



การผลิตขนมขบเคี้ยวเสริมผงแคลเซียมจากกระดูกปลาแซลมอน

โดยกระบวนการเอ็กซ์ทรูชัน

PRODUCTION OF SUPPLEMENT CALCIUM SNACK FROM SALMON
FISHBONE POWDER BY EXTRUSION PROCESS



คณะผู้วิจัย

นางสาวลลิตา ปานแก้ว

นางสาวภาพิมล ประจงพันธ์

นางสาวรังสิตา จันทร์หอม

โครงการวิจัยทุนสนับสนุนงานวิจัยของมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลกรุงเทพ

งบประมาณเงินรายได้ ปี พ.ศ. 2564

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลกรุงเทพ

การผลิตขนมขบเคี้ยวเสริมผงแคลเซียมจากกระดูกปลาแซลมอน
โดยกระบวนการเอ็กซ์ทรูชัน



คณะผู้วิจัย

นางสาวลลิตา ปานแก้ว
นางสาวภาพิมล ประจงพันธ์
นางสาวรังสิตา จันทรหอม

โครงการวิจัยทุนสนับสนุนงานวิจัยของมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลกรุงเทพ

งบประมาณเงินรายได้ ปี พ.ศ. 2564

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลกรุงเทพ

กิตติกรรมประกาศ

การศึกษาวิจัยครั้งนี้สำเร็จลุล่วงไปด้วยดีเนื่องจากได้รับความกรุณาอย่างยิ่งจากคณบดีและบุคลากร เจ้าหน้าที่ฝ่ายอาคารและสถานที่ คณะเทคโนโลยีคหกรรมศาสตร์ ที่ได้ให้ความช่วยเหลือและให้ข้อมูลที่เป็นประโยชน์ในการทำวิจัยเรื่องนี้จนกระทั่งวิจัยสำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดี ขอขอบพระคุณเป็นอย่างสูงมา ณ โอกาสนี้

ขอขอบคุณสถาบันวิจัยและพัฒนา และกองคลัง มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลกรุงเทพ สำหรับความช่วยเหลือและอำนวยความสะดวกในด้านต่าง ๆ ตลอดระยะเวลาในการทำวิจัย ขอขอบพระคุณทุนอุดหนุนการวิจัยจากงบประมาณผลประโยชน์ (งบประมาณเงินรายได้) มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลกรุงเทพ ประจำปีงบประมาณ พ.ศ. 2565 ทำให้ผู้วิจัยได้ศึกษาค้นคว้าวิจัยครั้งนี้จนสำเร็จลุล่วงไปด้วยดี

สุดท้ายนี้คณะผู้วิจัยขอกราบขอบพระคุณบิดาและมารดาที่ให้การสนับสนุนและให้กำลังใจตั้งแต่เริ่มการศึกษานจนกระทั่งการทำวิจัยสำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดี

คณะผู้วิจัย



ชื่อเรื่อง การผลิตขนมขบเคี้ยวเสริมผงแคลเซียมจากกระดูกปลาแซลมอนโดยกระบวนการ
เอ็กซ์ทรูชัน

ชื่อนักวิจัย นางสาวลลิตา ปานแก้ว
นางสาวภาพิมล ประจงพันธ์
นางสาวรังสิตา จันทร์หอม

ปีงบประมาณ 2564

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มีแนวคิดในการนำเศษเหลือจากการแปรรูปปลาแซลมอนมาเป็นส่วนประกอบในการผลิตขนมขบเคี้ยว เพื่อเพิ่มความหลากหลายของผลิตภัณฑ์ที่ดีต่อสุขภาพ และเป็นการลดปริมาณเศษเหลือทิ้งจากอาหารได้อีกด้วย โดยมีวัตถุประสงค์ของงานวิจัยนี้คือศึกษาองค์ประกอบทางเคมีของผงกระดูกปลาแซลมอน และศึกษาองค์ประกอบทางเคมี คุณลักษณะทางเคมีและกายภาพ และทางประสาทสัมผัสของขนมขบเคี้ยวที่เสริมผงกระดูกปลาแซลมอน จากการศึกษาพบว่าผงกระดูกปลาแซลมอน 100 กรัม มีปริมาณความชื้นร้อยละ 1.58 พลังงานทั้งหมดเท่ากับ 371.08 กิโลแคลอรี ไขมันร้อยละ 28.64 โปรตีนร้อยละ 26.75 คาร์โบไฮเดรตร้อยละ 1.58 ไยอาหาร 8.5 กรัม แคลเซียม 16,684 มิลลิกรัม เถ้าร้อยละ 41.45 และโซเดียม 241.99 มิลลิกรัม และเมื่อนำไปเสริมลงในสูตรขนมขบเคี้ยวสูตรมาตรฐานร้อยละ 10 20 และ 30 พบว่าสูตรที่เติมผงกระดูกปลาแซลมอนร้อยละ 10 มีคะแนนประเมินคุณลักษณะทางประสาทสัมผัสจากผู้ทดสอบจำนวน 50 คนสูงที่สุดในทุกด้านและมีความแตกต่างกับสูตรอื่นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) โดยประกอบไปด้วยแป้งข้าวโพดบดหยาบร้อยละ 57.69 แป้งข้าวเจ้าร้อยละ 34.61 น้ำตาลทรายร้อยละ 3.85 น้ำมันพืชร้อยละ 2.89 แคลเซียมคาร์บอเนตร้อยละ 0.96 และผงกระดูกปลาแซลมอนร้อยละ 10 ผลการศึกษาคุณลักษณะทางเคมีและกายภาพพบว่าค่าความเป็นกรด-ด่าง (pH) เท่ากับ 6.67 ± 0.01 ปริมาณน้ำอิสระ (a_w) เท่ากับ 0.48 ค่าสี L^* เท่ากับ 82.51 ± 0.60 ค่า a^* 2.90 ± 0.61 และ b^* เท่ากับ 31.03 ± 1.48 คุณลักษณะเนื้อสัมผัสค่าความแข็งเท่ากับ 1484 ± 20.51 g force และค่าความกรอบเท่ากับ 1395 ± 2.83 g force องค์ประกอบทางเคมีของผลิตภัณฑ์ขนมขบเคี้ยวเสริมผงกระดูกปลาแซลมอน 100 กรัม ได้แก่ ปริมาณความชื้นร้อยละ 6.97 พลังงานทั้งหมด 383.23 กิโลแคลอรี โปรตีนร้อยละ 7.75 คาร์โบไฮเดรตร้อยละ 74.04 แคลเซียม 1,830 มิลลิกรัม และโซเดียม 25.60 มิลลิกรัม

คำสำคัญ: ขนมขบเคี้ยว ผงกระดูกปลาแซลมอน แคลเซียม ขยะอาหาร

Title Production of supplement calcium snack from salmon fish bone powder by extrusion process

Researcher Miss Lalita Pankaew
Miss Papimon Prachongpun
Miss Rangsita Chunhom

Year 2021

Abstract

This research has an idea of using fish waste, as an ingredient in snack production to increase the variety of healthy products and it can reduce the amount of food waste as well. The objective of this research was to study the chemical composition of salmon bone powder and study the chemical composition Chemical and Physical Characteristics and sensory effects of a snack supplemented with salmon bone powder. The results showed that 100 g of salmon bone powder had moisture content of 1.58%, total energy was 371.08 kcal, total fat was 28.64%, protein was 26.75%, carbohydrates were 1.58%. Dietary fiber was 8.5 g, calcium was 16,684 mg, ash was 41.45%, and sodium was 241.99 mg. When added to standard snack recipes at 10, 20 and 30%, It was found that the formulation containing 10% salmon bone powder had the highest score on the sensory evaluation of 50 subjects in all respects and was statistically different from the other formulations ($p \leq 0.05$), comprising 57.69% of corn grits, 34.61% rice flour, 3.85% of sugar, 2.89% of vegetable oil. Calcium carbonate 0.96% and salmon bone powder 10%. The results of the study of chemical and physical characteristics showed that pH value (pH) was 6.67 ± 0.01 , water activity (a_w) was 0.48, L^* color was 82.51 ± 0.60 , a^* was 2.90 ± 0.61 and b^* was 31.03 ± 1.48 Texture characteristics, hardness value was 1484 ± 20.51 g force and crispness value are 1395 ± 2.83 g force. In addition, chemical composition of 100 g of salmon bone powder fortified snack product is as follows: moisture content is 6.97%, total energy is 383.23 kcal, protein was 7.75%, carbohydrates were 74.04%, calcium was 1,830 mg, ash was 5.01% and sodium equal to 25.60 milligrams

Keywords: Snack, Salmon bone powder, Calcium, Food waste

สารบัญ

	หน้า
กิตติกรรมประกาศ	ก
บทคัดย่อภาษาไทย	ข
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ	ค
สารบัญ	ง
สารบัญตาราง	ฉ
บทที่ 1 บทนำ	1
1.1 ความเป็นมาและความสำคัญ	1
1.2 วัตถุประสงค์การวิจัย	2
1.3 ขอบเขตการวิจัย	2
1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ	2
บทที่ 2 เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	4
2.1 กระดุกปลา/ก้างปลา	4
2.2 แคลเซียม	6
2.3 ขนมขบเคี้ยว	9
2.4 กระบวนการเอกซ์ทรูชั่น (Extrusion)	10
2.5 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	13
บทที่ 3 วิธีดำเนินงาน	16
3.1 วัสดุดิบ	16
3.2 เครื่องมือและอุปกรณ์ในการทำผลิตภัณฑ์	16
3.3 เครื่องมือและอุปกรณ์ในการวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมี/โภชนาการ/กายภาพ	16

สารบัญ

	หน้า
บทที่ 3 วิธีดำเนินการวิจัย (ต่อ)	
3.4 การประเมินคุณลักษณะทางประสาทสัมผัส	17
3.5 ขั้นตอนการดำเนินการวิจัย	17
3.6 สถานที่ทำการทดลอง	19
3.7 ระยะเวลาทำการวิจัย	20
บทที่ 4 ผลการวิเคราะห์ข้อมูล	21
4.1 ผลศึกษาองค์ประกอบทางเคมีของผงกระดูกปลาแชลมอน	21
4.2 ผลการศึกษาสูตรมาตรฐาน คุณลักษณะทางเคมี-กายภาพ และทางประสาทสัมผัสของขนมขบเคี้ยว	22
4.3 ผลการศึกษาอัตราส่วนที่เหมาะสมในการเสริมแคลเซียมจากผงกระดูก ปลาแชลมอนของผลิตภัณฑ์ของขนมขบเคี้ยว คุณลักษณะทางประสาทสัมผัส คุณลักษณะทางเคมีและกายภาพ และองค์ประกอบทางเคมี	26
บทที่ 5 สรุปผลการวิจัย	31
5.1 สรุปผลการวิจัยและอภิปรายผล	31
5.2 ข้อเสนอแนะ	32
บรรณานุกรม	
ภาคผนวก	
ภาคผนวก ก แบบทดสอบทางประสาทสัมผัส	37
ภาคผนวก ข การวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมี	40
ประวัติผู้วิจัย	49

สารบัญตาราง

ตารางที่	หน้า
2.1 องค์ประกอบทางเคมีของกระดูกปลาแซลมอน	5
2.2 ปริมาณแคลเซียมในอาหาร (100 กรัม)	9
4.1 ผลการวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมี/โภชนาการผงกระดูกปลาแซลมอนที่ 100 กรัม	22
4.2 ปริมาณวัตถุดิบของขนมขบเคี้ยวจากกระบวนการเอกซ์ทรูชันสูตรมาตรฐาน	22
4.3 ผลคะแนนประเมินคุณลักษณะทางประสาทสัมผัสของขนมขบเคี้ยวจากกระบวนการเอกซ์ทรูชันสูตรมาตรฐาน	23
4.4 ผลการศึกษาคุณลักษณะทางเคมีและกายภาพของขนมขบเคี้ยวจากกระบวนการเอกซ์ทรูชันสูตรมาตรฐานสูตรที่ 3	24
4.5 ผลการศึกษาองค์ประกอบทางเคมี/โภชนาการของขนมขบเคี้ยวจากกระบวนการเอกซ์ทรูชันสูตรมาตรฐานสูตรที่ 3 ที่ 100 กรัม	25
4.6 ปริมาณวัตถุดิบของขนมขบเคี้ยวขนมขบเคี้ยวเสริมแคลเซียมจากผงกระดูกปลาแซลมอนร้อยละ 10 20 และ 30 และสูตรควบคุม	26
4.7 ผลคะแนนประเมินคุณลักษณะทางประสาทสัมผัสของขนมขบเคี้ยวเสริมแคลเซียมจากผงกระดูกปลาแซลมอนร้อยละ 10 20 และ 30 ของปริมาณแป้ง	28
4.8 ผลการศึกษาคุณลักษณะทางเคมีและกายภาพของขนมขบเคี้ยวเสริมแคลเซียมจากผงกระดูกปลาแซลมอนร้อยละ 10	29
4.9 ผลการวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมี และคุณค่าทางโภชนาการของขนมขบเคี้ยวเสริมแคลเซียมจากผงกระดูกปลาแซลมอนร้อยละ 10 ปริมาณ 100 กรัม	30

บทที่ 1

บทนำ

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญ

สถานการณ์อาหารโลกในภาพรวมยังมีประชากรในบางประเทศขาดแคลนอาหาร ไม่มีอาหารกินประมาณ 800 ล้านคน หรือกระทั่งอดตายอยู่ในบางภูมิภาคของโลก แต่ก็ยังพบว่าในทุก ๆ ปีในแต่ละประเทศมีอาหารที่ถูกทิ้ง (Food Waste) หรืออาหารถูกปล่อยให้เน่าเสียไปอย่างเปล่าประโยชน์ประมาณ 1 ใน 3 ของอาหารที่ผลิตขึ้น ซึ่งในแต่ละปีมีอาหารในกลุ่มนี้มากถึง 1,300 ล้านตัน และปัญหาขยะอาหารเหล่านี้เริ่มส่งผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม ในประเทศไทยซึ่งมีปริมาณขยะมูลฝอยเพิ่มขึ้นทุกปี มีรายงานว่าปริมาณขยะมูลฝอยกว่า 26.77 ล้านตัน ซึ่งในปริมาณนี้มีขยะอาหารมากถึงร้อยละ 64 เฉพาะในกรุงเทพฯ มีปริมาณขยะมูลฝอย 9,000 ตัน/วัน ในจำนวนนี้มีขยะอาหารมากถึงร้อยละ 50 ซึ่งในประเทศไทยมีความสามารถในการกำจัดขยะไม่ถึงร้อยละ 70 ของขยะที่เกิดขึ้น ทำให้มีขยะมูลฝอยตกค้างจำนวนมาก อีกทั้งการกำจัดขยะด้วยวิธีฝังกลบที่ไม่ถูกต้องของประเทศที่มากขึ้น 2,024 แห่ง จากที่มีทั้งหมด 2,490 แห่ง จึงก่อปัญหาด้านสิ่งแวดล้อมจากการปนเปื้อนมลพิษจากขยะสู่ดิน แหล่งน้ำทั้งบนดินและใต้ดินเป็นแหล่งเพาะพันธุ์สัตว์พาหะนำโรคและส่งผลกระทบต่อภาวะโลกร้อนจากก๊าซมีเทนที่เกิดขึ้นจากกองขยะมูลฝอย กระทรวงทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อมมีโครงการผลักดันให้การจัดการขยะมูลฝอยเป็นวาระแห่งชาติ และปรับเปลี่ยนพฤติกรรมเรื่องขยะจากเดิมที่เน้นการกำจัดทิ้งมากที่สุด มาเป็นเน้นเรื่องการลดสร้างขยะตั้งแต่ต้นทาง (โพสตุญญ์, 2559)

เศษเหลือจากการแปรรูปปลาโดยทั่วไป ได้แก่ หัว ไล่ กระดูก เป็นต้น โดยนำเศษเหลือเหล่านี้ไปแปรรูปเป็นอาหารสัตว์ หรือทิ้งเป็นขยะอาหาร ซึ่งเศษเหลือจากการแปรรูปปลาเหล่านี้จัดเป็นวัตถุดิบที่มีคุณค่าทางโภชนาการสูง เช่น แคลเซียม โปรตีน และวิตามินต่างๆ ในอุตสาหกรรมการแปรรูปปลาแชลมอนที่จำหน่ายในประเทศไทย ก็เป็นอีกหนึ่งอุตสาหกรรมที่มีขยะจากอาหารเหลือทิ้งจากการแปรรูปปลาเป็นจำนวนมาก ซึ่งขยะจากอาหารจะถูกนำเข้าสู่กระบวนการกำจัดขยะและเป็นการสร้างภาระค่าใช้จ่ายในการบวนการกำจัดให้กับอุตสาหกรรมการแปรรูปเพิ่มขึ้น (พรณทิพย์ และสิริรัตน์, 2555) ขนหมขเคียวเป็นผลิตภัณฑ์ที่ได้รับความนิยมในการบริโภค สามารถบริโภคได้ทันที น้ำหนักเบาและมีพลังงานสูง มีส่วนประกอบหลัก ได้แก่ แป้ง เครื่องปรุงรส เนื้อสัตว์ต่าง ๆ เป็นต้น จากส่วนประกอบต่างๆในผลิตภัณฑ์ขนหมขเคียวส่งผลให้ที่มีคุณค่าทางโภชนาการต่ำ (นิภาพร และคณะ, 2561)

จากข้อมูลดังกล่าวหากนำเศษเหลือจากการแปรรูปปลาเป็นส่วนประกอบในการผลิตขนมขบเคี้ยวนั้นเป็นการเพิ่มความหลากหลายของผลิตภัณฑ์ขนมขบเคี้ยวที่ดีต่อสุขภาพ เช่น การนำกระดูกปลาเป็นส่วนประกอบเพื่อเพิ่มปริมาณสารอาหารให้กับผลิตภัณฑ์ขนมขบเคี้ยว ซึ่งเป็นการส่งเสริมการใช้ขยะอาหารเพื่อลดปริมาณขยะจากอาหารและส่งเสริมภาวะโภชนาการให้กับผู้บริโภค

1.2 วัตถุประสงค์การวิจัย

- 1.2.1 ศึกษาองค์ประกอบทางเคมีของผงกระดูกปลาแชลมอน
- 1.2.2 ศึกษาองค์ประกอบทางเคมี คุณลักษณะทางเคมี คุณลักษณะทางกายภาพ และทางประสาทสัมผัสของขนมขบเคี้ยว

1.3 ขอบเขตการวิจัย

- 1.3.1 ศึกษาองค์ประกอบทางเคมีของผงกระดูกปลาแชลมอน โดยเตรียมผงกระดูกปลาแชลมอน และนำไปวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมี เพื่อหาปริมาณความชื้น ปริมาณโปรตีน ปริมาณไขมัน ปริมาณเถ้า ปริมาณใยอาหาร ปริมาณคาร์โบไฮเดรต ปริมาณแร่ธาตุ ได้แก่ โซเดียม และแคลเซียม (AOAC, 2016) ปริมาณพลังงานจากสารอาหาร
- 1.3.2 ศึกษาองค์ประกอบทางเคมีของขนมขบเคี้ยวเสริมแคลเซียมจากผงกระดูกปลาแชลมอน ได้แก่ ปริมาณความชื้น ปริมาณโปรตีน ปริมาณไขมัน ปริมาณเถ้า ปริมาณใยอาหาร ปริมาณคาร์โบไฮเดรต ปริมาณแร่ธาตุ ได้แก่ โซเดียมและแคลเซียม (AOAC, 2016) ปริมาณพลังงานจากสารอาหาร
- 1.3.3 ศึกษาคุณลักษณะทางเคมี-กายภาพ ได้แก่ ค่าความเป็นกรด-ด่าง ค่าสี เนื้อสัมผัส ปริมาณน้ำอิสระ (a_w) และคุณลักษณะทางประสาทสัมผัสของขนมขบเคี้ยวเสริมแคลเซียมจากผงกระดูกปลาแชลมอนด้วยการให้คะแนนความชอบแบบ 9-Point Hedonic Scale (Chamber IV and Wolf, 1996) โดยผู้ประเมินทางประสาทสัมผัส 50 คน

