ ผลิตรสชาติปลาชั้นรูปชูบแบ่งทอด 3 ตัวอย่าง สองในสามตัวอย่างมีเนื้อสัมผัสด้านความกรอบเหมือนกัน อีกหนึ่งตัวอย่างแตกต่างออกไป ชิมตัวอย่างตามลำดับที่ให้แล้วเลือกว่าตัวอย่างไหนที่มีเนื้อสัมผัสที่แตกต่างจากอีกสองตัวอย่าง

รหัสตัวอย่าง	ตัวอย่างที่แตกต่าง
.....
.....
.....

ชื่อเสนอแนะ.....
.....

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ง.2 แบบทดสอบการประเมินทางประสาทสัมผัสของผลิตภัณฑ์ปลาขึ้นรูปชุบแป้งทอด

SCORING TEST DESCRIPTIVE ANALYSIS

ชื่อ..... วันที่.....

คำแนะนำ ตัวอย่างที่ท่านกำลังทดสอบในครั้งนี้คือปลาขึ้นรูปชุบแป้งทอด โปรดอาศัยความสามารถด้านประสาทสัมผัสของท่าน ในการอธิบายความแตกต่างของคุณภาพด้านต่างๆ ของผลิตภัณฑ์โดยการให้คะแนนของแต่ละลักษณะต่างๆ ดังต่อไปนี้

คุณภาพด้าน	รายละเอียด	รหัสตัวอย่าง				
	
1.สี	มีสีผิดปกติ เข้มมากหรืออ่อนเกินไป (1-4) มีสีอยู่ในระดับพอดีเหมาะกับผลิตภัณฑ์ทอด (5-9)					
2.ความกรอบ	ความกรอบน้อยเกินไป(1-4) ความกรอบอยู่ในระดับพอดี (5-9)					
3.การอมน้ำมัน	อมน้ำมันมากจนยอมรับไม่ได้ (1-4) อมน้ำมันน้อยมีรสชาติดีของผลิตภัณฑ์ชุบแป้งทอด (5-9)					
4.รสชาติ	มีรสชาติแปลกปลอม (1-4) ไม่มีรสชาติแปลกปลอม และมีรสชาติดีของผลิตภัณฑ์ (5-9)					
5.การยอมรับรวม	ไม่ชอบมากที่สุดถึงไม่ชอบเล็กน้อย (1-4) เฉยๆถึงชอบมากที่สุด (5-9)					

ข้อเสนอแนะ.....

.....

ภาคผนวก จ

การวิเคราะห์ความแปรปรวน

ตารางที่ จ.1 การวิเคราะห์ความแปรปรวนของความหนืดของน้ำมันปาล์มโอเลอินที่เวลาทอด 0, 30, 60, 90 และ 120 นาที

SOV	df	MS
เวลาทอด	4	7.57 *
error	10	1.67

* แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$)

ตารางที่ จ.2 การวิเคราะห์ความแปรปรวนของปริมาณกรดไขมันอิสระที่เกิดขึ้นในน้ำมันทอดที่เวลาทอด 0, 30, 60, 90 และ 120 นาที

SOV	df	MS
เวลาทอด	4	0.00101 *
error	10	0.00007

* แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$)

ตารางที่ ๑.3 ปริมาณไขมันของปลาชั้นรูปชุปแป้งทอดทั้งชิ้นที่เวลาทอด 0, 30, 60, 90 และ 120 นาที

ระยะเวลา (นาที)	ปริมาณไขมันทั้งชิ้น ^{ns} (ร้อยละ)
0	19.14 ± 0.57
30	19.23 ± 1.09
60	18.61 ± 0.48
90	19.20 ± 0.84
120	19.47 ± 0.58

ns ไม่มีนัยสำคัญ ($p > 0.05$)

ตารางที่ ๑.4 การวิเคราะห์ความแปรปรวนของปริมาณไขมันของปลาชั้นรูปชุปแป้งทอดทั้งชิ้นที่เวลาทอด 0, 30, 60, 90 และ 120 นาที

SOV	df	MS
เวลาทอด	4	0.32 *
error	10	0.63

* แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$)

ตารางที่ ๑.5 การวิเคราะห์ความแปรปรวนของความหนืดปรากฏของน้ำแป้งดิบที่แทนที่แป้งด้วย HPMC ร้อยละ 0, 0.2, 0.4, 0.6 และ 0.8 โดยน้ำหนักแป้ง

SOV	df	MS
ปริมาณ HPMC	4	17186822.40 *
error	10	64059.73

* แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$)

ตารางที่ ๑.6 น้ำหนักซุบติดน้ำแป้งดิบของปลาขึ้นรูปซุบแป้งทอดสูตรที่แทนที่แป้งด้วย HPMC ร้อยละ 0, 0.2, 0.4, 0.6 และ 0.8 โดยน้ำหนักแป้ง โดยซุบปลาขึ้นรูปแช่เยือกแข็งเป็นเวลา 15 วินาที แล้วตั้งขึ้นมาพักหลังซุบเป็นเวลา 2, 4, 6, 10 และ 17 วินาที ตามลำดับ

