



การพัฒนาผลิตภัณฑ์ลูกชิ้นเลียนแบบเนื้อสัตว์จากโปรตีนถั่วเหลือง กลูเตนข้าวสาลีและขนุนอ่อน



โดย  
นางสาวชญชิตา พุ่มตาก้อง

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต

สาขาวิชาเทคโนโลยีอาหาร แผน ก แบบ ก 2

ภาควิชาเทคโนโลยีอาหาร

มหาวิทยาลัยศิลปากร

ปีการศึกษา 2567

ลิขสิทธิ์ของมหาวิทยาลัยศิลปากร

การพัฒนาผลิตภัณฑ์ลูกชิ้นเลียนแบบเนื้อสัตว์จากโปรตีนถั่วเหลือง กุหลาบข้าวสาลีและ  
ขนุนอ่อน



วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต

สาขาวิชาเทคโนโลยีอาหาร แผน ก แบบ ก 2

ภาควิชาเทคโนโลยีอาหาร

มหาวิทยาลัยศิลปากร

ปีการศึกษา 2567

ลิขสิทธิ์ของมหาวิทยาลัยศิลปากร

DEVELOPMENT OF MEAT BALL ANALOGUE FROM SOY PROTEIN, WHEAT  
GLUTEN AND YOUNG JACKFRUIT



By  
MISS Chanunchida PUMTAKONG

A Thesis Submitted in Partial Fulfillment of the Requirements  
for Master of Science FOOD TECHNOLOGY  
Department of FOOD TECHNOLOGY  
Academic Year 2024  
Copyright of Silpakorn University

หัวข้อ	การพัฒนาผลิตภัณฑ์ลูกชิ้นเลียนแบบเนื้อสัตว์จากโปรตีนถั่ว เหลือง กลูเตนข้าวสาลีและขนุนอ่อน
โดย	นางสาวชนัญชิตา พุ่มตาก้อง
สาขาวิชา	เทคโนโลยีอาหาร แผน ก แบบ ก 2
อาจารย์ที่ปรึกษาหลัก	รองศาสตราจารย์ ดร. ประสงค์ ศิริวงศ์ไผ่ชาติ

คณะวิศวกรรมศาสตร์และเทคโนโลยีอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยศิลปากร ได้รับพิจารณาอนุมัติ  
ให้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษา ตามหลักสูตรวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต

.....	คณบดีคณะวิศวกรรมศาสตร์และ เทคโนโลยีอุตสาหกรรม
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. อรุณศรี ลีจรรย์เนียร)	
พิจารณาเห็นชอบโดย	
.....	ประธานกรรมการ
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. ดวงใจ ธีรธรรมถาวร)	
.....	อาจารย์ที่ปรึกษาหลัก
(รองศาสตราจารย์ ดร. ประสงค์ ศิริวงศ์ไผ่ชาติ)	
.....	ผู้ทรงคุณวุฒิภายนอก
(ดร. ศันสนีย์ อุดมระติ)	

620920019 : เทคโนโลยีอาหาร แผน ก แบบ ก 2

คำสำคัญ : โพรตีนถั่วเหลือง, กลูเตนข้าวสาลี, โพรตีนจากพืช, สมบัติทางกายภาพ, สารปรับปรุงเนื้อสัมผัส

นางสาว ชนัญชิตา พุ่มตาก้อง: การพัฒนาผลิตภัณฑ์ลูกชิ้นเลียนแบบเนื้อสัตว์จากโปรตีนถั่วเหลือง กลูเตนข้าวสาลีและขนุนอ่อน อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก : รองศาสตราจารย์ ดร. ประสงค์ ศิริวงศ์วิไลชาติ

การศึกษาครั้งนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อพัฒนาผลิตภัณฑ์ลูกชิ้นเลียนแบบเนื้อสัตว์จากพืช โดยศึกษาผลของอัตราส่วนที่เหมาะสมระหว่างโปรตีนถั่วเหลืองและกลูเตนข้าวสาลีต่อสมบัติทางกายภาพของลูกชิ้นเลียนแบบเนื้อสัตว์จากพืชเพื่อกำหนดสูตรตั้งต้น โดยออกแบบการทดลองแบบผสม (Mixture design) พบว่าตัวแปรต้นทั้ง 2 ได้แก่โปรตีนถั่วเหลืองและกลูเตนข้าวสาลีมีความสัมพันธ์แบบ Linear relationship ( $p \leq 0.05$ ) กับ Gumminess และมีความสัมพันธ์แบบ Quadratic relationship กับ Chewiness และมีความสัมพันธ์แบบ Cubic relationship กับปริมาณน้ำที่สูญเสีย (Expressible water) ซึ่งเมื่อนำสมการที่มีความสัมพันธ์กันทั้ง 3 ไปทำนายพบว่าอัตราส่วนปริมาณโปรตีนถั่วเหลืองและกลูเตนข้าวสาลีที่เหมาะสมที่จะนำไปพัฒนาต่อ คือ ใช้โปรตีนถั่วเหลืองเท่ากับ 20 ส่วน และกลูเตนข้าวสาลีเท่ากับ 30 ส่วน เมื่อนำมาพัฒนาผลิตภัณฑ์เพื่อศึกษาอิทธิพลของการใช้สารปรับปรุงเนื้อสัมผัสระหว่างแป้งมันสำปะหลังตัดแปรรูปและผงบุก ในอัตราส่วน 5 : 1.5, 10 : 1.5 และ 10 : 2.5 % โดยน้ำหนัก ตามลำดับ ประเมินคุณลักษณะทางประสาทสัมผัส 5 ด้าน ได้แก่ ความแน่นเนื้อ ความแข็ง ความนิ่ม รสเค็มและกลิ่นรสเครื่องเทศ โดยใช้วิธี Just-About-Right (JAR) และประเมินความชอบโดยรวมโดยใช้วิธี 9-point hedonic scale พบว่าสูตรที่ใช้แป้งมันสำปะหลังตัดแปรรูป 10% โดยน้ำหนักและผงบุก 1.5% โดยน้ำหนัก เป็นส่วนผสมที่เหมาะสมทั้งผลิตภัณฑ์ที่ประเมินในรูปแบบต้มและทอด โดยผลิตภัณฑ์รูปแบบต้มได้คะแนนความชอบโดยรวมเฉลี่ย  $5.63 \pm 1.81$  และผลิตภัณฑ์รูปแบบทอดได้คะแนนความชอบโดยรวมเฉลี่ย  $6.53 \pm 1.73$  แต่พบว่ายังคงต้องปรับปรุงความแน่นเนื้อและความแข็งเพิ่มเติม โดยทำการปรับเพิ่มปริมาณแป้งมันสำปะหลังตัดแปรรูปเป็น 15% และ 20% โดยน้ำหนัก ซึ่งพบว่าสูตรที่ปรับเพิ่มปริมาณแป้งมันสำปะหลังตัดแปรรูปที่ 20% โดยน้ำหนักเป็นสูตรที่เหมาะสมในการเสริมด้วยขนุนอ่อน เนื่องจากเมื่อพิจารณาจากแนวโน้มของผลการศึกษาทางด้านเนื้อสัมผัส พบว่ามีแนวโน้มของค่าความแข็ง (Hardness) แรงที่ใช้ในการเคี้ยวอาหารให้แตกตัวออกจากกัน (Gumminess) พลังงานที่ใช้เคี้ยวอาหารแข็งจนถึงขั้นพร้อมที่จะกลืน (Chewiness) ค่าความแข็งแรงเจล (Gel strength) และความสามารถในการอุ้มน้ำที่สูงขึ้น จึงทำให้

ปริมาณน้ำที่สูญเสียลดลงอย่างมีนัยสำคัญ ( $p \leq 0.05$ ) เมื่อเทียบกับสูตรควบคุมก่อนทำการเพิ่มปริมาณแป้งมันสำปะหลังตัดแปรรูป จากการทดลองเสริมขุ่นลงในผลิตภัณฑ์ 3 ระดับ ที่ 10%, 20% และ 30% โดยน้ำหนัก พบว่าปริมาณขุ่นอ่อนที่สามารถเสริมลงในผลิตภัณฑ์ คือ 10% โดยน้ำหนัก ซึ่งได้รับคะแนนเฉลี่ยด้านความชอบโดยรวมสูงสุด โดยผลิตภัณฑ์ในรูปแบบต้มได้รับคะแนนเฉลี่ยที่  $6.23 \pm 1.33$  ในขณะที่ผลิตภัณฑ์ในรูปแบบทอดได้รับคะแนนเฉลี่ยที่  $7.13 \pm 1.28$  ทั้งนี้จากการวิเคราะห์ปริมาณสารประกอบหลักของลูกชิ้นเลียนแบบเนื้อสัตว์จากพืชสูตรควบคุมและสูตรที่เสริมด้วยขุ่นอ่อน 10% โดยน้ำหนักพบว่าสูตรที่เสริมด้วยขุ่นอ่อน 10% โดยน้ำหนัก มีความชื้นเพิ่มขึ้นและมีปริมาณไขมันลดลง ดังนั้นขุ่นอ่อนจึงมีศักยภาพในการปรับปรุงเนื้อสัมผัสของลูกชิ้นเลียนแบบเนื้อสัตว์จากพืช และเพิ่มความสามารถในการอุ้มน้ำ นอกจากนี้การเสริมขุ่นอ่อนในปริมาณหนึ่งช่วยเพิ่มความสามารถในการอุ้มน้ำให้แก่ผลิตภัณฑ์โดยส่งผลกระทบต่อเนื้อสัมผัสของผลิตภัณฑ์เล็กน้อย



620920019 : Major FOOD TECHNOLOGY

Keyword : Soy protein, Wheat gluten, Plant-based analogue, Physical properties, Texturizing agents

MISS Chanunchida PUMTAKONG : Development of meat ball analogue from soy protein, wheat gluten and young jackfruit Thesis advisor : Associate Professor Dr. Prasong Siriwongwilaichat

The purpose of this study was to develop a plant-based meatball analogue by investigating the effect of ratio between soy protein and wheat gluten on physical properties of plant-based meatball analogue for determining a basic formula. Using a mixture design experiment. The results revealed that the two variable had a linear relationship ( $p \leq 0.05$ ) with gumminess, a quadratic relationship with chewiness, and a cubic relationship with expressible water. These equation was then used for predicting the optimum soy protein and wheat gluten. It was found that the optimum ratio was soy protein : wheat gluten at 20.0 : 30.0 . The influences of texturizing agents at various ratios of modified tapioca starch : konjac flour at 5:1.5, 10:1.5, and 10:2.5 % w/w were subsequently conducted. Sensory evaluation was performed on 5 attributes: firmness, hardness, softness, saltiness, and spice flavor, using the Just About Right (JAR) method. Overall liking was assessed using the 9-point hedonic scale. Consumers expressed the highest overall liking for the sample containing modified tapioca starch : konjac flour at 10:1.5 %w/w, either boiled or fried. The boiled product had an average overall liking score of  $5.63 \pm 1.81$ , whilst the fried product had an average overall liking score of  $6.53 \pm 1.73$ . However, it still required improvements in firmness and hardness. To address this, the amount of modified tapioca starch was increased to 15% and 20% w/w. The formulation with 20% w/w modified tapioca starch was selected as the base recipe for young jackfruit fortification, according to hardness, gumminess, chewiness, gel strength and the increase in water-holding capacity led to a significant reduction in expressible water ( $p \leq 0.05$ ) compared to the control. Young jackfruit was incorporated into the product at three levels: 10%, 20%, and 30% w/w. The optimal level was determined

to be 10% w/w, which received the highest average overall liking score. The boiled product had an average overall liking score of  $6.23 \pm 1.33$ , whilst the fried product had an overall liking score of  $7.13 \pm 1.28$ . Proximate analysis of compositions of the control and 10% young jackfruit revealed that the jackfruit fortified sample had higher moisture content but lower fat content. Thus, young jackfruit has potential for improving the texture of plant-based meatballs and enhancing water-holding capacity. Additionally, incorporating young jackfruit into the product helps increase water retention with slight impact on texture quality at a certain amount.



## กิตติกรรมประกาศ

การวิจัยครั้งนี้สำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดี ด้วยความกรุณาและความช่วยเหลืออย่างดียิ่งจาก รองศาสตราจารย์ ดร.ประสงค์ ศิริวงศ์วิไลชาติ อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก ที่ได้กรุณาให้คำปรึกษา แนะนำแนวทาง และติดตามดูแลเอาใจใส่ในการทำวิทยานิพนธ์ฉบับนี้จนสำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดี ขอกราบขอบพระคุณคณาจารย์ ประจำภาควิชาเทคโนโลยีอาหาร คณะวิศวกรรมศาสตร์และเทคโนโลยีอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยศิลปากร ทุกท่านที่ประสิทธิ์ประสาทวิชาความรู้และประสบการณ์ในการศึกษาที่มีคุณค่ายิ่ง ตลอดจนคอยให้กำลังใจและสนับสนุนการวิจัยในครั้งนี้ จนทำให้จัดทำวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ สำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดี ขอขอบคุณบุคลากรและเจ้าหน้าที่ภาควิชาเทคโนโลยีอาหาร คณะวิศวกรรมศาสตร์และเทคโนโลยีอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยศิลปากร ทุกท่านที่ได้ให้ความช่วยเหลือและอำนวยความสะดวกตลอดระยะเวลาในการศึกษาและจัดทำวิทยานิพนธ์

ทั้งนี้ ผู้วิจัยขอกราบขอบพระคุณครอบครัว คุณพ่อบุญธรรม คุณแม่ คุณพ่อ คุณยาย แฟน ครอบครัวของแฟนทั้งป้า แม่ น้องชาย น้องสาว เพื่อนสนิทและเพื่อนที่ทำงานที่คอยให้คำปรึกษา เป็นกำลังใจ สนับสนุนในทุกด้าน ทำให้ผู้วิจัยมีความมุ่งมั่นและอดทน ในการทำวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ให้สำเร็จ และลุล่วงไปด้วยดี ประโยชน์และคุณค่าอันพึงมีจากวิทยานิพนธ์ฉบับนี้จะยังประโยชน์ต่อการศึกษาและการพัฒนากลุ่มผลิตภัณฑ์ทดแทนเนื้อสัตว์ที่เกี่ยวข้อง ตลอดจนกลุ่มอุตสาหกรรมอาหารในอนาคต คุณค่าและความดีอันพึงมีจากวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ ขอมอบแต่บิดา มารดา ครูบาอาจารย์ ตลอดจนผู้มีพระคุณ ทุกท่านไว้ ณ ที่นี้

ชนัญชิตา พุ่มตาก้อง

## สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย.....	ง
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ.....	ฉ
กิตติกรรมประกาศ.....	ช
สารบัญ ณ	
บทที่ 1 บทนำ .....	1
1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา .....	1
1.2 วัตถุประสงค์ของการศึกษา .....	2
1.3 สมมุติฐานของการศึกษา .....	2
1.4 ขอบเขตการศึกษา.....	3
บทที่ 2 ทบทวนวรรณกรรม.....	6
2.1 ความหมายของผลิตภัณฑ์เลียนแบบเนื้อสัตว์จากพืช .....	6
2.2 ปัจจัยที่สนับสนุนการเติบโตของตลาดอาหารจากพืช (Plant-based food).....	7
2.3 พฤติกรรมการบริโภค Plant-based food แต่ละประเทศและมูลค่าทางการตลาด.....	8
2.4 แนวโน้มการบริโภคอาหารจากพืชในประเทศไทย .....	8
2.5 ประโยชน์ของการรับประทานอาหารที่มาจากพืช (Plant-based food).....	9
2.6 ผลิตภัณฑ์และงานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการพัฒนาผลิตภัณฑ์แปรรูปทดแทนเนื้อสัตว์ .....	10
2.7 การปรับปรุงสมบัติของผลิตภัณฑ์เลียนแบบเนื้อสัตว์จากพืช.....	17
2.8 กระบวนการแปรรูปผลิตภัณฑ์ลูกชิ้น .....	25
2.9 ปัจจัยที่มีอิทธิพลต่อความแข็งแรงในการเชื่อมติดของร่างแหโปรตีน .....	27
2.10 การเสริมคุณค่าทางโภชนาการในผลิตภัณฑ์เลียนแบบเนื้อสัตว์แปรรูป .....	28
บทที่ 3 วิธีการดำเนินงาน .....	34

3.1 อุปกรณ์ที่ใช้ในการศึกษา .....	34
3.2 วิธีการศึกษา .....	38
ตอนที่ 1 : การพัฒนาสูตรต้นแบบของลูกชิ้นเลียนแบบเนื้อสัตว์จากพืช .....	38
3.2.1 การศึกษาอัตราส่วนที่เหมาะสมระหว่างโปรตีนถั่วเหลืองและกลูเตนข้าวสาลีในการพัฒนาสูตรต้นแบบของลูกชิ้นเลียนแบบเนื้อสัตว์จากพืช .....	38
ตอนที่ 2 : การศึกษาชนิดและปริมาณไฮโดรคอลลอยด์ .....	42
3.2.2 การศึกษาชนิดและปริมาณของไฮโดรคอลลอยด์ที่สามารถช่วยปรับปรุงเนื้อสัมผัสของผลิตภัณฑ์ .....	42
3.2.3 การวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติ .....	47
ตอนที่ 3 : การศึกษาปริมาณของขนุนอ่อนที่เหมาะสมในการเสริมลงไปในการผลิตผลิตภัณฑ์ลูกชิ้นเลียนแบบเนื้อสัตว์จากพืช .....	48
3.2.4 การศึกษาปริมาณสูงสุดของขนุนอ่อนที่สามารถเสริมลงไปในการผลิตผลิตภัณฑ์ลูกชิ้นเลียนแบบเนื้อสัตว์จากพืช .....	48
บทที่ 4 ผลการศึกษา .....	55
4.1 การศึกษาอัตราส่วนที่เหมาะสมระหว่างโปรตีนถั่วเหลืองและกลูเตนข้าวสาลีในการพัฒนาสูตรต้นแบบของลูกชิ้นเลียนแบบเนื้อสัตว์จากพืช .....	55
4.2 การศึกษาปริมาณของแป้งมันสำปะหลังดัดแปรและผงบุกที่สามารถช่วยปรับปรุงเนื้อสัมผัสของผลิตภัณฑ์ .....	60
4.3 การศึกษาปริมาณของขนุนอ่อนที่เหมาะสมในการเสริมลงไปในการผลิตผลิตภัณฑ์ลูกชิ้นเลียนแบบเนื้อสัตว์จากพืช .....	77
บทที่ 5 สรุปผลการดำเนินงาน .....	101
รายการอ้างอิง .....	102
ภาคผนวก .....	113
ภาคผนวก ก แบบทดสอบลักษณะทางประสาทสัมผัส .....	113
ภาคผนวก ข วิธีการวิเคราะห์ .....	117
ภาคผนวก ค ผลการวิเคราะห์ปริมาณของสารประกอบหลักในอาหาร (Proximate analysis).120	

126

ภาคผนวก ง ผลการวิเคราะห์ทางสถิติ.....	127
ประวัติผู้เขียน.....	152



## บทที่ 1 บทนำ

### 1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

ปัจจุบันอุตสาหกรรมการเลี้ยงสัตว์ก่อให้เกิดการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศเนื่องมาจากการปล่อยก๊าซเรือนกระจก และเกิดภาวะโลกร้อน ส่งผลกระทบต่อความมั่นคงทางอาหาร เนื่องจากการผลิตโปรตีนจากสัตว์ใช้ทรัพยากรในการผลิตมากกว่าอาหารจากพืช 3-4 เท่า สิ่งนี้นำไปสู่การสำรวจกลยุทธ์ต่างๆ โดยนักวิจัยและอุตสาหกรรมอาหารเพื่อพัฒนามันชีส เนื้อสัตว์ และผลิตภัณฑ์ใช้ทางเลือกจากแหล่งพืชต่างๆ โดยใช้เทคโนโลยีและนวัตกรรมในการผลิตโปรตีนจากพืช มีศักยภาพในการนำไปประยุกต์ใช้ในอุตสาหกรรมอาหาร เนื่องจากเป็นโปรตีนที่หาได้ง่าย ราคาไม่แพง (ศุภรัตน์, 2567) ขณะเดียวกันกลุ่มผู้บริโภคแบบ Flexitarian มีมากขึ้น การเพิ่มขึ้นของจำนวนกลุ่มผู้รับประทานมังสวิรัตและผู้รับประทานมังสวิรัตที่มีความยืดหยุ่น จะเป็นกลุ่มผู้บริโภคหลักที่ช่วยขับเคลื่อนการใช้โปรตีนจากพืชในผลิตภัณฑ์อาหาร (Ismail et al., 2020) อย่างไรก็ตามผลิตภัณฑ์อาหารที่ใช้โปรตีนจากพืช มีข้อจำกัดหลายประการต่อการยอมรับของผู้บริโภค รวมถึงกลิ่นพืชตระกูลถั่ว ความกังวลเกี่ยวกับอาหารตัดแปดแปดพันธุกรรม ต้นทุน ความไม่เพียงพอทางด้านโภชนาการที่เกี่ยวข้องกับสารอาหารรอง การไม่มีกฎระเบียบด้านความปลอดภัย และการเติมส่วนผสมที่ขัดต่อจุดประสงค์ในการส่งเสริมสุขภาพ ปัจจุบันการลงทุนพัฒนาผลิตภัณฑ์ที่ใช้โปรตีนจากพืชมีศักยภาพที่จะเอื้อให้เกิดการเปลี่ยนแปลงอย่างรวดเร็วไปสู่การบริโภคอาหารที่ยั่งยืนและดีต่อสุขภาพในวงกว้างในอนาคตอันใกล้ (Tachie et al., 2023) ผู้บริโภคมีความคาดหวังในเรื่องรสชาติและเนื้อสัมผัสที่คล้ายคลึงกับเนื้อสัตว์จริง แต่ผลิตภัณฑ์กลุ่มทดแทนเนื้อสัตว์ส่วนใหญ่มักจะพบปัญหาในด้านของลักษณะเนื้อสัมผัส ซึ่งวิธีการสมัยใหม่ ได้แก่ การอัดขึ้นรูป การแช่แข็งโครงสร้าง เทคโนโลยีการเลียนเซลล์ การผสมโปรตีนและไฮโดรคอลลอยด์จะสามารถช่วยปรับปรุงลักษณะเนื้อสัมผัสได้ (Taikerd and Leelawat, 2023) สารไฮโดรคอลลอยด์แต่ละชนิดส่งผลต่อลักษณะเนื้อสัมผัสของผลิตภัณฑ์ที่แตกต่างกัน ส่วนประกอบหลักของผลิตภัณฑ์ทดแทนเนื้อสัตว์ คือ โปรตีนสกัดจากพืช แต่ละยี่ห้อก็จะเลือกใช้วัตถุดิบที่แตกต่างกันออกไป แต่ที่นิยมมักเป็น โปรตีนถั่วเหลือง (soy protein isolate หรือ soy protein concentrate) โปรตีนข้าวสาลี (wheat protein) โปรตีนถั่วลันเตา (pea protein isolate) หรืออาจใช้โปรตีนพืชมากกว่าหนึ่งชนิดผสมกัน ผงโปรตีนดังกล่าวจะถูกนำมาผสมกับน้ำมันพืช เกลือ วิตามิน แร่ธาตุ โยอาอาหาร เครื่องเทศ สีที่สกัดจากธรรมชาติหรือสารที่มีโครงสร้างคล้าย

รงควัตถุที่ให้สีในเนื้อสัตว์ กลิ่นรส สารที่ช่วยในการอ้วนน้ำ วัตถุประสงค์ของอาหารที่ช่วยในการขึ้นรูปและการปรับเนื้อสัมผัส สารต้านออกซิเดชัน สารป้องกันการหืน สารต้านจุลินทรีย์ ซึ่งชนิดและปริมาณที่ใช้ก็แตกต่างกันตามสูตรของแต่ละยี่ห้อ ผลิตภัณฑ์ทดแทนเนื้อสัตว์บางชนิดก็นำส่วนผสมไปผ่านกระบวนการที่ช่วยขึ้นรูปให้ส่วนผสมมีลักษณะเป็นเส้น ๆ คล้ายกับเส้นใยในชิ้นเนื้อสัตว์ (muscle fiber) และยังมีความชื้นใกล้เคียงกับผลิตภัณฑ์เนื้อสัตว์ คือ 50-70% ซึ่งวัตถุประสงค์ของอาหารและกระบวนการผลิตนี้เอง ที่ช่วยให้ผลิตภัณฑ์ทดแทนเนื้อสัตว์ มีรสชาติและเนื้อสัมผัสที่ใกล้เคียงกับเนื้อสัตว์มากกว่าโปรตีนเกษตร การพัฒนาผลิตภัณฑ์ลูกชิ้นเลียนแบบเนื้อสัตว์จากโปรตีนถั่วเหลือง กุ้งเตนข้าวสาลีและขนุนอ่อนนี้มีความเป็นไปได้ทางเทคนิคสูงเนื่องจากมีรายงานการศึกษาก่อนหน้านี้รองรับ ในการศึกษานี้จะทำการพัฒนาผลิตภัณฑ์ลูกชิ้นเลียนแบบเนื้อสัตว์พื้นฐานก่อนโดยใช้โปรตีนถั่วเหลืองและกุ้งเตนข้าวสาลีเป็นวัตถุดิบหลัก จากนั้นจึงทดลองเสริมขนุนอ่อนเพื่อเพิ่มสมบัติบางประการและเพิ่มความเสถียรภาพให้แก่ผลิตภัณฑ์

## 1.2 วัตถุประสงค์ของการศึกษา

1.2.1 เพื่อหาอัตราส่วนที่เหมาะสมระหว่างโปรตีนถั่วเหลืองและกุ้งเตนข้าวสาลีในการพัฒนาสูตรตั้งต้นของลูกชิ้นเลียนแบบเนื้อสัตว์จากพืช

1.2.2 เพื่อศึกษาปริมาณของแป้งมันสำปะหลังตัดแปรรูปและผงบุกที่สามารถช่วยปรับปรุงเนื้อสัมผัสของผลิตภัณฑ์ได้อย่างเหมาะสม

1.2.3 เพื่อหาปริมาณของขนุนอ่อนที่เหมาะสมในการเสริมลงไปในการผลิตลูกชิ้นเลียนแบบเนื้อสัตว์

## 1.3 สมมุติฐานของการศึกษา

1.3.1 ปริมาณโปรตีนถั่วเหลืองและกุ้งเตนข้าวสาลีมีผลต่อลักษณะทางกายภาพของผลิตภัณฑ์ลูกชิ้นเลียนแบบเนื้อสัตว์จากพืช

1.3.2 แป้งมันสำปะหลังตัดแปรรูปและผงบุกมีผลต่อลักษณะเนื้อสัมผัสของผลิตภัณฑ์ลูกชิ้นเลียนแบบเนื้อสัตว์

1.3.3 การเสริมด้วยขนุนอ่อนมีผลต่อเนื้อสัมผัส ลักษณะทางกายภาพและประสาทสัมผัสของผลิตภัณฑ์ลูกชิ้นเลียนแบบเนื้อสัตว์

## 1.4 ขอบเขตการศึกษา

การศึกษานี้แบ่งออกเป็น 3 ตอน

**ตอนที่ 1** ทำการศึกษาอัตราส่วนของโปรตีนถั่วเหลืองและกลูเตนข้าวสาลีในการพัฒนาลูกชิ้นเลียนแบบเนื้อสัตว์จากพืชพื้นฐาน ตามการออกแบบการทดลองแบบผสมในรูปร่าง D-Optimal โดยอัตราส่วนที่ศึกษาแบ่งเป็น 5 ระดับ ดังนี้ 20.0 : 30.0, 27.5 : 22.5, 22.5 : 27.5, 25.0 : 25.0 และ 30.0 : 20.0 ซึ่งมีรายละเอียดของการศึกษาเฉพาะลูกชิ้นในรูปร่างแท้ม ดังนี้

**ตัวแปรต้น :** ปริมาณโปรตีนถั่วเหลืองและปริมาณกลูเตนข้าวสาลี

**ตัวแปรตามของลูกชิ้นรูปร่างแท้ม :**

1. พารามิเตอร์ด้านเนื้อสัมผัส ได้แก่ Hardness, Adhesiveness, Springiness, Cohesiveness, Gumminess และ Chewiness
2. พารามิเตอร์ด้านสี ได้แก่ ค่าความสว่าง ( $L^*$ ), ค่าสีแดง ( $a^*$ ), ค่าสีเหลือง ( $b^*$ )
3. ปริมาณน้ำที่สูญเสีย (Expressible water)

**ตอนที่ 2** ทำการศึกษาปริมาณแป้งมันสำปะหลังตัดแปรและผงบุกที่เหมาะสมในการพัฒนาผลิตภัณฑ์ลูกชิ้นเลียนแบบเนื้อสัตว์จากพืช โดยใช้สูตรพื้นฐานที่ได้จากตอนที่ 1 และทดลองปรับเพิ่มปริมาณแป้งมันสำปะหลังตัดแปรต่อผงบุก 3 ระดับ ดังนี้ 5.0 : 1.5, 10.0 : 1.5 และ 10.0 : 2.5 ทำการทดสอบทางประสาทสัมผัสเพื่อหาทิศทางในการปรับสูตร ภายหลังจากทดสอบทางประสาทสัมผัสทำการปรับเพิ่มแป้งมันสำปะหลังตัดแปร 2 ระดับ ตามทิศทาง การปรับสูตรที่สามารถวิเคราะห์ได้จากกราฟแบบกระจายของการทดสอบ ซึ่งปรับเพิ่มเป็น 15.0 %w/w และ 20.0 %w/w รายละเอียดของการศึกษาของลูกชิ้นในรูปร่างแท้มและรูปร่างทอด มีดังนี้

**ตัวแปรต้น :** ปริมาณแป้งมันสำปะหลังตัดแปรและปริมาณผงบุก

**ตัวแปรตามของลูกชิ้นรูปร่างแท้ม :**

1. พารามิเตอร์ด้านเนื้อสัมผัส ได้แก่ Hardness, Adhesiveness, Springiness, Cohesiveness, Gumminess, Chewiness และ Gel Strength
2. พารามิเตอร์ด้านสี ได้แก่ ค่าความสว่าง ( $L^*$ ), ค่าสีแดง ( $a^*$ ), ค่าสีเหลือง ( $b^*$ )

3. ปริมาณน้ำที่สูญเสีย (Expressible water)
4. คะแนนการทดสอบทางประสาทสัมผัส 5 คุณลักษณะด้วยวิธี Just About Right ได้แก่ ความแน่นเนื้อ ความแข็ง ความนุ่ม รสเค็ม และกลิ่นเครื่องเทศ
5. คะแนนการทดสอบทางประสาทสัมผัสด้านความชอบโดยรวมโดยวิธี 9-point hedonic scale

**ตัวแปรตามของลูกชิ้นรูปแบบทอด :**

1. พารามิเตอร์ด้านเนื้อสัมผัส ได้แก่ Hardness, Springiness, Cohesiveness, Gumminess และ Chewiness
2. คะแนนการทดสอบทางประสาทสัมผัส 5 คุณลักษณะด้วยวิธี Just About Right ได้แก่ ความแน่นเนื้อ ความแข็ง ความนุ่ม รสเค็ม และกลิ่นเครื่องเทศ
3. คะแนนการทดสอบทางประสาทสัมผัสด้านความชอบโดยรวมโดยวิธี 9-point hedonic scale

**ตอนที่ 3** ศึกษาอิทธิพลของปริมาณขนุนอ่อนที่เสริมลงไปในการผลิตภัณฑ์ต่อสมบัติทางกายภาพและประสาทสัมผัสของลูกชิ้นเลียนแบบเนื้อสัตว์จากพืช โดยใช้ขนุนอ่อนสำเร็จรูปที่ทำการปกปิดเปลือกด้านนอกออก นำมา pre-treatment ด้วยกรดซิตริกก่อนการบด จากนั้นจึงนำไปใช้งาน ทำการเสริมขนุนอ่อนลงในสูตรพื้นฐานที่ได้จากตอนที่ 2 โดยเสริมขนุนอ่อน 3 ระดับ ที่ 10% w/w, 20 %w/w และ 30 %w/w รายละเอียดของการศึกษาของลูกชิ้นในรูปแบบต้มและรูปแบบทอด มีดังนี้

**ตัวแปรต้น :** ปริมาณของขนุนอ่อน

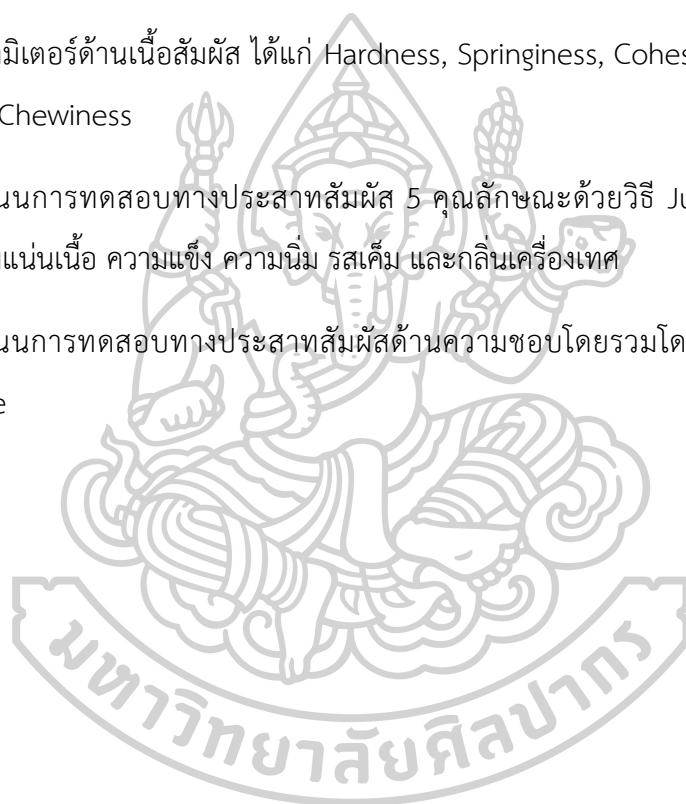
**ตัวแปรตามของลูกชิ้นรูปแบบต้ม :**

1. พารามิเตอร์ด้านเนื้อสัมผัส ได้แก่ Hardness, Adhesiveness, Springiness, Cohesiveness, Gumminess, Chewiness และ Gel Strength
2. พารามิเตอร์ด้านสี ได้แก่ ค่าความสว่าง (L\*), ค่าสีแดง (a\*), ค่าสีเหลือง (b\*)
3. ปริมาณน้ำที่สูญเสีย (Expressible water)

4. คะแนนการทดสอบทางประสาทสัมผัส 5 คุณลักษณะด้วยวิธี Just About Right ได้แก่ ความแน่นเนื้อ ความแข็ง ความนิ่ม รสเค็ม และกลิ่นเครื่องเทศ
5. คะแนนการทดสอบทางประสาทสัมผัสด้านความชอบโดยรวมโดยวิธี 9-point hedonic scale
6. ผลวิเคราะห์ Proximate Analysis (ถ้า ไขมัน ความชื้น โปรตีน และใยอาหาร)

**ตัวแปรตามของลูกชิ้นรูปแบบทอด :**

1. พารามิเตอร์ด้านเนื้อสัมผัส ได้แก่ Hardness, Springiness, Cohesiveness, Gumminess และ Chewiness
2. คะแนนการทดสอบทางประสาทสัมผัส 5 คุณลักษณะด้วยวิธี Just About Right ได้แก่ ความแน่นเนื้อ ความแข็ง ความนิ่ม รสเค็ม และกลิ่นเครื่องเทศ
3. คะแนนการทดสอบทางประสาทสัมผัสด้านความชอบโดยรวมโดยวิธี 9-point hedonic scale



## บทที่ 2 ทบทวนวรรณกรรม

### 2.1 ความหมายของผลิตภัณฑ์เลียนแบบเนื้อสัตว์จากพืช

ผลิตภัณฑ์เลียนแบบเนื้อสัตว์จากพืช (Plant-based meat analogs ; PBMA) เป็นผลิตภัณฑ์ที่พยายามเลียนแบบผลิตภัณฑ์จากสัตว์ในแง่ของรูปลักษณ์ รสชาติ กลิ่น ประโยชน์ใช้สอย PBMA อาจเป็นสารทดแทนเนื้อสัตว์จากโปรตีนข้าวสาลีหรือโปรตีนจากพืชชนิดอื่น เช่น ถั่วเหลือง ถั่วลันเตา หรือโปรตีนจากธัญพืช Mazumder et al. (2023) กล่าวถึง โปรตีนจากพืชที่สกัดออกมา เพื่อปรับเปลี่ยนคุณภาพด้านเนื้อสัมผัสให้มีลักษณะการเคี้ยวเหมือนเนื้อสัตว์ และมีประโยชน์ต่อสุขภาพ ในทำนองเดียวกันกับโปรตีนไมซีเลียม (mycelium protein) ซึ่งเป็นโปรตีนจากเชื้อรา มีคุณสมบัติการเคี้ยวเหมือนเนื้อสัตว์และถือว่ามีประโยชน์ต่อสุขภาพ นอกจากนี้เนื่องจากต้นทุนการแปรรูปเนื้อสัตว์ที่สูง เมื่อพิจารณาจากสภาพภูมิอากาศและปัจจัยด้านสิ่งแวดล้อมอื่นๆ โปรตีนทางเลือกจากพืชจึงมีต้นทุนที่ต่ำกว่า ดังนั้นผลิตภัณฑ์เลียนแบบเนื้อสัตว์จากพืชจึงอยู่ในช่วงที่กำลังได้รับการพัฒนาเพื่อปรับปรุงคุณสมบัติทางประสาทสัมผัส โภชนาการ และเนื้อสัมผัส

Plant-based food หรือ ผลิตภัณฑ์อาหารจากพืช เป็นอาหารกลุ่มโปรตีนทางเลือก (Alternative protein) ที่ใช้วัตถุดิบจากพืชที่ให้โปรตีนสูง เช่น ถั่ว เห็ด สาหร่าย ข้าวโอ๊ต อัลมอนต์ โดยมีการพัฒนารสชาติ กลิ่น และสีสัมผัสให้เหมือนผลิตภัณฑ์จากสัตว์ วัตถุประสงค์คือเพื่อลดการบริโภคเนื้อสัตว์ ที่ทำให้เกิดก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์จากกระบวนการเลี้ยงสัตว์และผลิตเนื้อสัตว์ หนึ่งในก๊าซเรือนกระจกที่เป็นสาเหตุของภาวะโลกร้อน (ศูนย์ส่งเสริมและพัฒนาการเรียนรู้ทางวิทยาศาสตร์, 2564) ด้วยนวัตกรรมด้านวิทยาศาสตร์การอาหารที่ก้าวหน้าอย่างรวดเร็ว จึงทำให้รูปแบบของ Plant based food ในปัจจุบันมีความหลากหลายมากขึ้น ทั้งนี้ การแบ่งประเภทของ Plant-based food พบว่า Plant-based food ที่ได้รับความนิยมและมีโอกาสทางการตลาดนั้นมีอยู่ 4 กลุ่มด้วยกัน ได้แก่

1. Plant-based meat คือ เนื้อสัตว์จากพืช ทำมาจากพืชประมาณ 95 เปอร์เซ็นต์ และมีส่วนผสมอื่นที่ไม่ใช่พืชประมาณ 5 เปอร์เซ็นต์ โดยมีผลออกมาในรูปแบบต่าง ๆ เช่น เนื้อเบอร์เกอร์ ไส้กรอก หรือเนื้อหมูจากพืช รวมไปถึงอาหารทะเล

2. Plant-based milk & dairy นมและผลิตภัณฑ์จากนม ทำจากถั่วหรือธัญพืชต่างๆ เช่น นมมะพร้าว นมถั่วเหลือง นมอัลมอนต์ นมข้าวโพด รวมถึงโยเกิร์ตนมจากพืช ชีสจากพืช และไอศกรีมจากพืช เป็นต้น

3. Plant-based meal อาหารปรุงสำเร็จจากพืช ทั้งในรูปแบบอาหารแช่เย็น อาหารแช่แข็ง รวมถึงอาหารที่เก็บได้ที่อุณหภูมิห้องโดยไม่ต้องแช่เย็น

4. Plant-based egg ไข่จากพืช ทำจากถั่วเขียวเป็นส่วนประกอบหลักเพื่อสร้าง Texture ก่อนผ่านกระบวนการต่างๆ รวมถึงการแต่งสีและกลิ่นให้เหมือนไข่

## 2.2 ปัจจัยที่สนับสนุนการเติบโตของตลาดอาหารจากพืช (Plant-based food)

2.2.1 ผู้บริโภคให้ความสำคัญกับสุขภาพมากขึ้น อาหารที่เน้นพืชเป็นหลักมีประโยชน์ต่อสุขภาพ รวมไปถึงความเสี่ยงที่ลดลงของโรคหัวใจ และในช่วงการระบาดใหญ่ของโควิด-19 นักวิจัยจากโรงเรียนแพทย์ฮาร์วาร์ดพบว่าอาหารจากพืชที่ดีต่อสุขภาพนั้นสัมพันธ์กับการลดความเสี่ยงของการติดเชื้อไวรัสโควิด-19 ที่รุนแรง (Pasricha, 2021)

2.2.2 เทรนด์รักษ์โลก ใส่ใจสิ่งแวดล้อม ผู้บริโภคที่ตระหนักถึงสวัสดิภาพสัตว์ (Animal welfare) และคำนึงถึงผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม ถือเป็นอีกกลุ่มที่ช่วยผลักดันทำให้เทรนด์ Plant-based food สูงขึ้นด้วยเช่นกัน ทั้งนี้ หากดูผลกระทบจากการผลิตอาหารที่มีต่อสิ่งแวดล้อมจะพบว่าผลิตภัณฑ์จากสัตว์ส่งผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมมากกว่าผลิตภัณฑ์จากพืช อีกทั้ง การผลิตและบริโภคเนื้อจากพืช ยังช่วยลดโลกร้อนได้ เนื่องจากกระบวนการผลิตเนื้อจากพืชนั้นจะปล่อยก๊าซเรือนกระจกน้อยกว่ากระบวนการผลิตเนื้อสัตว์จริง 30-90 เปอร์เซ็นต์ นอกจากนี้ ประเด็นในเรื่องของ Food Security หรือความมั่นคงทางด้านอาหาร เป็นอีกสิ่งหนึ่งที่เป็นที่พูดถึงในวงกว้างมากขึ้น และผู้คนเริ่มตระหนักในเรื่องนี้อย่างจริงจัง (เรไร, 2564)

2.2.3 กลุ่มผู้บริโภคแบบ Flexitarian มีมากขึ้น การเพิ่มขึ้นของจำนวนกลุ่มผู้รับประทานมังสวิรัตและผู้รับประทานมังสวิรัตที่มีความยืดหยุ่น เป็นผู้บริโภคหลักที่ช่วยขับเคลื่อนการใช้โปรตีนจากพืชในผลิตภัณฑ์อาหาร (Ismail et al., 2020)

## 2.3 พฤติกรรมการบริโภค Plant-based food แต่ละประเทศและมูลค่าทางการ

### ตลาด

เรไร (2564) ได้ให้ข้อมูลพฤติกรรมการบริโภค Plant-based food ของผู้บริโภคในทวีปยุโรป และทวีปเอเชีย รวมไปถึงการวิเคราะห์มูลค่าทางการตลาด ดังนี้ ในทวีปยุโรปผู้บริโภคชาวสหรัฐฯ จำนวน 23% หันมาบริโภค Plant-based food มากขึ้นในช่วง COVID-19 เพราะเป็นสินค้าที่มีอายุเก็บรักษานาน และมักไม่ค่อยขาดตลาด เมื่อเทียบกับผลิตภัณฑ์จากเนื้อสัตว์ ในขณะที่ผู้บริโภคในสหภาพยุโรป จำนวน 25% ตั้งใจจะลดการรับประทานเนื้อสัตว์ให้ได้ภายใน 5 ปีข้างหน้า โดยเฉพาะกลุ่มผู้สูงอายุที่ให้ความสำคัญกับเรื่องสุขภาพ ส่วนทวีปเอเชียผู้บริโภคชาวจีน จำนวน 62% มีแนวโน้มที่จะซื้อ Plant-based meat เป็นประจำ รวมไปถึงผู้บริโภคชาวอินเดีย จำนวน 63% เต็มใจหันมารับประทานเนื้อสัตว์จากพืชทดแทนการรับประทานเนื้อสัตว์ และในหมู่ผู้บริโภคชาวไทย จำนวน 53% ต้องการลดการบริโภคเนื้อสัตว์ ขณะที่ 45% สนใจที่จะปรับเปลี่ยนไปสู่การบริโภคแบบมังสวิรัต วิแกน และอาหารจากพืช ในส่วนของมูลค่าทางการตลาด Plant-based food ของทั่วโลกในปี 2019 มีมูลค่า 1.6 หมื่นล้านดอลลาร์ฯ และคาดว่าจะเติบโตในอัตรา 10.5% จากปี 2019 ถึง 2024 ประเทศไทยในปี 2019 มูลค่าทางการตลาดของ Plant-based food มีมูลค่า 2.8 หมื่นล้านบาท และคาดว่าจะในปี 2024 จะมีมูลค่า 4.5 หมื่นล้านบาท ซึ่งคิดเป็นอัตราที่เติบโตขึ้น 10% ดังนั้นจะเห็นได้ว่าในปัจจุบันแนวโน้มของกลุ่มตลาด Plant-based food นั้นมีโอกาสเติบโตขึ้นในทุก ๆ ปี อีกทั้งยังมีผลสำรวจความสนใจอาหารทดแทนเนื้อสัตว์รูปแบบต่าง ๆ ในหมู่ผู้บริโภคชาวอเมริกันในเดือนกุมภาพันธ์ 2564 ซึ่ง 4 ลำดับแรกได้แก่ ผลิตภัณฑ์เบอร์เกอร์ เนื้อไก่ ไส้กรอก และลูกชิ้นเนื้อ ตามลำดับ (Good Food Institute, 2021)

## 2.4 แนวโน้มการบริโภคอาหารจากพืชในประเทศไทย

ศุภรัตน์ (2567) กล่าวถึงแนวโน้มการบริโภคอาหารจากพืชของคนไทยในบทความวิชาการ เรื่อง การบริโภค Plant-Based food อาหารจากพืชที่ดีต่อสุขภาพและสิ่งแวดล้อมว่าคนไทยเริ่มมีความเข้าใจเรื่องโปรตีนจากพืชมากขึ้น ในช่วงเทศกาลถือศีลกินอาหารเจที่ผ่านมา ร้านอาหารนำเสนอเมนูอาหารจากพืชในรูปแบบที่หลากหลายมากขึ้น ผู้บริโภคเริ่มรับรู้ข้อมูลเกี่ยวกับอาหารจากพืชที่มีความแตกต่างจากอาหารเจที่ส่วนมากทำมาจากแป้งหรือถั่วเหลืองอย่างเดียว แต่ผลิตภัณฑ์อาหารจากพืชมีการนำพืชชนิดอื่นมาใช้เป็นวัตถุดิบด้วย ซึ่งพิจารณาแล้วว่าอาหารจากพืชไม่ใช่แนวโน้ม

แต่เป็นแนวทางการแก้ไขปัญหที่ตบโจทย์ทั้งในเรื่องของสุขภาพและสิ่งแวดล้อม จากการสำรวจมูลค่าทางการตลาดของผลิตภัณฑ์อาหารจากพืชในประเทศไทยโดย Krungthai Compass โดยอ้างอิงจาก Euromonitor และ Allied Market Research พบว่า ในปี ค.ศ. 2019 มีมูลค่าตลาดอยู่ที่ 2.8 หมื่นล้านบาท และคาดว่าจะเติบโตเฉลี่ย 10% ทำให้มีการคาดการณ์ว่า ในปี ค.ศ. 2024 มูลค่าตลาดจะขึ้นไปอยู่ที่ 4.5 หมื่นล้านบาท บริษัทผู้ผลิตอาหารต่างเล็งเห็นถึงโอกาสเติบโตทางการตลาดของผลิตภัณฑ์อาหารจากพืช เพื่อตามกระแสการบริโภคดังกล่าวจึงมีการพัฒนาผลิตภัณฑ์อาหารจากพืชใหม่ ๆ ซึ่งกลุ่มผู้บริโภคในประเทศไทยที่เป็นกลุ่มรับประทานอาหารมังสวิรัตแบบยืดหยุ่น (Flexitarian) กลุ่มผู้บริโภคที่พยายามลดการบริโภคเนื้อสัตว์ให้น้อยลง ในลักษณะการรับประทานบางอย่าง ไม่รับประทานบางอย่าง หรือรับประทานบ้าง ไม่รับประทานบ้าง มีอยู่ราว 1 ใน 4 ของประชากรทั้งประเทศ หรือประมาณ 17-18 ล้านคน (จากประชากรไทย 67-68 ล้านคน) โดยวิถีชีวิตของกลุ่มผู้รับประทานอาหารมังสวิรัตแบบยืดหยุ่น (Flexitarian) แบ่งเป็น 2 กลุ่ม คือ 1. กลุ่มบริโภคมังสวิรัตเป็นครั้งคราวเพราะต้องการดูแลสุขภาพ 2. กลุ่มบริโภคมังสวิรัตเป็นครั้งคราวเพราะต้องการควบคุมน้ำหนัก จึงเห็นได้ว่าโอกาสเติบโตของตลาดอาหารประเภทนี้ค่อนข้างสูง

## 2.5 ประโยชน์ของการรับประทานอาหารที่มาจากพืช (Plant-based food)

ศุภรัตน์ (2567) ยังได้กล่าวถึงการรับประทานอาหาร Plant-based food มีงานวิจัยรองรับในเชิงวิชาการมากมายว่าช่วยให้มี สุขภาพดีขึ้น อาการเจ็บป่วยต่าง ๆ ค่อยๆดีขึ้น เนื่องจากการรับประทานอาหารแบบ Plant-based food มีความคล้ายคลึงกับการรับประทานอาหารแบบมังสวิรัตและการรับประทานอาหารแบบเมดิเตอร์เรเนียนที่เน้นพืชผัก เนื้อปลา ไข่ ซีส กรีกโยเกิร์ต ผลไม้ ถั่วและธัญพืชที่อุดมไปด้วยไฟเบอร์และสารต้านอนุมูลอิสระเป็นหลัก นอกจากนี้การรับประทานอาหาร Plant based food ยังมีประโยชน์ต่อสุขภาพอื่น ๆ อีกมากมาย เช่น

2.5.1 ช่วยลดความเสี่ยงการเกิดโรค เช่น โรคหัวใจ เบาหวาน ความดันโลหิตสูง โรคอ้วน ภาวะเมแทบอลิกซินโดรม (Metabolic syndrome) และมะเร็งบางชนิด เช่น มะเร็งลำไส้ มะเร็งเต้านม หรือมะเร็งต่อมลูกหมาก นอกจากนี้ในพืชตระกูลต่าง ๆ เช่น อัลมอนต์ ฮาเซลนัท แมคคาดีเมีย หรือวอลนัท ยังเป็นแหล่งของโปรตีนและไขมันชนิดดี ที่ช่วยในเรื่องความจำ ช่วยลดภาวะโรคซึมเศร้า รวมถึงภาวะที่มีการเสื่อมถอยของอวัยวะและระบบต่าง ๆ ในร่างกาย และรวมไปถึงสมรรถภาพของผู้สูงอายุ

2.5.2 ช่วยควบคุมน้ำหนัก Plant-based food มีคอเลสเตอรอลน้อยและช่วยลดการดูดซึมไขมัน การรับประทานอาหาร Plant-based food อย่างต่อเนื่องควบคู่กับการออกกำลังกายอย่างสม่ำเสมอจะช่วยลดค่าดัชนีมวลกาย (BMI) ให้อยู่ในระดับที่ดีขึ้น ผู้ที่ลดน้ำหนักจึงนิยมเลือกการรับประทานอาหารแบบ Plant-based food ระหว่างทำการลดน้ำหนัก เพื่อให้ง่ายต่อการรักษารูปร่าง และไม่ต้องกังวลเกี่ยวกับปริมาณแคลอรีที่เข้าสู่ร่างกายมากเกินไป

2.5.3 ช่วยป้องกันโรค การรับประทานอาหารแบบ Plant-based food ที่ประกอบไปด้วยพืชผักและธัญพืชเป็นหลักในแต่ละวัน สามารถช่วยป้องกันโรคอัลไซเมอร์ โรคความจำเสื่อม และโรคเรื้อรังบางชนิดได้ ช่วยระงับการอักเสบของลำไส้ โรคในระบบทางเดินอาหารและทำให้ลำไส้แข็งแรง นอกจากนี้ยังพบว่า การรับประทานอาหารแบบ Plant-based food ยังช่วยลดอัตราการเกิดโรคข้ออักเสบ ช่วยปรับปรุงการทำงานของตับให้ดีขึ้น ช่วยให้ไตแข็งแรงขึ้นและช่วยชะลอกระบวนการเสื่อมและชราภาพของร่างกาย




2.5.4 ช่วยให้อิ่มท้องได้นาน เนื่องจากอาหารแบบ Plant-based food เป็นแหล่งอาหารที่มีไฟเบอร์สูง มีคาร์โบไฮเดรตเชิงซ้อนซึ่งช่วยให้อิ่มท้องได้นาน ช่วยควบคุมความอยากอาหาร และช่วยในการขับถ่าย

2.5.5 ช่วยอนุรักษ์สิ่งแวดล้อม การรับประทานอาหารแบบ Plant-based food เน้นการรับประทานอาหารจากธรรมชาติที่ไม่ผ่านการแปรรูป ทำให้ช่วยลดก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์หรือก๊าซเรือนกระจกในการคมนาคมขนส่งและการแปรรูปของผลิตภัณฑ์ เป็นการประหยัดพลังงานและช่วยรักษาสิ่งแวดล้อมได้เป็นอย่างดี




## 2.6 ผลลัพธ์และงานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการพัฒนาผลิตภัณฑ์แปรรูปทดแทนเนื้อสัตว์

ปัจจุบันตลาด Plant-based food ในต่างประเทศ ได้มีสินค้าที่หลากหลาย ๑ เริ่มพัฒนาผลิตภัณฑ์ Plant-based food แปรรูปในรูปแบบไส้กรอกหรือลูกชิ้นทดแทนเนื้อสัตว์ออกมาวางจำหน่าย จากการรวบรวมและจำแนกข้อมูลที่เกี่ยวข้องและเป็นประโยชน์กับงานวิจัย ดังแสดงใน ตารางที่ 1




**ตารางที่ 1** ตัวอย่างข้อมูลแหล่งของสารอาหารประเภทต่าง ๆ ในผลิตภัณฑ์ทดแทนเนื้อสัตว์ที่มีวางจำหน่ายทั้งในประเทศและต่างประเทศ

Product	Source of protein	Source of carbohydrate and fiber	Source of fat	Hydrocolloid	Casing	Raising Agent	Firming Agent	Coloring Agent
	Soya & Wheat Protein	Wheat Starch, Chicory Root Fiber	Soya Bean Oil	Methyl cellulose	Sodium Alginate	-	-	Beetroot, Safflower
	Mushroom, Red onion, Spinach, Lentils, Soy Protein, Pea Protein	Wheat Flour	Sunflower Oil, Rapeseed Oil	Methyl cellulose	Sodium Alginate	Ammonium Carbonates	-	-
	Wheat Protein, Soy Protein, Pea Protein	Potato Fiber	Canola Oil	Methyl cellulose	Sodium Alginate	-	Calcium chloride	Caramel 1
Coles Nature's Kitchen								

ตารางที่ 1 ข้อมูลแหล่งของสารอาหารประเภทต่าง ๆ ในผลิตภัณฑ์ทดแทนเนื้อสัตว์ที่มีวางจำหน่ายทั้งในประเทศและต่างประเทศ (ต่อ)

Product	Source of protein	Source of carbohydrate and fiber	Source of fat	Hydrocolloid	Casing	Raising Agent	Firming Agent	Coloring Agent
	Pea protein, (less than 2%) Rice protein & Faba bean protein	Apple fiber	Refined coconut oil Sunflower oil	Methyl cellulose	Calcium alginate	-	-	Vegetable juice
BEYOND SAUSAGE	Pea Protein Soya Protein	Potato Starch Vegetable Fiber Citrus Fiber	Coconut Oil Sunflower Oil	Methyl cellulose	Calcium Alginate	-	-	Beetroot Extract
	Pea Protein Rice Protein	Potato Starch Vegetable Fiber	Vegetable Oils (Rapeseed, Shea, Coconut)	Methyl cellulose	Sodium Alginate	-	-	Beetroot, Caramelised Carrot, Carrot
HECK								
								
Meatless Farm								

ตารางที่ 1 ข้อมูลแหล่งของสารอาหารประเภทต่าง ๆ ในผลิตภัณฑ์ทดแทนเนื้อสัตว์ที่มีวางจำหน่ายทั้งในประเทศและต่างประเทศ (ต่อ)

Product	Source of protein	Source of carbohydrate and fiber	Source of fat	Hydrocolloid	Casing	Raising Agent	Firming Agent	Coloring Agent
	Soy protein Wheat protein	-	Coconut oil, Vegetable oil	Methylcellulose, Carrageenan, Xanthan gum	-	-	-	Beetroot powder Caramel powder
	Textured soy protein concentrate, Soy flour	-	Canola oil Sunflower oil Soybean oil	Methyl cellulose	-	-	-	Fruit juice Tomato paste
	Mushroom Isolated Soy Protein	-	Coconut Oil	Modified Tapioca Starch (E1412) cross-linked modified starch (Distarch Phosphate)	-	Yeast Extract	-	-

สำหรับรายงานการวิจัยก่อนหน้าที่เกี่ยวข้องกับการพัฒนาผลิตภัณฑ์อาหารแปรรูปทดแทนเนื้อสัตว์ที่มีการใช้วัตถุดิบต่าง ๆ ในการพัฒนาเป็นผลิตภัณฑ์ทดแทนเนื้อสัตว์และมีการเสริมสารปรับปรุงคุณภาพ เช่น สารไฮโดรคอลลอยด์เพื่อปรับปรุงคุณสมบัติทางด้านเนื้อสัมผัสของผลิตภัณฑ์ ดังแสดงในตารางที่ 2

**ตารางที่ 2** งานวิจัยที่ทำการศึกษเกี่ยวกับพัฒนาผลิตภัณฑ์ทดแทนเนื้อสัตว์

ผลิตภัณฑ์	ตัวแปรที่ศึกษา	ผลการทดลอง	ที่มา
ไส้กรอกมังสวิรัติจากขนุนอ่อนเห็นดานงรมและแป้งมะพร้าว	อัตราส่วนผสมระหว่างขนุนอ่อนและเห็ดนางรม 4 อัตราส่วน และแป้งมะพร้าว 20:80, 40:60, 60:40, 80:20	ผลการทดสอบทางประสาทสัมผัส ผู้บริโภคระเมินความชอบผลิตภัณฑ์ในอัตราส่วนขนุนอ่อนต่อเห็ดที่ 60:40 มีคะแนนสูงสุดนำมาทำเป็นสูตรต้นแบบ และพัฒนาต่อโดยมีการเติมแต่งรสชาติและใช้แป้งมะพร้าว พบว่าสามารถใช้แป้งมะพร้าวได้มากถึง 3.2 %	Paranagama et al. (2022)
ไส้กรอกมังสวิรัติจากหัวปลีและขนุนอ่อน	อัตราส่วนผสมขนุนอ่อน : หัวปลี : ถั่วเขียวโชนเลท : ส่วนผสมอื่น $S_1 = 60 : 0 : 8 : 32$ $S_2 = 0 : 60 : 8 : 32$ $S_3 = 30 : 30 : 8 : 32$	ผลการทดสอบทางประสาทสัมผัส จากผู้บริโภครพบว่าในด้านของรสชาติ และความชอบโดยรวม ไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ พารามิเตอร์ต่าง ๆ ที่ทำการศึกษามีค่าใกล้เคียงกับสูตรควบคุม	Priya et al. (2021)
ไส้กรอกมังสวิรัติจากกระตุนภูมิคุ้มกันโดยใช้ขนุนอ่อน	ใช้ขนุนอ่อนเป็นส่วนผสมหลักของไส้กรอกที่ผลิต คิดเป็น 57% ของสูตร	ขนุนอ่อนสามารถทดแทนเนื้อสัตว์ได้อย่างมากในการผลิตไส้กรอกที่ไม่ใช่เนื้อสัตว์ ใช้ขนุนอ่อนได้ถึง 57% เป็นส่วนผสมหลัก แต่มีข้อเสียบางประการในการสร้างสีที่มีลักษณะเฉพาะ เม็ดสีไลโคปีนในมะเขือเทศสามารถให้สีธรรมชาติแก่ไส้กรอกที่ไม่ใช่เนื้อสัตว์ได้	Wijegunawardhana et al. (2021)