1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

- 1.4.1 อุตสาหกรรมการแปรรูปปลาแชลมอนสามารถนำกระดูกปลาแชลมอนมาผลิตเป็นผง เพื่อนำใช้ในการประกอบอาหารสำหรับบุคคลที่ต้องการแคลเซียม
- 1.4.2 สร้างมูลค่าเพิ่มให้กับอุตสาหกรรมอาหารกลุ่มผู้ผลิตปลาแชลมอน และลดเศษเหลือทิ้งจากกระบวนการผลิตปลาแชลมอน

- 1.4.3 เป็นผลิตภัณฑ์ขนมขบเคี้ยวที่อุตสาหกรรมสามารถนำไปต่อยอดธุรกิจจากกระดูกปลาแซลมอน
- 1.4.4 เพิ่มทางเลือกให้ผู้บริโภคกลุ่มที่ต้องการแคลเซียม เช่น ผู้สูงอายุ เด็ก ผู้ที่ขาดแคลเซียม และผู้ที่เป็นโรคกระดูกพรุน



บทที่ 2

เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.1 กระดูกปลาและก้างปลา (Fish and bone)

เศษเหลือจากการแปรรูปปลาโดยทั่วไป ได้แก่ หัว ไล่ กระดูก เป็นต้น โดยนำเศษเหลือเหล่านี้ไปแปรรูปเป็นอาหารสัตว์ หรือทิ้งเป็นขยะอาหาร ซึ่งเศษเหลือจากการแปรรูปปลาเหล่านี้จัดเป็นวัตถุดิบที่มีคุณค่าทางโภชนาการสูง เช่น แคลเซียม โปรตีน และวิตามินต่างๆ ในอุตสาหกรรมการแปรรูปปลาแชลมอน ก็เป็นอีกหนึ่งอุตสาหกรรมที่มีขยะจากอาหารเหลือทิ้งจากการแปรรูปปลาเป็นจำนวนมาก ซึ่งขยะจากอาหารจะถูกนำเข้าสู่กระบวนการกำจัดขยะและเป็นการสร้างภาระค่าใช้จ่ายในการบวกรวณการจัดให้กับอุตสาหกรรมการแปรรูปเพิ่มขึ้น ซึ่งเป็นเศษกระดูกปลาประมาณร้อยละ 10-15 ของน้ำหนักปลาทั้งหมด

ส่วนประกอบของกระดูกปลาที่มีความสำคัญ คือ กระดูกสันหลังปลาที่มีลักษณะเป็นข้อ ๆ เรียกว่า Vertebra เรียงต่อกันตั้งแต่ 56-200 ข้อ จากกะโหลกศีรษะจนถึงส่วนหาง โดยแต่ละข้อสามารถต่อกันได้ด้วยเนื้อเยื่อเกี่ยวพัน ซึ่งแต่ละข้อประกอบกันด้วยแท่งทรงกระบอกตัน เรียกว่า Centrum และกระดูกศีรษะต่อกับกระดูกสันหลังด้วยกระดูก Occipital กระดูกกะโหลกศีรษะเกิดจากกระดูก Cranium หลาย ๆ ชิ้นต่อกัน ทำหน้าที่หุ้มมันสมอง มีกระดูกขากรรไกรทำหน้าที่หุ้มช่องปากและหลอดคอ กระดูกเหงือกและกระดูกแก้มทำหน้าที่ปิดช่องเหงือก กระดูกด้านหลังและกระดูกเหงือกจะรวมตัวกับกระดูกหัวด้านล่าง เรียก กระดูกสะบัก และต่อกับโคนกระดูกครีบอกและครีบท้องส่วนประกอบของกระดูกสันหลัง ประกอบด้วย

1. บริเวณด้านบน (Neurapophysis) ประกอบด้วย รยางค์บน (Neural spine) โคนรยางค์บน (Neural arch) และรูเส้นประสาท (Neural canal)
2. บริเวณข้อกระดูกสันหลัง (Centrum)
3. บริเวณด้านล่าง (Haemapopphysis) ประกอบด้วย โคนรยางค์ล่าง (Haemal arch) รูบริเวณโคนรยางค์ล่าง (Haemal canal) รยางค์ล่าง (Haemal spine) ก้างปลา (Haemal rib หรือ Pleuralrib) กระดูกเกี่ยวด้านหน้า (Prezygapophysis) และกระดูกเกี่ยวด้านหลัง (Postzygapophysis)
4. Neurapophysis อยู่ด้านบน เรียกว่า Neural arch และ Neural spine ภายใน Neural arch เป็น Neural canal ซึ่งภายในคือไขสันหลัง กระดูกสันหลังหนึ่งข้อจะประกอบด้วย Neural arch และ Neural spine ฐานของ Neurapophysis มี Prezygapophysis และ Postzygapophysis เพื่อเชื่อมกับกระดูกสันหลังข้อด้านหน้าและข้อด้านหลังตามลำดับ กระดูกสันหลังของปลาข้อแรก

(Atlas) ที่เชื่อมต่อกับกะโหลกศีรษะส่วนของ Neural spine จะหนา ซึ่งถัดมาเป็น Centrum จะไม่พบ Haemapophysis กระดูกสันหลังของปลาข้อที่สอง (Axis) ที่มีลักษณะเหมือนข้อแรกคือไม่มี Haemapophysis และ Rib กระดูกสันหลังปลาในส่วนลำตัวจะพบ Rib ซึ่งไม่มี Haemal arch โดย Rib ของก้างปลาทั้งสองแบบคือ ก้างปลาบริเวณด้านล่าง เรียก Pleural rib หรือ Ventral rib และก้างปลาที่พบในแนวระนาบด้านข้างข้อกระดูกสันหลัง เรียก Dorsal rib หรือ Epipleural rib ส่วนกระดูกสันหลังปลาส่วนหางจะไม่พบก้างปลา (Rib) แต่พบ Haemal arch และ Haemal spine (ประเสริฐ, 2527)

กระดูกปลามีแร่ธาตุแคลเซียมสูงประมาณร้อยละ 2 ของปลาทั้งตัว (20 กรัม/กิโลกรัม ร้อยละโดยน้ำหนักแห้ง) (Marian *et al.*, 2010) นอกจากนี้ก้างปลาเป็นแหล่งของแคลเซียมที่สำคัญแหล่งหนึ่งเพราะร่างกายสามารถดูดซึมแคลเซียมจากก้างปลาได้ดี (Larsen *et al.*, 2000) แต่ก้างปลาที่จะนำมาเป็นสารเสริมแคลเซียมได้จะต้องผ่านกระบวนการให้ความร้อนโดยการต้มในน้ำร้อนหรือการต้มในกรดอะซิติก หรือการใช้เอนไซม์ร่วมกับกรด (Shahidi, 2007) แคลเซียมมีความสำคัญต่อร่างกายคือการสร้างกระดูกและฟัน การแข็งตัวของเลือด และการทำงานของเส้นประสาท (Nordin *et al.*, 1997) แคลมอนเป็นปลาอีกชนิดหนึ่งที่มีเศษกระดูกเหลือจากอุตสาหกรรมการแปรรูปเป็นจำนวนมาก กระดูกปลาแคลมอนมีสารอาหารที่จำเป็นต่อร่างกายหลากหลายชนิดสารอาหารที่พบมากที่สุด คือ แคลเซียม ดังตารางที่ 2.1

ตารางที่ 2.1 องค์ประกอบทางเคมีของกระดูกปลาแคลมอน

องค์ประกอบทางเคมี	การต้ม	การใช้เอนไซม์โปรตีเอส
เถ้า (ร้อยละ)	43.0	55.5
โปรตีน (ร้อยละ)	35.7	36.0
ไขมัน (ร้อยละ)	17.8	3.0
แร่ธาตุ		
แคลเซียม (กรัม)	157	208
โซเดียม (กรัม)	3.1	1.9
โปแตสเซียม (กรัม)	3.2	1.3
แมกนีเซียม (กรัม)	2.6	4.1

ที่มา : Marian *et al.* (2010)

2.2 แคลเซียม (Calcium)

ในร่างกายจะมีแร่ธาตุอยู่มากกว่า 60 ชนิด แต่แร่ธาตุที่มีความสำคัญต่อโภชนาการมีประมาณ 17 ชนิด จะพบแร่ธาตุในร่างกายประมาณร้อยละ 5 ของน้ำหนักตัว เนื้อเยื่อและของเหลวภายในร่างกายทั้งหมดจะประกอบด้วยแร่ธาตุในปริมาณที่แตกต่างกัน ในหนึ่งวันร่างกายขับถ่ายแร่ธาตุทางอุจจาระ ปัสสาวะและเหงื่อประมาณ 20-30 กรัม ในรูปของเกลือต่าง ๆ เช่น เกลือโซเดียม โปแตสเซียม แคลเซียม แมกนีเซียม และแอมโมเนีย เป็นต้น (สิริพันธุ์, 2550)

แคลเซียมเป็นแร่ธาตุชนิดหนึ่งที่พบมากในร่างกาย มีประมาณร้อยละ 1.5-2.0 โดยน้ำหนัก ซึ่งปริมาณแคลเซียมร้อยละ 99 ของทั้งหมดอยู่ที่กระดูกและฟันในรูปของแคลเซียมฟอสเฟต ประมาณ 1 กรัม และ 6-8 กรัม อยู่ในเนื้อเยื่อและของเหลวควบคุมการเผาผลาญที่สำคัญ โดยครึ่งหนึ่งจะลอยตัวอยู่ในเลือดเป็นแคลเซียมอิสระโดยไม่จับกับอะไรซึ่งถูกควบคุมโดยพาราไธรอยด์ฮอร์โมน (parathyroid hormone) แคลเซียมจะทำงานร่วมกับฟอสฟอรัส แมกนีเซียม วิตามินดี วิตามินเอ และวิตามินซี เพื่อให้เกิดประสิทธิภาพสูงสุด แคลเซียมเป็นแร่ธาตุที่มีความสำคัญเนื่องจากเป็นส่วนประกอบของกระดูก การดูดซึมแคลเซียมที่มีประสิทธิภาพสูงที่สุดจะเกิดขึ้นในวัยเด็ก และลดลงเมื่อเข้าสู่วัยสูงอายุในวัยสูงอายุจะมีการดูดซึมของแคลเซียมจากกระดูกเข้าสู่กระแสเลือดมากกว่าทำให้กระดูกเปราะง่าย การขาดแคลเซียมเป็นเวลานานจะมีผลทำให้ร่างกายดูดซึมแคลเซียมจากกระดูกนำไปใช้ในอวัยวะอื่นทำให้กระดูกเปราะได้ (สิริพันธุ์, 2550) นอกจากนี้แคลเซียมยังมีผลต่อการยืดหดตัวของกล้ามเนื้อ โดยจะทำหน้าที่รักษาสภาพการทำงานของประสาทและกล้ามเนื้อ เป็นตัวกลางของเซลล์ต่างๆ และเป็นตัวรับส่งข้อมูลของฮอร์โมน (วิศิษฐ์, 2560)

2.2.1 หน้าที่ของแคลเซียม

1) แคลเซียมเป็นส่วนประกอบของกระดูกและฟัน ในถ้ากระดูกจะมีแคลเซียมอยู่ประมาณร้อยละ 50 เป็นแคลเซียมไตรฟอสเฟตร้อยละ 85 แคลเซียมคาร์บอเนตร้อยละ 12 และแคลเซียมไฮดรอกไซด์ร้อยละ 3 สามารถพบสารประกอบแคลเซียมในโพรงกระดูก โดยส่วนใหญ่จะอยู่ที่ตอนปลายของกระดูก เรียกว่าทราเบคิวลาร์ ถ้าร่างกายได้รับปริมาณแคลเซียมอย่างเพียงพอจะส่งผลให้ทราเบคิวลาร์ได้รับการพัฒนาอย่างมีประสิทธิภาพ จะทำให้ส่วนปลายของกระดูกแข็งแรง ซึ่งจะมีการนำเอาแคลเซียมไปใช้ในการรักษาระดับแคลเซียมในเลือด ในวัยเด็กร่างกายจะมีการเจริญเติบโตร่างกายจะสร้างกระดูกโดยการดึงแคลเซียมเข้าไปที่กระดูกมากกว่าที่จะสลายออกมา แต่เมื่ออายุมากขึ้นการสลายแคลเซียมออกจากกระดูกจะเพิ่มขึ้นมากกว่าการดึงแคลเซียม จึงเป็นสาเหตุทำให้กระดูกมีรูพรุนเปราะและหักง่ายถ้าไม่มีการรักษาสมดุลของแคลเซียม

2) จำเป็นต่อการทำงานของประสาทและกล้ามเนื้อ เมื่อระดับแคลเซียมในเลือดน้อยลงจะส่งผลให้กล้ามเนื้อไวต่อการกระตุ้นและทำให้เกิดอาการชักเกร็ง ถ้ามีระดับแคลเซียมสูงเกินระดับปกติจะส่งผลให้การทำงานของกล้ามเนื้อโดยเฉพาะกล้ามเนื้อหัวใจทำให้หัวใจหยุดเต้นในท่าบีบตัวทำให้ประสาทเกิดการเฉื่อยชา แคลเซียมในระดับปกติจึงมีความสำคัญอย่างยิ่งต่อการเต้นของชีพจรและการหดตัวของกล้ามเนื้อหัวใจ

3) ทำหน้าที่เป็นตัวเร่งหรือยับยั้งการทำงานของน้ำย่อยหลายชนิด

4) จำเป็นต่อการแข็งเป็นลิ่มของเลือด

5) ช่วยในการย่อยโปรตีนของน้ำนม

6) ควบคุมความสมดุลของกรดและด่างในร่างกาย โดยควบคุมการผ่านของสารต่าง ๆ ให้ลดลง เพื่อป้องกันการสะสมในปริมาณมากของกรดหรือด่างในเลือด

7) จำเป็นในการสังเคราะห์อะซิetylโคลีน ซึ่งเป็นสารจำเป็นในการส่งกระแสความรู้สึกของระบบประสาท

8) ช่วยในการดูดซึมวิตามินบีสิบสองที่ลำไส้เล็กตอนปลาย

2.2.2 การดูดซึมแคลเซียม

แคลเซียมถูกดูดซึมเพียงร้อยละ 20-30 ของที่บริโภคเข้าไปบริเวณลำไส้เล็กตอนต้น ส่วนที่เหลือจากการดูดซึมจะถูกขับออกทางอุจจาระและจะมีการขับออกทางปัสสาวะเพียงเล็กน้อย แคลเซียมจะถูกดูดซึมบริเวณลำไส้เล็กตอนต้นและจะหยุดการดูดซึมเมื่ออยู่บริเวณลำไส้เล็กตอนปลาย ในสภาพที่อาหารมีความเป็นด่าง ในการดูดซึมแคลเซียมร่างกายจำเป็นต้องได้รับวิตามินดีที่เพียงพอเพื่อประสิทธิภาพในการดูดซึม เมื่อร่างกายมีวิตามินดีมากขึ้นก็จะส่งผลให้มีการสะสมปริมาณแคลเซียมที่เพิ่มขึ้น อย่างไรก็ตามถ้าร่างกายได้รับปริมาณแคลเซียมที่น้อยวิตามินดีจะทำหน้าที่ดูดแคลเซียมจากกระดูกมาใช้เพื่อระดับแคลเซียมในเลือดและเนื้อเยื่ออยู่ในภาวะปกติ ซึ่งจะส่งผลกระทบต่อกระดูกทำให้เป็นโรคกระดูกอ่อนได้

2.2.3 ปัจจัยที่มีอิทธิพลทำให้การดูดซึมแคลเซียมเพิ่มขึ้น

1) ความต้องการของร่างกาย สำหรับร่างกายที่สมบูรณ์แข็งแรงจะสามารถดูดซึมแคลเซียมได้ร้อยละ 30-40 การดูดซึมแคลเซียมจะทำได้มากในระยะการเจริญเติบโต ในวัยรุ่นจะสามารถดูดซึมแคลเซียมได้ประมาณร้อยละ 30 จากอาหาร และหญิงตั้งครรภ์ หญิงให้นมบุตรจะสามารถดูดซึมแคลเซียมจากอาหารได้ประมาณร้อยละ 40 หรือมากกว่า

2) ความเป็นกรด ในสภาวะเป็นกรดของร่างกายจะสามารถละลายแคลเซียมและจะช่วยนำไปใช้ตามความต้องการของร่างกาย

3) วิตามินดีต้องมีอยู่ในปริมาณที่เหมาะสมและเพียงพอ ซึ่งจะช่วยให้ปริมาณแคลเซียมที่มีอยู่ในเลือดปกติ

5) ไขมัน ปริมาณไขมันที่เหมาะสมจะทำให้การทำงานของกระเพาะทำงานอย่างช้า ๆ ซึ่ง
 ช่วยการดูดซึมแคลเซียมง่ายขึ้น

6) การบริโภคโปรตีน การบริโภคอาหารที่มีปริมาณโปรตีนสูงจะช่วยเพิ่มประสิทธิภาพในการดัดซึมแคลเซียมให้ดีขึ้น

2.2.4 ปัจจัยที่ขัดขวางการดูดซึมแคลเซียม

2) กรดไฟติกที่พบในธัญพืชและเมล็ดข้าว ถ้าวร่างกายได้รับกรดไฟติกในปริมาณมาก ทำให้ของแคลเซียมในร่างกายลดลง

3) การได้รับฟอสฟอรัสที่มากกว่าปกติไม่สมดุลกับแคลเซียมมีผลทำให้ร่างกายดูดซึมแคลเซียมลดลง

4) ปัจจัยด้านอื่นๆ เช่น การดื่มเครื่องดื่มแอลกอฮอล์ ความเครียด การสูบบุหรี่ การดื่มกาแฟปริมาณมาก และการบีบตัวของลำไส้จะทำให้การดูดซึมแคลเซียมลดลง

ในภาวะที่ร่างกายขาดแคลเซียมวิตามินดีจะนำแคลเซียมจากกระดูกมาใช้เพื่อให้การทำงานของกล้ามเนื้อและประสาททำงานอย่างเป็นปกติซึ่งจะส่งผลให้ร่างกายขาและเกิดเป็นตะคิว อีกทั้งการผิดปกติของการสร้างกระดูกที่ช้าลงและไม่สมบูรณ์ เช่น เกิดเป็นโรคกระดูกอ่อนในเด็กและผู้ใหญ่ โรคกระดูกพรุน ความหนาแน่นของมวลกระดูกลดลงทำให้กระดูกเปราะและหักง่าย เนื่องจากแคลเซียมถูกนำมาใช้เร็วกว่าการสะสม นอกจากนั้นการขาดแคลเซียมจะทำให้เกิดการผิดปกติที่ระบบประสาท ส่งผลให้ประสาทไวต่อการตอบรับสื่อกระตุ้น ทำให้ไม่สามารถควบคุมการหดตัวของกล้ามเนื้อ เกิดอาการชัก กำมือ หรือที่เรียกอีกอย่างหนึ่งว่า เทเทนนี่ (สิริพันธ์, 2550)