ระดับการแทนที่ ร้อยละโดยน้ำหนักแป้ง	เวลาในการพักน้ำแป้งดิบ (วินาที)	น้ำหนักซุบติดเปียก ^{ns} (ร้อยละ)
0	2	37.38 ± 0.98
0.2	4	36.92 ± 2.10
0.4	6	36.90 ± 10.51
0.6	10	36.11 ± 0.76
0.8	17	37.01 ± 0.46

ns ไม่มีนัยสำคัญ ($p > 0.05$)

ตารางที่ ๑.7 การวิเคราะห์ความแปรปรวนของน้ำหนักชุปติดน้ำแป้งดิบของปลาช่อนรูปชุปแป้งทอดสูตรที่แทนที่แป้งด้วย HPMC ร้อยละ 0, 0.2, 0.4, 0.6 และ 0.8 โดยน้ำหนักแป้งตามลำดับ โดยชุปปลาช่อนรูปแซ่เยือกแข็งเป็นเวลา 15 วินาทีแล้วตั้งขึ้นมาพักหลังชุปเป็นเวลา 2, 4, 6, 10 และ 17 วินาที ตามลำดับ

SOV	df	MS
ปริมาณ HPMC	4	0.65
error	10	1.29

ตารางที่ ๑.8 ปริมาณความชื้นของชั้นแป้งและเนื้อในปลาช่อนรูปชุปแป้งทอดที่แทนที่แป้งด้วย HPMC ร้อยละ 0, 0.2, 0.4, 0.6 และ 0.8 โดยน้ำหนักแป้ง

ระดับการแทนที่ (ร้อยละโดยน้ำหนักแป้ง)	ค่าเฉลี่ย (ร้อยละ)	
	ความชื้นที่ชั้นแป้ง	ความชื้นเนื้อใน
0	31.06 ^c ± 0.78	69.86 ^c ± 0.70
0.2	33.79 ^b ± 0.38	71.80 ^b ± 0.49
0.4	34.10 ^b ± 0.87	73.31 ^{ab} ± 1.25
0.6	36.51 ^a ± 0.88	72.55 ^{ab} ± 0.77
0.8	37.19 ^a ± 0.98	73.38 ^a ± 0.55

a, b, c ตัวเลขที่มีอักษรกำกับจากแถวตั้งเดียวกัน แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$)

ตารางที่ ๑.9 การวิเคราะห์ความแปรปรวนของปริมาณความชื้นของชั้นแป้งและเนื้อในปลาชั้นรูปชุปแป้งทอดที่แทนที่แป้งด้วย HPMC ร้อยละ 0, 0.2, 0.4, 0.6 และ 0.8 โดยน้ำหนักแป้ง

SOV	df	MS	
		ชั้นแป้ง	เนื้อใน
ปริมาณ HPMC	4	17.79 *	6.29 *
error	10	0.65	0.64

* แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$)

ตารางที่ ๑.10 ปริมาณไขมันของชั้นแป้ง เนื้อใน และรวมทั้งชั้นของปลาชั้นรูปชุปแป้งทอดที่แทนที่แป้งด้วย HPMC ร้อยละ 0, 0.2, 0.4, 0.6 และ 0.8 โดยน้ำหนักแป้ง

ระดับการแทนที่ (ร้อยละโดยน้ำหนักแป้ง)	ค่าเฉลี่ย (ร้อยละ)		
	ไขมันชั้นแป้ง	ไขมันเนื้อใน	ไขมันทั้งชิ้น
0	27.72 ^a ± 1.16	6.72 ^a ± 0.40	18.95 ^a ± 0.92
0.2	22.28 ^b ± 0.18	5.89 ^b ± 0.49	15.41 ^b ± 0.33
0.4	20.87 ^c ± 0.84	4.48 ^c ± 0.12	14.02 ^c ± 0.45
0.6	19.98 ^c ± 0.20	4.06 ^{cd} ± 0.31	13.16 ^c ± 0.18
0.8	14.23 ^d ± 0.70	3.77 ^d ± 0.18	9.97 ^d ± 0.48

a, b, c, ... ตัวเลขที่มีอักษรกำกับจากแถวตั้งเดียวกัน แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$)

ตารางที่ ๑.11 การวิเคราะห์ความแปรปรวนของปริมาณไขมันของชั้นแป้ง เนื้อใน และรวมทั้ง ชั้นของปลาชั้นรูปชุปแป้งทอดที่แทนที่แป้งด้วย HPMC ร้อยละ 0, 0.2, 0.4, 0.6 และ 0.8 โดยน้ำหนักแป้ง

SOV	df	MS		
		ชั้นแป้ง	เนื้อใน	ทั้งชั้น
ปริมาณ HPMC	4	70.26 *	4.81 *	32.23 *
error	10	0.52	0.11	0.28

* แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$)

ตารางที่ ๑.12 การวิเคราะห์ความแปรปรวนของค่าความแข็งของชั้นแป้งปลาชั้นรูปชุปแป้งทอด ที่แทนที่แป้งด้วย HPMC ร้อยละ 0, 0.2, 0.4, 0.6 และ 0.8 โดยน้ำหนักแป้ง