**ตารางที่ 2** งานวิจัยที่ทำการศึกษเกี่ยวกับพัฒนาผลิตภัณฑ์ทดแทนเนื้อสัตว์ (ต่อ)

ผลิตภัณฑ์	ตัวแปรที่ศึกษา	ผลการทดลอง	ที่มา
ไส้กรอกปลอดเนื้อสัตว์โดยใช้ k-carrageenan, konjac mannan และ xanthan gum	ใช้ไฮโดรคอลลอยด์ k-carrageenan, konjac mannan และ xanthan gum ที่ 0, 0.3, 0.6, 1.0 และ 1.5% w/w เพื่อปรับปรุงคุณภาพของไส้กรอกปลอดเนื้อสัตว์ที่ทำจาก Soy protein isolate	การใช้ไฮโดรคอลลอยด์ช่วยปรับปรุงความแข็งมีความจำเป็นต่อการหั่นสไลด์ และช่วยลดการสูญเสียในกระบวนการทอด มีความสามารถในการดูดซับน้ำที่ดีขึ้นและมีน้ำหนักเบา และพบว่าการยอมรับโดยทั่วไปของไส้กรอกที่ระดับสูงสุดเมื่อเพิ่ม k-carrageenan หรือ konjac mannan ที่ 0.6%	Majzooobi et al. (2017)
การแปรรูปขนุนอ่อนสำหรับลูกชิ้นจากพืช	กระบวนการให้ความร้อน การลวกเป็นเวลา 5 นาที และการต้มเป็นเวลา 15, 30 และ 45 นาที	ระยะเวลาการให้ความร้อนมีอิทธิพลอย่างมากต่อสีและดัชนีการเกิดสีน้ำตาลของเนื้อขนุน แม้ว่าการเปลี่ยนแปลงเหล่านี้จะไม่คงอยู่ในผลิตภัณฑ์ลูกชิ้นสุดท้าย แต่การให้ความร้อนเป็นเวลานานขึ้นจะช่วยปรับปรุงความสามารถในการกักเก็บน้ำ เนื่องจากการสกัดเพคตินก่อให้เกิดโครงสร้างคล้ายเจลที่ส่งผลให้เนื้อสัมผัสนุ่มขึ้น	Samutsri and Thimthud (2025)

**ตารางที่ 2** งานวิจัยที่ทำการศึกษเกี่ยวกับพัฒนาผลิตภัณฑ์ทดแทนเนื้อสัตว์ (ต่อ)

ผลิตภัณฑ์	ตัวแปรที่ศึกษา	ผลการทดลอง	ที่มา
การทดแทน กลูเตนด้วยไฮโดร คอลลอยด์ในเนื้อ เทียมที่ใช้ soy protein isolate	ศึกษาผลกระทบของ ไฮโดรคอลลอยด์ กลูเตนในสูตรควบคุม จะถูกแทนที่ด้วยกัวร์ กัม, คาราจีแนน, แชน แทนกัม, hydroxypropyl starch (HPS), cross- linked tapioca starch (CLS) ใน ปริมาณ 1%, 2%, 3%, 4%, 5%, 6% หรือ 7% (w/w)	การเติมไฮโดรคอลลอยด์ช่วยเพิ่ม ความหนืดและระดับความยืดหยุ่น ของเนื้อเทียมเมื่อเทียบกับตัวอย่าง ควบคุม การเติมกัวร์กัมและคารา จีแนนมากขึ้นช่วยเพิ่มความแข็ง ความยืดหยุ่น ความแน่นเนื้อ และ ความเหนียวของเนื้อเทียม แต่ พฤติกรรมเดียวกันนี้ไม่พบในแซน แทนกัม การผสมคาราจีแนน 6% ร่วมกับแซนแทนกัม 1% และ กัวร์กัม 6% ร่วมกับแซนแทนกัม 1% มีศักยภาพมากที่สุดในการ ทดแทนกลูเตนในเนื้อเทียม	Nanta et al. (2021)
การใช้ไฮโดร คอลลอยด์ในการ เตรียมเนื้อเทียม	ผลของการเติมไฮโดร คอลลอยด์ชนิดต่าง ๆ ได้แก่ แซนแทนกัม, i- carrageenan, CMC, โซเดียมอัลจิเนต, กัวร์ กัม, gellan gum, โลว์ เมทิลเลตเพคตินและ โลคัสปินกัมที่ 1%, 2% และ 3% ต่อ ส่วนผสมที่ประกอบ ด้วย pea protein isolate และ wheat gluten	การเติม แซนแทนกัม, CMC และกัวร์กัมส่งผลให้เกิดโครงสร้าง ที่มีกาวเหนียวที่แข็งแรงขึ้นและการ ก่อตัวของเส้นใยเมื่อเทียบกับสูตร ที่ไม่มีไฮโดรคอลลอยด์ แซน แทนกัม และ gellan gum มี ศักยภาพในการปรับปรุงคุณสมบัติ เนื้อสัมผัสของเนื้อเทียม และใน การศึกษานี้สรุปได้ว่าการเติมแซน แทนกัมที่ความเข้มข้น 3% และ 2% ช่วยปรับปรุงคุณสมบัติด้านสี เนื้อสัมผัส และความสามารถใน การอุ้มน้ำในการผลิตผลิตภัณฑ์	Dinani et al. (2023)

จากการรวบรวมข้อมูลของผลิตภัณฑ์ทางการค้าเปรียบเทียบกับข้อมูลของผลิตภัณฑ์ทางการวิจัย พบว่ามีการใช้สารปรับปรุงคุณสมบัติของผลิตภัณฑ์เพื่อช่วยปรับเนื้อสัมผัสของผลิตภัณฑ์ให้ดียิ่งขึ้น เนื่องจากความแตกต่างทางเคมีโครงสร้างระหว่างโปรตีนจากพืชและโปรตีนจากเนื้อสัตว์ การสร้างคุณลักษณะที่กล่าวมานี้ขึ้นอยู่กับฟังก์ชันของโปรตีนที่เลือกใช้และส่วนผสมอื่นที่ไม่ใช่โปรตีน รวมไปถึงการใช้เทคโนโลยีหรือนวัตกรรมใหม่ในการผลิต แม้ว่าโปรตีนจะเป็นแกนหลักของผลิตภัณฑ์ทดแทนเนื้อสัตว์จากพืช แต่ปฏิสัมพันธ์ระหว่างโปรตีนกับส่วนผสมอื่น ๆ (เช่น คาร์โบไฮเดรต) สามารถนำมาใช้เพื่อสร้างโครงสร้างแบบแอนไอโซทรอปิก (anisotropic) ชั้นเลเยอร์ และเส้นใย ซึ่งคล้ายกับผลิตภัณฑ์เนื้อสัตว์เพื่อให้เกิดโครงสร้างดังกล่าวการเลือกส่วนผสม (เช่น คาร์โบไฮเดรต สารช่วยในการยึดเกาะ สารเชื่อมขวาง) ที่เข้ากันได้กับโปรตีนถือเป็นปัจจัยสำคัญ Ozturk and Hamaker (2023) กล่าวว่าอย่างไรก็ตามอุตสาหกรรมอาหารให้ความสำคัญกับกระบวนการสร้างโครงสร้างเส้นใยและการใช้ไฮโดรคอลลอยด์หรือกลูเตนเพื่อให้ได้คุณสมบัติทางด้านความยืดหยุ่นและความแน่นเนื้อที่พบในผลิตภัณฑ์เนื้อสัตว์ แต่ขาดหายไปโปรตีนจากพืชทั่วไป จึงต้องมีการปรับปรุงคุณสมบัติของผลิตภัณฑ์เลียนแบบเนื้อสัตว์เพื่อให้มีเนื้อสัมผัสใกล้เคียงกับเนื้อสัตว์จริง

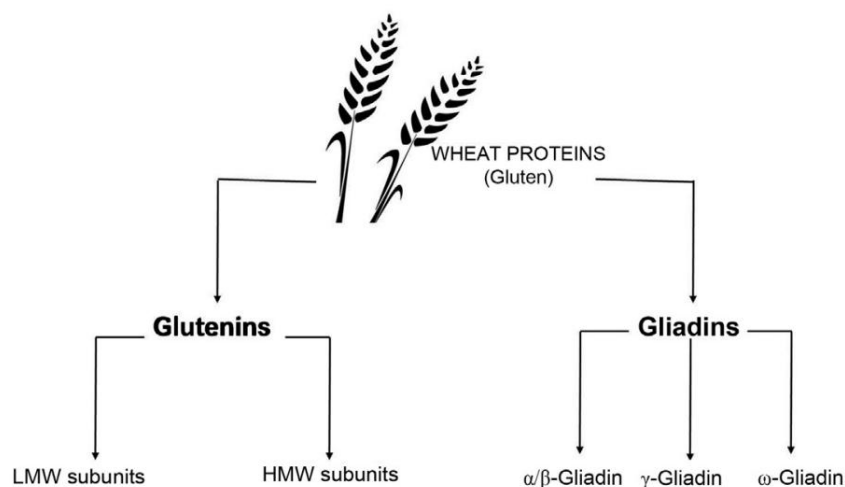
## 2.7 การปรับปรุงสมบัติของผลิตภัณฑ์เลียนแบบเนื้อสัตว์จากพืช

พารามิเตอร์ที่สำคัญอย่างหนึ่งในเนื้อสัมผัสและคุณภาพทางประสาทสัมผัสของผลิตภัณฑ์เลียนแบบเนื้อสัตว์จากพืชคือโครงสร้างเส้นใย กลูเตนข้าวสาลี (Wheat gluten) เป็นส่วนผสมหลักที่ใช้สร้างโครงสร้างเส้นใยในเนื้อสัตว์ทางเลือกจากพืชร่วมกับโปรตีนจากแหล่งอื่น ๆ เช่น ถั่วเหลืองหรือถั่ว โดยสร้างเครือข่ายที่เชื่อมต่อกันผ่านพันธะไดซัลไฟด์ระหว่างโมเลกุลและภายในโมเลกุล ยิ่งไปกว่านั้นการรวมกลูเตนข้าวสาลีไว้ในเนื้อสัตว์ทางเลือกจากพืชสามารถส่งผลในเชิงบวกต่อเนื้อสัมผัส คุณสมบัติในการจับตัว การกักเก็บความชื้น และคุณลักษณะทางประสาทสัมผัสของผลิตภัณฑ์ขั้นสุดท้าย ไฮโดรคอลลอยด์ยังเป็นอีกตัวเลือกที่มีแนวโน้มจะใช้แทนกลูเตนจากข้าวสาลี เนื่องจากสามารถเลียนแบบคุณสมบัติด้านหน้าที่และเนื้อสัมผัสของกลูเตนได้ เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพของไฮโดรคอลลอยด์บางชนิด เช่น เจลแลนแกมมันชนิดที่มีอะซิลสูงและต่ำ เพคตินที่มีเมทอกซิลสูงและต่ำ รวมถึงแซนแทนแกม และยังจำเป็นต้องใช้ความเข้มข้นของเกลือที่เหมาะสมในการสร้างโครงข่าย ซึ่งสามารถนำไปสู่การเกิดโครงสร้างเส้นใยในผลิตภัณฑ์ทดแทนเนื้อสัตว์จากพืช (Dinani et al., 2023)

### 2.7.1 กลูเตนข้าวสาลี (Wheat gluten)

Mazumder et al. (2023) กล่าวว่าผลิตภัณฑ์ทดแทนเนื้อสัตว์หลายชนิดมีกลูเตนข้าวสาลีเป็นส่วนประกอบสำคัญ กลูเตนข้าวสาลีมีคุณสมบัติเชิงหน้าที่ที่ดี เช่น ความเหนียว การพองตัว และคุณค่าทางโภชนาการ นอกเหนือจากความสามารถในการยึดเกาะและการขึ้นรูปโดแล้ว กลูเตนข้าวสาลีสามารถใช้สำหรับการแปรรูปผลิตภัณฑ์ทดแทนเนื้อสัตว์ได้โดยเปลี่ยนเป็นโครงสร้างเส้นใยผ่านการอัดขึ้นรูปหรือการใช้แรงเฉือนในการตัดเซลล์ เมื่อกลูเตนถูกทำให้มีการเสีรูปร่างและเกิดการยึดตัวได้ง่าย จะสร้างฟิล์มโปรตีนบาง ๆ ทำให้โดของผลิตภัณฑ์เลียนแบบเนื้อสัตว์กลายเป็นโครงสร้างที่มีเส้นใย งานวิจัยของ Taikerd and Leelawat (2023) ได้ทำการศึกษาเกี่ยวกับผลของขนุนอ่อน, กลูเตนข้าวสาลีและโปรตีนถั่วเหลืองต่อคุณสมบัติทางเคมีกายภาพของเนื้อไก่เทียมพบว่าแรงเฉือนและดัชนีความสมบูรณ์สูงขึ้นเมื่อมีความเข้มข้นของกลูเตนข้าวสาลีสูง

กลูเตน ประกอบด้วยโปรตีนหลักสองกลุ่ม ได้แก่ ไกลอะดีน (gliadins) และกลูเตนิน (glutenins) ไกลอะดีนและกลูเตนินประกอบด้วยประมาณ 30% และ 50% ตามลำดับของโปรตีนทั้งหมด กลูเตนินถูกจำแนกออกเป็นหน่วยย่อยที่มีน้ำหนักโมเลกุลสูง (High Molecular Weight Glutenin Subunits ; HMW-GS) และน้ำหนักโมเลกุลต่ำ (Low Molecular Weight Glutenin Subunits ; LMW-GS) เชื่อมโยงกรดอะมิโน Cysteine เข้าไว้ด้วยกันด้วยพันธะไดซัลไฟด์ซึ่งให้ความคงตัวหรือความเสถียรแก่โครงสร้างเชิงซ้อนของกลูเตน (gluten polymer) HMW-GS มีบทบาทสำคัญในการกำหนดความยืดหยุ่นของแป้ง แม้ว่า HMW-GS จะเป็นส่วนประกอบที่มีปริมาณน้อย แต่ก็มีผลกระทบอย่างมากต่อความสามารถของแป้งในการยึดและเก็บก๊าซ glutenin มีปฏิสัมพันธ์กับ gliadins ซึ่งเป็นโพลีเปปไทด์สายเดี่ยว โดยการสร้างกลุ่มที่ถูกยึดด้วยปฏิสัมพันธ์ที่ไม่ใช่พันธะโควาเลนต์ ปฏิสัมพันธ์เหล่านี้มีส่วนช่วยในการสร้างโครงสร้างและความแข็งแรงของแป้ง



**ภาพที่ 1** กลูเตนในข้าวสาลีประกอบด้วย gliadins และ glutenins ซึ่งสามารถแบ่งย่อยได้อีก glutenins แบ่งออกเป็นหน่วยย่อยที่มีน้ำหนักโมเลกุลต่ำ (LMW) และหน่วยย่อยที่มีน้ำหนักโมเลกุลสูง (HMW) ในขณะที่ gliadins แบ่งออกเป็น  $\alpha$ ,  $\beta$ ,  $\gamma$ , และ  $\omega$ -gliadins  
ที่มา : Chhuneja and Arora (2020)

### 2.7.2 ไฮโดรคอลลอยด์ (hydrocolloid)

ไฮโดรคอลลอยด์ เป็นสารประกอบอินทรีย์ชนิดคาร์โบไฮเดรต หรือโปรตีนที่มีโครงสร้างเป็นสายโซ่โพลีเมอร์ที่มีความยาว เมื่อละลายในน้ำก่อให้เกิดความหนืดและ/หรือเกิดเป็นเจล ไฮโดรคอลลอยด์จากแหล่งที่มาต่างกันจะมีสมบัติแตกต่างกัน และมีความเหมาะสมกับผลิตภัณฑ์แต่ละกลุ่มต่างกัน (ประจเวท, 2560) มีการใช้ไฮโดรคอลลอยด์ในอุตสาหกรรมอาหารเพื่อจุดประสงค์ต่าง ๆ เช่น เป็นสารเพิ่มความข้นหนืด สารดูดซับน้ำ ปรับปรุงเนื้อสัมผัสของผลิตภัณฑ์อาหาร ทำให้สามารถเก็บรักษาได้นานขึ้น รวมทั้งยังเป็นสารเพิ่มความเสถียรให้กับผลิตภัณฑ์ประเภทอิมัลชัน (emulsion) ทำให้ไม่เกิดการแยกตัวของไขมัน หรือเป็นสารทดแทนไขมันเพื่อลดปริมาณไขมัน (นราธิป, 2555) การเติมไฮโดรคอลลอยด์ลงในสูตรเนื้อสัตว์เทียมซึ่งทำหน้าที่เป็นสารเพิ่มความข้นหนืดหรือสารก่อเจลสามารถช่วยปรับปรุงคุณสมบัติทางเนื้อสัมผัสได้ ไฮโดรคอลลอยด์เป็นโพลีแซ็กคาไรด์ที่ละลายน้ำหรือกระจายตัวในน้ำ ซึ่งสามารถปรับปรุงคุณสมบัติทางเนื้อสัมผัสโดยการทำหน้าที่เป็นตัวเชื่อมโยงและยึดเส้นใยโปรตีนเข้าด้วยกัน การปรับปรุงเนื้อสัมผัส ลักษณะปรากฏภายนอก และความชุ่มฉ่ำของผลิตภัณฑ์เนื้อเทียมควรคล้ายกับเนื้อสัตว์ให้มากที่สุดเท่าที่จะเป็นไปได้เพื่อเพิ่มการยอมรับจาก

ผู้บริโภค การเติมไฮโดรคอลลอยด์ลงในโปรตีนจากพืชช่วยให้สามารถปรับปรุงความเป็นเส้นใยของเนื้อสัตว์เทียมที่ผลิตโดยกระบวนการอัดรีดที่ความชื้นสูง (Dinani et al., 2023)

### 2.7.2.1 คุณสมบัติเชิงหน้าที่ของไฮโดรคอลลอยด์

#### 2.7.2.1.1 คุณสมบัติการทำให้ข้นหนืด

การทำให้ข้นหนืดจะช่วยลดความชื้นไหลของอาหาร โดยพื้นฐานแล้วจะเพิ่มปฏิสัมพันธ์ระหว่างโมเลกุลขนาดใหญ่และตัวทำละลาย คอลลอยด์ที่ชอบน้ำที่มีโครงสร้างโมเลกุลและความเข้มข้นต่างกันจะมีสมบัติด้านความหนืดที่แตกต่างกัน โดยเฉพาะอย่างยิ่ง โมเลกุลขนาดใหญ่สามารถเคลื่อนที่ได้อย่างอิสระในสารละลายที่มีความเข้มข้นของไฮโดรคอลลอยด์ต่ำ ยิ่งสายโซ่โมเลกุลของไฮโดรคอลลอยด์ยาวเท่าใด ความถี่ของการชนกันและแรงเสียดทานระหว่างโมเลกุลก็จะยิ่งสูงขึ้น และสารละลายคอลลอยด์ที่มีความหนืดมากขึ้นก็จะสามารถฟอร์มตัวได้

#### 2.7.2.1.2 คุณสมบัติของเจล

##### เจลโปรตีนจากสัตว์

Myofibrillar proteins (MP) มีบทบาทสำคัญในการทำให้เนื้อสัตว์เกิดเจล สารเติมแต่งจากภายนอก (เช่น น้ำมัน โปรตีน แป้ง และไฮโดรคอลลอยด์) หรือเทคโนโลยีใหม่ ๆ (เช่น อัลตราซาวด์ แรงดันสูงพิเศษ สนามไฟฟ้าสถิตย์ และการฉายรังสีอิเล็กตรอน) ถูกนำมาใช้เพื่อปรับปรุงคุณสมบัติของเจลของผลิตภัณฑ์เนื้อสัตว์ การเติมคอลลอยด์ที่ชอบน้ำ (คาราจีแนน แชนแทนกัม ผงบุก ฯลฯ) ยังช่วยเพิ่มคุณสมบัติของเจล MP ได้อีกด้วย (Gao et al., 2022)

##### เจลโปรตีนจากพืช

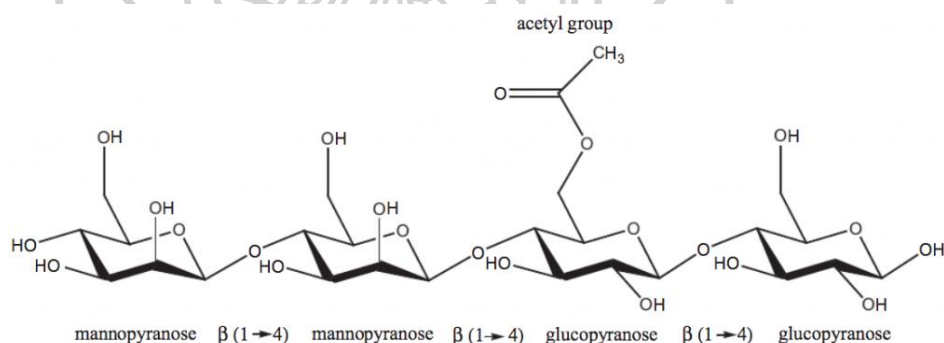
Chen et al. (2023) กล่าวว่าโปรตีนจากพืชส่วนใหญ่ไวต่อปัจจัยด้านสิ่งแวดล้อม เช่น ค่า pH อุณหภูมิ และความแข็งแรงของไอออน ส่งผลให้ผลิตภัณฑ์เจลมีโครงสร้างหลวม ยากต่อการขึ้นรูป ผลผลิตต่ำ และกักเก็บน้ำได้ไม่ดี มีการปรับปรุงคุณสมบัติของเจลของโปรตีนจากพืชโดยการเติมไฮโดรคอลลอยด์ ไฮโดรคอลลอยด์สามารถเชื่อมข้าม (cross-link) โปรตีนจากพืชผ่านพันธะที่ไม่ใช่โควาเลนต์และปฏิสัมพันธ์อื่นๆ มีผลเสริมฤทธิ์กันในการสร้างเจลโปรตีนจากพืช และปรับปรุงคุณสมบัติของเจลของอาหารอย่างมีนัยสำคัญ (Lin et al., 2017)

### 2.7.2.1.3 ความคงตัวและอิมัลชัน

Gao et al. (2024) กล่าวว่าอิมัลชันมีแนวโน้มที่จะแยกวัฏภาคเนื่องจากแรงโน้มถ่วง การจับตัวเป็นก้อน หรือการเกาะกลุ่ม คอลลอยด์ที่ชอบน้ำจะเอื้อต่อการสร้างความเสถียรของอิมัลชันโดยลดแรงดึงของส่วนต่อประสาน คอลลอยด์สามารถทำหน้าที่เป็นสิ่งกีดขวางการรวมตัวของหยดน้ำมันเพื่อชะลอการตกตะกอนของอนุภาคที่ระจัดกระจาย และป้องกันการคายน้ำและการหดตัวของเจลเพิ่มเติม

### 2.7.3 ผงบุก (Konjac)

กลูโคแมนแนนจากบุกหรือผงบุก (Konjac glucomannan) เป็นโพลีแซ็กคาไรด์ที่ละลายน้ำได้ ผงบุกมีความสามารถในการสร้างฟิล์มที่ดี และมีประสิทธิภาพในการเกิดเจล ซึ่งเป็นหนึ่งในคุณสมบัติที่โดดเด่นที่สุด (Chao et al., 2012; Yang et al., 2017) น้ำหนักโมเลกุลของกลูโคแมนแนนจะลดลงเมื่อถูกความร้อน ระยะเวลาในการแปรรูป และระยะเวลาในการเก็บรักษา สายโซ่ด้านข้างหนึ่งสายจะต่อกับ glucose residue 3,280 หน่วย และในแต่ละสายโซ่ด้านข้างจะมี glucose residue หลายหน่วย กลุ่ม acetyl ตามสายโซ่หลักของกลูโคแมนแนนจะช่วยเพิ่มคุณสมบัติในการละลาย และอยู่ในตำแหน่งเฉลี่ยทุกๆ 9 ถึง 19 หน่วยน้ำตาล (Wang, 2023)



**ภาพที่ 2** โครงสร้างของบุกแสดงหน่วย Man-Man-Glu-Glu เชื่อมต่อกันที่ตำแหน่ง  $\beta$ -1,4

ที่มา : EFSA et al. (2017)

### คุณสมบัติหลักของบุก

Wang (2023) กล่าวว่าผงบุกเป็นสารก่อเจล สารทำให้ข้น สารแขวนลอย และสารสร้างฟิล์มที่ละลายน้ำได้ง่าย สามารถดูดซับน้ำได้มากถึง 100 เท่าของปริมาตรของตัวเอง สารละลายเป็นของเหลวแบบซูโดพลาสติก (pseudo-plastic liquid) มีสมบัติสำคัญคือ เมื่อเพิ่มอัตราเฉือน (shear rate) จะทำให้ความหนืด (viscosity) ลดลงความหนืดของสารละลาย 1% สามารถสูงถึง 35,000 cps (สารละลาย 1% โดยใช้ Brookfield viscometer ที่ 12 rpm) ซึ่งสูงกว่าสารให้ความข้นหนืดตามธรรมชาติอื่น ๆ แป้งบุกยังแสดงผลการเสริมฤทธิ์กับแซนแทนกัม โดยการเติม 0.02-0.03% ลงในแซนแทนกัม 1% จะเพิ่มความหนืดได้ 2-3 เท่าเมื่อถูกความร้อน และบุกยังคงเสถียรภายใต้สภาวะกรดโดยไม่ตกตะกอนแม้ว่า pH จะลดลงต่ำกว่า 3.3 และยังทนต่อระดับเกลือที่สูงขึ้น บุกมีความโดดเด่นด้านความสามารถในการสร้างเจลที่สามารถกลับคืนสภาพเดิมได้ด้วยความร้อนและเจลที่ไม่สามารถกลับคืนสภาพเดิมได้ภายใต้สภาวะต่าง ๆ สารละลายบุกจะไม่เกิดเจล เนื่องจากกลุ่ม acetyl จะป้องกันไม่ให้สายโซ่ยาวของกลูโคแมนแนนเข้าหากัน แต่อย่างไรก็ตามสามารถเกิดเจลได้โดยการให้ความร้อนถึง 85°C ภายใต้สภาวะต่างอ่อน (pH 9-10) เจลนี้มีความเสถียรต่อความร้อนและจะคงความเสถียรภายใต้การให้ความร้อนซ้ำที่ 100°C หรือแม้แต่ที่ 200°C คุณสมบัตินี้ถูกนำมาใช้ในการทำอาหารเพื่อสุขภาพ/อาหารลดน้ำหนักหลากหลายชนิดในประเทศแถบเอเชีย เช่น เค้กบุก บุกเส้น อาหารเลียนแบบสำหรับมังสวิรัต (กึ่งมังสวิรัต แอม สเต็ก) ขนมปัง คุกกี้ ฟิล์มที่รับประทานได้ (edible film) สารทดแทนไขมันในแฮม ไส้กรอก ลูกชิ้น (Han, 2020) เมื่อรวมกับแซนแทนกัม บุกสามารถสร้างเจลได้ที่ค่า pH ใดก็ได้ แต่ที่ค่า pH 5 ก็มทั้งสองชนิดแสดงผลการเสริมฤทธิ์สูงสุดในอัตราส่วน 2:3 บุกมีความสามารถในการเกิดเจลที่คล้ายกับ carob gum แต่เด่นชัดมากกว่า บุกมีการเสริมฤทธิ์กับ Kappa-carrageenan เพื่อสร้างเจลน้ำที่แข็งแรงในปริมาณต่ำมาก

#### 2.7.4 คาราจีแนน (Carrageenans)

คาราจีแนนพบในสาหร่ายทะเลสีแดง (Rhodophyceae) คาราจีแนนมีสมบัติละลายได้ในน้ำร้อนสูงกว่า 75 องศาเซลเซียส ความหนืดจะเพิ่มขึ้นและเกิดเป็นเจลได้ที่อุณหภูมิ 40-60 องศาเซลเซียส โดยเจลของคาราจีแนนเป็นเจลชนิดผันกลับได้ด้วยความร้อน (นราธิป, 2555) นอกจากนี้ Necas and Bartosikova (2013) ยังกล่าวถึงคาราจีแนนในบทความปริทัศน์ว่า คาราจีแนนถูกแบ่ง

ออกเป็นหลายประเภท เช่น  $\lambda$ ,  $K$ ,  $I$ ,  $\epsilon$ ,  $\mu$  คุณสมบัติของคาราจีแนนแต่ละประเภทคือจำนวนและตำแหน่งของกลุ่มเอสเทอร์ซัลเฟต ระดับเอสเทอร์ซัลเฟตที่สูงขึ้นหมายถึงอุณหภูมิการละลายที่ต่ำลง และความแข็งแรงของเจลที่ลดลง มีคาราจีแนนสามประเภทหลักที่พบในสาหร่ายแดง ได้แก่ kappa ( $K$ )-, iota ( $I$ )-, และ lambda ( $\lambda$ )-carrageenan แต่ Kappaphycus alvarezii เป็นแหล่งที่พบมากที่สุดของ kappa-carrageenan

### ตารางที่ 3 คุณสมบัติของคาราจีแนน

คุณลักษณะ	รายละเอียด
การละลาย	แลมบ์ดาคาราจีแนน ( $\lambda$ -carrageenan) ละลายได้ง่ายในสารละลายที่มีน้ำเย็นหรือร้อน
การเกิดเจล	คัปป้าคาราจีแนน ( $K$ -carrageenan) ละลายในสารละลายที่มีน้ำร้อน การเติมไอออนโพแทสเซียมในสารละลายที่มีน้ำจะทำให้ตกตะกอน แลมบ์ดาคาราจีแนน ( $\lambda$ -carrageenan) ไม่เกิดเจล แลมบ์ดา ( $\lambda$ ) และไอโอต้าคาราจีแนน ( $I$ -carrageenan) และ สร้างเกลียวหมุนเวียนขวา (right-handed helices) โพแทสเซียมคลอไรด์ ส่งเสริมการเกิดเจลของคัปป้าคาราจีแนน แคลเซียมไอออน ส่งเสริมการเกิดเจลของไอโอต้าคาราจีแนน
ความหนืด	ความหนืดเพิ่มขึ้นเกือบเป็นลอการิทึมเมื่อความเข้มข้นเพิ่มขึ้น ความหนืดของคาราจีแนนเกรดอาหารกำหนดไว้ว่าไม่ต่ำกว่า 5 cps ที่ 75°C สำหรับสารละลาย 1.5% ช่วงความหนืดอยู่ระหว่าง 5 ถึง 800 cps สำหรับสารละลาย 1.5% ที่ 75°C
แหล่งที่มา	สาหร่ายสีแดง การสกัดส่วนใหญ่เป็นการสกัดด้วยน้ำจากสาหร่ายชนิด Chondrus, Gigartina และ Eucheuma
คุณสมบัติ	ทำหน้าที่เป็นสารให้ความข้นหนืด, สารทำให้เกิดอิมัลชัน และสารทำให้เสถียร
ผลการเสริมฤทธิ์	ใช้ร่วมกับโกลด์สปิงกัม เพิ่มความแข็งแรงของเจล ใช้ร่วมกับไฮโดรคอลลอยด์อื่น ๆ อาจส่งผลต่อความแข็งแรงและความเหนียวแน่นของเจล
ความเข้มข้นที่ใช้	0.005–2.0% โดยน้ำหนัก

ที่มา : ดัดแปลงจาก Necas and Bartosikova (2013)

### 2.7.5 แป้ง/แป้งดัดแปร

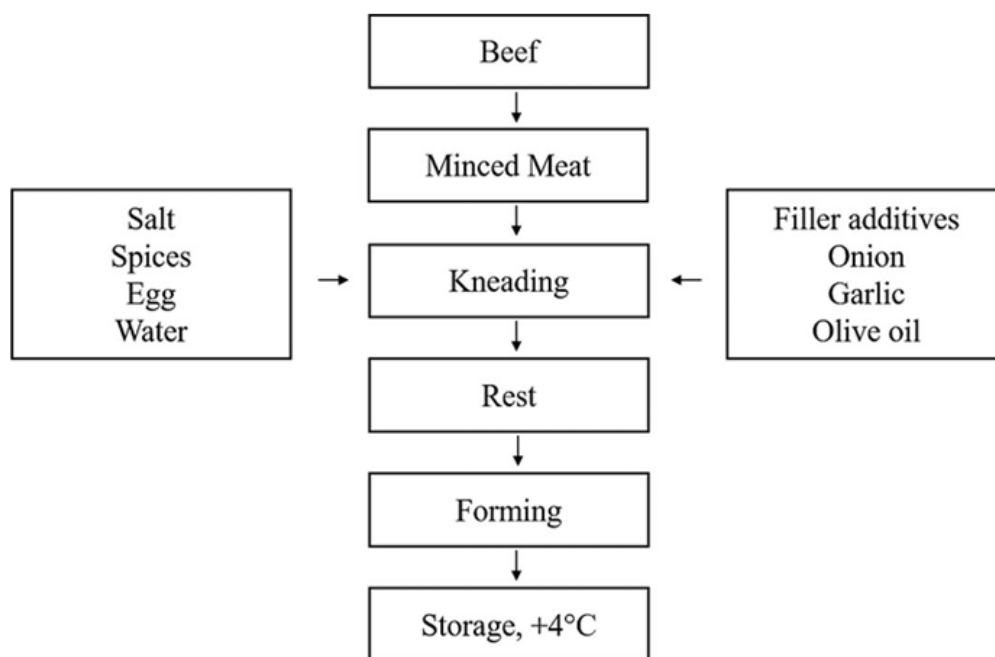
สุเพ็ญ (2547) ระบุว่าแป้งหลายชนิดที่นิยมนำมาเป็นส่วนผสมในการทำลูกชิ้น เพื่อช่วยในด้านความยืดหยุ่น ช่วยให้เนื้อสัมผัสดีขึ้นแป้งที่มีอะไมโลเพคตินสูงเมื่อผสมกับเนื้อปลาจะให้ความนุ่ม ความยืดหยุ่นดีกว่าแป้งที่มีอะไมโลสสูง เมื่อผ่านการให้ความร้อนจะให้ความเหนียวน้อยกว่า แต่อะไมโลสจะช่วยลดปัญหาการแตกหัก แป้งที่มีปริมาณอะไมโลเพคตินร้อยละ 50 หรือมากกว่า ทำให้ผลิตภัณฑ์มีเนื้อสัมผัสที่ดี ส่วนแป้งที่มีอะไมโลสร้อยละ 5-20 จะให้ผลิตภัณฑ์ที่มีคุณภาพดีที่สุด อย่างไรก็ตามแป้งที่เติมจะมีความเกี่ยวข้องกับคุณสมบัติต่าง ๆ ของผลิตภัณฑ์ เช่น สี ความหนืด การเกิดเจล ช่วงอุณหภูมิที่ทำให้เกิดเจล ความคงตัวของเจล เป็นต้น แป้งมันสำปะหลังธรรมชาติ นำมาใช้เป็นสารก่อเจล สารเพิ่มความข้นหนืด สารช่วยในการกักอุ้มน้ำ สารให้ความคงตัว และสารเพิ่มปริมาณ เพื่อส่งเสริมคุณสมบัติทางเนื้อสัมผัสของผลิตภัณฑ์อาหาร อย่างไรก็ตามยังมีลักษณะเชิงลบของแป้งมันสำปะหลังธรรมชาติ โดยเฉพาะเนื่องจากความไม่เสถียรทางความร้อน ความเสถียรในการแช่แข็ง-ละลายต่ำ ระดับการเกิดรีโทรเกรดสูง และการเกิดซินเนเรซิสสูง เพื่อแก้ไขปัญหาดังนี้จึงมีการปรับเปลี่ยนคุณสมบัติทางเคมีกายภาพของแป้งมันสำปะหลังธรรมชาติ การปรับเปลี่ยนทางเคมี โดยเฉพาะการเชื่อมข้าม (Cross-linking) และการอะเซทิลเลชัน (Acetylation) เป็นวิธีที่พบมากที่สุดและมีประสิทธิภาพที่สุดในการปรับปรุงคุณสมบัติการทำงานของแป้งมันสำปะหลังธรรมชาติ พบว่าแป้งมันสำปะหลังที่เชื่อมโยงข้ามหรืออะเซทิลเลชันสามารถปรับปรุงคุณสมบัติทางเนื้อสัมผัสและความสามารถในการกักเก็บน้ำของผลิตภัณฑ์ที่ใช้ซูริมีได้อย่างมีประสิทธิภาพ (Wei et al., 2023) การเชื่อมโยงข้าม (Cross-linking) จะช่วยเพิ่มความเสถียรทางความร้อนและความต้านรับประธานแรงเฉือน (Korkut and Kahraman, 2021) ในขณะที่การอะเซทิลเลชัน (Acetylation) จะช่วยลดการเกิดรีโทรเกรดและเพิ่มความสามารถในการอุ้มน้ำของผลิตภัณฑ์ (Babic et al., 2007) รายงานของ Le et al. (2023) ได้พัฒนาลูกชิ้นไส้กรอกที่ลดปริมาณไขมันโดยใช้แป้งถั่วเขียววงอก พบว่าการผสมแป้งถั่วเขียววงอกในไส้กรอกที่ลดปริมาณไขมันไม่เพียงแต่เพิ่มปริมาณกรดอะมิโนรวมและอัตราส่วนกรดอะมิโนจำเป็น (EAA) แต่ยังสามารถช่วยปรับปรุงความเสถียรของอิมัลชันและปริมาณผลผลิตได้อีกด้วย

## 2.8 กระบวนการแปรรูปผลิตภัณฑ์ลูกชิ้น

การขึ้นรูปลูกชิ้นต้องอาศัยการเชื่อมติดหรือการประสานของชิ้นเนื้อ โดยส่วนใหญ่ในระหว่างการปรุงสุก จะเกิดการสร้างเจลโปรตีนเพื่อใช้ยึดติดชิ้นเนื้อและคงรูปร่าง เมื่อมีการปรับสภาวะต่าง ๆ ในกระบวนการผลิตให้เหมาะสม ย่อมเป็นไปได้ที่จะทำให้โปรตีนชนิดต่าง ๆ มีส่วนร่วมในการเชื่อมติดกัน ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับองค์ประกอบของผลิตภัณฑ์ เมื่อนำไปผ่านขั้นตอนของการแปรรูปด้วยการกระทำของแรงกลด้วยวิธีต่าง ๆ จะเกิดร่างแหโปรตีนระหว่างชิ้น และเมื่อผ่านการปรุงสุกจะทำให้ได้ผลิตภัณฑ์ที่มีการเชื่อมประสานที่ดีเพียงพอ (นินนาท, 2563)

### 2.8.1 กระบวนการผลิตลูกชิ้นเนื้อ

กระบวนการประกอบด้วยขั้นตอนย่อย 4 ขั้นตอน ได้แก่ การบดลดขนาด การนวดแป้งหรือการนวดผสม การพักแป้ง และการขึ้นรูป โดยแสดงแผนผังกระบวนการดังภาพที่ 4



ภาพที่ 3 แผนผังการผลิตลูกชิ้นเนื้อ

ที่มา : Torusdağ et al. (2021)

## 2.8.2 การเปลี่ยนแปลงสมบัติขององค์ประกอบต่าง ๆ ในระหว่างกระบวนการแปรรูป

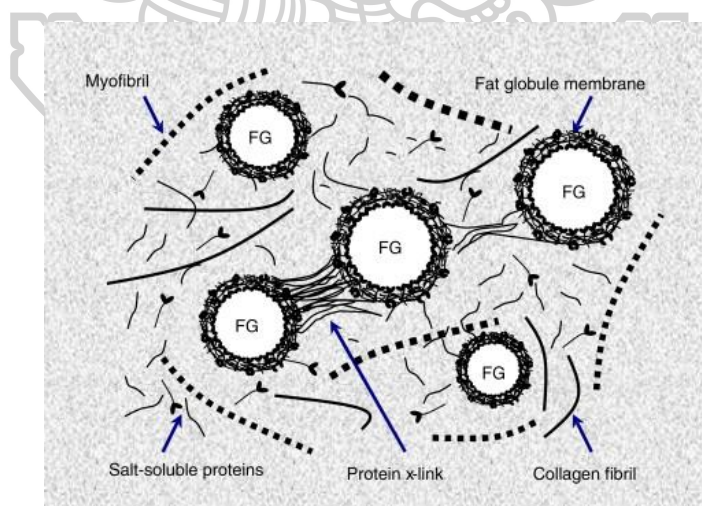
ในระหว่างขั้นตอนการผสมกลุ่มผลิตภัณฑ์แปรรูปนั้น มีขั้นตอนที่สำคัญต่อการเปลี่ยนแปลงสมบัติภายในผลิตภัณฑ์ ซึ่งเกิดกลไกการเปลี่ยนแปลงของโปรตีนระหว่างการสับนวด ดังนี้

1. เกิดการแตกตัวของเส้นใยกล้ามเนื้อ ในระหว่างการสับนวด โปรตีนในกล้ามเนื้อ เช่น แอคติน และไมโอซิน จะเริ่มแตกตัวและคลายโครงสร้าง ซึ่งเป็นขั้นตอนสำคัญที่ช่วยให้โปรตีนพร้อมสำหรับการสร้างโครงสร้างเจล

2. การละลายของโปรตีนไมโอไฟบริล (Myofibrillar protein solubilization) การสับนวดในสภาวะที่มีเกลือและอุณหภูมิเหมาะสมจะช่วยให้โปรตีนไมโอไฟบริลละลายออกมาในรูปของสารละลายโปรตีน ซึ่งเป็นพื้นฐานสำหรับการสร้างโครงสร้างเจลที่มีความยืดหยุ่นและความสามารถในการกักเก็บน้ำและไขมัน

3. การสร้างโครงสร้างเจล (Gel network formation) เมื่อโปรตีนที่ละลายถูกให้ความร้อน จะเกิดการจับตัวกันใหม่ และสร้างโครงสร้างเจลที่ช่วยให้ผลิตภัณฑ์มีเนื้อสัมผัสที่แน่นและยืดหยุ่น

4. การกักเก็บน้ำและไขมัน (Water and fat retention) โครงสร้างเจลที่เกิดขึ้นสามารถกักเก็บน้ำและไขมันไว้ภายใน ทำให้ผลิตภัณฑ์มีความชุ่มฉ่ำและไม่แห้ง



**ภาพที่ 4** โครงร่างเชิงสัญลักษณ์ของอิมัลชันเนื้อ (meat batter) ทั่วไป

โดย FG หมายถึงกลุ่มไขมัน (fat globule)

ที่มา : Xiong (2014)

## 2.9 ปัจจัยที่มีอิทธิพลต่อความแข็งแรงในการเชื่อมติดของร่างแหโปรตีน

ปัจจัยสำคัญที่กำหนดประสิทธิภาพของการเชื่อมติด ได้แก่ การสกัดโปรตีน การใช้แรงกล ความเข้มข้นของเกลือที่เติมลงไป และอุณหภูมิระหว่างการให้ความร้อน ซึ่งมีความสำคัญที่อาจเป็นเทคนิคสำหรับการผลิตเพื่อปรับปรุงคุณภาพของผลิตภัณฑ์เลียนแบบเนื้อสัตว์แปรรูป

### 2.9.1 การสกัดโปรตีนที่ละลายในเกลือ

จากการศึกษาและการพัฒนาลูกชิ้นปลาแช่เยือกแข็งจากปลาช่อนทะเลเลขของสุเพ็ญ (2547) ได้ให้นิยามและความสำคัญของเกลือว่า เกลือช่วยให้รสชาติดีขึ้นและช่วยสกัดไมโอซิน และช่วยเพิ่มปริมาณโปรตีนที่ละลายได้ในเกลือให้มาก โปรตีนที่ละลายได้ในเกลือจะทำหน้าที่เป็นอิมัลซิไฟเออร์ ซึ่งช่วยให้ส่วนผสมมีสภาพเป็นอิมัลชันเกิดขึ้นและคงสภาพได้นาน นอกจากนี้เกลือยังช่วยยับยั้งการเจริญของจุลินทรีย์ ปริมาณเกลือในผลิตภัณฑ์จะลดลงภายหลังการเซตตัวในน้ำระหว่างการให้ความร้อน เกลือเป็นส่วนประกอบสำคัญในเนื้อสัตว์แปรรูปเนื่องจากมีประโยชน์ทางเทคโนโลยีหลายประการ เช่น การถนอมอาหาร การเพิ่มรสชาติและการอุ้มน้ำ เกลือสามารถเพิ่มความสามารถในการอุ้มน้ำของผลิตภัณฑ์เนื้อสัตว์โดยการสกัดโปรตีนไมโอไฟบริลลาร์ ซึ่งจะรวมตัวกันเป็นเจลเมื่อถูกความร้อน (Tanny et al., 2013; Zhang et al., 2023) อีกทั้ง นินนาท (2563) ได้กล่าวถึงหน้าที่หรือกลไกที่เกลือช่วยเพิ่มความสามารถในการเชื่อมประสานของร่างแหโปรตีน คือ สามารถช่วยเพิ่มปริมาณของไมโอไฟบริลลาร์โปรตีน ปรับความแรงของไอออน และ pH ของสถานะแวดล้อมเพื่อที่ร่างแหโปรตีนที่เซตหรืออยู่ตัวด้วยความร้อนมีลักษณะโครงสร้างของการเชื่อมแน่นแบบสามมิติ

### 2.9.2 การใช้แรงกล

การกวนผสมทำให้เซลล์เนื้อเยื่อฉีกขาดและแตกตัว แล้วปลดปล่อยองค์ประกอบที่อยู่ภายในเซลล์รวมถึงไมโอไฟบริลลาร์โปรตีนออกมา เวลานวดที่เพิ่มขึ้นจะช่วยเพิ่มปริมาณโปรตีนที่สกัดได้ ซึ่งโปรตีนที่สกัดออกมาจะเพิ่มขึ้นเมื่อเกิดการฉีกขาดของเซลล์มากขึ้น (นินนาท, 2563)

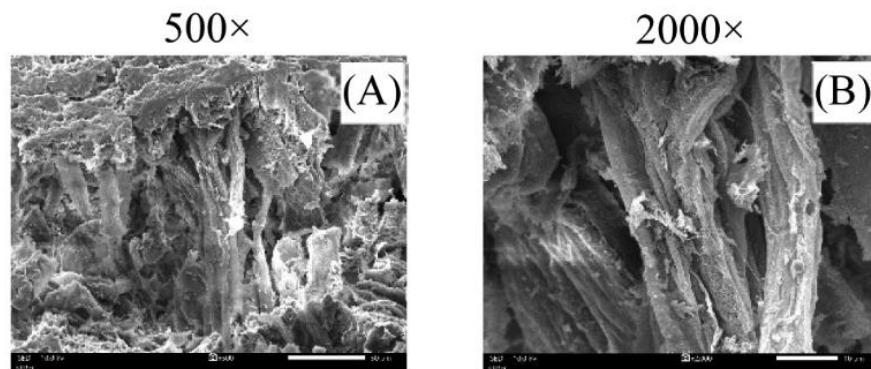
### 2.9.3 ผลของอุณหภูมิ

Yie et al. (2023) ได้ทำการศึกษาเกี่ยวกับการทดลองในการปรับอุณหภูมิการบดเนื้อกระป๋อง เพื่อประเมินคุณภาพของลูกชิ้นเนื้อกระป๋องในด้านต่าง ๆ โดย อุณหภูมิการบดถูกปรับโดยใช้น้ำ ประเภทต่าง ๆ ได้แก่ น้ำแข็ง (0°C) น้ำเย็นจัด (4°C) น้ำเย็น (10°C) น้ำอุณหภูมิห้อง (22°C) และ น้ำอุ่น (32°C) หลังจากการบดเป็นเวลา 3 นาที อุณหภูมิของส่วนผสมเปียก (batters) ถูกบันทึกที่ 14, 25, 25, 29, และ 27°C ตามลำดับ พบว่าลูกชิ้นน้ำเย็นมีผลผลิต (cooking yield) สูงสุด แต่มีความสามารถในการกักเก็บน้ำต่ำสุดอย่างมีนัยสำคัญ ( $P < 0.05$ ) แต่อย่างไรก็ตามยังคงมีการแนะนำให้ใช้น้ำแข็งในระหว่างกระบวนการบดเพื่อให้แน่ใจว่าผลิตภัณฑ์สุดท้ายมีความปลอดภัย ทั้งนี้ความแข็งแรงของโครงสร้างเจล โดยทั่วไปการเชื่อมติดกันเป็นปฏิกิริยาที่กระตุ้นให้เกิดขึ้นได้ด้วยความร้อน ซึ่งการให้ความร้อนจะทำให้โปรตีนต่าง ๆ ที่ละลายออกมาเกิดการจัดเรียงโครงสร้างขึ้นใหม่ แล้วทำให้เกิดโครงสร้างที่เชื่อมประสานขึ้น

### 2.10 การเสริมคุณค่าทางโภชนาการในผลิตภัณฑ์เลียนแบบเนื้อสัตว์แปรรูป

จากการทบทวนวรรณกรรม ยังคงพบความกังวลบางประการของผู้บริโภคต่อการบริโภคผลิตภัณฑ์เลียนแบบเนื้อสัตว์ เนื่องจากปัจจัยต่าง ๆ เช่น ความกังวลเกี่ยวกับการได้รับโปรตีนและสารอาหารที่เพียงพอต่อความต้องการของร่างกาย โดยพบว่ามีการใช้ผัก ผลไม้ หรือสารประกอบอื่น ๆ ในการช่วยเสริมคุณค่าทางโภชนาการของผลิตภัณฑ์เลียนแบบเนื้อสัตว์แปรรูป อาทิ

Taikerd and Leelawat (2023) ได้ทำการศึกษาเกี่ยวกับผลของขนุนอ่อน, กลูเตนข้าวสาลี และโปรตีนถั่วเหลืองต่อคุณสมบัติทางเคมีกายภาพของเนื้อไก่เทียมพบว่า เนื้อไก่เทียมที่มีการเสริมด้วยขนุนอ่อนในปริมาณสูงมีปริมาณความชื้นและค่าความสว่างสูงกว่า ในขณะที่ความแข็ง ความเหนียว และแรงเฉือนมีค่าต่ำกว่า โครงสร้างทางจุลภาคของตัวอย่างที่มีขนุนอ่อนสูงจะแสดงลักษณะคล้ายเส้นใยและมีรูพรุนระหว่างเส้นใยดังภาพที่ 5 ซึ่งอาจเป็นเหตุผลที่ทำให้มีค่าความแข็งและความเหนียวต่ำที่สุด ผลการประเมินทางประสาทสัมผัสพบว่า การใช้ขนุนอ่อน 40.64%, กลูเตนข้าวสาลี 20.32% และโปรตีนถั่วเหลือง 1.35% พัฒนาเป็นเนื้อไก่เทียมได้รับคะแนนความพึงพอใจโดยรวมสูงสุด



**ภาพที่ 5** ภาพถ่ายจากกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (SEM) ประเมินโครงสร้างของเนื้อไก่เทียมที่มีระดับไขมันอ่อนสูง (A) ที่กำลังขยาย 500X (B) ที่กำลังขยาย 2,000X

ทั้งนี้ Samutsri and Thimthud (2025) กล่าวถึงว่าไขมันอ่อนเป็นที่รู้จักในเรื่องเนื้อสัมผัสที่คล้ายเนื้อสัตว์ ทำให้เป็นตัวเลือกยอดนิยมสำหรับอาหารที่มีพืชเป็นหลัก มีไฟเบอร์สูง แคลอรีต่ำ ศักยภาพของไขมันอ่อนในฐานะเนื้อสัตว์ทางเลือกได้รับการสนับสนุนเพิ่มเติมจากการใช้ในอาหารดั้งเดิมและความนิยมที่เพิ่มขึ้นในการประยุกต์สำหรับการทำอาหารสมัยใหม่ ไขมันอ่อนอุดมไปด้วยสารอาหาร เช่น คาร์โบไฮเดรต โปรตีน วิตามิน แร่ธาตุ และไฟโตเคมิคอล ทั้งเมล็ดและเนื้อ ไขมันอ่อนกำลังเป็นที่สนใจในต่างประเทศ เนื่องจากมีคุณค่าทางโภชนาการสูง ให้พลังงานต่ำ มีลายเส้นของไฟเบอร์คล้าย ๆ กับเนื้อสัตว์ เมื่อนำเนื้อไขมันที่สุกแล้วมาฉีกออกเป็นเส้น ๆ จะมีลักษณะคล้ายกับเนื้อไก่และหมูเมื่อถูกฉีก (Sadhana et al., 2019; ศูนย์ส่งเสริมและพัฒนาการเรียนรู้ทางวิทยาศาสตร์, 2564; Konsue et al., 2023) มีรายงานจาก กรมส่งเสริมการค้าระหว่างประเทศ (สค.) (2566) ว่าปัจจุบันไขมันอ่อนได้ก้าวขึ้นมาเป็นผลไม้มาแรงและมีแนวโน้มได้รับความนิยมและการยอมรับมากขึ้นในตลาดโลกโดยเฉพาะในกลุ่มผู้บริโภครุ่นใหม่ในประเทศกลุ่มประเทศพัฒนาแล้วซึ่งให้ความสำคัญและนิยมเลือกบริโภคอาหารเพื่อสุขภาพและความยั่งยืนทางสิ่งแวดล้อม นอกจากนี้ ความนิยมในการบริโภคไขมันอ่อนยังขยายตัวเพิ่มขึ้นในกลุ่มผู้บริโภคกลุ่มที่รับประทานอาหารเจ (Vegetarian) และอาหารมังสวิรัต (Vegan) เนื่องจากสามารถนำไปปรุงอาหารทดแทนเนื้อสัตว์ได้หลากหลายชนิด เช่น ทาโก (Taco) เบอร์เกอร์หมูฉีก (Pulled Pork Burger) เบอร์ริโต (Burritos) นั้กเก็ต ไส้กรอก แองเจ็ด และสตูว์ เป็นต้น

นอกเหนือจากขนุนอ่อนที่มีการนำมาเสริมคุณค่าทางโภชนาการแล้ว มีรายงานจากสำนักงานส่งเสริมการค้าในต่างประเทศ ณ นครแฟรงก์เฟิร์ต (2561) ว่าปัจจุบันหัวปลีเป็นอีกวัตถุดิบที่เป็นทางเลือกใหม่สำหรับกลุ่มอาหารทดแทนเนื้อสัตว์ในตลาดเยอรมนี โดยเฉพาะกลุ่มวีแกน เนื่องจากความเหนียวและแน่นของเส้นใย จึงถูกนำมาเป็นทางเลือกใช้ปรุงอาหารแทนเนื้อสัตว์ ในกลุ่มของผู้ที่ไม่บริโภคเนื้อสัตว์ได้นำหัวปลีมาแปรรูปเป็นเนื้อสัตว์เทียม เพราะมีโปรตีนสูงและมีเนื้อสัมผัสคล้ายกับเนื้อสัตว์ โดยเฉพาะนำมาทำเนื้อปลาเทียม ในปี 2561 มีผลงานด้านนวัตกรรมทางอาหารของประเทศไทย โดยสำนักวิจัยและพัฒนาการอาชีวศึกษาได้พัฒนาผลิตภัณฑ์ไส้กรอกหัวปลี Banana Blossom Sausage ซึ่งไส้กรอกมีเนื้อสัมผัสที่แน่นจากการนำเอาหัวปลีกับไข่ขาวและไข่แดงมาผสมกัน แล้วปรุงรสชาติจากเครื่องปรุงรสและใส่ส่วนผสมของเครื่องเทศ ตัวไส้กรอกหัวปลีมีสีขาวออกเหลือง ดังภาพที่ 6



**ภาพที่ 6** ผลิตภัณฑ์ไส้กรอกหัวปลี  
ที่มา : Thailand Innovation Portal (2018)

ทั้งนี้นอกเหนือจากผัก ผลไม้ที่มีการเสริมคุณค่าทางโภชนาการของผลิตภัณฑ์เลียนแบบเนื้อสัตว์ยังมีการใช้สารสกัดจากธรรมชาติ เช่น อินูลินที่ได้จากชิโครี แคนตาลูป หรือพืชอีกหลายชนิด โดย Illippangama et al. (2022) มีการศึกษาการประยุกต์ใช้ที่เป็นไปได้ของอินูลินในผลิตภัณฑ์เนื้อสัตว์ พบว่าการเสริมอินูลินในผลิตภัณฑ์เนื้อสัตว์มีวัตถุประสงค์เพื่อทดแทนไขมันบางส่วน ซึ่งช่วยลดปริมาณไขมันในผลิตภัณฑ์และเพิ่มปริมาณเส้นใยอาหาร การศึกษาในประเทศไทยพบว่าการเสริมอินูลินในสูตรไส้กรอกหมูที่ลดไขมัน สามารถปรับปรุงคุณสมบัติทางเคมีและเนื้อสัมผัสของผลิตภัณฑ์ได้ โดยมีการทดลองใช้ระดับการแทนที่ไขมันด้วยอินูลินในสัดส่วนต่าง ๆ และพบว่าการ

เสริมอินูลินช่วยเพิ่มปริมาณเส้นใยอาหารและลดปริมาณไขมันในผลิตภัณฑ์ได้เช่นเดียวกัน (Prapasuwannakul, 2018) มีรายงานตัวอย่างการประยุกต์ใช้ผักและผลไม้ในผลิตภัณฑ์เนื้อสัตว์และผลิตภัณฑ์เลียนแบบเนื้อสัตว์ ดังตารางที่ 4

**ตารางที่ 4** การประยุกต์ใช้ผักและผลไม้ในผลิตภัณฑ์เนื้อสัตว์และผลิตภัณฑ์เลียนแบบเนื้อสัตว์

ผลิตภัณฑ์	วัตถุดิบ	การประยุกต์ใช้	ข้อสรุป
เบอร์เกอร์หมู	กากองุ่นจากไวน์ขาว	การยืดอายุการเก็บรักษา และเสถียรภาพของผลิตภัณฑ์	ช่วยป้องกันการเกิดออกซิเดชันของไขมันและโปรตีน มีผลต้านจุลชีพในระดับจำกัดและมีประสิทธิภาพในการป้องกันการเปลี่ยนสีของผลิตภัณฑ์
เบอร์เกอร์เนื้อวัวลดเกลือ	สารสกัดอูมามิจากผลพลอยได้ของเห็ดชิตาเกะ	สารเพิ่มรสชาติ	ช่วยเพิ่มปริมาณกรดอะมิโน ส่งผลให้สีเปลี่ยนแปลงเล็กน้อย สามารถลดปริมาณเกลือลงได้ถึง 50%
แฮม	กากแอปเปิล	เสริมคุณค่าทางโภชนาการ และเพิ่มคุณสมบัติด้านการใช้งาน	ช่วยลดกระบวนการออกซิเดชันระหว่างการเก็บรักษา เพิ่มผลผลิตและปรับปรุงคุณค่าทางโภชนาการ
ไส้กรอกวีแกน	เส้นใยเห็ด <i>Pleurotus sapidus</i>	ทดแทนเนื้อสัตว์ทั้งหมด	มีคุณสมบัติทางเคมีกายภาพใกล้เคียงกับไส้กรอกเยอรมันแบบดั้งเดิม มีความแข็งแรงและความหนาแน่นมากกว่าไส้กรอกรัสเซียบางประเภท
ไส้กรอกวีแกน	หัวปลี ขนุนและโปรตีนถั่วลันเตา	ทดแทนเนื้อสัตว์ เสริมคุณค่าทางโภชนาการและใช้งาน	มีโปรตีนและใยอาหารสูงขึ้น ลดปริมาณไขมันในผลิตภัณฑ์ เพิ่มความเสถียรของอิมัลชัน มีคุณภาพทางประสาทสัมผัสใกล้เคียงกับผลิตภัณฑ์เนื้อสัตว์