อาหารที่พบปริมาณแคลเซียมมาก ได้แก่ นมและผลิตภัณฑ์จากนม กระดูกที่สามารถรับประทานได้ กุ้งแห้ง ปลาป่น ปลาไส้ตัน เป็นต้น โดย National Institutes of Health Consensus Panel แนะนำให้รับประทานแคลเซียมประมาณ 1,000-1,500 มิลลิกรัม/วัน และไม่ควรเกิน 2,000-2,500 มิลลิกรัม/วัน (สรุจ และอรุณิภา, 2562)

ตารางที่ 2.2 ปริมาณแคลเซียมในอาหาร (100 กรัม)

อาหาร	ปริมาณแคลเซียม (มิลลิกรัม)
เนยแข็ง	400-1,200
นํ้านมวัว	115-120
โยเกิร์ต	160-200
ไอศกรีม	110-130
ไข่ไก่	57
เนื้อไก่	9-12
เนื้อเป็ด	9-12
เนื้อวัว	7-10
เนื้อหมู	7-10
ปลาซาดีนกระป๋องในนํ้ามัน	550
มันฝรั่ง	5-6

ที่มา Strain and Cashman (2009)

2.3 ขนมขบเคี้ยว (Snack)

ขนมขบเคี้ยว หมายถึง อาหารที่ผู้บริโภครับประทานในช่วงระหว่างมื้อหลักเพื่อบรรเทาความหิวหรือความอยาก ซึ่งไม่ได้รับประทานเป็นอาหารมื้อหลัก เช่น อาหารมื้อเช้า มื้อกลางวัน หรือมื้อเย็น ซึ่งจะเรียกอีกชื่อหนึ่งว่าอาหารว่าง (จุฬาลักษณ์, 2550) โดยวัตถุดิบส่วนใหญ่ประกอบด้วยแป้ง น้ำตาล น้ำมัน และเกลือ ซึ่งทำให้มีคุณค่าทางอาหารน้อย และพินดา (2536) ให้ความหมายของอาหารประเภทขนมขบเคี้ยวเป็นอาหารที่รับประทานระหว่างอาหารมื้อหลัก และครอบคลุมถึงขนมต่าง ๆ เช่น แปรรูปโดยการทอด นึ่งหรืออบ และรวมถึงผลิตภัณฑ์ที่ได้รับอิทธิพลจากซีกโลกตะวันตก

2.3.1 รูปแบบขนมขบเคี้ยว

รูปแบบหรือประเภทของผลิตภัณฑ์ขนมขบเคี้ยว สามารถแบ่งตามชนิดของวัตถุดิบที่ใช้ได้แก่ ขนมขึ้นรูป มันฝรั่งทอดกรอบ เนื้อปลาและหมึก ถั่ว สำหรับ ข้าวเกรียบกุ้ง และข้าวโพดอบกรอบ เป็นต้น นอกจากนี้ยังสามารถแบ่งได้อีกหลายประเภท

2.3.2 การแบ่งตลาดผลิตภัณฑ์ขนมขบเคี้ยว สามารถจำแนกเป็นกลุ่มใหญ่ๆ ได้ดังนี้

1) ขนมอบกรอบหรือขนมขึ้นรูป (Extruded snack) ซึ่งใช้วัตถุดิบหลักจากแป้งและธัญพืช เช่น แป้งข้าวเจ้า แป้งข้าวโพด แป้งสาลี และแป้งถั่ว เป็นต้น โดยผสมกับส่วนประกอบอื่น แล้วขึ้นรูปด้วยเครื่องเอกซ์ทรูดเดอร์ จะได้ลักษณะที่เป็นชิ้นหรือรูปร่างต่างกัน หลังจากขึ้นรูปแล้วจะนำไปอบหรือทอด และปรุงแต่งกลิ่นรสด้วยสารปรุงรสต่างๆ ตัวอย่างผลิตภัณฑ์ขนมขบเคี้ยวประเภทนี้คือ

ได้แก่ ผลิตภัณฑ์ยี่ห้อซีโดส ทวิสตี คอนเน่ ปาปริก้า โรลเลอร์โคสเตอร์ สแนคแจ็ค คาราต้า คอร์นพัพ ไดโนพาร์ค โดริทอส โปเต้ ตูมตาม ซีมอน คัทโตะ ข้าวเกรียบหลอดเอสบี เป็นต้น

2) มันฝรั่งทอดกรอบหรืออบเนย (Potato chip) ผลิตจากหัวมันฝรั่งและแป้งมันฝรั่ง ปูรงรสด้วยเกลือและส่วนผสมอื่น ๆ เช่น ผลิตภัณฑ์ยี่ห้อ เลย์ พริงเกิลส์ และเทสโต เป็นต้น

3) ถั่ว (Peanut) ผลิตจากถั่วและเมล็ดผลไม้ชนิดต่าง ๆ เช่น ถั่วลันเตา ถั่วลิสง เมล็ดแตงโม เมล็ดทานตะวัน เมล็ดมะม่วงหิมพานต์ เมล็ดฟักทอง อัลมอนต์ โดยจะนำไปอบหรือทอดแล้วปรงรส เช่น ผลิตภัณฑ์ยี่ห้อโก้แก เจตียู่คู๋ ทองการ์เด็น เป็นต้น

4) ปลาหมึกปรงรส (Cuttlefish) ใช้ปลาหมึกเป็นวัตถุดิบหลัก แล้วนำมาปรงรส เช่น ผลิตภัณฑ์ยี่ห้อ สควิดดี เต้าทอง เป็นต้น

5) ปลาเส้น ปลาแผ่น ปรงรส (Fish snack) ใช้เนื้อปลาและแป้งเป็นวัตถุดิบหลัก แล้วนำมาผลิตทั้งในรูปแบบเส้นและแผ่น เช่น ผลิตภัณฑ์ยี่ห้อฟิชโซ เบนโตะ ทาโร่ เป็นต้น

6) ข้าวอบกรอบปรงรส (Rice cracker) ใช้วัตถุดิบหลักเป็นข้าวบดให้เป็นแป้ง นึ่งให้สุก จากนั้นนวดให้เป็นโด แล้วรีดให้เป็นแผ่นบาง ใช้พิมพ์กดเป็นชิ้น ขึ้นรูป แล้วอบหรือทอด เช่น ผลิตภัณฑ์ยี่ห้อโดโซะ เป็นต้น

7) ข้าวโพดกรอบปรงรส (Pop Corn) ผลิตจากข้าวโพดคั่วสุก ปรงรสด้วยเนยคาราเมล ศรีย ซ็อคโกแลต เช่น ผลิตภัณฑ์ยี่ห้อ โตโร ป๊อปคอร์น เป็นต้น

8) ข้าวเกรียบ (Prawn cracker) ใช้แป้งเป็นวัตถุดิบหลักเช่นเดียวกับขนมอบกรอบ นวดให้เป็นโดแล้วตัดให้เป็นชิ้นแท่งยาวหรือแผ่นกลมบาง แล้วทอด อาจมีการปรงรสด้วยเนื้อสัตว์ หรือพืช เช่น ข้าวเกรียบรสกุ้ง รสปลา รสฟักทอง รสเผือก เป็นต้น ตัวอย่างผลิตภัณฑ์ ได้แก่ ฮานามิ คาลบี้ มโนห์รา (จุฬาลักษณ์, 2550)

2.4 กระบวนการเอกซ์ทรูชัน (Extrusion)

กระบวนการเอกซ์ทรูชัน (extrusion) หรือ การอัดผ่านเกลียวหรือการอัดพอง เป็นเทคนิคที่ใช้เพื่อการแปรรูปอาหาร (food processing) โดยใช้อุปกรณ์เรียกว่า เอกซ์ทรูเดอร์ (extruder) ซึ่งประกอบด้วยหน่วยปฏิบัติการหลายหน่วยเข้าด้วยกัน ได้แก่ การผสม (mixing) การทำให้สุก (cooking) การนวด (kneading) การฉีก และ การขึ้นรูป ทำให้เกิดรูปร่างและโครงสร้างของอาหารแตกต่างกัน (พิมพ์เพ็ญ และนิธิยา, มปป.) ซึ่งกระบวนการเอกซ์ทรูชัน มีบทบาทสำคัญในอุตสาหกรรมอาหารสามารถผลิตอาหารที่มีรูปร่าง เนื้อสัมผัสได้หลากหลายชนิด เช่น

1. ผลิตภัณฑ์ขนมขบเคี้ยว
2. ผลิตภัณฑ์ธัญชาติอาหารเช้า (breakfast cereal)
3. ผลิตภัณฑ์เส้นพาสต้า เช่น มักโรนี หรือสปาเกตตี้ เป็นต้น

4. ผลิตภัณฑ์อาหารสัตว์

5. ผลิตภัณฑ์โปรตีนเกษตร หรือเนื้อเทียม (textured vegetable protein)

โดยวัตถุดิบสำหรับการแปรรูปเทคนิคเอกซ์ทรูชัน ได้แก่ แป้งจากเมล็ดธัญพืช เช่น แป้งข้าวเจ้า แป้งสาลี และน้ำ เป็นต้น การแปรรูปด้วยกระบวนการผลิตแบบเอกซ์ทรูชันเป็นกระบวนการหนึ่งที่เกิดแบบต่อเนื่อง โดยอาศัยหลักการทำงานร่วมกันระหว่างการผสมการต้มให้สุก การนวด การเนียนและการขึ้นรูปภายใต้เครื่องเอกซ์ทรูเดอร์ (Extruder) เดียวกัน ซึ่งมีการควบคุมตั้งแต่ขนาดอนุภาคและความชื้นของวัตถุดิบเริ่มต้น ตลอดจนถึงความดัน อุณหภูมิของบาเรล แรงเฉือนและความเร็วรอบของสกรูอย่างมีประสิทธิภาพวัตถุดิบจะถูกหลอมเหลวโดยมีน้ำเป็นองค์ประกอบและเคลื่อนที่ไปตามทิศทางการหมุนของสกรู ช่วงระยะเวลาที่ผ่านสกรูเหล่านี้ วัตถุดิบจะถูกทำให้สุกเนื่องจากเกิดการเจลาติไนซ์เซชันและทำให้เกิดรูปร่างโดยผ่านหน้าแปลน ซึ่งเป็นรูเปิดหรือช่องอยู่ส่วนสุดท้ายของเครื่องเอกซ์ทรูเดอร์ ผลิตภัณฑ์ที่ออกจากเครื่องเอกซ์ทรูเดอร์ เรียกว่า เอกซ์ทรูเดท (Extrudate) (กัญญารัตน์, 2557)

2.4.1 หลักการของเทคนิคเอกซ์ทรูชัน

หลักการของเทคนิคเอกซ์ทรูชันวัตถุดิบและส่วนผสมต่างๆ จะถูกป้อนเข้าสู่เครื่องเอกซ์ทรูเดอร์ แล้วลำเลียงผ่านสกรูลำเลียง (screw conveyor) ซึ่งสกรูจะทำหน้าที่ลำเลียงส่วนผสมทั้งหมด ไปตามแนวยาวของสกรูโดยอยู่ในช่องว่างระหว่างเกลียวสกรูระหว่างการลำเลียงจะเกิดการผสม (mixing) และการนวด (kneading) ให้เป็นเนื้อเดียวกัน และอีกทั้งยังทำให้ส่วนผสมนั้นเกิดความร้อน ขณะที่ส่วนผสมเคลื่อนที่จะมีแรงอัดเพิ่มขึ้นผ่านหน้าพิมพ์ (die) ซึ่งจะได้ผลิตภัณฑ์ที่ออกจากเครื่องเอกซ์ทรูเดอร์ ซึ่งเรียกว่า เอกซ์ทรูเดท (extrudate) ที่มีรูปร่างและเนื้อสัมผัสแบบต่าง ๆ จากนั้นอาจจะนำไปอบ (baking) หรือทอด (frying) ให้สุก (กัญญารัตน์, 2557)

2.4.2 ประเภทของเครื่องเอกซ์ทรูเดอร์

2.4.2.1 ประเภทของเครื่องเอกซ์ทรูเดอร์ตามวิธีการทำงาน (method of operation)

- 1) เอกซ์ทรูเดอร์แบบร้อน (cooking extruder หรือ extruder-cookers)
- 2) เอกซ์ทรูเดอร์แบบเย็น (cold extruder)

2.4.2.2 ประเภทของเครื่องเอกซ์ทรูเดอร์ตามวิธีการประกอบเครื่อง

1) เอกซ์ทรูเดอร์แบบสกรูเดี่ยว (single-screw extruders) เครื่องเอกซ์ทรูเดอร์แบบสกรูเดี่ยว ใช้สำหรับการผลักดันให้ dough ผ่านหน้าแปลนเพื่อการขึ้นรูปที่อุณหภูมิต่ำโดยไม่มี การสุกพองหรือใช้ในการหุงต้มและขึ้นรูปด้วยการให้ความร้อนอย่างรุนแรงและเกิดการสุกพองของผลิตภัณฑ์

2) เอกซ์ทรูเดอร์แบบสกรูคู่ (twin-screw extruders) เครื่องเอกซ์ทรูเดอร์แบบสกรูคู่ เป็นเครื่องเอกซ์ทรูเดอร์ที่มีสองสกรูซึ่งวางอยู่คู่กันโดยมีเกลียวที่วางซ้อนกันและกันและหมุน

เป็นลักษณะ “figure of 8” ในบาร์เรล โดยมีการแบ่งตามลักษณะทิศทางการหมุน (ปฐมพงศ์, 2557) และลักษณะของการขบกันโดยเอกซ์ทรูเดอร์ที่หมุนขบกันในทิศทางเดียวกันมักจะใช้ในกระบวนการผลิตอาหาร โดยการหมุนเคลื่อนวัตถุดิบเข้าสู่เอกซ์ทรูเดอร์ และการขบกันจะช่วยในการผสมและป้องกันการหมุนของวัตถุดิบในช่องของเอกซ์ทรูเดอร์

คุณลักษณะของเอกซ์ทรูเดอร์แบบสกรูคู่ (twin-screw extruders)

2.1) คุณลักษณะของผลิตภัณฑ์ไม่ขึ้นอยู่กับการป้อนวัตถุดิบ มีการแกว่งไปมาของการขบซึ่งสามารถทำให้เหมาะสมได้ โดยใช้ปริมาณวัตถุดิบในการเริ่มต้นต่ำกว่าแบบเอกซ์ทรูเดอร์แบบสกรูเดี่ยวและมีอัตราการถ่ายเทความร้อนสูงกว่า

2.2) เอกซ์ทรูเดอร์แบบสกรูคู่ เป็นเครื่องจักรที่สามารถใช้กับวัตถุดิบที่มีน้ำมัน มีความเหนียว และมีความชื้นสูง

2.3) สามารถควบคุมทิศทางการลำเลียงโดยการควบคุมความดัน โดยจะควบคุมให้ความร้อนและถูกอัดตามการลำเลียง และจะมีช่วงลดความดันเพื่อลดความชื้นหรือเติมส่วนผสมแล้วอัดใหม่อีกครั้ง

2.4) มีส่วนช่วยในการเพิ่มความดันทำให้ชิ้นส่วนของเครื่องมีขนาดเล็กและยังสามารถผสมส่วนผสมได้อีกด้วย (วรวิทย์, 2541)

2.4.3 ผลของกระบวนการเอกซ์ทรูชันต่อส่วนผสมของวัตถุดิบ

ผลของกระบวนการเอกซ์ทรูชันทำให้ส่วนผสมของวัตถุดิบเกิดการเปลี่ยนแปลง ดังนี้

1) ทำให้ส่วนผสมของวัตถุดิบเกิดการผสมเป็นเนื้อเดียวกัน โดยเกิดจากการจัดเรียงโครงสร้างใหม่ และเปลี่ยนสภาพเป็น ผลิตภัณฑ์ที่มีเนื้อสัมผัสและรูปร่างเป็นที่ยอมรับของผู้บริโภค

2) ส่วนผสมของวัตถุดิบถูกทำให้ร้อนและสุก ซึ่งจะอยู่ในสภาพที่ย่อยสลายได้ง่ายขึ้น เช่น แป้งดิบกลายเป็นเจลหรือแป้งสุก โปรตีนจากสภาพตามธรรมชาติเปลี่ยนเป็นโปรตีนที่อยู่ในสภาพที่ย่อยสลายได้ง่ายขึ้น

3) กระบวนการเอกซ์ทรูชันทำลายสารพิษ เช่น ทรูปซินอินฮิบิเตอร์ในถั่วเหลือง อีกทั้งยังทำลายเอนไซม์ที่จะทำให้เกิดปฏิกิริยาที่เสื่อมเสียของอาหาร เช่น ไลเปส ไลพอกซิเดส และสามารถทำลายจุลินทรีย์ ซึ่งมีผลทำให้ผลิตภัณฑ์เก็บรักษาได้นานขึ้น

2.4.4 ประโยชน์ของการผลิตอาหารจากกระบวนการเอกซ์ทรูชัน

1) ทำผลิตภัณฑ์ได้หลากหลาย ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับการเลือกใช้วัตถุดิบที่เป็นส่วนประกอบ และการปรับสภาวะการผลิตให้เหมาะสม

2) ผลิตภัณฑ์มีคุณภาพสูง เนื่องจากเป็นระบบอุณหภูมิสูงระยะเวลาสั้น ทำให้เกิดการสูญเสียคุณค่าทางอาหารน้อย

3) ทำผลิตภัณฑ์อาหารใหม่ ๆ ได้

4) ต้นทุนการผลิตต่ำ จำนวนคนงานและพื้นที่ที่ใช้ในกระบวนการผลิตแบบเอกซ์ทรูชันต่อหนึ่งหน่วยการผลิตน้อยกว่าเมื่อเปรียบเทียบกับกระบวนการผลิตวิธีอื่น

5) อัตราการผลิตสูง เป็นเครื่องจักรแบบต่อเนื่อง ที่มีอัตราการผลิตสูงกว่าระบบอื่น

6) ประหยัดพลังงาน เนื่องจากกระบวนการเอกซ์ทรูชันใช้วัตถุดิบที่มีความชื้นต่ำ จึงใช้ปริมาณความร้อนน้อยในการหุงต้มและการอบแห้งหลังหุงต้ม

7) รูปร่างของผลิตภัณฑ์ทำได้หลายแบบ โดยการเปลี่ยนรูปทรงของรูเปิดพิเศษบนหน้าแปลน (จุฬาลักษณ์, 2550)