SOV	df	MS
ปริมาณ HPMC	4	3707.76 *
error	10	28.74

* แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$)

ตารางที่ ๑.13 การวิเคราะห์ความแปรปรวนของค่าสีของปลาชั้นรูปชุปแป้งทอดที่แทนที่แป้งด้วย HPMC ร้อยละ 0, 0.2, 0.4, 0.6 และ 0.8 โดยน้ำหนักแป้ง ตามลำดับ

SOV	df	MS		
		L	a*	b*
ปริมาณ HPMC	4	4.52 *	21.43 *	11.80 *
error	10	0.19	2.84	6.82

* แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$)

ตารางที่ ๑.14 คะแนนการประเมินคุณภาพทางประสาทสัมผัสของปลาชั้นรูปซุบแบ่งทอดที่แทนที่แป้งด้วย HPMC ร้อยละ 0, 0.2, 0.4, 0.6 และ 0.8 โดยน้ำหนักแป้ง

ระดับการแทนที่ (ร้อยละโดยน้ำหนัก)	คะแนนเฉลี่ย				
	สี	ความกรอบ	การอมน้ำมัน	รสชาติ ^{ns}	การยอมรับรวม
0	7.30 ^a ± 0.35	7.19 ^a ± 0.29	6.52 ^d ± 0.38	7.55 ± 0.33	6.74 ^a ± 0.52
0.2	7.11 ^a ± 0.33	7.30 ^a ± 0.56	7.44 ^c ± 0.29	7.40 ± 0.28	6.96 ^a ± 0.63
0.4	7.04 ^a ± 0.35	7.22 ^a ± 0.44	7.59 ^{bc} ± 0.36	7.59 ± 0.27	7.04 ^a ± 0.56
0.6	5.81 ^b ± 0.53	4.81 ^b ± 0.41	7.85 ^{ab} ± 0.34	7.48 ± 0.34	4.82 ^b ± 0.47
0.8	5.36 ^c ± 0.45	4.52 ^b ± 0.37	8.15 ^a ± 0.24	7.44 ± 0.17	4.52 ^b ± 0.55

a, b, c,.... ตัวเลขที่มีอักษรกำกับจากแถวตั้งเดียวกัน แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$)

ns ไม่มีนัยสำคัญ ($p > 0.05$)

ตารางที่ ๑.15 การวิเคราะห์ความแปรปรวนของคะแนนการทดสอบคุณภาพทางประสาทสัมผัสของปลาชั้นรูปซุบแบ่งทอดที่แทนที่แป้งด้วย HPMC ร้อยละ 0, 0.2, 0.4, 0.6 และ 0.8 โดยน้ำหนักแป้ง

SOV	df	MS				
		สี	ความกรอบ	การอมน้ำมัน	รสชาติ	การยอมรับรวม
ปริมาณ HPMC	4	6.847*	17.929*	3.416*	0.054	13.627*
panelist	8	0.114	0.136	0.139	0.051	0.223
error	32	0.183	0.194	0.098	0.089	0.319

*แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$)

ตารางที่ ๑.16 การวิเคราะห์ความแปรปรวนของความหนืดปรากฏของน้ำแป้งดิบที่แทนที่แป้งด้วย high amylose corn starch ร้อยละ 0, 5, 10, 15 และ 20 โดยน้ำหนักแป้ง

SOV	df	MS
ปริมาณ high amylose corn starch	4	293903.33 *
error	10	2256.00

* แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$)

ตารางที่ ๑.17 น้ำหนักชुบติดน้ำแป้งดิบของปลาขึ้นรูปชुบแป้งทอดสูตรที่แทนที่แป้งด้วย high amylose corn starch ร้อยละ 0,5 ,10, 15 และ 20 โดยน้ำหนักแป้ง โดยชुบปลาขึ้นรูปแช่เยือกแข็งเป็นเวลา 15 วินาที แล้วตั้งขึ้นมาพักหลังชुบเป็นเวลา 2, 1, 1 และ 1 วินาที ตามลำดับ

ระดับการแทนที่ ร้อยละโดยน้ำหนัก	เวลาในการพักน้ำแป้งดิบ (วินาที)	น้ำหนักชुบติดเปียก ^{ns} (ร้อยละ)
0	2	37.63 ± 0.62
5	2	36.07 ± 0.83
10	1	36.22 ± 1.14
15	1	36.07 ± 1.52
20	1	36.93 ± 1.37

ns ไม่มีนัยสำคัญ ($p > 0.05$)

ตารางที่ ๑.18 การวิเคราะห์ความแปรปรวนของน้ำหนักชुบติดน้ำแป้งดิบของปลาช้้นรูปชุบแป้งทอดสูตรที่แทนที่แป้งด้วย high amylose corn starch ร้อยละ 0, 5, 10, 15 และ 20 โดยน้ำหนักแป้ง โดยชุบปลาช้้นรูปแช่เยือกแข็งเป็นเวลา 15 วินาที แล้วตั้งขึ้นมาพักหลังชุบเป็นเวลา 2, 2, 1, 1 และ 1 วินาที ตามลำดับ