**ตารางที่ 4** การประยุกต์ใช้ผักและผลไม้ในผลิตภัณฑ์เนื้อสัตว์และผลิตภัณฑ์เลียนแบบเนื้อสัตว์ (ต่อ)

ผลิตภัณฑ์	วัตถุดิบ	การประยุกต์ใช้	ข้อสรุป
ผลิตภัณฑ์เลียนแบบเนื้อสัตว์แบบบด	น้ำบีทรูทและโปรตีนถั่วเหลืองไอโซเลท	สารเติมแต่งจากธรรมชาติ (สารต้านอนุมูลอิสระและสารแต่งสี)	มีลักษณะใกล้เคียงกับเนื้อหมูและเนื้อวัว ใช้โปรตีนถั่วเหลืองเป็นส่วนประกอบหลักของเนื้อบด แต่มีความไม่เสถียรของสีเมื่อเวลาผ่านไป
ผลิตภัณฑ์เลียนแบบเนื้อสัตว์แบบบด	เห็ด แป้งถั่วชิกพี สารสกัดจากบีทรูท น้ำมันคาโนลา	สารทดแทนเนื้อสัตว์ และเสริมคุณค่าทางโภชนาการ	มีโปรตีน ใยอาหารและแร่ธาตุสูงขึ้น ให้เนื้อสัมผัสและสมบัติทางประสาทสัมผัสคล้ายกับเนื้อสัตว์จริง ได้รับการยอมรับจากผู้บริโภค
ผลิตภัณฑ์เลียนแบบเนื้อสัตว์แบบบด	ใยอาหารจากข้าวโอ๊ต และโปรตีนถั่วพาบาคอนเซนเทรต	ทดแทนเนื้อสัตว์ เสริมคุณค่าทางโภชนาการและการใช้งาน	มีความแตกต่างอย่างมากในคุณสมบัติทางกลบางประการ มีโครงสร้างที่แข็งแรงโดดเด่น และมีปริมาณใยอาหารที่สูงขึ้น

ที่มา : ดัดแปลงจาก da Silva et al. (2024)

นอกจากนี้มีการทบทวนรายงานการวิจัยเพิ่มเติมที่เกี่ยวข้องกับการเสริมคุณค่าทางโภชนาการ เพื่อประเมินหน้าที่และคุณสมบัติโดยรวมขององค์ประกอบที่ทำการเสริมแต่ละชนิดในผลิตภัณฑ์จากเนื้อสัตว์และผลิตภัณฑ์เลียนแบบเนื้อสัตว์แปรรูปทั้งในประเทศและต่างประเทศ แสดงดังตารางที่ 5 ทั้งนี้จะเห็นได้ว่าวัตถุดิบที่สังเคราะห์หรือแทนที่ในผลิตภัณฑ์ทดแทนเนื้อสัตว์ด้วยผัก ผลไม้ หรือสารสกัดจากธรรมชาตินั้นมักใช้เพื่อเสริมคุณค่าทางโภชนาการและปรับปรุงสมบัติทางกายภาพและทางเนื้อสัมผัสเป็นหลัก

**ตารางที่ 5** งานวิจัยผลของการเสริมหรือการแทนที่ของผัก ผลไม้ หรือสารสกัดจากธรรมชาติต่อสมบัติหรือคุณค่าทางโภชนาการในผลิตภัณฑ์จากเนื้อสัตว์และผลิตภัณฑ์เลียนแบบเนื้อสัตว์ทั้งในประเทศไทยและต่างประเทศ

ผลิตภัณฑ์	วัตถุดิบ	ผลของการเสริม	ที่มา
ไส้กรอกจากเนื้อสัตว์ เนือบดชิ้นกลม ไส้กรอกเห็ด เบอร์เกอร์เนื้อ	เห็ดสายพันธุ์ต่าง ๆ ที่ระดับต่างกันในแต่ละสายพันธุ์ และแต่ละผลิตภัณฑ์	การเติมเห็ดสามารถส่งผลต่อสีและเนื้อสัมผัสของผลิตภัณฑ์เลียนแบบเนื้อสัตว์ นอกจากนี้การศึกษาเน้นถึงผลกระทบของการเติมหรือการใช้เห็ดทดแทนต่อโปรไฟล์กรดอะมิโนและปริมาณใยอาหารของผลิตภัณฑ์ โดยสรุปเห็ดมีศักยภาพในการช่วยปรับปรุงคุณค่าทางโภชนาการของผลิตภัณฑ์เลียนแบบเนื้อสัตว์ ซึ่งเป็นประโยชน์ต่อผู้บริโภค โดยเฉพาะกลุ่มที่มีปัญหาด้านโภชนาการ เช่น ภาวะแคระแกร็น	Fetriyuna et al. (2025)
เบอร์เกอร์เนื้อ วุ้นไขมันต่ำ	ผลพลอยได้จากสับประรดและน้ำมันคาโนลา	สูตรที่เติมผลิตผลพลอยได้จากสับประรดมีความสามารถในการอุ้มน้ำและไขมันได้สูงขึ้น ลดการสูญเสียระหว่างการปรุง และลดการหดตัวของเส้นผ่านศูนย์กลางของเบอร์เกอร์ แต่ทำให้พารามิเตอร์ทางด้านสีลดลง	Selani et al. (2016)
ผลิตภัณฑ์เนื้อเทียม	ทดแทนกลูเตนข้าวสาลีด้วยแป้งเมล็ดขนุน 25%-75% และบัทรูท 1%-3%	การทดแทนวีทกลูเตนแป้งสาลีด้วยแป้งเมล็ดขนุน 50% ใช้เพคติน 1% และบัทรูท 2% ใกล้เคียงกับค่าเนื้อสัมผัสของเบอร์เกอร์เนื้อจริง	ภัทรารักษ์ และ นภเกตน์ (2566)
ผลิตภัณฑ์เนื้อเทียมจากถั่ว	เสริมรากบัวต่อเนื้อสัตว์เทียม 4 ระดับ ได้แก่ 5 : 100, 10 : 100, 15 :100 และ 20 : 100	คุณค่าทางโภชนาการของเนื้อสัตว์เทียมเสริมรากบัว มีองค์ประกอบด้านเส้นใยอาหารและโปรตีนมากกว่าสูตรพื้นฐาน ผู้บริโภคส่วนใหญ่ชื่นชอบในด้านรูปร่างและสี	ชนัฐวัฒน์ และ ธนภาพ (2567)

## บทที่ 3 วิธีการดำเนินงาน

### 3.1 อุปกรณ์ที่ใช้ในการศึกษา

#### 3.1.1 วัสดุดิบ

- 3.1.1.1 โปรตีนจากถั่วเหลือง ในรูปแบบขี้ก้างกลาง (ตรา โปรตีนเกษตร ผลิตโดย สถาบันค้นคว้าและพัฒนาผลิตภัณฑ์อาหารมหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, ประเทศไทย)
- 3.1.1.2 กลูเตนข้าวสาลี (บริษัท กรุงเทพเคมี จำกัด, ประเทศไทย)
- 3.1.1.3 ขนุนอ่อนในน้ำเกลือ (บริษัท ผลิตภัณฑ์อาหารเซฟซ้อย จำกัด, ประเทศไทย)
- 3.1.1.4 แป้งมันสำปะหลังตัดแปรรูป (บริษัท อุตสาหกรรมแป้งไทย จำกัด, ประเทศไทย)
- 3.1.1.5 แป้งถั่วเขียว (ตราต้นสน บริษัท สิทธิพันธ์ จำกัด, ประเทศไทย)
- 3.1.1.6 เนยขาว (ตราเชสท์ บริษัท ลำสูง (ประเทศไทย) จำกัด (มหาชน), ประเทศไทย)
- 3.1.1.7 ซอสปรุงรสฝาเขียว (ตราครุฑแม่เหล็ก บริษัท โกลเด้นฮาร์เวสต์ (ประเทศไทย) จำกัด, ประเทศไทย)
- 3.1.1.8 น้ำตาลทราย (ตรา มิตรผล บริษัท น้ำตาลมิตรผล จำกัด, ประเทศไทย)
- 3.1.1.9 คาราจีแนน (บริษัท พีทีเค โชลูชั่น แอนด์ ซัพพลายส์ จำกัด, ประเทศจีน)
- 3.1.1.10 ผงบุก (บริษัท พรีเม่ เทรดตั้ง จำกัด, ประเทศไทย)
- 3.1.1.11 อินูลิน (Siam ultimate chem, Belgium)
- 3.1.1.12 เกลือปรุงรสปิพย์ (บริษัท อุตสาหกรรมเกลือบริสุทธิ์ จำกัด, ประเทศไทย)
- 3.1.1.13 ฟริกไทยดำป่น (ตรา บิ๊กซี แอปเปิ้ล ไพร์ช โพร บริษัท อัจฉิตต์อินเตอร์เนชั่นแนล เพ็พเพอร์แอนด์สไปซ์ จำกัด, ประเทศไทย)
- 3.1.1.14 ผงกลั่นหมู (บริษัท พีทีเค โชลูชั่น แอนด์ ซัพพลายส์ จำกัด, ประเทศไทย)

3.1.1.15 ผงปรุงรสเห็ด (ตรา ฟ้าไทย บริษัท เอฟ-พลัส จำกัด, ประเทศไทย)

3.1.1.16 แป้งมันสำปะหลัง (ตรา บิ๊กซี แอปเปิ้ลไพรซ์ โปร บริษัท บางกอกอินเตอร์ฟูด จำกัด, ประเทศไทย)

3.1.1.17 น้ำแข็ง (บริษัท โรงน้ำแข็งนครปฐมธารทิพย์ จำกัด, ประเทศไทย)

3.1.1.18 น้ำมันปาล์ม (ตรา ทับทิม บริษัท สุขสมบูรณ์น้ำมันพืช จำกัด, ประเทศไทย)

### 3.1.2 สารเคมี

3.1.2.1 Sodium Bicarbonate (ตรา McGarrett บริษัท คอนติเนนตัล ฟูด จำกัด, ประเทศไทย)

3.1.2.2 Sodium Tripolyphosphate (บริษัท กรุงเทพเคมี จำกัด, ประเทศจีน)

3.1.2.3 Citric Acid Monohydrate (บริษัท กรุงเทพเคมี จำกัด, ประเทศจีน)

3.1.2.4 Hexane (Macron Fine Chemicals, Avantor Performance Materials, Inc., USA)

### 3.1.3 อุปกรณ์และเครื่องมือ

3.1.3.1 เครื่องปั่นน้ำผลไม้ Blendforce (Tefal, Model BL478B66, France)

3.1.3.2 เครื่องผสมอาหาร (KitchenAid, Model 5K55S, USA)

3.1.3.3 เครื่องชั่งทศนิยม 2 ตำแหน่ง (Sartorius, Model BSA3202S-CW, Germany)

3.1.3.4 เครื่องวิเคราะห์เนื้อสัมผัส (Texture Analyser, Stable Micro System, Model TA-XT2i, UK)

3.1.3.5 เครื่องวัดสีสเปคโตรโฟโตมิเตอร์ (Colorimeter, Konica Minolta, Model CM-5, Japan)

3.1.3.6 เครื่องทำแห้งแบบเยือกแข็ง (Freeze dryers, Telstar, Model LyoQuest, Spain)

- 3.1.3.7 กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (Tescan, Model Mira3, Czech Republic)
- 3.1.3.8 กล้องจุลทรรศน์โพลาไรซ์ (Polarized Microscope, Olympus, Model CHS, Japan)
- 3.1.3.9 ตู้อบลมร้อน (Hot Air Oven, WTB Binder, Germany)
- 3.1.3.10 ตู้แช่เยือกแข็ง (Air blast freezer, Hiber, Model GCM015 S, Italy)
- 3.1.3.11 ตู้ดูดควัน (Fume hood, FLEXLAB, ประเทศไทย)
- 3.1.3.12 ตู้แช่ 2 ประตู (Mirage, รุ่งอนันต์เครื่องเย็น, ประเทศไทย)
- 3.1.3.13 เครื่องวัดอุณหภูมิอินฟราเรด (Infrared thermometer, deli, Model DL333380, China)
- 3.1.3.14 โถดูดความชื้น (Desiccator)
- 3.1.3.15 หัววัดเนื้อสัมผัสชนิด Cylinder probe เส้นผ่านศูนย์กลาง 50 มิลลิเมตร
- 3.1.3.16 หัววัดแรงเจาะทะลุขนาด 5 มม. (P/5)
- 3.1.3.17 กระดาษกรอง Whatman เบอร์ 1 ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 70 มิลลิเมตร
- 3.1.3.18 ปีกเกอร์ สำหรับใส่สารเคมี
- 3.1.3.19 ขวดใส่สารเคมีสีชา (Reagent bottle)
- 3.1.3.20 ภาชนะป้องกันความชื้นแบบแก้ว (Moisture can)
- 3.1.3.21 กระจกนาฬิกา
- 3.1.3.22 ฟอร์เซปสแตนเลส (Forceps)
- 3.1.3.23 แผ่นสไลด์และกระจกปิดสไลด์
- 3.1.3.24 หลอดหยด (Dropper)

3.1.3.25 ถ้วยและชามสำหรับชั่งเตรียมวัตถุดิบและผสมแป้ง

3.1.3.26 หม้อต้มญี่ปุ่นและกระทะ

3.1.3.27 พายพลาสติกและช้อนสำหรับชั่งดวงสาร

3.1.3.28 ตะแกรง/กระชอนสำหรับพัก

3.1.3.29 ตะแกรง/กระชอนร้อนแห้งและส่วนผสม

3.1.3.30 ที่คีบอาหาร

3.1.3.31 มีด

3.1.3.32 เขียงพลาสติก

3.1.3.33 พิมพ์กดคุกกี้สแตนเลสแบบวงกลม ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 1 นิ้ว

3.1.3.34 ถาดสแตนเลส

3.1.3.35 เต้าไฟฟ้า

3.1.3.36 ถุงซิปล็อคขนาด 7x10 cm.

3.1.3.37 ถุงอลูมิเนียมฟอล์ย

### 3.1.4 อุปกรณ์ที่ใช้วิเคราะห์และประมวลผล

3.1.4.1 โปรแกรม Design-Expert (Version 6.0.5, Stat-Ease, USA)

3.1.4.2 โปรแกรม SU Sense 5.0 (Version 5.073, ภาควิชาเทคโนโลยีอาหาร คณะ  
วิศวกรรมศาสตร์และเทคโนโลยีอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยศิลปากร, ประเทศไทย)

3.1.4.3 โปรแกรม XLStat (Version 23.2.1141.0, Addinsoft, France)

3.1.4.4 โปรแกรม Microsoft Excel 365 (Version 2504 รุ่น 18730.20186, Microsoft,  
USA)

## 3.2 วิธีการศึกษา

### ตอนที่ 1 : การพัฒนาสูตรต้นแบบของลูกชิ้นเลียนแบบเนื้อสัตว์จากพืช

3.2.1 การศึกษาอัตราส่วนที่เหมาะสมระหว่างโปรตีนถั่วเหลืองและกลูเตนข้าวสาลีในการพัฒนาสูตรต้นแบบของลูกชิ้นเลียนแบบเนื้อสัตว์จากพืช

#### 3.2.1.1 การออกแบบการทดลอง

ทำการออกแบบการทดลองโดยใช้โปรแกรม Design-Expert (Version 6.0.5, Stat-Ease, USA) ออกแบบการทดลองแบบผสม (Mixture Design) ในรูปแบบ D-Optimal ซึ่งเหมาะสมกับช่วงของระดับปัจจัยที่ทำการศึกษา ซึ่งไม่ได้กำหนดค่าเริ่มต้นจาก 0 โดยในการศึกษานี้มีปัจจัยการทดลองคือ โปรตีนถั่วเหลือง ( $X_1$ ) และ กลูเตนข้าวสาลี ( $X_2$ ) โดยมีช่วงการผสมของโปรตีนถั่วเหลือง ( $X_1$ ) 20.0-30.0 % และกลูเตนข้าวสาลี ( $X_2$ ) 20.0-30.0 % ซึ่งกำหนดมาจากการทดลองเบื้องต้น โดยมีการออกแบบการทดลอง สูตรทั้งหมดแสดงดังตารางที่ 6

**ตารางที่ 6** สูตรทดลองสำหรับลูกชิ้นทดแทนเนื้อสัตว์จากพืชที่สร้างขึ้นตามการออกแบบการทดลองแบบผสมตามรูปแบบ D-Optimal

สูตร	ปริมาณส่วนผสม (%)	
	โปรตีนถั่วเหลือง ( $X_1$ )	กลูเตนข้าวสาลี ( $X_2$ )
1★	20.0	30.0
2	27.5	22.5
3	22.5	27.5
4◆	25.0	25.0
5◆	25.0	25.0
6★	20.0	30.0
7■	30.0	20.0
8■	30.0	20.0
9■	30.0	20.0

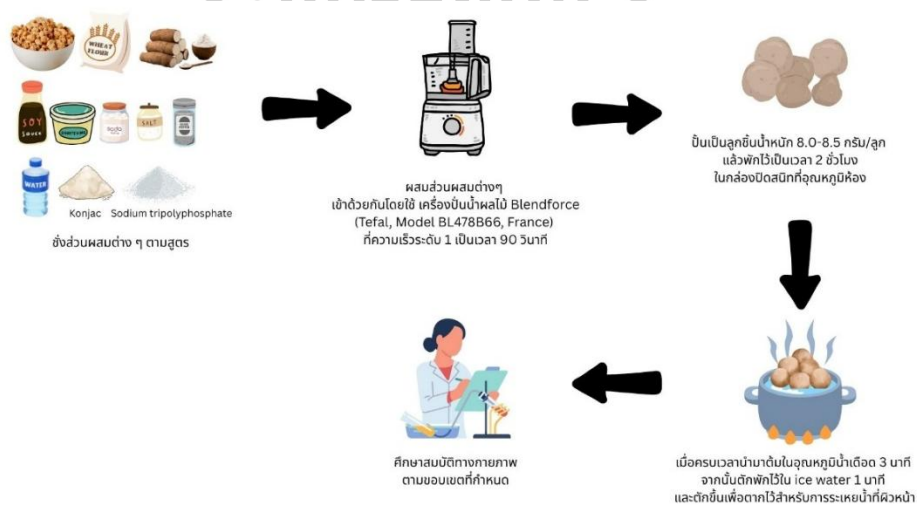
หมายเหตุ : สัญลักษณ์ ★ ◆ ■ แสดงถึงสูตรที่มีการทดลองซ้ำกันตามการออกแบบการทดลองแบบผสมในรูปแบบ D-optimal ส่วนผสมอื่น ๆ ได้แก่ น้ำ (24.8%) เนยขาว (12.0%) แป้งมันสำปะหลัง (8.0%) ซีอิ๊วขาว (2.0%) ผงบุก (1.5%) โซเดียมไบคาร์บอเนต (0.5%) เกลือ (0.8%) พริกไทยดำป่น (0.2%) และโซเดียมไตรโพลีฟอสเฟต (0.2%) มีปริมาณเท่ากันทุกสูตร

### 3.2.1.2 การเตรียมวัตถุดิบ

การเตรียมโปรตีนถั่วเหลือง วิธีการเตรียมให้นำโปรตีนถั่วเหลือง ( $X_1$ ) แช่ในน้ำอุณหภูมิห้อง นาน 1 ชั่วโมง แล้วบีบน้ำออก ปั่นหยาบด้วยเครื่องปั่นน้ำผลไม้ Blendforce (Tefal, Model BL478B66, France) ความเร็วรอบระดับ 1 นาน 20 วินาที จากนั้นจึงเก็บไว้ในภาชนะปิดสนิทเพื่อรอนำไปใช้งาน

### 3.2.1.3 การขึ้นรูปผลิตภัณฑ์

ทำการชั่งน้ำหนักของเปียก ได้แก่ โปรตีนถั่วเหลืองที่เตรียมไว้ในข้อ 3.2.1.2 เนยขาว ซีอิ้วขาวลงในโถปั่นด้านล่างของเครื่องปั่นน้ำผลไม้ Blendforce (Tefal, Model BL478B66, France) จากนั้นทำการชั่งน้ำหนักของแห้ง ได้แก่ กลูเตนข้าวสาลี แป้งมันสำปะหลัง ผงบุก เกลือ โซเดียมไบคาร์บอเนต พริกไทยดำป่นและโซเดียมไตรโพลีฟอสเฟต ร่อนผ่านตะแกรงลงในโถปั่นด้านบน และใส่น้ำเย็นบางส่วนลงในโถปั่น ปั่นด้วยความเร็วรอบระดับ 1 จับเวลา 30 วินาที จากนั้นเติมน้ำเย็นส่วนที่เหลือ และปั่นต่อจนครบ 90 วินาที จากนั้นนำส่วนผสมที่ปั่นเสร็จเรียบร้อยแล้วมานวดต่อในชามผสม แป้งหรือกะละมัง นวดจนส่วนผสมเนียนเป็นเนื้อเดียวกัน ตัดแบ่งออกมาชั่งน้ำหนัก 8.0-8.5 กรัม แล้วปั้นหรือจับให้มีรูปร่างเป็นวงกลมเช่นเดียวกับลูกชิ้น พักไว้ในกล่องปิดสนิทที่อุณหภูมิห้อง ประมาณ 2 ชั่วโมง แล้วจึงนำมาลวกในน้ำเดือดอุณหภูมิ 90-100 องศาเซลเซียส เวลา 3 นาที จากนั้นนำไปพักในน้ำเย็นอุณหภูมิต่ำกว่า 10 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 1 นาที แล้วนำขึ้นพักบนตะแกรง เป็นเวลา 30 นาที จากนั้นจึงนำไปศึกษาคุณสมบัติทางกายภาพ กระบวนการดังภาพที่ 7



ภาพที่ 7 กระบวนการขึ้นรูปผลิตภัณฑ์ลูกชิ้นเลียนแบบเนื้อสัตว์จากพืช

### 3.2.1.4 การศึกษาคุณสมบัติทางกายภาพเพื่อหาสูตรตั้งต้นของผลิตภัณฑ์ลูกชิ้นเลียนแบบเนื้อสัตว์จากพืช

#### 3.2.1.4.1 การวิเคราะห์คุณภาพเนื้อสัมผัสของผลิตภัณฑ์ลูกชิ้นเลียนแบบเนื้อสัตว์จากพืช (Texture Profile Analysis)

การเตรียมตัวอย่างใช้พิมพ์คูกี้แบบวงกลม เส้นผ่านศูนย์กลางขนาด 1 นิ้ว กดลงบนลูกชิ้นเพื่อตัดตัวอย่าง วัดค่าแรงกดด้วยเครื่องวิเคราะห์เนื้อสัมผัส (Texture Analyser, Model TA-XT2i, Stable Micro System, UK) พร้อมหัววัดเนื้อสัมผัสชนิด Cylinder probe เส้นผ่านศูนย์กลาง 50 มิลลิเมตร วัด Texture Profile Analyser (TPA) เป็นวิธีทดสอบเพื่อวิเคราะห์เนื้อสัมผัสของอาหารโดยใช้แรงกดด้วยหัวทดสอบแบบแผ่นแบน โดยใช้หัววัดที่มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 50 มิลลิเมตร ซึ่งมีเส้นผ่านศูนย์กลางใหญ่กว่าลูกชิ้น กดลงบนลูกชิ้น 2 ครั้ง เพื่อจำลองการใช้ฟันบดอาหาร กำหนด Pre-test speed เท่ากับ 3 มิลลิเมตร/วินาที Test speed เท่ากับ 1 มิลลิเมตร/วินาที Post-test speed เท่ากับ 3 มิลลิเมตร/วินาที และกดลงไปร้อยละ 60 ของความสูงตัวอย่าง โดยวัดค่าตัวอย่างละ 3 ซ้ำ ทำการบันทึกค่าความแข็ง (Hardness) การยึดติดของอาหาร (Adhesiveness) ความสามารถในการเกาะตัว (Cohesiveness) ค่าความยืดหยุ่น (Springiness) ค่าที่อาหารกึ่งแข็งที่แตกตัวออกจนพร้อมที่จะกลืนได้ (Gumminess) และความยากง่ายในการเคี้ยวตัวอย่าง (Chewiness) นำข้อมูลที่ได้จากการทดลองไปวิเคราะห์ผลทางสถิติ ดัดแปลงจากวิธีการของ Tee and Siow (2017)

#### 3.2.1.4.2 การวิเคราะห์คุณภาพทางด้านสีของผลิตภัณฑ์ลูกชิ้นเลียนแบบเนื้อสัตว์จากพืช

การวิเคราะห์ค่าสีของผลิตภัณฑ์ลูกชิ้นเลียนแบบเนื้อสัตว์จากพืช โดยการทดสอบค่าความสว่าง ( $L^*$ ) ค่าสีแดง ( $a^*$ ) ค่าสีเหลือง ( $b^*$ ) ของตัวอย่างลูกชิ้นเลียนแบบเนื้อสัตว์จากพืช เครื่องวัดค่าสีในระบบ CIE LAB ( $L^* a^* b^*$ ) โดยใช้เครื่องวัดสีสเปคโตรโฟโตมิเตอร์ (Colorimeter, Konica Minolta, Model CM-5, Japan) ด้วยการสุ่มตัวอย่าง ลูกชิ้นจำนวน 5 ลูกต่อสูตร วางตัวอย่างในงานรอง (plate) ที่มีเส้นผ่านศูนย์กลางของรูรับแสง 3 มิลลิเมตร ครั้งละ 1 ลูก แล้ววาง

บนเครื่องวัดสีครอบด้วยกระบอกทึบแสง จากนั้นทำการวัดค่า อ่านค่า และบันทึกผล ดัดแปลงวิธีจาก ตริชญา (2563)

โดย L\* หมายถึง ความสว่าง มีค่าตั้งแต่ 0 (ดำ) จนถึง 100 (ขาว)

+a\* หมายถึง ค่าความเป็นสีแดง และ -a\* หมายถึง ค่าความเป็นสีเขียว

+b\* หมายถึง ค่าความเป็นสีเหลือง และ -b\* หมายถึง ค่าความเป็นสีน้ำเงิน

#### 3.2.1.4.3 การทดสอบหาปริมาณน้ำที่สูญเสีย (Expressible Water)

การทดสอบหาปริมาณน้ำที่สูญเสีย ดัดแปลงจากวิธีการของ Balange and Benjakul (2009) โดยนำตัวอย่างลูกชิ้นวางระหว่างกระดาษกรอง Whatman เบอร์ 1 ด้านบน 2 แผ่น ด้านล่าง 2 แผ่น กดด้วยน้ำหนัก 5 กิโลกรัม เป็นเวลา 2 นาที ชั่งน้ำหนักลูกชิ้นก่อนกดและ หลังกด ทำการทดลองทั้งหมด 3 ซ้ำ คำนวณค่าปริมาณน้ำที่สูญเสียตามสมการที่ 1

$$\text{ปริมาณน้ำที่สูญเสีย (\%)} = \left[ \frac{(\text{น้ำหนักลูกชิ้นก่อนกด} - \text{น้ำหนักลูกชิ้นหลังกด})}{\text{น้ำหนักลูกชิ้นก่อนกด}} \right] \times 100 \text{ -----[1]}$$

#### 3.2.1.5 วิเคราะห์หาความสัมพันธ์โดยการสร้างสมการถดถอย (Regression model)

ทำการวิเคราะห์หาความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรอิสระและตัวแปรตามด้วยการสร้างสมการถดถอย (Regression model) โดยตัวแปรอิสระ คือ อัตราส่วนผสมระหว่างโปรตีนถั่วเหลือง ( $X_1$ ) และกลูเตนข้าวสาลี ( $X_2$ ) ตัวแปรตาม ได้แก่ ค่าความแข็ง (Hardness) การยึดติดของอาหาร (Adhesiveness) ความสามารถในการเกาะตัว (Cohesiveness) ค่าความยืดหยุ่น (Springiness) ค่าที่อาหารกึ่งแข็งที่แตกตัวออกจนพร้อมที่จะกลืนได้ (Gumminess) ความยากง่ายในการเคี้ยว ตัวอย่าง (Chewiness) ค่าความสว่าง (L\*) ค่าสีแดง (a\*) ค่าสีเหลือง (b\*) และค่าปริมาณน้ำที่สูญเสีย เพื่อพยากรณ์อัตราส่วนการผสมที่เหมาะสมต่อสมบัติทางกายภาพ โดยใช้โปรแกรม Design-Expert (Version 6.0.5, Stat-Ease, USA)

## ตอนที่ 2 : การศึกษาชนิดและปริมาณไฮโดรคอลลอยด์

### 3.2.2 การศึกษาชนิดและปริมาณของไฮโดรคอลลอยด์ที่สามารถช่วยปรับปรุงเนื้อสัมผัสของผลิตภัณฑ์

ทดลองขึ้นรูปผลิตภัณฑ์ลูกชิ้นเลียนแบบเนื้อสัตว์จากพืชจากสูตรที่เหมาะสมที่ได้จากตอนที่ 1 ซึ่งพิจารณาจากการทำนายอัตราส่วนที่เหมาะสม และนำมาพัฒนาต่อโดยทำการเพิ่ม/เปลี่ยนชนิดของไฮโดรคอลลอยด์ โดยพิจารณาจากผลการทดลองในตารางที่ 13 และจากรายงานวิจัยที่ทำการศึกษาเกี่ยวกับการพัฒนาผลิตภัณฑ์แปรรูปต่าง ๆ ทดแทนเนื้อสัตว์ เพื่อทดลองทดแทน เพิ่มเติม หรือปรับเปลี่ยนสารไฮโดรคอลลอยด์ ได้แก่ แป้งมันสำปะหลังดัดแปรและผงบุก ที่ระดับต่าง ๆ จากนั้นทำการทดสอบทางประสาทสัมผัส เพื่อคัดเลือกสูตรที่มีความคงตัวจำนวน 3 สูตร ให้ผู้บริโภคนจำนวน 30 คน ทดสอบชิมเพื่อประเมินคุณลักษณะทางประสาทสัมผัส โดยใช้โปรแกรม SU Sense 5.0 (Version 5.073, ภาควิชาเทคโนโลยีอาหาร คณะวิศวกรรมศาสตร์และเทคโนโลยีอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยศิลปากร, ประเทศไทย) เป็นลำดับต่อไปก่อนจะนำไปพัฒนาผลิตภัณฑ์ในตอนที่ 3 ซึ่งสูตรที่นำไปให้ผู้บริโภคทดสอบชิม แสดงดังตารางที่ 7

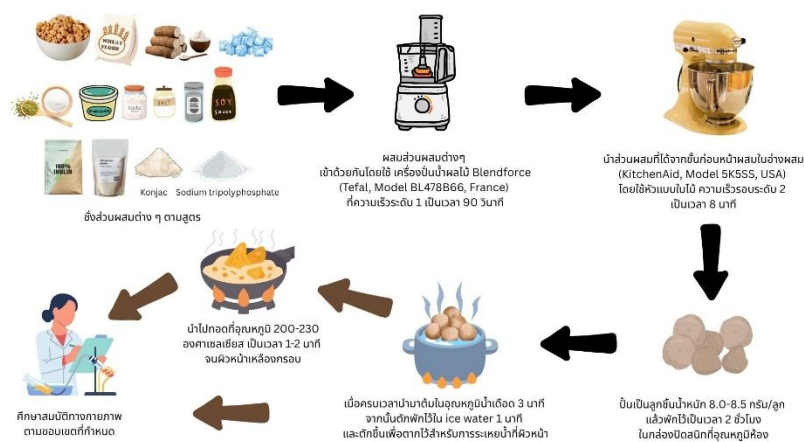
**ตารางที่ 7** สูตรการผลิตผลิตภัณฑ์ลูกชิ้นเลียนแบบเนื้อสัตว์จากพืชโดยปรับชนิดและปริมาณของไฮโดรคอลลอยด์

รายการส่วนผสม	ปริมาณส่วนผสม (%w/w)		
	สูตร A (MS 5.0%, K 1.5 %)	สูตร B (MS 10.0%, K 1.5 %)	สูตร C (MS 10.0%, K 2.5 %)
กลูเตนข้าวสาลี	32.0	32.0	32.0
น้ำแข็ง	21.5	21.5	21.5
โปรตีนถั่วเหลือง	21.5	21.5	21.5
เนยขาว	8.6	8.6	8.6
น้ำตาลทราย	3.7	3.7	3.7
แป้งข้าวเหนียว	3.2	3.2	3.2
ซีอิ๊วขาว	3.2	3.2	3.2
ผงปรุงกลิ่นและรส	2.0	2.0	2.0
คาราจีแนน	1.1	1.1	1.1
อินูลิน	1.1	1.1	1.1
เกลือ	0.9	0.9	0.9
พริกไทยดำป่น	0.5	0.5	0.5
โซเดียมไบคาร์บอเนต	0.5	0.5	0.5
โซเดียมไตรโพลีฟอสเฟต	0.2	0.2	0.2
<b>รวม</b>	<b>100.0</b>	<b>100.0</b>	<b>100.0</b>
แป้งมันสำปะหลังดัดแปร (MS)	5.0	10.0	10.0
ผงบุก (K)	1.5	1.5	2.5
<b>รวม</b>	<b>106.5</b>	<b>111.5</b>	<b>112.5</b>

### 3.2.2.1 กระบวนการผลิตผลิตภัณฑ์ลูกชิ้นเลียนแบบเนื้อสัตว์จากพืชโดยปรับชนิดและ

#### ปริมาณของไฮโดรคอลลอยด์

ทำการชั่งน้ำหนักของเปียก ได้แก่ โปรตีนถั่วเหลืองที่เตรียมไว้ในข้อ 3.2.1.2 เนยขาว ซีอิ้วขาวลงในโถปั่นด้านล่างของเครื่องปั่นน้ำผลไม้ Blendforce (Tefal, Model BL478B66, France) จากนั้นทำการชั่งน้ำหนักของแห้ง ได้แก่ กลูเตนข้าวสาลี แป้งมันสำปะหลังตัดแปรรูป แป้งถั่วเขียว ผงบุก คาราจีแนน อินูลิน เกลือ น้ำตาลทราย โซเดียมไบคาร์บอเนต พริกไทยดำป่น โซเดียมไตรโพลีฟอสเฟต ผงปรุงกลิ่นและรส ร้อนผ่านตะแกรงลงในโถปั่นด้านบนของเปียก จากนั้นชั่งน้ำแข็งบางส่วนใส่ลงในโถปั่น ปั่นด้วยความเร็วรอบระดับ 1 จับเวลา 30 วินาที จากนั้นเติมน้ำแข็งส่วนที่เหลือ และปั่นต่อจนครบ 90 วินาที จากนั้นนำส่วนผสมที่ปั่นเสร็จเรียบร้อยแล้วมาวัดผสมต่อในอ่างผสมของเครื่องผสมอาหาร (KitchenAid, Model 5K55S, USA) โดยใช้หัวใบพัดแบบใบไม้ ตีด้วยความเร็วรอบระดับ 2 จับเวลา 8 นาที เมื่อครบเวลานำส่วนผสมออกมาวัดต่อในชามผสมแป้งหรือกะละมัง วัดจนส่วนผสมเนียนเป็นเนื้อเดียวกัน ตัดแบ่งออกมาชั่งน้ำหนัก 8.0-8.5 กรัม แล้วปั้นหรือจับให้มีรูปทรงเป็นวงกลม เช่นเดียวกับลูกชิ้น พักไว้ในกล่องปิดสนิทที่อุณหภูมิห้อง ประมาณ 2 ชั่วโมง แล้วจึงนำมาลวกในน้ำเดือดอุณหภูมิ 90-100 องศาเซลเซียส เวลา 3 นาที จากนั้นนำไปพักในน้ำเย็นอุณหภูมิต่ำกว่า 10 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 1 นาที แล้วนำขึ้นพักบนตะแกรง เป็นเวลา 30 นาที หากผลิตภัณฑ์แบบทอดให้นำไปทอดแบบน้ำมันท่วมที่อุณหภูมิ 200-230 องศาเซลเซียส เวลา 1-2 นาที จนผิวหน้าเหลืองกรอบ จากนั้นจึงนำไปศึกษาคุณสมบัติทางกายภาพ กระบวนการดังภาพที่ 8



ภาพที่ 8 กระบวนการผลิตลูกชิ้นเลียนแบบเนื้อสัตว์จากพืช

### 3.2.2.2 การทดสอบคุณภาพด้านเนื้อสัมผัสด้วยเครื่องวัดเนื้อสัมผัส

#### 3.2.2.2.1 วัดความแข็งแรงของเจล (Gel Strength, GS)

ใช้ลูกชิ้นแบบต้มทั้งลูกนำไปวัดความแข็งแรงของเจลด้วยเครื่องวัดเนื้อสัมผัส โดยใช้หัววัดแบบเจาะทะลุ P/5 ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 5 มิลลิเมตร กำหนด Pre test speed 1 มิลลิเมตร/วินาที Test speed 1 มิลลิเมตร/วินาที Post test speed 10 มิลลิเมตร/วินาที และระยะเวลาการกดของหัววัดเท่ากับร้อยละ 60 ของความสูงตัวอย่าง ดัดแปลงวิธีจาก Cortez-Vega et al. (2013)

#### 3.2.2.2.2 การวิเคราะห์คุณภาพเนื้อสัมผัสของผลิตภัณฑ์ลูกชิ้นเลียนแบบเนื้อสัตว์จากพืช (Texture Profile Analysis)

วัดค่าแรงกดด้วยเครื่องวิเคราะห์เนื้อสัมผัส (Texture Analyser, Model TA-XT2i, Stable Micro System, UK) พร้อมหัววัดเนื้อสัมผัสชนิด Cylinder probe เส้นผ่านศูนย์กลาง 50 มิลลิเมตร วิเคราะห์เนื้อสัมผัสของอาหารโดยใช้แรงกดด้วยหัวทดสอบแบบแผ่นแบน โดยใช้หัววัดที่มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 50 มิลลิเมตร ซึ่งมีเส้นผ่านศูนย์กลางขนาดใหญ่กว่าลูกชิ้น กดลงบนลูกชิ้น 2 ครั้ง วิธีการเช่นเดียวกับข้อ 3.2.1.4.1 วัดลูกชิ้นทั้งแบบต้มและแบบทอด

#### 3.2.2.3 การวิเคราะห์คุณภาพทางด้านสีของผลิตภัณฑ์ลูกชิ้นเลียนแบบเนื้อสัตว์จากพืช

การวิเคราะห์ค่าสีของผลิตภัณฑ์ลูกชิ้นเลียนแบบเนื้อสัตว์จากพืช โดยใช้เครื่องวัดสีสเปคโตรโฟโตมิเตอร์ (Colorimeter, Konica Minolta, Model CM-5, Japan) วิธีการเช่นเดียวกับข้อ 3.2.1.4.2 โดยวัดเฉพาะลูกชิ้นแบบต้ม

#### 3.2.2.4 การทดสอบหาปริมาณน้ำที่สูญเสีย

การทดสอบหาปริมาณน้ำที่สูญเสีย วิธีการเช่นเดียวกับข้อ 3.2.1.4.3 วัดเฉพาะลูกชิ้นแบบต้ม โดยคำนวณค่าปริมาณน้ำที่สูญเสียตามสมการที่ 1

### 3.2.2.5 การทดสอบทางประสาทสัมผัส

นำลูกชิ้นเลียนแบบเนื้อสัตว์จากพืชสูตร A (MS 5.0%, K 1.5 %) สูตร B (MS 10.0%, K 1.5 %) และสูตร C (MS 10.0%, K 2.5 %) ไปทดสอบการยอมรับของผู้บริโภคโดยให้ผู้ทดสอบชิมทั้งตัวอย่างลูกชิ้นทั้งแบบต้มและแบบทอด จัดตัวอย่างแบบสุ่มและประเมินคุณลักษณะ 5 ด้านได้แก่ ความแน่นเนื้อ ความแข็ง ความนุ่ม รสเค็มและกลิ่นเครื่องเทศ โดยใช้วิธี Just About Right ประเมิน 3 ระดับได้แก่ น้อยไป พอดี และมากไป ในส่วนของการทดสอบการยอมรับประเมินในด้านความชอบโดยรวมโดยใช้วิธี 9-point hedonic scale การทดสอบนี้ให้ผู้ทดสอบ 30 คน โดยมีกลุ่มเป้าหมายเป็นบุคคลที่รับประทานผลิตภัณฑ์ที่ไม่มีเนื้อสัตว์เป็นส่วนประกอบและไม่มีประวัติการแพ้ถั่วเหลือง และข้าวสาลี

### 3.2.2.6 การปรับปริมาณสารปรับปรุงเนื้อสัมผัส

ภายหลังทำการทดสอบชิมเพื่อประเมินคุณลักษณะทางประสาทสัมผัส โดยใช้โปรแกรม SU Sense 5.0 (Version 5.073, ภาควิชาเทคโนโลยีอาหาร คณะวิศวกรรมศาสตร์และเทคโนโลยีอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยศิลปากร, ประเทศไทย) มีการปรับเพิ่มปริมาณสารปรับปรุงเนื้อสัมผัส ได้แก่ การเพิ่มแป้งมันสำปะหลังตัดแปรลงไปในสูตรส่วนผสมเดิม 2 ระดับ ที่ 15%w/w และ 20%w/w เพื่อเพิ่มความแข็งแรงและความแน่นเนื้อของผลิตภัณฑ์โดยสูตรการพัฒนาผลิตภัณฑ์ แสดงดังตารางที่ 8

**ตารางที่ 8** สูตรการผลิตลูกขึ้นเลียนแบบเนื้อสัตว์จากพืชโดยเสริมสารปรับปรุงเนื้อสัมผัส

รายการส่วนผสม	ปริมาณส่วนผสม (%w/w)		
	สูตร B (MS 10)	สูตร B (MS 15)	สูตร B (MS 20)
กลูเตนข้าวสาลี	32.0	32.0	32.0
น้ำแข็ง	21.5	21.5	21.5
โปรตีนถั่วเหลือง	21.5	21.5	21.5
เนยขาว	8.6	8.6	8.6
น้ำตาลทราย	3.7	3.7	3.7
แป้งถั่วเขียว	3.2	3.2	3.2
ซีอิ๊วขาว	3.2	3.2	3.2
ผงปรุงกลิ่นและรส	2.0	2.0	2.0
คาราจีแนน	1.1	1.1	1.1
อินูลิน	1.1	1.1	1.1
เกลือ	0.9	0.9	0.9
พริกไทยดำป่น	0.5	0.5	0.5
โซเดียมไบคาร์บอเนต	0.5	0.5	0.5
โซเดียมไตรโพลีฟอสเฟต	0.2	0.2	0.2
<b>รวม</b>	<b>100.0</b>	<b>100.0</b>	<b>100.0</b>
แป้งมันสำปะหลังตัดแปรรูป (MS)	10.0	15.0	20.0
ผงบุก (K)	1.5	1.5	1.5
<b>รวม</b>	<b>111.5</b>	<b>116.5</b>	<b>121.5</b>

### 3.2.2.7 กระบวนการผลิตลูกขึ้นเลียนแบบเนื้อสัตว์จากพืชที่ปรับปริมาณสารปรับปรุงเนื้อสัมผัสและการทดสอบคุณภาพ

กระบวนการผลิตลูกขึ้นเลียนแบบเนื้อสัตว์จากพืชที่ปรับปริมาณสารปรับปรุงเนื้อสัมผัสทั้งรูปแบบต้มและรูปแบบทอดวิธีการเช่นเดียวกับข้อ 3.2.2.1

การทดสอบคุณภาพด้านเนื้อสัมผัส การวิเคราะห์คุณภาพทางด้านสี และการทดสอบหาปริมาณน้ำที่สูญเสีย สามารถดำเนินการเช่นเดียวกับข้อ 3.2.2.2-3.2.2.4 แต่วิเคราะห์คุณภาพเฉพาะลูกขึ้นแบบต้ม

### 3.2.3 การวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติ

ข้อมูลที่ได้นำมาทำการวิเคราะห์ความแตกต่างทางสถิติ โดยใช้แผนการทดลองแบบสุ่มสมบูรณ์ (Completely Randomized Design: CRD) สำหรับข้อมูลสมบัติทางกายภาพ (ข้อ 3.2.2.2-3.2.2.4) และแผนการทดลองแบบบล็อกสุ่มสมบูรณ์ (Randomized Completely Block Design : RCBD) สำหรับข้อมูลการทดสอบทางประสาทสัมผัส ทดสอบความแปรปรวนแบบ ANOVA ที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 ( $p \leq 0.05$ ) เปรียบเทียบค่าเฉลี่ย โดยวิธี Duncan's Multiple Range Test (DMRT) โดยใช้โปรแกรม XLStat (Version 23.2.1141.0, Addinsoft, France) ทำการทดลอง 3 ซ้ำในส่วนของการทดสอบคุณภาพด้านเนื้อสัมผัสรวมถึงการทดสอบหาปริมาณน้ำที่สูญเสีย และทำการทดลอง 5 ซ้ำในส่วนของการทดสอบสี

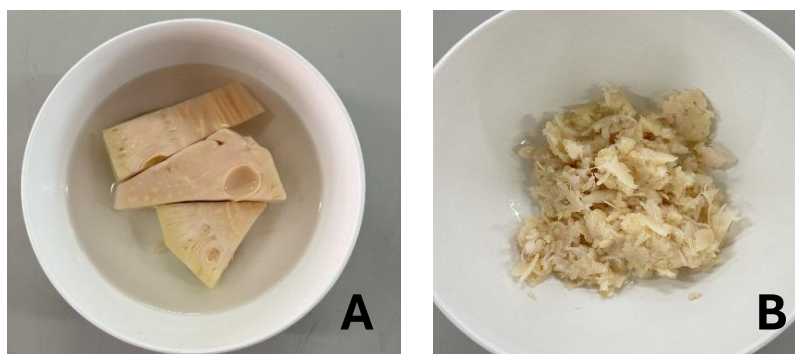


### ตอนที่ 3 : การศึกษาปริมาณของขนุนอ่อนที่เหมาะสมในการเสริมลงไปในการผลิตภัณฑ์ลูกชิ้นเลียนแบบเนื้อสัตว์จากพืช

#### 3.2.4 การศึกษาปริมาณสูงสุดของขนุนอ่อนที่สามารถเสริมลงไปในการผลิตภัณฑ์ลูกชิ้นเลียนแบบเนื้อสัตว์จากพืช

##### 3.2.4.1 การเตรียมขนุนอ่อน

นำขนุนอ่อนแช่น้ำเกลือรูปแบบกระป๋องจากบริษัท ผลิตภัณฑ์อาหารเซฟซ้อย จำกัด แยกเฉพาะส่วนเนื้อออกมาโดยกรองผ่านตะแกรง (1 กระป๋อง มีน้ำหนักสุทธิ 565 กรัม ประกอบด้วยน้ำหนักเนื้อ 300 กรัม) จากนั้นล้างน้ำสะอาด 2 ครั้งแล้วจึงนำไปแช่ลงในสารละลายกรดซิตริกโมโนไฮเดรต 0.3% w/v เป็นเวลา 5 นาที จากนั้นนำไปลวกที่อุณหภูมิ 70-80 องศาเซลเซียส 5 นาที และนำไปต้มในน้ำเดือดอุณหภูมิ 90-100 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 15 นาที เมื่อครบเวลาจึงนำออกมาแช่ในน้ำเย็น ( $4\text{ }^{\circ}\text{C} \pm 2\text{ }^{\circ}\text{C}$ ) ประมาณ 2 นาทีเพื่อหยุดกระบวนการ จากนั้นพักไว้บนตะแกรงประมาณ 5 นาทีโดยไม่ทับซ้อนกัน เพื่อให้น้ำส่วนเกินไหลออกมา แล้วจึงนำไปบดหยาบโดยใช้โถปั่นของเครื่องปั่นน้ำผลไม้ Blendforce (Tefal, Model BL478B66, France) ปั่นที่ความเร็วระดับ 1 เวลาประมาณ 20 วินาที จากนั้นเก็บไว้ในภาชนะปิดสนิทและจัดเก็บในตู้เย็นอุณหภูมิ 4-8 องศาเซลเซียส เพื่อรอกการนำไปใช้งาน โดยดัดแปลงวิธีจาก Samutsri and Thimthud (2025) ภาพแสดงลักษณะของขนุนอ่อนก่อนการเตรียมและหลังการเตรียมก่อนนำไปใช้งาน แสดงดังภาพที่ 9A และ 9B ตามลำดับ จากนั้นทำการวิเคราะห์ปริมาณของสารประกอบหลักในอาหาร (Proximate analysis) หาปริมาณ ความชื้น โปรตีน ไขมัน เถ้า และเยื่อใย โดยตรวจตามวิธี AOAC (2023)



ภาพที่ 9 ภาพขนุนอ่อน

โดย A : ขนุนอ่อนก่อนการเตรียม B : ขนุนอ่อนหลังการเตรียม ก่อนนำไปใช้งาน

### 3.2.4.2 กระบวนการผลิตผลิตภัณฑ์ลูกชิ้นเลียนแบบเนื้อสัตว์จากพืชเสริมด้วยขนุนอ่อน

ทำการชั่งน้ำหนักของเป็ยก ได้แก่ โปรตีนถั่วเหลืองที่เตรียมไว้ในข้อ 3.2.1.2 ขนุนอ่อนที่เตรียมได้จากข้อ 3.2.3.1 เนยขาว และซีอิ้วขาวลงในโถปั่นด้านล่างของเครื่องปั่นน้ำผลไม้ Blendforce (Tefal, Model BL478B66, France) จากนั้นทำการชั่งน้ำหนักของแห้ง ได้แก่ กลูเตน ข้าวสาลี แป้งมันสำปะหลังตัดแปร แป้งถั่วเขียว ผงบุก คาราจีแนน อินูลิน เกลือ น้ำตาลทราย โซเดียมไบคาร์บอเนต พริกไทยดำป่น โซเดียมไตรโพลีฟอสเฟต ผงปรุงกลิ่นและรส ร่อนผ่านตะแกรงลงในโถปั่นด้านบนของเป็ยก จากนั้นชั่งน้ำแข็งบางส่วนใส่ลงในโถปั่น ปั่นด้วยความเร็วรอบระดับ 1 จับเวลา 30 วินาที จากนั้นเติมน้ำแข็งส่วนที่เหลือ และปั่นต่อจนครบ 90 วินาที จากนั้นนำส่วนผสมที่ปั่นเสร็จเรียบร้อยแล้วมานวดผสมต่อในอ่างผสมของเครื่องผสมอาหาร (KitchenAid, Model 5K5SS, USA) โดยใช้หัวใบพัดแบบใบไม้ ตีด้วยความเร็วรอบระดับ 2 จับเพียงเวลา 5 นาที เมื่อครบเวลานำส่วนผสมออกมานวดต่อในซามผสมแป้งหรือกะละมัง นวดจนส่วนผสมเนียนเป็นเนื้อเดียวกัน ตัดแบ่งออกมาชั่งน้ำหนัก 8.0-8.5 กรัม แล้วปั้นหรือจับให้มีรูปทรงเป็นวงกลมเช่นเดียวกับลูกชิ้น พักไว้ในกล่องปิดสนิทที่อุณหภูมิห้อง ประมาณ 2 ชั่วโมง แล้วจึงนำมาลวกในน้ำเดือดอุณหภูมิ 90-100 องศาเซลเซียส เวลา 3 นาที จากนั้นนำไปพักในน้ำเย็นอุณหภูมิต่ำกว่า 10 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 1 นาที แล้วนำขึ้นพักบนตะแกรง เป็นเวลา 30 นาที หากผลิตภัณฑ์แบบทอดให้นำไปทอดแบบน้ำมันท่วมที่อุณหภูมิ 200-230 องศาเซลเซียส เวลา 1-2 นาที จนผิวหน้าเหลืองกรอบ จากนั้นจึงนำไปศึกษาคุณสมบัติทางกายภาพ กระบวนการเช่นเดียวกับภาพที่ 8 ในข้อ 3.2.2.1

ทดลองขึ้นรูปผลิตภัณฑ์ลูกชิ้นเลียนแบบเนื้อสัตว์จากพืชจากสูตร B (MS 20) ในตอนที่ 2 โดยทำการเสริมขนุนอ่อนลงไป 3 ระดับ ได้แก่ 10, 20 และ 30 %w/w จากนั้นนำมาศึกษาสมบัติทางกายภาพเพื่อดูแนวโน้มของการเปลี่ยนแปลงในแต่ละสูตร ซึ่งแสดงดังตารางที่ 9

**ตารางที่ 9** สูตรการผลิตภัณฑ์ลูกชิ้นเลียนแบบเนื้อสัตว์จากพืชโดยเสริมขนุนอ่อน

รายการส่วนผสม	ปริมาณส่วนผสม (%w/w)		
	สูตร B (MS 20)	สูตร B (MS 20)	สูตร B (MS 20)
	+YJ 10 %w/w	+YJ 20 %w/w	+YJ 30 %w/w
กลูเตนข้าวสาลี	26.1	26.1	26.1
น้ำแข็ง	17.4	17.4	17.4
โปรตีนถั่วเหลือง	17.4	17.4	17.4
แป้งมันสำปะหลังตัดแปรร	17.4	17.4	17.4
เนยขาว	7.0	7.0	7.0
น้ำตาลทราย	3.0	3.0	3.0
แป้งถั่วเขียว	2.6	2.6	2.6
ซีอิ้วขาว	2.6	2.6	2.6
ผงบุก	1.3	1.3	1.3
ผงปรุงกลิ่นและรส	1.6	1.6	1.6
คาราจีแนน	0.9	0.9	0.9
อินูลิน	0.9	0.9	0.9
เกลือ	0.7	0.7	0.7
พริกไทยดำป่น	0.4	0.4	0.4
โซเดียมไบคาร์บอเนต	0.4	0.4	0.4
โซเดียมไตรโพลีฟอสเฟต	0.2	0.2	0.2
<b>รวม</b>	<b>100.0</b>	<b>100.0</b>	<b>100.0</b>
ขนุนอ่อน (YJ)	10.0	20.0	30.0
<b>รวม</b>	<b>110.0</b>	<b>120.0</b>	<b>130.0</b>

หมายเหตุ : MS หมายถึง แป้งมันสำปะหลังตัดแปรร ซึ่งมีสูตรพื้นฐานมาจากตารางที่ 8 ในข้อ 3.2.2.7

YJ หมายถึง ขนุนอ่อน

### 3.2.4.3 การทดสอบคุณภาพด้านเนื้อสัมผัสด้วยเครื่องวัดเนื้อสัมผัส

#### 3.2.4.3.1 วัดความแข็งแรงของเจล (Gel Strength, GS)

ใช้ลูกช้อนแบบตัมทั้งลูกนำไปวัดความแข็งแรงของเจลด้วยเครื่องวัดเนื้อสัมผัส โดยใช้หัววัดแบบเจาะทะลุ P/5 ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 5 มิลลิเมตร กำหนด Pre test speed 1 มิลลิเมตร/วินาที Test speed 1 มิลลิเมตร/วินาที Post test speed 10 มิลลิเมตร/วินาที และระยะเวลาการกดของหัววัดเท่ากับร้อยละ 60 ของความสูงตัวอย่าง ดัดแปลงวิธีจาก Cortez-Vega et al. (2013)

#### 3.2.4.3.2 การวิเคราะห์คุณภาพเนื้อสัมผัสของผลิตภัณฑ์ลูกชิ้นเลียนแบบเนื้อสัตว์จากพืช (Texture Profile Analysis)

วัดค่าแรงกดด้วยเครื่องวิเคราะห์เนื้อสัมผัส (Texture Analyser, Model TA-XT2i, Stable Micro System, UK) พร้อมหัววัดเนื้อสัมผัสชนิด Cylinder probe เส้นผ่านศูนย์กลาง 50 มิลลิเมตร วิเคราะห์เนื้อสัมผัสของอาหารโดยใช้แรงกดด้วยหัวทดสอบแบบแผ่นแบน โดยใช้หัววัดที่มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 50 มิลลิเมตร ซึ่งมีเส้นผ่านศูนย์กลางขนาดใหญ่กว่าลูกชิ้น กดลงบนลูกชิ้น 2 ครั้ง วิธีการเช่นเดียวกับข้อ 3.2.1.4.1 วัดทั้งลูกชิ้นแบบตัมและแบบทอด

#### 3.2.4.4 การวิเคราะห์คุณภาพทางด้านสีของผลิตภัณฑ์ลูกชิ้นเลียนแบบเนื้อสัตว์จากพืช

การวิเคราะห์ค่าสีของผลิตภัณฑ์ลูกชิ้นเลียนแบบเนื้อสัตว์จากพืช โดยใช้เครื่องวัดสีสเปคโตรโฟโตมิเตอร์ (Colorimeter, Konica Minolta, Model CM-5, Japan) วิธีการเช่นเดียวกับข้อ

3.2.1.4.2 วัดเฉพาะลูกชิ้นแบบตัม

#### 3.2.4.5 การทดสอบหาปริมาณน้ำที่สูญเสีย

การทดสอบหาปริมาณน้ำที่สูญเสีย วิธีการเช่นเดียวกับข้อ 3.2.1.4.3 วัดเฉพาะลูกชิ้นแบบตัม โดยคำนวณค่าปริมาณน้ำที่สูญเสียตามสมการที่ 1

### 3.2.4.6 การทดสอบทางประสาทสัมผัส

การทดสอบทางประสาทสัมผัสแบ่งเป็น 2 ครั้ง โดยครั้งที่ 1 เพื่อหาปริมาณสูงสุดของขนุนอ่อนที่สามารถเสริมลงไปได้ในผลิตภัณฑ์ โดยการทดสอบทางประสาทสัมผัสนี้จะนำลูกชิ้นเลียนแบบเนื้อสัตว์จากพืชสูตรที่เสริมขนุนอ่อน 10%, 20% และ 30% โดยน้ำหนัก ได้แก่สูตร B (MS 20)+YJ 10%w/w, B (MS 20)+YJ 20%w/w และ B (MS 20)+YJ 30%w/w ตามลำดับ ไปทำการทดสอบส่วนครั้งที่ 2 เพื่อเปรียบเทียบคะแนนระหว่างสูตรควบคุมและสูตรที่เสริมขนุนอ่อนที่ได้คะแนนสูงสุด 2 ลำดับแรก จากครั้งที่ 1 ได้แก่ สูตรที่เสริมขนุนอ่อน 10% และ 20% โดยน้ำหนัก โดยการทดสอบทางประสาทสัมผัสนี้จะนำลูกชิ้นเลียนแบบเนื้อสัตว์จากพืชสูตร B (MS 20) ซึ่งเป็นสูตรควบคุม สูตร B (MS 20)+YJ 10%w/w เป็นสูตรที่เสริมขนุนอ่อน 10% โดยน้ำหนัก และสูตร B (MS 20)+YJ 20%w/w เป็นสูตรที่เสริมขนุนอ่อน 20% โดยน้ำหนัก ไปทำการทดสอบ ในส่วนของการจัดตัวอย่างวิธีประเมินคุณลักษณะ จำนวนผู้ทดสอบและการคัดเลือกกลุ่มผู้บริโภค ใช้วิธีการเดียวกับข้อ 3.2.2.5

### 3.2.4.7 การวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติ

การวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติ วิเคราะห์เช่นเดียวกับข้อ 3.2.3

### 3.2.4.8 การวิเคราะห์ปริมาณของสารประกอบหลักในอาหาร (Proximate analysis)

นำวัตถุดิบขนุนอ่อนที่ผ่านการ Pre-treatment แล้วในข้อ 3.2.3.1 และลูกชิ้นสูตร B (MS 20) ซึ่งเป็นสูตรควบคุม และสูตรที่ได้คะแนนจากการทดสอบทางประสาทสัมผัสสูงสุดเป็นอันดับแรก ได้แก่สูตร B (MS 20)+YJ 10%w/w เป็นสูตรที่เสริมขนุนอ่อน 10% โดยน้ำหนัก เฉพาะแบบต้นนำไปวิเคราะห์หาปริมาณความชื้น โปรตีน ไขมัน เถ้า และใยอาหาร โดยตรวจตามวิธี AOAC (2023) ซึ่งการหาใยอาหาร เป็นการตรวจสอบโดยวิธี AOAC (2023) 985.29 เป็นการหาใยอาหารด้วยเอนไซม์ ซึ่งวิธีนี้มีความจำเพาะเจาะจงมากกว่าการหาด้วยกรดและด่าง โดยการใช้เอนไซม์หลายชนิดที่เลียนแบบการย่อยอาหารของมนุษย์ เพื่อย่อยสลายส่วนที่ไม่ใช่ใยอาหาร ทำให้ได้ปริมาณใยอาหารที่ร่างกายสามารถนำไปใช้ประโยชน์ได้จริง วิธีนี้สามารถแยกแยะใยอาหารที่ละลายน้ำได้และใยอาหารที่ไม่ละลายน้ำได้ (สำนักพัฒนาอาหารสัตว์ กรมปศุสัตว์ กระทรวงเกษตรและสหกรณ์, 2559)

**ตารางที่ 10** ผลการวิเคราะห์ปริมาณของสารประกอบหลักในขนุนอ่อน

รายการ	สารประกอบหลัก (กรัม/100 กรัม)				
	เถ้า (Ash)	ความชื้น (Moisture)	โปรตีน (Protein)	ไขมันทั้งหมด (Total fat)	ใยอาหารทั้งหมด (Total Dietary Fiber)
ขนุนอ่อน	0.17	91.99	0.85	0.13	3.81