2.5 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

การศึกษาของพิชญนา (2552) ศึกษาการใช้ประโยชน์ก้างปลาป่นที่เป็นเศษเหลือทิ้งจากกระบวนการผลิตน้ำปลาเพื่อเป็นแหล่งแคลเซียมที่เสริมในผลิตภัณฑ์ขนมอบกรอบ โดยศึกษากระบวนการผลิตก้างปลาป่นด้วยการอบแห้งที่อุณหภูมิ 60 และ 70 องศาเซลเซียส ใช้เวลาในการอบ 60 และ 90 นาที พบว่า สภาวะการอบแห้งที่ 60 องศาเซลเซียส เวลา 60 นาที มีปริมาณแคลเซียมและปริมาณเกลือ ร้อยละ 21.9 และ 14.99 ตามลำดับ จากนั้นนำก้างปลาป่นเสริมลงไปในการผลิตผลิตภัณฑ์ร้อยละ 10, 20 และ 30 ของน้ำหนักแป้ง พบว่า คะแนนคุณลักษณะด้านลักษณะปรากฏ ความกรอบ กลิ่นรส และความชอบรวม ไม่แตกต่างกัน ($p>0.05$) นอกจากนั้นคุณลักษณะด้านสี พบว่า ผลิตภัณฑ์ที่เสริมก้างปลาป่นในปริมาณร้อยละ 20 ได้รับคะแนนความชอบด้านสีสูงที่สุด ($p>0.05$) และมีปริมาณแคลเซียมร้อยละ 13.9

การศึกษาของ Marian *et al.* (2010) ศึกษาปริมาณแคลเซียมจากกระดูกปลาแซลมอนในวิธีการต้มและการใช้เอนไซม์โปรตีเอส พบว่า การสกัดแคลเซียมจากเอนไซม์โปรตีเอสสูงที่สุดโดยให้ปริมาณแคลเซียม 208 กรัมต่อกิโลกรัม (ร้อยละโดยน้ำหนักแห้ง) และปริมาณแคลเซียมจากกระดูกปลาแซลมอนด้วยวิธีการต้ม พบว่า มีปริมาณ 157 กรัมต่อกิโลกรัม (ร้อยละโดยน้ำหนักแห้ง)

การศึกษาของชญาณิส (2561) ที่ศึกษาการพัฒนาผลิตภัณฑ์ขนมขบเคี้ยวชนิดกรอบพองจากข้าวเจ้าเสริมน้ำหมักผงจากหมักกล้วย ผลการศึกษาพบว่าการผลิตขนมขบเคี้ยวชนิดกรอบพองโดยนำน้ำหมักผงที่ระดับร้อยละ 0.0 2.5 5.0 7.5 และ 10.0 (ของน้ำหนักแป้ง) เติมน้ำในแป้งข้าวเจ้า พบว่าปริมาณน้ำหมักผงที่เพิ่มขึ้นมีผลทำให้ปริมาณโปรตีน สมบัติในการต้านอนุมูลอิสระและค่าความแข็งเพิ่มขึ้น ในขณะที่ค่า L^* หรือค่าความสว่างลดลง ขนมขบเคี้ยวจากข้าวเจ้าที่เติมน้ำหมักผงร้อยละ 5.0 มีคะแนนการยอมรับโดยรวมและสัดส่วนการพองตัวสูงที่สุด และจากการศึกษาผลของความชื้นของส่วนผสม (ร้อยละ 15 20 และ 25) และอุณหภูมิของบาร์เรลในการเอกซ์ทรูชัน (90 100 และ 110 องศาเซลเซียส) ที่มีต่อคุณลักษณะของขนมขบเคี้ยวชนิดกรอบพองจากข้าวเจ้าเสริมน้ำหมักผง พบว่า

ปัจจัยร่วมระหว่างความชื้นของส่วนผสมและอุณหภูมิของบาร์เรลมีผลต่อเส้นผ่าศูนย์กลาง การดูดซับน้ำ สัดส่วนการพองตัว ค่าความแตกเปราะและการละลายน้ำ และค่าความแข็งของผลิตภัณฑ์

การศึกษาของสุธาสินี และคณะ (2561) ที่ศึกษาผลของอุณหภูมิบาร์เรลและความชื้นของตัวอย่างป้อนต่อคุณภาพทาง เคมี กายภาพ และประสาทสัมผัสของเอกซ์ทราคเตดโปรตีนสูงจากการศึกษาพบว่าเมื่อใช้อุณหภูมิบาร์เรล 160 องศาเซลเซียสเปรียบเทียบกับ 140 องศาเซลเซียส ส่งผลให้ความหนาแน่นและความแข็งของเอกซ์ทราคเตดลดลง ในขณะที่อัตราการพองตัวของขนมสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมดและฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระ (ด้วยวิธี Diphenyl-picrylhydrazyl radical scavenging assay DPPH และ Ferric ion reducing antioxidant power assay, FRAP) เพิ่มขึ้น ผลการประเมินทางประสาทสัมผัสของผู้บริโภคพบว่า ขนมขบเคี้ยวโปรตีนสูงที่สภาวะการผลิตที่อุณหภูมิบาร์เรล 160 องศาเซลเซียสและความชื้นของตัวอย่างป้อนร้อยละ 18 ได้รับคะแนนความชอบสูงที่สุดในทุกคุณลักษณะ และที่สภาวะนี้มีค่าเฉลี่ยคะแนนความชอบโดยรวมของเอกซ์ทราคเตดโปรตีนสูงในระดับชอบมาก

นอกจากนี้ยังมีการศึกษาการพัฒนาขนมขบเคี้ยวจากโปรตีนจากสัตว์ เช่น การใช้เลือดปลาทูน่าผงเพื่อเสริมโปรตีนและเหล็กในผลิตภัณฑ์ขนมขบเคี้ยว สุธีรา และเพชรดา (2557) โดยการศึกษา นำเลือดปลาทูน่ามากระเหยน้ำและอบแห้งแบบสุญญากาศ ภายใต้ความดัน 26 เซนติเมตรปรอทที่อุณหภูมิ 70 ± 1 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 219 นาที แล้วบดละเอียดเป็นผง จากนั้นนำมาวิเคราะห์คุณภาพ ซึ่งพบว่าเลือดปลาทูน่าผงมีโปรตีนเท่ากับ 74.69 กรัม/100 กรัม และเหล็กเท่ากับ 113.90 มิลลิกรัม/100 กรัม และเมื่อเติมเลือดปลาทูน่าผงเพิ่มลงในผลิตภัณฑ์ขนมขบเคี้ยว ปริมาณร้อยละ 0, 5, 10 และ 15 ปริมาณความชื้น ปริมาณไขมัน และค่า a_w มีแนวโน้มลดลง ในขณะที่ปริมาณโปรตีนและปริมาณเหล็กมีแนวโน้มเพิ่มขึ้น ($p < 0.05$) และเมื่อนำผลิตภัณฑ์ไปประเมินคุณภาพทางประสาทสัมผัสพบว่าผลิตภัณฑ์ขนมขบเคี้ยวที่เติมเลือดปลาทูน่าผงร้อยละ 5 และ 10 ตามลำดับ ได้รับคะแนนความชอบโดยรวมสูงที่สุด ($p < 0.05$) อยู่ในระดับชอบเล็กน้อย ดังนั้นเลือดปลาทูน่าผงที่สามารถเติมได้มากที่สุดคือร้อยละ 10 ซึ่งเมื่อวิเคราะห์คุณค่าทางสารอาหารพบว่าผลิตภัณฑ์มีปริมาณโปรตีนเท่ากับ 19.88 กรัม/100 กรัม และปริมาณเหล็กเท่ากับ 68.4 มิลลิกรัม/100 กรัม

พรธนทิพย์ และสิริรัตน์ (2555) ศึกษาการพัฒนาผลิตภัณฑ์เพิ่มมูลค่าจากเศษเหลือการแปรรูปปลาหมึกผลิตแคลเซียมผงจากกากกลางที่เหลือจากการแล่ปลาหมึกแบบให้ความร้อนแบบภายใต้ความดันก่อนนำไปอบแห้งและแบบการอบแห้งแบบไม่ผ่านความร้อนภายใต้ความดัน พบว่าการผลิตแคลเซียมผงโดยไม่ผ่านการให้ความร้อนภายใต้ความดันก่อนนำไปอบแห้งให้ปริมาณแคลเซียมผงสูงที่สุดที่ร้อยละ 10.37 (โดยน้ำหนักแห้ง) และปริมาณแคลเซียมผงที่ผลิตโดยผ่านความร้อนภายใต้ความดันมีปริมาณร้อยละ 9.0 (โดยน้ำหนักแห้ง)

สิริมา และคณะ (2555) ศึกษาการพัฒนาขนมขบเคี้ยวเพื่อสุขภาพจากซูริมิและแป้งลูกเต๋อยจากการศึกษาพบว่าสูตรขนมขบเคี้ยวเพื่อสุขภาพจากซูริมิและแป้งลูกเต๋อยที่เหมาะสมมีส่วนประกอบหลัก คือ แป้งลูกเต๋อยสุกร้อยละ 70 แป้งสาหร่ายร้อยละ 21 และซูริมิ ร้อยละ 9 ส่วนประกอบอื่นๆ ได้แก่ มอลโตเด็กซ์ตริน เลซิทีน เนยขาว เกลือ และน้ำ เท่ากับร้อยละ 15 1 13 2 และ 33.3 ตามลำดับ และผลการศึกษาคุณภาพทางประสาทสัมผัสพบว่าผลิตภัณฑ์ขนมขบเคี้ยวที่ใช้เลือดปลาทูน่าผงเพื่อเสริมโปรตีนและเหล็ก ได้รับคะแนน ความชอบโดยรวมในระดับชอบเล็กน้อยถึงชอบปานกลาง อีกทั้งผลิตภัณฑ์มีปริมาณแคลเซียมสูง คือเท่ากับ 114.73 มิลลิกรัม/กิโลกรัม โปรตีน ร้อยละ 10.18 และคาร์โบไฮเดรตร้อยละ 61.28

อรรวรรณ และคณะ (2552) ได้ศึกษาการพัฒนาผลิตภัณฑ์อาหารขบเคี้ยวจากกุ้งขาวแวนนาไม (*Litopenaeus vannamei*) ด้วยเครื่องเอกซ์ทรูดเดอร์สกรูคู่ โดยผลิตเป็นอาหารขบเคี้ยว 2 ชนิด ได้แก่ ผลิตภัณฑ์อาหารเช้า และผลิตภัณฑ์อาหารว่าง โดยแปรปริมาณกุ้งขาวแห้งป่นที่ใส่ผสม คือ 15%, 20% และ 25% ผลิตภัณฑ์อาหารเช้าที่ได้มีลักษณะเป็นรูปกลมรีเคลือบรสด้วยคาราเมลกลิ่นวานิลลา ส่วนผลิตภัณฑ์อาหารว่างเป็นรูปโดนัทซึ่งนำมาเคลือบรส 2 แบบ คือ รสปาปริกา และรส น้ำพริกเผา ผลการทดสอบทางประสาทสัมผัสจากผู้ทดสอบที่ผ่านการฝึกฝนจำนวน 8 คน ให้คะแนนแบบ 9-Point Hedonic scale ปรากฏว่า ผู้ทดสอบให้การยอมรับผลิตภัณฑ์ทั้ง 2 ชนิด ทั้ง 3 สูตร และให้คะแนนในระดับดี โดยให้คะแนนสูตรที่มีกุ้งขาวป่นร้อยละ 20 ของทั้ง 2 ผลิตภัณฑ์สูงสุด เพราะมีกลิ่นหอมของกุ้ง สีสวย รสอร่อย และกรอบกำลังดี นอกจากนี้ทดลองการเก็บรักษาผลิตภัณฑ์ทั้ง 2 ชนิด โดยบรรจุในถุงเมทิลโลซ์ฟันทาสไนโตรเจน เก็บที่อุณหภูมิห้อง พบว่า ผู้ทดสอบให้การยอมรับในระดับดี ทั้งลักษณะปรากฏ สี กลิ่น รสชาติ เนื้อสัมผัส ตลอดการเก็บ 5 เดือน

ขวัญจิตต์ และธนาวรรณ (2561) ศึกษาการพัฒนาผลิตภัณฑ์ขนมขบเคี้ยวจากข้าวเหนียวดำสายพันธุ์ลิ้มผัว โดยพบว่าสัดส่วนที่เหมาะสมของข้าวเหนียวขาวต่อข้าวเหนียวดำสายพันธุ์ลิ้มผัวในการผลิตขนมขบเคี้ยวคือ 80:20 เนื่องจากผู้ทดสอบให้คะแนน ความชอบดานสี ความกรอบ ความแข็ง ความเหนียว และความชอบโดยรวมมากที่สุดอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p > 0.05$)

บทที่ 3

วิธีดำเนินงาน

3.1 วัตถุดิบ

- 3.1.1 กระจุกปลาแซลมอนแช่แข็ง บริษัทแพนฟีด
- 3.1.2 แป้งข้าวเจ้า
- 3.1.3 แป้งข้าวโพดชนิดหยาบ (Corn grit)
- 3.1.4 แป้งมันฝรั่ง
- 3.1.5 น้ำตาลทรายขาว
- 3.1.6 แคลเซียมคาร์บอเนต (CaCO_3)
- 3.1.7 น้ำมันพืช

3.2 เครื่องมือและอุปกรณ์ในการทำผลิตภัณฑ์

- 3.2.1 อุปกรณ์งานครัว
- 3.2.2 อุปกรณ์ เครื่องซังดิจิตอล ยี่ห้อ Sunford รุ่น KAH5000S
- 3.2.3 ตะแกรงร่อนขนาด 100 เมช
- 3.2.3 เครื่องบดของแห้ง (laboratory blender) ยี่ห้อ TEFAL รุ่น DPA130
- 3.2.4 เครื่องอัดรีดชนิดสกรูคู่ (CT Twin-Screw Extruder) รุ่น Berstorff ZE 25
- 3.2.5 เครื่องผสมอาหาร ยี่ห้อ KitchenAid รุ่น Artisan

3.3 เครื่องมือและอุปกรณ์ในการวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมี/โภชนาการ/กายภาพ

- 3.3.1 ตู้อบลมร้อนอุณหภูมิสูง (Hot Air Oven) (ED 115) ยี่ห้อ OTTO รุ่น CO-702A
- 3.3.2 เครื่องวัดลักษณะเนื้อสัมผัส (texture analyzer)
- 3.3.3 เครื่องวิเคราะห์ไขมัน สกัดไขมัน (Soxtec 8000 Extraction Unit) ย่อยตัวอย่าง (Hydrotec 8000)
- 3.3.4 เครื่องวิเคราะห์โปรตีน ย่อยโปรตีน (KB/KBL with TZ Control) กลั่นโปรตีน (Vapodest 45S)
- 3.3.5 เตาเผาอุณหภูมิสูง (Muffle furnace) (ELE 11/14/201)
- 3.3.6 เครื่องวิเคราะห์ใยอาหาร (Fibertec, Foss)

3.3.7 เครื่องวิเคราะห์สารประกอบ (HPLC : รุ่น HP 1260 Infinity) (Column : Prevail Cabohydrate 5u) (Detector : 1290 Infinity II ELSD) (Mobile phas : Acetonitrile : Water (DI))

3.3.8 เครื่องวิเคราะห์แร่ธาตุ (Inductively Coupled Plasma Emission Spectrometer (ICP-OES) : Optima 8000) เครื่องย่อยตัวอย่างแบบ 28 หลุม (Seal Analytical : DG-U-A021)

3.3.9 เครื่องวัดค่าความเป็นกรด-ด่าง (SI Analytics Lab 845)

3.3.10 เครื่องวัดปริมาณน้ำอิสระ (a_w) (รุ่น LabMaster-aw “Neo” Novasina)

3.3.11 เครื่องวัดสี (colorimeter) (hunter lab color Quest XE)

3.4 การประเมินคุณลักษณะทางประสาทสัมผัส

3.4.1 แบบฟอร์มการให้คะแนนความชอบคุณลักษณะทางประสาทสัมผัสแบบ 9-point hedonic scale

3.4.2 อุปกรณ์สำหรับการประเมินทางประสาทสัมผัส (ถุงซิปล็อคและแก้วน้ำ)

3.5 ขั้นตอนการดำเนินการวิจัย

3.5.1 ศึกษาองค์ประกอบทางเคมีของผงกระดุกปลาแชลมอน

3.5.1.1 การเตรียมผงกระดุกปลาแชลมอน

การเตรียมผงก้างปลาแชลมอน นำก้างปลา (ก้างกลาง) ชูดเนื้อ ไขมัน ต้มในน้ำเดือด 100 องศาเซลเซียส นาน 30 นาที เพื่อคัดแยกเนื้อปลาส่วนที่เหลือออก จากนั้นนำไปต้มภายใต้ความดัน 121 องศาเซลเซียส นาน 1 ชั่วโมง พักให้เย็นและนำไปอบแห้งที่ 70 องศาเซลเซียส นาน 60 นาที นำก้างปลาที่ผ่านการอบมาปั่นให้ละเอียดด้วยเครื่องปั่นอาหารแห้งจนละเอียด ร่อนผ่านตะแกรง 100 เมช จะได้ผงก้างปลาแชลมอน เก็บใส่ภาชนะบรรจุ

3.5.1.2 การวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมี/โภชนาการ ดังนี้

- ปริมาณความชื้น โปรตีน ไขมัน โยอาหาร เถ้า ปริมาณแร่ธาตุ ได้แก่ โซเดียมและแคลเซียม (AOAC, 2019) (ภาคผนวก ข)

- ปริมาณพลังงานจากสารอาหาร (Nutrition Labeling, 1993) (ภาคผนวก ข)

- ปริมาณคาร์โบไฮเดรต (Nutrition Labeling, 1993) (ภาคผนวก ข)

3.5.2 ศึกษาองค์ประกอบทางเคมี คุณลักษณะทางเคมี คุณลักษณะทางกายภาพ และทางประสาทสัมผัสของขนมขบเคี้ยวเสริมแคลเซียมจากผงกระดูกปลาแซลมอน

3.5.2.1 รวบรวมสูตรขนมขบเคี้ยวจากกระบวนการเอกซ์ทรูชัน 3 สูตร เพื่อนำมาดัดแปลงและทดลองหาสูตรมาตรฐานวัตถุดิบ โดยนำแป้งข้าวโพดบดหยาบ แป้งข้าวเจ้า แป้งมันฝรั่ง น้ำตาลทราย น้ำมันพืช แคลเซียมคาร์บอเนต และแป้งมันฝรั่งผสมให้เป็นเนื้อเดียวกันด้วยเครื่องผสมอาหาร จากนั้นนำส่วนผสมทั้งหมดเทใส่เครื่องเอกซ์ทรูเดอร์ จากนั้นนำเข้าตู้อบลมร้อน 10 นาที เก็บใส่ภาชนะบรรจุ ทำการประเมินคุณลักษณะทางประสาทสัมผัสของตัวอย่างขนมขบเคี้ยวเสริมแคลเซียมจากผงกระดูกปลาแซลมอนด้วยการให้คะแนนความชอบแบบ 9-Point Hedonic Scale (Chamber IV and Wolf, 1996) โดยผู้ประเมินทางประสาทสัมผัสระดับปฏิบัติการ 50 คน ทำการเตรียมตัวอย่างบรรจุขนมขบเคี้ยวเสริมแคลเซียมจากผงกระดูกปลาแซลมอน (1 กรัม) ในถุงซิปล็อคใสติดรหัสสามตัวจากการสุ่ม ระหว่างประเมินแต่ละตัวอย่างทำการล้างปากด้วยน้ำเปล่า คุณลักษณะที่ทำการประเมิน ได้แก่ ลักษณะปรากฏ สี กลิ่น รสชาติ เนื้อสัมผัส และความชอบโดยรวม