SOV	df	MS
ปริมาณ high amylose corn starch	4	1.61
error	10	1.31

ตารางที่ 4.19 ปริมาณความชื้นของชั้นแป้งและเนื้อในปลาช้้นรูปชุบแป้งทอดที่แทนที่แป้งด้วย high amylose corn starch ร้อยละ 0, 5, 10, 15 และ 20 โดยน้ำหนักแป้ง

ระดับการแทนที่ (ร้อยละโดยน้ำหนักแป้ง)	เฉลี่ย (ร้อยละ)	
	ความชื้นชั้นแป้ง	ความชื้นเนื้อใน
0	30.44 ^c ± 0.50	69.39 ^d ± 0.60
5	33.89 ^b ± 0.71	73.45 ^b ± 0.82
10	35.63 ^a ± 0.33	74.92 ^a ± 0.41
15	34.91 ^{ab} ± 0.65	73.79 ^{ab} ± 0.29
20	33.47 ^b ± 1.51	72.18 ^c ± 1.02

a, b, c,... ตัวเลขที่มีอักษรกำกับจากแถวตั้งเดียวกัน แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$)

ตารางที่ จ.20 การวิเคราะห์ความแปรปรวนของปริมาณความชื้นของชั้นแป้งและเนื้อในปลา ขึ้นรูปชุบแป้งทอดที่แทนที่แป้งด้วย high amylose corn starch ร้อยละ 0, 5, 10, 15 และ 20 โดยน้ำหนักแป้ง

SOV	df	MS	
		ชั้นแป้ง	เนื้อใน
ปริมาณ high amylose corn starch	4	11.92 *	13.42 *
error	10	0.71	0.46

* แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$)

ตารางที่ จ.21 ปริมาณไขมันของชั้นแป้ง เนื้อใน และรวมทั้งชั้นของปลาขึ้นรูปชุบแป้งทอดที่แทนที่ แป้งด้วย high amylose corn starch ร้อยละ 0, 5, 10, 15 และ 20 โดยน้ำหนักแป้ง

ระดับการแทนที่ (ร้อยละโดยน้ำหนักแป้ง)	เฉลี่ย (ร้อยละ)		
	ไขมันชั้นแป้ง	ไขมันเนื้อใน	ไขมันทั้งชิ้น
0	28.36 ^a ± 0.67	6.61 ^a ± 0.45	19.19 ^a ± 0.45
5	24.72 ^b ± 1.16	4.75 ^c ± 0.46	15.94 ^{bc} ± 0.76
10	21.76 ^c ± 1.36	3.96 ^d ± 0.08	14.32 ^d ± 0.49
15	23.27 ^{bc} ± 0.41	4.20 ^{cd} ± 0.13	14.98 ^{cd} ± 0.47
20	24.43 ^b ± 0.80	6.03 ^b ± 0.09	16.63 ^b ± 0.52

a, b, c, ... ตัวเลขที่มีอักษรกำกับจากแถวตั้งเดียวกัน แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$)

ตารางที่ จ.22 การวิเคราะห์ความแปรปรวนของปริมาณไขมันของชั้นแป้ง เนื้อใน และรวมทั้ง ชั้นของปลาชั้นรูปชุปแป้งทอดที่แทนที่แป้งด้วย high amylose corn starch ร้อยละ 0, 5, 10, 15 และ 20 โดยน้ำหนักแป้ง

SOV	df	MS		
		ชั้นแป้ง	เนื้อใน	ทั้งชิ้น
ปริมาณ high amylose corn starch	4	18.05 *	4.03 *	36.92 *
error	10	1.36	0.09	1.72

* แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$)

ตารางที่ จ.23 การวิเคราะห์ความแปรปรวนของค่าความแข็งของชั้นแป้งปลาชั้นรูปชุปแป้งทอดที่แทนที่แป้งด้วย high amylose corn starch ร้อยละ 0, 5, 10, 15 และ 20 โดยน้ำหนักแป้ง

SOV	df	MS
ปริมาณ high amylose corn starch	4	687054.69 *
error	10	13653.41

* แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$)

ตารางที่ จ.24 การวิเคราะห์ความแปรปรวนของค่าสีของปลาขึ้นรูปชุบแป้งทอดที่แทนที่แป้งด้วย high amylose corn starch ร้อยละ 0, 5, 10, 15 และ 20 โดยน้ำหนักแป้ง

SOV	df	MS		
		L	a*	b*
ปริมาณ high amylose corn starch	4	0.52	0.35	0.41
error	10	1.40	0.86	1.59

ตารางที่ จ.25 คะแนนการประเมินคุณภาพทางประสาทสัมผัสของปลาขึ้นรูปชุบแป้งทอดที่แทนที่แป้งด้วย high amylose corn starch ร้อยละ 0, 5, 10, 15 และ 20 โดยน้ำหนักแป้ง