**3.2.4.9 การตรวจสอบโครงสร้างทางจุลภาคของลูกชิ้นเลียนแบบเนื้อสัตว์จากพืช**

เตรียมตัวอย่างลูกชิ้นเลียนแบบเนื้อสัตว์จากพืชทั้งแบบต้มและแบบทอดโดยตัดตัวอย่างความกว้างขนาดไม่เกิน 1 เซนติเมตร ความยาวขนาดตามจริงของตัวอย่างสามารถตัดแต่งได้ตามความเหมาะสม ส่วนความหนา 6-8 มิลลิเมตร Pre-treatment ด้วยการแช่แข็งด้วยตู้แช่เยือกแข็ง (Air blast freezer, Hiber, Model GCM015 S, Italy) ที่  $-40$  องศาเซลเซียส ประมาณ 90 นาที จากนั้นนำมาทำแห้งแบบแช่เยือกแข็งด้วยเครื่องทำแห้งแบบเยือกแข็ง (Freeze dryers, Telstar, Model LyoQuest, Spain) ที่สภาวะ Vacuum  $0.50 \pm 0.1$  mBar และ Condenser Temperature  $-80.0 \pm 1.0$  องศาเซลเซียส เป็นเวลา 24 ชั่วโมง เมื่อครบเวลาทำการ Heat Shelves ประมาณ 20 นาที แล้วจึงนำตัวอย่างออกจากเครื่อง จากนั้นนำตัวอย่างไปแช่ใน Hexane ภายในตู้ดูดควัน (Fume hood, FLEXLAB, ประเทศไทย) เป็นเวลา 3 ชั่วโมง ปิดฝาด้วยฟอล์ยห่อหุ้มอาหาร เพื่อป้องกันการระเหย โดยทำการเปลี่ยน Hexane ทุก ๆ 1 ชั่วโมงเพื่อสกัดไขมันออกจากตัวอย่าง หลังจากนั้นระเหย Hexane ให้แห้ง และนำไปวางในโถดูดความชื้น (Desiccator) เป็นเวลา 24 ชั่วโมง จากนั้นนำไปตรวจสอบโครงสร้างทางจุลภาคด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (Scanning Electron Microscope, SEM) โดยนำตัวอย่างที่ได้วางในแนวตั้งบนแท่นวางตัวอย่างโดยใช้เทปกาวสองหน้าที่เคลือบคาร์บอนติด จากนั้นนำตัวอย่างไปเคลือบทองโดยใช้เครื่อง Sputter Coater 108 (Cressington) ในสภาวะสุญญากาศ จากนั้นนำไปส่องกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (Tescan, Model Mira3, Czech Republic) ที่กำลังขยาย 150X, 250X, 500X, 800X และ 2000X โดยดัดแปลงวิธีจาก Pattawee and Siriwongwilaichat (2024)

#### 3.2.4.10 การศึกษารูปร่างและขนาดของเม็ดสตาร์ช

นำตัวอย่างแป้งมันสำปะหลังตัดแปรและแป้งถั่วเขียวละลายน้ำอัตราส่วน 1:1 หยดตัวอย่างน้ำแป้งแต่ละชนิดลงบนแผ่นสไลด์ แล้วปิดด้วยแผ่นปิดสไลด์ นำไปส่องดูด้วยกล้องจุลทรรศน์โพลาไรซ์ (Polarized Microscope, Olympus, Model CHS, Japan) ที่มีกำลังขยาย 400 เท่าพร้อมถ่ายภาพ และใช้ eye piece micrometer ส่องดูเพื่อวัดขนาดของเม็ดสตาร์ช แล้วนำมาเปรียบเทียบกับ Stage micrometer คำนวณกลับเป็นขนาดของเม็ดสตาร์ช ดัดแปลงวิธีจาก ทศนีย์ และ อรอนงค์ (2530)



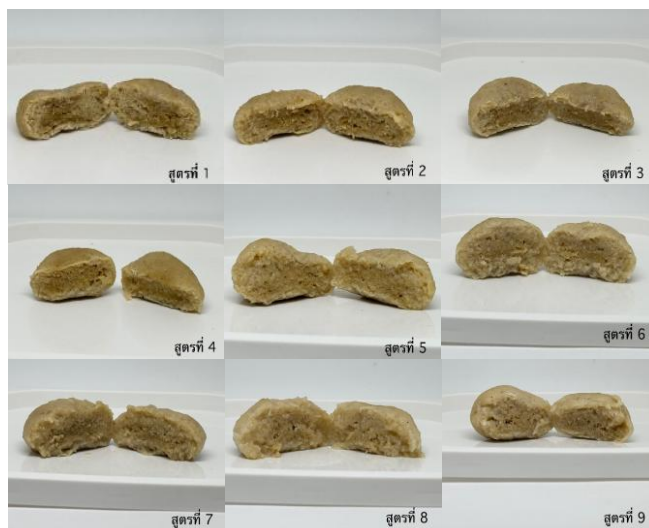
## บทที่ 4 ผลการศึกษา

### 4.1 การศึกษาอัตราส่วนที่เหมาะสมระหว่างโปรตีนถั่วเหลืองและกลูเตนข้าวสาลีในการพัฒนาสูตรต้นแบบของลูกชิ้นเลียนแบบเนื้อสัตว์จากพืช

#### 4.1.1 ผลการศึกษาลักษณะทางกายภาพ

จากการศึกษาลักษณะทางกายภาพของลูกชิ้นเลียนแบบเนื้อสัตว์จากพืชทั้ง 9 สูตร โดยใช้การสังเกต เมื่อเปรียบเทียบกับภาพที่ 10 พบว่าสูตรที่มีอัตราส่วนระหว่างโปรตีนถั่วเหลือง ( $X_1$ ) : กลูเตนข้าวสาลี ( $X_2$ ) เท่ากับ 30.0 : 20.0 (สูตรที่ 7, 8 และ 9) มีลักษณะความชื้นและที่ปริมาตรพื้นผิวมากที่สุด สูตรที่ 2 มีอัตราส่วนระหว่าง  $X_1 : X_2$  เท่ากับ 27.5 : 22.5 มีความชื้นและที่พื้นผิวรองลงมา ส่วนสูตรที่มีความชื้นและที่พื้นผิวน้อย ได้แก่สูตรที่มีอัตราส่วนระหว่าง  $X_1 : X_2$  เท่ากับ 20.0 : 30.0 (สูตรที่ 1 และ 6) รองลงมาได้แก่สูตรที่มีอัตราส่วนระหว่าง  $X_1 : X_2$  เท่ากับ 25.0 : 25.0 (สูตรที่ 4 และ 5) ทั้งนี้เมื่อพิจารณาร่วมกับอัตราส่วนของส่วนผสมว่าสูตรที่ประกอบด้วยส่วนผสมของโปรตีนถั่วเหลือง ( $X_1$ ) มากกว่าร้อยละ 25 ขึ้นไป และมีปริมาณกลูเตนข้าวสาลี ( $X_2$ ) ต่ำกว่าร้อยละ 25 จะมีลักษณะและที่พื้นผิวภายนอกมากกว่าสูตรที่ประกอบด้วยส่วนผสมของโปรตีนถั่วเหลือง ( $X_1$ ) ต่ำกว่าหรือเท่ากับร้อยละ 25 และมีปริมาณกลูเตนข้าวสาลี ( $X_2$ ) มากกว่าหรือเท่ากับร้อยละ 25 ซึ่ง Esbroeck et al. (2024) กล่าวว่าโครงสร้างของโปรตีนถั่วเหลืองที่อยู่ในรูปของการบดนั้นจะส่งผลในทางลบต่อความสามารถในการอุ้มน้ำ แต่ความสามารถในการดูดซับน้ำสูงสุดและความสามารถในการกักเก็บน้ำมีความสัมพันธ์เชิงบวกกับความพรุน ขณะที่ความหนาของผนังจะส่งผลในทางลบ โปรตีนถั่วเหลืองที่ไม่ถูกบดจะมีลักษณะเป็นเส้นใยและเซลล์ที่ยังคงอยู่ ทำให้มีพื้นที่ผิวมากกว่าและสามารถกักเก็บน้ำได้มากขึ้น ในขณะที่การบดจะทำลายโครงสร้างเหล่านี้ ทำให้พื้นที่ผิวดลดลงและไม่สามารถกักเก็บน้ำได้ดี ในขณะที่ Singh and Singh (2006) รายงานว่าโครงสร้างโปรตีนและการมีส่วนประกอบอื่นๆ มีอิทธิพลต่อความสามารถในการดูดซับน้ำ โดยคุณสมบัติการดูดซับน้ำและบวมของกลูเตนข้าวสาลีสามารถช่วยลดการสูญเสียน้ำระหว่างการปรุงอาหารและช่วยเพิ่มประสิทธิภาพในการหั่นผลิตภัณฑ์ (Peng et al., 2023) ทั้งนี้จะเห็นได้ว่าปริมาณของกลูเตนข้าวสาลี ( $X_2$ ) มีความสำคัญต่อลักษณะทางกายภาพของผลิตภัณฑ์ลูกชิ้นเลียนแบบเนื้อสัตว์จากพืชที่ทำการ

ทดลอง ซึ่งปริมาณของกลูเตนข้าวสาลี ( $X_2$ ) มากขึ้นจะทำให้ลักษณะพื้นผิวภายนอกของลูกชิ้นเปลี่ยนแปลงเนื้อสัตว์จากพืชมีความแน่นน้อยลง



**ภาพที่ 10** ลักษณะทางกายภาพของตัวอย่างลูกชิ้นเลียนแบบเนื้อสัตว์จากพืชในการทดลอง

#### 4.1.2 ผลการทดสอบทางด้านเนื้อสัมผัส

ผลการทดสอบคุณภาพทางด้านลักษณะเนื้อสัมผัสของลูกชิ้นเลียนแบบเนื้อสัตว์จากพืชด้วยเครื่องวิเคราะห์ลักษณะเนื้อสัมผัสอาหาร (Texture Analyser, Model TA-XT2i, Stable Micro System, UK) แสดงผลดังตารางที่ 11 พบว่าค่า Hardness, Adhesiveness, Springiness และ Cohesiveness ไม่ได้มีความสัมพันธ์อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $p > 0.05$ ) กับปริมาณวัตถุดิบทั้งสอง ซึ่งเป็นตัวแปรต้น คือ โปรตีนถั่วเหลือง ( $X_1$ ) และกลูเตนข้าวสาลี ( $X_2$ ) ในขณะที่ค่า Gumminess และ Chewiness มีความสัมพันธ์กับตัวแปรทั้งสองอย่างมีนัยสำคัญ ( $p \leq 0.05$ ) โดยที่ผลิตภัณฑ์ลูกชิ้นเลียนแบบเนื้อสัตว์จากพืชสูตรที่มีอัตราส่วนระหว่างโปรตีนถั่วเหลือง ( $X_1$ ) : กลูเตนข้าวสาลี ( $X_2$ ) เท่ากับ 20.0 : 30.0 (สูตรที่ 1 และ 6) มีค่าเฉลี่ย Gumminess สูงที่สุด ส่วนสูตรที่มีอัตราส่วนระหว่างโปรตีนถั่วเหลือง ( $X_1$ ) : กลูเตนข้าวสาลี ( $X_2$ ) เท่ากับ 25.0 : 25.0 (สูตรที่ 4 และ 5) มีค่าเฉลี่ย Gumminess สูงในระดับรองลงมา ซึ่งค่า Gumminess คือลักษณะที่อาหารกึ่งของแข็งแตกตัวออกจนถึงสภาวะที่จะกลืนได้หมายความว่าลูกชิ้นเลียนแบบเนื้อสัตว์จากพืชสูตรที่ 1 กับ 6 และสูตรที่ 4 กับ 5 ต้องใช้แรงในการเคี้ยวอาหารให้แตกตัวออกจากกันมากจึงจะสามารถกลืนได้ ดังนั้นจึงมีลักษณะเนื้อสัมผัสแน่นมากกว่าลูกชิ้นเลียนแบบเนื้อสัตว์จากพืชสูตรอื่น นอกจากนี้ค่า Chewiness ซึ่งเป็น

พลังงานที่ใช้เคี้ยวอาหารแข็งจนถึงขั้นพร้อมที่จะกลืน หมายความว่า ลูกชิ้นเลียนแบบเนื้อสัตว์จากพืช สูตรที่ 1 กับ 6 และสูตรที่ 4 กับ 5 ต้องใช้แรงในการเคี้ยวมากกว่าอาหารจึงจะสามารถแตกตัวได้ นั่นคือสูตรที่ 1 กับ 6 และสูตรที่ 4 กับ 5 มีลักษณะเนื้อสัมผัสที่แข็ง และแน่นมากกว่าสูตรอื่น จากผลการทดสอบ ดังกล่าวแสดงให้เห็นว่า ปริมาณของโปรตีนถั่วเหลือง ( $X_1$ ) และปริมาณกลูเตนข้าวสาลี ( $X_2$ ) มีผลต่อคุณภาพทางด้านลักษณะเนื้อสัมผัสของลูกชิ้นเลียนแบบเนื้อสัตว์จากพืชโดยเมื่อปริมาณปริมาณกลูเตนข้าวสาลี ( $X_2$ ) เพิ่มขึ้น จะส่งผลให้ผลิตภัณฑ์มีความแข็งและความยืดหยุ่นเพิ่มขึ้น ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยของ Ye et al. (2023) ซึ่งระบุว่า โดยทั่วไปกลูเตนมีบทบาทสำคัญในการเพิ่มความแข็งแรงและความยืดหยุ่นของแป้ง โดยเฉพาะเมื่อมีส่วนของกลูเตนจากข้าวสาลีสูง ซึ่งกลูเตนที่มีปริมาณสูงจะช่วยเสริมสร้างโครงข่ายแป้งและช่วยเพิ่มความแข็งแรงของแป้ง

**ตารางที่ 11** พารามิเตอร์ด้านเนื้อสัมผัสของตัวอย่างลูกชิ้นเลียนแบบเนื้อสัตว์จากพืชในการทดลอง

การทดลองตัวอย่าง	พารามิเตอร์ด้านเนื้อสัมผัส					
	Hardness (g)	Adhesiveness (g.sec)	Springiness	Cohesiveness	Gumminess (g)	Chewiness (g)
1★ ( $X_1=20.0, X_2=30.0$ )	1230.95 ± 30.20	-571.49 ± 107.07	0.68 ± 0.09	0.64 ± 0.04	697.38 ± 156.51	467.96 ± 72.24
2 ( $X_1=27.5, X_2=22.5$ )	669.85 ± 84.14	-414.03 ± 60.59	0.80 ± 0.03	0.65 ± 0.01	434.66 ± 49.76	345.70 ± 42.51
3 ( $X_1=22.5, X_2=27.5$ )	920.93 ± 75.87	-328.99 ± 64.85	0.73 ± 0.02	0.66 ± 0.01	602.83 ± 42.27	437.43 ± 43.24
4♦ ( $X_1=25.0, X_2=25.0$ )	1164.17 ± 111.71	-532.77 ± 121.13	0.75 ± 0.01	0.60 ± 0.04	569.41 ± 92.25	428.09 ± 71.14
5♦ ( $X_1=25.0, X_2=25.0$ )	1098.76 ± 84.93	-456.14 ± 111.80	0.67 ± 0.05	0.57 ± 0.02	666.03 ± 58.84	442.64 ± 64.53
6★ ( $X_1=20.0, X_2=30.0$ )	1047.06 ± 27.10	-495.00 ± 240.10	0.67 ± 0.05	0.61 ± 0.03	636.37 ± 31.88	451.61 ± 14.51
7■ ( $X_1=30.0, X_2=20.0$ )	775.68 ± 135.01	-450.51 ± 75.39	0.65 ± 0.02	0.57 ± 0.00	330.53 ± 14.83	214.99 ± 15.82
8■ ( $X_1=30.0, X_2=20.0$ )	770.02 ± 55.89	-346.49 ± 85.08	0.64 ± 0.09	0.58 ± 0.04	417.04 ± 41.96	251.64 ± 11.95
9■ ( $X_1=30.0, X_2=20.0$ )	859.61 ± 32.35	-304.26 ± 82.60	0.57 ± 0.10	0.54 ± 0.04	455.15 ± 91.82	298.47 ± 12.23

หมายเหตุ : สัญลักษณ์ ★ ♦ ■ แสดงถึงสูตรที่มีการทดลองซ้ำกันตามการออกแบบการทดลองแบบผสมในรูปแบบ D-optimal

#### 4.1.3 ผลการทดสอบด้านสีและการหาปริมาณน้ำที่สูญเสีย

ความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรอิสระทั้ง 2 ได้แก่ ปริมาณโปรตีนถั่วเหลือง ( $X_1$ ) และกลูเตนข้าวสาลี ( $X_2$ ) ต่อคุณลักษณะด้านสี มีรายงานของ Kumar et al. (2012) โดยทำการศึกษาผลกระทบของปริมาณกลูเตนข้าวสาลีต่อคุณสมบัติทางประสาทสัมผัสของนักเก็ตเลียนแบบเนื้อสัตว์ โดยใช้กลูเตนข้าวสาลีทดแทนโปรตีนถั่วเหลืองในสูตร 3 ระดับได้แก่ 10.0%, 14.0% และ 18.0% พบว่าคะแนนการประเมินด้านประสาทสัมผัสเพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่องเมื่อเพิ่มระดับกลูเตน และมีค่าสูงขึ้นอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับ 18% การเพิ่มระดับกลูเตนจะส่งผลให้สีของนักเก็ตเปลี่ยนเป็นสีน้ำตาลมากขึ้น การเติมกลูเตนข้าวสาลี 10-20% ในผลิตภัณฑ์เลียนแบบเนื้อสัตว์ช่วยเพิ่มคะแนนกลิ่นรสและสีจากการพิจารณาค่าความสว่าง ( $L^*$ ) ค่าสีแดง ( $a^*$ ) และ ค่าสีเหลือง ( $b^*$ ) ของลูกชิ้นเลียนแบบเนื้อสัตว์ จากพีชด้วยเครื่องวัดสีสเปคโตรโฟโตมิเตอร์ (Colorimeter, Konica Minolta, Model CM-5, Japan) แสดงผลดังตารางที่ 12 ของการศึกษานี้ ในส่วนของความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรอิสระทั้ง 2 ( $X_1$  และ  $X_2$ ) ต่อปริมาณน้ำที่สูญเสีย ซึ่งจะแสดงให้เห็นถึงความสามารถในการอุ้มน้ำ (Water holding capacity) ของผลิตภัณฑ์ ทั้งนี้โครงสร้างของโปรตีนถั่วเหลืองมีผลกระทบอย่างมากต่อความสามารถในการกักเก็บน้ำ ซึ่งสอดคล้องกับการทดลองของ Kitcharoenthawornchai and Harnsilawat (2015) ซึ่งได้พัฒนาผลิตภัณฑ์นักเก็ตเลียนแบบเนื้อสัตว์จากโปรตีนถั่วเหลือง โดยใช้โปรตีนถั่วเหลือง 4 ระดับ ได้แก่ 10.0%, 30.0%, 50.0% และ 70.0% พบว่าเมื่อเพิ่มความเข้มข้นของโปรตีนถั่วเหลือง ค่าการแยกตัวของของเหลวก็เพิ่มขึ้นตามไปด้วยแต่โปรตีนถั่วเหลืองก็มีคุณสมบัติที่ดีในการกักเก็บความชื้นในผลิตภัณฑ์ ในส่วนของกลูเตนข้าวสาลีเมื่อมีปริมาณมากขึ้นจะมีความสามารถในการดูดซับน้ำที่สูงขึ้น เนื่องจากกลูเตนมีบทบาทสำคัญโดยมีความสามารถในการดูดซับน้ำ ความเหนียว ความหนืด และความยืดหยุ่นกลูเตนสามารถดูดซับน้ำได้ 1.5 ถึง 2 เท่าของน้ำหนักตัวเองเพื่อสร้างมวลโปรตีนที่หนืดและยืดหยุ่น สามารถดูดซับน้ำได้อย่างรวดเร็วและกักเก็บน้ำได้ดี การลดปริมาณกลูเตนในสูตรอาจทำให้ค่าการแยกตัวของของเหลวเพิ่มขึ้นได้ (Day, 2011; Kaushik et al., 2015; Kitcharoenthawornchai and Harnsilawat, 2015)

**ตารางที่ 12** พารามิเตอร์ด้านสีและปริมาณน้ำที่สูญเสียของตัวอย่างลูกชิ้นเลียนแบบเนื้อสัตว์จากพืชในการทดลอง

การทดลองตัวอย่าง	พารามิเตอร์ด้านสี			ปริมาณน้ำที่สูญเสีย (%)
	L*	a*	b*	
1★ (X <sub>1</sub> =20.0, X <sub>2</sub> =30.0)	58.43 ± 1.04	-0.07 ± 0.03	9.47 ± 0.41	5.83 ± 0.73
2 (X <sub>1</sub> =27.5, X <sub>2</sub> =22.5)	57.17 ± 0.77	-0.29 ± 0.03	9.92 ± 0.53	7.78 ± 0.60
3 (X <sub>1</sub> =22.5, X <sub>2</sub> =27.5)	57.48 ± 0.82	-0.19 ± 0.01	9.80 ± 0.37	2.73 ± 0.31
4● (X <sub>1</sub> =25.0, X <sub>2</sub> =25.0)	57.20 ± 1.09	-0.24 ± 0.10	10.01 ± 0.66	5.26 ± 0.32
5● (X <sub>1</sub> =25.0, X <sub>2</sub> =25.0)	54.14 ± 1.19	-0.20 ± 0.15	8.14 ± 0.62	3.96 ± 0.87
6★ (X <sub>1</sub> =20.0, X <sub>2</sub> =30.0)	54.50 ± 0.39	0.13 ± 0.03	8.93 ± 0.60	4.20 ± 0.88
7■ (X <sub>1</sub> =30.0, X <sub>2</sub> =20.0)	50.89 ± 0.80	0.95 ± 0.40	8.91 ± 0.53	3.79 ± 0.75
8■ (X <sub>1</sub> =30.0, X <sub>2</sub> =20.0)	54.23 ± 0.99	0.22 ± 0.10	10.07 ± 0.26	5.27 ± 0.61
9■ (X <sub>1</sub> =30.0, X <sub>2</sub> =20.0)	54.44 ± 0.10	0.20 ± 0.06	10.30 ± 0.93	4.04 ± 0.76

หมายเหตุ : สัญลักษณ์ ★ ● ■ แสดงถึงสูตรที่มีการทดลองซ้ำกันตามการออกแบบการทดลองแบบผสมในรูปแบบ D-optimal

#### 4.1.4 การทำนายผลจากการทดลอง

จากการวิเคราะห์หาสมการทำนาย พบว่าสมการความสัมพันธ์ที่สามารถนำไปใช้ทำนายหาปริมาณโปรตีนถั่วเหลือง (X<sub>1</sub>) และกลูเตนข้าวสาลี (X<sub>2</sub>) ที่เหมาะสม ได้แก่ สมการความสัมพันธ์เชิงตัวแปรทั้งสองกับ Gumminess, Chewiness และปริมาณน้ำที่สูญเสียโดยรูปแบบของความสัมพันธ์ระหว่างโปรตีนถั่วเหลืองและกลูเตนข้าวสาลี มีความสัมพันธ์แบบ Linear relationship Gumminess และ Chewiness มีความสัมพันธ์แบบ Quadratic relationship และมีความสัมพันธ์แบบ Cubic relationship กับปริมาณน้ำที่สูญเสีย เมื่อกำหนดเกณฑ์เพื่อประมาณอัตราส่วนระหว่าง X<sub>1</sub> : X<sub>2</sub> ที่เหมาะสมจากค่า Gumminess ที่ 600-690 Chewiness ที่ 430-460 และปริมาณน้ำที่สูญเสียที่ 4-5% ซึ่งช่วงของเกณฑ์ที่กำหนดนี้มาจากค่าพารามิเตอร์ทางด้านเนื้อสัมผัส และปริมาณน้ำที่สูญเสียเปรียบเทียบกับผลการศึกษาลักษณะทางกายภาพที่มีแนวโน้มของความเป็นไปได้ในการนำไปพัฒนาต่อ สามารถทำนายอัตราส่วนที่เหมาะสม คือ โปรตีนถั่วเหลือง (X<sub>1</sub>) = 20.45 % และกลูเตนข้าวสาลี (X<sub>2</sub>) = 29.55 % ซึ่งเป็นค่าที่ใกล้เคียงกับสูตรที่ 1 และ 6 ของการศึกษานี้

โดยมีค่า  $X_1 = 20.00\%$  และ  $X_2 = 30.00\%$  ดังนั้นจึงสามารถสรุปได้ว่าส่วนผสมนี้เป็นส่วนผสมที่เหมาะสม สามารถนำไปพัฒนาผลิตภัณฑ์ต่อไปได้

**ตารางที่ 13** ค่าสัมประสิทธิ์การถดถอยของแบบจำลองการทำนายที่อธิบายความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรตอบสนองและตัวแปรอิสระในเทอมของ Pseudo Components

ตัวแปร (Variable)	การประมาณค่าสัมประสิทธิ์ตอบสนอง (Estimated coefficients response)		
	Gumminess	Chewiness	ปริมาณน้ำที่สูญเสีย
Model	Linear*	Quadratic*	Cubic*
$X_1$	410.75	254.54	4.40
$X_2$	688.91	456.71	5.06
$X_1X_2$	-	273.15	0.69
$X_1X_2(X_1-X_2)$	-	-	28.71
Lack of fit (p-value)	0.43	0.68	0.49
$R^2$	0.7911	0.9381	0.7735
$R^2$ (adjusted)	0.7613	0.9174	0.6376

หมายเหตุ  $X_1$  : โปรตีนถั่วเหลือง  $X_2$  : กลูเตนข้าวสาลี

\* ความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ ( $p \leq 0.05$ )

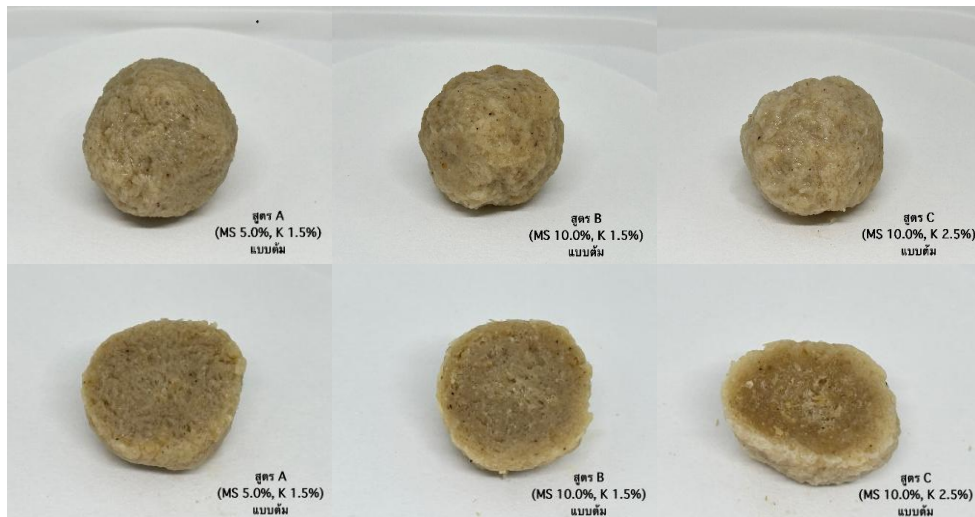
## 4.2 การศึกษาปริมาณของแป้งมันสำปะหลังตัดแปรรูปและผงบุกที่สามารถช่วยปรับปรุงเนื้อสัมผัสของผลิตภัณฑ์

### 4.2.1 ผลการศึกษาลักษณะทางกายภาพ

จากผลการทดลองในข้อที่ 4.1 และตามข้อมูลสรุปการทำนายผลการทดลองในตารางที่ 9 อัตราส่วนที่เหมาะสมในการพัฒนาผลิตภัณฑ์ลูกชิ้นเลียนแบบเนื้อสัตว์จากพืช คือ โปรตีนถั่วเหลือง ( $X_1$ ) = 20.0 % และกลูเตนข้าวสาลี ( $X_2$ ) = 30.0 % แต่เนื่องจากผลิตภัณฑ์ยังคงต้องปรับให้มีความยืดหยุ่นและลดการสูญเสียน้ำลง โดยทำการทดลองเพิ่มเติมสารไฮโดรคอลลอยด์ ได้แก่ แป้งมันสำปะหลังตัดแปรรูป (MS) และผงบุก (K) ตามร้อยละโดยน้ำหนัก (%w/w) จำนวน 3 ระดับ คือ สูตร A (MS 5.0%, K 1.5 %), สูตร B (MS 10.0%, K 1.5%), สูตร C (MS 10.0%, K 2.5%)

ตามหัวข้อ 3.2.2 ตารางที่ 7 โดยแสดงลักษณะทางกายภาพของลูกชิ้นเลียนแบบเนื้อสัตว์จากพืชที่ใช้แป้งมันสำปะหลังดัดแปรและผงบุกช่วยปรับปรุงเนื้อสัมผัส ดังภาพที่ 11 จะสังเกตได้ว่าเมื่อทำการเพิ่มปริมาณแป้งมันสำปะหลังดัดแปร โดยที่ปริมาณผงบุกคงที่ เปรียบเทียบระหว่างสูตร A (MS 5.0%, K 1.5%) และสูตร B (MS 10.0%, K 1.5%) พบว่าลักษณะพื้นผิวด้านนอกของผลิตภัณฑ์มีลักษณะไม่เรียบและมีรอยย่น และมีลักษณะแห้งเพิ่มขึ้นบริเวณกึ่งกลางภายในผลิตภัณฑ์เมื่อปริมาณแป้งมันสำปะหลังดัดแปรเพิ่มขึ้น ดังภาพที่ 11 ด้านล่างขวามือ ทั้งนี้อาจเกิดจากการเกิดแรงดันจากการดูดน้ำของแป้ง โดยแป้งดัดแปรบางชนิดจะมีความสามารถในการดูดน้ำสูง เมื่อได้รับความร้อนแป้งจะพองตัวหรือดูดซึมน้ำอย่างรวดเร็วในเนื้อผสม (สุทธิณี, 2563) ทำให้เกิดแรงดันภายในโครงสร้างลูกชิ้นแรงดันนี้อาจดันให้ผิวลูกชิ้นโป่งพองหรือเกิดลักษณะไม่เรียบ โดยเฉพาะหากโครงสร้างของโปรตีนไม่แข็งแรงพอที่จะคงรูปไว้ อีกทั้งอาจเกิดจากการสูญเสียน้ำที่ไม่สม่ำเสมอ โดยการพองตัวของแป้งดัดแปรในกระบวนการต้ม อาจดูดน้ำมากเกินไปจนเกิดช่องว่างในเนื้อลูกชิ้น ทำให้ผิวไม่แน่นตึง เกิดลักษณะเป็นลอนหรือมีลักษณะย่น และเนื่องจากในกรณีที่ทุกสูตรมีปริมาณน้ำเท่ากัน แต่มีการเติมแป้งมันสำปะหลังดัดแปรมากขึ้น จะส่งผลกระทบต่อโครงสร้างแป้งโด เมื่อค่าการดูดซึมน้ำสูงขึ้น แป้งจะเริ่มแข่งขันกับกลูเตนในการดูดซึมน้ำทำให้การเคลื่อนที่ของน้ำในแป้งโดลดลงและยับยั้งการสร้างโครงสร้างโปรตีนของแป้งโด ส่งผลให้ความแข็งแรงของผลิตภัณฑ์เพิ่มขึ้น (Zhang et al., 2024) จึงทำให้เห็นว่าผลิตภัณฑ์บางส่วนมีความแห้ง ในทางตรงข้ามเมื่อเพิ่มปริมาณผงบุกแต่ยังคงปริมาณของแป้งมันสำปะหลังดัดแปรไว้ เปรียบเทียบกับสูตร B (MS 10.0%, K 1.5%) และสูตร C (MS 10.0%, K 2.5%) พบว่าผิวหน้าของลูกชิ้นมีความแฉะเพิ่มขึ้น ทั้งนี้มีการศึกษาการใช้ผงบุกเป็นสารที่ทำให้เกิดเจลในผลิตภัณฑ์เยลลี่ของ สุธาสิณี และ ปราณีย์ (2544) พบว่าเมื่อเพิ่มอัตราส่วนของผงบุกต่อแซนแทนกัม จาก 60:40 เป็น 70:30 ทำให้ความยืดหยุ่น ความคงตัวลดลง ทั้งนี้อาจเนื่องจากเมื่อเพิ่มอัตราของผงบุกมากขึ้นที่ใช้ร่วมกับสารทำให้เกิดเจลชนิดอื่น ทำให้มีความอ่อนตัวมากขึ้น โดยการใช้ร่วมกับไฮโดรคอลลอยด์บางชนิดอาจมีค่า Hardness ลดลง เนื่องมาจากการเสริมให้ผงบุกมีคุณสมบัติในการดูดซึมน้ำได้ดี เช่นเดียวกับการทดลองของ นภาพร (2549) โดยผลการเปรียบเทียบคุณภาพทางเคมีและกายภาพของไส้วุ้นสูตรพื้นฐานและไส้วุ้นสูตรทดแทนไขมันด้วยเจลบุก พบว่าไส้วุ้นสูตรทดแทนไขมันด้วยเจลบุกมีค่ากิจกรรมของน้ำ ( $a_w$ ) ค่าแรงตึง และค่าความชื้นมากกว่าไส้วุ้นสูตร

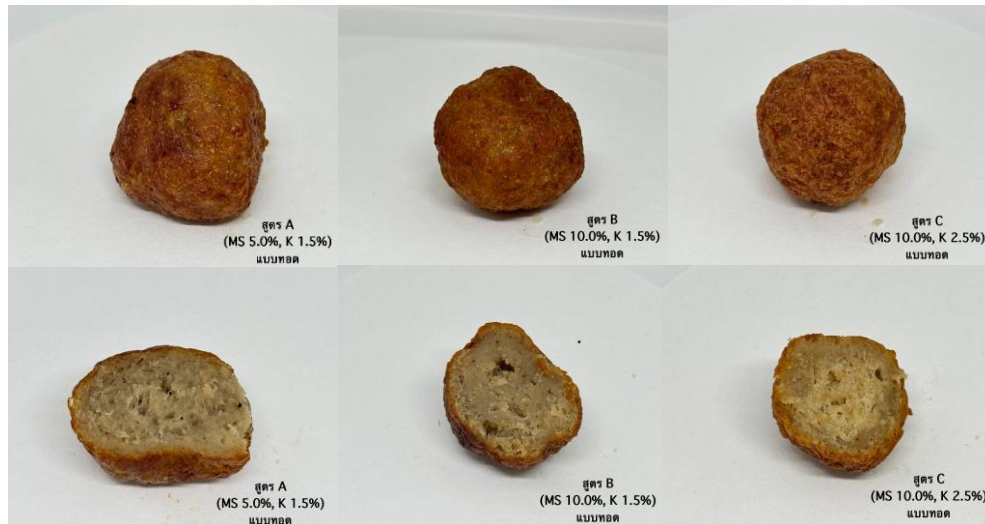
พื้นฐาน ซึ่งแสดงให้เห็นว่าสูตรที่ทดแทนไขมันด้วยเจลบุกมีปริมาณน้ำมากกว่า จึงอาจเป็นหลักการที่สนับสนุนถึงความเป็นไปได้ของการมีลักษณะปรากฏและที่บริเวณพื้นผิว



**ภาพที่ 11** ลักษณะทางกายภาพของผลิตภัณฑ์ลูกชิ้นเลียนแบบเนื้อสัตว์แบบต้มโดยการเติมสารไฮโดรคอลลอยด์ ได้แก่ แป้งมันสำปะหลังตัดแปรร (MS) และผงบุก (K) เพื่อปรับปรุงเนื้อสัมผัส

ลักษณะทางกายภาพที่เปลี่ยนแปลงไปภายหลังการทอดของลูกชิ้นเลียนแบบเนื้อสัตว์จากพืชที่ใช้สารไฮโดรคอลลอยด์ปรับปรุงเนื้อสัมผัสทั้ง 3 สูตร แสดงดังภาพที่ 12 ซึ่งลูกชิ้นเลียนแบบเนื้อสัตว์จากพืชแบบทอดจะมีการเปลี่ยนแปลงทางกายภาพทั้งด้านนอกและด้านในลูกชิ้น การทอดเป็นกระบวนการปรุงอาหารที่ใช้อุณหภูมิสูง โปรตีนและพอลิแซ็กคาไรด์ในวัตถุดิบเกิดการเปลี่ยนแปลงทางโครงสร้าง ช่วยเพิ่มลักษณะสีน้ำตาล กลิ่นรส และเนื้อสัมผัสเฉพาะตัว ลักษณะเหล่านี้ถูกควบคุมโดยสถานะทางโครงสร้างและทางกายภาพที่เกิดขึ้นระหว่างกระบวนการ ในระหว่างการทอดการถ่ายเทความร้อนที่เป็นการเร่งกระบวนการทำให้อาหารสูญเสียน้ำทำให้เกิดรูพรุนขึ้น โดยรูพรุนนั้นคือฟองอากาศที่เคลื่อนที่ออกจากผลิตภัณฑ์อย่างรวดเร็ว ชั้นผิวของผลิตภัณฑ์จะกลายเป็นรูพรุนในระดับต่าง ๆ ขึ้นอยู่กับชนิดของวัตถุดิบ ทั้งนี้ระหว่างการทอด อาหารยังคงมีความชื้นอยู่ในปริมาณมากต่อมาจะเกิดเปลือกแข็งเมื่อปริมาณน้ำลดลง และเปลือกเข้าสู่สถานะคล้ายแก้ว (glassy state) (Kerr, 2017) และการเกิดโพรงอากาศหรือรูพรุนขนาดใหญ่บางส่วนภายในผลิตภัณฑ์พบรายงานจาก Aguilera et al. (2001) ระบุว่าแป้งภายในเซลล์จะเกิดเจลลาตินโซอย่างรวดเร็วจึงรวมตัวเป็น

มวลขนาดใหญ่ที่เติมเต็มเซลล์ ทำให้เกิดแกนที่มีความหนาแน่นสูง เมื่ออุณหภูมิสูงขึ้น เซลล์จะเกิดการสูญเสียน้ำและหดตัว ส่งผลให้เกิดช่องว่างระหว่างกลุ่มเซลล์



**ภาพที่ 12** ลักษณะทางกายภาพของผลิตภัณฑ์ลูกชิ้นเลียนแบบเนื้อสัตว์แบบทอดโดยการเติมสารไฮโดรคอลลอยด์ ได้แก่ แป้งมันสำปะหลังดัดแปร (MS) และผงบุก (K) เพื่อปรับปรุงเนื้อสัมผัส

#### 4.2.2 ผลการทดสอบทางด้านเนื้อสัมผัส

ผลการทดสอบทางด้านเนื้อสัมผัสพบว่าคุณลักษณะด้านเนื้อสัมผัสของแต่ละสูตร ได้แก่ Hardness, Cohesiveness, Gumminess, Chewiness และ gel strength มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ ( $p \leq 0.05$ ) ตามตารางที่ 14 โดยพบว่าเมื่อปริมาณสารปรับปรุงเนื้อสัมผัสเพิ่มขึ้น คุณลักษณะเหล่านี้มีแนวโน้มที่จะมีความแน่นและแข็งมากขึ้นโดยเป็นผลมาจากการปรับเปลี่ยนโดยใช้แป้งมันสำปะหลังดัดแปรร่วมกับผงบุก แต่ยกเว้นค่า Cohesiveness ที่มีแนวโน้มลดลง Yuliarti et al. (2023) กล่าวว่าโดยทั่วไปการเพิ่มปริมาณบุกในสูตรผลิตภัณฑ์เลียนแบบเนื้อสัตว์ส่งผลให้ค่าความแข็งของผลิตภัณฑ์ (ทั้งในรูปแบบดิบและปรุงสุก) เพิ่มขึ้น และ Amini Sarteshnizi et al. (2015) มีการกล่าวถึงแป้งดัดแปรชนิด distarch phosphate ว่าเมื่อมีการเติมแป้งจะส่งผลอย่างมากต่อความสามารถในการอุ้มน้ำ ผลผลิตหลังปรุง และความแข็งของไส้กรอก งานวิจัยของ Chen et al. (2020) ระบุว่าชนิดและปริมาณของไฮโดรคอลลอยด์ส่งผลอย่างมีนัยสำคัญต่อสมบัติเจลและโครงสร้างโปรตีนของซูริมิปลาการ์พเงิน โดยการเติมไฮโดรคอลลอยด์ในความเข้มข้นต่ำสามารถเพิ่ม

ความแข็งของเจล (gel strength) ความสามารถในการอุ้มน้ำ (WHC) ความขาว และลักษณะเนื้อสัมผัสได้ แต่ทั้งนี้ในการทดลองของตอนที่ 1 เนื่องจากแป้งมันสำปะหลังตามธรรมชาติยังมีปัญหาด้านความไม่เสถียรทางด้านการกักเก็บน้ำจึงทำให้มีลักษณะทางกายภาพที่ขึ้นแฉะ ในตอนที่ 2 นี้จึงมีการปรับใช้แป้งมันสำปะหลังดัดแปรที่มีการปรับเปลี่ยนทางเคมี จึงสามารถปรับคุณสมบัติทางเคมีกายภาพและปรับปรุงคุณสมบัติทางเนื้อสัมผัสและความสามารถในการกักเก็บน้ำของผลิตภัณฑ์ได้อย่างมีประสิทธิภาพยิ่งขึ้น (Wei et al., 2023) ทั้งนี้ผงบุกยังเป็นสารปรับปรุงเนื้อสัมผัสที่มีสมบัติหลักที่ช่วยในการเกิดเจล ซึ่งเจลนี้มีความเสถียรต่อความร้อน จึงทำให้ผลิตภัณฑ์ไม่เกิดการเปลี่ยนแปลงจนเกิดผลกระทบในด้านความชื้นหนืดที่จะส่งผลต่อค่าพารามิเตอร์ทางด้าน Gumminess และ Chewiness ส่วนผลการทดสอบทางด้านเนื้อสัมผัสของผลิตภัณฑ์ลูกชิ้นเลียนแบบเนื้อสัตว์รูปแบบทอดพบว่าด้าน Hardness, Cohesiveness, Chewiness และ Gumminess ของทั้ง 3 สูตรมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ( $p \leq 0.05$ ) โดยส่วนใหญ่มีแนวโน้มเพิ่มขึ้นปริมาณสารปรับปรุงเนื้อสัมผัสเพิ่มขึ้นเช่นเดียวกับรูปแบบต้ม แสดงผลดังตารางที่ 15 แต่พบข้อแตกต่างของผลการทดสอบทางด้านเนื้อสัมผัสของลูกชิ้นแบบทอดไม่มีสมบัติด้าน Adhesiveness โดยสมบัติด้านการยึดติด (adhesiveness) แสดงการยึดติดของอาหารกับวัตถุอื่นเช่น อาหารติดเหงือก ฟัน เพดาน ริมฝีปาก ระหว่างการรับประทานหรืออาหารติดกับเครื่องจักรและอุปกรณ์แปรรูปอาหาร ทั้งนี้เนื่องจากพื้นผิวภายนอกมีลักษณะกรอบแข็งเนื่องมาจากการทอด อีกทั้งผลิตภัณฑ์มีค่าความแข็งมากกว่าเมื่อเทียบกับผลิตภัณฑ์ในรูปแบบต้มดังตารางที่ 14

**ตารางที่ 14** พารามิเตอร์ด้านเนื้อสัมผัสของตัวอย่างลูกชิ้นเลียนแบบเนื้อสัตว์จากพืชรูปแบบต้มในการทดลองศึกษาปริมาณสารที่ช่วยปรับปรุงเนื้อสัมผัสของผลิตภัณฑ์

การทดลอง ตัวอย่าง	พารามิเตอร์ด้านเนื้อสัมผัส						
	Hardness (g)	Adhesiveness (g.sec)	Springiness	Cohesiveness	Gumminess (g)	Chewiness (g)	Gel Strength (g.cm)
A (MS 5.0%, K 1.5 %)	1254.04±27.60 <sup>c</sup>	-17.57±3.09 <sup>a</sup>	0.69±30.00 <sup>a</sup>	0.61±0.01 <sup>a</sup>	768.40±24.25 <sup>c</sup>	530.67±20.52 <sup>c</sup>	257.75±32.01 <sup>b</sup>
B (MS 10.0%, K 1.5 %)	1978.89±52.09 <sup>b</sup>	-122.89±113.17 <sup>a</sup>	0.69±10.02 <sup>a</sup>	0.58±0.01 <sup>b</sup>	1138.52±39.92 <sup>b</sup>	785.00±43.50 <sup>b</sup>	463.67±47.96 <sup>a</sup>
C (MS 10.0%, K 2.5 %)	2630.03±130.51 <sup>a</sup>	-55.41±23.26 <sup>a</sup>	0.70±0.02 <sup>a</sup>	0.58±0.00 <sup>b</sup>	1526.38±77.26 <sup>a</sup>	1061.82±71.95 <sup>a</sup>	491.29±13.92 <sup>a</sup>

หมายเหตุ : อักษรกำกับต่างกันในกลุ่มเดียวกันแสดงว่ามีความแตกต่างกันทางสถิติ ( $p \leq 0.05$ ) เปรียบเทียบความแตกต่าง โดยวิธี Duncan's Multiple Range Test (DMRT)

**ตารางที่ 15** พารามิเตอร์ด้านเนื้อสัมผัสของตัวอย่างลูกชิ้นเลียนแบบเนื้อสัตว์จากพืชรูปแบบทอดในการทดลองศึกษาปริมาณสารที่ช่วยปรับปรุงเนื้อสัมผัสของผลิตภัณฑ์

การทดลองตัวอย่าง	พารามิเตอร์ด้านเนื้อสัมผัส				
	Hardness (g)	Springiness	Cohesiveness	Gumminess (g)	Chewiness (g)
A (MS 5.0%, K 1.5 %)	3300.50 ± 237.66 <sup>c</sup>	0.77 ± 0.02 <sup>a</sup>	0.64 ± 0.01 <sup>b</sup>	2098.30 ± 112.32 <sup>b</sup>	1615.35 ± 179.73 <sup>b</sup>
B (MS 10.0%, K 1.5 %)	2952.00 ± 431.29 <sup>b</sup>	0.77 ± 0.01 <sup>a</sup>	0.60 ± 0.02 <sup>c</sup>	2386.97 ± 291.04 <sup>b</sup>	1829.28 ± 209.03 <sup>b</sup>
C (MS 10.0%, K 2.5 %)	5589.46 ± 152.77 <sup>a</sup>	0.82 ± 0.04 <sup>a</sup>	0.67 ± 0.01 <sup>a</sup>	3738.54 ± 81.65 <sup>a</sup>	3066.87 ± 200.44 <sup>a</sup>

หมายเหตุ : อักษรกำกับต่างกันในกลุ่มเดียวกันแสดงว่ามีความแตกต่างกันทางสถิติ ( $p \leq 0.05$ ) เปรียบเทียบความแตกต่าง โดยวิธี Duncan's Multiple Range Test (DMRT)

#### 4.2.3 ผลการทดสอบด้านสีและการหาปริมาณน้ำที่สูญเสีย

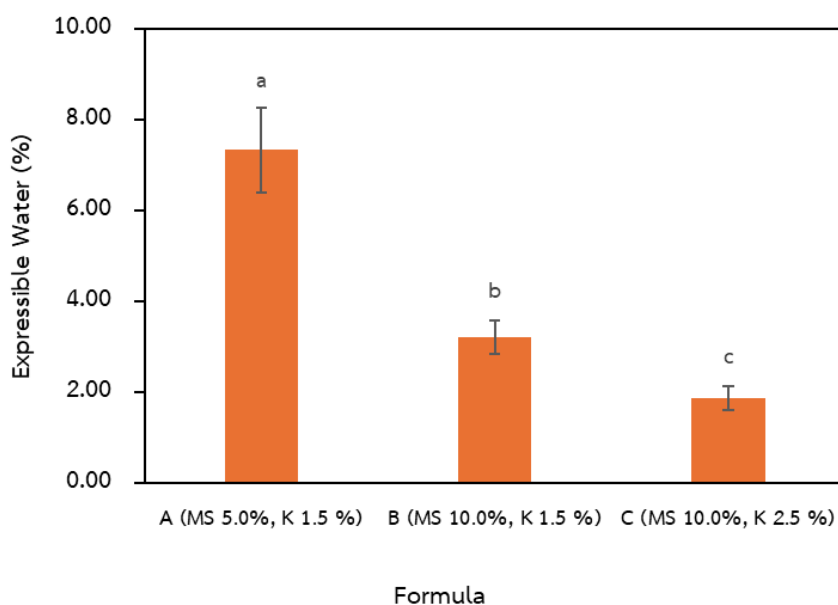
ผลการทดสอบค่าความสว่าง ( $L^*$ ) ค่าสีแดง ( $a^*$ ) ค่าสีเหลือง ( $b^*$ ) ของตัวอย่างลูกชิ้นเลียนแบบเนื้อสัตว์จากพืชทั้ง 3 สูตรด้วยเครื่องวัดสีสเปคโตรโฟโตมิเตอร์ (Colorimeter, Konica Minolta, Model CM-5, Japan) แสดงผลดังตารางที่ 16 พบว่ามีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ ( $p \leq 0.05$ ) ทั้งค่า  $L^*$ ,  $a^*$  และ  $b^*$  ซึ่งพบว่าสูตรที่เติมแป้งมันสำปะหลังตัดแปรมากขึ้นมีแนวโน้มที่สีของผลิตภัณฑ์จะมีความสว่างมากขึ้น โดยมีการศึกษาการใช้แป้งข้าวโพดอะซิเตดในการผลิตบะหมี่ซึ่งกระบวนการอะซิเตดเป็นกระบวนการตัดแปรเช่นเดียวกับแป้งมันสำปะหลังที่ใช้ในการศึกษา พบว่าแป้งอะซิเตดช่วยเพิ่มความสว่าง (Lin et al., 2019) ในขณะที่สูตรที่เติมผงบุกเพิ่มขึ้นมีแนวโน้มที่จะมีสีความสว่างลดลงมาจากสีของผงบุกที่เมื่อเกิดเจลแล้วจะมีความขุ่นเล็กน้อย ในด้านปริมาณน้ำที่สูญเสียพบมีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ ( $p \leq 0.05$ ) และมีแนวโน้มในการสูญเสียน้ำลดลงเมื่อเติมแป้งมันสำปะหลังตัดแปรและผงบุกเพิ่มขึ้น แสดงดังภาพที่ 13 ทั้งนี้เนื่องจากแป้งมันสำปะหลังที่ผ่านการปรับแต่งด้วยกระบวนการอะซิเตชัน (Acetylation) จะสามารถเพิ่มคุณภาพและความเสถียรของแป้งได้อย่างมีประสิทธิภาพ เช่น เพิ่มความสามารถของการบวม (Swelling Power) ปริมาตรการบวม (Swelling Volume) ความสามารถในการดูดซับน้ำ/

น้ำมัน (Subroto et al., 2023) ด้วยเหตุนี้จึงเป็นสาเหตุที่มีแนวโน้มของการสูญเสียน้ำลดลง เมื่อปริมาณการใช้งานแป้งมันสำปะหลังตัดแปรและผงบุกเพิ่มขึ้น

**ตารางที่ 16** พารามิเตอร์ด้านสีของตัวอย่างลูกชิ้นเลียนแบบเนื้อสัตว์จากพืชในการทดลองศึกษาปริมาณสารที่ช่วยปรับปรุงเนื้อสัมผัสของผลิตภัณฑ์

การทดลองตัวอย่าง	พารามิเตอร์ด้านสี		
	L*	a*	b*
A (MS 5.0%, K 1.5 %)	54.74 ± 0.87 <sup>ab</sup>	-0.26 ± 0.12 <sup>b</sup>	9.32 ± 0.21 <sup>a</sup>
B (MS 10.0%, K 1.5 %)	56.14 ± 1.25 <sup>a</sup>	-0.24 ± 0.22 <sup>b</sup>	8.83 ± 0.47 <sup>ab</sup>
C (MS 10.0%, K 2.5 %)	53.94 ± 1.65 <sup>b</sup>	-0.18 ± 0.07 <sup>a</sup>	8.53 ± 0.55 <sup>b</sup>

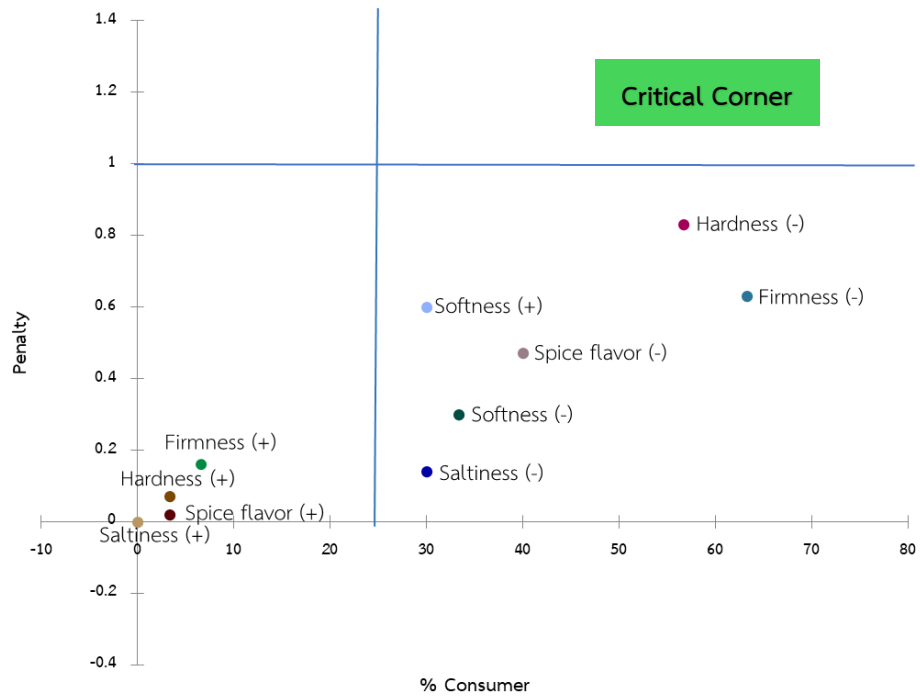
หมายเหตุ : อักษรกำกับต่างกันในกลุ่มเดียวกันแสดงว่ามีความแตกต่างกันทางสถิติ ( $p < 0.05$ ) เปรียบเทียบความแตกต่าง โดยวิธี Duncan's Multiple Range Test (DMRT)



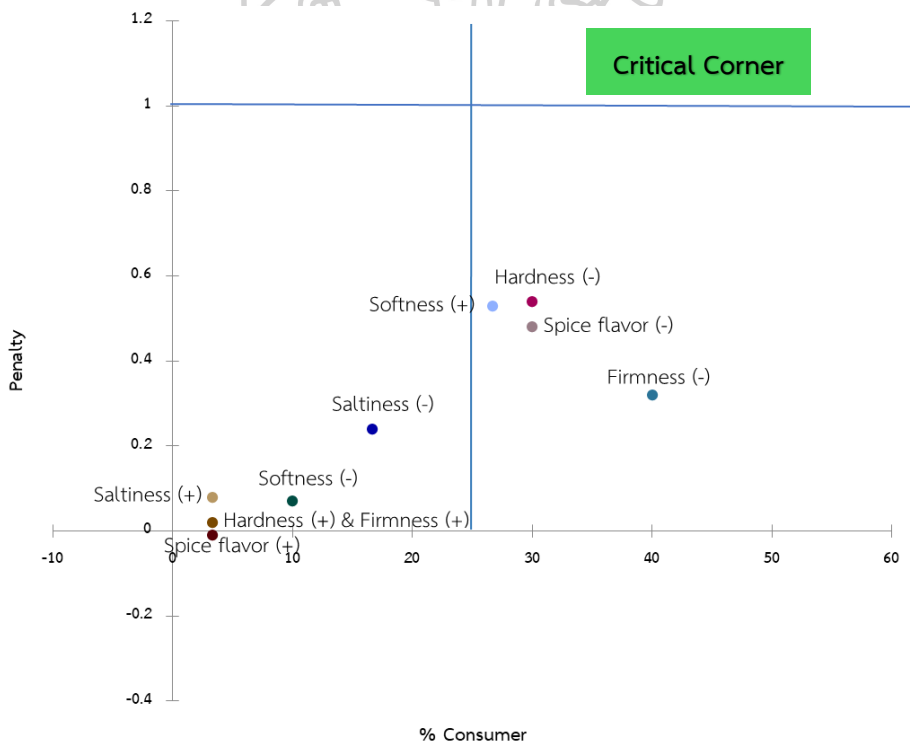
**ภาพที่ 13** แผนภูมิแท่งแสดงปริมาณน้ำที่สูญเสียของตัวอย่างลูกชิ้นเลียนแบบเนื้อสัตว์จากพืชในการทดลองศึกษาปริมาณสารที่ช่วยปรับปรุงเนื้อสัมผัสของผลิตภัณฑ์

#### 4.2.4 ผลการทดสอบด้านประสาทสัมผัส

จากการทดสอบหาความเข้มของคุณลักษณะโดยวิธี Just About Right เมื่อนำข้อมูลร้อยละของผู้ทดสอบ (% Consumer) และค่า penalty มาพล็อตกราฟแบบกระจาย (Scatter plot) คุณลักษณะที่ตกอยู่ที่ quadrant ด้านบนฝั่งขวาหรือที่เรียกว่า Critical corner point ซึ่งเป็นพื้นที่ที่มีจำนวนผู้ทดสอบ 25% ขึ้นไปและค่า penalty ตั้งแต่ 1.0 ขึ้นไป ซึ่งแสดงถึงคุณลักษณะต่าง ๆ ที่ตกอยู่ในบริเวณพื้นที่นั้นควรได้รับการปรับปรุง หรือคุณลักษณะทั้งหมดที่อยู่ภายในจุดวิกฤตินี้จะมีอิทธิพลในทางลบต่อการยอมรับของผลิตภัณฑ์ (Rivero et al., 2023) หากจำนวนคำตอบต่ำกว่าเกณฑ์ จะไม่นำค่าปรับมาพิจารณาเนื่องจากเปอร์เซ็นต์ของคำตอบนั้นน้อยเกินไปและอาจไม่น่าเชื่อถือ (Zhi et al., 2016; Lim et al., 2022) โดยที่ (+) หมายถึง “มากไป” และ (-) หมายถึง “น้อยไป” พบว่าสูตร A (MS 5.0%, K 1.5%) ไม่มีคุณลักษณะใดตกอยู่ในพื้นที่ Critical corner ทั้งลูกชิ้นรูปแบบต้มและรูปแบบทอดแสดงดังภาพที่ 14 (a) และ 14 (b) ตามลำดับ ส่วนสูตร B (MS 10.0%, K 1.5%) พบว่ามี 3 คุณลักษณะของลูกชิ้นรูปแบบต้มที่ตกในพื้นที่ Critical corner ได้แก่ ความแน่นเนื้อมันน้อยไป ความแข็งน้อยไป และความนุ่มมากไป แสดงดังภาพที่ 15 (a) แต่ไม่พบคุณลักษณะใดตกอยู่ในพื้นที่ Critical corner ในลูกชิ้นรูปแบบทอดแสดงดังภาพที่ 15 (b) ดังนั้นสูตร B (MS 10.0%, K 1.5%) รูปแบบต้มต้องได้รับการปรับปรุงเนื้อสัมผัสให้มีความแข็งและความแน่นเนื้อมากยิ่งขึ้นซึ่งจะส่งผลให้คุณลักษณะด้านความนุ่มนั้นดีขึ้นไปด้วย และในสูตร C (MS 10.0%, K 2.5%) พบว่ามี 4 คุณลักษณะของลูกชิ้นรูปแบบต้มที่ตกอยู่ในพื้นที่ Critical corner ได้แก่ ความแข็งน้อยไป ความแน่นเนื้อมันน้อยไป ความนุ่มมากไป และกลิ่นเครื่องเทศน้อยไป แสดงดังภาพที่ 16 (a) แต่ไม่พบคุณลักษณะใดตกอยู่ในพื้นที่ Critical corner ในลูกชิ้นรูปแบบทอดแสดงดังภาพที่ 16 (b) ดังนั้น สูตร C (MS 10.0%, K 2.5%) รูปแบบต้มต้องได้รับการปรับปรุงสัมผัสให้มีความแข็งและความแน่นเนื้อมากยิ่งขึ้นเพื่อแก้ไขปัญหาให้ความนุ่มลดลงอีกทั้งยังต้องปรับเพิ่มในด้านของกลิ่นเครื่องเทศ