ทำการคัดเลือกสูตรขนมขบเคี้ยวจากกระบวนการเอกซ์ทรูชันที่ได้รับคะแนนความชอบรวมสูงที่สุด นำไปกำหนดปริมาณส่วนประกอบหลักสำหรับการผลิตมาขนมขบเคี้ยวเสริมแคลเซียมจากผงกระดูกปลาแซลมอนต่อไปและนำมาวิเคราะห์ดังนี้

- วิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมี/โภชนาการ ตามข้อ 3.5.1.2 และวิเคราะห์ปริมาณน้ำตาลทั้งหมด (AOAC, 2019) (ภาคผนวก ข)
- วิเคราะห์คุณลักษณะทางเคมีและกายภาพ ได้แก่
 - วิเคราะห์ค่าความเป็นกรด-ด่าง ทำการชั่งตัวอย่าง 5 กรัม เติมน้ำกลั่น 40 มิลลิลิตร กวนผสมด้วยแท่งแก้วคนสารเป็นเวลา 3 นาที จากนั้นนำไปวัดค่าความเป็นกรด-ด่าง ของตัวอย่างด้วยเครื่องวัดค่าความเป็นกรด-ด่าง (SI Analytics Lab 845) ทำการตรวจวัด 3 ซ้ำ
 - วิเคราะห์ปริมาณน้ำอิสระ (a_w) ทำการชั่งตัวอย่าง 1 กรัม ใส่ลงในถ้วยตัวอย่างและปิดฝานำไปวัดค่าแอกติวิตี (a_w) ด้วยเครื่องวัดปริมาณน้ำอิสระ LabMaster- a_w “Neo”
 - วิเคราะห์ค่าสีทำการวิเคราะห์ค่าสี L^* a^* และ b^* ของตัวอย่างขนมขบเคี้ยวเสริมแคลเซียมจากผงกระดูกปลาแซลมอน ด้วยระบบ CIE (angle 10° , illuminant D65) ค่า L^* a^* และ b^* บ่งบอกถึง ความสว่าง มีค่าตั้งแต่ 1-100 โดย 0 คือสีดำและ 100 คือสีขาว ความเป็นสีแดง/สีเขียว โดยค่า - เป็นสีเขียว ค่า + เป็นสีแดง และความเป็นสีเหลือง/สีน้ำเงิน ค่า - เป็นสีน้ำเงิน ค่า + เป็นสีเหลือง ตามลำดับ ทำการวัดด้วยเครื่องวัดค่าสี (hunter lab color Quest XE) ทำการตรวจวัด 5 ซ้ำ

- วิเคราะห์เนื้อสัมผัส ทำการวิเคราะห์คุณลักษณะเนื้อสัมผัสด้านความกรอบ (Crispness) และความแข็ง (Hardness) ของตัวอย่างขนมขบเคี้ยวเสริมแคลเซียมจากผงกระดูกปลาแซลมอน ด้วยเครื่องวิเคราะห์ค่าเนื้อสัมผัส ด้านความกรอบ (Crispness) สภาวะการทดสอบมีดังนี้ หัววัดชนิด P/O.25s ความเร็วของหัววัดก่อนทดสอบ 1 มิลลิเมตร/วินาที ขณะทดสอบ 1 มิลลิเมตร/วินาที หลังทดสอบ 10 มิลลิเมตร/วินาที และระยะทางที่กด 3 มิลลิเมตร และความแข็ง (Hardness) ทำการบันทึกแรงและรายงานในหน่วยนิวตัน ทำการตรวจวัด 5 ซ้ำ

3.5.2.2 ศึกษาอัตราส่วนที่เหมาะสมในการเสริมแคลเซียมจากผงกระดูกปลาแซลมอนในการผลิตผลิตภัณฑ์ขนมขบเคี้ยวโดยกระบวนการเอกซ์ทรูชัน ใช้ผงกระดูกปลาแซลมอนที่ร้อยละ 10 20 และ 30 ของปริมาณแป้ง โดยนำแป้งข้าวโพดบดหยาบ แป้งข้าวเจ้า แป้งมันฝรั่ง น้ำตาลทราย ผงกระดูกปลาแซลมอน น้ำมันพืช แคลเซียมคาร์บอเนต และแป้งมันฝรั่งผสมให้เป็นเนื้อเดียวกันด้วยเครื่องผสมอาหาร จากนั้นนำส่วนผสมทั้งหมดเทใส่เครื่องเอกซ์ทรูเดอร์ จากนั้นนำเข้าตู้อบลมร้อน 10 นาที เก็บใส่ภาชนะบรรจุ ทำการประเมินคุณลักษณะทางประสาทสัมผัสของตัวอย่างขนมขบเคี้ยวเสริมแคลเซียมจากผงกระดูกปลาแซลมอนด้วยการให้คะแนนความชอบแบบ 9-Point Hedonic Scale (Chamber IV and Wolf, 1996) โดยผู้ประเมินทางประสาทสัมผัสระดับปฏิบัติการ 50 คน ทำการเตรียมตัวอย่างบรรจุขนมขบเคี้ยวเสริมแคลเซียมจากผงกระดูกปลาแซลมอน (1 กรัม) ในถุงซิปล็อคใสติดรหัสสามตัวจากการสุ่ม ระหว่างประเมินแต่ละตัวอย่างทำการล้างปากด้วยน้ำเปล่า คุณลักษณะที่ทำการประเมินได้แก่ ลักษณะปรากฏ สี กลิ่น รสชาติ เนื้อสัมผัส และความชอบโดยรวม

ทำการคัดเลือกขนมขบเคี้ยวเสริมแคลเซียมจากผงกระดูกปลาแซลมอนที่ได้รับคะแนนความชอบโดยรวมสูงที่สุด นำไปกำหนดปริมาณส่วนประกอบหลักสำหรับการผลิตมาขนมขบเคี้ยวเสริมแคลเซียมจากผงกระดูกปลาแซลมอนต่อไปและนำมาวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมี/โภชนาการ วิเคราะห์คุณลักษณะทางเคมีและกายภาพเช่นเดียวกันกับการวิเคราะห์ในขั้นตอนที่ 3.5.2.1

3.5.3 การวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติ

ทำการวิเคราะห์ความแปรปรวนของข้อมูลทางสถิติด้วย One-way ANOVA และทำการเปรียบเทียบความแตกต่างของค่าเฉลี่ยด้วยวิธี Duncan's New Multiple Range Test (DMRT) และเปรียบเทียบความแตกต่างของค่าเฉลี่ยด้วยวิธี Paired samples T-Test ด้วยโปรแกรมสำเร็จรูปสำหรับการวิเคราะห์ทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 จากโปรแกรมสำเร็จรูป SPSS

3.6 สถานที่ทำการทดลอง

ห้องปฏิบัติการภาควิชาเทคโนโลยีการอาหารและโภชนาการ คณะเทคโนโลยีคหกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลกรุงเทพ

3.7 ระยะเวลาทำการวิจัย

1 ตุลาคม 2563 - 30 กันยายน 2564



บทที่ 4

ผลการวิเคราะห์ข้อมูล

4.1 ผลศึกษาองค์ประกอบทางเคมีของผงกระดุกปลาแชลมอน

4.1.1 การเตรียมผงกระดุกปลาแชลมอน

การเตรียมผงกระดุกปลาแชลมอน เริ่มจากนำกระดุกปลาแชลมอนมาล้างทำความสะอาด จากนั้นนำไปต้มในน้ำเดือด (อุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียส) เพื่อเป็นการแยกเนื้อปลาส่วนที่เหลือออก ต้มนาน 25-30 นาที แล้วนำกระดุกปลาแชลมอนที่ได้มาต้มอีกครั้งด้วยหม้ออัดแรงดัน 121 องศาเซลเซียส เพื่อล้างเศษเนื้อปลาที่ติดอยู่ตามซอกกระดุกให้ละเอียด จากนั้นนำไปอบด้วยอุณหภูมิ 70 องศาเซลเซียส นาน 60 นาที ปั่นกระดุกปลาแชลมอนอบแห้งที่ได้ให้ละเอียดด้วยเครื่องปั่นไฟฟ้า แล้วร่อนผ่านตะแกรงร่อนแป้ง ความละเอียดขนาด 100 เมช ผงกระดุกปลาแชลมอนที่ได้เก็บรักษาโดยใส่ถุงพอยล์และเก็บรักษาที่อุณหภูมิห้อง

4.1.2 ผลการวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมี/โภชนาการผงกระดุกปลาแชลมอน

เมื่อนำผงกระดุกปลาแชลมอนที่ได้มาวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมี ได้แก่ ความชื้น พลังงาน ไขมัน โปรตีน คาร์โบไฮเดรต โยอาหาร เถ้า แคลเซียม และโซเดียม ผลดังตารางที่ 4.1 พบว่า ผงกระดุกปลาแชลมอนที่ 100 กรัม มีปริมาณความชื้นร้อยละ 1.58 พลังงานทั้งหมด 371.08 กิโลแคลอรี ไขมันทั้งหมดร้อยละ 28.64 โปรตีนร้อยละ 26.75 คาร์โบไฮเดรตร้อยละ 1.58 โยอาหาร 8.5 กรัม เถ้าร้อยละ 41.45 แคลเซียม 16,684 มิลลิกรัม และโซเดียม 241.99 มิลลิกรัม จากผลการวิจัยพบว่าผงกระดุกปลาแชลมอนมีปริมาณโปรตีน ไขมัน และแคลเซียมที่สูง ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยของ Liaset, Julshamn and Espe (2002) ที่ศึกษาองค์ประกอบทางเคมีของชิ้นส่วนต่าง ๆ ของปลาแชลมอน ซึ่งจากงานวิจัยพบว่ากระดุกปลาแชลมอนที่ 100 กรัม มีปริมาณแคลเซียมประมาณ 16,700 มิลลิกรัม อีกทั้งปริมาณโปรตีนที่พบก็มีปริมาณใกล้เคียงกับงานวิจัยของ Toppe *et al.* (2007) พบว่ากระดุกปลาแชลมอนมีปริมาณร้อยละ 29.2

ตารางที่ 4.1 ผลการวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมี/โภชนาการผงกระดุกปลาแชลมนปริมาณ 100 กรัม

องค์ประกอบทางเคมี/โภชนาการ	ปริมาณ
ความชื้น (%)	1.58
พลังงานทั้งหมด (กิโลแคลอรี)	371.08
ไขมันทั้งหมด (%)	28.64
โปรตีน (%)	26.75
คาร์โบไฮเดรต (%)	1.58
ใยอาหาร (กรัม)	8.5
เถ้า (%)	41.45
แคลเซียม (มิลลิกรัม)	16,684
โซเดียม (มิลลิกรัม)	241.99

4.2 ผลการศึกษาคุณลักษณะทางเคมี-กายภาพ และทางประสาทสัมผัสของขนมขบเคี้ยว

4.2.1 ผลการทดลองหาสูตรมาตรฐาน

โดยรวบรวมสูตรขนมขบเคี้ยวจากกระบวนการเอกซ์ทราคชัน 3 สูตร เมื่อนำมาดัดแปลงวัตถุดิบ พบว่าผลิตภัณฑ์ขนมขบเคี้ยวมีส่วนผสมเป็นแป้งข้าวโพดมากที่สุดมากถึงร้อยละ 46.1-57.69 ตามด้วยแป้งข้าวเจ้าร้อยละ 20.05-46.1 น้ำตาลทรายร้อยละ 3.85-3.94 น้ำมันพืชร้อยละ 2.89-2.96 แคลเซียมคาร์บอเนตร้อยละ 0.96-0.99 นอกจากนี้ยังมีส่วนประกอบอื่น ๆ ได้แก่ แป้งมันฝรั่งร้อยละ 12.9 แสดงดังตารางที่ 4.2

ตารางที่ 4.2 ปริมาณวัตถุดิบของขนมขบเคี้ยวจากกระบวนการเอกซ์ทราคชันสูตรมาตรฐาน

วัตถุดิบ	ปริมาณ (ร้อยละ)		
	สูตร 1*	สูตร 2*	สูตร 3**
แป้งข้าวโพดบดหยาบ	56.16	46.1	57.69
แป้งข้าวเจ้า	20.05	46.1	34.61
น้ำตาลทราย	3.94	3.9	3.85
น้ำมันพืช	2.96	2.93	2.89
แคลเซียมคาร์บอเนต	0.99	0.97	0.96
แป้งมันฝรั่ง	12.9	0	0

หมายเหตุ: *สูตร 1 และ 2 อ้างอิงจากอรรถวรรณ คงพันธุ์, วชิร คงรัตน์ และรัศมีพร จิระเดชประไพ (2552)

**สูตร 3 อ้างอิงจากปฐมพงศ์ สมัครการ (มปป.)



ภาพที่ 1 ขนมหขบเคี้ยวจากกระบวนการเอกซ์ทรูชันสูตรมาตรฐาน

จากนั้นทำการประเมินคุณลักษณะทางประสาทสัมผัสของตัวอย่างขนมหขบเคี้ยวจากกระบวนการเอกซ์ทรูชันสูตรมาตรฐาน ด้วยการให้คะแนนความชอบแบบ 9-Point Hedonic Scale โดยผู้ประเมินทางประสาทสัมผัสระดับปฏิบัติการ 50 คน ทำการเตรียมตัวอย่างบรรจุขนมหขบเคี้ยวเสริมแคลเซียมจากผงกระดูกปลาแซลมอน (1 กรัม) ในถุงซิปล็อคใสติดรหัสสามตัวจากการสุ่มระหว่างประเมินแต่ละตัวอย่างทำการล้างปากด้วยน้ำเปล่า คุณลักษณะที่ทำการประเมิน ได้แก่ ลักษณะปรากฏ สี กลิ่น รสชาติ เนื้อสัมผัส และความชอบโดยรวม ผลดังตารางที่ 4.3

ตารางที่ 4.3 ผลคะแนนประเมินคุณลักษณะทางประสาทสัมผัสของขนมหขบเคี้ยวจากกระบวนการเอกซ์ทรูชันสูตรมาตรฐาน

คุณลักษณะทางประสาทสัมผัส	สูตร 1	สูตร 2	สูตร 3
สี	7.10±1.28 ^b	7.04±1.26 ^b	7.52±1.29 ^a
กลิ่น	6.42±1.27 ^b	6.60±1.37 ^b	7.20±1.19 ^a
รสชาติ	6.32±1.46 ^b	6.46±1.52 ^b	7.62±1.27 ^a
เนื้อสัมผัส	6.40±1.47 ^c	6.80±1.41 ^b	8.14±0.99 ^a
ความชอบโดยรวม	6.54±1.35 ^b	6.82±1.11 ^b	7.92±0.96 ^a

หมายเหตุ: a, b, c ตัวอักษรที่ต่างกันในแนวนอน หมายถึง มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 ($p \leq 0.05$)

จากผลการประเมินคุณลักษณะทางประสาทสัมผัสพบว่าคะแนนประเมินคุณลักษณะทางประสาทสัมผัสของขนมหขบเคี้ยวจากกระบวนการเอกซ์ทรูชันสูตรมาตรฐานทั้ง 3 สูตรพบว่ามีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) โดยขนมหขบเคี้ยวจากกระบวนการเอกซ์ทรูชันสูตรมาตรฐานสูตรที่ 3 ได้รับคะแนนคุณลักษณะทางประสาทสัมผัสสูงกว่าสูตรที่ 1 และ 2 ดังนี้ คะแนน

ด้านสีเท่ากับ 7.52 ± 1.29 ด้านกลิ่นเท่ากับ 7.20 ± 1.19 ด้านรสชาติเท่ากับ 7.62 ± 1.27 ด้านเนื้อสัมผัสเท่ากับ 8.14 ± 0.99 และด้านความชอบรวมเท่ากับ 7.92 ± 0.96 ดังนั้น จึงนำขนมขบเคี้ยวจากกระบวนการเอกซ์ทรูชันสูตรมาตรฐานสูตรที่ 3 มาศึกษาคุณลักษณะทางเคมีและกายภาพองค์ประกอบทางเคมี/โภชนาการ เพื่อนำไปกำหนดปริมาณส่วนประกอบหลักสำหรับการผลิตขนมขบเคี้ยวเสริมแคลเซียมจากผงกระดูกปลาแซลมอนต่อไป

4.2.2 ผลการศึกษาคุณลักษณะทางเคมีและกายภาพของขนมขบเคี้ยวจากกระบวนการเอกซ์ทรูชันสูตรมาตรฐานสูตรที่ 3

จากผลการศึกษาคุณลักษณะทางเคมีและกายภาพของขนมขบเคี้ยวจากกระบวนการเอกซ์ทรูชันสูตรมาตรฐานสูตรที่ 3 (ตารางที่ 4.4) พบว่า

1) ค่าความเป็นกรด-ด่าง (pH) มีค่าเท่ากับ 6.64 ซึ่งจัดเป็นอาหารประเภท Low acid food (ทิพาพร, 2536)

2) ค่าปริมาณน้ำอิสระ (a_w) มีค่าเท่ากับ 0.43 ซึ่งสอดคล้องกับรายงานพบว่าขนมขบเคี้ยวมักมีค่า a_w ประมาณ 0.3-0.4 จึงยับยั้งการเจริญเติบโตของจุลินทรีย์ได้เป็นอย่างดี (ฐานข้อมูลอุตสาหกรรมบรรจุภัณฑ์, มปป.) โดยค่า a_w ที่ต่ำเกิดจากกระบวนการทำแห้งหรือกระบวนการเอกซ์ทรูชัน (จุฬาลักษณ์, 2550)

3) ค่าสี ได้แก่ L^* a^* และ b^* มีค่าความสว่าง (L^*) เท่ากับ 82.12 มีค่าความเป็นสีแดง (a^*) เท่ากับ 1.06 และมีค่าความเป็นสีเหลือง (b^*) เท่ากับ 26.88 ผลิตภัณฑ์ที่ได้จึงมีลักษณะสีเหลืองอมส้ม

ตารางที่ 4.4 ผลการศึกษาคุณลักษณะทางเคมีและกายภาพของขนมขบเคี้ยวจากกระบวนการเอกซ์ทรูชันสูตรมาตรฐานสูตรที่ 3

คุณลักษณะทางเคมีและกายภาพ	ผลการวิเคราะห์
ค่าความเป็นกรด-ด่าง (pH)	6.64 ± 0.06
ปริมาณน้ำอิสระ (a_w)	0.43 ± 0.01
ค่าสี	
L^*	82.12 ± 0.99
a^*	1.06 ± 0.44
b^*	26.88 ± 1.56
ค่าลักษณะเนื้อสัมผัส	
ค่าความแข็ง กรัม (g)	$1,681 \pm 4.24$
ค่าความกรอบ กรัม (g)	$1,359 \pm 22.00$

หมายเหตุ ค่าที่แสดงเป็นค่าเฉลี่ย $\pm$ ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานจากการทดสอบ 3 ซ้ำ