ระดับการแทนที่ (ร้อยละโดยน้ำหนักแป้ง)	คะแนนเฉลี่ย				
	สี ^{ns}	ความกรอบ	การอมน้ำมัน	รสชาติ ^{ns}	การยอมรับรวม
0	7.29 ± 0.26	7.11 ^b ± 0.33	6.67 ^b ± 0.29	7.70 ± 0.48	6.77 ^b ± 0.29
5	7.33 ± 0.69	7.33 ^b ± 0.37	7.44 ^a ± 0.24	7.92 ± 0.62	6.81 ^b ± 0.41
10	7.26 ± 0.55	7.18 ^b ± 0.34	7.63 ^a ± 0.31	7.85 ± 0.55	6.77 ^b ± 0.41
15	7.59 ± 0.52	7.48 ^b ± 0.34	7.52 ^a ± 0.29	7.71 ± 0.59	6.96 ^{ab} ± 0.42
20	7.25 ± 0.28	8.33 ^a ± 0.78	7.37 ^a ± 0.31	7.96 ± 0.78	7.25 ^a ± 0.36

a, b ตัวเลขที่มีอักษรกำกับจากแถวตั้งเดียวกัน แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$)

ns ไม่มีนัยสำคัญ ($p > 0.05$)

ตารางที่ ๑.26 การวิเคราะห์ความแปรปรวนของคะแนนการทดสอบคุณภาพทางประสาทสัมผัสของปลาขึ้นรูปชุบแป้งทอดที่แทนที่แป้งด้วย high amylose corn starch ร้อยละ 0, 5, 10, 15 และ 20 โดยน้ำหนักแป้ง

SOV	df	MS				
		สี	ความกรอบ	การอมน้ำมัน	รสชาติ	การยอมรับรวม
ปริมาณ high amylose corn starch	4	0.164	2.188 *	2.662 *	0.133	0.324 *
panelist	8	0.216	0.233	0.101	0.138	0.178
error	32	0.240	0.213	0.054	0.466	0.147

* แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$)

ตารางที่ ๑.27 การวิเคราะห์ความแปรปรวนของความหนืดปรากฏของน้ำแป้งดิบที่แทนที่แป้งด้วยไข่ขาวผง ร้อยละ 0, 1.5, 3.0, 4.5 และ 6.0 โดยน้ำหนักแป้ง

SOV	df	MS
ปริมาณไข่ขาวผง	4	47939.43*
error	10	1660.27

* แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$)

ตารางที่ ๑.28 น้ำหนักชुบติดน้ำแป้งดิบของปลาชั้นรูปชูบแป้งทอดสูตรที่แทนที่แป้งด้วยไข่ขาวผง ร้อยละ 0, 1.5, 3.0, 4.5 และ 6.0 โดยน้ำหนักแป้ง โดยชูบปลาชั้นรูปแช่เยือกแข็งเป็นเวลา 15 วินาที แล้วตั้งขึ้นมาพักหลังชูบเป็นเวลา 2, 2, 1.5, 1.5 และ 1.5 วินาที ตามลำดับ

ระดับการแทนที่ (ร้อยละโดยน้ำหนักแป้ง)	เวลาในการพักน้ำแป้งดิบ (วินาที)	น้ำหนักชูบติดเปียก ^{ns} (ร้อยละ)
0	2	36.94 ± 0.64
1.5	2	36.79 ± 1.34
3.0	1.5	37.36 ± 0.63
4.5	1.5	36.49 ± 1.79
6.0	1.5	36.37 ± 1.07

ns ไม่มีนัยสำคัญ ($p > 0.05$)

ตารางที่ ๑.29 การวิเคราะห์ความแปรปรวนของน้ำหนักชูบติดน้ำแป้งดิบของปลาชั้นรูปชูบแป้งทอดสูตรที่แทนที่แป้งด้วยไข่ขาวผง ร้อยละ 0, 1.5, 3.0, 4.5 และ 6.0 โดยน้ำหนักแป้ง โดยชูบปลาชั้นรูปแช่เยือกแข็งเป็นเวลา 15 วินาที แล้วตั้งขึ้นมาพักหลังชูบเป็นเวลา 2, 2, 1.5, 1.5 และ 1.5 วินาที ตามลำดับ

SOV	df	MS
ปริมาณไข่ขาวผง	4	0.46
error	10	1.39

ตารางที่ ๑.30 ปริมาณความชื้นของชั้นแป้งและเนื้อในปลาชั้นรูปซุบแป้งทอดที่แทนที่แป้งด้วย
ไข่ขาวผงร้อยละ 0, 1.5, 3.0, 4.5 และ 6.0 โดยน้ำหนักแป้ง

ระดับการแทนที่ (ร้อยละโดยน้ำหนักแป้ง)	ค่าเฉลี่ย (ร้อยละ)	
	ความชื้นชั้นแป้ง	ความชื้นเนื้อใน
0	30.76 ^b ± 0.22	69.92 ^b ± 0.36
1.5	35.80 ^a ± 1.19	73.81 ^a ± 0.99
3.0	36.49 ^a ± 0.63	74.78 ^a ± 0.35
4.5	37.13 ^a ± 0.99	74.69 ^a ± 0.55
6.0	37.36 ^a ± 0.77	75.09 ^a ± 1.07

a, b ตัวเลขที่มีอักษรกำกับจากแถวตั้งเดียวกัน แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$)