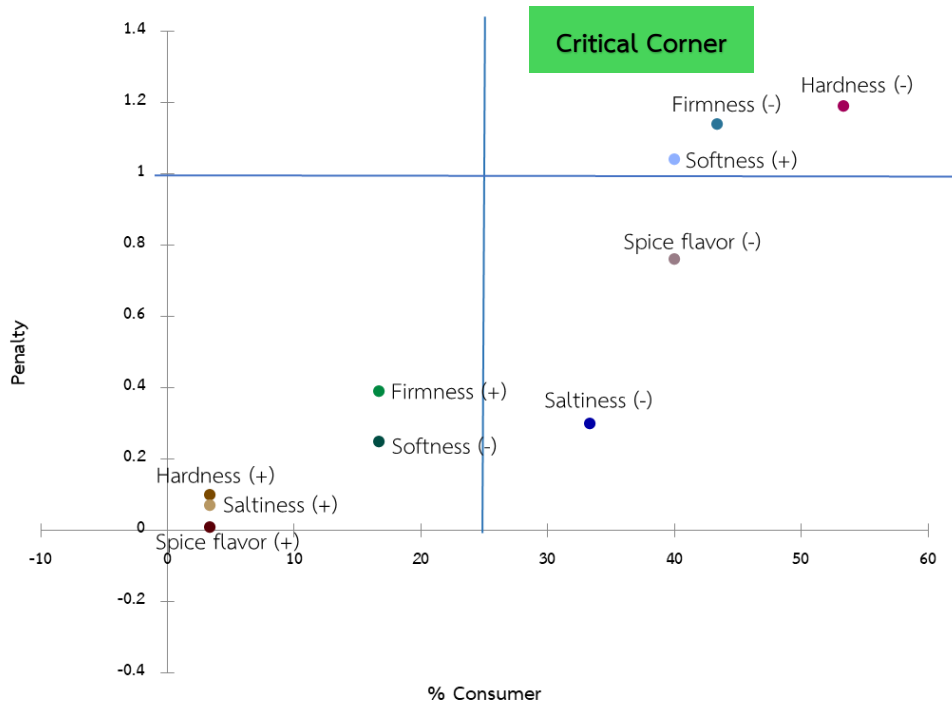


(a) รูปแบบต้ม

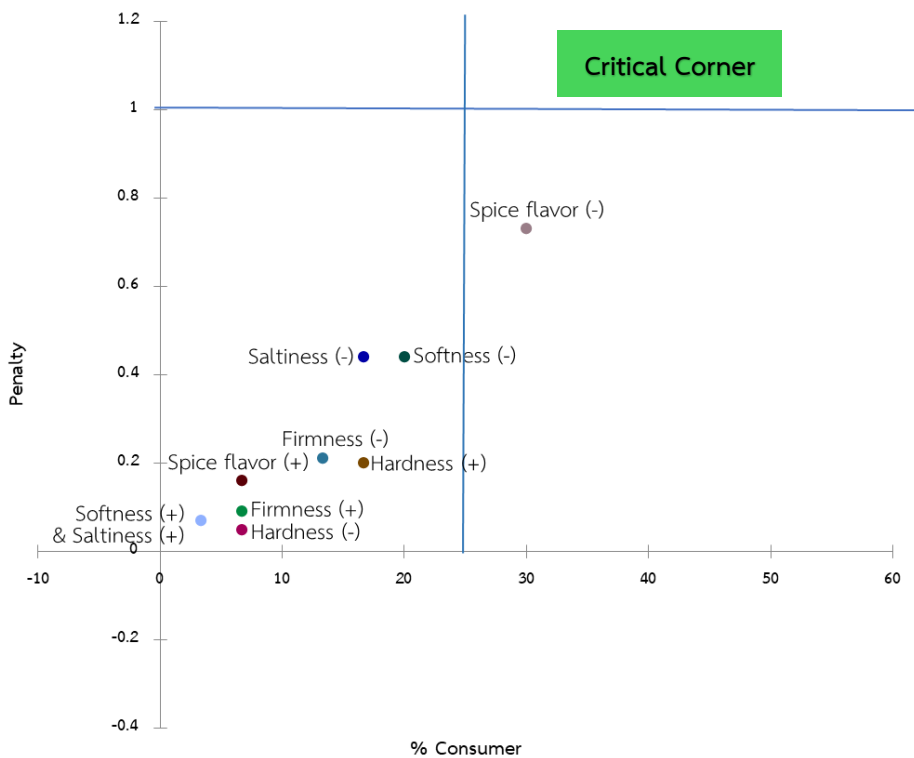


(b) รูปแบบทอด

ภาพที่ 14 กราฟแบบกระจายแสดงค่า penalty สัดส่วนของผู้ทดสอบของคุณลักษณะด้านต่าง ๆ ของลูกชิ้นเลียนแบบเนื้อสัตว์จากพืช สูตร A (MS 5.0%, K 1.5%) โดยกำหนดพื้นที่ที่ต้องปรับปรุง (Critical corner) ที่ Penalty  $\geq 1$  และ % Consumer  $\geq 25\%$  โดยรูปแบบต้ม (a) รูปแบบทอด (b) และ (+) = Too much, (-) = Not enough

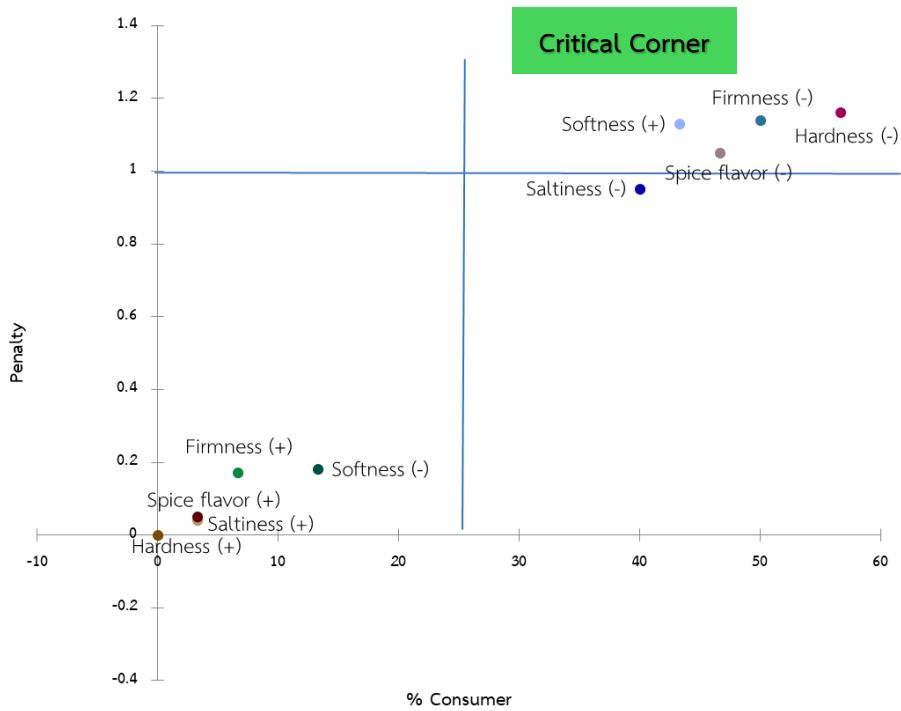


(a) รูปแบบต้ม

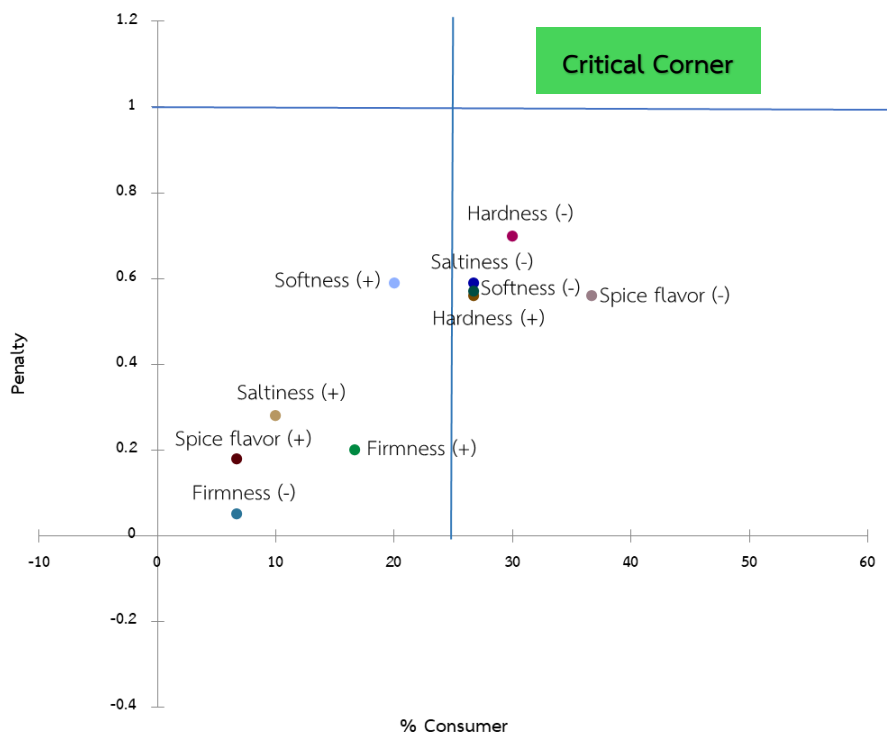


(b) รูปแบบทอด

ภาพที่ 15 กราฟแบบกระจายแสดงค่า penalty สัดส่วนของผู้ทดสอบของคุณลักษณะด้านต่าง ๆ ของลูกชิ้นเลียนแบบเนื้อสัตว์จากพืช สูตร B (MS 10.0%, K1.5%) โดยกำหนดพื้นที่ที่ต้องปรับปรุง (Critical corner) ที่ Penalty  $\geq 1$  และ % Consumer  $\geq 25\%$  โดยรูปแบบต้ม (a) รูปแบบทอด (b) และ (+) = Too much, (-) = Not enough



(a) รูปแบบเต็ม



(b) รูปแบบทอด

**ภาพที่ 16** กราฟแบบกระจายแสดงค่า penalty สัดส่วนของผู้ทดสอบของคุณลักษณะด้านต่าง ๆ ของลูกชิ้นเลียนแบบเนื้อสัตว์จากพืช สูตร C (MS 10.0%, K 2.5%) โดยกำหนดพื้นที่ที่ต้องปรับปรุง (Critical corner) ที่ Penalty  $\geq 1$  และ % Consumer  $\geq 25\%$  โดยรูปแบบเต็ม (a) รูปแบบทอด (b) และ (+) = Too much, (-) = Not enough

จากการทดสอบการยอมรับของผู้บริโภคโดยใช้การทดสอบ 9-point hedonic scale สอบถามความชอบโดยรวมของผลิตภัณฑ์ลูกชิ้นเลียนแบบเนื้อสัตว์จากพืชทั้ง 3 สูตรในรูปแบบต้ม และรูปแบบทอด พบว่าคะแนนด้านความชอบทั้ง 3 สูตรไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ( $p > 0.05$ ) โดยหากประเมินจากคะแนนจากวิธี Just About Right โดยพิจารณาจากกราฟแบบกระจาย สูตร A (MS 5.0%, K 1.5%) เป็นสูตรที่ไม่มีคุณลักษณะใดตกอยู่ในพื้นที่ Critical corner ซึ่งอาจประเมินได้ใน 2 ทิศทาง คือ 1). เป็นสูตรที่ดีเนื่องจากไม่มีคุณลักษณะใดต้องปรับปรุง แต่ทั้งนี้ต้องประเมินคะแนนด้านอื่น ๆ ร่วมด้วย เช่น ความชอบโดยรวม ปริมาณน้ำที่สูญเสีย แต่หากพิจารณาความชอบโดยรวมจะพบว่าคะแนนสูตร A (MS 5.0%, K 1.5%) นั้น ไม่ได้เป็นสูตรที่ได้รับคะแนนความชอบโดยรวมสูงสุด และหากพิจารณาปริมาณน้ำที่สูญเสียก็พบว่าสูตร A (MS 5.0%, K 1.5%) มี % ของน้ำที่สูญเสียสูงกว่าสูตร B (MS 10.0%, K 1.5%) และสูตร C (MS 10.0%, K 2.5%) 2). เป็นสูตรที่ไม่ดี เนื่องจากคะแนนการประเมินที่ต่ำกว่าจะสามารถนำมาตัดสินใจสำหรับประเมินทิศทางในการปรับปรุง แต่พบว่าตัวอย่างลูกชิ้นเลียนแบบเนื้อสัตว์จากพืชของสูตร B (MS 10.0%, K 1.5%) ได้คะแนนความชอบโดยรวมสูงสุดทั้งการทดสอบชิมในรูปแบบการต้มและรูปแบบการทอด คะแนนความชอบโดยรวมแสดงดังตารางที่ 17 และจากตารางจะเห็นแนวโน้มของคะแนนความชอบของผลิตภัณฑ์ในรูปแบบทอด มีคะแนนสูงกว่ารูปแบบต้ม ทั้งนี้อาจเนื่องมาจากการเปลี่ยนแปลงทางกายภาพของพื้นผิวผลิตภัณฑ์ที่ทำให้เกิดความกรอบ และได้กลิ่นเครื่องเทศชัดเจนซึ่งเป็นคุณลักษณะที่ผู้บริโภคชื่นชอบ ทั้งนี้อาจเนื่องจากการสัมผัสอาหารกับน้ำมันร้อนโดยตรงทำให้เกิดเปลือกที่แห้งกรอบ และมีสีทอง ผลิตภัณฑ์ที่ได้จะมีรสชาติและเนื้อสัมผัสเฉพาะตัว ความร้อนที่สูงทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงโครงสร้างแป้งและโปรตีนการเกิดปฏิกิริยาเมลลาร์ด (Maillard reaction) ที่ช่วยเพิ่มสีและรสชาติของอาหารทอด มีการสูญเสียสารบางชนิดออกจากผลิตภัณฑ์ขณะทอดและน้ำมันเข้าสู่โครงสร้างของอาหาร อาหารมีการเปลี่ยนแปลงทางกายภาพและเคมีในระหว่างกระบวนการทอด ภายใต้อุณหภูมิสูง ซึ่งส่งผลต่อ รสชาติ, เนื้อสัมผัส และคุณภาพโดยรวมของผลิตภัณฑ์ (Kerr, 2017; Asokapandian et al., 2019) ซึ่งสอดคล้องกับผลการทดสอบทางด้านเนื้อสัมผัสของผลิตภัณฑ์ลูกชิ้นเลียนแบบเนื้อสัตว์รูปแบบทอด แสดงผลดังตารางที่ 15 การพบข้อแตกต่างของผลการทดสอบทางด้านเนื้อสัมผัสของลูกชิ้นแบบทอดที่ไม่มีสมบัติด้าน Adhesiveness ซึ่งเป็นการยึดติดที่ทำให้มี

ความรู้สึกเหนียว อีกทั้งผลิตภัณฑ์มีผิวหน้าที่มีความแข็งเพิ่มขึ้นเมื่อเทียบกับผลิตภัณฑ์ในรูปแบบแท้มดั่งตารางที่ 14 จึงอาจเป็นสาเหตุที่ทำให้ได้คะแนนความชอบโดยรวมมากกว่าผลิตภัณฑ์ในรูปแบบแท้ม

**ตารางที่ 17** คะแนนความชอบโดยรวมของผลิตภัณฑ์ลูกชิ้นเลียนแบบเนื้อสัตว์จากพืชในการทดลองศึกษาปริมาณสารที่ช่วยปรับปรุงเนื้อสัมผัสของผลิตภัณฑ์

คุณลักษณะ	สูตร		
	A (MS 5.0%, K 1.5%)	B (MS 10.0%, K 1.5%)	C (MS 10.0%, K 2.5%)
ความชอบโดยรวม <sup>ns</sup> (แบบแท้ม)	5.10 ± 1.52	5.63 ± 1.81	5.30 ± 1.91
ความชอบโดยรวม <sup>ns</sup> (แบบทอด)	6.13 ± 1.63	6.53 ± 1.73	5.97 ± 1.79

<sup>ns</sup> ไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ ( $p > 0.05$ )

#### 4.2.5 ผลการทดสอบทางด้านเนื้อสัมผัสของลูกชิ้นเลียนแบบเนื้อสัตว์จากพืชโดยการปรับเพิ่มปริมาณสารปรับปรุงเนื้อสัมผัส

ภายหลังทำการทดสอบชิมเพื่อประเมินคุณลักษณะทางประสาทสัมผัสตามข้อ 4.2.3 ได้มีการทดลองปรับเพิ่มปริมาณสารปรับปรุงเนื้อสัมผัสจากสูตร B (MS 10.0%, K 1.5%) ที่ได้คะแนนความชอบโดยรวมสูงสุด เพื่อปรับเพิ่มความแข็งและความแน่นเนื้อมากยิ่งขึ้นตามคุณลักษณะที่อยู่ในพื้นที่ Critical corner ดังภาพที่ 15 โดยการเพิ่มแป้งมันสำปะหลังดัดแปร 2 ระดับ คือ สูตร B (MS 15) เป็นสูตรที่เพิ่มแป้งมันสำปะหลังดัดแปรเป็น 15% โดยน้ำหนัก และสูตร B (MS 20) เป็นสูตรที่เพิ่มแป้งมันสำปะหลังดัดแปรเป็น 20% โดยน้ำหนัก และคงการใช้ผงบุกที่ 1.5% โดยน้ำหนักเช่นเดิม โดยมีสูตร B (MS 10.0%, K 1.5%) ที่ได้คะแนนความชอบโดยรวมสูงสุดจากข้อ 4.2.3 เป็นสูตรควบคุม ซึ่งแทนด้วยสัญลักษณ์สูตร B (MS 10) ผลการศึกษาทางด้านเนื้อสัมผัสพบว่าค่า Hardness, Springiness, Gumminess, Chewiness และ Gel Strength ของทั้ง 3 สูตรมีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ ( $p \leq 0.05$ ) ทั้งนี้มีแนวโน้มของค่าความแข็ง (Hardness) แรงที่ใช้ในการเคี้ยวอาหารให้แตกตัวออกจากกัน (Gumminess) พลังงานที่ใช้เคี้ยวอาหารแข็งจนถึงขั้นพร้อมที่จะกลืน (Chewiness) และค่าความแข็งแรงเจล (Gel strength) สูงขึ้นเมื่อปริมาณแป้งมันสำปะหลังดัดแปรในสูตรเพิ่มขึ้น ทั้งนี้เนื่องจากแป้งมันสำปะหลังดัดแปรเป็นส่วนผสมที่สามารถช่วยปรับปรุงเนื้อสัมผัส และคุณภาพโดยรวมของผลิตภัณฑ์ ซึ่งในอุตสาหกรรมการผลิตลูกชิ้นจากเนื้อสัตว์ เช่น ลูกชิ้นปลานั่น ใช้แป้งมันสำปะหลังสำหรับเพิ่มความยืดหยุ่นของเนื้อแป้งลูกชิ้น ช่วยให้ลูกชิ้นมีเนื้อสัมผัสที่นุ่มแดง (Le, 2024)

ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยที่ศึกษาผลกระทบของการเติมแป้งมันสำปะหลังอะซีทิเลต ไต-สตาร์ช ฟอสเฟต (TADSP) หรือแป้งข้าวโพดอะซีทิเลต ไต-สตาร์ชฟอสเฟต (CADSP) ต่อคุณสมบัติของเจลและการย่อยโปรตีนในหลอดทดลองของลูกชิ้นสไตล์จีนของ Wei et al. (2023) พบว่า TADSP และ CADSP ช่วยเพิ่มคุณสมบัติทางเนื้อสัมผัสของลูกชิ้นสไตล์จีนอย่างมีนัยสำคัญในอัตราที่ขึ้นกับปริมาณที่เติม ( $p \leq 0.05$ ) รวมถึงช่วยปรับปรุงพฤติกรรมทางรีโอโลยีของเนือบด TADSP ทำให้เกิดโครงสร้างเจลโปรตีนเนื้อสัตว์ที่มีความหนาแน่น เนื่องจากอุณหภูมิที่สตาร์ชเริ่มเกิดการเจลาติไนซ์ที่ต่ำ ทำให้ TADSP เกิดเจลาติไนซ์ได้เร็วและสมบูรณ์ในระหว่างการให้ความร้อน และเติมเต็มเครือข่ายเจลโปรตีนเนื้อสัตว์ได้ดียิ่งขึ้น ค่าพารามิเตอร์ทางด้านเนื้อสัมผัสของลูกชิ้นเลียนแบบเนื้อสัตว์จากพืชที่ทำการปรับเพิ่มปริมาณสารปรับปรุงเนื้อสัมผัส แสดงดังตารางที่ 18

**ตารางที่ 18** พารามิเตอร์ด้านเนื้อสัมผัสของตัวอย่างลูกชิ้นเลียนแบบเนื้อสัตว์จากพืชแบบต้มโดยการปรับเพิ่มปริมาณสารปรับปรุงเนื้อสัมผัส

การทดลอง ตัวอย่าง	พารามิเตอร์ด้านเนื้อสัมผัส						
	Hardness (g)	Adhesiveness (g.sec)	Springiness	Cohesiveness	Gumminess (g)	Chewiness (g)	Gel Strength (g.cm)
B (MS 10) Control	1978.89±52.09 <sup>c</sup>	-122.89±113.17 <sup>a</sup>	0.69±10.02 <sup>a</sup>	0.58±0.01 <sup>a</sup>	1138.52±39.92 <sup>c</sup>	785.00±43.50 <sup>c</sup>	463.67±47.96 <sup>b</sup>
B (MS 15)	3115.04±167.39 <sup>b</sup>	-102.30±81.83 <sup>a</sup>	0.62±0.01 <sup>c</sup>	0.56±0.00 <sup>a</sup>	1749.20±81.97 <sup>b</sup>	1085.72±75.14 <sup>b</sup>	511.03±25.65 <sup>b</sup>
B (MS 20)	4758.12±132.91 <sup>a</sup>	-140.63±45.17 <sup>a</sup>	0.65±0.01 <sup>b</sup>	0.57±0.02 <sup>a</sup>	2693.14±16.93 <sup>a</sup>	1759.30±21.16 <sup>a</sup>	825.41±13.32 <sup>a</sup>

**หมายเหตุ :** อักษรกำกับต่างกันในกลุ่มเดียวกันแสดงว่ามีความแตกต่างกันทางสถิติ ( $p \leq 0.05$ ) เปรียบเทียบความแตกต่าง โดยวิธี Duncan's Multiple Range Test (DMRT)

#### 4.2.6 ผลการทดสอบด้านสีและการหาปริมาณน้ำที่สูญเสีย

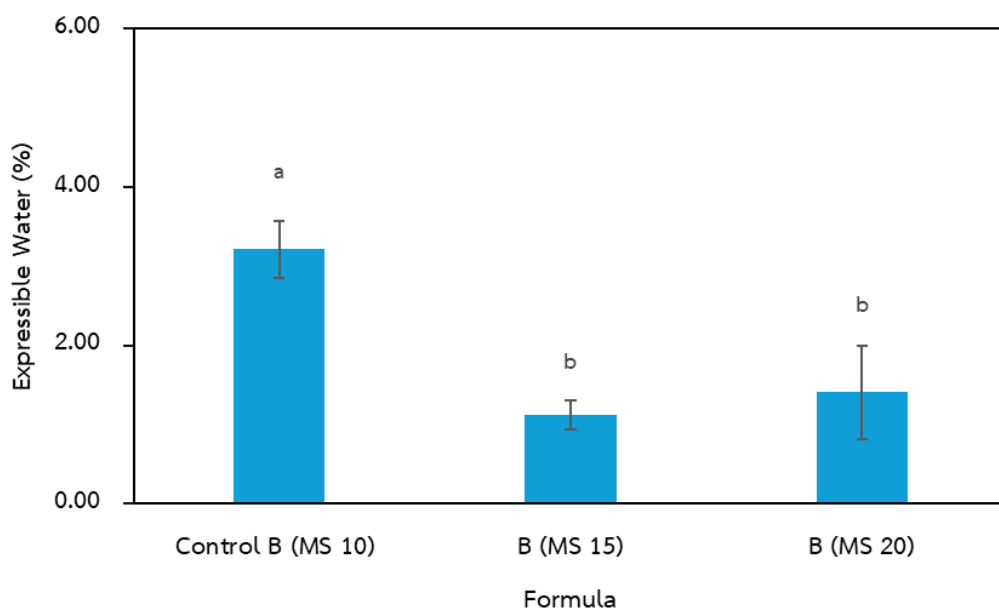
จากผลการทดสอบค่าความสว่าง ( $L^*$ ) ค่าสีแดง ( $a^*$ ) ค่าสีเหลือง ( $b^*$ ) ของตัวอย่างลูกชิ้นเลียนแบบเนื้อสัตว์จากพืชที่ทำการปรับเพิ่มปริมาณสารปรับปรุงเนื้อสัมผัส ได้แก่สูตร B (MS 15) และสูตร B (MS 20) ร่วมกับสูตรควบคุม B (MS 10) ด้วยเครื่องวัดสีสเปคโตรโฟโตมิเตอร์ (Colorimeter, Konica Minolta, Model CM-5, Japan) แสดงผลดังตารางที่ 19 พบว่าค่าความสว่าง ( $L^*$ ) และค่าสีแดง ( $a^*$ ) มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ ( $p \leq 0.05$ ) ในส่วนของค่าสีเหลือง ( $b^*$ ) ไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ ( $p > 0.05$ ) ทั้งนี้ผลการทดลองพบว่าสูตรที่เติมแป้งมันสำปะหลังดัดแปรมากขึ้นมีแนวโน้มที่สีของผลิตภัณฑ์มีความสว่างมากขึ้นเช่นเดียวกับการทดลองก่อนหน้านี้ในหัวข้อที่ 4.2.2 เมื่อเปรียบเทียบกับสูตรควบคุมจะพบว่าค่าสีแดง ( $a^*$ ) ของสูตรควบคุมมีค่าติดลบ ซึ่งหมายถึงสีของผลิตภัณฑ์จะออกไปทางสีเขียว ซึ่งอาจเป็นลักษณะสีที่ต่ำกว่าสูตรที่ทำการปรับเพิ่มสารปรับปรุงเนื้อสัมผัสคือสูตร B (MS 15) และสูตร B (MS 20) ซึ่งมีค่าสีแดง ( $a^*$ ) เป็นบวก ทั้งนี้ผลการทดลองสอดคล้องกับการทดลองของ Widati et al. (2022) ที่ได้ทำการศึกษาผลกระทบของการใช้ประเภทและระดับของแป้งมันสำปะหลังดัดแปรและแป้งมันสำปะหลังทางการค้าที่แตกต่างกันต่อคุณภาพทางกายภาพของลูกชิ้นเนื้อกระต่าย โดยประเภทและระดับของแป้งมันสำปะหลังที่ใช้มีผลอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $p < 0.01$ ) ต่อค่าความสว่าง ( $L$ ) ของลูกชิ้นเนื้อกระต่าย โดยค่าความสว่างเฉลี่ยสูงสุด คือ 70.66 เมื่อใช้แป้งมันสำปะหลังดัดแปรที่ 50% และค่าความสว่าง ( $L$ ) เฉลี่ยต่ำสุด คือ 65.99 เมื่อใช้แป้งมันสำปะหลังทางการค้าที่ 25% ผลการทดลองแสดงให้เห็นว่า การใช้แป้งมันสำปะหลังดัดแปรมีผลต่อความสว่างของลูกชิ้นเนื้อกระต่าย เนื่องจากสีของแป้งมันสำปะหลังดัดแปรมีแนวโน้มที่จะขาวกว่า ทั้งนี้เนื่องจากแป้งมันสำปะหลังมีสีขาว มีค่าปริมาณเส้นใยและลิกนินต่ำและสามารถให้ความหนืดที่ดี

**ตารางที่ 19** พารามิเตอร์ด้านสีของตัวอย่างลูกชิ้นเลียนแบบเนื้อสัตว์จากพืชในการทดลองศึกษาปริมาณสารที่ช่วยปรับปรุงเนื้อสัมผัสของผลิตภัณฑ์

การทดลองตัวอย่าง	พารามิเตอร์ด้านสี		
	L*	a*	b*
B (MS 10) Control	56.14 ± 1.25 <sup>a</sup>	-0.24 ± 0.22 <sup>b</sup>	8.83 ± 0.47 <sup>a</sup>
B (MS 15)	50.85 ± 1.97 <sup>b</sup>	0.21 ± 0.11 <sup>a</sup>	8.09 ± 0.45 <sup>a</sup>
B (MS 20)	54.35 ± 1.30 <sup>a</sup>	0.10 ± 0.13 <sup>a</sup>	8.87 ± 0.81 <sup>a</sup>

**หมายเหตุ :** อักษรกำกับต่างกันในกลุ่มเดียวกันแสดงว่ามีความแตกต่างกันทางสถิติ ( $p \leq 0.05$ ) เปรียบเทียบความแตกต่าง โดยวิธี Duncan's Multiple Range Test (DMRT)

เนื่องจากแป้งมันสำปะหลังดัดแปรมีความสามารถในการให้ความหนืดที่ดี ดังนั้นจึงอาจเป็นปัจจัยที่ส่งผลให้ปริมาณน้ำที่สูญเสียในผลิตภัณฑ์มีค่าลดลงเมื่อเทียบกับการทดลองก่อนหน้านี้ที่จะทำการปรับเพิ่มปริมาณสารปรับปรุงเนื้อสัมผัส ตามผลการทดลองข้อ 4.2.3 ทั้งนี้การทดลองของ Widati et al. (2022) ได้กล่าวว่าประเภทและระดับของแป้งมันสำปะหลังที่ใช้มีผลกระทบอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $p < 0.01$ ) ต่อความสามารถในการอุ้มน้ำ (WHC) ของลูกชิ้นเนื้อกระต่าย โดยความสามารถในการอุ้มน้ำของลูกชิ้นอาจลดลงเมื่อเพิ่มความเข้มข้นของแป้ง อย่างไรก็ตามพบว่าปริมาณน้ำที่สูญเสียของตัวอย่างสูตรควบคุมและสูตรที่ทำการปรับเพิ่มปริมาณสารปรับปรุงเนื้อสัมผัสสูตร B (MS 15) และ B (MS 20) มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ( $p \leq 0.05$ ) ในขณะที่ปริมาณน้ำที่สูญเสียระหว่างสูตร B (MS 15) และ B (MS 20) ไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ( $p > 0.05$ ) แสดงผลดังภาพที่ 17



**ภาพที่ 17** แผนภูมิแท่งแสดงปริมาณน้ำที่สูญเสียของตัวอย่างลูกชิ้นเลียนแบบเนื้อสัตว์จากพืชในการปรับเพิ่มปริมาณสารที่ช่วยปรับปรุงเนื้อสัมผัสของผลิตภัณฑ์

ดังนั้นจากผลการทดลองในข้อ 4.2.5-4.2.6 ที่แสดงถึงสมบัติบางประการที่เปลี่ยนแปลงไปของลูกชิ้นเลียนแบบเนื้อสัตว์จากพืชที่ทำการปรับเพิ่มปริมาณสารปรับปรุงเนื้อสัมผัส เมื่อพิจารณาค่าพารามิเตอร์ทางด้านเนื้อสัมผัส ซึ่งพบว่าสูตร B (MS 20) มีความเป็นไปได้ที่จะเป็นพื้นฐานของสูตรที่จะนำไปพัฒนาต่อทั้งทางด้านเนื้อสัมผัส และเสริมคุณค่าทางโภชนาการด้วยขนุนอ่อน จึงนำสูตร B (MS 20) มาพัฒนาต่อโดยทำการเสริมขนุนอ่อน 3 ระดับ ซึ่งจะกำหนดสูตร ดังต่อไปนี้

สูตร B (MS 20) + YJ 10%w/w แสดงถึงสูตรที่ทำการเสริมด้วยขนุนอ่อน 10% โดยน้ำหนัก

สูตร B (MS 20) + YJ 20%w/w แสดงถึงสูตรที่ทำการเสริมด้วยขนุนอ่อน 20% โดยน้ำหนัก

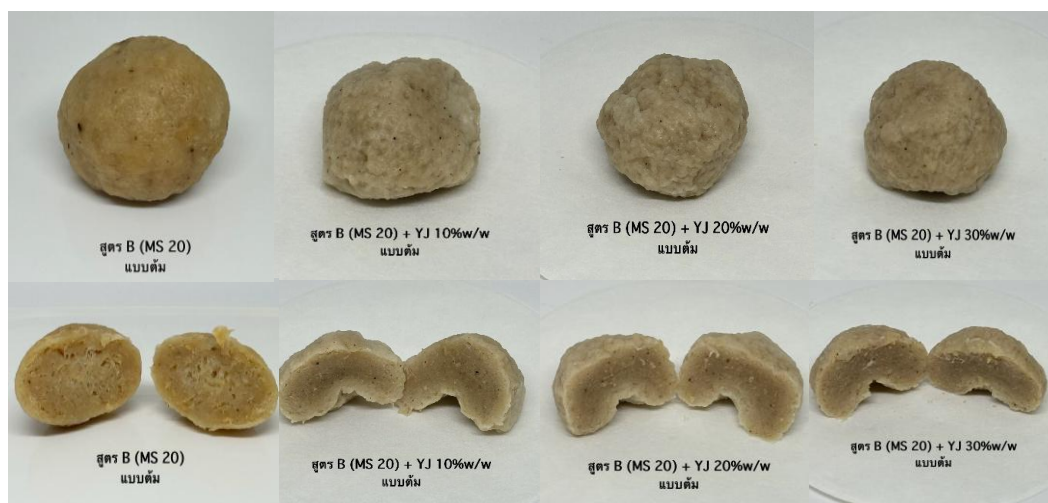
สูตร B (MS 20) + YJ 30%w/w แสดงถึงสูตรที่ทำการเสริมด้วยขนุนอ่อน 30% โดยน้ำหนัก

### 4.3 การศึกษาปริมาณของขนุนอ่อนที่เหมาะสมในการเสริมลงไปในการผลิตภัณฑ์ลูกชิ้นเลียนแบบเนื้อสัตว์จากพืช

#### 4.3.1 ผลการศึกษาลักษณะทางกายภาพ

จากการทดลองศึกษาปริมาณสูงสุดของขนุนอ่อนที่สามารถเสริมในลูกชิ้นเลียนแบบเนื้อสัตว์จากพืชทั้ง 3 ระดับ คือ 10%, 20% และ 30% โดยน้ำหนัก ซึ่งใช้สูตร B (MS 20) เป็นสูตรที่มีปริมาณแป้งมันสำปะหลังตัดแปร 20% โดยน้ำหนักจากตอนที่แล้วเป็นสูตรตั้งต้น โดยลักษณะทางกายภาพของลูกชิ้นเลียนแบบเนื้อสัตว์จากพืชที่เสริมด้วยขนุนอ่อน แสดงดังภาพที่ 16 จะเห็นภาพตัดขวางแฉกกลาง เมื่อเปรียบเทียบกับสูตร B (MS 20) สูตรที่ทำการเสริมขนุนอ่อนลงไปตั้งแต่ระดับต่ำที่สุดคือ 10% โดยน้ำหนัก สามารถเห็นการเปลี่ยนแปลงลักษณะด้านในลูกชิ้น คือ มีลักษณะที่ไม่แห้ง ซึ่งอาจทำให้ผลิตภัณฑ์มีความฉ่ำมากขึ้นและอาจส่งผลต่อด้านเนื้อสัมผัสในทางที่ดีขึ้น ทั้งนี้เนื่องจากการเสริมของขนุนอ่อนมีความชื้นจากวัตถุดิบ ซึ่งมีส่วนช่วยในการเพิ่มน้ำให้กับระบบของลูกชิ้น ทั้งนี้เนื่องมาจากการละลายของเพคตินในขนุนอ่อน โดยเพคตินที่ละลายสามารถสร้างโครงสร้างคล้ายเจลที่สามารถกักเก็บน้ำได้ ความสามารถในการกักเก็บน้ำนี้มีบทบาทสำคัญในการเพิ่มความฉ่ำให้กับผลิตภัณฑ์และช่วยปรับปรุงคุณภาพด้านประสาทสัมผัส (Samutsri and Thimthud, 2025) และจากภาพตัดขวางจะสังเกตเห็นการเปลี่ยนแปลงลักษณะภายนอกของลูกชิ้นเลียนแบบเนื้อสัตว์ที่มีการเสริมด้วยขนุนอ่อนทั้ง 3 สูตรเมื่อเปรียบเทียบกับสูตร B (MS 20) ซึ่งเป็นสูตรตั้งต้นที่ไม่มีการเสริมด้วยขนุนอ่อน พบว่าภายหลังจากการทำสุกด้วยการต้มลูกชิ้นเลียนแบบเนื้อสัตว์ที่เสริมด้วยขนุนอ่อนมีลักษณะยุบตัว ทั้งนี้อาจเนื่องมาจากการหดตัวของโปรตีนและโครงสร้างภายในที่ไม่สม่ำเสมอซึ่งโปรตีนจากพืช เช่น กลูเตนจากข้าวสาลีและโปรตีนถั่วเหลือง มีคุณสมบัติในการยืดหยุ่นและสร้างโครงสร้างเส้นใยคล้ายเนื้อสัตว์ เมื่อผ่านความร้อนโครงสร้างเหล่านี้จะขยายตัวและเมื่อเย็นลงอย่างรวดเร็ว จะเกิดการหดตัวซึ่งอาจทำให้เกิดรอยบวมตรงกลางหากโครงสร้างภายในไม่สม่ำเสมอหรือมีโพรงอากาศอยู่ภายใน หรือเกิดขึ้นเนื่องจากการสูญเสียความชื้นและการเปลี่ยนแปลงของเนื้อสัมผัสการต้มลูกชิ้นจากพืชทำให้เกิดการสูญเสียความชื้นภายใน และเมื่อแช่ในน้ำเย็นทันที โครงสร้างภายนอกจะเย็นและแข็งตัวเร็วกว่าโครงสร้างภายใน ทำให้เกิดแรงดึงภายในที่ไม่สมดุล ซึ่งอาจนำไปสู่การยุบตัวตรงกลางของลูกชิ้น Meng et al. (2022) ได้กล่าวว่าการนำลูกชิ้นไปแช่ในน้ำเย็นที่อุณหภูมิ

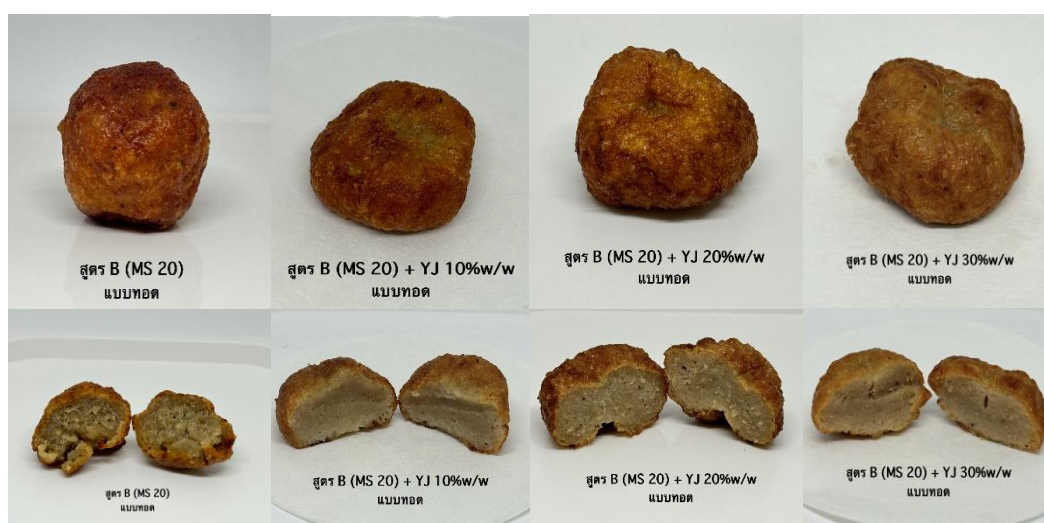
10°C หลังจากผ่านการให้ความร้อน สามารถทำให้ลูกชิ้นเย็นลงเพื่อดูดซับน้ำที่สูญเสียไประหว่างกระบวนการปรุงอาหาร ซึ่งเป็นวิธีที่ช่วยป้องกันไม่ให้พื้นผิวของลูกชิ้นยุบและเป็นสีน้ำตาล



**ภาพที่ 18** ลักษณะทางกายภาพของผลิตภัณฑ์ลูกชิ้นเลียนแบบเนื้อสัตว์จากพืชแบบต้มเปรียบเทียบระหว่างสูตรที่ไม่เสริมขนุนอ่อนและสูตรที่เสริมด้วยขนุนอ่อน 3 ระดับ ได้แก่ 10%, 20% และ 30% โดยน้ำหนัก

ในขณะที่ลูกชิ้นเลียนแบบเนื้อสัตว์จากพืชแบบทอดจะเห็นลักษณะการเปลี่ยนแปลงทางกายภาพด้านในลูกชิ้นที่มีลักษณะที่ไม่แห้งเช่นเดียวกับแบบต้ม ซึ่งในระหว่างกระบวนการทอดนั้นจะส่งผลต่อต่อโครงสร้างแป้งและเซลล์ โดยเกิดเจลาติไนซ์เซชันของสตาร์ช (starch gelatinization) โปรตีนเกิดการเสียสภาพ แรงยึดเหนี่ยวระหว่างเซลล์อาหารถูกทำลาย เกิดการขยายตัว เกิดปฏิกิริยาการเกิดสีน้ำตาล ทำให้เกิดลักษณะผิวหน้าที่แห้งและเกิดเปลือกนอกที่มีสีเหลือง (Fellow, 2000; Aguilera et al., 2001) ระหว่างการทอด เซลล์เกิดการสูญเสียน้ำและหดตัว ส่งผลให้เกิด ช่องว่างพรุนระหว่างกลุ่มเซลล์ ส่วนชั้นพื้นผิวของผลิตภัณฑ์ทอดมีระดับความพรุนที่แตกต่างกัน ซึ่งขึ้นอยู่กับชนิดของวัตถุดิบและสภาวะการทอด กระบวนการทอดเกี่ยวข้องกับการถ่ายเทความร้อนและมวลสาร ทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงของภูมิภาคและโครงสร้างในวัตถุดิบที่แตกต่างกัน ผลกระทบต่อวัตถุดิบแต่ละประเภท ผักและผลไม้จะเกิดการอ่อนตัว เนื่องจากวัสดุที่ยึดเซลล์พืชที่อยู่ติดกันลดลง ส่วนธัญพืชแป้งจะเปลี่ยนจากโครงสร้างกึ่งผลึกเป็นโครงสร้างไร้ระเบียบ (amorphous material) ที่ดูดน้ำและขยายตัว (Kerr, 2017) ซึ่งจะเห็นได้อย่างชัดเจนดังภาพที่ 19 ด้านซ้ายมือสูตร B (MS 20) ซึ่งเป็นสูตร

ที่ยังไม่ได้เสริมด้วยไขมันอ่อน เมื่อภายในเซลล์มีการดูดน้ำมากขึ้นทำให้ลักษณะทางกายภาพที่สังเกตได้ อย่างชัดเจนคือ มีรูพรุนเป็นจำนวนมากและมีลักษณะแห้ง ในระหว่างการทอดน้ำที่อยู่ในอาหารจะเกิดการระเหยกลายเป็นไออย่างรวดเร็ว การระเหยในระหว่างการทอดทำให้ผลิตภัณฑ์สูญเสียน้ำได้ถึง ร้อยละ 90 ส่งผลทำให้ผิวหน้าและภายในอาหารจึงเริ่มแห้งและเกิดลักษณะรูพรุน (porosity) ถ้ามีการระเหยของน้ำออกมาอย่างรุนแรงจะก่อให้เกิดรูพรุนขนาดใหญ่ได้ (จันทร์จิรา, 2554)



ภาพที่ 19 ลักษณะทางกายภาพของผลิตภัณฑ์ลูกชิ้นเลียนแบบเนื้อสัตว์จากพืชแบบทอดเปรียบเทียบระหว่างสูตรที่ไม่เสริมไขมันอ่อนและสูตรที่เสริมด้วยไขมันอ่อน 3 ระดับ ได้แก่ 10%, 20% และ 30% โดยน้ำหนัก

#### 4.3.2 โครงสร้างทางจุลภาคของลูกชิ้นเลียนแบบเนื้อสัตว์จากพืช

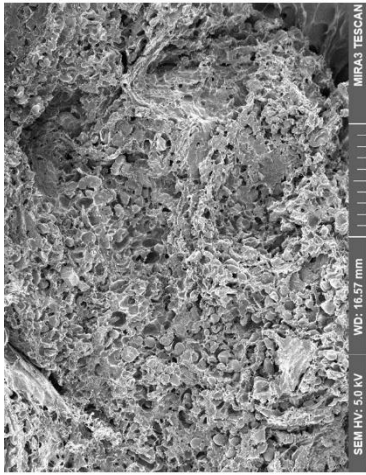
จากการศึกษาโครงสร้างทางจุลภาคของลูกชิ้นเลียนแบบเนื้อสัตว์จากพืชส่องด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (Tescan, Model Mira3, Czech Republic) ทั้งในรูปแบบตัดและรูปแบบทอด จำนวน 4 สูตร ได้แก่

1. สูตร B (MS 20) เป็นสูตรควบคุมที่ไม่ได้ทำการเสริมด้วยขนุนอ่อน
2. สูตร B (MS 20) + YJ 10 %w/w แสดงสูตรที่ทำการเสริมด้วยขนุนอ่อน 10% โดยน้ำหนัก
3. สูตร B (MS 20) + YJ 20 %w/w แสดงถึงสูตรที่ทำการเสริมด้วยขนุนอ่อน 20% โดยน้ำหนัก
4. สูตร B (MS 20) + YJ 30%w/w แสดงถึงสูตรที่ทำการเสริมด้วยขนุนอ่อน 30% โดยน้ำหนัก

ที่กำลังขยาย 250X พบว่าโครงสร้างโดยรวมของลูกชิ้นเลียนแบบเนื้อสัตว์จากพืชทั้งรูปแบบตัดและรูปแบบทอดของ สูตร B (MS 20) ซึ่งเป็นสูตรควบคุมที่ไม่ได้ทำการเสริมด้วยขนุนอ่อน พบว่ามีโครงสร้างคล้ายเม็ดสตาร์ชอยู่อย่างหนาแน่นในโพรงของโครงสร้างเซลล์ ภาพที่ 20 (a) และ 21 (a) เมื่อใช้กำลังขยาย 800X และ 2000X พบว่าเม็ดสตาร์ชที่ปรากฏมีลักษณะเป็นเม็ดกลมรี ผิวค่อนข้างเรียบ กระจายอยู่ทั่วไป บางเซลล์พบรอยบุ๋มตรงกลาง มีขนาดตั้งแต่ 10-30 ไมโครเมตร ซึ่งสันนิษฐานว่าอาจเป็นแป้งที่ยังไม่ถูกเจลาตินไนซ์ทั้งหมด เนื่องจากมีร่องรอยของการเกิดเจลาตินไนซ์ไปบางส่วน เนื่องจากพบว่า มีบางเซลล์หายไปจนเกิดเป็นโพรงและมีบางเซลล์เกิดการยุบตัว เมื่อทำการเปรียบเทียบกับลักษณะของเม็ดแป้งที่เตรียมจากน้ำแป้งสาลีด้วยกล้องจุลทรรศน์โพลาไรซ์ (Polarized Microscope, Olympus, Model CHS, Japan) ที่กำลังขยาย 400 เท่า ใช้ eye piece micrometer วัดขนาดเซลล์พบว่าทั้งแป้งมันสำปะหลังตัดแปรและแป้งถั่วเขียว มีขนาดของเม็ดแป้งใกล้เคียงกัน แต่แป้งมันสำปะหลังตัดแปรส่วนใหญ่จะมีเม็ดกลมและรีและมีขนาดเล็กกว่า ส่วนแป้งถั่วเขียวส่วนใหญ่จะเป็นเม็ดรีและมีขนาดใหญ่กว่า แสดงดังภาพที่ 22 (a) และภาพที่ 22 (b) ตามลำดับ ทั้งนี้โครงสร้างเม็ดสตาร์ชที่ปรากฏอาจเป็นได้ทั้งแป้งมันสำปะหลังตัดแปรและแป้งถั่วเขียวตามวัตถุดิบที่เป็นองค์ประกอบภายในสูตร แต่ส่วนใหญ่อาจเป็นโครงสร้างของแป้งมันสำปะหลังตัดแปรมากกว่าแป้งถั่วเขียว เนื่องจากปริมาณส่วนประกอบมีมากกว่าแป้งถั่วเขียว ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยของ Nimitkeatkai et al. (2022) ที่ทำการศึกษาเกี่ยวกับผลของการเติมแป้งมันสำปะหลังและแป้งสาลีต่อคุณสมบัติทางฟิสิกส์เคมีและลักษณะทางประสาทสัมผัสของขนมขบเคี้ยวจากเศษ

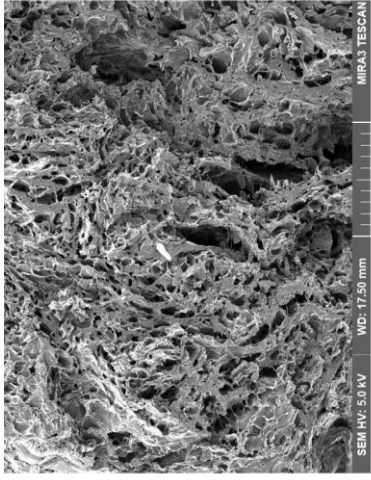
เนื้อวัว พบว่าผลของแป้งสาลีต่อโครงสร้างจุลภาคของผลิตภัณฑ์ โดยบริเวณที่มีลักษณะแบนและแน่น ถูกพบระหว่างหลุมและรูพรุนในขนมขบเคี้ยวที่ใช้แป้งมันสำปะหลังดัดแปร ซึ่งสัมพันธ์กับค่าความแข็งที่สูงขึ้น ทั้งนี้เมื่อเปรียบเทียบกับโครงสร้างของลูกชิ้นเลียนแบบเนื้อสัตว์จากพืชที่เสริมด้วยขนุนอ่อน 3 ระดับ ได้แก่ 10%, 20% และ 30% โดยน้ำหนัก ทั้งรูปแบบต้มและรูปแบบทอดไม่พบโครงสร้างของเม็ดสตาร์ชที่ยังมีลักษณะเป็นเม็ดอยู่บนเซลล์ อาจเนื่องจากความชื้นที่สูงขึ้นในผลิตภัณฑ์ที่ได้มาจากขนุนอ่อนที่ทำการเสริมลงไป ซึ่งทำให้มีน้ำในระบบมากขึ้น ส่งผลให้แป้งเกิดการเจลาติไนซ์โดยสมบูรณ์และเกิดการแตกออก เกิดเป็นรูพรุนหรือโพรง ตัวอย่างที่มีความชื้นต่ำกว่าแป้งยังเกิดเจลาติไนซ์ไม่สมบูรณ์เมื่อถูกให้ความร้อน ส่วนตัวอย่างที่มีความชื้นสูงกว่าแป้งจะเกิดเจลาติไนซ์อย่างสมบูรณ์ องค์ประกอบของแป้งมีผลต่อขนาดรูพรุนและการกระจายตัวของอนุภาค ในระหว่างการทอดรูพรุนจะเกิดมากขึ้น และมีแนวโน้มที่จะเปลี่ยนไปสู่ขนาดที่ใหญ่ขึ้นอีกทั้งพบว่าผนังเซลล์มีลักษณะแนวโน้มบางลง และเห็นลักษณะคล้ายฟิล์มบางเมื่อเสริมด้วยขนุนอ่อนมากขึ้น แสดงดังภาพที่ 20 (e), (f), (g), (h) และภาพที่ 21 (e), (f), (g), (h) ทั้งนี้อาจเนื่องจากเพคตินในโครงสร้างของขนุนอ่อนที่อยู่ในรูปแบบไฮเดรตและมีความเป็นกรดช่วยสร้างเครือข่ายเจล ซึ่งช่วยยึดโครงสร้างไฟบริลเข้าด้วยกัน พร้อมทั้งให้โครงสร้างมีรูพรุนบางส่วน (Kerr, 2017) เครือข่ายเจลที่ถูกสร้างขึ้น จึงสามารถช่วยปรับปรุงเนื้อสัมผัสให้มีความยืดหยุ่นได้มากยิ่งขึ้น

(a)



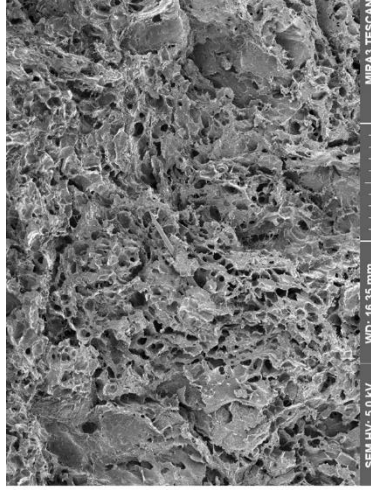
สูตร B (MS 20) แบบเต็ม กำลังขยาย 250X

(b)



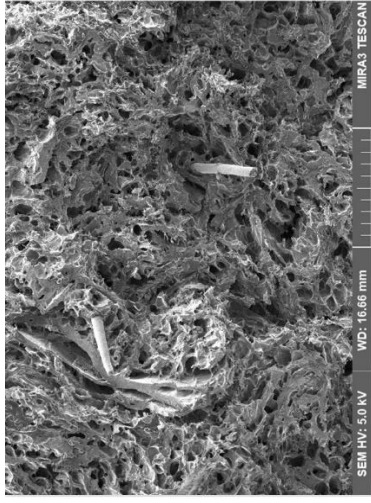
สูตร B (MS 20) + YJ 10%w/w แบบเต็ม กำลังขยาย 250X

(c)



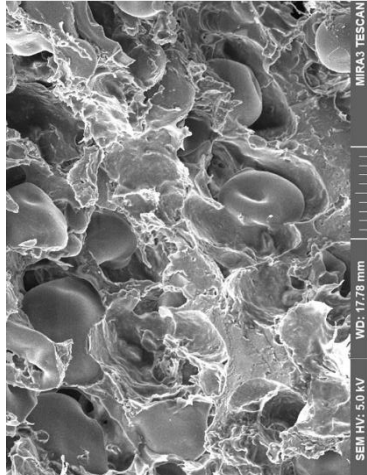
สูตร B (MS 20) + YJ 20%w/w แบบเต็ม กำลังขยาย 250X

(d)



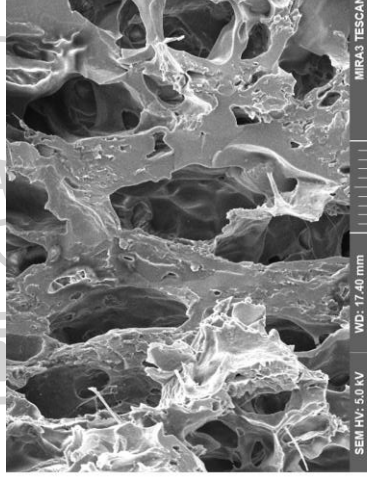
สูตร B (MS 20) + YJ 30%w/w แบบเต็ม กำลังขยาย 250X

(e)



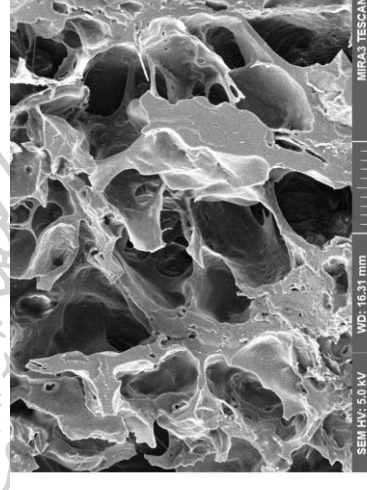
สูตร B (MS 20) แบบเต็ม กำลังขยาย 2000X

(f)



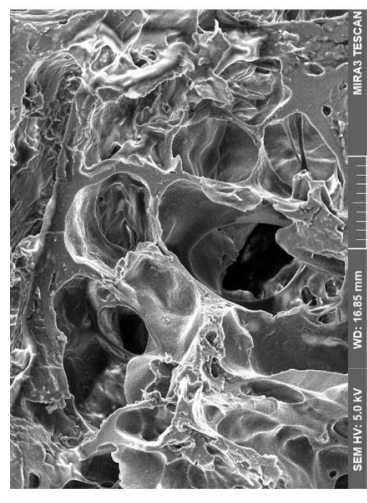
สูตร B (MS 20) + YJ 10%w/w แบบเต็ม กำลังขยาย 2000X

(g)



สูตร B (MS 20) + YJ 20%w/w แบบเต็ม กำลังขยาย 2000X

(h)



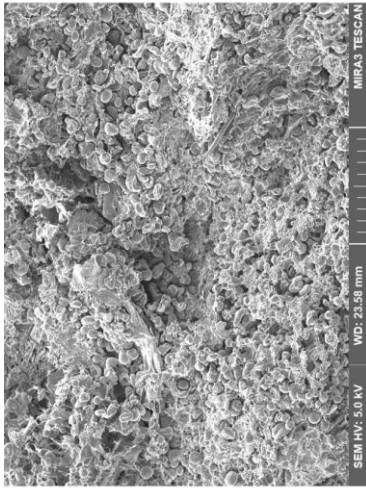
สูตร B (MS 20) + YJ 30%w/w แบบเต็ม กำลังขยาย 2000X

ภาพที่ 20 โครงสร้างทางจุลภาคของลูกชิ้นเค็มแบบเนื้อสัตว์จากพืชแบบเต็มที่กำลังขยาย 250X และ 2000X โดยใช้กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (SEM)

ของตัวอย่างที่เดิมแป้งมันสำปะหลังตัดแปร 20%w/w (a,e), แป้งมันสำปะหลังตัดแปร 20%w/w และขนุนอ่อน 10%w/w (b,f), แป้งมันสำปะหลังตัดแปร 20%w/w และขนุนอ่อน 20%w/w (c,g)

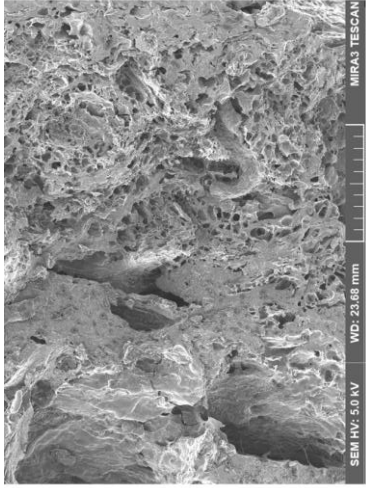
และแป้งมันสำปะหลังตัดแปร 20%w/w และขนุนอ่อน 30%w/w (d,h)

(a)



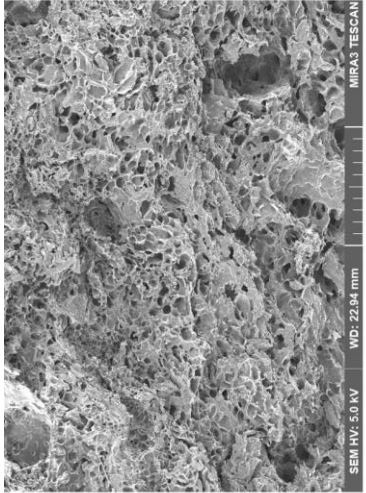
สูตร B (MS 20) แบบทอด กำลังขยาย 250X

(b)



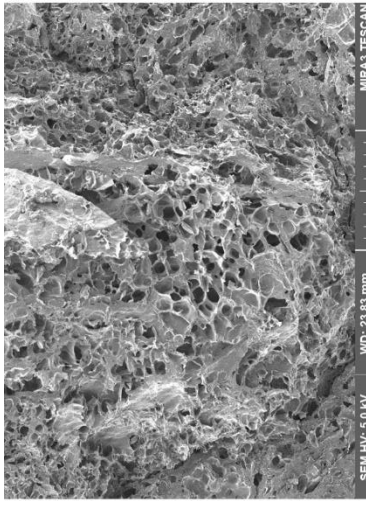
สูตร B (MS 20) + YJ 10%/w/w แบบทอด กำลังขยาย 250X

(c)



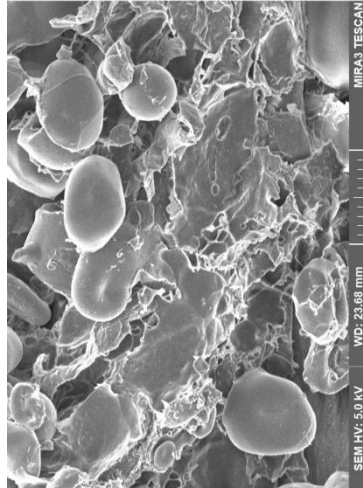
สูตร B (MS 20) + YJ 20%/w/w แบบทอด กำลังขยาย 250X

(d)



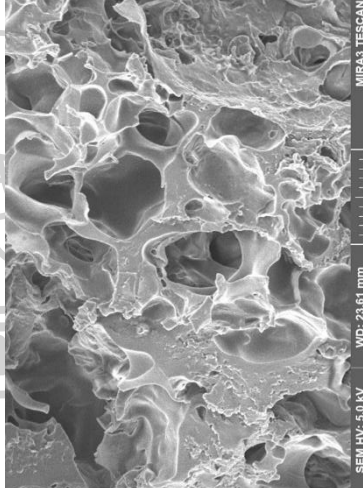
สูตร B (MS 20) + YJ 30%/w/w แบบทอด กำลังขยาย 250X

(e)



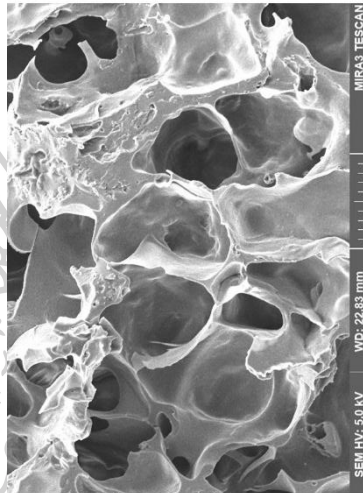
สูตร B (MS 20) แบบทอด กำลังขยาย 2000X

(f)



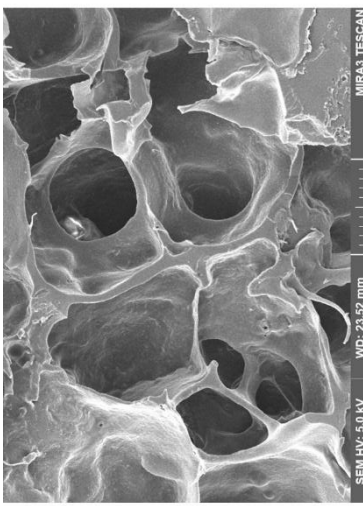
สูตร B (MS 20) + YJ 10%/w/w แบบทอด กำลังขยาย 2000X

(g)



สูตร B (MS 20) + YJ 20%/w/w แบบทอด กำลังขยาย 2000X

(h)

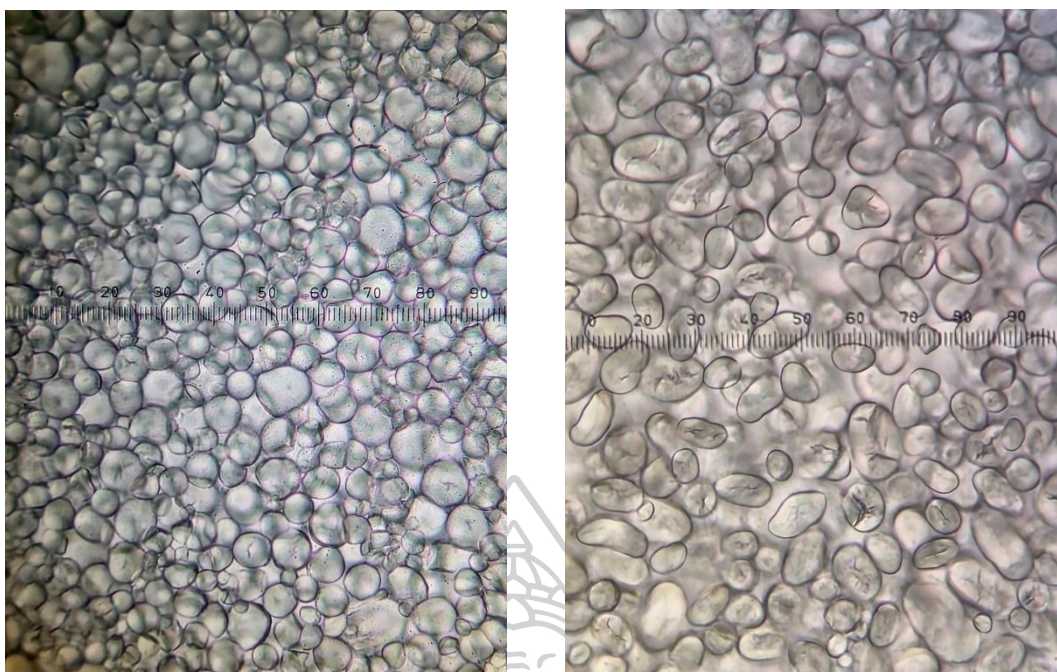


สูตร B (MS 20) + YJ 30%/w/w แบบทอด กำลังขยาย 2000X

**ภาพที่ 21** โครงสร้างทางจุลภาคของลูกชิ้นเลียนแบบเนื้อสัตว์จากพืชแบบทอดที่กำลังขยาย 250X และ 2000X โดยใช้กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (SEM)

ของตัวอย่างที่เติมแป้งมันสำปะหลังตัดแปร 20%/w/w (a,e), แป้งมันสำปะหลังตัดแปร 20%/w/w และขุ่นอ่อน 10%/w/w (b,f), แป้งมันสำปะหลังตัดแปร 20%/w/w และขุ่นอ่อน 20%/w/w (c,g)

และแป้งมันสำปะหลังตัดแปร 20%/w/w และขุ่นอ่อน 30%/w/w (d,h)



(a) แป้งมันสำปะหลังตัดแปรร

(b) แป้งถั่วเขียว

**ภาพที่ 22** โครงสร้างของเม็ดแป้งที่กำลังขยาย 400 เท่า โดยใช้จุลทรรศน์โพลาไรซ์

#### 4.3.3 ผลการทดสอบทางด้านเนื้อสัมผัส

ผลการทดสอบทางด้านเนื้อสัมผัสพบว่าคุณลักษณะด้านเนื้อสัมผัสของลูกชิ้นเลียนแบบเนื้อสัตว์จากพืชรูปแบบต้มเสริมด้วยขนุนอ่อน 3 ระดับ ได้แก่ 10%, 20% และ 30% โดยน้ำหนัก รวมทั้งสูตรควบคุมที่ไม่ได้เสริมด้วยขนุนอ่อน พบว่าคุณลักษณะด้านเนื้อสัมผัสทั้ง 7 ด้าน ได้แก่ Hardness, Adhesiveness, Springiness, Cohesiveness, Gumminess, Chewiness และ gel strength มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ ( $p \leq 0.05$ ) ตามตารางที่ 20 โดยพบว่าเมื่อเสริมด้วยขนุนอ่อนมากขึ้น คุณลักษณะทางด้าน Hardness, Adhesiveness, Gumminess, Chewiness และ gel strength มีแนวโน้มลดลงเมื่อเปรียบเทียบกับสูตรควบคุมที่ไม่ได้มีการเสริมด้วยขนุนอ่อน ยกเว้นในด้าน Springiness และ Cohesiveness พบว่ามีแนวโน้มเพิ่มมากยิ่งขึ้นเมื่อทำการเสริมด้วยขนุนอ่อน ทั้งนี้ผลการทดสอบสามารถยืนยันได้ว่า ขนุนอ่อนสามารถช่วยปรับปรุงคุณสมบัติทางเนื้อสัมผัสได้ดียิ่งขึ้น เนื่องจากขนุนอ่อนเป็นเส้นใยอาหารที่ส่งผลต่อการเชื่อมโยงกันของสายโปรตีนในระหว่างกระบวนการเกิดเจล โดยกลุ่มแอนไฮดรอกซิล (-OH) บนพื้นผิวของเส้นใยอาหารจะลดการเกิดปฏิสัมพันธ์ระหว่างโปรตีน ซึ่งนำไปสู่โครงสร้างโครงข่ายที่มีเสถียรภาพต่ำลง เป็นผลจากปฏิสัมพันธ์ที่มีคุณสมบัติ

ไฮโดรโฟบิกต่ำจึงทำให้เนื้อสัมผัสมีความนุ่ม (Leelawat and Taikerd, 2023) ซึ่งจากงานวิจัยของ Samutsri et al. (2023) ที่ได้ทำการศึกษาคุณลักษณะทางเคมีกายภาพและการยอมรับทางประสาทสัมผัสของลูกชิ้นไก่ที่ใช้ขนุนอ่อน ในด้านการวิเคราะห์เนื้อสัมผัสพบว่าปริมาณขนุนอ่อนที่เพิ่มขึ้นทำให้ความเหนียวและความคงตัวของเนื้อมีค่าลดลง และค่าความแข็ง (hardness) ของลูกชิ้นไก่ลดลง เนื่องจากขนุนอ่อนมีปริมาณความชื้นสูง เมื่อนำมาใช้แทนเนื้ออกไก่ในลูกชิ้นไก่ จะลดความแข็งของลูกชิ้นไก่ โดยผลกระทบจะชัดเจนขึ้นตามปริมาณการแทนที่ที่เพิ่มขึ้น และทำให้ความหนืดของอิมัลชันลดลง เนื่องจากปริมาณขนุนอ่อนสูงทำให้สัดส่วนการเกิดเจลของโปรตีนไมโอไฟบริลลาร์ในเนื้อมีค่าลดลง ส่งผลให้ลูกชิ้นไก่มีความแข็งลดลง เมื่อปริมาณขนุนอ่อนเพิ่มขึ้น ความแข็งและความเหนียวลดลง มีเนื้อสัมผัสที่หวมและนุ่มขึ้น ส่งผลให้มีแรงต้านต่ำในการทดสอบแรงกด (Taikerd and Leelawat, 2023)

**ตารางที่ 20** พารามิเตอร์ด้านเนื้อสัมผัสของตัวอย่างลูกชิ้นเลียนแบบเนื้อสัตว์จากพืชเสริมด้วยขนุนอ่อนเปรียบเทียบกับสูตรควบคุมในรูปแบบต้ม

การทดลอง ตัวอย่าง	พารามิเตอร์ด้านเนื้อสัมผัส						
	Hardness (g)	Adhesiveness (g.sec)	Springiness	Cohesiveness	Gumminess (g)	Chewiness (g)	Gel Strength (g.cm)
Control B (MS 20)	4758.12±132.91 <sup>a</sup>	-140.63±45.17 <sup>b</sup>	0.65±0.01 <sup>b</sup>	0.57±0.02 <sup>b</sup>	2693.14±16.93 <sup>a</sup>	1759.30±21.16 <sup>ab</sup>	825.41±13.32 <sup>a</sup>
B (MS 20) + YJ 10%w/w	4340.82±581.81 <sup>a</sup>	-30.23±30.55 <sup>a</sup>	0.76±0.05 <sup>ab</sup>	0.62±0.01 <sup>a</sup>	2702.12±369.77 <sup>a</sup>	2056.86±378.47 <sup>a</sup>	556.42±48.59 <sup>b</sup>
B (MS 20) + YJ 20%w/w	3473.32±187.98 <sup>b</sup>	-39.55±38.90 <sup>a</sup>	0.78±0.01 <sup>a</sup>	0.64±0.01 <sup>a</sup>	2225.63±104.72 <sup>b</sup>	1740.42±87.92 <sup>ab</sup>	445.53±41.63 <sup>c</sup>
B (MS 20) + YJ 30%w/w	3273.76±603.22 <sup>b</sup>	-42.74±64.44 <sup>a</sup>	0.70±0.10 <sup>ab</sup>	0.64±0.03 <sup>a</sup>	2085.39±293.17 <sup>b</sup>	1466.28±382.90 <sup>b</sup>	414.81±57.17 <sup>c</sup>

หมายเหตุ : อักษรกำกับต่างกันในกลุ่มเดียวกันแสดงว่ามีความแตกต่างกันทางสถิติ ( $p < 0.05$ ) เปรียบเทียบความแตกต่าง โดยวิธี Duncan's Multiple Range Test (DMRT)

ในทำนองเดียวกันการทดสอบทางด้านเนื้อสัมผัสของลูกชิ้นเลียนแบบเนื้อสัตว์จากพืชเสริมด้วยขนุนอ่อนรูปแบบทอดเปรียบเทียบกับสูตรควบคุม พบว่าคุณลักษณะด้านเนื้อสัมผัสทั้ง 5 ด้าน ได้แก่ Hardness, Springiness, Cohesiveness, Gumminess และ Chewiness มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ ( $p \leq 0.05$ ) ตามตารางที่ 21 โดยคุณลักษณะดังกล่าวมีแนวโน้มลดลงเมื่อเสริมด้วยขนุนอ่อนมากขึ้นเช่นเดียวกับรูปแบบต้ม ยกเว้นด้าน Springiness และ Cohesiveness โดยส่วนใหญ่ มักจะพบว่าสูตรที่เสริมด้วยขนุนอ่อน 10% และ 20% โดยน้ำหนัก คือสูตร B (MS 20) + YJ 10%w/w และสูตร B (MS 20) + YJ 20%w/w ตามลำดับนั้น มีค่าพารามิเตอร์ทุกด้านไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ( $P > 0.05$ ) แต่จะแตกต่างจากสูตร Control B (MS 20) และสูตร B (MS 20) + YJ 30%w/w อย่างมีนัยสำคัญ ( $p \leq 0.05$ )

**ตารางที่ 21** พารามิเตอร์ด้านเนื้อสัมผัสของตัวอย่างลูกชิ้นเลียนแบบเนื้อสัตว์จากพืชเสริมด้วยขนุนอ่อนเปรียบเทียบกับสูตรควบคุมในรูปแบบทอด

การทดลองตัวอย่าง	พารามิเตอร์ด้านเนื้อสัมผัส				
	Hardness (g)	Springiness	Cohesiveness	Gumminess (g)	Chewiness (g)
Control B (MS 20)	5626.91 ± 441.46 <sup>a</sup>	0.74 ± 0.00 <sup>b</sup>	0.65 ± 0.02 <sup>c</sup>	3642.65 ± 330.71 <sup>a</sup>	2699.22 ± 249.28 <sup>a</sup>
B (MS 20) + YJ 10%w/w	3684.87 ± 387.52 <sup>b</sup>	0.80 ± 0.04 <sup>a</sup>	0.74 ± 0.01 <sup>a</sup>	2858.13 ± 288.46 <sup>b</sup>	2285.45 ± 179.49 <sup>b</sup>
B (MS 20) + YJ 20%w/w	3661.35 ± 139.88 <sup>bc</sup>	0.85 ± 0.03 <sup>a</sup>	0.73 ± 0.02 <sup>a</sup>	2672.31 ± 153.68 <sup>b</sup>	2259.64 ± 160.05 <sup>b</sup>
B (MS 20) + YJ 30%w/w	3077.13 ± 286.11 <sup>c</sup>	0.74 ± 0.01 <sup>b</sup>	0.68 ± 0.01 <sup>b</sup>	2095.74 ± 223.10 <sup>c</sup>	1551.10 ± 146.17 <sup>c</sup>

หมายเหตุ : อักษรกำกับต่างกันในกลุ่มเดียวกันแสดงว่ามีความแตกต่างกันทางสถิติ ( $p \leq 0.05$ ) เปรียบเทียบความแตกต่าง โดยวิธี Duncan's Multiple Range Test (DMRT)

#### 4.3.4 ผลการทดสอบด้านสีและการหาปริมาณน้ำที่สูญเสีย

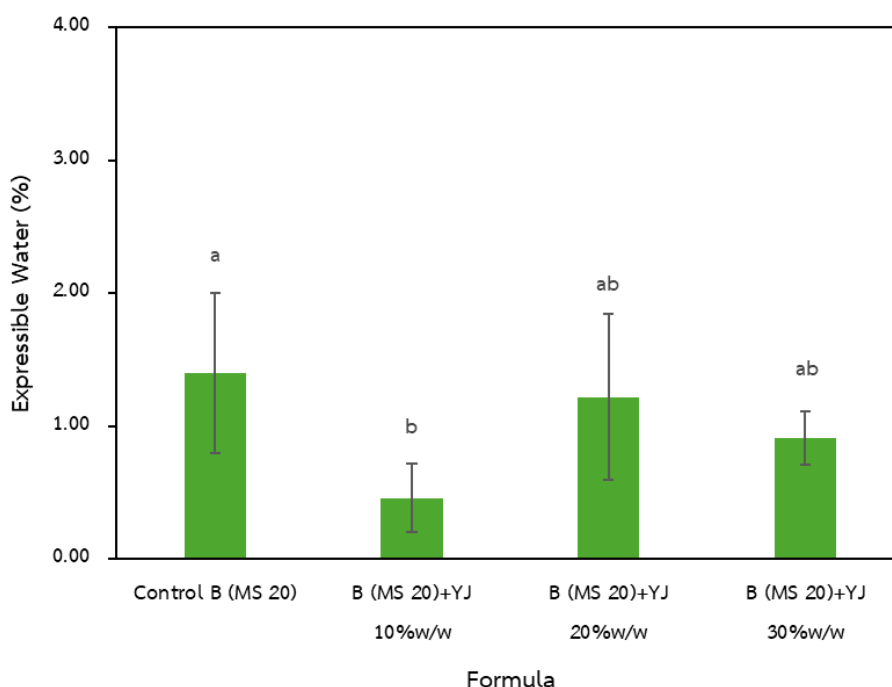
จากผลการทดสอบค่าความสว่าง ( $L^*$ ) ค่าสีแดง ( $a^*$ ) ค่าสีเหลือง ( $b^*$ ) ของตัวอย่างลูกชิ้นเลียนแบบเนื้อสัตว์จากพืชที่ทำการเสริมด้วยขนุนอ่อน 3 ระดับ ได้แก่ สูตร B (MS 20) + YJ 10 %w/w เสริมด้วยขนุนอ่อน 10% โดยน้ำหนัก สูตร B (MS 20) + YJ 20 %w/w เสริมด้วยขนุนอ่อน 20% โดยน้ำหนัก สูตร B (MS 20) + YJ 30%w/w เสริมด้วยขนุนอ่อน 30% โดยน้ำหนัก และสูตร Control B (MS 20) เป็นสูตรควบคุมที่ไม่ได้ทำการเสริมด้วยขนุนอ่อน ทำการวัดค่าสีด้วยเครื่องวัดสีสเปคโตรโฟโตมิเตอร์ (Colorimeter, Konica Minolta, Model CM-5, Japan) แสดงผลดังตารางที่ 22 พบว่าค่าสีแดง ( $a^*$ ) มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ ( $p \leq 0.05$ ) ในส่วนของค่าความสว่าง ( $L^*$ ) และค่าสีเหลือง ( $b^*$ ) ไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ ( $p > 0.05$ ) ทั้งนี้คุณสมบัติโดยธรรมชาติของขนุนอ่อนอาจยังคงมีอยู่ในผลิตภัณฑ์สุดท้าย เนื่องจากปฏิกิริยาเมลลาร์ด การให้ความร้อนจะส่งผลกระทบต่อค่าสีของเนื้อขนุนบด (Samutsri and Thimthud, 2025) ในกระบวนการต้มสุกจึงทำให้เกิดสีแดงม่วงขึ้นในผลิตภัณฑ์ ทั้งนี้เนื่องจากการเกิดออกซิเดชันของ Ascorbic acid ซึ่งถือเป็นสารตั้งต้นที่สำคัญตัวหนึ่งของปฏิกิริยาการทำให้เป็นสีน้ำตาล อาจเป็นปัจจัยที่มีอิทธิพลต่อการเปลี่ยนแปลงสีของผลไม้ นอกจากนี้การเปลี่ยนแปลงของลักษณะสีอาจเกิดจากการสะสมของเม็ดสีที่ทำให้เป็นสีน้ำตาล เช่น ฟลูออโร ไฮดรอกซีเมทิลฟลูออโร (Rahman et al., 2025)

**ตารางที่ 22** พารามิเตอร์ด้านสีของตัวอย่างลูกชิ้นเลียนแบบเนื้อสัตว์จากพืชเสริมด้วยขนุนอ่อน เปรียบเทียบกับสูตรควบคุม

การทดลองตัวอย่าง	พารามิเตอร์ด้านสี		
	$L^*$	$a^*$	$b^*$
Control B (MS 20)	54.35 ± 1.30 <sup>a</sup>	0.10 ± 0.13 <sup>c</sup>	8.87 ± 0.81 <sup>a</sup>
B (MS 20) + YJ 10%w/w	50.41 ± 2.58 <sup>a</sup>	1.30 ± 0.08 <sup>b</sup>	7.79 ± 0.88 <sup>a</sup>
B (MS 20) + YJ 20%w/w	52.52 ± 4.36 <sup>a</sup>	1.14 ± 0.23 <sup>b</sup>	7.43 ± 1.44 <sup>a</sup>
B (MS 20) + YJ 30%w/w	51.05 ± 3.40 <sup>a</sup>	1.58 ± 0.26 <sup>a</sup>	7.64 ± 1.23 <sup>a</sup>

หมายเหตุ : อักษรกำกับต่างกันในกลุ่มเดียวกันแสดงว่ามีความแตกต่างกันทางสถิติ ( $p \leq 0.05$ ) เปรียบเทียบความแตกต่าง โดยวิธี Duncan's Multiple Range Test (DMRT)

จากภาพที่ 23 พบว่าปริมาณการสูญเสียน้ำมีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ ( $p \leq 0.05$ ) และมีค่าลดลงเมื่อเปรียบเทียบระหว่างผลิตภัณฑ์ลูกชิ้นเลียนแบบเนื้อสัตว์ที่มีการเสริมด้วยขนุนอ่อนและสูตรควบคุมที่ไม่ได้เสริมด้วยขนุนอ่อน ทั้งนี้เนื่องจากขนุนอ่อนส่งผลต่อโครงสร้างอิมัลชันของลูกชิ้น ทำให้ให้ระบบอิมัลชันมีความเสถียรมากขึ้น พบว่าการใช้ขนุนดิบแทนไขมันในไก่บดไขมันต่ำช่วยเพิ่มความสามารถในการอุ้มน้ำ (WHC) การละลายเพกตินในขนุนอ่อนจะก่อตัวเป็นโครงสร้างคล้ายเจลที่สามารถกักเก็บน้ำไว้ได้ การกักเก็บความชื้นนี้มีความสำคัญอย่างยิ่งต่อการเพิ่มความชุ่มฉ่ำของผลิตภัณฑ์และคุณภาพทางประสาทสัมผัสโดยรวม (Samutsri and Thimthud, 2025) อย่างไรก็ตามเมื่อปริมาณขนุนอ่อนเพิ่มขึ้น มีแนวโน้มว่าความหนืดของอิมัลชันจะลดลง เนื่องจากปริมาณขนุนอ่อนสูงทำให้สัดส่วนการเกิดเจลของโปรตีนไมโอไฟบริลลารีในเนื้อมีผลลดลง กระบวนการแข็งตัวของโครงสร้างอิมัลชันลดลง (Samutsri et al., 2023) จึงทำให้โครงสร้างเจลอ่อนแอ ความสามารถในการอุ้มน้ำจึงลดลง นำไปสู่การสูญเสียน้ำที่เพิ่มขึ้นเช่นเดียวกับสูตร B (MS 20) + YJ 20 %w/w เสริมด้วยขนุนอ่อน 20% โดยน้ำหนัก และสูตร B (MS 20) + YJ 30%w/w เสริมด้วยขนุนอ่อน 30% โดยน้ำหนัก

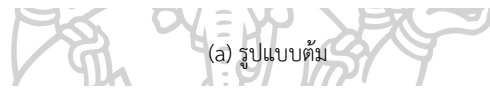
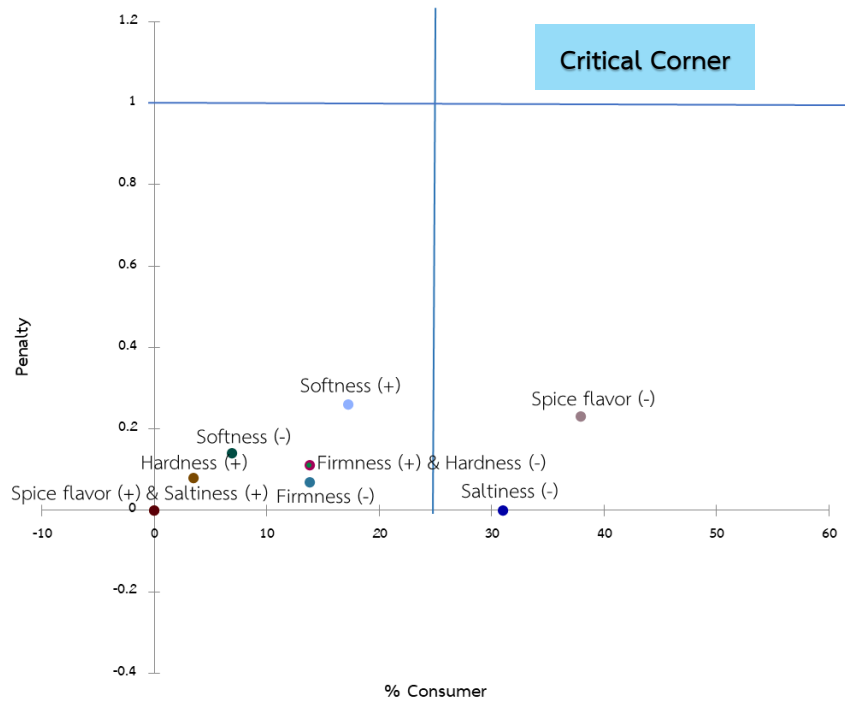


**ภาพที่ 23** แผนภูมิแท่งแสดงปริมาณน้ำที่สูญเสียของตัวอย่างลูกชิ้นเลียนแบบเนื้อสัตว์จากพืชเสริมด้วยขนุนอ่อนเปรียบเทียบกับสูตรควบคุม

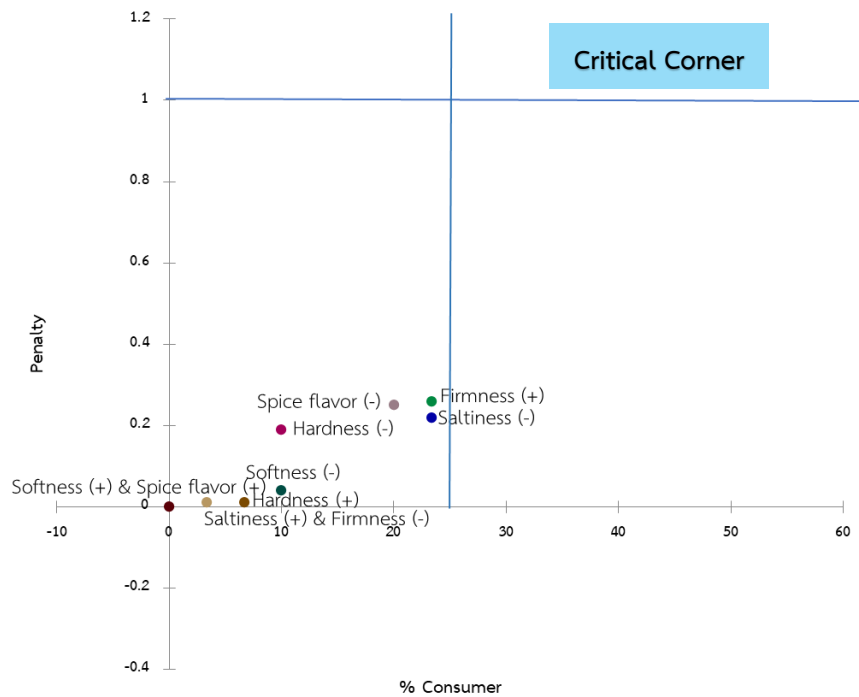
#### 4.3.5 ผลการทดสอบด้านประสาทสัมผัส

ทำการทดสอบทางประสาทสัมผัสจำนวน 3 สูตร ได้แก่ สูตร B (MS 20) + YJ 10 %w/w เสริมด้วยขนุนอ่อน 10% โดยน้ำหนัก สูตร B (MS 20) + YJ 20 %w/w เสริมด้วยขนุนอ่อน 20% โดยน้ำหนักและสูตร B (MS 20) + YJ 30%w/w เสริมด้วยขนุนอ่อน 30% โดยน้ำหนัก โดยผู้ทดสอบจำนวน 30 คน เพื่อศึกษาปริมาณสูงสุดของขนุนอ่อนที่สามารถเสริมลงไปได้ในผลิตภัณฑ์และเป็นที่ยอมรับของผู้บริโภค โดยจากการทดสอบหาความเข้มของคุณลักษณะโดยวิธี Just About Right เมื่อนำข้อมูลร้อยละของผู้ทดสอบ (% Consumer) และค่า penalty มาพล็อตกราฟแบบกระจาย (Scatter plot) ไม่พบคุณลักษณะใดของทั้ง 3 สูตรทั้งในรูปแบบต้มและรูปแบบทอดที่ทำการทดสอบแล้วตกอยู่ในพื้นที่ Critical corner point แสดงดังภาพที่ 24-26 ทั้งนี้เนื่องมาจากการเสริมด้วยขนุนอ่อนมีส่วนช่วยในการปรับปรุงเนื้อสัมผัสให้ดีขึ้น ซึ่งตรงกับความต้องการของตัวแทนผู้บริโภคที่ใช้เป็นกลุ่มตัวอย่างที่มีการทดสอบเพื่อหาทิศทางการปรับปรุงสำหรับการทดลองที่ผ่านไปตามหัวข้อที่ 4.2.4 โดยการทดลองในครั้งนี้นั้นได้ทำการปรับปรุงคุณลักษณะด้านความแข็ง และความยืดหยุ่นของผลิตภัณฑ์เพิ่มมากขึ้น อีกทั้งลดความนิ่มลง



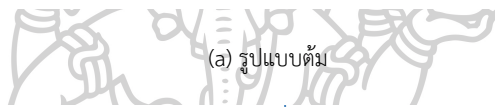
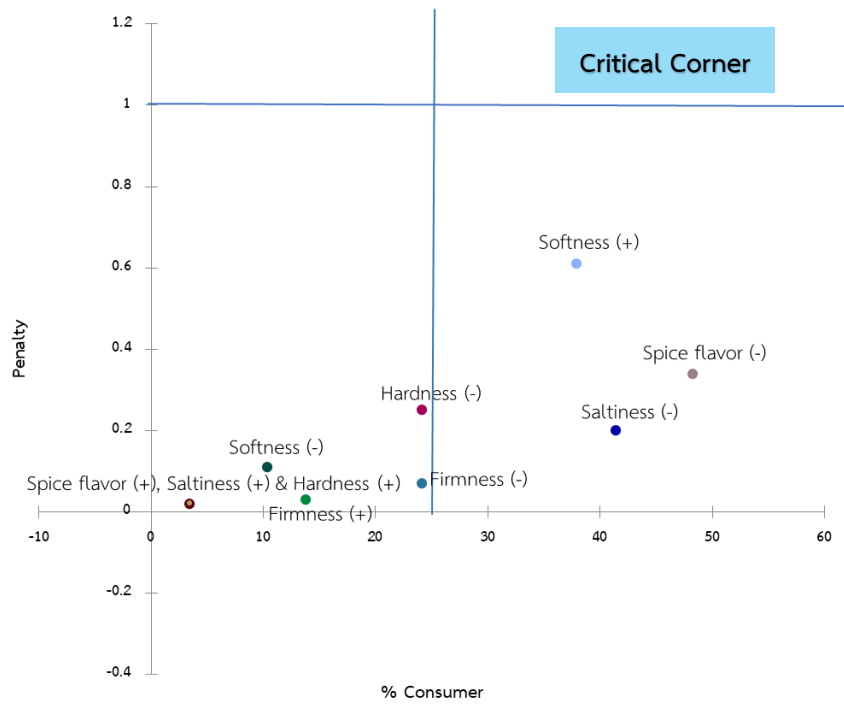


(a) รูปแบบต้ม

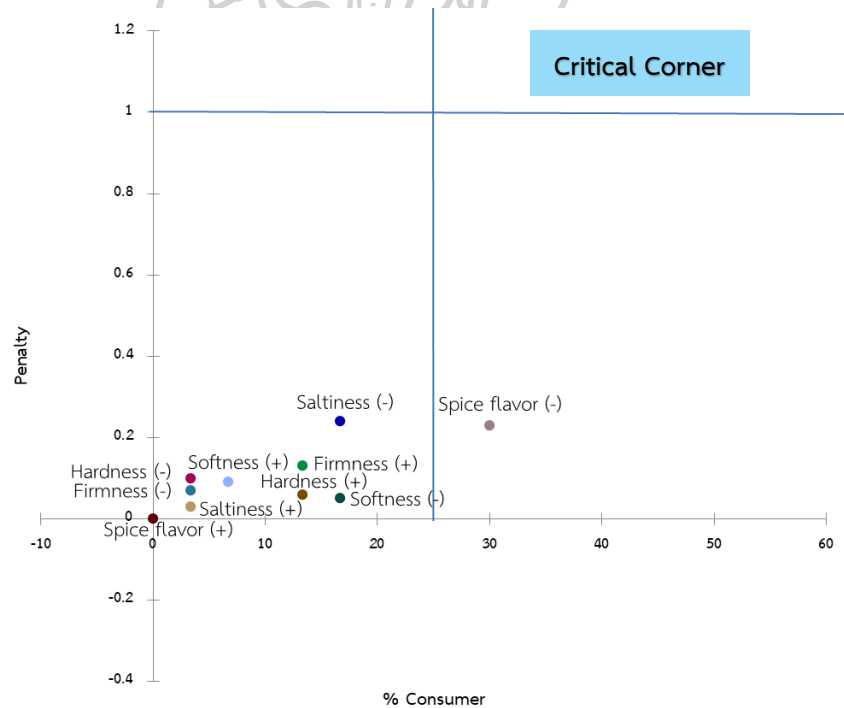


(b) รูปแบบทอด

ภาพที่ 24 กราฟแบบกระจายแสดงค่า penalty สัดส่วนของผู้ทดสอบของคุณลักษณะด้านต่าง ๆ ของลูกชิ้นเลียนแบบเนื้อสัตว์จากพืช เสริมด้วยขนุนอ่อน สูตร B (MS 20) + YJ 10%w/w โดยกำหนดพื้นที่ที่ต้องปรับปรุง (Critical corner) ที่ Penalty  $\geq 1$  และ % Consumer  $\geq 25\%$  โดยรูปแบบต้ม (a) รูปแบบทอด (b) และ (+) = Too much, (-) = Not enough



(a) รูปแบบนุ่ม

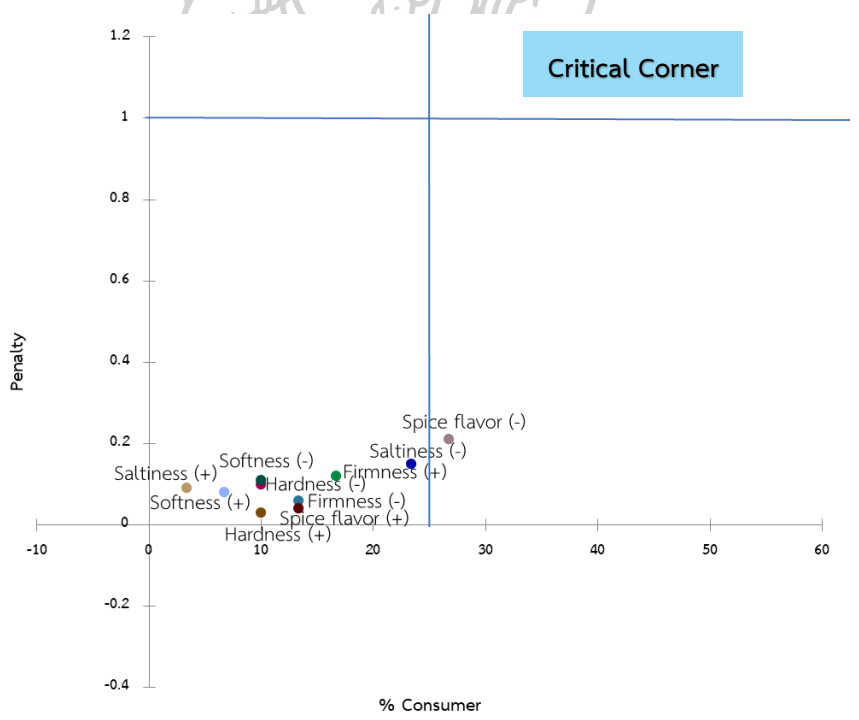
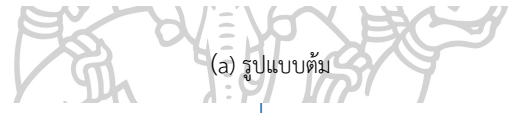
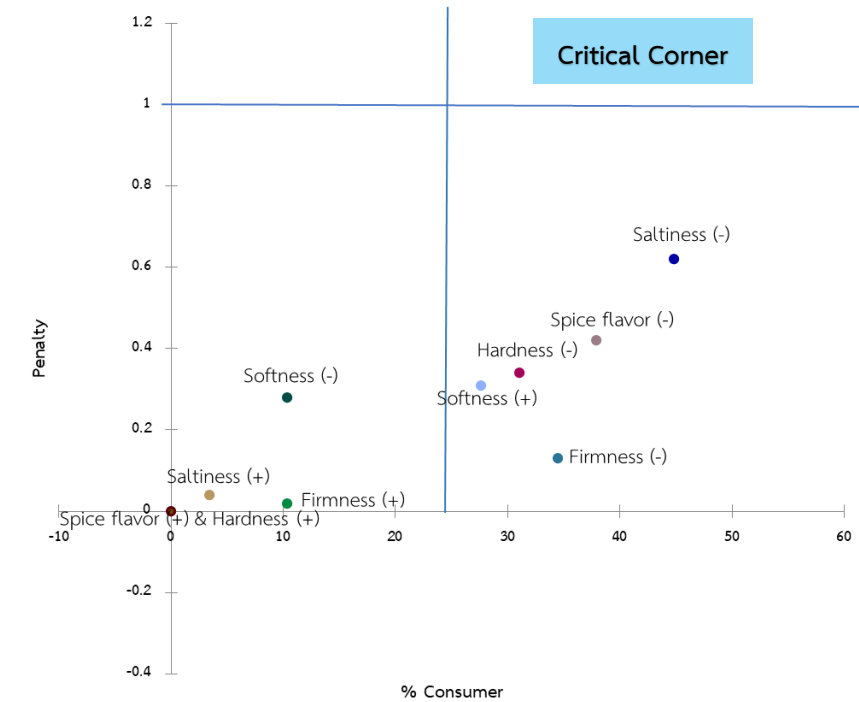


(b) รูปแบบทอด

**ภาพที่ 25** กราฟแบบกระจายแสดงค่า penalty สัดส่วนของผู้ทดสอบของคุณลักษณะด้านต่าง ๆ ของลูกชิ้นเลียนแบบเนื้อสัตว์จากพืช

เสริมด้วยขนุนอ่อน สูตร B (MS 20) + YJ 20%w/w โดยกำหนดพื้นที่ที่ต้องปรับปรุง (Critical corner) ที่ Penalty  $\geq 1$  และ

% Consumer  $\geq 25\%$  โดยรูปแบบนุ่ม (a) รูปแบบทอด (b) และ (+) = Too much, (-) = Not enough



(b) รูปแบบทอด

ภาพที่ 26 กราฟแบบกระจายแสดงค่า penalty สัดส่วนของผู้ทดสอบของคุณลักษณะด้านต่าง ๆ ของลูกชิ้นเลียนแบบเนื้อสัตว์จากพืช เสริมด้วยขนุนอ่อน สูตร B (MS 20) + YJ 30%w/w โดยกำหนดพื้นที่ที่ต้องปรับปรุง (Critical corner) ที่ Penalty  $\geq 1$  และ % Consumer  $\geq 25\%$  โดยรูปแบบต้ม (a) รูปแบบทอด (b) และ (+) = Too much, (-) = Not enough

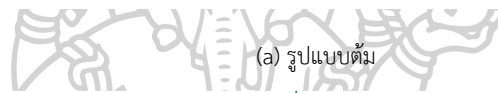
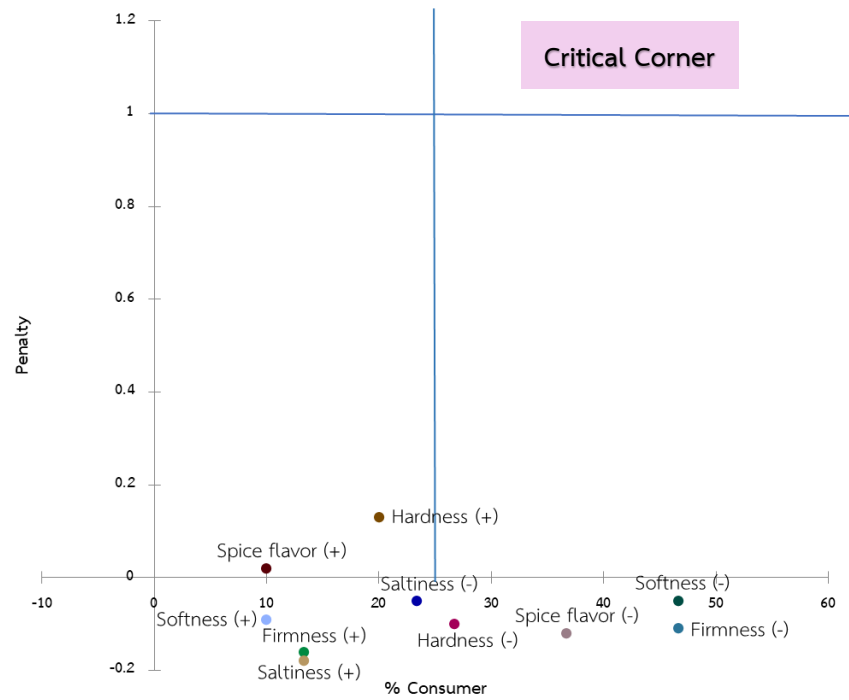
ในด้านความชอบโดยรวมใช้การทดสอบแบบ 9-point hedonic scale สอบถามความชอบโดยรวมของผลิตภัณฑ์ลูกชิ้นเลียนแบบเนื้อสัตว์จากพืชที่เสริมด้วยขนุนอ่อนทั้ง 3 ระดับในรูปแบบต้มและรูปแบบทอด พบว่าคะแนนด้านความชอบทั้ง 3 สูตร มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ ( $p \leq 0.05$ ) คะแนนความชอบโดยรวมแสดงดังตารางที่ 23 พบว่าคะแนนความชอบของผลิตภัณฑ์ในรูปแบบทอดมีคะแนนสูงกว่ารูปแบบต้มเช่นเดียวกับการทดสอบทางประสาทสัมผัสในหัวข้อที่ 4.2.4 เมื่อพิจารณาร่วมกับคะแนนความชอบโดยรวมของการศึกษาก่อนหน้าและยังไม่ได้เสริมด้วยขนุนอ่อนดังตารางที่ 17 พบว่าภายหลังการเสริมด้วยขนุนอ่อนลงในผลิตภัณฑ์ลูกชิ้นเลียนแบบเนื้อสัตว์จากพืชนั้นมีแนวโน้มของคะแนนที่ดีขึ้น โดยเฉพาะรูปแบบทอด ซึ่งมีคะแนนอยู่ในช่วงระหว่าง 6-7 ซึ่งอยู่ในระดับชอบเล็กน้อยจนถึงปานกลาง โดยสูตรที่พัฒนาขึ้นได้รับคะแนนการยอมรับสูงกว่า 5 ในมาตราส่วน 9 point hedonic scale ซึ่งถือว่าอยู่ในระดับที่ยอมรับได้ (Lazaridou et al., 2007) ในขณะที่ Mustapa et al. (2024) ได้ให้นิยามของ 9 point hedonic scale โดยมีช่วงตั้งแต่ 1 (ไม่ชอบมากเกินไป) ถึง 9 (ชอบมากเกินไป) ซึ่งการตีความคะแนนเฉลี่ย: 1-3.00 = ต่ำ 3.01-6.00 = ปานกลาง และ 6.01-9.00 = สูง จากตารางที่ 23 จะเห็นได้ว่าสูตร B (MS 20) + YJ 10% w/w เป็นสูตรที่เสริมขนุนอ่อน 10% โดยน้ำหนัก ได้รับคะแนนความชอบโดยรวมสูงสุดในรูปแบบต้มและรูปแบบทอด ซึ่งในรูปแบบต้มได้คะแนนความชอบโดยรวมที่  $6.10 \pm 1.29$  และรูปแบบทอดได้รับคะแนนความชอบโดยรวมที่  $7.00 \pm 1.36$  ทั้งนี้สูตร B (MS 20) + YJ 20% w/w เสริมขนุนอ่อน 20% โดยน้ำหนัก และสูตร B (MS 20) + YJ 30% w/w เสริมขนุนอ่อน 30% โดยน้ำหนัก ได้รับคะแนนความชอบโดยรวมในลำดับรองลงมา เมื่อพิจารณาผลิตภัณฑ์รูปแบบทอดคะแนนความชอบโดยรวมของทั้ง 3 สูตร อยู่ในเกณฑ์ระดับชอบเล็กน้อยถึงชอบปานกลาง (6-7 คะแนน) แต่หากพิจารณาผลิตภัณฑ์รูปแบบต้มพบว่าสูตร B (MS 20) + YJ 20% w/w และสูตร B (MS 20) + YJ 30% w/w ได้รับคะแนนความชอบโดยรวมในระดับชอบเล็กน้อย (5-6 คะแนน) ดังนั้นหากพิจารณาในแง่ของการนำมาใช้ก็มีความเป็นไปได้ที่จะเสริมขนุนอ่อนได้สูงสุดถึง 30% แต่หากพิจารณาร่วมกับความชื่นชอบของผู้บริโภคอาจมีข้อจำกัดในรูปแบบของการนำไปใช้งานที่ต้องนำไปแปรรูปแบบทอดในการบริโภค

**ตารางที่ 23** คะแนนความชอบโดยรวมของผลิตภัณฑ์ลูกชิ้นเลียนแบบเนื้อสัตว์จากพืชในการทดลองศึกษาปริมาณสูงสุดของขนุนอ่อนที่สามารถเสริมลงไปได้ในผลิตภัณฑ์

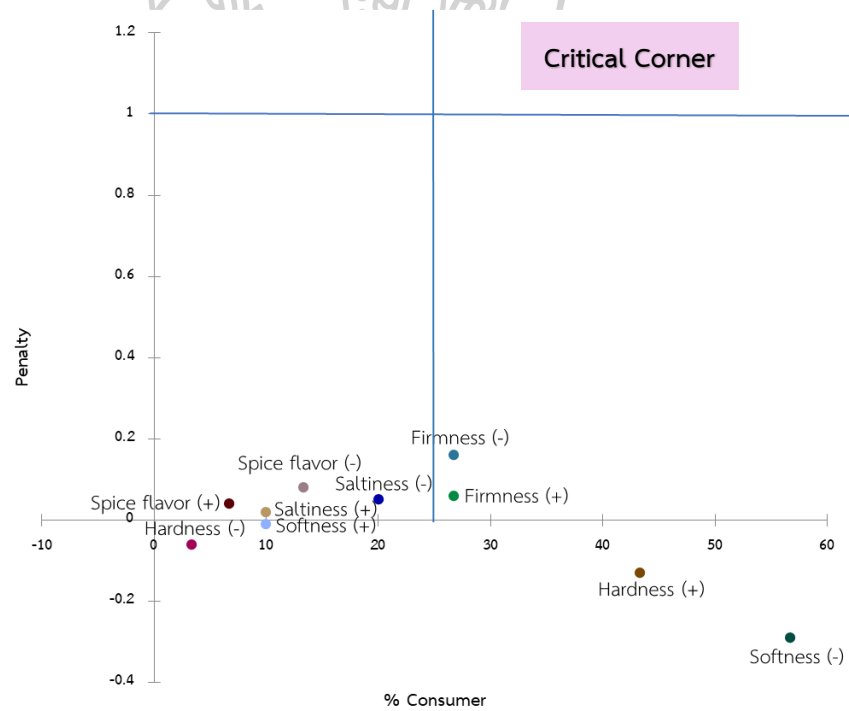
คุณลักษณะ	สูตร		
	B (MS 20) + YJ 10%w/w	B (MS 20) + YJ 20%w/w	B (MS 20) + YJ 30%w/w
ความชอบโดยรวม (แบบต้ม)	6.10 ± 1.29 <sup>a</sup>	5.34 ± 1.37 <sup>b</sup>	5.41 ± 1.48 <sup>b</sup>
ความชอบโดยรวม (แบบทอด)	7.00 ± 1.36 <sup>a</sup>	6.77 ± 1.43 <sup>ab</sup>	6.53 ± 1.17 <sup>b</sup>

**หมายเหตุ :** อักษรกำกับต่างกันแถวเดียวกันแสดงว่ามีความแตกต่างกันทางสถิติ ( $p \leq 0.05$ ) เปรียบเทียบความแตกต่าง โดยวิธี Duncan's Multiple Range Test (DMRT)

จากการทดลองเพื่อศึกษาปริมาณสูงสุดของขนุนอ่อนที่สามารถเสริมลงไปได้ในผลิตภัณฑ์และเป็นที่ยอมรับของผู้บริโภคดังที่กล่าวมาข้างต้น จึงใช้เกณฑ์คะแนนความชอบโดยรวมของผลิตภัณฑ์ในรูปแบบทอดเป็นหลัก พบว่าคะแนนความชอบโดยรวมของสูตร B (MS 20) + YJ 10% w/w และสูตร B (MS 20) + YJ 20% w/w ไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ ( $p > 0.05$ ) ดังนั้นจึงนำมาทดสอบทางประสาทสัมผัสร่วมกับสูตร B (MS 20) ซึ่งเป็นสูตรควบคุมที่ไม่ได้ทำการเสริมด้วยขนุนอ่อน เพื่อเปรียบเทียบการยอมรับของผู้บริโภค และเป็นข้อมูลสำหรับประเมินศักยภาพในการปรับปรุงเนื้อสัมผัสหรือเสริมคุณค่าของผลิตภัณฑ์ลูกชิ้นเลียนแบบเนื้อสัตว์ เมื่อทำการทดสอบทางประสาทสัมผัสจำนวน 3 สูตร ได้แก่ สูตร B (MS 20) ซึ่งเป็นสูตรควบคุมที่ไม่ได้ทำการเสริมด้วยขนุนอ่อน สูตร B (MS 20) + YJ 10 %w/w เสริมด้วยขนุนอ่อน 10% โดยน้ำหนัก และ สูตร B (MS 20) + YJ 20 %w/w เสริมด้วยขนุนอ่อน 20% โดยน้ำหนัก จากการทดสอบหาความเข้มของคุณลักษณะโดยวิธี Just About Right เมื่อนำข้อมูลร้อยละของผู้ทดสอบ (% Consumer) และค่า penalty มาพล็อตกราฟแบบกระจาย (Scatter plot) ไม่พบคุณลักษณะใดของทั้ง 3 สูตรทั้งในรูปแบบต้มและรูปแบบทอดที่ทำการทดสอบแล้วตกอยู่ในพื้นที่ Critical corner point ที่จะต้องมีการปรับปรุง ซึ่งสอดคล้องกับการทดลองในครั้งก่อนหน้า กราฟแบบกระจายแสดงดังภาพที่ 27-29

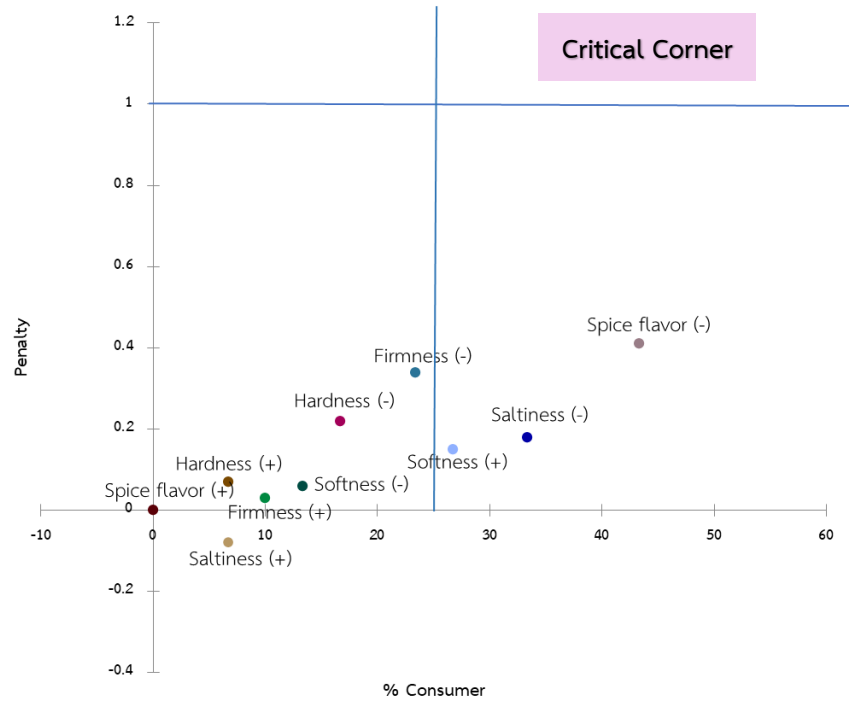


(a) รูปแบบเต็ม

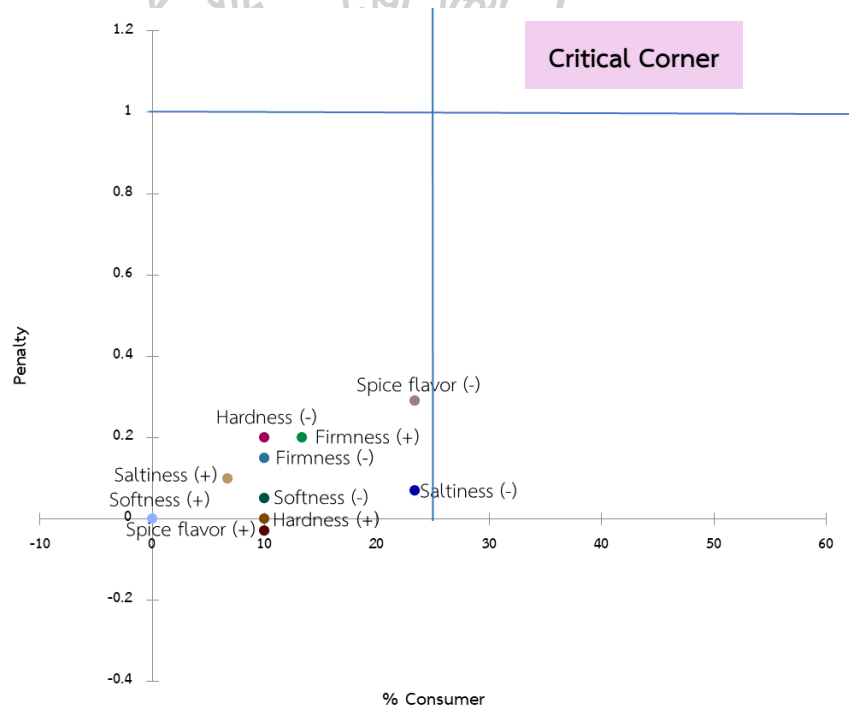


(b) รูปแบบทอด

ภาพที่ 27 กราฟแบบกระจายแสดงค่า penalty สัดส่วนของผู้ทดสอบของคุณลักษณะด้านต่าง ๆ ของลูกชิ้นเลียนแบบเนื้อสัตว์จากพืช สูตรควบคุม B (MS 20) โดยกำหนดพื้นที่ที่ต้องปรับปรุง (Critical corner) ที่ Penalty  $\geq 1$  และ % Consumer  $\geq 25\%$  โดยรูปแบบเต็ม (a) รูปแบบทอด (b) และ (+) = Too much, (-) = Not enough

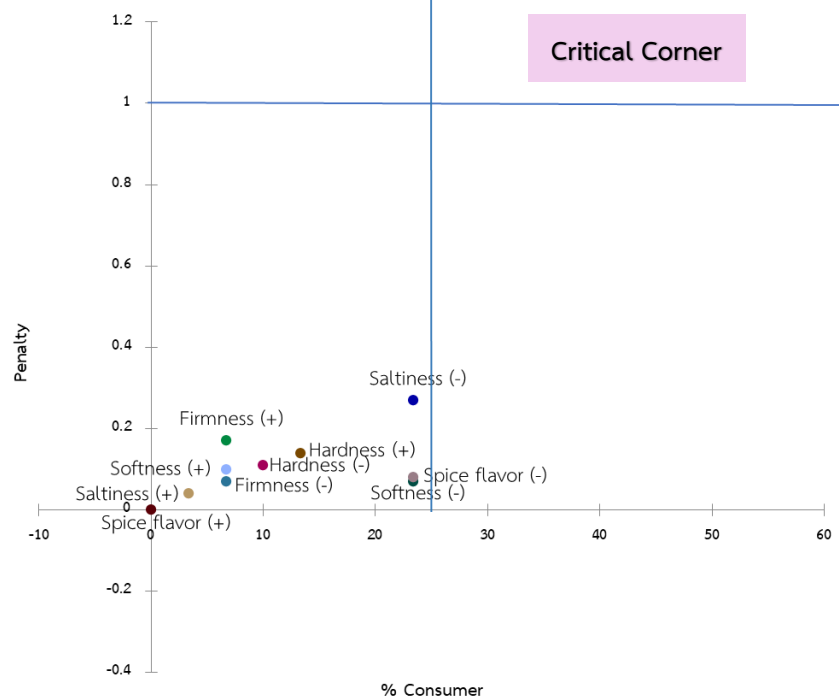
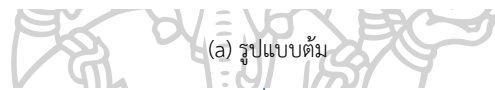
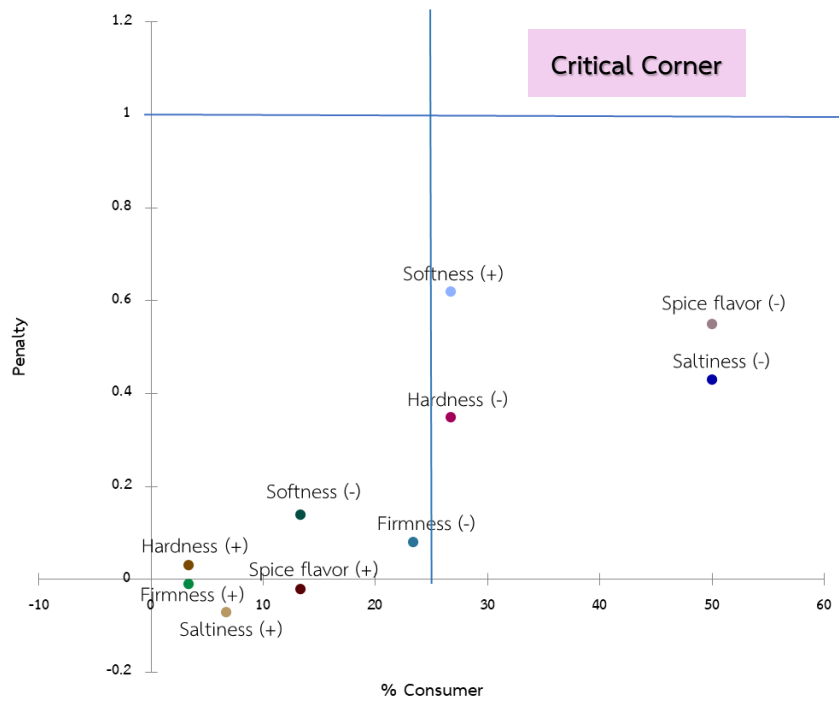


(a) รูปแบบต้ม



(b) รูปแบบทอด

**ภาพที่ 28** กราฟแบบกระจายแสดงค่า penalty สัดส่วนของผู้ทดสอบของคุณลักษณะด้านต่าง ๆ ของลูกชิ้นเลียนแบบเนื้อสัตว์จากพืชเสริมด้วยขนุนอ่อน สูตร B (MS 20) + YJ 10%w/w (ทดสอบเทียบกับสูตรควบคุม) โดยกำหนดพื้นที่ที่ต้องปรับปรุง (Critical corner) ที่  $Penalty \geq 1$  และ  $\% Consumer \geq 25\%$  โดยรูปแบบต้ม (a) รูปแบบทอด (b) และ (+) = Too much, (-) = Not enough



(b) รูปแบบทอด

**ภาพที่ 29** กราฟแบบกระจายแสดงค่า penalty สัดส่วนของผู้ทดสอบของคุณลักษณะด้านต่าง ๆ ของลูกชิ้นเลียนแบบเนื้อสัตว์จากพืช เสริมด้วยขนุนอ่อน สูตร B (MS 20) + YJ 20%w/w (ทดสอบเทียบกับสูตรควบคุม) โดยกำหนดพื้นที่ที่ต้องปรับปรุง (Critical corner) ที่ Penalty  $\geq 1$  และ % Consumer  $\geq 25\%$  โดยรูปแบบต้ม (a) รูปแบบทอด (b) และ (+) = Too much, (-) = Not enough

ด้านความชอบโดยรวมใช้การทดสอบแบบ 9-point hedonic scale สอบถามความชอบโดยรวมของผลิตภัณฑ์ลูกชิ้นเลียนแบบเนื้อสัตว์จากพืชสูตรควบคุม และสูตรที่เสริมด้วยขนุนอ่อน 10% และ 20% โดยน้ำหนักทั้งในรูปแบบต้มและรูปแบบทอด พบว่าคะแนนด้านความชอบทั้ง 3 สูตรมีความแตกต่างกันมีนัยสำคัญ ( $p \leq 0.05$ ) คะแนนความชอบโดยรวมแสดงดังตารางที่ 24 และคะแนนความชอบของผลิตภัณฑ์ในรูปแบบทอด มีคะแนนสูงกว่ารูปแบบต้ม ทั้งนี้เนื่องจากเนื้อสัมผัสของอาหารทอดคือคุณลักษณะคุณภาพหลัก สำหรับผลิตภัณฑ์หลายประเภท การให้ความร้อนไม่เพียงแต่ช่วยฆ่าเชื้อจุลินทรีย์ แต่ยังเปลี่ยนผลิตภัณฑ์ให้อยู่ในรูปแบบที่สามารถเคี้ยวและกลืนได้ ผักทอดหลายชนิดจัดอยู่ในหมวดหมู่นี้ โดยเฉพาะผักที่มีปริมาณแป้งสูง ความร้อนช่วยให้แป้งเกิดเจลลาตินไนซ์ และทำให้เนื้อเยื่อคลายตัว โดยเฉพาะบริเวณลามีนากลาง เนื้อเยื่อจะเริ่มนุ่มลง และเมื่ออุณหภูมิสูงขึ้นถึง 60–70°C ในขณะที่ยังคงมีปริมาณความชื้นอยู่มากจากนั้นเปลือกแข็งจะก่อตัวขึ้นเมื่อปริมาณความชื้นลดลง และเปลือกเข้าสู่สถานะคล้ายแก้ว เกิดความกรอบที่บริเวณผิวหน้า กระบวนการทอดสามารถเพิ่มความแข็งของเนื้อ โครงสร้างของเนื้อมีความสามารถในการอุ้มน้ำดีขึ้น และสามารถเคี้ยวได้ง่ายขึ้น ในระหว่างการทอดรูพรุนเกิดมากขึ้น และมีแนวโน้มที่จะเปลี่ยนไปสู่ขนาดที่ใหญ่ขึ้น การเกิดรูพรุนในชั้นผิวช่วยให้โครงสร้างนี้คงตัวเมื่อเข้าสู่สถานะคล้ายแก้ว หากไม่มีช่องว่างเพียงพอวัสดุอาจดูแข็งมากกว่ากรอบ (Kerr, 2017) ดังนั้นเมื่อพิจารณาร่วมกับภาพถ่ายโครงสร้างทางจุลภาคของลูกชิ้นเลียนแบบเนื้อสัตว์จากพืชในรูปแบบต้ม จากภาพที่ 20 โดยก่อนการนำไปทอดจะสังเกตเห็นรูพรุนเป็นจำนวนมากเมื่อทำการเสริมด้วยขนุนอ่อน ซึ่งคาดว่าจะเกิดเจลลาตินไนซ์ของแป้งอย่างสมบูรณ์ จึงอาจเป็นสาเหตุที่ผู้บริโภคส่วนใหญ่ชื่นชอบตัวอย่างผลิตภัณฑ์ลูกชิ้นเลียนแบบเนื้อสัตว์จากพืชที่เสริมด้วยขนุนอ่อนในรูปแบบทอดมากกว่า ทั้งนี้การเกิดเจลลาตินไนซ์ของแป้งยังส่งผลกระทบต่อโครงสร้างภายในของผลิตภัณฑ์โดยแป้งที่ผ่านการเจลลาตินไนซ์กลายเป็นส่วนหนึ่งของโครงข่ายโซล-เจล (sol-gel network) และโครงสร้างมวลโมเลกุลสูญเสียความเป็นผลึก จึงทำให้ผนังเซลล์มีแนวโน้มบางลงเนื่องจากแป้งที่ผ่านการเจลลาตินไนซ์จะกลายเป็นเจลที่มีโครงสร้างคล้ายร่างแห โดยอาหารที่มีแป้งเป็นองค์ประกอบจะเริ่มต้นด้วยเนื้อสัมผัสที่ร่วนและหยาบจะกลายเป็นฉ่ำและนุ่มขึ้นหลังจากเกิดการเจลลาตินไนซ์ ซึ่งสอดคล้องกับคะแนนความชอบโดยรวมที่ผู้บริโภคทำการทดสอบ โดยเมื่อทำการเสริมด้วยขนุนอ่อนด้วยปริมาณที่มากขึ้นจะส่งผลให้ผลิตภัณฑ์มีลักษณะฉ่ำขึ้นและอาจมีความนุ่มมากเกินไป จึงทำให้ผู้บริโภคมีความชื่นชอบน้อยลง

**ตารางที่ 24** คะแนนความชอบโดยรวมของผลิตภัณฑ์ลูกชิ้นเลียนแบบเนื้อสัตว์จากพืชเสริมด้วยขนุน ก่อนเทียบกับสูตรควบคุม

คุณลักษณะ	สูตร		
	Control B (MS 20)	B (MS 20) + YJ 10%w/w	B (MS 20) + YJ 20%w/w
ความชอบโดยรวม (แบบต้ม)	5.60 ± 1.13 <sup>b</sup>	6.23 ± 1.33 <sup>a</sup>	5.57 ± 1.45 <sup>b</sup>
ความชอบโดยรวม (แบบทอด)	5.50 ± 0.82 <sup>b</sup>	7.13 ± 1.28 <sup>a</sup>	6.83 ± 1.23 <sup>a</sup>

**หมายเหตุ :** อักษรกำกับต่างกันในแถวเดียวกันแสดงว่ามีความแตกต่างกันทางสถิติ ( $p \leq 0.05$ ) เปรียบเทียบความแตกต่าง โดยวิธี Duncan's Multiple Range Test (DMRT)

ดังนั้นผลิตภัณฑ์ลูกชิ้นเลียนแบบเนื้อสัตว์จากพืชที่ได้รับการยอมรับจากผู้บริโภคสูงสุด มีส่วนผสม ดังนี้ กลูเตนข้าวสาลี 24.04% โปรตีนถั่วเหลือง 16.03% แป้งมันสำปะหลังดัดแปร 16.03% น้ำแข็ง 16.03% ขนุนอ่อน 8.01% เนยขาว 6.41% น้ำตาลทราย 2.80% แป้งถั่วเขียว 2.40% ซีอิ๊วขาว 2.40% ผงปรุงกลิ่นรส 1.44% ผงบุก 1.2% คาราจีแนน 0.80% อินูลิน 0.80% เกลือ 0.64% ฟริกไทยดำป่น 0.40% โซเดียมไบคาร์บอเนต 0.40% และโซเดียมไตรโพลีฟอสเฟต 0.16%

#### 4.3.6 ผลการวิเคราะห์ปริมาณของสารประกอบหลักในอาหาร (Proximate analysis)

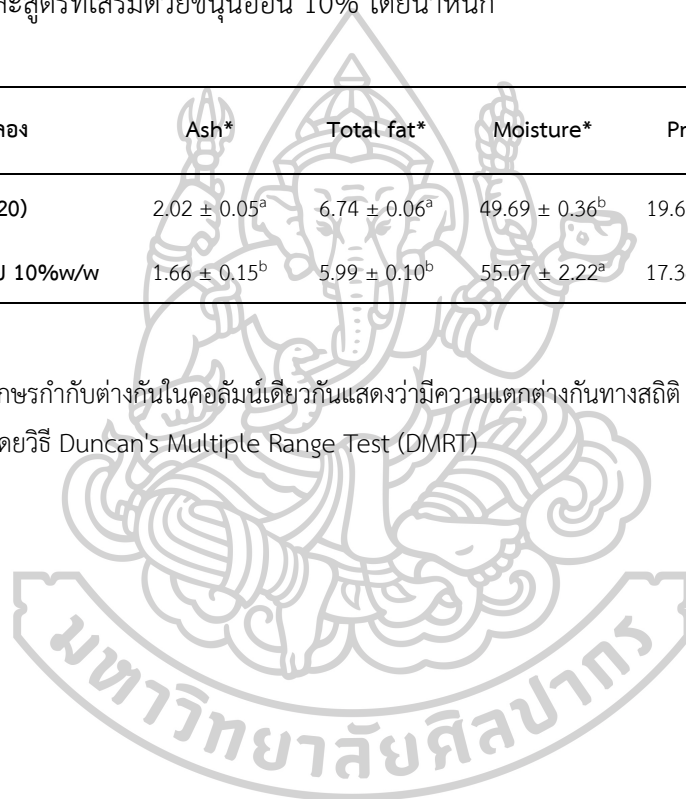
จากการประเมินทางประสาทสัมผัสในหัวข้อ 4.3.5 ลูกชิ้นเลียนแบบเนื้อสัตว์จากพืชที่ทำการเสริมด้วยขนุนอ่อน 10% โดยน้ำหนัก ตามสูตร B (MS 20) + YJ 10% w/w ได้รับคะแนนความชอบโดยรวมสูงสุดทั้งในรูปแบบต้มและรูปแบบทอด จึงนำสูตรดังกล่าวมาวิเคราะห์ปริมาณสารประกอบหลักที่เปลี่ยนแปลงไปเปรียบเทียบกับสูตรควบคุม B (MS 20) ที่ไม่ได้มีการเสริมด้วยขนุนอ่อน แสดงผลดังตารางที่ 25 ซึ่งจะพบว่าตัวอย่างทั้ง 2 มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ ( $p \leq 0.05$ ) ทั้งในด้านเถ้า (Ash) ไขมันทั้งหมด (Total fat) ความชื้น (Moisture) โปรตีน (Protein) และใยอาหาร (Total dietary fiber) โดยพบว่า Ash, Total fat, Protein และ Total dietary fiber นั้นแนวโน้มลดลงเมื่อเพิ่มขนุนอ่อน ซึ่งโดยปกติแล้วแนวโน้มของ Protein และ Total dietary fiber นั้นควรจะสูงขึ้น แต่อาจเนื่องจากปริมาณขนุนอ่อนที่ทำการเสริมลงไปนั้น มีปริมาณต่ำ จึงไม่เกิดการเปลี่ยนแปลงที่มีแนวโน้มมากขึ้น ทั้งนี้พบว่าความชื้นของผลิตภัณฑ์มีค่าสูงขึ้นเมื่อเสริมด้วยขนุนอ่อน ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยของ Ismail-Fitry and Abas (2018) พบว่าการใช้ขนุนอ่อนทดแทนไขมันใน

ไก่อัดไขมันต่ำช่วยเพิ่มความสามารถในการอุ้มน้ำ (WHC) ความชื้น และปริมาณโปรตีน พร้อมกับลดปริมาณไขมัน โดยรวมแล้ว ไขมันอ่อนเป็นตัวเลือกที่มีประสิทธิภาพและน่าสนใจในการใช้แทนไขมัน นอกจากนี้ โครงสร้างเส้นใยของขนุนดิบช่วยให้สามารถเลียนแบบเนื้อสัมผัสของเนื้อสัตว์ได้ ทำให้เป็นวัตถุดิบที่น่าสนใจสำหรับผลิตภัณฑ์อาหารจากพืชทดแทนเนื้อสัตว์ เช่น ลูกชิ้น (Elleuch et al., 2011; Sharma et al., 2016)

**ตารางที่ 25** ผลการวิเคราะห์ปริมาณสารประกอบหลักในอาหารของลูกชิ้นเลียนแบบเนื้อสัตว์จากพืช สูตรควบคุมและสูตรที่เสริมด้วยไขมันอ่อน 10% โดยน้ำหนัก

สูตรทดลอง	Ash*	Total fat*	Moisture*	Protein*	Total Dietary Fiber*
B (MS 20)	2.02 ± 0.05 <sup>a</sup>	6.74 ± 0.06 <sup>a</sup>	49.69 ± 0.36 <sup>b</sup>	19.67 ± 0.12 <sup>a</sup>	4.54 ± 0.08 <sup>a</sup>
B (MS 20) + YJ 10%w/w	1.66 ± 0.15 <sup>b</sup>	5.99 ± 0.10 <sup>b</sup>	55.07 ± 2.22 <sup>a</sup>	17.34 ± 0.76 <sup>b</sup>	4.28 ± 0.12 <sup>b</sup>

หมายเหตุ : อักษรกำกับต่างกันในกลุ่มเดียวกันแสดงว่ามีความแตกต่างกันทางสถิติ ( $p \leq 0.05$ ) เปรียบเทียบความแตกต่าง โดยวิธี Duncan's Multiple Range Test (DMRT)



## บทที่ 5 สรุปผลการดำเนินงาน

จากการทดลองเพื่อหาอัตราส่วนที่เหมาะสมของปริมาณโปรตีนถั่วเหลืองต่อปริมาณกลูเตนข้าวสาลีที่เป็นผลิตภัณฑ์ต้นแบบตามแผนการทดลองแบบ D-optimal พบว่าตัวแปรต้นทั้ง 2 ส่งผลต่อความยากง่ายในการเคี้ยวตัวอย่าง (Chewiness) ซึ่งมีความสัมพันธ์แบบ Quadratic ส่วนแรกในการเคี้ยวให้แตกตัวจนถึงสภาวะที่จะกลืนได้ (Gumminess) มีความสัมพันธ์แบบ Linear และปริมาณน้ำที่สูญเสีย (Express water) มีความสัมพันธ์แบบ Cubic จากการทำนายโดยใช้สมการความสัมพันธ์ดังกล่าว พบว่าอัตราส่วนที่มีแนวโน้มในความเป็นไปได้ที่จะนำไปพัฒนาต่อได้แก่ ปริมาณโปรตีนถั่วเหลืองต่อปริมาณกลูเตนข้าวสาลีเท่ากับ 20.0 : 30.0 ซึ่งเมื่อนำไปศึกษาต่อโดยใช้สารปรับปรุงเนื้อสัมผัสระหว่างแป้งมันสำปะหลังตัดแปรและผงบุก พบว่าที่ปริมาณ 10 : 1.5% โดยน้ำหนัก ได้คะแนนความชอบโดยรวมสูงที่สุดทั้งตัวอย่างในรูปแบบต้มและทอด แต่ยังคงต้องปรับปรุงลักษณะเนื้อสัมผัสให้มีความแข็งและความแน่นเนื้อเพิ่มขึ้น โดยทำการปรับเพิ่มปริมาณแป้งมันสำปะหลังเป็น 20% โดยน้ำหนักและใช้ผงบุกคงเดิมที่ 1.5% โดยน้ำหนัก เป็นสูตรตั้งต้นสำหรับการเสริมด้วยขนุนอ่อน พบว่าปริมาณขนุนอ่อนที่สามารถเสริมลงในผลิตภัณฑ์ คือ 10% โดยน้ำหนัก ซึ่งได้รับคะแนนเฉลี่ยจากการประเมินตามวิธี 9-point hedonic scale ด้านความชอบโดยรวมสูงสุด ผลิตภัณฑ์ในรูปแบบต้มได้รับคะแนนเฉลี่ยที่  $6.23 \pm 1.33$  ผลิตภัณฑ์ในรูปแบบทอดได้รับคะแนนเฉลี่ยที่  $7.13 \pm 1.28$  ทั้งนี้จากการวิเคราะห์ปริมาณสารประกอบหลักของลูกชิ้นเลียนแบบเนื้อสัตว์จากพืชสูตรควบคุมและสูตรที่เสริมด้วยขนุนอ่อน 10% โดยน้ำหนักพบว่าขนุนอ่อนมีศักยภาพในการปรับปรุงเนื้อสัมผัสของลูกชิ้นเลียนแบบเนื้อสัตว์จากพืช มีความสามารถในการอุ้มน้ำ ซึ่งสอดคล้องกับภาพถ่ายโครงสร้างทางจุลภาค เนื่องจากความชื้นที่สูงขึ้นในผลิตภัณฑ์ที่ได้มาจากน้ำที่กักเก็บอยู่ภายในเซลล์ของขนุนอ่อน ส่งผลให้มีน้ำในระบบมากขึ้น แป้งจึงเกิดการเจลาติไนซ์โดยสมบูรณ์เกิดเป็นรูพรุนชัดเจน และมีแนวโน้มที่ผนังเซลล์ระหว่างรูพรุนจะมีลักษณะบางลงเมื่อเสริมด้วยขนุนอ่อนมากขึ้นเนื่องมาจากปริมาณน้ำที่มากขึ้นส่งผลให้กระบวนการแข็งตัวของโครงสร้างอิมัลชันลดลง ทั้งนี้การเสริมด้วยขนุนอ่อนไม่ได้มีข้อได้เปรียบในด้านโภชนาการ เนื่องจากสามารถเสริมได้เพียง 10% โดยน้ำหนัก แต่มีข้อได้เปรียบได้ด้านการปรับปรุงเนื้อสัมผัส

## รายการอ้างอิง

- Aguilera, J. M., Cadoche, L., López, C., & Gutierrez, G. (2001). Microstructural changes of potato cells and starch granules heated in oil. *Food Research International*, 34(10), 939-947. doi:[http://doi.org/10.1016/s0963-9969\(01\)00118-1](http://doi.org/10.1016/s0963-9969(01)00118-1)
- Amini Sarteshnizi, R., Hosseini, H., Mousavi Khaneghah, A., & Karimi, N. (2015). A review on application of hydrocolloids in meat and poultry products. *International Food Research Journal*, 22(3), 872-887.
- Asokapandian, S., Swamy, G. J., & Hajjul, H. (2019). Deep fat frying of foods: A critical review on process and product parameters. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, 60(20), 3400-3413. doi:<http://doi.org/10.1080/10408398.2019.1688761>
- Babic, J., Subaric, D., Ackar, D., Kovacevic, D., Pilizota, V., & Kopjar, M. (2007). Preparation and Characterization of Acetylated Tapioca Starches. *Originalarbeiten*, 580-585.
- Balange, A., & Benjakul, S. (2009). Enhancement of gel strength of bigeye snapper (*Priacanthus tayenus*) surimi using oxidised phenolic compounds. *Food Chemistry*, 113, 61-70. doi:<http://doi.org/10.1016/j.foodchem.2008.07.039>
- Chao, W., Mei, X., Wen-ping, L. V., Pei, Q., Yuan-yuan, G., & Dong-sheng, L. (2012). Study on Rheological Behavior of Konjac Glucomannan. *Physics Procedia*, 33, 25-30. doi:<http://doi.org/10.1016/j.phpro.2012.05.026>
- Chen, D., Jones, O. G., & Campanella, O. H. (2023). Plant protein-based fibers: Fabrication, characterization, and potential food applications. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, 63(20), 4554-4578. doi:<https://doi.org/10.1080/10408398.2021.2004991>
- Chen, J., Deng, T., Wang, C., Mi, H., Yi, S., Li, X., & Li, J. (2020). Effect of hydrocolloids on gel properties and protein secondary structure of silver carp surimi. *Journal of the Science of Food and Agriculture* 100, 2252-2260. doi:<https://doi.org/10.1002/jsfa.10254>
- Chhuneja, P., & Arora, J. K. (2020). Exploring genetic variability for developing celiac disease safe wheat. In *Wheat and Barley Grain Biofortification* (pp. 183-202).

- Cortez-Vega, W. R., Fonseca, G. G., & Prentice, C. (2013). Optimization of parameters for obtaining surimi-like material from mechanically separated chicken meat using response surface methodology. *Food Scientists & Technologists*. doi:<http://doi.org/10.1007/s13197-013-1056-1>
- da Silva, V. T., Mateus, N., de Freitas, V., & Fernandes, A. (2024). Plant-Based Meat Analogues: Exploring Proteins, Fibers and Polyphenolic Compounds as Functional Ingredients for Future Food Solutions. *Foods* 2024, 13. doi:<https://doi.org/10.3390/foods13142303>
- Day, L. (2011). *Wheat gluten: production, properties and application*.
- Dinani, S. T., Broekema, N. L., Boom, R., & Goot, A. J. (2023). Investigation potential of hydrocolloids in meat analogue preparation. *Food Hydrocolloids*, 135. doi:<https://doi.org/10.1016/j.foodhyd.2022.108199>
- Dinani, S. T., Zhang, Y., Vardhanabhuti, B., & Goot, A. J. (2023). Enhancing textural properties in plant-based meat alternatives: The impact of hydrocolloids and salts on soy protein-based products. *Current Research in Food Science* 7. doi:<https://doi.org/10.1016/j.crf.2023.100571>
- EFSA, Mortensen, A., Aguilar, F., Crebelli, R., Domenico, A. D., Frutos, M. J., Galtier, P., Gott, D., Gundert-Remy, U., Lambre, C., Leblanc, J.-C., Lindtner, O., Moldeus, P., Mosezzo, P., Oskarsson, A., Parent-Massin, D., Stankovic, I., Waalkens-Berendsen, I., Woutersen, R. A., Wright, M., Younes, M., Brimer, L., Christodoulidou, A., Lodi, F., Tard, A., & Dusemund, B. (2017). Re-evaluation of konjac gum (E 425 i) and konjac glucomannan (E 425 ii) as food additives. *EFSA Journal*, 15(6), 1-43. doi:<http://doi.org/10.2903/j.efsa.2017.4864>
- Elleuch, M., Bedigian, D., Roiseux, O., Besbes, S., Blecker, C., & Attia, H. (2011). Dietary fibre and fibre-rich by-products of food processing: Characterisation, technological functionality and commercial applications: A review. *Food Chemistry*, 124, 411-421. doi:<http://doi.org/10.1016/j.foodchem.2010.06.077>
- Esbroeck, T. V., Sala, G., Stieger, M., & Scholten, E. (2024). Effect of structural characteristics on functional properties of textured vegetable proteins. *Food Hydrocolloids*, 149. doi:<https://doi.org/10.1016/j.foodhyd.2023.109529>

- Fellows, P. J. (2000). *Food Processing Technology*. Washington: Wood head.
- Fetriyuna, F., Rafi, A. Z., Zaida, Z., Purwestri, R. C., & Sikin, A. M. (2025). From forest to fork: a systematic review of mushroom-based meat analogues. *International Journal of Food Science and Technology*, 60(1).  
doi:<https://doi.org/10.1093/ijfood/vvaf030>
- Gao, Y., Liu, R., & , & Liang, H. (2024). Food Hydrocolloids: Structure, Properties, and Applications. *Foods* 2024, 13(1077), 1-8.  
doi:<https://doi.org/10.3390/foods13071077>
- Gao, Y., Yang, S., You, J., Yin, T., Xiong, S., & Liu, R. (2022). Changes in Gelation Properties of Silver Carp Myosin Treated by Combination of High Intensity Ultrasound and NaCl. *Foods* 2022, 11, 1-16. doi:<https://doi.org/10.3390/foods11233830>
- Good Food Institute. (2021). Plant-Based Meat, Seafood, Eggs, and Dairy. *State of the Industry Report*, 1-88.
- Han, J. (2020). Konjac & Konjac Flour, Gum, and Glucomannan: Uses, Health benefits. Retrieved from <https://foodadditives.net/thickeners/konjac/>
- Illippangama, A. U., Jayasena, D. D., Jo, C., & Mudannayake, D. C. (2022). Inulin as a functional ingredient and their applications in meat products. *Carbohydrate Polymers*, 275. doi:<https://doi.org/10.1016/j.carbpol.2021.118706>
- Ismail-Fitry, M. R., & Abas, N. F. A. (2018). Potential Use of Jackfruit (*Artocarpus Heterophyllus*) and Breadfruit (*Artocarpus Altilis*) as Fat Replacer to Produce Low-Fat Chicken Patties. *International Journal of Engineering & Technology*, 7(4.14), 292-296.
- Ismail, B. P., Senaratne-Lenagala, L., Stube, A., & Brackenridge, A. (2020). Protein demand: review of plant and animal proteins used in alternative protein product development and production. *Animal Frontiers*, 10(4), 53-63.  
doi:<https://doi.org/10.1093/af/vfaa040>
- Kaushik, R., Kumar, N., Sihag, M. K., & Ray, A. (2015). Isolation, characterization of wheat gluten and its regeneration properties. *Food Scientists & Technologists*, 52(9), 5930–5937. doi:<http://doi.org/10.1007/s13197-014-1690-2>
- Kerr, W. (2017). *Implications of Non-Equilibrium States and Glass Transitions in Fried Foods*.

- Kitcharoenthawornchai, N., & Harnsilawat, T. (2015). Characterization of meat analogue nugget: effect of textured vegetable protein. *Food and Applied Bioscience Journal*, 3(2), 121-129.
- Konsue, N., Bunyameen, N., & Donlao, N. (2023). Utilization of young jackfruit (*Artocarpus heterophyllus* Lam.) as a plant-based food ingredient: Influence of maturity on chemical attributes and changes during in vitro digestion. *LWT- Food Science and Technology*, 180.  
doi:<https://doi.org/10.1016/j.lwt.2023.114721>
- Korkut, A., & Kahraman, K. (2021). Production of cross-linked resistant starch from tapioca starch and effect of reaction conditions on the functional properties, morphology, X-ray pattern, FT-IR spectra and digestibility. *Journal of Food Measurement and Characterization*, 15, 1693-1702.  
doi:<https://doi.org/10.1007/s11694-020-00764-y>
- Kumar, P., Sharma, B. D., Kumar, R. R., & Kumar, A. (2012). Optimization of the level of wheat gluten in analogue meat nuggets. *Indian J. Vet. Res.*, 21(1), 54-59.
- Lazaridou, A., Duta, D., Papageorgiou, M., Belc, N., & Biliaderis, C. G. (2007). Effects of hydrocolloids on dough rheology and bread quality parameters in gluten-free formulations. *Journal of Food Engineering*, 79, 1033-1047.  
doi:<http://doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2006.03.032>
- Le, H. (2024). Modified Tapioca Starch For Fishballs and Meatballs Production. Retrieved from <https://vietnamtapiocastarch.vn/modified-tapioca-starch-for-fishballs>.
- Le, T. K. Y., Tac, D. N. T., & Hoang, K. A. (2023). Fat-Reduced Sausage Supplemented with Germinated Mung Beans: Physicochemical Properties and Sensory Acceptance. *Chemical Engineering Transactions*, 106, 895-900.  
doi:<http://doi.org/10.3303/CET23106150>
- Leelawat, B., & Taikerd, T. (2023). Development of gluten-free and soy-free plant-based chicken meat from young jackfruit. *International Journal of Agricultural Technology*, 19(3), 1041-1054.
- Lim, S. H., Chin, N. L., Sulaiman, A., Tay, C. H., & Wong, T. H. (2022). Sensory Analysis for Cow Milk Product Development Using High Pressure Processing (HPP) in the

- Dairy Industry. *Foods* 2022, 11. doi:<https://doi.org/10.3390/foods11091233>
- Lin, D., Lu, W., Kelly, A. L., Zhang, L., Zheng, B., & Miao, S. (2017). Interactions of vegetable proteins with other polymers: Structure function relationships and applications in the food industry. *Trends in Food Science & Technology*, 68, 130-144. doi:<http://dx.doi.org/10.1016/j.tifs.2017.08.006>
- Lin, D., Zhou, W., Yang, Z., Zhong, Y., Xing, B., Wu, Z., Chen, H., Wu, D., Zhang, Q., Qin, W., & Li, S. (2019). Study on physicochemical properties, digestive properties and application of acetylated starch in noodles. *International Journal of Biological Macromolecules*, 128, 948-956. doi:<https://doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2019.01.176>
- Majzoobi, M., Talebanfar, S., Eskandari, M. H., & Farahnaky, A. (2017). Improving the quality of meat-free sausages using j-carrageenan, konjac mannan and xanthan gum. *International Journal of Food Science and Technology*, 1-7. doi:<http://doi.org/10.1111/ijfs.13394>
- Mazumder, M. A. R., Panpipat, W., Chaijan, M., Shetty, K., & Rawdkuen, S. (2023). Role of plant protein on the quality and structure of meat analogs: A new perspective for vegetarian foods. *Future Foods*, 8. doi:<https://doi.org/10.1016/j.fufo.2023.100280>
- Meng, X., Wu, D., Zhang, Z., Wang, H., Wu, P., Xu, Z., Gao, Z., Mintah, B. K., & Dabbour, M. (2022). An overview of factors affecting the quality of beef meatballs: Processing and preservation. *Food Science & Nutrition*, 10, 1961-1974. doi:<http://doi.org/10.1002/fsn3.2812>
- Mustapa, M. A. C., Kallas, Z., López-Mas, L., Alamprese, C., Contiero, S., & Aguiló-Aguayo, I. (2024). Consumer attitudes, willingness to pay and hedonic evaluations of innovative legume gnocchi products. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 105, 2867-2878. doi:<http://doi.org/10.1002/jsfa.14063>
- Nanta, P., Skolpap, W., & Kasemwong, K. (2021). Influence of hydrocolloids on the rheological and textural attributes of a gluten-free meat analog based on soy protein isolate. *Journal of Food Processing and Preservation*, 45, 1-10. doi:<https://doi.org/10.1111/jfpp.15244>

- Necas, J., & Bartosikova, L. (2013). Carrageenan: a review. *Veterinari Medicina*, 58(4), 187-205.
- Nimitkeatkai, H., Pasada, K., & Jarerat, A. (2022). Incorporation of Tapioca Starch and Wheat Flour on Physicochemical Properties and Sensory Attributes of Meat-Based Snacks from Beef Scraps. *Foods* 2022, 11.  
doi:<https://doi.org/10.3390/foods11071034>
- Ozturk, O. K., & Hamaker, B. R. (2023). Texturization of plant protein-based meat alternatives: Processing, base proteins, and other constructional ingredients. *Future Foods*, 8(2). doi:<http://doi.org/10.1016/j.fufo.2023.100248>
- Paranagama, I., Wickramasinghe, I., Somendrika, D., & Benaragama, K. (2022). DEVELOPMENT OF A VEGAN SAUSAGE WITH YOUNG GREEN JACKFRUIT, OYSTER MUSHROOM, AND COCONUT FLOUR AS AN ENVIRONMENTALLY FRIENDLY PRODUCT WITH CLEANER PRODUCTION APPROACH. *Journal of Microbiology, Biotechnology and Food Sciences*, 22(4). doi:<http://doi.org/10.55251/jmbfs.4029>
- Pasricha, T. (2021). Plant-based diet's health benefits play big role in its popularity during pandemic. *The Washington Post*. Retrieved from <https://www.washingtonpost.com>
- Pattawee, N., & Siriwongwilaichat, P. (2024). Optimisation of pectin, solid content, and emulsifier for coconut milk set yoghurt analogue using response surface methodology *International Food Research Journal*, 31(4), 991-1002.  
doi:<https://doi.org/10.47836/ifrj.31.4.16>
- Peng, Y., Zhao, D., Li, M., Wen, X., & Ni, Y. (2023). The Interactions of Soy Protein and Wheat Gluten for the Development of Meat-like Fibrous Structure. *Molecules* 2023, 28. doi:<https://doi.org/10.3390/molecules28217431>
- Prapasuwannakul, N. (2018). Characteristics of Reduced-Fat Thai Pork Sausage with Inulin Addition. *International Journal of Food Engineering*, 4(4), 322-326.  
doi:<http://doi.org/10.18178/ijfe.4.4.322-326>
- Priya, R. K., Rawson, A., Vidhyalakshmi, R., & Mohan, R. J. (2021). Development of vegan sausage using banana floret (*Musa paradisiaca*) and jackfruit (*Artocarpus heterophyllus* Lam.) as a meat substitute : Evaluation of textural, physico-

- chemical and sensory characteristics. *Journal of Food Processing and Preservation*. doi:<https://doi.org/10.1111/jfpp.16118>
- Rahman, Md. S., Shashi, S., Sultana, S., Yeasmen, N., Bhuiyan, M. H. R., Akter, F., Islam, Md. A., & Alim, M. A. (2025). Effect of preservatives and storage conditions on minimally processed jackfruit (*Artocarpus heterophyllus* Lam.) bulbs. *International Journal of Food Science and Technology*, 60(1). doi:<https://doi.org/10.1093/ijfood/vvaf054>
- Rivero, R., Archaina, D., Sosa, N., & Schebor, C. (2023). Sensory characterization, acceptance, and stability studies on low calories fruit jelly candies. *Journal Food Science Technology*, 60(8), 2204-2212. doi:<https://doi.org/10.1007/s13197-023-05747-7>
- Sadhana, T., Pare, A., Bhuvana, S., & Mohan, R. J. (2019). Effect of Soy–Jackfruit Flour Blend on the Properties of Developed Meat Analogues Using Response Surface Methodology. *International Journal of Pure & Applied Bioscience*, 7(2), 600-610. doi:<http://dx.doi.org/10.18782/2320-7051.7476>
- Samutsri, W., Oumaree, K., & Thimthud, S. (2023). Physicochemical characteristics and sensory preference of chicken ball with unripe jackfruit. *LWT- Food Science and Technology*, 109. doi:<https://doi.org/10.1016/j.lwt.2023.115489>
- Samutsri, W., & Thimthud, S. (2025). Optimizing Young Jackfruit (*Artocarpus heterophyllus* Lam.) Processing for Plant-Based Meatballs: Impact of Thermal Treatments on Quality Parameters and Organoleptic Properties. *International Journal of Food Science*, 2025, 1-11. doi:<https://doi.org/10.1155/ijfo/2106508>
- Selani, M. M., Shirado, G. A. N., Margiotta, G. B., Saldaña, E., Spada, F. P., Piedade, S. M. S., Contreras-Castillo, C. J., & Canniatti-Brazaca, S. G. (2016). Effects of pineapple byproduct and canola oil as fat replacers on physicochemical and sensory qualities of low-fat beef burger. *Meat Science*, 112, 69-76. doi:<http://dx.doi.org/10.1016/j.meatsci.2015.10.020>
- Sharma, S. K., Bansal, S., Mangal, M., Dixit, A. K., Gupta, R. K., & Mangal, A. K. (2016). Utilization of Food Processing By-products as Dietary, Functional, and Novel Fiber: A Review. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, 56(10), 1647-

1661. doi:<http://doi.org/10.1080/10408398.2013.794327>
- Singh, B., & Singh, N. (2006). Physico-chemical, water and oil absorption and thermal properties of gluten isolated from different Indian wheat cultivars. *Journal of Food Science and Technology* 43(3), 251-255. Retrieved from <https://www.researchgate.net>
- Subroto, E., Cahyana, Y., Indiarso, R., & Rahmah, T. A. (2023). Modification of Starches and Flours by Acetylation and Its Dual Modifications: A Review of Impact on Physicochemical Properties and Their Applications. *Polymers* 2023, 15. doi:<https://doi.org/10.3390/polym15142990>
- Tachie, C., Nwachukwu, I. D., & Aryee, A. N. A. (2023). Trends and innovations in the formulation of plant-based foods. *Food Production, Processing and Nutrition*, 5(16), 1-14. doi:<https://doi.org/10.1186/s43014-023-00129-0>
- Taikerd, T., & Leelawat, B. (2023). Effect of young jackfruit, wheat gluten and soy protein isolate on physicochemical properties of chicken meat analogs. *Agriculture and Natural Resources*, 57, 201-210. doi:<https://doi.org/10.34044/j.anres.2023.57.2.01>
- Tanny, R. S., Hashem, M. A., Akhter, S., Islam, M. S., Azad, M. A. K., & Ali, M. S. (2013). Effect of Salt and Storage Time on Physico-Chemical and Sensorial Properties of Beef Meatball. *Progressive Agriculture*, 24(1 & 2), 137-147.
- Tee, E. T., & Siow, L. F. (2017). Effect of tapioca and potato starch on the physical properties of frozen spanish mackerel (*Scomberomorus guttatus*) fish balls. *International Food Research Journal* 24(1), 182-190.
- Thailand Innovation Portal. (2018). ไส้กรอกหัวปลี Banana Blossom Sausage. Retrieved from <https://www.thailandinnovationportal.com>
- Torusdağ, G. B., Gümüş, S., & Boran, G. (2021). Effect of gelatin-based active coatings formulated with rosemary extract on quality of cold stored meatballs. *Food Science and Technology*. doi:<https://doi.org/10.1590/fst.27421>
- Wang, W. (2023). Introduction to Konjac Retrieved from <https://cybercolloids.net>. CyberColloids Ltd.
- Wei, S., Liang, X., Kong, B., Cao, C., Zhang, H., Liu, Q., & Wang, H. (2023). Investigation of the effects and mechanism of incorporation of cross-linked/acetylated tapioca

- starches on the gel properties and in vitro digestibility of kung-wan. *Meat Science* 204. doi:<https://doi.org/10.1016/j.meatsci.2023.109265>
- Wei, S., Liang, X., Xu, Y., Kong, B., Li, X., Zhang, H., Liu, Q., & Wang, H. (2023). In-depth insight into the effects of tapioca or corn acetylated distarch phosphate on the gel properties and in vitro digestibility of kung-wan. *International Journal of Biological Macromolecules*, 253. doi:<https://doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2023.126997>
- Widati, A. S., Mustakim, Widyastuti, E. S., Evanuarini, H., Amertaningtyas, D., & Apriliyani, M. W. (2022). The Effect of The Use of Different Types and Levels of Tapioca Flour on The Physical Quality of Rabbit Meatballs. *Jurnal Ilmu dan Teknologi Hasil Ternak* 17(1), 27-33. doi:<http://doi.org/10.21776/ub.jitek.2022.017.01.4>
- Wijegunawardhana, D. T., Madushani, E. D. A., & Gamage, S. D. C. (2021). Development of immune-boosting vegan sausage utilizing baby jackfruit (*Artocarpus heterophyllus*) by replacing carcinogenic curing salts with natural pigment source. *JOURNAL OF RESEARCH TECHNOLOGY AND ENGINEERING*, 2(1), 1-11.
- Xiong, Y. L. (2014). CHEMICAL AND PHYSICAL CHARACTERISTICS OF MEAT | Protein Functionality. In *Encyclopedia of Meat Sciences* (Second Edition ed., pp. 267-273).
- Yang, D., Yuan, Y., Wang, L., Wang, X., Mu, R., Pang, J., Xiao, J., & Zheng, Y. (2017). A Review on Konjac Glucomannan Gels : Microstructure and Application. *International Journal of Molecular Sciences*, 18. doi:<http://doi.org/10.3390/ijms18112250>
- Ye, L., Zheng, W., Li, X., Han, W., Shen, J., Lin, Q., Hou, L., Liao, L., & Zeng, X. (2023). The Role of Gluten in Food Products and Dietary Restriction: Exploring the Potential for Restoring Immune Tolerance *Foods* 2023, 12. doi:<https://doi.org/10.3390/foods12224179>
- Yie, L. J., Khalid, N. I., & Ismail-Fitry, M. R. (2023). Quality Evaluation of Buffalo Meatballs Produced at Different Comminution Process Temperatures. *Malaysian Journal of Fundamental and Applied Sciences*, 19, 573-582. doi:<http://doi.org/10.11113/mjfas.v19n4.2946>

- Yuliarti, O., Ng, L., Koh, W. M., Abdullah Tan, M. F. B. M. F., & Sentana, A. D. (2023). Structural properties of meat analogue with added konjac gels *Food Hydrocolloids* 142. doi:<https://doi.org/10.1016/j.foodhyd.2023.108716>
- Zhang, J., Tao, L., Yang, S., Li, Y., Wu, Q., Song, S., & Yu, L. (2024). Water absorption behavior of starch: A review of its determination methods, influencing factors, directional modification, and food applications. *Trends in Food Science & Technology* 144. doi:<https://doi.org/10.1016/j.tifs.2023.104321>
- Zhang, M., Fu, C., Chen, M., & Jin, C. (2023). The Effect of Sodium Chloride on the Physicochemical and Textural Properties and Flavor Characteristics of Sous Vide Cooked Duck Meat. *Foods* 2023, 12, 1-20. doi:<https://doi.org/10.3390/foods12183452>
- Zhi, R., Zhao, L., & Shi, J. (2016). Improving the sensory quality of flavored liquid milk by engaging sensory analysis and consumer preference. *Journal of Dairy Science* 99(7), 5306-5317.
- เรไร จันท์เอี่ยม. (2564). Plant-based Food อาหารแห่งโลกอนาคต. *อุตสาหกรรมสาร*, 63, 5-10.
- กรมส่งเสริมการค้าระหว่างประเทศ (สค.). (2566). ตลาดโปรตีนทางเลือกจากขนุนยังมีแนวโน้มสดใส – สคต. ชिकाโก. Retrieved from <https://คิดคำ.com>. <https://คิดคำ.com>
- จันท์จิรา ตั้งสันทัศน์กุล. (2554). การศึกษาปัจจัยและสภาวะการผลิตเพื่อพัฒนาระบบการทอดแบบฟันทอย. (ปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต). มหาวิทยาลัยศิลปากร, บัณฑิตวิทยาลัย.
- ชนัฐวัฒน์ ศิริเอี้ยวพิกุล, & ธนภพ โสทรโยม. (2567). การพัฒนาผลิตภัณฑ์เนื้อสัตว์เทียมจากถั่วเสริมรากบัว. *พัฒนาเทคนิคศึกษา*, 36(129), 160-170.
- ตรีชฎา อุทัยดา. (2563). การพัฒนาลูกชิ้นหมูและศึกษาอายุการเก็บรักษาด้วยการเปรียบเทียบชนิดของบรรจุภัณฑ์. *วารสารวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยอุบลราชธานี* 22(1), 45-51.
- ทัศนีย์ พรกิจประสาน, & อรอนงค์ นัยวิกุล. (2530). การเปรียบเทียบคุณสมบัติทางเคมีและกายภาพของแป้งและสตาร์ชลูกเดือย. *ว.เกษตรศาสตร์ (วิทย์)*, 21(4), 371-377.
- นภาพร ดีสนาม. (2549). ผลของการพัฒนาสูตรร่วมกับการเติมเจลบุกและโซเดียมไนไตรต์ต่อคุณภาพของไส้อั่ว. (ปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต). มหาวิทยาลัยแม่โจ้,
- นราธิป ปุณเกษม. (2555). ผลของไฮโดรคอลลอยด์ต่อสเตลิงในขนมปัง. *วารสารเทคโนโลยีการอาหาร มหาวิทยาลัยสยาม*, 8(1), 12-20.
- นินนาท ชินประหัชฐ์. (2563). เทคโนโลยีผลิตภัณฑ์เนื้อ สัตว์ปีก ปลา และอาหารทะเล และการพัฒนาผลิตภัณฑ์. กรุงเทพฯ: สำนักพิมพ์จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.

- ประจางเวท สาตมาลี. (2560). การเลือกใช้ไฮโดรคอลลอยด์ในอุตสาหกรรมอาหาร. *อาหาร*, 47(4), 29-34.
- ภัทรารักษ์ สุขขาว, & นภเกตน์ สายสมบัติ. (2566). การพัฒนาและปรับปรุงเนื้อสัมผัสผลิตภัณฑ์เนื้อเทียมเพื่อสุขภาพจากแป้งเมล็ดขนุน. *วารสารสุขภาพและอาหารเชิงสร้างสรรค์*, 1(1), 1-19.
- ศุภรัตน์ ลั่นขันธุ์. (2567). การบริโภค *Plant-Based Food* อาหารจากพืช ที่ดีต่อสุขภาพและสิ่งแวดล้อม  
*Consuming plant-based foods is beneficial for both health and the environment*. Retrieved from <https://thaicam.dtam.moph.go.th>
- ศูนย์ส่งเสริมและพัฒนาการเรียนรู้ทางวิทยาศาสตร์. (2564). Plant-based food เปลี่ยนอาหารให้รักโลก.  
Retrieved from <https://sciplanet.org/content/8695/>.
- สำนักงานส่งเสริมการค้าในต่างประเทศ ณ นครแฟรงก์เฟิร์ต. (2561). หัวปลี ทางเลือกใหม่ใช้ประกอบอาหาร  
แทนเนื้อสัตว์. Retrieved from <https://www.ditp.go.th>
- สำนักพัฒนาอาหารสัตว์ กรมปศุสัตว์ กระทรวงเกษตรและสหกรณ์. (2559). การแปลผลวิเคราะห์จาก  
ห้องปฏิบัติการ. Retrieved from <https://nutrition.dld.go.th>
- สุเพ็ญ ด้วงทอง. (2547). การศึกษาและการพัฒนาลูกชิ้นปลาแช่เยือกแข็งจากปลาช่อนทะเล : รายงานวิจัย.  
Retrieved from <https://arit.skru.ac.th>
- สุทธิณี สีสังข์. (2563). คุณสมบัติของแป้งที่มีผลต่อการแปรรูปผลิตภัณฑ์สัตว์น้ำ.
- สุธาสิณี น้อยสุวรรณ, & ปราณี อานเป็รื่อง. (2544). การใช้ผงบุกเพื่อเป็นสารที่ทำให้เกิดเจลในผลิตภัณฑ์เยลลี่.  
*อาหาร*, 31(3), 174-186.



## ภาคผนวก

ภาคผนวก ก แบบทดสอบลักษณะทางประสาทสัมผัส

แบบทดสอบชิม ผลิตภัณฑ์ลูกชิ้นเลียนแบบเนื้อสัตว์

### ข้อมูลผู้ทดสอบ

ชื่อผู้ทดสอบ .....

อายุ  ต่ำกว่า 20 ปี  20-25 ปี  26-30 ปี  
 31-35 ปี  36-40 ปี  40 ปีขึ้นไป

เพศ  ชาย  หญิง  อื่นๆ

อาชีพ  นักเรียน/นักศึกษา  พนักงานบริษัท  ข้าราชการ  ธุรกิจส่วนตัว  อื่นๆ ระบุ

ก่อนการทดสอบ 30 นาที ท่านเพิ่งได้ดื่มชา กาแฟ น้ำอัดลม เครื่องดื่มหรือ อาหารที่มีรสจัด มาหรือไม่ \*

ใช่  ไม่ใช่

ขณะทำการทดสอบท่านเป็นหวัดหรือไม่ (ไอ/มีน้ำมูก/คัดจมูก/เจ็บคอ) \*

ใช่  ไม่ใช่

ท่านแพ้กลูเตนหรือไม่ \* (ถ้า “ใช่” ไม่ต้องทำการทดสอบต่อ)

ใช่  ไม่ใช่

ท่านแพ้โปรตีนจากถั่วเหลืองหรือไม่ \* (ถ้า “ใช่” ไม่ต้องทำการทดสอบต่อ)

ใช่  ไม่ใช่

ท่านเคยรับประทานผลิตภัณฑ์ทดแทนเนื้อสัตว์จากพืชหรือไม่ \*

ใช่  ไม่ใช่

การทดสอบนี้แบ่งเป็น 2 ตอน เป็นการทดสอบลักษณะทางประสาทสัมผัสของตัวอย่าง "ลูกชิ้นเลียนแบบเนื้อสัตว์จากพืช" มี 3 ตัวอย่าง โดย

ตอนที่ 1 : 1 ตัวอย่าง มี 1 วิธีการทดสอบ ได้แก่

1) JAR test = เลือกระดับความเข้มข้นในแต่ละคุณลักษณะของตัวอย่างตามความรู้สึก ระดับความเข้มข้นเกินไป / พอดี / มากเกินไป

กรุณาชิมตัวอย่างต่อไปนี้ตามลำดับจากซ้ายไปขวา และ "เลือก" ตามคะแนนความชอบต่อคุณลักษณะของผลิตภัณฑ์ให้ตรงกับความรู้สึกของท่าน

ตอนที่ 2 : 1 ตัวอย่าง มี 1 วิธีการทดสอบ ได้แก่

1) Hedonic test = ให้คะแนนความชอบที่มีต่อตัวอย่างในแต่ละคุณลักษณะตามความรู้สึก ระดับคะแนนความชอบ

1 = ไม่ชอบมากที่สุด 2 = ไม่ชอบมาก 3 = ไม่ชอบปานกลาง 4 = ไม่ชอบเล็กน้อย 5 = เฉยๆ

6 = ชอบเล็กน้อย 7 = ชอบปานกลาง 8 = ชอบมาก 9 = ชอบมากที่สุด

กรุณาตีม้ำก่อนชิมตัวอย่างทุกครั้ง

ตัวอย่าง .....

**ความแน่นเนื้อ**

เลือกตามความรู้สึก  น้อยเกินไป  พอดี  มากเกินไป

**ความแข็ง**

เลือกตามความรู้สึก  น้อยเกินไป  พอดี  มากเกินไป

**ความนิ่ม**

เลือกตามความรู้สึก  น้อยเกินไป  พอดี  มากเกินไป

**รสเค็ม**

เลือกตามความรู้สึก  น้อยเกินไป  พอดี  มากเกินไป

**กลิ่นเครื่องเทศ**

เลือกตามความรู้สึก  น้อยเกินไป  พอดี  มากเกินไป

**ความชอบโดยรวม**

1 ไม่ชอบมากที่สุด  2 ไม่ชอบมาก  3 ไม่ชอบปานกลาง  4 ไม่ชอบเล็กน้อย  
 5 เฉยๆ  6 ชอบเล็กน้อย  7 ชอบปานกลาง  8 ชอบมาก  9 ชอบมากที่สุด

ตัวอย่าง .....

**ความแน่นเนื้อ**

เลือกตามความรู้สึก  น้อยเกินไป  พอดี  มากเกินไป

**ความแข็ง**

เลือกตามความรู้สึก  น้อยเกินไป  พอดี  มากเกินไป

**ความนิ่ม**

เลือกตามความรู้สึก  น้อยเกินไป  พอดี  มากเกินไป

**รสเค็ม**

เลือกตามความรู้สึก  น้อยเกินไป  พอดี  มากเกินไป

**กลิ่นเครื่องเทศ**

เลือกตามความรู้สึก  น้อยเกินไป  พอดี  มากเกินไป

### ความชอบโดยรวม

- 1 ไม่ชอบมากที่สุด    2 ไม่ชอบมาก    3 ไม่ชอบปานกลาง    4 ไม่ชอบเล็กน้อย  
 5 เฉยๆ    6 ชอบเล็กน้อย    7 ชอบปานกลาง    8 ชอบมาก    9 ชอบมากที่สุด

ตัวอย่าง .....

### ความแน่นเนื้อ

เลือกตามความรู้สึก    น้อยเกินไป    พอดี    มากเกินไป

### ความแข็ง

เลือกตามความรู้สึก    น้อยเกินไป    พอดี    มากเกินไป

### ความนิ่ม

เลือกตามความรู้สึก    น้อยเกินไป    พอดี    มากเกินไป

### รสเค็ม

เลือกตามความรู้สึก    น้อยเกินไป    พอดี    มากเกินไป

### กลิ่นเครื่องเทศ

เลือกตามความรู้สึก    น้อยเกินไป    พอดี    มากเกินไป

### ความชอบโดยรวม

- 1 ไม่ชอบมากที่สุด    2 ไม่ชอบมาก    3 ไม่ชอบปานกลาง    4 ไม่ชอบเล็กน้อย  
 5 เฉยๆ    6 ชอบเล็กน้อย    7 ชอบปานกลาง    8 ชอบมาก    9 ชอบมากที่สุด

### ข้อคิดเห็นเพิ่มเติม

.....

ขอบคุณค่ะ

## ภาคผนวก ข วิธีการวิเคราะห์

- การวิเคราะห์คุณภาพทางด้านเนื้อสัมผัส

1.1 การวิเคราะห์คุณภาพเนื้อสัมผัสของผลิตภัณฑ์ลูกชิ้นเลียนแบบเนื้อสัตว์จากพืช (Texture Profile Analysis)

วัดค่าความแข็ง (Hardness) การยึดติดของอาหาร (Adhesiveness) ความสามารถในการเกาะตัว (Cohesiveness) ค่าความยืดหยุ่น (Springiness) ค่าที่อาหารกึ่งแข็งที่แตกตัวออกจนพร้อมที่จะกลืนได้ (Gumminess) และความยากง่ายในการเคี้ยวตัวอย่าง (Chewiness) วัดค่าตัวอย่าง 3 ซ้ำ ทำการบันทึกผล ดัดแปลงจากวิธีการของ Tee and Siow (2017)

วัด Texture Profile Analysis (TPA) โดยใช้หัววัด P/50

การเตรียมตัวอย่าง : ใช้พิมพ์คูกี้แบบวงกลม เส้นผ่านศูนย์กลางขนาด 1 นิ้ว กดลงบนลูกชิ้นเพื่อตัดตัวอย่าง นำลูกชิ้นที่ตัดแล้วมาวางบนฐานอยู่ตรงกลางเมื่อหัววัดลงมาโดยใช้กระดาษทรายรองที่ฐาน เพื่อป้องกันการเคลื่อนที่ของตัวอย่างขณะทำการวัด

การปรับตั้งค่า

Pre-Test Speed : 3.0 mm/s

Test Speed : 1.0 mm/s

Post-Test Speed : 3.0 mm/s

Strain : 60 %

Time : 5.00 Sec

Trigger Type : Auto (Force)

Trigger Force : 5.0 g.



**ภาพที่ 30** วิธีวางตัวอย่างลูกชิ้นเลียนแบบเนื้อสัตว์จากพืช เมื่อวัดลักษณะเนื้อสัมผัสโดยวิธี TPA

### 1.2 วัดความแข็งแรงของเจล (Gel Strength, GS)

วัด Gel Strength โดยใช้หัววัด P/5 ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 5 มิลลิเมตร

การเตรียมตัวอย่าง : ใช้ตัวอย่างลูกชิ้นแบบต้มทั้งลูก มาวางบนฐานอยู่ตรงกลางเมื่อหัววัดลงมาโดยใช้กระดาษทรายรองที่ฐานเพื่อป้องกันการเคลื่อนที่ของตัวอย่างขณะทำการวัด โดยดัดแปลงวิธีจาก Cortez-Vega et al. (2013) วัดค่าตัวอย่างละ 3 ซ้ำ ทำการบันทึก

การปรับตั้งค่า

Test Mode : Compression

Pre-Test Speed : 1.0 mm/s

Test Speed : 1.0 mm/s

Post-Test Speed : 10.0 mm/s

Strain : 60 %

Trigger Type : Auto (Force)

Trigger Force : 5.0 g.



**ภาพที่ 31** วิธีวางตัวอย่างลูกชิ้นเลียนแบบเนื้อสัตว์จากพืช เมื่อวัดค่าความแข็งแรงของเจล

- การวิเคราะห์คุณภาพทางด้านสี

การวิเคราะห์ค่าสี วัดค่าสีในระบบ CIE LAB ( $L^*$   $a^*$   $b^*$ ) โดยใช้เครื่องวัดสีสเปคโตรโฟโตมิเตอร์ (Colorimeter, Konica Minolta, Model CM-5, Japan) ด้วยการสุ่มตัวอย่าง ลูกชิ้นจำนวน 5 ลูกต่อสูตร วางตัวอย่างในจานรอง (plate) ครั้งละ 1 ลูก แล้ววางบนเครื่องวัดสีครอบด้วยกระบอกทึบแสง จากนั้นทำการวัดค่าอ่านค่า และบันทึกผล ดัดแปลงวิธีจาก ตริชฎา (2563)

โดย  $L^*$  หมายถึง ความสว่าง มีค่าตั้งแต่ 0 (ดำ) จนถึง 100 (ขาว)

$+a^*$  หมายถึง ค่าความเป็นสีแดง และ  $-a^*$  หมายถึง ค่าความเป็นสีเขียว

$+b^*$  หมายถึง ค่าความเป็นสีเหลือง และ  $-b^*$  หมายถึง ค่าความเป็นสีน้ำเงิน



**ภาพที่ 32** วิธีวางตัวอย่างลูกชิ้นเลียนแบบเนื้อสัตว์จากพืช เมื่อวัดค่าสี

## ภาคผนวก ค ผลการวิเคราะห์ปริมาณของสารประกอบหลักในอาหาร (Proximate analysis)



## รายงานผลการทดสอบ

หน้า: 1 / 1

วันที่รายงานผล: 29/05/2025

เลขที่รายงานผล: 25-090536

เลขที่ใบขอรับบริการ : 25-39482

ชื่อลูกค้า : คุณชนัญชิตา พุ่มตาท้อง  
 ที่อยู่ : ภาควิชาเทคโนโลยีอาหาร คณะวิศวกรรมศาสตร์และเทคโนโลยีอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยศิลปากร เลขที่ 6 ถนนราชมรรคาใน ตำบล  
 พระปฐมเจดีย์ อำเภอเมือง จังหวัดนครปฐม 73000  
 รหัสตัวอย่าง : 25-39482-001  
 ชื่อตัวอย่าง : Plant based meat ball analogue  
 B (MD 20) A  
 ลักษณะตัวอย่าง : ตัวอย่างบรรจุในถุงซิปลาสติก  
 วันที่รับตัวอย่าง : 22/05/2025

วันที่ทดสอบ : 22/05/2025

รายการทดสอบ	วิธีทดสอบ	ผลการทดสอบ	หน่วย
Ash	AOAC (2023) 942.05	1.96	g/100g
Total fat	AOAC (2023) 920.39	6.75	g/100g
Moisture	AOAC (2023) 925.40	49.27	g/100g
Protein (N x 6.25)	In-house method TM-CH-017 based on AOAC (2023) 992.23	19.77	g/100g
Total Dietary Fiber	AOAC (2023) 985.29	4.56	g/100g

Remarks : The laboratory has been accepted as an accredited laboratory complying with the ISO/IEC 17025.

(นางสาวจรัชรินทร์ กาญจนรัตน์)

ผู้จัดการฝ่ายห้องปฏิบัติการเคมี

วันที่พิมพ์ : 29/05/2025

- End of Report -

The results shown in this report refer only to the sample(s) received. This report shall not be reproduced except in full, without written approval of the company.

361 Soi Ladprao 122, Ladprao Road,  
 Phlabphla, Wang Thonglang, Bangkok 10310  
 FM-LB-037/1

TEL 02-516-2422  
 FAX 02-516-6949  
 Rev. 08

CONTACT@AMARC.CO.TH  
 WWW.AMARC.CO.TH  
 วันที่ประกาศใช้ : 16/08/24



รายงานผลการทดสอบ

หน้า: 1 / 1

วันที่รายงานผล: 29/05/2025

เลขที่รายงานผล: 25-090537

เลขที่ใบอนุญาตบริการ: 25-39482

ชื่อลูกค้า : คุณชนัญชิตา พุ่มตาท้อง  
ที่อยู่ : ภาควิชาเทคโนโลยีอาหาร คณะวิศวกรรมศาสตร์และเทคโนโลยีอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยศิลปากร เลขที่ 6 ถนนราชมรรคาใน ตำบล  
พระปฐมเจดีย์ อำเภอเมือง จังหวัดนครปฐม 73000  
รหัสตัวอย่าง : 25-39482-002  
ชื่อตัวอย่าง : Plant based meat ball analogue  
B (MD 20) B  
ลักษณะตัวอย่าง : ตัวอย่างบรรจุในถุงซิปลาสติก  
วันที่รับตัวอย่าง : 22/05/2025

วันที่ทดสอบ: 22/05/2025

รายการทดสอบ	วิธีทดสอบ	ผลการทดสอบ	หน่วย
Ash	AOAC (2023) 942.05	2.05	g/100g
Total fat	AOAC (2023) 920.39	6.68	g/100g
Moisture	AOAC (2023) 925.40	49.91	g/100g
Protein (N x 6.25)	In-house method TM-CH-017 based on AOAC (2023) 992.23	19.70	g/100g
Total Dietary Fiber	AOAC (2023) 985.29	4.62	g/100g

Remarks : The laboratory has been accepted as an accredited laboratory complying with the ISO/IEC 17025.

จ. ชรินทร์ อ.

(นางสาวชรินทร์ กาญจนรัตน์)

ผู้จัดการฝ่ายห้องปฏิบัติการเคมี

วันที่พิมพ์ : 29/05/2025

- End of Report -

The results shown in this report refer only to the sample(s) received. This report shall not be reproduced except in full, without written approval of the company.

361 Soi Ladprao 122, Ladprao Road,  
Phlabphla, Wang Thonglang, Bangkok 10310  
FM-LB-037/1

TEL 02-516-2422  
FAX 02-516-6949  
Rev. 08

CONTACT@AMARC.CO.TH  
WWW.AMARC.CO.TH  
วันที่ประกาศใช้ : 16/08/24

AMARC

ASIA MEDICAL AND  
AGRICULTURAL LABORATORY  
AND RESEARCH CENTER

## รายงานผลการทดสอบ

หน้า: 1 / 1

วันที่รายงานผล: 29/05/2025

เลขที่รายงานผล: 25-090538

เลขที่ใบขอรับบริการ: 25-39482

ชื่อลูกค้า : คุณชนัญชิตา พุ่มตาท้อง  
 ที่อยู่ : ภาควิชาเทคโนโลยีอาหาร คณะวิศวกรรมศาสตร์และเทคโนโลยีอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยศิลปากร เลขที่ 6 ถนนราชมรรคาใน ตำบล  
 พระปฐมเจดีย์ อำเภอเมือง จังหวัดนครปฐม 73000  
 รหัสตัวอย่าง : 25-39482-003  
 ชื่อตัวอย่าง : Plant based meat ball analogue  
 B (MD 20) C  
 ลักษณะตัวอย่าง : ตัวอย่างบรรจุในถุงซิปลาสติก  
 วันที่รับตัวอย่าง : 22/05/2025

วันที่ทดสอบ: 22/05/2025

รายการทดสอบ	วิธีทดสอบ	ผลการทดสอบ	หน่วย
Ash	AOAC (2023) 942.05	2.04	g/100g
Total fat	AOAC (2023) 920.39	6.75	g/100g
Moisture	AOAC (2023) 925.40	49.88	g/100g
Protein (N x 6.25)	In-house method TM-CH-017 based on AOAC (2023) 992.23	19.54	g/100g
Total Dietary Fiber	AOAC (2023) 985.29	4.46	g/100g

Remarks : The laboratory has been accepted as an accredited laboratory complying with the ISO/IEC 17025.

(นางสาวรัชรินทร์ กาญจนรัตน์)  
ผู้จัดการฝ่ายห้องปฏิบัติการเคมี

วันที่พิมพ์ : 29/05/2025

- End of Report -

The results shown in this report refer only to the sample(s) received. This report shall not be reproduced except in full, without written approval of the company.

361 Soi Ladprao 122, Ladprao Road,  
Phlabphla, Wang Thonglang, Bangkok 10310  
FM-LB-037/1TEL 02-516-2422  
FAX 02-516-6949  
Rev. 08CONTACT@AMARC.CO.TH  
WWW.AMARC.CO.TH  
วันที่ประกาศใช้ : 16/08/24

AMARC

ASIA MEDICAL AND  
AGRICULTURAL LABORATORY  
AND RESEARCH CENTER

## รายงานผลการทดสอบ

หน้า: 1 / 1

วันที่รายงานผล: 29/05/2025

เลขที่รายงานผล: 25-090539

เลขที่ใบขอรับบริการ : 25-39482

ชื่อลูกค้า : คุณชนัญชิตา พุ่มตาท้อง  
 ที่อยู่ : ภาควิชาเทคโนโลยีอาหาร คณะวิศวกรรมศาสตร์และเทคโนโลยีอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยศิลปากร เลขที่ 6 ถนนราชมรรคาใน ตำบล  
 พระปฐมเจดีย์ อำเภอเมือง จังหวัดนครปฐม 73000  
 รหัสตัวอย่าง : 25-39482-004  
 ชื่อตัวอย่าง : Plant based meat ball analogue  
 ลักษณะตัวอย่าง : ตัวอย่างบรรจุในถุงซิปลาสติก  
 วันที่รับตัวอย่าง : 22/05/2025

วันที่ทดสอบ: 22/05/2025

รายการทดสอบ	วิธีทดสอบ	ผลการทดสอบ	หน่วย
Ash	AOAC (2023) 942.05	1.54	g/100g
Total fat	AOAC (2023) 920.39	5.94	g/100g
Moisture	AOAC (2023) 925.40	56.75	g/100g
Protein (N x 6.25)	In-house method TM-CH-017 based on AOAC (2023) 992.23	16.74	g/100g
Total Dietary Fiber	AOAC (2023) 985.29	4.31	g/100g

Remarks : The laboratory has been accepted as an accredited laboratory complying with the ISO/IEC 17025.

(นางสาวรัชรินทร์ กาญจนรัตน์)

ผู้จัดการฝ่ายห้องปฏิบัติการเคมี

วันที่พิมพ์ : 29/05/2025

- End of Report -

The results shown in this report refer only to the sample(s) received. This report shall not be reproduced except in full, without written approval of the company.

361 Soi Ladprao 122, Ladprao Road,  
Phlabphla, Wang Thonglang, Bangkok 10310  
FM-LB-037/1TEL 02-516-2422  
FAX 02-516-6949  
Rev. 08CONTACT@AMARC.CO.TH  
WWW.AMARC.CO.TH  
วันที่ประกาศใช้ : 16/08/24



รายงานผลการทดสอบ

หน้า: 1/1  
วันที่รายงานผล: 29/05/2025  
เลขที่รายงานผล: 25-090540  
เลขที่ใบอนุญาตบริการ: 25-39482

ชื่อลูกค้า : คุณชนัญชิตา พุ่มตาท้อง  
ที่อยู่ : ภาควิชาเทคโนโลยีอาหาร คณะวิศวกรรมศาสตร์และเทคโนโลยีอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยศิลปากร เลขที่ 6 ถนนราชมรรคาใน ตำบล  
พระปฐมเจดีย์ อำเภอเมือง จังหวัดนครปฐม 73000  
รหัสตัวอย่าง : 25-39482-005  
ชื่อตัวอย่าง : Plant based meat ball analogue  
B (MD 20) + YJ 10%w/w (B)  
ลักษณะตัวอย่าง : ตัวอย่างบรรจุในถุงซิปลาสติก  
วันที่รับตัวอย่าง : 22/05/2025 วันที่ทดสอบ : 22/05/2025

รายการทดสอบ	วิธีทดสอบ	ผลการทดสอบ	หน่วย
Ash	AOAC (2023) 942.05	1.62	g/100g
Total fat	AOAC (2023) 920.39	3.92	g/100g
Moisture	AOAC (2023) 925.40	55.91	g/100g
Protein (N x 6.25)	In-house method TM-CH-017 based on AOAC (2023) 992.23	17.09	g/100g
Total Dietary Fiber	AOAC (2023) 985.29	4.38	g/100g

Remarks : The laboratory has been accepted as an accredited laboratory complying with the ISO/IEC 17025.

*จิรพร ก.*

(นางสาวจิรพร กาญจนรัตน์)  
ผู้จัดการฝ่ายห้องปฏิบัติการเคมี  
วันที่พิมพ์ : 29/05/2025

- End of Report -

The results shown in this report refer only to the sample(s) received. This report shall not be reproduced except in full, without written approval of the company.

361 Soi Ladprao 122, Ladprao Road,  
Phlabphla, Wang Thonglang, Bangkok 10310  
FM-LB-037/1

TEL 02-516-2422  
FAX 02-516-6949  
Rev. 08

CONTACT@AMARC.CO.TH  
WWW.AMARC.CO.TH  
วันที่ประกาศใช้ : 16/08/24

AMARC

ASIA MEDICAL AND  
AGRICULTURAL LABORATORY  
AND RESEARCH CENTER

## รายงานผลการทดสอบ

หน้า: 1/1

วันที่รายงานผล: 29/05/2025

เลขที่รายงานผล: 25-090541

เลขที่ใบขอรับบริการ : 25-39482

ชื่อลูกค้า : คุณชนัญชิตา พุ่มต่าก่อง  
 ที่อยู่ : ภาควิชาเทคโนโลยีอาหาร คณะวิศวกรรมศาสตร์และเทคโนโลยีอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยศิลปากร เลขที่ 6 ถนนราชมรรคาใน ตำบล  
 พระปฐมเจดีย์ อำเภอเมือง จังหวัดนครปฐม 73000  
 รหัสตัวอย่าง : 25-39482-006  
 ชื่อตัวอย่าง : Plant based meat ball analogue  
 B (MD 20) + YJ 10%w/w (C)  
 ลักษณะตัวอย่าง : ตัวอย่างบรรจุในถุงซิปลาสติก  
 วันที่รับตัวอย่าง : 22/05/2025

วันที่ทดสอบ : 22/05/2025

รายการทดสอบ	วิธีทดสอบ	ผลการทดสอบ	หน่วย
Ash	AOAC (2023) 942.05	1.83	g/100g
Total fat	AOAC (2023) 920.39	6.11	g/100g
Moisture	AOAC (2023) 925.40	52.55	g/100g
Protein (N x 6.25)	In-house method TM-CH-017 based on AOAC (2023) 992.23	18.19	g/100g
Total Dietary Fiber	AOAC (2023) 985.29	4.15	g/100g

Remarks : The laboratory has been accepted as an accredited laboratory complying with the ISO/IEC 17025.

(นางสาวจิริรินทร์ กาญจนรัตน์)  
 ผู้จัดการฝ่ายห้องปฏิบัติการเคมี  
 วันที่พิมพ์ : 29/05/2025

- End of Report -

The results shown in this report refer only to the sample(s) received. This report shall not be reproduced except in full, without written approval of the company.

361 Soi Ladprao 122, Ladprao Road,  
 Phlabphla, Wang Thonglang, Bangkok 10310  
 FM-LB-037/1

TEL 02-516-2422  
 FAX 02-516-6949

Rev. 08

CONTACT@AMARC.CO.TH  
 WWW.AMARC.CO.TH  
 วันที่ประกาศใช้ : 16/08/24



## REPORT OF ANALYSIS

Page: 1 / 1  
Report Date: 04/06/2025  
Report No. : 25-094966  
Request No. : 25-41515

Client Name : Khun Chanunchida Pumtakong  
Address : Department of Food Technology, Faculty of Engineering and Industrial Technology, Silpakorn University 6,  
Rajamankha Nai Rd., Amphoe Muang, Nakhon Pathom 73000  
Sample Code : 25-41515-001  
Sample Name : Young jackfruit (Raw material)  
Sample Condition : Sample is contained in sealed plastic bag.  
Receive Date : 27/05/2025  
Commence Date : 27/05/2025

Test Item	Test Method	Result	Unit
Ash	AOAC (2023) 940.26	0.17	g/100g
Moisture	AOAC (2023) 964.22	91.99	g/100g
Protein (N x 6.25)	In-house method TM-CH-017 based on AOAC (2023) 992.23	0.85	g/100g
Total Dietary Fiber	AOAC (2023) 985.29	3.81	g/100g
Total Fat *	AOAC (2023) 922.06	0.13	g/100g

Remarks : 1. The laboratory has been accepted as an accredited laboratory complying with the ISO/IEC 17025.  
2. \* = Marked Test(s) is/are not accredited.

*R. Kanjanarat*

( Miss Ratcharin Kanjanarat )  
Chemical Laboratory Manager  
Printed date : 04/06/2025

- End of Report -

The results shown in this report refer only to the sample(s) received. This report shall not be reproduced except in full, without written approval of the company.

361 Soi Ladprao 122, Ladprao Road,  
Phlabphla, Wang Thonglang, Bangkok 10310  
FM-LB-037

TEL 02-516-2422  
FAX 02-516-6949  
Rev. 08

CONTACT@AMARC.CO.TH  
WWW.AMARC.CO.TH  
effective date : 16/08/24

## ภาคผนวก ง ผลการวิเคราะห์ทางสถิติ

ตอนที่ 1 ผลการวิเคราะห์สถิติจากการออกแบบการทดลองแบบผสมในรูปแบบ D-optimal ตามผลการทำนาย

## 1.1 Response: Gumminess

## ANOVA for Mixture Linear Model

ตารางที่ 26 ผลการวิเคราะห์ความแปรปรวนของแบบจำลองในด้าน Gumminess

Source	Sum of squares	DF	Mean squares	F Value	Prob > F	
Model	104,200	1	104,200	26.51	0.0013	Significant
<i>Linear Mixture</i>	<i>104,200</i>	<i>1</i>	<i>104,200</i>	<i>26.51</i>	<i>0.0013</i>	
Residual	27519.85	7	3931.41			
<i>Lack of Fit</i>	<i>12835.53</i>	<i>3</i>	<i>4278.51</i>	<i>1.17</i>	<i>0.4265</i>	<i>Not significant</i>
<i>Pure Error</i>	<i>14684.32</i>	<i>4</i>	<i>3671.08</i>			
Cor Total	131,800	8				

ค่าทางสถิติ

Std. Dev.	62.70	R-Squared	0.7911
Mean	534.38	Adj R-Squared	0.7613
C.V.	11.73	Pred R-Squared	0.6758
PRESS	42718.21	Adeq Precision	9.411

**ตารางที่ 27** การวิเคราะห์ค่าสัมประสิทธิ์ในสมการของโมเดลในเทอมของ Pseudo Components

Component	Coefficient	DF	Standard Error	95% CI	
	Estimate			Low	High
A-Soy protein	410.75	1	31.83	335.48	486.02
B-Wheat gluten	688.91	1	36.57	602.43	775.39

**ตารางที่ 28** การวิเคราะห์ผลเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยของส่วนผสม

Component	Adjusted Effect	DF	Standard Error	Adjusted Approx t for H <sub>0</sub>	
				Effect = 0	Prob >  t
A-Soy protein	-278.16	1	54.02	-5.15	0.0013
B-Wheat gluten	278.16	1	54.02	5.15	0.0013

สมการสุดท้ายในรูปของ Pseudo Components :

$$\text{Gumminess} = +410.75 * A \\ + 688.91 * B$$

สมการสุดท้ายในรูปของ Real Components :

$$\text{Gumminess} = -145.57443 * \text{Soy protein} \\ +1245.23691 * \text{Wheat gluten}$$

สมการสุดท้ายในรูปของ Actual Components :

$$\text{Gumminess} = -2.91149 * \text{Soy protein} \\ +24.90474 * \text{Wheat gluten}$$

## 1.2 Response: Chewiness

## ANOVA for Mixture Quadratic Model

ตารางที่ 29 ผลการวิเคราะห์ความแปรปรวนของแบบจำลองในด้าน Chewiness

Source	Sum of squares	DF	Mean squares	F Value	Prob > F	
Model	68656.66	2	34328.33	45.43	0.0002	Significant
<i>Linear Mixture</i>	<i>60562.39</i>	<i>1</i>	<i>60562.39</i>	<i>80.15</i>	<i>0.0001</i>	
<i>AB</i>	<i>8094.27</i>	<i>1</i>	<i>8094.27</i>	<i>10.71</i>	<i>0.0170</i>	
Residual	4533.65	6	755.61			
<i>Lack of Fit</i>	<i>792.41</i>	<i>2</i>	<i>396.20</i>	<i>0.42</i>	<i>0.6810</i>	<i>Not significant</i>
<i>Pure Error</i>	<i>3741.24</i>	<i>4</i>	<i>935.31</i>			
Cor Total	73190.31	8				

## ค่าทางสถิติ

Std. Dev.	27.49	R-Squared	0.9381
Mean	370.95	Adj R-Squared	0.9174
C.V.	7.41	Pred R-Squared	0.8667
PRESS	9755.07	Adeq Precision	12.781

ตารางที่ 30 การวิเคราะห์ค่าสัมประสิทธิ์ในสมการของโมเดลในเทอมของ Pseudo Components

Component	Coefficient Estimate	DF	Standard Error	95% CI Low	95% CI High
A-Soy protein	254.54	1	15.51	216.58	292.50
B-Wheat gluten	456.71	1	18.78	410.74	502.67
AB	273.15	1	83.46	68.94	477036

สมการสุดท้ายในรูปของ Pseudo Components :

$$\begin{aligned} \text{Chewiness} = & +254.54 * A \\ & +456.71 * B \\ & +273.15 * A * B \end{aligned}$$

สมการสุดท้ายในรูปของ Real Components :

$$\begin{aligned} \text{Chewiness} = & -1788.67333 * \text{Soy protein} \\ & -777.84000 * \text{Wheat gluten} \\ & +6828.66667 * \text{Soy protein} * \text{Wheat gluten} \end{aligned}$$

สมการสุดท้ายในรูปของ Actual Components :

$$\begin{aligned} \text{Chewiness} = & -35.77347 * \text{Soy protein} \\ & -15.55680 * \text{Wheat gluten} \\ & +2.73147 * \text{Soy protein} * \text{Wheat gluten} \end{aligned}$$

### 1.3 Response: Expressible Water

#### ANOVA for Mixture Cubic Model

**ตารางที่ 31** ผลการวิเคราะห์ความแปรปรวนของแบบจำลองในด้าน Expressible Water

Source	Sum of squares	DF	Mean squares	F Value	Prob > F	
Model	13.39	3	4.46	5.69	0.0455	Significant
<i>Linear Mixture</i>	0.22	1	0.22	0.28	0.6207	
<i>AB</i>	0.052	1	0.052	0.066	0.8071	
<i>AB(A-B)</i>	13.12	1	13.12	16.73	0.0094	
Residual	3.92	5	0.78			
<i>Lack of Fit</i>	0.49	1	0.49	0.57	0.4911	<i>Not significant</i>
<i>Pure Error</i>	3.43	4	0.86			
Cor Total	17.31	8				

**ค่าทางสถิติ**

Std. Dev.	0.89	R-Squared	0.7735
Mean	4.76	Adj R-Squared	0.6376
C.V.	18.59	Pred R-Squared	0.2265
PRESS	13.39	Adeq Precision	8.555

**ตารางที่ 32** การวิเคราะห์ค่าสัมประสิทธิ์ในสมการของโมเดลในเทอมของ Pseudo Components

Component	Coefficient	DF	Standard	95% CI	
	Estimate		Error	Low	High
A-Soy protein	4.40	1	0.51	3.09	5.71
B-Wheat gluten	5.06	1	0.62	3.46	6.67
AB	0.69	1	2.69	-6.22	7.61
AB(A-B)	28.71	1	7.02	10.67	46.75

สมการสุดท้ายในรูปของ Pseudo Components :

$$\begin{aligned} \text{Expressible Water} = & +4.40 * A \\ & +5.06 * B \\ & +0.69 * A * B \\ & +28.71 * A * B * (A-B) \end{aligned}$$

สมการสุดท้ายในรูปของ Real Components :

$$\begin{aligned} \text{Expressible Water} = & -862.26403 * \text{Soy protein} \\ & +863.41498 * \text{Wheat gluten} \\ & +17.31803 * \text{Soy protein} * \text{Wheat gluten} \\ & +3588.24044 * \text{Soy protein} * \text{Wheat gluten} * \\ & (\text{Soy protein}-\text{Wheat gluten}) \end{aligned}$$

สมการสุดท้ายในรูปของ Actual Components :

$$\begin{aligned} \text{Expressible Water} = & -17.24528 * \text{Soy protein} \\ & +17.26830 * \text{Wheat gluten} \\ & +6.92721\text{E-}003 * \text{Soy protein} * \text{Wheat gluten} \\ & +0.028706 * \text{Soy protein} * \text{Wheat gluten} * \\ & (\text{Soy protein-Wheat gluten}) \end{aligned}$$

**ตอนที่ 2** ผลการวิเคราะห์สถิติจากการวัดค่าคุณภาพของผลิตภัณฑ์ลูกชิ้นเลียนแบบเนื้อสัตว์จากพืชใช้สารปรับปรุงเนื้อสัมผัส

**ตารางที่ 33** ผลการวิเคราะห์ความแปรปรวนด้าน Hardness ของตัวอย่างลูกชิ้นเลียนแบบเนื้อสัตว์จากพืชรูปแบบต้มในการทดลองศึกษาปริมาณสารที่ช่วยปรับปรุงเนื้อสัมผัส

Source	DF	Sum of squares	Mean squares	F	Pr > F
Model	2	2842758.566	1421379.283	207.909	<0.0001
Error	6	41019.321	6836.554		
Corrected Total	8	2883777.887			

หมายเหตุ Pr > F มีค่า  $\leq 0.05$  มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ที่ระดับความเชื่อมั่น 95% ( $p \leq 0.05$ )

**ตารางที่ 34** ผลการวิเคราะห์ความแปรปรวนด้าน Adhesiveness ของตัวอย่างลูกชิ้นเลียนแบบเนื้อสัตว์จากพืชรูปแบบต้มในการทดลองศึกษาปริมาณสารที่ช่วยปรับปรุงเนื้อสัมผัส

Source	DF	Sum of squares	Mean squares	F	Pr > F
Model	2	17078.959	8539.480	1.918	0.227
Error	6	26715.641	4452.607		
Corrected Total	8	43794.600			

หมายเหตุ Pr > F มีค่า  $> 0.05$  ไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ที่ระดับความเชื่อมั่น 95% ( $p > 0.05$ )

**ตารางที่ 35** ผลการวิเคราะห์ความแปรปรวนด้าน Springiness ของตัวอย่างลูกชิ้นเลียนแบบเนื้อสัตว์จากพืชรูปแบบต้มในการทดลองศึกษาปริมาณสารที่ช่วยปรับปรุงเนื้อสัมผัส

Source	DF	Sum of squares	Mean squares	F	Pr > F
Model	2	0.000	0.000	0.124	0.886
Error	6	0.001	0.000		
Corrected Total	8	0.002			

หมายเหตุ Pr > F มีค่า > 0.05 ไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ที่ระดับความเชื่อมั่น 95% ( $p > 0.05$ )

**ตารางที่ 36** ผลการวิเคราะห์ความแปรปรวนด้าน Cohesiveness ของตัวอย่างลูกชิ้นเลียนแบบเนื้อสัตว์จากพืชรูปแบบต้มในการทดลองศึกษาปริมาณสารที่ช่วยปรับปรุงเนื้อสัมผัส

Source	DF	Sum of squares	Mean squares	F	Pr > F
Model	2	0.002	0.001	15.687	<b>0.004</b>
Error	6	0.000	0.000		
Corrected Total	8	0.003			

หมายเหตุ Pr > F มีค่า  $\leq 0.05$  มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ที่ระดับความเชื่อมั่น 95% ( $p \leq 0.05$ )

**ตารางที่ 37** ผลการวิเคราะห์ความแปรปรวนด้าน Gumminess ของตัวอย่างลูกชิ้นเลียนแบบเนื้อสัตว์จากพืชรูปแบบต้มในการทดลองศึกษาปริมาณสารที่ช่วยปรับปรุงเนื้อสัมผัส

Source	DF	Sum of squares	Mean squares	F	Pr > F
Model	2	861962.838	430981.419	158.640	<b>&lt;0.0001</b>
Error	6	16300.315	2716.719		
Corrected Total	8	878263.153			

หมายเหตุ Pr > F มีค่า  $\leq 0.05$  มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ที่ระดับความเชื่อมั่น 95% ( $p \leq 0.05$ )

**ตารางที่ 38** ผลการวิเคราะห์ความแปรปรวนด้าน Chewiness ของตัวอย่างลูกชิ้นเลียนแบบเนื้อสัตว์ จากพีชรูปแบบต้มในการทดลองศึกษาปริมาณสารที่ช่วยปรับปรุงเนื้อสัมผัส

Source	DF	Sum of squares	Mean squares	F	Pr > F
Model	2	423437.277	211718.638	84.801	<0.0001
Error	6	14979.990	2496.665		
Corrected Total	8	438417.267			

หมายเหตุ Pr > F มีค่า  $\leq 0.05$  มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ที่ระดับความเชื่อมั่น 95% ( $p \leq 0.05$ )

**ตารางที่ 39** ผลการวิเคราะห์ความแปรปรวนด้าน Gel Strength ของตัวอย่างลูกชิ้นเลียนแบบเนื้อสัตว์จากพีชรูปแบบต้มในการทดลองศึกษาปริมาณสารที่ช่วยปรับปรุงเนื้อสัมผัส

Source	DF	Sum of squares	Mean squares	F	Pr > F
Model	2	97719.454	48859.727	41.652	0.000
Error	6	7038.225	1173.037		
Corrected Total	8	104757.679			

หมายเหตุ Pr > F มีค่า  $\leq 0.05$  มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ที่ระดับความเชื่อมั่น 95% ( $p \leq 0.05$ )

**ตารางที่ 40** ผลการวิเคราะห์ความแปรปรวนด้าน Hardness ของตัวอย่างลูกชิ้นเลียนแบบเนื้อสัตว์ จากพีชรูปแบบทอดในการทดลองศึกษาปริมาณสารที่ช่วยปรับปรุงเนื้อสัมผัส

Source	DF	Sum of squares	Mean squares	F	Pr > F
Model	2	834505.325	417252.162	47.087	0.000
Error	6	531676.394	88612.732		
Corrected Total	8	8876726.719			

หมายเหตุ Pr > F มีค่า  $\leq 0.05$  มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ที่ระดับความเชื่อมั่น 95% ( $p \leq 0.05$ )

**ตารางที่ 41** ผลการวิเคราะห์ความแปรปรวนด้าน Springiness ของตัวอย่างลูกชิ้นเลียนแบบเนื้อสัตว์จากพืช **รูปแบบทอด** ในการทดลองศึกษาปริมาณสารที่ช่วยปรับปรุงเนื้อสัมผัส

Source	DF	Sum of squares	Mean squares	F	Pr > F
Model	2	0.005	0.003	3.713	0.089
Error	6	0.004	0.001		
Corrected Total	8	0.010			

หมายเหตุ Pr > F มีค่า > 0.05 ไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ที่ระดับความเชื่อมั่น 95% ( $p > 0.05$ )

**ตารางที่ 42** ผลการวิเคราะห์ความแปรปรวนด้าน Cohesiveness ของตัวอย่างลูกชิ้นเลียนแบบเนื้อสัตว์จากพืช **รูปแบบทอด** ในการทดลองศึกษาปริมาณสารที่ช่วยปรับปรุงเนื้อสัมผัส

Source	DF	Sum of squares	Mean squares	F	Pr > F
Model	2	0.006	0.003	17.160	<b>0.003</b>
Error	6	0.001	0.000		
Corrected Total	8	0.008			

หมายเหตุ Pr > F มีค่า  $\leq 0.05$  มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ที่ระดับความเชื่อมั่น 95% ( $p \leq 0.05$ )

**ตารางที่ 43** ผลการวิเคราะห์ความแปรปรวนด้าน Gumminess ของตัวอย่างลูกชิ้นเลียนแบบเนื้อสัตว์จากพืช **รูปแบบทอด** ในการทดลองศึกษาปริมาณสารที่ช่วยปรับปรุงเนื้อสัมผัส

Source	DF	Sum of squares	Mean squares	F	Pr > F
Model	2	4600447.280	2300223.640	66.359	<b>&lt;0.0001</b>
Error	6	207979.342	34663.224		
Corrected Total	8	4808426.622			

หมายเหตุ Pr > F มีค่า  $\leq 0.05$  มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ที่ระดับความเชื่อมั่น 95% ( $p \leq 0.05$ )

**ตารางที่ 44** ผลการวิเคราะห์ความแปรปรวนด้าน Chewiness ของตัวอย่างลูกชิ้นเลียนแบบเนื้อสัตว์ จากพีชรูปแบบทอดในการทดลองศึกษาปริมาณสารที่ช่วยปรับปรุงเนื้อสัมผัส

Source	DF	Sum of squares	Mean squares	F	Pr > F
Model	2	3684312.073	1842156.037	54.677	<b>0.000</b>
Error	6	202150.615	33691.769		
Corrected Total	8	3886462.689			

หมายเหตุ Pr > F มีค่า  $\leq 0.05$  มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ที่ระดับความเชื่อมั่น 95% ( $p \leq 0.05$ )

**ตารางที่ 45** ผลการวิเคราะห์ความแปรปรวนค่าความสว่าง (L\*) ของตัวอย่างลูกชิ้นเลียนแบบเนื้อสัตว์ จากพีชรูปแบบต้มในการทดลองศึกษาปริมาณสารที่ช่วยปรับปรุงเนื้อสัมผัส

Source	DF	Sum of squares	Mean squares	F	Pr > F
Model	2	12.440	6.220	5.262	<b>0.023</b>
Error	12	14.185	1.182		
Corrected Total	14	26.625			

หมายเหตุ Pr > F มีค่า  $\leq 0.05$  มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ที่ระดับความเชื่อมั่น 95% ( $p \leq 0.05$ )

**ตารางที่ 46** ผลการวิเคราะห์ความแปรปรวนค่าสีแดง (a\*) ของตัวอย่างลูกชิ้นเลียนแบบเนื้อสัตว์จาก พีชรูปแบบต้มในการทดลองศึกษาปริมาณสารที่ช่วยปรับปรุงเนื้อสัมผัส

Source	DF	Sum of squares	Mean squares	F	Pr > F
Model	2	0.598	0.299	13.062	<b>0.001</b>
Error	12	0.275	0.023		
Corrected Total	14	0.872			

หมายเหตุ Pr > F มีค่า  $\leq 0.05$  มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ที่ระดับความเชื่อมั่น 95% ( $p \leq 0.05$ )

**ตารางที่ 47** ผลการวิเคราะห์ความแปรปรวนค่าสีเหลือง (b\*) ของตัวอย่างลูกชิ้นเลียนแบบเนื้อสัตว์จากพืชรูปแบบต้มในการทดลองศึกษาปริมาณสารที่ช่วยปรับปรุงเนื้อสัมผัส

Source	DF	Sum of squares	Mean squares	F	Pr > F
Model	2	1.610	0.805	4.250	<b>0.040</b>
Error	12	2.273	0.189		
Corrected Total	14	3.883			

หมายเหตุ Pr > F มีค่า  $\leq 0.05$  มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ที่ระดับความเชื่อมั่น 95% ( $p \leq 0.05$ )

**ตารางที่ 48** ผลการวิเคราะห์ความแปรปรวนปริมาณน้ำที่สูญเสียของตัวอย่างลูกชิ้นเลียนแบบเนื้อสัตว์จากพืชรูปแบบต้มในการทดลองศึกษาปริมาณสารที่ช่วยปรับปรุงเนื้อสัมผัส

Source	DF	Sum of squares	Mean squares	F	Pr > F
Model	2	48.713	24.356	68.849	<b>&lt;0.0001</b>
Error	6	2.123	0.354		
Corrected Total	8	50.835			

หมายเหตุ Pr > F มีค่า  $\leq 0.05$  มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ที่ระดับความเชื่อมั่น 95% ( $p \leq 0.05$ )

**ตารางที่ 49** ผลการวิเคราะห์ความแปรปรวนคะแนนความชอบโดยรวมของตัวอย่างลูกชิ้นเลียนแบบเนื้อสัตว์จากพืชรูปแบบต้มในการทดลองศึกษาปริมาณสารที่ช่วยปรับปรุงเนื้อสัมผัส

Source	DF	Sum of squares	Mean squares	F	95%	99%	Sig
ผู้ทดสอบ	29	202.99	7.00	6.25	1.66	2.05	**
ตัวอย่าง	2	4.36	2.18	1.94	3.16	4.99	ns
ความคลาดเคลื่อน							
เคลื่อน	58	64.98	1.12				
รวม	89	272.32					

**ตารางที่ 50** ผลการวิเคราะห์ความแปรปรวนคะแนนความชอบโดยรวมของตัวอย่างลูกชิ้นเลียนแบบเนื้อสัตว์จากพืชรูปแบบทอดในการทดลองศึกษาปริมาณสารที่ช่วยปรับปรุงเนื้อสัมผัส

Source	DF	Sum of squares	Mean squares	F	95%	99%	Sig
ผู้ทดสอบ	29	199.66	6.88	6.86	1.66	2.05	**
ตัวอย่าง	2	5.09	2.54	2.53	3.16	4.99	ns
ความคลาดเคลื่อน							
เคลื่อน	58	58.24	1.00				
รวม	89	262.99					

**ตารางที่ 51** ผลการวิเคราะห์ความแปรปรวนด้าน Hardness ของตัวอย่างลูกชิ้นเลียนแบบเนื้อสัตว์จากพืชโดยการปรับเพิ่มปริมาณสารปรับปรุงเนื้อสัมผัสรูปแบบต้ม

Source	DF	Sum of squares	Mean squares	F	Pr > F
Model	2	11714709.390	5857354.695	363.086	<0.0001
Error	6	96792.892	16132.149		
Corrected Total	8	11811502.282			

หมายเหตุ Pr > F มีค่า  $\leq 0.05$  มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ที่ระดับความเชื่อมั่น 95% ( $p \leq 0.05$ )

**ตารางที่ 52** ผลการวิเคราะห์ความแปรปรวนด้าน Adhesiveness ของตัวอย่างลูกชิ้นเลียนแบบเนื้อสัตว์จากพืชโดยการปรับเพิ่มปริมาณสารปรับปรุงเนื้อสัมผัสรูปแบบต้ม

Source	DF	Sum of squares	Mean squares	F	Pr > F
Model	2	2208.351	1104.175	0.154	0.861
Error	6	43085.685	7180.948		
Corrected Total	8	45294.036			

หมายเหตุ Pr > F มีค่า  $> 0.05$  ไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ที่ระดับความเชื่อมั่น 95% ( $p > 0.05$ )

**ตารางที่ 53** ผลการวิเคราะห์ความแปรปรวนด้าน Springiness ของตัวอย่างลูกชิ้นเลียนแบบเนื้อสัตว์จากพืชโดยการปรับเพิ่มปริมาณสารปรับปรุงเนื้อสัมผัสรูปแบบต้ม

Source	DF	Sum of squares	Mean squares	F	Pr > F
Model	2	0.007	0.004	16.681	<b>0.004</b>
Error	6	0.001	0.000		
Corrected Total	8	0.008			

หมายเหตุ Pr > F มีค่า  $\leq 0.05$  มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ที่ระดับความเชื่อมั่น 95% ( $p \leq 0.05$ )

**ตารางที่ 54** ผลการวิเคราะห์ความแปรปรวนด้าน Cohesiveness ของตัวอย่างลูกชิ้นเลียนแบบเนื้อสัตว์จากพืชโดยการปรับเพิ่มปริมาณสารปรับปรุงเนื้อสัมผัสรูปแบบต้ม

Source	DF	Sum of squares	Mean squares	F	Pr > F
Model	2	0.000	0.000	0.953	0.437
Error	6	0.001	0.000		
Corrected Total	8	0.001			

หมายเหตุ Pr > F มีค่า  $> 0.05$  ไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ที่ระดับความเชื่อมั่น 95% ( $p > 0.05$ )

**ตารางที่ 55** ผลการวิเคราะห์ความแปรปรวนด้าน Gumminess ของตัวอย่างลูกชิ้นเลียนแบบเนื้อสัตว์จากพืชโดยการปรับเพิ่มปริมาณสารปรับปรุงเนื้อสัมผัสรูปแบบต้ม

Source	DF	Sum of squares	Mean squares	F	Pr > F
Model	2	3680809.235	1840404.618	642.017	<b>&lt;0.0001</b>
Error	6	17199.582	2866.597		
Corrected Total	8	3698008.817			

หมายเหตุ Pr > F มีค่า  $\leq 0.05$  มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ที่ระดับความเชื่อมั่น 95% ( $p \leq 0.05$ )

**ตารางที่ 56** ผลการวิเคราะห์ความแปรปรวนด้าน Chewiness ของตัวอย่างลูกชิ้นเลียนแบบเนื้อสัตว์จากพืชโดยการปรับเพิ่มปริมาณสารปรับปรุงเนื้อสัมผัสรูปแบบต้ม

Source	DF	Sum of squares	Mean squares	F	Pr > F
Model	2	1493404.004	746702.002	280.491	<0.0001
Error	6	15972.755	2662.126		
Corrected Total	8	1509376.759			

หมายเหตุ Pr > F มีค่า  $\leq 0.05$  มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ที่ระดับความเชื่อมั่น 95% ( $p \leq 0.05$ )

**ตารางที่ 57** ผลการวิเคราะห์ความแปรปรวนด้าน Gel Strength ของตัวอย่างลูกชิ้นเลียนแบบเนื้อสัตว์จากพืชโดยการปรับเพิ่มปริมาณสารปรับปรุงเนื้อสัมผัสรูปแบบต้ม

Source	DF	Sum of squares	Mean squares	F	Pr > F
Model	2	231933.569	115966.784	110.938	<0.0001
Error	6	6271.968	1045.328		
Corrected Total	8	238205.536			

หมายเหตุ Pr > F มีค่า  $\leq 0.05$  มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ที่ระดับความเชื่อมั่น 95% ( $p \leq 0.05$ )

**ตารางที่ 58** ผลการวิเคราะห์ความแปรปรวนค่าความสว่าง ( $L^*$ ) ของตัวอย่างลูกชิ้นเลียนแบบเนื้อสัตว์จากพืชโดยการปรับเพิ่มปริมาณสารปรับปรุงเนื้อสัมผัสรูปแบบต้ม

Source	DF	Sum of squares	Mean squares	F	Pr > F
Model	2	72.539	36.269	15.309	0.000
Error	12	28.430	2.369		
Corrected Total	14	100.969			

หมายเหตุ Pr > F มีค่า  $\leq 0.05$  มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ที่ระดับความเชื่อมั่น 95% ( $p \leq 0.05$ )

**ตารางที่ 59** ผลการวิเคราะห์ความแปรปรวนค่าสีแดง (a\*) ของตัวอย่างลูกชิ้นเลียนแบบเนื้อสัตว์จากพืชโดยการปรับเพิ่มปริมาณสารปรับปรุงเนื้อสัมผัสรูปแบบต้ม

Source	DF	Sum of squares	Mean squares	F	Pr > F
Model	2	0.545	0.273	10.602	<b>0.002</b>
Error	12	0.308	0.026		
Corrected Total	14	0.854			

หมายเหตุ Pr > F มีค่า  $\leq 0.05$  มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ที่ระดับความเชื่อมั่น 95% ( $p \leq 0.05$ )

**ตารางที่ 60** ผลการวิเคราะห์ความแปรปรวนค่าสีเหลือง (b\*) ของตัวอย่างลูกชิ้นเลียนแบบเนื้อสัตว์จากพืชโดยการปรับเพิ่มปริมาณสารปรับปรุงเนื้อสัมผัสรูปแบบต้ม

Source	DF	Sum of squares	Mean squares	F	Pr > F
Model	2	1.936	0.968	2.697	0.108
Error	12	4.307	0.359		
Corrected Total	14	6.242			

หมายเหตุ Pr > F มีค่า  $> 0.05$  ไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ที่ระดับความเชื่อมั่น 95% ( $p > 0.05$ )

**ตารางที่ 61** ผลการวิเคราะห์ความแปรปรวนปริมาณน้ำที่สูญเสียของตัวอย่างลูกชิ้นเลียนแบบเนื้อสัตว์จากพืชโดยการปรับเพิ่มปริมาณสารปรับปรุงเนื้อสัมผัสรูปแบบต้ม

Source	DF	Sum of squares	Mean squares	F	Pr > F
Model	2	7.693	3.847	22.587	<b>0.002</b>
Error	6	1.022	0.170		
Corrected Total	8	8.715			

หมายเหตุ Pr > F มีค่า  $\leq 0.05$  มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ที่ระดับความเชื่อมั่น 95% ( $p \leq 0.05$ )

**ตอนที่ 3 ผลการวิเคราะห์สถิติจากการวัดค่าคุณภาพของผลิตภัณฑ์ลูกชิ้นเลียนแบบเนื้อสัตว์จากพืชที่เสริมขนุนอ่อนลงไป**

**ตารางที่ 62** ผลการวิเคราะห์ความแปรปรวนด้าน Hardness ของตัวอย่างลูกชิ้นเลียนแบบเนื้อสัตว์จากพืชเสริมด้วยขนุนอ่อนเปรียบเทียบกับสูตรควบคุมรูปแบบต้ม

Source	DF	Sum of squares	Mean squares	F	Pr > F
Model	3	4469386.896	1489795.632	7.889	0.009
Error	8	1510759.222	188844.903		
Corrected Total	11	5980146.119			

หมายเหตุ Pr > F มีค่า  $\leq 0.05$  มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ที่ระดับความเชื่อมั่น 95% ( $p \leq 0.05$ )

**ตารางที่ 63** ผลการวิเคราะห์ความแปรปรวนด้าน Adhesiveness ของตัวอย่างลูกชิ้นเลียนแบบเนื้อสัตว์จากพืชเสริมด้วยขนุนอ่อนเปรียบเทียบกับสูตรควบคุมรูปแบบต้ม

Source	DF	Sum of squares	Mean squares	F	Pr > F
Model	3	24182.189	8060.730	3.732	0.061
Error	8	17279.850	2159.981		
Corrected Total	11	41462.038			

หมายเหตุ Pr > F มีค่า  $> 0.05$  ไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ที่ระดับความเชื่อมั่น 95% ( $p > 0.05$ )

**ตารางที่ 64** ผลการวิเคราะห์ความแปรปรวนด้าน Springiness ของตัวอย่างลูกชิ้นเลียนแบบเนื้อสัตว์จากพืชเสริมด้วยขนุนอ่อนเปรียบเทียบกับสูตรควบคุมรูปแบบต้ม

Source	DF	Sum of squares	Mean squares	F	Pr > F
Model	3	0.031	0.010	3.070	0.091
Error	8	0.027	0.003		
Corrected Total	11	0.058			

หมายเหตุ Pr > F มีค่า  $> 0.05$  ไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ที่ระดับความเชื่อมั่น 95% ( $p > 0.05$ )

**ตารางที่ 65** ผลการวิเคราะห์ความแปรปรวนด้าน Cohesiveness ของตัวอย่างลูกชิ้นเลียนแบบเนื้อสัตว์จากพืชเสริมด้วยขนุนอ่อนเปรียบเทียบกับสูตรควบคุมรูปแบบต้ม

Source	DF	Sum of squares	Mean squares	F	Pr > F
Model	3	0.011	0.004	9.862	<b>0.005</b>
Error	8	0.003	0.000		
Corrected Total	11	0.014			

หมายเหตุ Pr > F มีค่า  $\leq 0.05$  มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ที่ระดับความเชื่อมั่น 95% ( $p \leq 0.05$ )

**ตารางที่ 66** ผลการวิเคราะห์ความแปรปรวนด้าน Gumminess ของตัวอย่างลูกชิ้นเลียนแบบเนื้อสัตว์จากพืชเสริมด้วยขนุนอ่อนเปรียบเทียบกับสูตรควบคุมรูปแบบต้ม

Source	DF	Sum of squares	Mean squares	F	Pr > F
Model	3	911304.062	303768.021	5.194	<b>0.028</b>
Error	8	467861.834	58482.729		
Corrected Total	11	1379165.896			

หมายเหตุ Pr > F มีค่า  $\leq 0.05$  มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ที่ระดับความเชื่อมั่น 95% ( $p \leq 0.05$ )

**ตารางที่ 67** ผลการวิเคราะห์ความแปรปรวนด้าน Chewiness ของตัวอย่างลูกชิ้นเลียนแบบเนื้อสัตว์จากพืชเสริมด้วยขนุนอ่อนเปรียบเทียบกับสูตรควบคุมรูปแบบต้ม

Source	DF	Sum of squares	Mean squares	F	Pr > F
Model	3	524113.760	174704.587	2.345	0.149
Error	8	596060.664	74507.583		
Corrected Total	11	1120174.424			

หมายเหตุ Pr > F มีค่า  $> 0.05$  ไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ที่ระดับความเชื่อมั่น 95% ( $p > 0.05$ )

**ตารางที่ 68** ผลการวิเคราะห์ความแปรปรวนด้าน Gel Strength ของตัวอย่างลูกชิ้นเลียนแบบเนื้อสัตว์จากพืชที่เสริมด้วยไขมันอ่อนเปรียบเทียบกับสูตรควบคุมรูปแบบต้ม

Source	DF	Sum of squares	Mean squares	F	Pr > F
Model	3	313919.314	104639.771	55.512	<0.0001
Error	8	15079.994	1884.999		
Corrected Total	11	328999.307			

หมายเหตุ Pr > F มีค่า  $\leq 0.05$  มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ที่ระดับความเชื่อมั่น 95% ( $p \leq 0.05$ )

**ตารางที่ 69** ผลการวิเคราะห์ความแปรปรวนด้าน Hardness ของตัวอย่างลูกชิ้นเลียนแบบเนื้อสัตว์จากพืชเสริมด้วยไขมันอ่อนเปรียบเทียบกับสูตรควบคุมรูปแบบทอด

Source	DF	Sum of squares	Mean squares	F	Pr > F
Model	3	10956552.504	3652184.168	30.285	0.000
Error	8	964743.618	120592.952		
Corrected Total	11	11921296.122			

หมายเหตุ Pr > F มีค่า  $\leq 0.05$  มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ที่ระดับความเชื่อมั่น 95% ( $p \leq 0.05$ )

**ตารางที่ 70** ผลการวิเคราะห์ความแปรปรวนด้าน Springiness ของตัวอย่างลูกชิ้นเลียนแบบเนื้อสัตว์จากพืชเสริมด้วยไขมันอ่อนเปรียบเทียบกับสูตรควบคุมรูปแบบทอด

Source	DF	Sum of squares	Mean squares	F	Pr > F
Model	3	0.024	0.008	10.519	0.004
Error	8	0.006	0.001		
Corrected Total	11	0.030			

หมายเหตุ Pr > F มีค่า  $\leq 0.05$  มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ที่ระดับความเชื่อมั่น 95% ( $p \leq 0.05$ )

**ตารางที่ 71** ผลการวิเคราะห์ความแปรปรวนด้าน Cohesiveness ของตัวอย่างลูกชิ้นเลียนแบบเนื้อสัตว์จากพืชเสริมด้วยขนุนอ่อนเปรียบเทียบกับสูตรควบคุมรูปแบบทอด

Source	DF	Sum of squares	Mean squares	F	Pr > F
Model	3	0.015	0.005	22.161	<b>0.000</b>
Error	8	0.002	0.000		
Corrected Total	11	0.017			

หมายเหตุ Pr > F มีค่า  $\leq 0.05$  มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ที่ระดับความเชื่อมั่น 95% ( $p \leq 0.05$ )

**ตารางที่ 72** ผลการวิเคราะห์ความแปรปรวนด้าน Gumminess ของตัวอย่างลูกชิ้นเลียนแบบเนื้อสัตว์จากพืชเสริมด้วยขนุนอ่อนเปรียบเทียบกับสูตรควบคุมรูปแบบทอด

Source	DF	Sum of squares	Mean squares	F	Pr > F
Model	3	3669928.917	1223309.639	16.566	<b>0.001</b>
Error	8	590746.905	73843.363		
Corrected Total	11	4260675.823			

หมายเหตุ Pr > F มีค่า  $\leq 0.05$  มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ที่ระดับความเชื่อมั่น 95% ( $p \leq 0.05$ )

**ตารางที่ 73** ผลการวิเคราะห์ความแปรปรวนด้าน Chewiness ของตัวอย่างลูกชิ้นเลียนแบบเนื้อสัตว์จากพืชเสริมด้วยขนุนอ่อนเปรียบเทียบกับสูตรควบคุมรูปแบบทอด

Source	DF	Sum of squares	Mean squares	F	Pr > F
Model	3	2018175.725	672725.242	19.942	<b>0.000</b>
Error	8	269871.661	33733.958		
Corrected Total	11	2288047.386			

หมายเหตุ Pr > F มีค่า  $\leq 0.05$  มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ที่ระดับความเชื่อมั่น 95% ( $p \leq 0.05$ )

**ตารางที่ 74** ผลการวิเคราะห์ความแปรปรวนค่าความสว่าง (L\*) ของตัวอย่างลูกชิ้นเลียนแบบเนื้อสัตว์จากพืชเสริมด้วยขนุนอ่อนเปรียบเทียบกับสูตรควบคุมรูปแบบต้ม

Source	DF	Sum of squares	Mean squares	F	Pr > F
Model	3	45.874	15.291	1.574	0.235
Error	16	155.452	9.716		
Corrected Total	19	201.327			

หมายเหตุ Pr > F มีค่า > 0.05 ไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ที่ระดับความเชื่อมั่น 95% ( $p > 0.05$ )

**ตารางที่ 75** ผลการวิเคราะห์ความแปรปรวนค่าสีแดง (a\*) ของตัวอย่างลูกชิ้นเลียนแบบเนื้อสัตว์จากพืชเสริมด้วยขนุนอ่อนเปรียบเทียบกับสูตรควบคุมรูปแบบต้ม

Source	DF	Sum of squares	Mean squares	F	Pr > F
Model	3	6.223	2.074	59.226	<0.0001
Error	16	0.560	0.035		
Corrected Total	19	6.783			

หมายเหตุ Pr > F มีค่า  $\leq 0.05$  มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ที่ระดับความเชื่อมั่น 95% ( $p \leq 0.05$ )

**ตารางที่ 76** ผลการวิเคราะห์ความแปรปรวนค่าสีเหลือง (b\*) ของตัวอย่างลูกชิ้นเลียนแบบเนื้อสัตว์จากพืชเสริมด้วยขนุนอ่อนเปรียบเทียบกับสูตรควบคุมรูปแบบต้ม

Source	DF	Sum of squares	Mean squares	F	Pr > F
Model	3	6.191	2.064	1.648	0.218
Error	16	20.039	1.252		
Corrected Total	19	26.230			

หมายเหตุ Pr > F มีค่า > 0.05 ไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ที่ระดับความเชื่อมั่น 95% ( $p > 0.05$ )

**ตารางที่ 77** ผลการวิเคราะห์ความแปรปรวนปริมาณน้ำที่สูญเสียของตัวอย่างลูกชิ้นเลียนแบบเนื้อสัตว์จากพืชเสริมด้วยขนุนอ่อนเปรียบเทียบกับสูตรควบคุมรูปแบบต้ม

Source	DF	Sum of squares	Mean squares	F	Pr > F
Model	3	1.552	0.517	2.474	0.136
Error	8	1.673	0.209		
Corrected Total	11	3.226			

หมายเหตุ Pr > F มีค่า > 0.05 ไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ที่ระดับความเชื่อมั่น 95% ( $p > 0.05$ )

**ตารางที่ 78** ผลการวิเคราะห์ความแปรปรวนคะแนนความชอบโดยรวมของตัวอย่างลูกชิ้นเลียนแบบเนื้อสัตว์จากพืชเสริมด้วยขนุนอ่อน 10%, 20% และ 30% โดยน้ำหนักรูปแบบต้ม

Source	DF	Sum of squares	Mean squares	F	95%	99%	Sig
ผู้ทดสอบ	28	123.82	4.42	6.79	1.68	2.08	**
ตัวอย่าง	2	10.21	5.10	7.84	3.16	5.01	**
ความคลาดเคลื่อน	56	36.46	0.65				
รวม	86	170.48					

**ตารางที่ 79** ผลการวิเคราะห์ความแปรปรวนคะแนนความชอบโดยรวมของตัวอย่างลูกชิ้นเลียนแบบเนื้อสัตว์จากพืชเสริมด้วยขนุนอ่อน 10%, 20% และ 30% โดยน้ำหนักรูปแบบทอด

Source	DF	Sum of squares	Mean squares	F	95%	99%	Sig
ผู้ทดสอบ	29	118.77	4.10	6.97	1.66	2.05	**
ตัวอย่าง	2	3.27	1.63	2.78	3.16	4.99	ns
ความคลาดเคลื่อน	58	34.07	0.59				
รวม	89	156.10					

**ตารางที่ 80** ผลการวิเคราะห์ความแปรปรวนคะแนนความชอบโดยรวมของตัวอย่างลูกชิ้นเลียนแบบเนื้อสัตว์จากพืชเสริมด้วยขนุนอ่อน 10%, 20% และ 30% โดยน้ำหนักเปรียบเทียบกับสูตรควบคุม  
รูปแบบต้ม

Source	DF	Sum of squares	Mean squares	F	95%	99%	Sig
ผู้ทดสอบ	28	87.73	3.03	2.82	1.66	2.06	**
ตัวอย่าง	2	8.47	4.23	3.95	3.16	4.99	*
ความคลาด							
เคลื่อน	56	62.20	1.07				
รวม	86	158.40					

**ตารางที่ 81** ผลการวิเคราะห์ความแปรปรวนคะแนนความชอบโดยรวมของตัวอย่างลูกชิ้นเลียนแบบเนื้อสัตว์จากพืชเสริมด้วยขนุนอ่อน 10%, 20% และ 30% โดยน้ำหนักเปรียบเทียบกับสูตรควบคุม  
รูปแบบทอด

Source	DF	Sum of squares	Mean squares	F	95%	99%	Sig
ผู้ทดสอบ	29	68.49	2.36	3.21	1.66	2.05	**
ตัวอย่าง	2	45.36	22.68	30.84	3.16	4.99	**
ความคลาด							
เคลื่อน	58	42.64	0.74				
รวม	89	156.49					

**ตารางที่ 82** ผลการเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยของตัวอย่างสูตรควบคุมและสูตรเสริมขนุนอ่อน 10% โดยน้ำหนักในด้าน ปริมาณเถ้า (Ash)

	Ash	Ash
Mean	2.016666667	1.663333
Variance	0.002433333	0.022433
Observations	3	3
Pooled Variance	0.012433333	
Hypothesized Mean Difference	0	
df	4	
t Stat	3.880935737	
P(T<=t) one-tail	0.008913557	
t Critical one-tail	2.131846786	
P(T<=t) two-tail	0.017827113	
t Critical two-tail	2.776445105	

หมายเหตุ P(T ≤ t) two-tail มีค่า ≤ 0.05 มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ที่ระดับความเชื่อมั่น 95% ( $p \leq 0.05$ )

**ตารางที่ 83** ผลการเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยของตัวอย่างสูตรควบคุมและสูตรเสริมขนุนอ่อน 10% โดยน้ำหนักในด้าน ปริมาณไขมันทั้งหมด (Total fat)

	Total fat	Total fat
Mean	6.74	5.99
Variance	0.0031	0.0109
Observations	3	3
Pooled Variance	0.007	
Hypothesized Mean Difference	0	
df	4	
t Stat	10.97888	
P(T<=t) one-tail	0.000196	
t Critical one-tail	2.131847	
P(T<=t) two-tail	0.000391	
t Critical two-tail	2.776445	

หมายเหตุ P(T ≤ t) two-tail มีค่า ≤ 0.05 มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ที่ระดับความเชื่อมั่น 95% ( $p \leq 0.05$ )

**ตารางที่ 84** ผลการเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยของตัวอย่างสูตรควบคุมและสูตรเสริมขุ่นอ่อน 10% โดยน้ำหนักในด้านความชื้น (Moisture)

	Moisture	Moisture
Mean	49.6866667	55.07
Variance	0.13043333	4.9392
Observations	3	3
Pooled Variance	2.53481667	
Hypothesized Mean Difference	0	
df	4	
t Stat	-4.1411754	
P(T<=t) one-tail	0.0071814	
t Critical one-tail	2.13184679	
P(T<=t) two-tail	0.0143628	
t Critical two-tail	2.77644511	

หมายเหตุ P(T ≤ t) two-tail มีค่า ≤ 0.05 มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ที่ระดับความเชื่อมั่น 95% (p≤0.05)

**ตารางที่ 85** ผลการเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยของตัวอย่างสูตรควบคุมและสูตรเสริมขุ่นอ่อน 10% โดยน้ำหนักในด้านปริมาณโปรตีน (Protein)

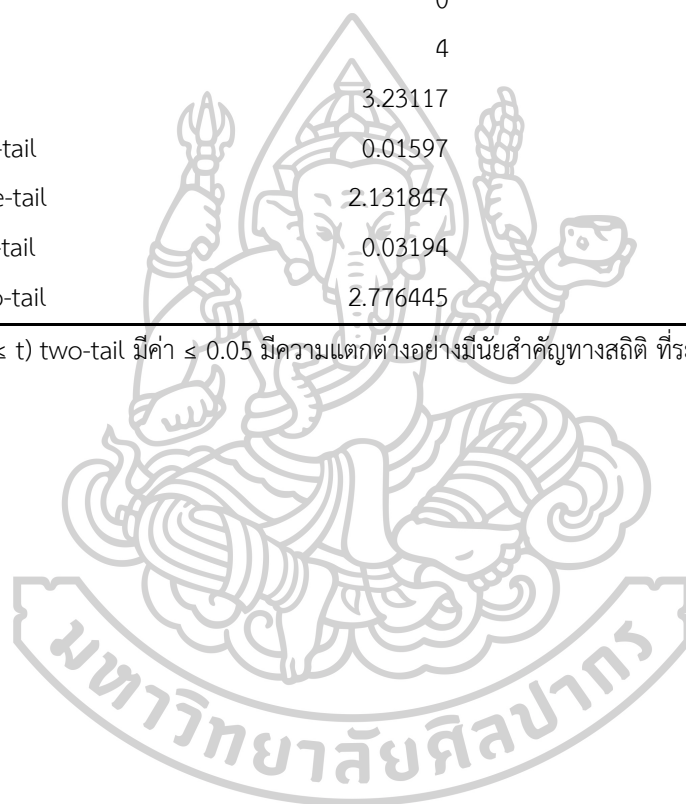
	Protein	Protein
Mean	19.67	17.34
Variance	0.0139	0.5725
Observations	3	3
Pooled Variance	0.2932	
Hypothesized Mean Difference	0	
df	4	
t Stat	5.270108635	
P(T<=t) one-tail	0.003105843	
t Critical one-tail	2.131846786	
P(T<=t) two-tail	0.006211686	
t Critical two-tail	2.776445105	

หมายเหตุ P(T ≤ t) two-tail มีค่า ≤ 0.05 มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ที่ระดับความเชื่อมั่น 95% (p≤0.05)

**ตารางที่ 86** ผลการเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยของตัวอย่างสูตรควบคุมและสูตรเสริมขุ่นอ่อน 10% โดยน้ำหนักในด้าน ปริมาณใยอาหารทั้งหมด (Total Dietary Fiber)

	Total Dietary Fiber	Total Dietary Fiber
Mean	4.546667	4.28
Variance	0.006533	0.0139
Observations	3	3
Pooled Variance	0.010217	
Hypothesized Mean Difference	0	
df	4	
t Stat	3.23117	
P(T<=t) one-tail	0.01597	
t Critical one-tail	2.131847	
P(T<=t) two-tail	0.03194	
t Critical two-tail	2.776445	

หมายเหตุ P(T ≤ t) two-tail มีค่า ≤ 0.05 มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ที่ระดับความเชื่อมั่น 95% (p≤0.05)



## ประวัติผู้เขียน

<b>ชื่อ-สกุล</b>	ชัญญชิตา พุ่มตาก้อง
<b>วุฒิการศึกษา</b>	วิทยาศาสตรบัณฑิต (เทคโนโลยีอาหาร) เกียรตินิยมอันดับสอง
<b>ผลงานตีพิมพ์</b>	ชัญญชิตา พุ่มตาก้อง และประสงค์ ศิริวงศ์วิไลชาติ. (2568). อิทธิพลของอัตราส่วนระหว่างโปรตีนถั่วเหลืองและกลูเตนข้าวสาลีต่อสมบัติทางกายภาพของลูกชิ้นเลียนแบบเนื้อสัตว์จากพืช. ใน การประชุมวิชาการระดับชาติ ประจำปี 2568 ด้านสารสนเทศ การเกษตร วิศวกรรมศาสตร์ วิทยาศาสตร์ และเทคโนโลยี ครั้งที่ 10 : IAMBEST 2025 (หน้า 228-234). ชุมพร: สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง วิทยาเขตชุมพร เขตระอุตมศักดิ์.
<b>รางวัลที่ได้รับ</b>	รางวัลยอดเยี่ยมในการนำเสนอผลงานวิจัยภาคโปสเตอร์ ด้านเทคโนโลยีและวิศวกรรมศาสตร์ (Best Paper Award) ในหัวข้อเรื่อง "อิทธิพลของอัตราส่วนระหว่างโปรตีนถั่วเหลืองและกลูเตนข้าวสาลีต่อสมบัติทางกายภาพของลูกชิ้นเลียนแบบเนื้อสัตว์จากพืช" จากการประชุมวิชาการระดับชาติ และระดับนานาชาติ ประจำปี 2568 (IAMBEST 2025) จัดโดยสถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง วิทยาเขตชุมพรเขตระอุตมศักดิ์ จังหวัดชุมพร