4) ค่าลักษณะเนื้อสัมผัส ได้แก่ ค่าความแข็ง (Hardness) เท่ากับ 1,681 กรัม (g) หรือ เท่ากับ 16.48 นิวตัน และค่าความกรอบ (Crispness) เท่ากับ 1,359 กรัม (g) หรือ 13.33 นิวตัน โดยค่าความแข็งมีค่าน้อยกว่าการศึกษาผลิตภัณฑ์สูตรมาตรฐานที่อ้างอิงมาจากปฐมพงศ์ สมักรการ (มปป.) ซึ่งรายงานค่าความแข็งของผลิตภัณฑ์เท่ากับ 46.72 นิวตัน เนื่องจากการศึกษาสูตรมาตรฐานครั้งนี้มีการดัดแปลงสูตรโดยการเติมน้ำมันพืชลงไปเพื่อเพิ่มคุณลักษณะทางประสาทสัมผัส โดยค่าความแข็งที่ลดลงส่งผลให้ผลิตภัณฑ์สูตรมาตรฐานของขนมขบเคี้ยวมีคุณลักษณะทางประสาทสัมผัสที่ดี

4.2.3 ผลการศึกษาวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมี คุณค่าทางโภชนาการของขนมขบเคี้ยวจากกระบวนการเอกซ์ทรูชันสูตรมาตรฐานสูตรที่ 3

ในส่วนของผลการศึกษาองค์ประกอบทางเคมี/โภชนาการของขนมขบเคี้ยวจากกระบวนการเอกซ์ทรูชันสูตรมาตรฐานสูตรที่ 3 ซึ่งแสดงดังตารางที่ 4.5 พบว่าขนมขบเคี้ยวจากกระบวนการเอกซ์ทรูชันสูตรมาตรฐานสูตรที่ 3 ในปริมาณ 100 กรัม มีปริมาณความชื้นร้อยละ 7.20 พลังงานทั้งหมด 385.73 กิโลแคลอรี พลังงานจากไขมัน 56.07 กิโลแคลอรี ไขมันทั้งหมดร้อยละ 4.01 โปรตีนร้อยละ 5.86 คาร์โบไฮเดรตร้อยละ 81.55 โยอาหารร้อยละ 0.93 เกล้าร้อยละ 1.38 แคลเซียม 416.11 มิลลิกรัม และโซเดียม 4.67 มิลลิกรัม โดยพลังงานที่ได้รับจากขนมขบเคี้ยวซึ่งผลิตโดยกระบวนการเอกซ์ทรูชันสูตรมาตรฐานสูตรที่ 3 มาจากวัตถุดิบแป้งข้าวโพดบดหยาบ แป้งข้าวเจ้า น้ำตาลทราย และน้ำมันพืชเป็นส่วนประกอบหลัก

ตารางที่ 4.5 ผลการศึกษาองค์ประกอบทางเคมี/โภชนาการของขนมขบเคี้ยวจากกระบวนการเอกซ์ทรูชันสูตรมาตรฐานสูตรที่ 3 ปริมาณ 100 กรัม

องค์ประกอบทางเคมี/โภชนาการ	ปริมาณ
ความชื้น (%)	7.20
พลังงานทั้งหมด (กิโลแคลอรี)	385.73
พลังงานจากไขมัน (กิโลแคลอรี)	56.07
ไขมันทั้งหมด (%)	4.01
โปรตีน (%)	5.86
คาร์โบไฮเดรต (%)	81.55
ใยอาหาร (%)	0.93
น้ำตาล (%)	4.62
เกลือ (%)	1.38
แคลเซียม (มิลลิกรัม)	416.11
โซเดียม (มิลลิกรัม)	4.67

4.3 ผลการศึกษาอัตราส่วนที่เหมาะสมในการเสริมแคลเซียมจากผงกระดูกปลาแชลมอนของผลิตภัณฑ์ของขนมขบเคี้ยว คุณลักษณะทางประสาทสัมผัส คุณลักษณะทางเคมี คุณลักษณะทางกายภาพ และองค์ประกอบทางเคมี

4.3.1 ผลการประเมินคุณลักษณะทางประสาทสัมผัสของอัตราส่วนที่เหมาะสมในการเสริมแคลเซียมจากผงกระดูกปลาแชลมอน

โดยการศึกษาการผลิตผลิตภัณฑ์ขนมขบเคี้ยวโดยกระบวนการเอกซ์ทรูชัน ใช้ผงกระดูกปลาแชลมอน ร้อยละ 10 20 และ 30 ของปริมาณแป้งทั้งหมด



ภาพที่ 4.1 ขนมขบเคี้ยวเสริมแคลเซียมจากผงกระดูกปลาแชลมอน ร้อยละ 10 20 และ 30 และสูตรควบคุม

จากการประเมินคุณลักษณะทางประสาทสัมผัสของขนมขบเคี้ยวเสริมแคลเซียมจากผงกระดูกปลาแชลมอนด้วยการให้คะแนนความชอบแบบ 9-Point Hedonic Scale โดยผู้ประเมินทางประสาทสัมผัสระดับปฏิบัติการ 50 คน พบว่าผลคะแนนประเมินคุณลักษณะทางประสาทสัมผัสของขนมขบเคี้ยวเสริมแคลเซียมจากผงกระดูกปลาแชลมอนร้อยละ 10 20 และ 30 ของปริมาณแป้งและสูตรมาตรฐานมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) ดังแสดงในตารางที่ 4.7

คุณลักษณะทางประสาทสัมผัสด้านสี ขนมขบเคี้ยวเสริมแคลเซียมจากผงกระดูกปลาแชลมอนร้อยละ 10 มีคะแนนที่แตกต่างกับสูตรอื่นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) โดยมีคะแนนเท่ากับ 7.74 ± 1.02 ซึ่งเป็นคะแนนที่สูงที่สุด ในขณะที่คะแนนของขนมขบเคี้ยวสูตรควบคุม (7.20 ± 1.12) คะแนนของขนมขบเคี้ยวเสริมแคลเซียมจากผงกระดูกปลาแชลมอนร้อยละ 20 (6.94 ± 1.15) และร้อยละ 30 (6.88 ± 1.33) ไม่มีความแตกต่างกัน ซึ่งคะแนน 7.20 และ 7.74 อยู่ในเกณฑ์ชอบปานกลางถึงชอบมาก ในขณะที่สูตรเสริมแคลเซียมจากผงกระดูกปลาแชลมอนร้อยละ 20 และร้อยละ 30 มีคะแนนความชอบอยู่ในเกณฑ์ชอบปานกลางเนื่องจากมีสีเหลืองค่อนข้างเข้มมากเกินไป

คุณลักษณะทางประสาทสัมผัสด้านกลิ่น ผลการศึกษาพบว่าขนมขบเคี้ยวเสริมแคลเซียมจากผงกระดูกปลาแซลมอนร้อยละ 10 มีคะแนนที่สูงที่สุด โดยมีคะแนนเท่ากับ 7.32 ± 1.49 โดยมีคะแนนความชอบอยู่ในเกณฑ์ชอบมาก สูตรที่ได้คะแนนความชอบรองลงมาคือสูตรควบคุมโดยมีคะแนนเท่ากับ 6.84 ± 1.20 คะแนนของขนมขบเคี้ยวเสริมแคลเซียมจากผงกระดูกปลาแซลมอนร้อยละ 20 เท่ากับ 6.44 ± 1.28 และคะแนนของขนมขบเคี้ยวเสริมแคลเซียมจากผงกระดูกปลาแซลมอนร้อยละ 30 เท่ากับ 6.12 ± 1.18 ตามลำดับ ซึ่งคะแนนอยู่ในเกณฑ์ชอบเล็กน้อยถึงปานกลาง

คุณลักษณะทางประสาทสัมผัสด้านรสชาติ ผลการศึกษาพบว่าขนมขบเคี้ยวเสริมแคลเซียมจากผงกระดูกปลาแซลมอนร้อยละ 10 มีคะแนนที่สูงที่สุด โดยมีคะแนนเท่ากับ 7.38 ± 1.48 ซึ่งอยู่ในเกณฑ์ชอบมาก ตามด้วยคะแนนของขนมขบเคี้ยวสูตรควบคุมเท่ากับ 7.04 ± 1.27 คะแนนของขนมขบเคี้ยวเสริมแคลเซียมจากผงกระดูกปลาแซลมอนร้อยละ 20 เท่ากับ 6.42 ± 1.24 และคะแนนของขนมขบเคี้ยวเสริมแคลเซียมจากผงกระดูกปลาแซลมอนร้อยละ 30 เท่ากับ 6.06 ± 1.20 ซึ่งคะแนนอยู่ในเกณฑ์ชอบเล็กน้อยถึงปานกลาง

คุณลักษณะทางประสาทสัมผัสด้านเนื้อสัมผัส ผลการศึกษาพบว่าขนมขบเคี้ยวเสริมแคลเซียมจากผงกระดูกปลาแซลมอนร้อยละ 10 มีคะแนนที่สูงที่สุด โดยมีคะแนนเท่ากับ 7.80 ± 1.10 ตามด้วยคะแนนของขนมขบเคี้ยวสูตรควบคุมเท่ากับ 7.38 ± 1.08 ซึ่งอยู่ในเกณฑ์ชอบมาก คะแนนของขนมขบเคี้ยวเสริมแคลเซียมจากผงกระดูกปลาแซลมอนร้อยละ 20 เท่ากับ 6.82 ± 1.17 และคะแนนของขนมขบเคี้ยวเสริมแคลเซียมจากผงกระดูกปลาแซลมอนร้อยละ 30 เท่ากับ 6.26 ± 1.45 ซึ่งคะแนนอยู่ในเกณฑ์ชอบเล็กน้อยถึงปานกลาง

ในส่วนของด้านความชอบโดยรวม ผลการศึกษาพบว่า คะแนนผลการประเมินมีความแตกต่างกันอย่างมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) โดยที่ขนมขบเคี้ยวเสริมแคลเซียมจากผงกระดูกปลาแซลมอนร้อยละ 10 มีคะแนนที่สูงที่สุด โดยมีคะแนนเท่ากับ 7.78 ± 1.21 ซึ่งอยู่ในเกณฑ์ชอบมาก ตามด้วยคะแนนของขนมขบเคี้ยวสูตรควบคุมเท่ากับ 7.20 ± 1.10 คะแนนของขนมขบเคี้ยวเสริมแคลเซียมจากผงกระดูกปลาแซลมอนร้อยละ 20 เท่ากับ 6.56 ± 1.21 และคะแนนของขนมขบเคี้ยวเสริมแคลเซียมจากผงกระดูกปลาแซลมอนร้อยละ 30 เท่ากับ 6.10 ± 1.40 ซึ่งคะแนนอยู่ในเกณฑ์ชอบเล็กน้อยถึงปานกลาง

ตารางที่ 4.7 ผลคะแนนประเมินคุณลักษณะทางประสาทสัมผัสของขนมขบเคี้ยวเสริมแคลเซียมจากผงกระดูกปลาแซลมอนร้อยละ 10 20 และ 30 ของปริมาณแบ่งทั้งหมด

คุณลักษณะทางประสาทสัมผัส	ปริมาณการเสริมผงกระดูกปลาแซลมอน (ร้อยละ)			
	สูตรควบคุม	10	20	30
สี	7.20±1.12 ^b	7.74±1.02 ^a	6.94±1.15 ^b	6.88±1.33 ^b
กลิ่น	6.84±1.20 ^b	7.32±1.49 ^a	6.44±1.28 ^b	6.12±1.18 ^c
รสชาติ	7.04±1.27 ^a	7.38±1.48 ^a	6.42±1.24 ^b	6.06±1.20 ^b
เนื้อสัมผัส	7.38±1.08 ^a	7.80±1.10 ^a	6.82±1.17 ^b	6.26±1.45 ^c
ความชอบโดยรวม	7.20±1.10 ^b	7.78±1.21 ^a	6.56±1.21 ^c	6.10±1.40 ^d

หมายเหตุ: a, b ตัวอักษรที่ต่างกันในแต่ละแถว หมายถึง มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 ($p \leq 0.05$)

เนื่องจากผลการประเมินคุณลักษณะทางประสาทสัมผัสของขนมขบเคี้ยวเสริมแคลเซียมจากผงกระดูกปลาแซลมอน พบว่าคะแนนของขนมขบเคี้ยวเสริมแคลเซียมจากผงกระดูกปลาแซลมอนร้อยละ 10 มีคะแนนที่สูงที่สุดในทุกด้านและมีความแตกต่างกับสูตรอื่นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) ดังนั้นจึงนำขนมขบเคี้ยวเสริมแคลเซียมจากผงกระดูกปลาแซลมอนร้อยละ 10 มาวิเคราะห์คุณลักษณะทางเคมีและกายภาพ และองค์ประกอบทางเคมี/คุณค่าทางโภชนาการต่อไป

4.3.2 ผลการศึกษาคุณลักษณะทางเคมีและกายภาพของขนมขบเคี้ยวเสริมแคลเซียมจากผงกระดูกปลาแซลมอน

จากผลการศึกษาคุณลักษณะทางเคมีและกายภาพของขนมขบเคี้ยวเสริมแคลเซียมจากผงกระดูกปลาแซลมอน ร้อยละ 10 ได้แก่ การศึกษาค่าความเป็นกรด-ด่าง (pH) ปริมาณน้ำอิสระ (a_w) ค่าสี และค่าลักษณะเนื้อสัมผัส (ตารางที่ 4.8) พบว่า เมื่อนำข้อมูลผลการศึกษาคุณลักษณะทางเคมีและกายภาพของขนมขบเคี้ยวจากกระบวนการเอกซทราซันสูตรมาตรฐานสูตรที่ 3 และขนมขบเคี้ยวเสริมแคลเซียมจากผงกระดูกปลาแซลมอน พบว่าค่า pH ของผลิตภัณฑ์เพิ่มขึ้นเล็กน้อยจาก 6.64 เป็น 6.67 ซึ่งก็ยังจัดเป็นอาหารประเภท Low acid food (ทิพาพร, 2536) โดยทั่วไปค่า pH ของอาหารสามารถใช้ในการจำแนกประเภทของอาหาร อาหารที่มีค่า pH ต่ำกว่า 4.6 จัดเป็นอาหารที่มีความเป็นกรด (Acid food) และอาหารที่มีค่า pH สูงกว่า 4.6 จัดเป็นอาหารที่มีความเป็นกรดต่ำ การทดลองค่า pH ของขนมขบเคี้ยวเสริมแคลเซียมจากผงกระดูกปลาแซลมอนร้อยละ 10 ที่จัดอยู่ในช่วงเป็นกลางก็จะมีรสชาติที่เป็นกลาง (Shafiur, 1999) อาหารที่มีความเป็นกรดสูงจะมีรสเปรี้ยว การบริโภคอาหารที่มีสภาวะเป็นกรดที่มากเกินไปอาจทำให้เสี่ยงต่อการเกิดโรคต่าง ๆ ได้ เช่น โรคกระดูกพรุน โรคไต โรคเบาหวาน (อิศรา, 2557) ในขณะที่ปริมาณน้ำอิสระ (a_w) เพิ่มขึ้นจาก

0.43 เป็น 0.48 ทั้งนี้ค่าวอเตอร์แอกทิวิตี (a_w) ของผลิตภัณฑ์อาหารขึ้นกับปัจจัยต่าง ๆ เช่น กระบวนการกำจัดน้ำออกจากอาหาร โดยการนำส่วนประกอบมาทำแห้งซึ่งอาจทำได้หลายวิธี เช่น การตากแดด การอบแห้ง การอบแห้งสุญญากาศ ค่า a_w นั้น เป็นปัจจัยสำคัญในการคาดคะเน การเก็บอาหาร และเป็นตัวบ่งชี้ถึงความปลอดภัยของอาหาร ค่า a_w บ่งบอกถึงการควบคุมการอยู่รอด การเจริญและการสร้างสารพิษของจุลินทรีย์ (ฐานข้อมูลอุตสาหกรรมบรรจุภัณฑ์, มปป.) ค่าสีของ ผลิตภัณฑ์ ได้แก่ ค่าความสว่าง (L^*) ขนมอบเคี้ยวจากกระบวนการเอกซ์ทรูชันสูตรมาตรฐานสูตรที่ 3 มีค่าเท่ากับ 82.12 เมื่อเติมผงกระดูกแคลเซียมร้อยละ 10 มีค่า L^* เท่ากับ 82.51 ซึ่งมีความแตกต่างกัน ส่วนค่าความเป็นสีแดง (a^*) เพิ่มขึ้นจาก 1.06 เป็นเท่ากับ 2.90 และมีค่าความเป็นสีเหลือง (b^*) เปลี่ยนจาก 26.88 เป็น 31.03 โดยการเติมผงกระดูกปลาแซลมอนทำให้ค่าความเป็นสีแดงและสีเหลืองเพิ่มขึ้น และเมื่อพิจารณาผลการศึกษาคูณลักษณะเนื้อสัมผัสของ 2 ผลิตภัณฑ์พบว่า ค่าความแข็ง (Hardness) ลดลง แต่ค่าความกรอบเพิ่มขึ้น ส่งผลให้ผลิตภัณฑ์ที่ได้มีคุณลักษณะเนื้อสัมผัสที่ดีขึ้น ดังตารางที่ 4.8

ตารางที่ 4.8 ผลการศึกษาคูณลักษณะทางเคมีและกายภาพของขนมอบเคี้ยวเสริมแคลเซียมจาก ผงกระดูกปลาแซลมอนร้อยละ 10

คุณลักษณะทางเคมีและกายภาพ		ปริมาณ
ค่าความเป็นกรด-ด่าง (pH)		6.67±0.01
ปริมาณน้ำอิสระ (a_w)		0.48±0.01
ค่าสี		
	L^*	82.51±0.60
	a^*	2.90±0.61
	b^*	31.03±1.48
คุณลักษณะเนื้อสัมผัส		
	ค่าความแข็ง กรัม (g)	1484±20.51
	ค่าความกรอบ กรัม (g)	1395±2.83

หมายเหตุ ค่าที่แสดงเป็นค่าเฉลี่ย ± ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานจากการทดสอบ 3 ซ้ำ

4.3.3 ผลการศึกษาวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมี และคุณค่าทางโภชนาการของขนมขบเคี้ยวเสริมแคลเซียมจากผงกระดูกปลาแซลมอนร้อยละ 10

ผลการศึกษาองค์ประกอบทางเคมี/โภชนาการของขนมขบเคี้ยวเสริมแคลเซียมจากผงกระดูกปลาแซลมอนร้อยละ 10 ซึ่งแสดงดังตารางที่ 4.9 พบว่าขนมขบเคี้ยวเสริมแคลเซียมจากผงกระดูกปลาแซลมอนร้อยละ 10 ปริมาณ 100 กรัม มีปริมาณความชื้นร้อยละ 6.97 พลังงานทั้งหมด 383.23 กิโลแคลอรี พลังงานจากไขมัน 56.07 กิโลแคลอรี ไขมันทั้งหมดร้อยละ 6.23 โปรตีนร้อยละ 7.75 คาร์โบไฮเดรตร้อยละ 74.04 โยอาหารร้อยละ 1.63 น้ำตาลร้อยละ 4.17 เกล้าร้อยละ 5.01 แคลเซียม 1,830 มิลลิกรัม และโซเดียม 25.60 มิลลิกรัม

ผลการวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมี/คุณค่าทางโภชนาการของขนมขบเคี้ยวจากกระบวนการเอกซ์ทรูชันสูตรมาตรฐานสูตรที่ 3 และขนมขบเคี้ยวเสริมแคลเซียมจากผงกระดูกปลา ร้อยละ 10 ปริมาณ 100 กรัม พบว่าจากการเติมผงกระดูกปลาแซลมอนร้อยละ 10 ลงไปทำให้ปริมาณความชื้นลดลงจากร้อยละ 7.20 เป็นร้อยละ 6.97 พลังงานและปริมาณน้ำตาลลดลงเล็กน้อย ในขณะที่ไขมัน โปรตีน โยอาหารเพิ่มขึ้นเล็กน้อย ส่วนที่เพิ่มขึ้นในปริมาณสูง ได้แก่ ปริมาณเถ้าเพิ่มขึ้นจากร้อยละ 1.38 เป็น ร้อยละ 5.01 ปริมาณแคลเซียมเพิ่มขึ้นจาก 416.11 มิลลิกรัม เป็น 1,830 มิลลิกรัม และปริมาณโซเดียมเพิ่มขึ้นจาก 4.67 มิลลิกรัมเป็น 25.60 มิลลิกรัม ดังแสดงในตารางที่ 11 เนื่องจากผงกระดูกปลาแซลมอนมีปริมาณเถ้า และแคลเซียมในปริมาณสูง (Liaset, et.al. 2003)

ตารางที่ 4.9 ผลการวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมี และคุณค่าทางโภชนาการของขนมขบเคี้ยวเสริมแคลเซียมจากผงกระดูกปลาแซลมอนร้อยละ 10 ในปริมาณ 100 กรัม

องค์ประกอบทางเคมี/โภชนาการ	ปริมาณ
ความชื้น (%)	6.97
พลังงานทั้งหมด (กิโลแคลอรี)	383.23
ไขมันทั้งหมด (%)	6.23
โปรตีน (%)	7.75
คาร์โบไฮเดรต (%)	74.04
โยอาหาร (%)	1.63
น้ำตาล (%)	4.17
เถ้า (%)	5.01
แคลเซียม (มิลลิกรัม)	1,830
โซเดียม (มิลลิกรัม)	25.60

บทที่ 5

สรุปผลการวิจัย

5.1 สรุปและอภิปรายผล

จากการพัฒนาผลิตภัณฑ์ขนมขบเคี้ยวเสริมแคลเซียมจากผงกระดูกปลาแซลมอนสามารถสรุปผลได้ดังนี้

การผลิตผงกระดูกปลาแซลมอน เริ่มจากนำกระดูกปลาแซลมอนมาล้างทำความสะอาด ต้มในน้ำเดือด นาน 25-30 นาที แล้วนำกระดูกปลาแซลมอนมาต้มอีกครั้งด้วยหม้ออัดแรงดัน จากนั้นนำไปอบด้วยอุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียส นาน 60 นาที บดกระดูกปลาแซลมอนอบแห้งที่ได้ให้ละเอียดแล้วร่อนผ่านตะแกรงขนาด 10 เมช และเมื่อวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมีพบว่าผงกระดูกปลาแซลมอนที่ 100 กรัม มีปริมาณความชื้นเท่ากับ 1.58 เปอร์เซ็นต์ (%) พลังงานทั้งหมดเท่ากับ 371.08 กิโลแคลอรี ไขมันทั้งหมดเท่ากับ 28.64 เปอร์เซ็นต์ (%) โปรตีนเท่ากับ 26.75 เปอร์เซ็นต์ (%) คาร์โบไฮเดรตเท่ากับ 1.58 เปอร์เซ็นต์ (%) โยอาหารเท่ากับ 8.5 กรัม แคลเซียมเท่ากับ 16,684 มิลลิกรัม เถ้าเท่ากับ 41.45 เปอร์เซ็นต์ (%) และโซเดียมเท่ากับ 241.99 มิลลิกรัม

สูตรมาตรฐานของขนมขบเคี้ยวที่ได้จากการประเมินคุณลักษณะทางประสาทสัมผัสจากผู้บริโภคจำนวน 50 คน พบว่ามีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) โดยขนมขบเคี้ยวจากกระบวนการเอกซ์ทรูชันสูตรมาตรฐานสูตรที่ 3 ได้รับคะแนนคุณลักษณะทางประสาทสัมผัสสูงกว่าสูตรที่ 1 และ 2 ซึ่งประกอบไปด้วยส่วนผสมหลัก ได้แก่ แป้งข้าวโพดบดหยาบ 57.69 % แป้งข้าวเจ้า 34.61 น้ำตาลทราย 3.85 ไขมันพืช 2.89 และแคลเซียมคาร์บอเนต 0.96 โดยผลิตภัณฑ์มีค่าความเป็นกรด-ด่าง (pH) เท่ากับ 6.64 ค่าปริมาณน้ำอิสระ (a_w) เท่ากับ 0.43 ค่าสี ได้แก่ L^* , a^* และ b^* มีค่าเท่ากับ 82.12, 1.06 และ 26.88 ตามลำดับ ในขณะที่ค่าความแข็ง 1,681 กรัม และค่าความกรอบ 1,359 กรัม

ผลิตภัณฑ์ที่ได้จากงานวิจัยนี้คือขนมขบเคี้ยวเสริมแคลเซียมจากผงกระดูกปลาแซลมอน ร้อยละ 10 โดยมีคะแนนประเมินคุณลักษณะทางประสาทสัมผัสสูงที่สุดในทุกด้านและมีความแตกต่างกับสูตรอื่นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) และเมื่อนำไปวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมี ดังนี้ ปริมาณความชื้นร้อยละ 6.97 พลังงานทั้งหมด 383.23 กิโลแคลอรี พลังงานจากไขมัน 56.07 กิโลแคลอรี ไขมันทั้งหมด 6.23 โปรตีนร้อยละ 7.75 คาร์โบไฮเดรตร้อยละ 74.04 โยอาหารร้อยละ 1.63 น้ำตาลร้อยละ 4.17 เถ้าร้อยละ 5.01 แคลเซียม 1,830 มิลลิกรัม และโซเดียม 25.60 มิลลิกรัม

5.2 ข้อเสนอแนะ

5.2.1 เนื่องจากผงกระดุกก้างปลาแหลมอนที่ได้ยังมีกลิ่นคาว จึงควรศึกษาการกำจัดกลิ่นออกให้หมดเพื่อคุณลักษณะที่ดีของผลิตภัณฑ์

5.2.2 เนื่องจากผลิตภัณฑ์ขนมขบเคี้ยวเสริมแคลเซียมจากผงกระดุกปลาแหลมอนมีปริมาณแคลเซียมสูง คือปริมาณ 100 กรัม มีแคลเซียม 1830 มิลลิกรัม ดังนั้นในการรับประทานควรพิจารณาปริมาณแคลเซียมที่แนะนำให้บริโภคต่อวัน (Thai DRI) แบ่งตามอายุ และเพศ ได้แก่ วันเด็ก 1-3 ปี ต้องการแคลเซียม 500 มิลลิกรัมต่อวัน ดังนั้นรับประทานผลิตภัณฑ์เพียง 27 กรัมก็ส่งผลให้ได้รับแคลเซียมเพียงพอต่อความต้องการของร่างกายต่อวันแล้ว ซึ่งหากบริโภคมากเกินไปปริมาณที่แนะนำต่อวันอาจส่งผลเสียต่อร่างกาย เช่น ท้องผูก ท้องอืดแน่นท้อง หรือส่งผลกระทบต่อกระบวนการดูดซึมแร่ธาตุบางตัวได้ (สำนักโภชนาการ กรมอนามัย กระทรวงสาธารณสุข, 2563)



ประวัติผู้วิจัย

ชื่อ-นามสกุล	นางสาวลลิตา ปานแก้ว
เกิดวันที่	3 พฤศจิกายน 2525
ประวัติการศึกษา	ส.ม. (โภชนาการชุมชน) ภาควิชาโภชนศาสตร์ คณะสาธารณสุขศาสตร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น ศศ.บ. (อาหารและโภชนาการ) คณะเทคโนโลยีคหกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลกรุงเทพ
ประวัติการทำงาน	อาจารย์ประจำสาขาวิชาอาหารและโภชนาการ ภาควิชาเทคโนโลยีการอาหารและโภชนาการ คณะเทคโนโลยีคหกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลกรุงเทพ
นำเสนอผลงานทางวิชาการ	ลลิตา ปานแก้ว นริศรา อุทัย และชรัตน์ แย้มพวง. 2560. การพัฒนาตำรับอาหารไทยเพื่อสุขภาพประเภทแกงโดยใช้นม ถั่วเหลืองทดแทนการใช้กะทิ. การประชุมวิชาการระดับชาติ CRRU RESEARCH SHOW 2017. หน้า 390-400. ภาวนา ชลาภิรมย์ ลลิตา ปานแก้ว และสุรีย์รัตน์ เอ็มพรหม. 2561. การพัฒนาตำรับน้ำพริกเผ่าฟักทองเสริมงา. การประชุม วิชาการระดับชาติเชิงสร้างสรรค์ ราชชมงคลกรุงเทพวิชาการ 2561 ครั้งที่ 2 (2nd National Conference on Creative Technology (CreTech 2018)). (Oral Presentation)

ประวัติผู้วิจัย

ชื่อ-นามสกุล	นางสาวภาพิมล ประจงพันธ์
เกิดวันที่	20 มิถุนายน 2534
ประวัติการศึกษา	วท.ม. (คหกรรมศาสตร์) ภาควิชาคหกรรมศาสตร์ คณะเกษตร มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ คศ.บ. (อาหารและโภชนาการ) ภาควิชาคหกรรมศาสตร์ คณะเทคโนโลยีคหกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคล กรุงเทพ
ประวัติการทำงาน	อาจารย์ประจำสาขาวิชาอาหารและโภชนาการ ภาควิชาเทคโนโลยีการอาหารและโภชนาการ คณะเทคโนโลยีคหกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลกรุงเทพ
นำเสนอผลงานทางวิชาการ	ภาพิมล ประจงพันธ์, อำพร แจ่มผล, ทิพากร ม่วงถึก และ ศิริพร เรียบร้อย คิม. 2562. คุณค่าทางโภชนาการและคุณลักษณะบาง ประการของพริกเคาะทางการค้าที่มีเนื้อปลา. 367-375. การ ประชุมวิชาการ ครั้งที่ 57 ของมหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์. ศิริณาย เปี้ยตัน, อำพร แจ่มผล, พรทิพย์ พสุกมลเศรษฐ์ และ ภาพิมล ประจงพันธ์. คุณค่าทางโภชนาการ คุณลักษณะทาง กายภาพและการยอมรับทางประสาทสัมผัสของเต้าหู้ไข่ทาง การค้า. การประชุมวิชาการระดับชาติการวิจัยประยุกต์ ประจำปี 2564 มหาวิทยาลัยนอร์ทกรุงเทพ.

ประวัติผู้วิจัย

ชื่อ-นามสกุล	นางสาวรังสิตา จันทร์หอม
เกิดวันที่	16 มกราคม 2536
ประวัติการศึกษา	วท.ม. (คหกรรมศาสตร์) ภาควิชาคหกรรมศาสตร์ คณะเกษตร มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ คศ.บ. (อาหารและโภชนาการ) คณะเทคโนโลยีคหกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี
ประวัติการทำงาน	อาจารย์ประจำสาขาคหกรรมศาสตร์ คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏนครสวรรค์
นำเสนอผลงานทางวิชาการ	รังสิตา จันทร์หอม และทศพร โพธิ์เนียม, 2564. การพัฒนา ผลิตภัณฑ์ขนมโมจิไส้เห็ดหอม. การประชุมวิชาการระดับชาติ วิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีระหว่างสถาบัน ครั้งที่ 8 มหาวิทยาลัย ราชภัฏวไลยอลงกรณ์: 26 มีนาคม 2564 Kansuda Wunjuntuk, Mehraj Ahmad, TaweesakTechakriengkrai, Rangsit Chunhom, Euaphorn Jaraspermsuk, Akkarapol Chaisria, Rujira Kiwwongngam, Siriluk Wuttimongkolkul and Somsri Charoenkiatkule, 2022. Proximate composition, dietary fibre, beta-glucan content, and inhibition of key enzymes linked to diabetes and obesity in cultivated and wild mushrooms. Journal of Food Composition and Analysis 105. รังสิตา จันทร์หอม, ทศพร โพธิ์เนียม และนารีรัตน์ บุญลักษณ์, 2564. การพัฒนาผลิตภัณฑ์ไส้ข้าวกล้อง กข 43 กึ่งสำเร็จรูปผสม เห็ดรวม. การประชุมวิชาการระดับชาติ นนทรีอีสาน ครั้งที่ 9 ประจำปี 2564 มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ วิทยาเขตเฉลิมพระ เกียรติ จังหวัดสกลนคร 27 พฤศจิกายน 2564.

บรรณานุกรม

- กัญญารัตน์ สุวรรณทีป. 2557. การใช้กระบวนการเอกซ์ทราซันในอุตสาหกรรมแปรรูปข้าวเพื่อ
ยกระดับเศรษฐกิจไทยสู่สากลโลก. สถาบันวิจัยและพัฒนาแห่งมหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.
ขวัญจิตต์ อนุกุลวัฒนา และธนาวรรณ สุขเกษม. 2561. การพัฒนาผลิตภัณฑ์ขนมขบเคี้ยวจากข้าว
เหนียวดำ (*Oryza sativa* L.) สายพันธุ์ลิ้มฟัว. วารสารวิทยาศาสตร์ มข.
2561;46(3):427-433.
- จุฬาลักษณ์ จารุณข. 2550. ขนมขบเคี้ยวจากเครื่องเอ็กซ์ทราเดอร์. วารสารอาหาร. 37, 611-666.
- ชญาณิศ คล่องแคล่ว. 2561. การพัฒนาผลิตภัณฑ์ขนมขบเคี้ยวชนิดกรอบจากข้าวเจ้า
เสริมรส หอมจากหอมกล้าย. วิทยานิพนธ์สาขาวิชาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีอาหาร
คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยบูรพา.
- ทิพาพร อยู่วิทยา. 2536. สารละลายเกี่ยวกับอาหารกระป๋องที่มีความเป็นกรดต่ำ. อาหาร 23(1):
47-52.
- นิธิยา รัตนพานนท์ และวิบูลย์ รัตนพานนท์. 2556. หลักโภชนศาสตร์. สำนักพิมพ์โอเดียนสโตร์.
กรุงเทพ.
- นิภาพร กุลณา, ปาริสุทธิ์ เฉลิมชัยวัฒน์, นื่องนุช ศิริวงศ์ และวศพร จันทร์พุม. 2561. คุณค่าทาง
โภชนาการ สมบัติทางกายภาพ และการยอมรับทางประสาทสัมผัสของขนมขบเคี้ยวที่ได้รับ
ผลจากอัตราส่วนของแป้งข้าวสาลีหลักต่อแป้งข้าวฟ่างดำที่แตกต่างกัน. วารสาร
วิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี. 28(3): 419-428.
- ปฐมพงศ์ สมักรการ. 2557. การพัฒนาผลิตภัณฑ์ขนมขบเคี้ยวจากน้ำนมข้าวผงด้วยเทคโนโลยี
เอกซ์ทราซัน. (รายงานผลการวิจัย). นนทบุรี: มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลสุวรรณภูมิ.
- ประเสริฐ สายสิทธิ์. 2527. กรรมวิธีอุตสาหกรรมประมง. สถาบันค้นคว้าและพัฒนาผลิตภัณฑ์
อาหาร. มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, กรุงเทพฯ
- พนิดา เริงกมล. 2536. การเปรียบเทียบผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนเรื่องขนมขบเคี้ยวของนักเรียนชั้น
ประถมศึกษาปีที่ 6 ที่เรียนโดยใช้บทเรียนสำเร็จรูปและวิธีบรรยาย. วิทยานิพนธ์ปริญญา
วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต(สาธารณสุขศาสตร์). สาขาวิชาเอก อนามัยครอบครัว. กรุงเทพฯ:
บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยมหิดล.
- พรณทิพย์ สุวรรณสารกุล และสิริรัตน์ จงฤทธิพร. 2555. การพัฒนาผลิตภัณฑ์เพิ่มมูลค่าจากเศษ
เหลือการแปรรูปปลาโฌ. กองพัฒนาอุตสาหกรรมสัตว์น้ำ กรมประมง กระทรวงเกษตรและ
สหกรณ์

พิชญญา เจียมณี. 2552. การเสริมแคลเซียมในผลิตภัณฑ์ ขนมอบกรอบด้วยก้างปลาป่น.

ปริญญาานิพนธ์ปริญญาบัณฑิต, มหาวิทยาลัยราชภัฏสุราษฎร์ธานี.

พิมพ์เพ็ญ พรเฉลิมพงศ์ และนิธิยา รัตนานนท์. 2564. Extrusion / การอัดผ่านเกลียว หรือเอ็กซ์

ทรูชัน[อินเทอร์เน็ต]; มปป. [เข้าถึงเมื่อ 14 มีนาคม 2564]. จาก:

[http://www.foodnetworksolution.com/wiki/word/0311/extrusion-](http://www.foodnetworksolution.com/wiki/word/0311/extrusion-%E0%B8%81)

[aE0%B8%81.](http://www.foodnetworksolution.com/wiki/word/0311/extrusion-%E0%B8%81)

โพสท์ทูเดย์. 2559. มลพิษจากอาหารเหลือ. [อินเทอร์เน็ต] [เข้าถึงเมื่อ 14 มีนาคม 2564]. จาก:

<https://www.posttoday.com/life/healthy/464509> ภาควิชาเทคโนโลยีการบรรจุและวัสดุ.

วรวิมล บุญลี. 2541. การศึกษาเครื่องเอ็กซ์ทรูเดอร์. ปัญหาพิเศษ. มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ กรุงเทพมหานคร.

วิศิษฐ์ วามวาณิชย์. 2560. แคลเซียม ช่วยป้องกันโรคกระดูกพรุน. ภาควิชาศัลยศาสตร์ออร์โธปิดิกส์ และกายภาพบำบัด คณะแพทยศาสตร์ศิริราชพยาบาล.

สรุจ เล็กสุขศรี และอรนิภา วงศ์สีลโชติ. 2562. เสริม “แคลเซียม” อย่างไรให้ปลอดภัยและได้ผล.

หน่วยกิตการศึกษาต่อเนื่องสำหรับผู้ประกอบวิชาชีพเภสัชกรรม. สภาเภสัชกรรม.

สิริพันธ์ จุลกรังคะ. 2550. โภชนศาสตร์เบื้องต้น. พิมพ์ครั้งที่ 5. กรุงเทพฯ: สำนักพิมพ์

มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

สิริมา ชินสาร, วิษณณิ ยืนยงพุทธกาล และกฤษณะ ชินสาร. 2555. การพัฒนาขนมขบเคี้ยวเพื่อ

สุขภาพจากซูริมิและแป้งลูกเต๋อย. รายงานวิจัยฉบับสมบูรณ์โครงการ คณะวิทยาศาสตร์

มหาวิทยาลัยบูรพา.

สุธาสิณี ศรีวิไล ปาริสุทธิ์ เฉลิมชัยวัฒน์ นื่องนุช ศิริวงศ์ และพรพราวตา จันทโร. 2561. อิทธิพลของ

อุณหภูมิบาร์เรลและความชื้นของตัวอย่างป้อนต่อคุณภาพทางเคมี กายภาพ และ

ประสาทสัมผัสของเอกซ์ทรูเดตโปรตีนสูงจากแป้งข้าวกล้องขาวดอกมะลิ 105. วารสาร

พระจอมเกล้า 36(3) : 158-167.