ตารางที่ ๑.31 การวิเคราะห์ความแปรปรวนของปริมาณความชื้นของชั้นแป้งและเนื้อในปลา
ชั้นรูปซุบแป้งทอดที่แทนที่แป้งด้วย ไข่ขาวผง ร้อยละ 0, 1.5, 3.0, 4.5 และ
6.0 โดยน้ำหนักแป้ง

SOV	df	MS	
		ชั้นแป้ง	เนื้อใน
ปริมาณไข่ขาวผง	4	22.19*	13.77*
error	10	0.69	0.54

* แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$)

ตารางที่ จ.32 ปริมาณไขมันของชั้นแป้ง เนื้อใน และรวมทั้งชั้นของปลาชั้นรูปชุปแป้งทอดที่แทนที่แป้งด้วยไข่ขาวผง ร้อยละ 0, 1.5, 3.0, 4.5 และ 6.0 โดยน้ำหนักแป้ง

ระดับการแทนที่ (ร้อยละโดยน้ำหนักแป้ง)	เฉลี่ย (ร้อยละ)		
	ไขมันชั้นแป้ง	ไขมันเนื้อใน	ไขมันทั้งชั้น
0	27.97 ^a ± 0.88	6.55 ^a ± 0.38	18.92 ^a ± 0.71
1.5	23.29 ^b ± 0.18	5.82 ^b ± 0.27	16.04 ^b ± 0.31
3.0	20.64 ^c ± 0.84	3.12 ^c ± 0.31	13.37 ^c ± 0.49
4.5	20.62 ^c ± 0.20	2.69 ^{cd} ± 0.30	13.04 ^c ± 0.95
6.0	20.22 ^c ± 0.70	2.24 ^d ± 0.28	12.47 ^c ± 0.52

a, b, c...ตัวเลขที่มีอักษรกำกับจากแถวตั้งเดียวกัน แตกต่างกันมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$)

ตารางที่ จ.33 การวิเคราะห์ความแปรปรวนของปริมาณไขมันของชั้นแป้ง เนื้อใน และรวมทั้งชั้นของปลาชั้นรูปชุปแป้งทอดที่แทนที่แป้งด้วยไข่ขาวผง ร้อยละ 0, 1.5, 3.0, 4.5 และ 6.0 โดยน้ำหนักแป้ง

SOV	df	MS		
		ชั้นแป้ง	เนื้อใน	ทั้งชั้น
ปริมาณไข่ขาวผง	4	32.03*	11.52*	21.86*
error	10	0.48	0.10	0.36

* แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$)

ตารางที่ จ.34 การวิเคราะห์ความแปรปรวนของค่าความแข็งของชั้นแป้งปลาชั้นรูปชุปแป้งทอดที่แทนที่แป้งด้วยไข่ขาวผง ร้อยละ 0, 1.5, 3.0, 4.5 และ 6.0 โดยน้ำหนักแป้ง

SOV	df	MS
ปริมาณไข่ขาวผง	4	3934.90*
error	10	11.94

* แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$)

ตารางที่ จ.35 การวิเคราะห์ความแปรปรวนของค่าสีของปลาชั้นรูปชุปแป้งทอดที่แทนที่แป้งด้วยไข่ขาวผง ร้อยละ 0, 1.5, 3.0, 4.5 และ 6.0 โดยน้ำหนักแป้ง

SOV	df	MS		
		L	a*	b*
ปริมาณไข่ขาวผง	4	2.58*	0.87*	14.43*
error	10	0.45	0.19	0.81

* แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$)

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ ๑.36 คะแนนการประเมินคุณภาพทางประสาทสัมผัสของปลาชิ้นรูปแบ่งทอดที่แทนที่
แบ่งด้วยไขขาวผง ร้อยละ 0, 1.5, 3.0, 4.5 และ 6.0 โดยน้ำหนักแบ่ง

ระดับการแทนที่ (ร้อยละโดยน้ำหนักแบ่ง)	คะแนนเฉลี่ย				
	สี	ความกรอบ	การอมน้ำมัน	รสชาติ ^{ns}	การยอมรับรวม
0	7.18 ^a ± 0.44	7.07 ^a ± 0.46	6.63 ^c ± 0.31	7.77 ± 0.62	6.74 ^a ± 0.27
1.5	7.33 ^a ± 0.33	6.29 ^b ± 0.48	7.33 ^b ± 0.29	7.63 ± 0.56	6.59 ^a ± 0.62
3.0	7.48 ^a ± 0.50	6.11 ^b ± 0.52	7.70 ^a ± 0.26	7.48 ± 0.62	6.70 ^a ± 0.45
4.5	7.18 ^a ± 0.41	6.37 ^b ± 0.42	7.85 ^a ± 0.18	7.55 ± 0.60	6.48 ^a ± 0.47
6.0	4.44 ^b ± 0.33	6.18 ^b ± 0.50	7.96 ^a ± 0.20	7.44 ± 0.64	4.33 ^b ± 0.57

a, b, c ตัวเลขที่มีอักษรกำกับจากแถวตั้งเดียวกัน แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$)

ns ไม่มีนัยสำคัญ ($p > 0.05$)

ตารางที่ ๑.37 การวิเคราะห์ความแปรปรวนของคะแนนการทดสอบคุณภาพทางประสาทสัมผัส
ของปลาชิ้นรูปชุบแบ่งทอดที่แทนที่แบ่งด้วยไขขาวผง ร้อยละ 0, 1.5, 3.0, 4.5
และ 6.0 โดยน้ำหนักแบ่ง

SOV	df	MS				
		สี	ความกรอบ	การอมน้ำมัน	รสชาติ	การยอมรับรวม
ปริมาณไขขาวผง	4	14.773*	1.542*	1.305*	0.371	9.591*
panelist	8	0.279	0.236	0.119	0.614	0.223
error	32	0.140	0.194	0.074	0.359	0.223

* แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$)

ตารางที่ ๑.38 การวิเคราะห์ความแปรปรวนของความหนืดปรากฏของน้ำแป้งดิบสูตรควบคุม และสูตรที่แทนที่แป้งด้วย HPMC, high amylose corn starch และไซขาวผง ร้อยละ 0.4, 10.0 และ 3.0 โดยน้ำหนักแป้ง ตามลำดับ

SOV	df	MS
พอลิเมอร์ที่แทนที่แป้ง	3	4805037.89*
error	8	12699.92

* แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$)

ตารางที่ ๑.39 ปริมาณความชื้นชั้นแป้งและเนื้อในปลาขึ้นรูปชุบแป้งทอดที่ชุบด้วยแป้งสูตร ควบคุมและสูตรที่แทนที่แป้งด้วย HPMC, high amylose corn starch และไซขาวผง ร้อยละ 0.4, 10.0 และ 3.0 โดยน้ำหนักแป้ง ตามลำดับ

ตัวอย่าง	เฉลี่ย (ร้อยละ)	
	ความชื้นชั้นแป้ง	ความชื้นเนื้อใน
สูตรควบคุม	31.13 ^b ± 0.66	69.27 ^c ± 0.33
HPMC	36.18 ^a ± 0.59	73.27 ^b ± 0.39
high amylose corn starch	36.29 ^a ± 0.64	74.22 ^a ± 0.55
ไซขาวผง	37.22 ^a ± 0.25	74.90 ^a ± 0.43

a, b, c ตัวเลขที่มีอักษรกำกับจากแถวตั้งเดียวกัน แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$)

ตารางที่ ๑.40 การวิเคราะห์ความแปรปรวนของปริมาณความชื้นของชั้นแป้งและเนื้อในปลา ขึ้นรูปชุบแป้งทอดที่ชุบด้วยแป้งสูตรควบคุมและสูตรที่แทนที่แป้งด้วย HPMC, high amylose corn starch และ ไซ้ขาวผง ร้อยละ 0.4, 10.0 และ 3.0 โดยน้ำหนักแป้ง ตามลำดับ

SOV	df	MS	
		ชั้นแป้ง	เนื้อใน
พอลิเมอร์ชีวภาพที่ใช้	3	22.77*	13.09*
error	8	0.31	0.19

* แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$)

ตารางที่ ๑.41 ปริมาณไขมันชั้นแป้ง เนื้อใน และรวมทั้งชั้นของปลาขึ้นรูปชุบแป้งทอดที่ชุบด้วย แป้งสูตรควบคุมและสูตรที่แทนที่แป้งด้วย HPMC, high amylose corn starch และ ไซ้ขาวผง ร้อยละ 0.4, 10.0 และ 3.0 โดยน้ำหนักแป้ง ตามลำดับ

ตัวอย่าง	เฉลี่ย (ร้อยละ)		
	ไขมันชั้นแป้ง	ไขมันเนื้อใน	ไขมันทั้งชิ้น
สูตรควบคุม	27.16 ^a ± 0.40	6.37 ^a ± 0.38	18.17 ^a ± 0.17
HPMC	20.05 ^c ± 0.30	4.46 ^b ± 0.23	13.22 ^{bc} ± 0.14
high amylose corn starch	21.71 ^b ± 0.31	3.95 ^c ± 0.10	13.81 ^b ± 0.30
ไซ้ขาวผง	20.55 ^c ± 0.38	2.73 ^d ± 0.23	13.09 ^c ± 0.56

a, b, c,... ตัวเลขที่มีอักษรกำกับจากแถวแนวตั้งเดียวกัน แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$)

ตารางที่ ๑.42 การวิเคราะห์ความแปรปรวนของปริมาณไขมันของชั้นแป้ง เนื้อใน และรวมทั้งชั้นของปลาชั้นรูปชุปแป้งทอดที่ชุบด้วยแป้งสุตรควบคุม และสูตรที่แทนที่แป้งด้วย HPMC, high amylose corn starch และไข่ขาวผง ร้อยละ 0.4, 10.0 และ 3.0 โดยน้ำหนักแป้ง ตามลำดับ