สุธีรา มีภักดี และเพชรดา รัตนสุวรรณ. 2555. การผลิตเลือดปลาทูน่าผงเพื่อใช้เป็นส่วนประกอบใน

ขนมขบเคี้ยว. ปัญหาพิเศษ, ภาควิชาวิทยาศาสตร์การอาหาร, คณะวิทยาศาสตร์,

มหาวิทยาลัยบูรพา.

ฐานข้อมูลอุตสาหกรรมบรรจุภัณฑ์, สำนักงานเศรษฐกิจอุตสาหกรรม, กระทรวงอุตสาหกรรม. มปป.

การบรรจุอาหารแห้งและขนมขบเคี้ยว [อินเทอร์เน็ต] [เข้าถึงเมื่อ 17 กรกฎาคม 2565].

จาก: [https://packaging.oie.go.th/new/admin_control_new/html-](https://packaging.oie.go.th/new/admin_control_new/html-demo/file_technology/8320659174.pdf)

[demo/file_technology/8320659174.pdf](https://packaging.oie.go.th/new/admin_control_new/html-demo/file_technology/8320659174.pdf).

- อรรวรรณ คงพันธุ์ วชิร คงรัตน์ และรัศมีพร จิระเดชประไพ. 2556. **การพัฒนาผลิตภัณฑ์อาหารขบเคี้ยวจากกุ้งขาวแวนนาไมด้วยเครื่องเอ็กซ์ทราเตอร์สกรูคู่**. กองพัฒนาอุตสาหกรรมสัตว์น้ำ กรมประมง: มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.
- อิสรา เพ็ชรยิ้ม. 2557. **กรด-ด่าง ในชีวิตประจำวัน**. โครงการวิทยาศาสตร์ชีวภาพ กรมวิทยาศาสตร์บริการ.
- AOAC. 2016. **Official Methods of Analysis of the Association of the Official Analysis Chemists**. AOAC International. Maryland, USA.
- Chamber IV, E. and M.B. Wolf. 1996. **Sensory Testing Methods**. ASTM International, U.S.A.
- Larsen, T., Thilsted, S.H., Kongsbak, K., and M. Hansen. 2000. Whole small fish as a rich calcium source. **Br. J. Nutr.**, 83: 191-196.
- Liaset, B., Julshamn, K., and M., Espe. 2002. Chemical composition and theoretical nutritional evaluation of the produced fractions from enzymic hydrolysis of salmon frames with Protamex. **Process Biochemistry**. 38: 1747-1759.
- Marian K Malde, Susanne Bügel, Mette Kristensen, Ketil Malde, Ingvild E Graff and Jan I Pedersen. 2010. Calcium from salmon and cod bone is well absorbed in young healthy men: a doubleblinded randomised crossover design. **Malde et al. Nutrition & Metabolism**. 7:61, pp. 1-9.
- Nordin, B.E.C., Gurr, M.I., McIntosh, G.H., Schaafsma, G., Miller, G.D., Groziak, S.M., Sieber, R. and A. Goulding, 1997. **Dietary calcium in health**. Bull Int. DairyFed., 322:36-40.
- Shafiur Rahman, M. 1999. pH in Food preservation, pp. 383 – 396. In M. Shafiur Rahman, ed. **Handbook of Food Preservation**. Marcel Dekker, New York.
- Shahidi, F. 2007. Health and nutrition from sea. **J. Ocean Technology**., 2 (2): 36-48.
- Strain, J.J. and Cashman, K.D. 2009. **Minerals and Trace Elements In Introduction to Human Nutrition (Gibney M.J., Lanham-New S.A., Cassidy A. and Vorster H.H. eds.) 2nd ed.** John Wiley&Sons Ltd. West Sussex pp. 188-237.
- Toppe, J., Sissel, A., Britt, H. and A., Aksnes. 2007. Chemical composition, mineral content and amino acid and lipid profiles in bones from various fish species. **Comparative Biochemistry and Physiology**, 146: 395–401.





แบบทดสอบคุณภาพทางประสาทสัมผัส

ให้คะแนนแบบ 9 Point hedonic scale

ผลิตภัณฑ์ขนมอบกรอบ

ส่วนที่ 1 : แบบทดสอบทางประสาทสัมผัสโดยให้คะแนนความชอบดังต่อไปนี้

9 = ชอบมากที่สุด

8 = ชอบมาก

7 = ชอบปานกลาง

6 = ชอบเล็กน้อย

5 = บอกไม่ได้ว่าชอบหรือไม่

4 = ไม่ชอบเล็กน้อย

3 = ไม่ชอบปานกลาง

2 = ไม่ชอบมาก

1 = ไม่ชอบมากที่สุด

คุณลักษณะของอาหาร	คะแนนความชอบ		
สี			
กลิ่น			
รสชาติ			
เนื้อสัมผัส			
ความชอบโดยรวม			

ข้อเสนอแนะ

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

แบบทดสอบคุณภาพทางประสาทสัมผัส

ให้คะแนนแบบ 9 Point hedonic scale

ผลิตภัณฑ์ขนมอบกรอบขนมขบเคี้ยวเสริมแคลเซียมจากผงกระดูกปลาแซลมอน

ส่วนที่ 1 : แบบทดสอบทางประสาทสัมผัสโดยให้คะแนนความชอบดังต่อไปนี้

9 = ชอบมากที่สุด

8 = ชอบมาก

7 = ชอบปานกลาง

6 = ชอบเล็กน้อย

5 = บอกไม่ได้ว่าชอบหรือไม่

4 = ไม่ชอบเล็กน้อย

3 = ไม่ชอบปานกลาง

2 = ไม่ชอบมาก

1 = ไม่ชอบมากที่สุด

คุณลักษณะของอาหาร	คะแนนความชอบ		
สี			
กลิ่น			
รสชาติ			
เนื้อสัมผัส			
ความชอบโดยรวม			

ข้อเสนอแนะ

.....

.....

.....

.....

.....



1. การวิเคราะห์ปริมาณความชื้น (AOAC, 2019)

อบถั่วอะลูมิเนียมในตู้อบลมร้อนอุณหภูมิสูงที่อุณหภูมิ 130 ± 3 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 1 ชั่วโมง ทำให้ถั่วเย็นในโถดูดความชื้น (Desiccator) ประมาณ 30 นาที ชั่งน้ำหนักถั่วอะลูมิเนียมพร้อมฝา



ใส่ตัวอย่างในถั่วอะลูมิเนียมที่อบแล้ว ประมาณ 2-5 กรัม ทำการทดสอบ 2 ซ้ำ แล้วนำไปอบในตู้อบลมร้อนอุณหภูมิสูงที่อุณหภูมิ 130 ± 3 องศาเซลเซียส นาน 1 ชั่วโมง



ปิดฝาถั่วอะลูมิเนียมออกโดยใช้ถุงมือผ้า นำถั่วออกจากตู้อบลมร้อนอุณหภูมิสูง ทำให้เย็นในโถดูดความชื้น (Desiccator) ประมาณ 30 นาที แล้วนำไปอบซ้ำทุก 1 ชั่วโมง จนได้น้ำหนักคงที่



คำนวณปริมาณความชื้นจากสูตร

ปริมาณความชื้น (ร้อยละโดยน้ำหนัก)	=	$\frac{\text{ผลต่างของน้ำหนักตัวอย่างก่อนอบและหลังอบ (กรัม)} \times 100}{\text{น้ำหนักตัวอย่างเริ่มต้น (กรัม)}}$
--	---	--

2. การวิเคราะห์ปริมาณโปรตีน

ชั่งตัวอย่าง 0.5-2 กรัม ใส่หลอดสำหรับย่อยโปรตีน เติม Copper sulphate. Crystals 2 เม็ด และ
เติมกรดซัลฟูริกเข้มข้น 95-98% 20 มิลลิลิตร

นำหลอดสำหรับย่อยโปรตีนเข้าเครื่องย่อยไนโตรเจน ทำการย่อยโดยใช้อุณหภูมิตั้งแต่
150-400 องศาเซลเซียส ใช้เวลาประมาณ 4-5 ชั่วโมง

ย่อยจนได้สารละลายสีเขียวใส ปิดเครื่องย่อย ตั้งทิ้งไว้ให้อุณหภูมิลดลงจนกระทั่งเย็น

นำหลอดย่อยเข้าเครื่องกลั่น เติมน้ำกลั่น 20 มิลลิลิตร ตามด้วย 40% NaOH 80 มิลลิลิตร กลั่นโดยมี
ขวดบรรจุ 4% H_3BO_3 80 มิลลิลิตร และไตเตรตด้วยสารละลาย 0.1 N HCl

บันทึกปริมาตร 0.1 N HCl ที่ใช้ในการไตเตรตตัวอย่างและแบลงค์

คำนวณหาปริมาณโปรตีนจากสูตร

$$\text{ปริมาณโปรตีน (ร้อยละ)} = \frac{(A-B) \times N \times 1.4 \times F}{Wt}$$

A คือ ปริมาตรของกรดไฮโดรคลอริกที่ใช้ในการไตเตรตกับตัวอย่าง (มิลลิลิตร)

B คือ ปริมาตรของกรดไฮโดรคลอริกที่ใช้ในการไตเตรตกับแบลงค์ (มิลลิลิตร)

Wt คือ น้ำหนักของตัวอย่าง

N คือ ความเข้มข้นของกรดไฮโดรคลอริก (N)

F คือ ค่าแฟคเตอร์

3. การวิเคราะห์ปริมาณไขมันและการคำนวณค่าพลังงานจากไขมันทั้งหมด

ชั่งตัวอย่าง 2-5 กรัม ใส่ Hydrocaps นำเข้าเครื่อง Hydrotec 8000 เพื่อย่อยตัวอย่าง กรองล้างกรด

นำ Hydrocaps ออกจากเครื่อง Hydrotec 8000 ทดสอบความเป็นกรดด้วยกระดาษลิตมัส
นำเข้าสู่อบที่อุณหภูมิ 80 องศาเซลเซียส ให้แห้ง

นำ Extraction cup อบที่อุณหภูมิ 102 องศาเซลเซียส อย่างน้อย 30 นาที ชั่งน้ำหนัก

นำ Hydrocaps ที่มีตัวอย่าง เข้าเครื่อง Soxtec 8000 ทำการสกัดไขมัน

นำ Extraction cup เข้าเครื่อง Soxtec 8000 เติม Petroleum ether 90 มิลลิลิตร
เริ่มการสกัดไขมัน

นำ Extraction cup ที่สกัดไขมันแล้ว เข้าสู่ตู้อบ (Hot Air Oven) ที่อุณหภูมิ 102 องศาเซลเซียส
เป็นเวลา 30 นาที ชั่งน้ำหนัก

คำนวณหาปริมาณไขมันจากสูตร

$$\text{ปริมาณไขมัน (ร้อยละ)} = \frac{\text{น้ำหนัก Extraction cup ก่อนสกัดไขมัน (กรัม)} - \text{น้ำหนัก Extraction cup หลังสกัดไขมัน (กรัม)}}{\text{น้ำหนักตัวอย่าง (กรัม)}} \times 100$$

ค่าพลังงานจากไขมัน ได้จาก % ไขมันคูณด้วย 9

4. การวิเคราะห์ปริมาณเถ้า

นำถ้วยหาเถ้า (Porcelain Crucible) เเผาที่อุณหภูมิ 550 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 1 ชั่วโมง

↓

ปิดเตาเผาและรอให้อุณหภูมิลดลงถึง 100-110 องศาเซลเซียส
แล้วนำออกมาใส่ในโถดูดความชื้น (Desiccator)

↓

ปล่อยให้เย็น แล้วนำตัวอย่างไปชั่งน้ำหนัก 3-5 กรัม (ทศนิยม 4 ตำแหน่ง)

↓

นำไปวางบนเครื่องกวนสารละลายพร้อมให้ความร้อน (Hot Plate)
แล้วให้ความร้อนจนกระทั่งหมดควัน

↓

นำเบ้าเคลือบและฝาเซรามิก (Porcelain Crucible) ที่มีตัวอย่าง (ผ่านการเผาไล่ควัน) เข้าเตาเผา
โดยใช้อุณหภูมิ 550 องศาเซลเซียส เป็นเวลาอย่างน้อย 4 ชั่วโมง หรือเผาจนกระทั่งตัวอย่าง
มีลักษณะเป็นสีเทาหรือสีขาว ถือว่าเผาไหม้สมบูรณ์

↓

ปิดเตาเผาและรอให้อุณหภูมิลดลงถึง 100-110 องศาเซลเซียส แล้วปิดเตาเผา
ปล่อยให้เย็นแล้วนำไปชั่งน้ำหนัก

↓

คำนวณหาปริมาณเถ้าจากสูตร

$$\text{ปริมาณเถ้าทั้งหมด (ร้อยละ)} = \frac{\text{น้ำหนักเถ้าหลังเผา (กรัม)} \times 100}{\text{น้ำหนักตัวอย่าง (กรัม)}}$$

5. การวิเคราะห์ปริมาณน้ำตาล

ชั่งตัวอย่างจำนวน 1-5 กรัม ใส่ในขวดปรับปริมาตรขนาด 100 มิลลิลิตร

↓

เติมน้ำร้อน 50 มิลลิลิตร ด้วยปิเกตอร์ แล้วเขย่า

↓

นำไป Ultrasonic bath 20 นาที ตั้งทิ้งไว้ให้เย็นที่อุณหภูมิห้อง

↓

ตกตะกอนโปรตีนด้วย 15% $K_4[Fe(CN)_6] \cdot 3H_2O$ 1 มิลลิลิตร เขย่าให้เข้ากัน

↓

เติม 30% $ZnSO_4 \cdot 7H_2O$ 1 มิลลิลิตร เขย่าให้เข้ากัน

↓

ปรับปริมาตรด้วยน้ำ DI ให้ได้ 100 มิลลิลิตร ตั้งทิ้งไว้ 15 นาที

↓

กรองสารละลายด้วยกระดาษกรอง เบอร์ 42 หรือเทียบเท่า

↓

นำส่วนที่กรองได้กรองผ่าน Nylon syringe filter ขนาด 13 มิลลิลิตร, 0.45 ไมครอน

↓

ทดสอบน้ำตาลด้วยเครื่อง HPLC เทียบกับสารละลายมาตรฐาน

6. การวิเคราะห์ปริมาณแร่ธาตุ (โซเดียมและแคลเซียม)

ชั่งตัวอย่างน้ำหนัก 1-2 กรัม ใส่ในหลอดย่อยตัวอย่าง จากนั้นทำ Blank, Recovery และ QC Sample

เติมกรดผสม (Nitric : Perchloric อัตราส่วน 2:1) ปริมาณ 10 มิลลิลิตร
ตั้งทิ้งไว้ที่อุณหภูมิห้องอย่างน้อย 1 ชั่วโมง

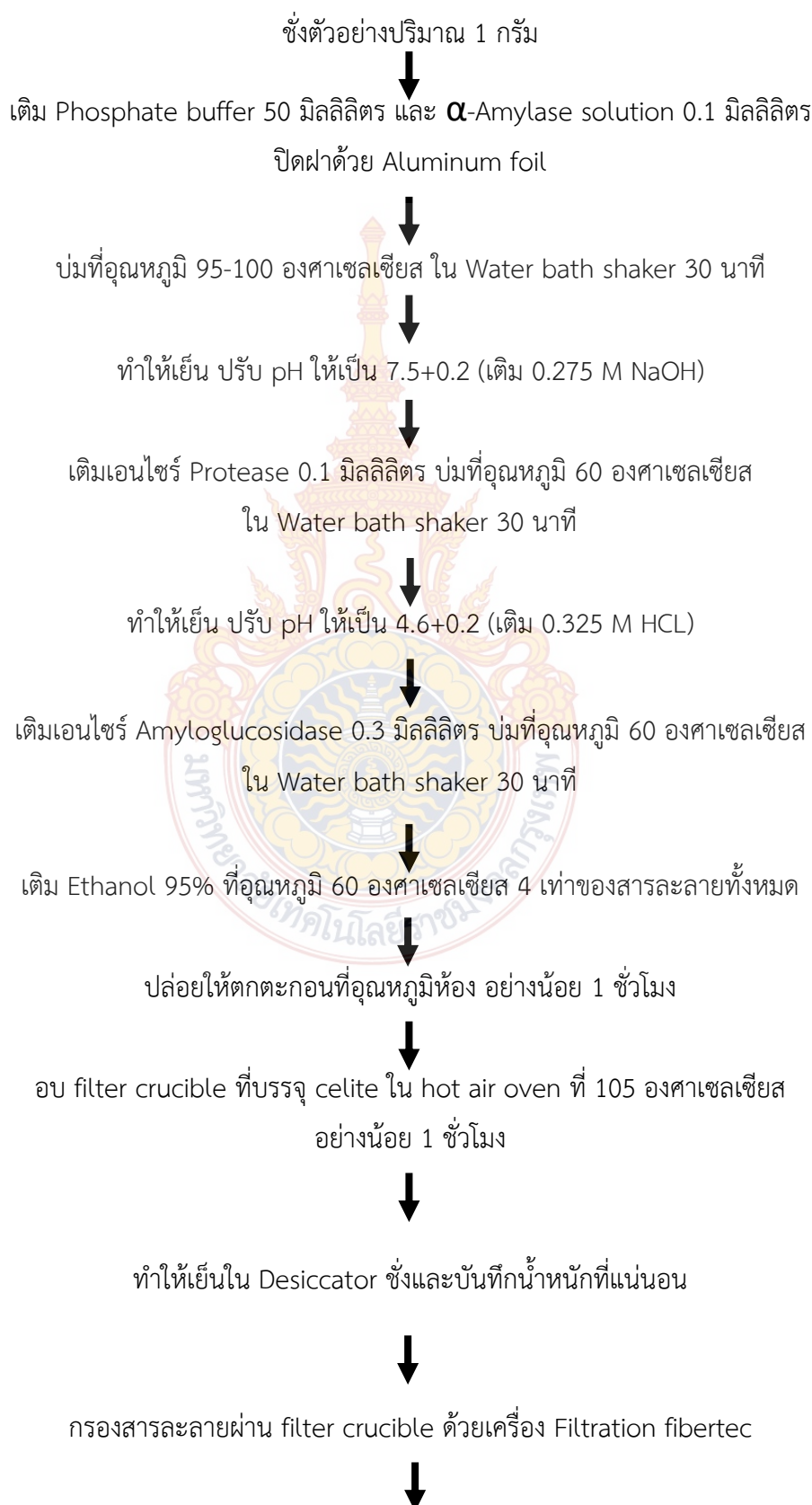
นำไปย่อยด้วย Digestion Block จนกระทั่งได้สารละลายตัวอย่างที่ใส

จากนั้นปรับปริมาตรใน Volumetric flask ขนาด 50 มิลลิลิตร ด้วยน้ำ DI จนถึงขีดปรับปริมาตร

ฉีดตัวอย่างด้วยเครื่อง ICP-OES

คำนวณในหน่วย mg/100g

7. การวิเคราะห์ปริมาณใยอาหาร



ล้าง residue ด้วย 78% ethanol 20 มิลลิลิตร 3 ครั้ง 95% ethanol 10 มิลลิลิตร 2 ครั้ง
Acetone 10 มิลลิลิตร 2 ครั้ง ตามลำดับ