SOV	df	MS		
		ชั้นแป้ง	เนื้อใน	ทั้งชั้น
พอลิเมอร์ชีวภาพที่ใช้	3	32.04*	6.86*	66.73*
error	8	0.12	0.07	0.08

* แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$)

ตารางที่ ๑.43 การวิเคราะห์ความแปรปรวนของค่าความแข็งของชั้นแป้งปลาชั้นรูปชุปแป้งทอดที่ชุบด้วยแป้งสุตรควบคุมและสูตรที่แทนที่แป้งด้วย HPMC, high amylose corn starch และไข่ขาวผง ร้อยละ 0.4, 10.0 และ 3.0 โดยน้ำหนักแป้ง ตามลำดับ

SOV	df	MS
พอลิเมอร์ชีวภาพที่ใช้	3	3507.28*
error	8	9.90

* แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$)

ตารางที่ ๑.44 การวิเคราะห์ความแปรปรวนของค่าสีของปลาขึ้นรูปชุบแป้งทอดที่ชุบด้วยแป้ง
สูตรควบคุมและสูตรที่แทนที่แป้งด้วย HPMC, high amylose corn starch
และ ไซไซขาวผง ร้อยละ 0.4, 10.0 และ 3.0 โดยน้ำหนักแป้ง ตามลำดับ

SOV	df	MS		
		L	a*	b*
พอลิเมอร์ชีวภาพที่ใช้	3	3.75*	1.52*	15.03*
error	8	1.83	0.11	1.69

* แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$)

ตารางที่ ๑.45 คะแนนการประเมินคุณภาพทางประสาทสัมผัสของปลาขึ้นรูปแป้งทอดที่ชุบด้วย
แป้งสูตรควบคุมและสูตรที่แทนที่แป้งด้วย HPMC, high amylose corn starch
และไซไซขาวผง ร้อยละ 0.4, 10.0 และ 3.0 โดยน้ำหนักแป้ง ตามลำดับ

ตัวอย่าง	คะแนนเฉลี่ย				
	สี ^{ns}	ความกรอบ	การร่อนน้ำมัน	รสชาติ ^{ns}	การยอมรับรวม ^{ns}
สูตรควบคุม	7.30 ± 0.35	7.11 ^a ± 0.29	6.59 ^b ± 0.36	7.37 ± 0.35	6.82 ± 0.34
HPMC	7.00 ± 0.26	7.26 ^a ± 0.28	7.81 ^a ± 0.38	7.48 ± 0.18	7.00 ± 0.41
high amylose corn starch	7.15 ± 0.34	7.18 ^a ± 0.34	7.93 ^a ± 0.32	7.41 ± 0.32	6.85 ± 0.41
ไซไซขาวผง	7.11 ± 0.37	6.41 ^b ± 0.36	7.78 ^a ± 0.29	7.56 ± 0.29	6.67 ± 0.29

a, b ตัวเลขที่มีอักษรกำกับจากแถวแนวตั้งเดียวกัน แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$)
ns ไม่มีนัยสำคัญ ($p > 0.05$)

ตารางที่ ๑.46 การวิเคราะห์ความแปรปรวนของคะแนนการทดสอบคุณภาพทางประสาทสัมผัสของปลาขึ้นรูปชุบแป้งทอดที่ชุบด้วยแป้งสูตรควบคุมและสูตรที่แทนที่แป้งด้วย HPMC, high amylose corn starch และ ไข่ขาวผง ร้อยละ 0.4, 10.0 และ 3.0 โดยน้ำหนักแป้ง ตามลำดับ

SOV	df	MS				
		สี	ความกรอบ	การอมน้ำมัน	รสชาติ	การยอมรับรวม
พอลิเมอร์ชีวภาพที่ใช้	3	0.135	1.321*	3.534*	0.061	0.169
panelist	8	0.132	0.076	0.285*	0.195	0.104
error	24	0.100	0.100	0.050	0.058	0.125

* แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$)

ภาคผนวก จ



รูปที่ จ.1 ปลาสีน้ำตาลแข็ง

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ภาคผนวก ซ



รูปที่ ซ.1 กระทั่งไฟฟ้ากัณฑ์ระบบดิจิทัล

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ประวัติผู้เขียนวิทยานิพนธ์

นางสาวสุภาววรรณ ตรงธรรมกิจ เกิดวันที่ 8 เมษายน 2516 ที่จังหวัดพระนครศรีอยุธยา ได้รับปริญญาวิทยาศาสตรบัณฑิต สาขาเทคโนโลยีอุตสาหกรรมเกษตร คณะวิทยาศาสตร์ประยุกต์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ เมื่อปีการศึกษา 2538 และเริ่มศึกษาต่อปริญญาโท สาขาวิชาเทคโนโลยีทางอาหาร คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัยในปี พ.ศ. 2541



สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย