

รายงานวิจัยฉบับสมบูรณ์
การใช้ประโยชน์ของผงเต้าหู้เพื่ออุตสาหกรรมอาหารสุขภาพ
Utilization of tofu powder for health food industry



ศิริมา วรรณรังษี
วรลักษณ์ ปัญญาธิพิงศ์
ยุพร พิชกมุทร

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร

ชื่อเรื่อง: การใช้ประโยชน์ของผงด้าหู้เพื่ออุตสาหกรรมอาหารสุขภาพ

ผู้วิจัย : ศิริมา วรรณรังษี

วรลักษณ์ ปัญญาธิพงศ์

ยุพร พิษกมฺพร

พ.ศ. : 2550

บทคัดย่อ

ผงด้าหู้เป็นผลิตภัณฑ์ที่ได้จากการอบด้าหู้แล้วนำไปบดให้ละเอียด เพื่อใช้เป็นแหล่งโปรตีนอีกทางเลือกหนึ่ง เมื่อนำผงด้าหู้ไปเตรียมให้อยู่ในรูปของพรีอิมัลชัน เพื่อเติมลงในผลิตภัณฑ์อิมัลชันเจล โดยทำการทดลองผลิตผลิตภัณฑ์ด้าหู้ปลาในอัตราส่วน 40, 50 และ 60% ของน้ำหนักซูริมิ พบว่าสามารถเติมลงในสูตรด้าหู้ปลาได้ถึง 60% ของน้ำหนักซูริมิ โดยได้รับคะแนนความชอบรวมจากการทดสอบทางประสาทสัมผัสมากที่สุด และเมื่อนำไปเติมลงในผลิตภัณฑ์ลูกชิ้นปลาในอัตราส่วน 50, 60, 70 และ 80% ของน้ำหนักซูริมิ พบว่าสามารถเติมลงไปในสูตรลูกชิ้นปลาได้ถึง 80% ของน้ำหนักซูริมิ โดยได้รับคะแนนความชอบรวมจากการทดสอบทางประสาทสัมผัสมากที่สุด

คำสำคัญ: ผงด้าหู้, ด้าหู้ปลา, ลูกชิ้นปลา, อาหารเพื่อสุขภาพ



Title : Utilization of tofu powder for health food industry
Researcher : Sirima Wannarangsri
Woralak Panyathitipong
Yuporn Puechkamut
Year : 2007

ABSTRACT

Tofu powder is the product from ground dried tofu which can be used as an alternative protein source. Pre- emulsion from the mixtures of tofu powder water and oil were prepared. The effect of pre-emulsion (40, 50 and 60% of surimi weight) on the qualities of fish tofu were elucidated. The pre-emulsion could be added to fish tofu at 60% of surimi weight. The result of sensory test showed that overall acceptance from panelists of this fish tofu was significantly. When the pre-emulsion was added to fish ball (50, 60, 70 and 80% of surimi weight) the pre-emulsion could be added to fish ball at 80% of surimi weight. The result of sensory test showed that overall acceptance from panelists of this fish ball was significantly.

Keywords: tofu powder, fish tofu, fish ball, health food

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อไทย	I
บทคัดย่ออังกฤษ	II
สารบัญ	III
สารบัญตาราง	IV
สารบัญภาพ	V
บทที่ 1 บทนำ	1
1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา	1
1.2 ขอบเขตของงานวิจัย	2
1.3 วัตถุประสงค์	2
1.4 ผลที่คาดว่าจะได้รับ	2
บทที่ 2 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	3
2.1 เค้าหู้	3
2.2 ผงเค้าหู้	4
2.3 การใช้ประโยชน์จากผลิตภัณฑ์ถั่วเหลืองในผลิตภัณฑ์เนื้อสัตว์	5
2.4 การเกิดเจล	8
2.5 การเกิดเจลของโปรตีนถั่วเหลือง	10
บทที่ 3 อุปกรณ์และวิธีการ	15
3.1 วัสดุดิบ	15
3.2 อุปกรณ์และเครื่องมือ	15
3.3 วิธีการดำเนินงาน	14
บทที่ 4 ผลการทดลองและวิจารณ์	20
4.1 ผลการศึกษาปริมาณพรีอิมัลชันที่เหมาะสมต่อคุณภาพของลูกชิ้นปลา	20
4.2 ผลการศึกษาปริมาณพรีอิมัลชันที่เหมาะสมต่อคุณภาพของเค้าหู้ปลา	21
บทที่ 5 สรุปผลการทดลอง	23
บรรณานุกรม	24
ภาคผนวก	
ก. แบบทดสอบทางประสาทสัมผัส	26
ข. ลักษณะของผลิตภัณฑ์	28

สารบัญตาราง

ตารางที่	หน้า
3.1 ส่วนผสมในการผลิตลูกชิ้นปลา	17
3.2 ส่วนผสมในการผลิตเต้าหู้ปลา	19
4.1 ผลการทดสอบทางประสาทสัมผัสของผลิตภัณฑ์ลูกชิ้นปลาที่มีการเติมพรีอิมัลชัน	20
4.2 ผลการวิเคราะห์ลักษณะเนื้อสัมผัสของตัวอย่างลูกชิ้นที่มีการเติมพรีอิมัลชัน	21
4.3 ผลการทดสอบทางประสาทสัมผัสของผลิตภัณฑ์เต้าหู้ปลาที่มีการเติมพรีอิมัลชัน	22
4.4 ผลการวิเคราะห์ลักษณะเนื้อสัมผัสของตัวอย่างลูกชิ้นที่มีการเติมพรีอิมัลชัน	22



สารบัญภาพ

ภาพที่	หน้า
3.1 การผลิตผงเต้าหู้	15
3.2 วิธีการเตรียมพรีอิมัลชัน	15
3.3 ขั้นตอนการผลิตลูกชิ้นปลา	18
3.4 ขั้นตอนการผลิตเต้าหู้ปลา	19
3.1 ขั้นตอนการผลิตผลิตภัณฑ์เต้าหู้หมู	20
ข. 1 ลูกชิ้นปลาที่ใช้ผงเต้าหู้ทดแทนซูริมิบางส่วน	29
ข. 2 เต้าหู้ปลาที่ใช้ผงเต้าหู้ทดแทนซูริมิบางส่วน	29



บทที่ 1

บทนำ

1.1 ความสำคัญและที่มา

ถั่วเหลืองเป็นจัดว่าเป็นอาหารหลักและเป็นที่ยอมรับโคคในกลุ่มประเทศทางตะวันออก และตะวันออกเฉียงใต้ของทวีปเอเชีย ซึ่งปัจจุบันกลุ่มประเทศทางตะวันตกได้หันมาให้ความสนใจ ในการบริโภคถั่วเหลืองมากขึ้นเนื่องจากถั่วเหลืองเป็นแหล่งของโปรตีนที่มีราคาถูก มีคุณค่าทาง โภชนาการใกล้เคียงเนื้อสัตว์ และพบว่าในถั่วเหลืองมีสารที่เป็นประโยชน์ต่อร่างกายในการช่วย ป้องกันโรคหัวใจ โรคกระดูกพรุน และมะเร็งบางชนิด โดยปัจจุบันได้มีการรณรงค์ให้มีการบริโภค ถั่วเหลืองกันมากขึ้น เนื่องจากในปี 1998 FDA (Food and Drug Administration) ได้ อนุญาตให้มีการอ้างประโยชน์ของการบริโภคโปรตีนจากถั่วเหลืองในการช่วยป้องกันการเกิด โรคหัวใจ เนื่องจากมีไอโซฟลาโวนส์ที่มีคุณสมบัติเป็นแอนติออกซิแดนท์ช่วยป้องกันการอุดตันของ หลอดเลือดได้ (Federal Register. 1998) และช่วยลดความเสี่ยงในการเกิดมะเร็งปากมดลูก มะเร็งเต้านม มะเร็งต่อมลูกหมาก และมะเร็งลำไส้ได้ (Uzzan, 2004)

ปัจจุบันอุตสาหกรรมอาหารได้มีการนำโปรตีนจากถั่วเหลืองเข้ามาใช้เป็นส่วนผสมของ อาหารมากขึ้นโดยเฉพาะอุตสาหกรรมการผลิตผลิตภัณฑ์เนื้อสัตว์ เนื่องจากโปรตีนถั่วเหลือง สามารถช่วยปรับปรุงลักษณะเนื้อสัมผัส และช่วยลดต้นทุนการในการผลิตได้ แต่โปรตีนจากถั่ว เหลืองส่วนใหญ่นำเข้าจากต่างประเทศและมีวิธีการผลิตที่ยุ่งยาก วรลักษณ์ ปัญญาธิพิงศ์ และ ยุพร พิชกมูร (2545) ได้ทำการทดลองเตรียมผงเต้าหู้เพื่อใช้ทดแทนการนำเข้าของโปรตีนถั่ว เหลืองจากต่างประเทศ โดยการตกตะกอนโปรตีนจากน้ำนมถั่วเหลืองแล้วนำตะกอนที่ได้มาทำการ อบแห้ง พบว่าผงเต้าหู้มีคุณสมบัติเป็นอิมัลชันที่มีความคงตัวที่สูงไม่พบการแยกชั้นของน้ำมันและ สามารถเก็บรักษาที่อุณหภูมิห้องได้มากกว่า 3 เดือน โดยไม่มีการขึ้นหืน และมีโปรตีนสูงกว่า เนื้อสัตว์ถึง 2.5 เท่า นอกจากนี้เมื่อพิจารณาจากองค์ประกอบทางเคมีของผงเต้าหู้ พบว่ามี ปริมาณไขมัน 29.78 เปอร์เซ็นต์ (วรลักษณ์ ปัญญาธิพิงศ์ และยุพร พิชกมูร, 2545) ซึ่ง ปริมาณไขมันที่สูงอาจทำให้มีข้อจำกัดในการนำไปใช้ การปรับปรุงกระบวนการผลิตผงเต้าหู้โดย พิจารณาจากปัจจัยเหล่านี้ อาจทำให้การใช้ประโยชน์ของผงเต้าหู้มีมากขึ้น นอกจากนี้ สันติ ธรรม โชติประทุม (2546) ได้ทดลองผลิตเต้าหู้หมู โดยสามารถใช้อิมัลชันจากผงเต้าหู้ 80 เปอร์เซ็นต์ และเนื้อหมูบด 10 เปอร์เซ็นต์ ในสภาพที่ต้องมีสารไฮโดรคอลลอยด์ เช่น แป้ง หรือกัมเข้ามาช่วยในการฟอร์มเจล ผลิตภัณฑ์ที่ได้มีความชื้น 32 เปอร์เซ็นต์ โปรตีน 16 เปอร์เซ็นต์ และไขมัน 18 เปอร์เซ็นต์ ซึ่งจะมีปริมาณโปรตีนสูงกว่าเมื่อเปรียบเทียบกับผลิตภัณฑ์ หมูยอหรือไส้กรอก อย่างไรก็ตามผลิตภัณฑ์เต้าหู้หมูที่ผลิตได้มีข้อจำกัด กล่าวคือไม่มีความ เสถียรเมื่อนำไปทอด ผลิตภัณฑ์มีลักษณะแตก มีรูพรุน ดังนั้นในการทำวิจัยนี้จึงทำการทดลอง

นำผงเต้าหู้ไปใช้ประโยชน์ในผลิตภัณฑ์เนื้อสัตว์จากปลาเพื่อเป็นแนวทางในการนำไปพัฒนาผลิตภัณฑ์อิมัลชันเจลจากผงเต้าหู้ต่อไป

1.2 ขอบเขตงานวิจัย

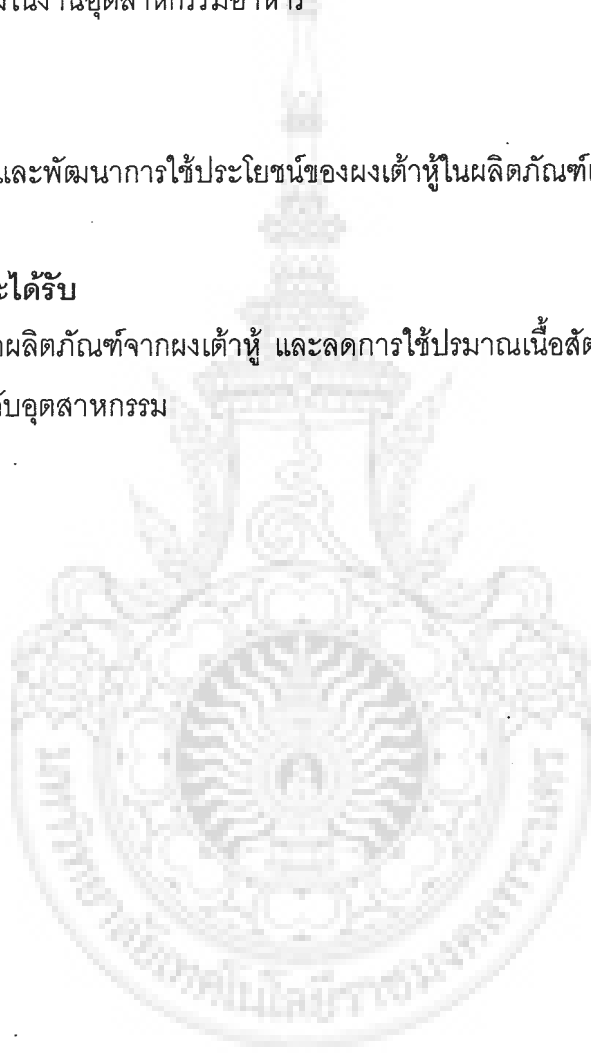
การวิจัยในครั้งนี้เป็นศึกษาการนำผงเต้าหู้ไปผลิตเป็นผลิตภัณฑ์อิมัลชันเจลร่วมกับเนื้อปลาบด ซึ่งเป็นแนวทางในการนำไปผลิตผลิตภัณฑ์ที่ลดปริมาณเนื้อสัตว์ หรืออาหารเพื่อสุขภาพให้สามารถใช้ได้จริงในงานอุตสาหกรรมอาหาร

1.3 วัตถุประสงค์

เพื่อศึกษาและพัฒนาการใช้ประโยชน์ของผงเต้าหู้ในผลิตภัณฑ์เนื้อสัตว์ประเภทปลา

1.4 ผลที่คาดว่าจะได้รับ

เพื่อพัฒนาผลิตภัณฑ์จากผงเต้าหู้ และลดการใช้ปริมาณเนื้อสัตว์ เพื่อเป็นแนวทางในการนำไปพัฒนาในระดับอุตสาหกรรม



บทที่ 2

งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

โปรตีนจากพืชเป็นโปรตีนที่มีคุณภาพ ปริมาณโปรตีนในพืชนั้นแตกต่างกันไปตามชนิดและส่วนของพืช พืชที่จัดว่ามีโปรตีนมากที่สุดคือพืชตระกูลถั่ว โดยเฉพาะถั่วเหลืองจัดได้ว่ามีโปรตีนที่มีคุณภาพสูงและมีคุณค่าทางอาหารทัดเทียมเนื้อสัตว์และราคาค่อนข้างต่ำ ถั่วเหลืองสามารถแปรรูปเป็นผลิตภัณฑ์ต่างๆ ได้มากมายหลายประเภท เช่น ผลิตภัณฑ์โปรตีนจากถั่วเหลืองนมถั่วเหลือง และเต้าหู้

2.1 เต้าหู้

เต้าหู้เป็นผลิตภัณฑ์ที่คนเอเชียรู้จัก และบริโภคมาเป็นระยะเวลานาน และเป็นแหล่งโปรตีนที่ดี มีราคาถูก และย่อยง่าย เต้าหู้มีโปรตีนสูงประมาณ 50 เปอร์เซ็นต์ ซึ่งสามารถใช้ทดแทนเนื้อสัตว์ได้ เต้าหู้เป็นผลิตภัณฑ์ที่ปราศจากคอเลสเตอรอล และเป็นอาหารที่มีพลังงานต่ำ เมื่อเปรียบเทียบกับเนื้อสัตว์ โดยถ้าได้รับโปรตีนจากเต้าหู้ 20 กรัมต่อวันแทนโปรตีนจากเนื้อสัตว์ก็เพียงพอในการช่วยลดระดับคอเลสเตอรอล ในกระแสเลือดได้ (Hideo and Kawassaki. 1990)

ลักษณะของเต้าหู้มีลักษณะเนื้อสัมผัสแตกต่างกันไปขึ้นกับกระบวนการผลิต โดยเต้าหู้สามารถผลิตให้มีลักษณะแตกต่างกันไปโดยการปรับปริมาณความชื้น เช่น เต้าหู้ที่มีน้ำเป็นองค์ประกอบ 87-90 เปอร์เซ็นต์ จะมีผิวเรียบ และอ่อนนุ่ม ส่วนเต้าหู้ที่มีปริมาณน้ำ 50-60 เปอร์เซ็นต์ มีลักษณะแข็งและมีลักษณะเนื้อสัมผัสคล้ายเนื้อสัตว์ นอกจากนี้ชนิดของสารตกตะกอนก็ส่งผลให้ลักษณะเนื้อสัมผัสของเต้าหู้ต่างกัน ส่วนรูปร่างและขนาดของเต้าหู้ขึ้นอยู่กับความแตกต่างของแม่พิมพ์ หรือภาชนะที่ใส่ เต้าหู้ที่มีคุณภาพดีต้องไม่มีกลิ่น รสจืด และมีสีขาว (อุดม และสมชาย, 2519)

เต้าหู้ที่มีคุณภาพที่ดีจะต้องมีลักษณะเนื้อสัมผัสนุ่ม เรียบ เกาะติดกันไม่เป็นยาง และแข็งเกินไป ลักษณะเนื้อสัมผัสของเต้าหู้จึงเป็นสิ่งสำคัญและมีผลต่อคุณภาพและการยอมรับของผู้บริโภค สภาวะต่างๆ ในการผลิตเต้าหู้ เช่น อุณหภูมิ ชนิดและความเข้มข้นของสารที่ช่วยให้แข็งตัว การคน และอัตราส่วนระหว่างน้ำกับถั่วเหลืองจะมีผลต่อคุณภาพและผลผลิตของเต้าหู้ต่างกัน นอกจากนี้การผลิตเต้าหู้โดยใช้ถั่วเหลืองสายพันธุ์ต่างๆ จะทำให้คุณภาพและผลผลิตของเต้าหู้แตกต่างกัน เนื่องจากถั่วเหลืองแต่ละสายพันธุ์มีปริมาณโปรตีนแตกต่างกันด้วย (Lim et al. 1990)

2.2 ผงเต้าหู้ (Tofu powder)

เต้าหู้เป็นผลิตภัณฑ์ที่มีปริมาณน้ำสูง เกิดการเน่าเสียได้ง่ายจากจุลินทรีย์ จึงมีการปรับปรุงและพัฒนาผลิตผงเต้าหู้ เพื่อลดปัญหาการเสื่อมเสียเนื่องจากจุลินทรีย์ โดยการนำเต้าหู้มาลดความชื้น และบดให้ละเอียด สามารถเก็บได้เป็นระยะเวลานาน (Smith and Circle. 1980; วรลักษณ์ และ ยุพร. 2545) ซึ่งเป็นอีกแนวทางหนึ่งในการนำโปรตีนถั่วเหลืองในรูปผงเต้าหู้มาใช้ในผลิตภัณฑ์เนื้อสัตว์ เนื่องจากกระบวนการผลิตเต้าหู้มีกระบวนการที่ไม่ยุ่งยาก ไม่ซับซ้อน ราคาถูก สามารถผลิตใช้ได้เองภายในประเทศ (วรลักษณ์ ปัญญาธิพงศ์ และยุพร พิชกมฺุทร. 2545)

Chung and Kim (1996) ผลิตผงเต้าหู้โดยใช้ CaCl_2 และ Glucono- δ -lactone (GDL) อบแห้งด้วยตู้อบลมร้อนที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส ทดสอบคุณภาพด้านการละลาย และการเป็นอิมัลซิฟายเออร์ เปรียบเทียบกับโปรตีนถั่วเหลืองสกัด พบว่าผงเต้าหู้ทั้งสองชนิดมีการละลายและการเป็นอิมัลซิฟายเออร์น้อยกว่าโปรตีนถั่วเหลืองสกัด แต่จะเพิ่มขึ้นเมื่อมี NaCl โดยการละลายและการเป็นอิมัลซิฟายเออร์จะเปลี่ยนไปตามความเข้มข้นของเกลือ (Zayas. 1997)

วรลักษณ์ ปัญญาธิพงศ์ และยุพร พิชกมฺุทร (2545) ศึกษากรรมวิธีการผลิตผงเต้าหู้ พบว่าผงเต้าหู้จะให้อิมัลชันที่มีความคงตัวที่ดี แต่มีความสามารถในการละลายต่ำ สามารถนำไปทดแทนเนื้อสัตว์ในรูปของอิมัลชันถึง 30 เปอร์เซ็นต์ กระบวนการผลิตผงเต้าหู้มีการใช้ความร้อนในระหว่างการสกัดโปรตีนและการอบแห้งความร้อนเหล่านี้ทำให้โปรตีนเกิดการเสียสภาพทางธรรมชาติ ซึ่งอาจเป็นผลให้คุณสมบัติด้านการละลายของผงเต้าหู้ลดลง นอกจากนี้ผงเต้าหู้มีไขมันเป็นองค์ประกอบค่อนข้างสูง การนำผงเต้าหู้ใช้ประโยชน์ควรใช้ในผลิตภัณฑ์ที่มีไขมันเป็นองค์ประกอบ (วรลักษณ์ ปัญญาธิพงศ์ และยุพร พิชกมฺุทร. 2546)

2.2.1 คุณสมบัติทางกายภาพของผงเต้าหู้

สุพรรณิกัร วิลาวรรณ และมลศิริ วิโรทัย (2540) ศึกษาความสามารถในการละลาย และการเป็นอิมัลซิฟายเออร์ของผงเต้าหู้เปรียบเทียบกับโปรตีนสกัดจากถั่วเหลือง พบว่าผงเต้าหู้มีคุณสมบัติด้านการละลายไม่ดีเท่าโปรตีนสกัดจากถั่วเหลืองเนื่องจากผงเต้าหู้มีไขมันเป็นส่วนประกอบมาก นอกจากนี้กระบวนการผลิตผงเต้าหู้มีการใช้ความร้อนในระหว่างการตกตะกอนและทำแห้ง ทำให้โปรตีนในผงเต้าหู้เกิดการเสื่อมสภาพ (denature) ซึ่งการเปลี่ยนโครงสร้างของโปรตีนมีผลต่อคุณสมบัติด้านการละลายน้ำ unfolding protein อาจทำให้ surface hydrophobicity ของโปรตีนในผงเต้าหู้เพิ่มขึ้น ในการนำผงเต้าหู้มาเป็นส่วนประกอบในอาหารควรปรับปรุงคุณสมบัติด้านการละลายโดยใช้เกลือโซเดียมคลอไรด์ช่วย เพื่อเพิ่ม ionic

strength จะช่วยให้การละลายดีขึ้น ส่วนคุณสมบัติด้านอิมัลซิฟายเออร์โดยตรวจสอบความคงตัวของอิมัลชัน แสดงด้วยค่า turbidity พบว่าโปรตีนสกัดจากถั่วเหลืองมีคุณสมบัติด้านความคงตัวของอิมัลชันดีกว่าผงเต้าหู้ อาจเนื่องมาจากความสามารถในการละลายที่ไม่ดีของผงเต้าหู้

วรลักษณ์ ปัญญาธิพงศ์ (2545) ทำการผลิตผงเต้าหู้ใช้แมกนีเซียมซัลเฟตเป็นสารตะกอนบดแห้งที่อุณหภูมิต่างกันคือ 60 70 และ 80 องศาเซลเซียส เมื่อนำผงเต้าหู้ทุกตัวอย่างมาทำการตรวจสอบคุณภาพ พบว่าเมื่ออุณหภูมิที่ใช้อบสูงขึ้น ค่าความสว่าง (L) ลดลง นั่นคือถ้าอุณหภูมิที่ใช้อบสูงขึ้นผงเต้าหู้จะมีสีคล้ำมากขึ้น สำหรับความคงตัวของอิมัลชัน พบว่าวิธีการแยกน้ำเวย์ด้วยการเซนตริฟิวจ์มีปริมาณที่แยกชั้นออกมาน้อยกว่าอิมัลชันที่ใช้ผงเต้าหู้ที่ได้จากการแยกน้ำเวย์ด้วยการกดทับไม่ว่าจะเปรียบเทียบที่ใช้อุณหภูมิที่ใช้อบใด ๆ นอกจากนี้ปริมาณผลผลิตของผงเต้าหู้ที่ได้จากการแยกน้ำเวย์โดยการเซนตริฟิวจ์สูงกว่าปริมาณผลผลิตของผงเต้าหู้ที่ได้จากการแยกน้ำเวย์ด้วยการกดทับอย่างมีนัยสำคัญ ($P \leq 0.05$) ดังนั้นในการทดลองต่อไปจึงเลือกใช้การแยกน้ำเวย์ด้วยวิธีการเซนตริฟิวจ์ที่นอกจากจะสะดวกทำได้ง่ายกว่ายังให้ความคงตัวของอิมัลชันที่ดีกว่าและให้ผลผลิตที่สูงกว่า เมื่อพิจารณาถึงปัจจัยของอุณหภูมิที่ใช้อบ ถึงแม้การใช้อุณหภูมิสูง 80 องศาเซลเซียส จะทำให้ระยะเวลาในการอบสั้นลง แต่ค่าความคงตัวของอิมัลชันต่ำกว่าการอบที่อุณหภูมิ 70 องศาเซลเซียส อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P \leq 0.05$) การที่เป็นเช่นนี้เนื่องจากการใช้อุณหภูมิสูงทำให้โปรตีนเสียสภาพทางธรรมชาติ ทำให้คุณสมบัติด้านหน้าที่มีคุณภาพลดลง เมื่อทำการอบที่อุณหภูมิต่ำที่ 60 องศาเซลเซียส ความชื้นสมดุลของผงเต้าหู้สูงกว่าผงเต้าหู้ตัวอย่างที่อบที่อุณหภูมิอื่นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P \leq 0.05$) โดยเฉพาะกรณีของการแยกน้ำเวย์ด้วยการเซนตริฟิวจ์ ทำให้ปริมาณของโปรตีนที่มีอยู่ในอิมัลชันจริง ๆ ต่ำกว่าตัวอย่างที่ใช้ผงเต้าหู้ที่อบที่ 70 องศาเซลเซียส จึงทำให้ความคงตัวของอิมัลชันมีค่าน้อยกว่า ดังนั้นในการทดลองต่อไปจึงเลือกใช้การอบที่ 70 องศาเซลเซียส ร่วมกับการแยกน้ำเวย์ด้วยการเซนตริฟิวจ์ และได้ทดลองนำผงเต้าหู้ไปเติมลงในผลิตภัณฑ์ลูกชิ้นหมู พบอิมัลชันที่ใช้ในอัตราส่วนของผงเต้าหู้ต่อน้ำต่อน้ำมันเท่ากับ 1:1:0.75 เป็นอิมัลชันที่มีความคงตัวไม่พบการแยกตัวของน้ำมันและเมื่อนำไปเติมลงในผลิตภัณฑ์ลูกชิ้นหมูพบว่าสามารถรวมตัวกับเนื้อหมูเกิดเป็นอิมัลชันที่มีความคงตัวดี

2.3 การใช้ประโยชน์จากผลิตภัณฑ์ถั่วเหลืองในผลิตภัณฑ์เนื้อสัตว์

Lecomte et al. (1993) ศึกษาการใช้โปรตีนในรูปของแป้งถั่วเหลือง โปรตีนถั่วเหลืองเข้มข้น และโปรตีนสกัดจากถั่วเหลือง ในผลิตภัณฑ์ฟรังเฟอร์เตอร์ โดยเติมในลักษณะที่เป็นผง และ Pre-emulsion พบว่าการเติมโปรตีนถั่วเหลืองจะส่งผลให้ผลิตภัณฑ์ที่ได้มีปริมาณโปรตีน และ

ความชื้นกว่าตัวอย่างควบคุม โดยการเติมโปรตีนถั่วเหลืองจะช่วยให้มีคุณสมบัติการอุ้มน้ำ และปริมาณผลผลิตเพิ่มขึ้น ซึ่งส่งผลให้สัดส่วนของไขมันในผลิตภัณฑ์ลดลง

Rahardjo et al (1994) ศึกษาการใช้นมถั่วเหลืองผงในผลิตภัณฑ์ไส้กรอกหมู โดยเปรียบเทียบกับตัวอย่างควบคุมและตัวอย่างที่มีการเติมคาราจีแนน พบว่าเมื่อมีการเติมนมถั่วเหลืองผงในไส้กรอกหมู 3 เปอร์เซ็นต์ของส่วนผสม ส่งผลให้ผลิตภัณฑ์ไส้กรอกหมูที่ได้มีปริมาณไขมันลดลง และทำให้ผลิตภัณฑ์มีปริมาณโปรตีนและความชื้นสูงขึ้น เนื่องจากเมื่อเติมนมถั่วเหลืองผงในผลิตภัณฑ์จะช่วยทำให้ผลิตภัณฑ์มีความสามารถในการอุ้มน้ำมากขึ้นจึงทำให้มีปริมาณความชื้นมากขึ้น และทำให้สัดส่วนของไขมันในสูตรที่มีการเติมนมถั่วเหลืองลดลง

การเติมโปรตีนถั่วเหลืองในรูปของผงส่งผลให้ผลิตภัณฑ์ที่ได้มีกลิ่นถั่วที่แรงกว่าการเติมแบบ Pre-emulsion เนื่องจากไขมันที่ใช้ทำให้เกิด Pre-emulsion จะ encapsulate ส่วนที่ทำให้เกิดกลิ่นในถั่วเหลือง จึงทำให้การเติมลักษณะ Pre-emulsion จะให้เกิดกลิ่นถั่วน้อยกว่าการเติมลักษณะผง และการเติมแป้งถั่วเหลืองจะทำให้ผลิตภัณฑ์ที่ได้มีกลิ่นถั่วแรงกว่าโปรตีนถั่วเหลืองเข้มข้น และโปรตีนถั่วเหลืองสกัด ตามลำดับ (Lecomte et al. 1993)

Lin และ Mei (2001) ศึกษาการเติมกัม และโปรตีนถั่วเหลืองสกัดในผลิตภัณฑ์ meat batter โดยให้ความร้อนที่อุณหภูมิ 65.5 องศาเซลเซียส พบว่าการเติมกัม และ โปรตีนถั่วเหลืองสกัดส่งผลให้ผลิตภัณฑ์ที่ได้มีปริมาณผลผลิตสูงขึ้น เนื่องจากกัมและโปรตีนถั่วเหลืองสกัดจะช่วยให้ผลิตภัณฑ์สามารถอุ้มน้ำไว้ได้มากขึ้น และการเติมโปรตีนถั่วเหลืองสกัดจะช่วยเพิ่มคุณค่าทางโภชนาการให้แก่ผลิตภัณฑ์โดยทำให้มีปริมาณโปรตีนเพิ่มขึ้น จึงส่งผลให้ผลิตภัณฑ์มีสัดส่วนของปริมาณไขมันลดลง

จากการทดลองของ Lecomte et al. (1993) Rahardjo et al. (1994) และ Lin and Mei (2000) ให้ผลการทดลองที่สอดคล้องกับการทดลองของ Rakosky (1974) ซึ่งกล่าวว่าการผสมโปรตีนถั่วเหลืองลงในผลิตภัณฑ์เนื้อสัตว์ โปรตีนถั่วเหลืองจะทำหน้าที่เป็น emulsifier และ binder ซึ่งมีผลต่อน้ำหนักเนื้อ (meat juices) โดยช่วยให้ไม่เกิดการสูญเสียในระหว่างการหุงต้ม ทำให้ได้ผลิตภัณฑ์ที่มีลักษณะดี ปริมาณผลผลิตสูงขึ้น และทำให้มีคุณค่าทางโภชนาการทางด้านโปรตีนในผลิตภัณฑ์มากขึ้น อย่างไรก็ตามการใช้โปรตีนถั่วเหลืองสกัดในผลิตภัณฑ์เนื้อสัตว์แม้จะช่วยส่งเสริมให้คุณสมบัติการดูดซับน้ำ การเกิดอิมัลชันดีขึ้น และยังช่วยลดต้นทุนในการผลิต แต่พบว่าการเกิดปัญหาเรื่องกลิ่น และรสชาติ จึงไม่เป็นที่ยอมรับของผู้บริโภค (Jeng et al. 1988)

นอกจากนี้ปัญหาที่เกิดขึ้นในการใช้ประโยชน์จากผลิตภัณฑ์ถั่วเหลืองในอาหารคือ สารยับยั้งคุณค่าอาหาร (antinutrition) สารพิษ (flaus faction) และกลิ่นถั่ว (beany flavor) ซึ่งเกิดจากเอนไซม์ไลโปออกซิเดส (lipoxydase) ซึ่งปัญหาเหล่านี้จะมีในโปรตีนถั่วเหลืองเข้มข้นมากกว่าโปรตีนถั่วเหลืองสกัด เมื่อเติมลงในผลิตภัณฑ์เนื้อสัตว์จะเป็นอุปสรรคสำคัญในการแปรรูป และ

การยอมรับของผู้บริโภค ซึ่งปัญหาดังกล่าวในอุตสาหกรรมเนื้อสัตว์จึงมีการเติมโปรตีนถั่วเหลืองในปริมาณที่น้อย นอกจากนี้การผลิตโปรตีนถั่วเหลืองสกัดยังมีค่าใช้จ่ายสูง ในประเทศไทยยังไม่มี การผลิตโปรตีนถั่วเหลืองสกัด ส่วนใหญ่นำเข้าจากต่างประเทศ จึงได้มีการทดลองนำผลิตภัณฑ์ เต้าหู้ซึ่งมีกระบวนการผลิตที่ง่าย และมีต้นทุนในการผลิตต่ำมาทดแทนการใช้โปรตีนถั่วเหลืองใน ผลิตภัณฑ์เนื้อสัตว์

Jeng et al. (1988) ศึกษาการเติมเต้าหู้เพื่อทดแทนเนื้อสัตว์และไขมันบางส่วนใน โบโลญาโดยเปรียบเทียบกับตัวอย่างควบคุม และตัวอย่างที่เติมโปรตีนถั่วเหลืองเข้มข้น พบว่าเมื่อ เติมเต้าหู้และโปรตีนถั่วเหลืองเข้มข้นส่งผลให้โบโลญาที่ใดมีปริมาณโปรตีนสูงขึ้น และมีความชื้น มากกว่าตัวอย่างควบคุม และทำให้มีสัดส่วนของปริมาณไขมันน้อยกว่าตัวอย่างควบคุม โปรตีนที่ เติมลงไปในรูปแบบของเต้าหู้จะช่วยให้โบโลญามีคุณสมบัติการเกิดอิมัลชัน และความสามารถในการ อุดมแน่นของโบโลญาดีขึ้น

เมื่อทดสอบทางประสาทสัมผัส พบว่าโบโลญาที่มีการเติมเต้าหู้ 31.6 เปอร์เซ็นต์ มีความ เหนียวและกลืนง่ายกว่าตัวอย่างควบคุม และตัวอย่างที่มีการเติมเต้าหู้ 15.5 เปอร์เซ็นต์ ซึ่ง ตัวอย่างควบคุมและตัวอย่างที่มีการเติมเต้าหู้ มีความเหนียวและกลืนง่ายไม่แตกต่างกันทางสถิติ ส่วนโบโลญาที่เติมโปรตีนถั่วเหลืองเข้มข้นส่งผลให้โบโลญามีกลิ่นแรงกว่าตัวอย่างอื่นๆ

Ho et al (1997) ศึกษาการเติมผงเต้าหู้ในผลิตภัณฑ์ฟรังเฟอริเตอร์เพื่อทดแทนไขมัน บางส่วนโดยเปรียบเทียบกับตัวอย่างควบคุม ซึ่งได้แก่ฟรังเฟอริเตอร์สูตรปกติ (Regular frankfurters: RF) และฟรังเฟอริเตอร์ สูตรไขมันต่ำ (Lean frankfurters: LF) พบว่าฟรังเฟอริเตอร์ ที่เติมผงเต้าหู้มีปริมาณความชื้นเพิ่มมากขึ้น เมื่อทดสอบทางประสาทสัมผัส พบว่าตัวอย่างสูตรปกติ และตัวอย่างสูตรปกติที่มีการเติมผงเต้าหู้จะมีลักษณะเนื้อสัมผัส กลิ่นรส สี และการยอมรับ โดยรวมไม่แตกต่างกันทางสถิติ ส่วนตัวอย่างสูตรไขมันต่ำ และตัวอย่างสูตรไขมันต่ำที่มีการเติมผง เต้าหู้ ผู้ทดสอบให้การยอมรับรวมของสูตรไขมันต่ำที่มีการเติมเต้าหู้มากกว่า ส่วนการศึกษา ลักษณะเนื้อสัมผัสโดยใช้เครื่องวัดลักษณะเนื้อสัมผัส พบว่าฟรังเฟอริเตอร์สูตรไขมันต่ำที่เติมและ ไม่เติมผงเต้าหู้ให้ค่า Hardness Gumminess Chewiness และ fracturability แตกต่างกันทาง สถิติ โดยสูตรไขมันต่ำให้ค่าที่น้อยกว่า

Ho et al. (1997) ศึกษาการเติมผงเต้าหู้ในผลิตภัณฑ์ไส้กรอกเพื่อทดแทนไขมัน บางส่วน โดยเปรียบเทียบกับตัวอย่าง ควบคุม ได้แก่ สูตรปกติ สูตรไขมันต่ำ และตัวอย่างที่มีการเติมคารา จีแนน พบว่าตัวอย่างที่มีการเติมผงเต้าหู้จะส่งผลให้ไส้กรอกมีปริมาณโปรตีนและมีความชื้นสูงขึ้น เมื่อทดสอบทางประสาทสัมผัส พบว่าตัวอย่างที่มีการเติมผงเต้าหู้ 3 เปอร์เซ็นต์ของส่วนผสม จะมี ลักษณะเนื้อสัมผัส ความฉ่ำน้ำ และการยอมรับรวมไม่แตกต่างกับตัวอย่างสูตรไขมันต่ำ ส่วน ทางด้านกลิ่นรสทั้ง 4 ตัวอย่างไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ ส่วนการศึกษาด้านลักษณะเนื้อ

สัมผัสพบว่าค่า Hardness Cohesiveness Springiness Gumminess และ Chewiness ของไส้กรอกที่มีการเติมผงเต้าหู้ มีค่าสูงกว่าไส้กรอกสูตรปกติและสูตรที่มีการเติมคาราจีแนน ส่วนไส้กรอกหมูสูตรไขมันต่ำที่เติมผงเต้าหู้จะให้ค่าดังกล่าวสูงกว่าไส้กรอกหมูสูตรปกติสูตรไขมันต่ำที่มีการเติมคาราจีแนน และสูตรไขมันต่ำ

สุพรรณิการ์ วิลาวรรณ และมลศิริ วิโรทัย (2540) ทดสอบทางประสาทสัมผัสของผลิตภัณฑ์เบอร์เกอร์หมูสูตรที่เติม SPI เปรียบเทียบกับการเติมผงเต้าหู้ พบว่าเมื่อเติมผงเต้าหู้ทดแทนเนื้อหมู 15 เปอร์เซ็นต์ ผู้ประเมินไม่สามารถบอกความแตกต่างของผลิตภัณฑ์เบอร์เกอร์หมูสูตรปกติได้ และเมื่อทดสอบความชอบของผลิตภัณฑ์โดยใช้ Preference test พบว่าคุณสมบัติด้าน สี กลิ่น รสชาติ เนื้อสัมผัส และการยอมรับรวมของผลิตภัณฑ์เบอร์เกอร์หมูที่เติม SPI และผงเต้าหู้ไม่มีความแตกต่างกัน

2.4 การเกิดเจล

เจล คือ เป็นการเชื่อมกันระหว่างหน่วยโครงสร้างตาข่ายที่ป้องกันการไหลของของไหล (ณรงค์, 2538) เจลเป็นกระบวนการผลิตพื้นฐานที่เกิดขึ้นในการผลิตอาหารหลายชนิด เช่น ผลิตภัณฑ์นม เนื้อ ปลา ผลไม้ และขนมอบเป็นต้น (Zayas, 1997)

การเกิดเจลเป็นปรากฏการณ์ที่โปรตีนเรียงตัวประสานกันอย่างมีระเบียบแบบแผน เกิดเป็นโครงสร้างร่างแห 3 มิติ โดยมีโมเลกุลของน้ำระหว่างร่างแหนั้น เจลที่ได้มีความสามารถอุ้มน้ำได้ดี ทำให้เกิดเนื้อสัมผัสที่มีความยืดหยุ่น ความสามารถในการเกิดเจลเป็นคุณสมบัติที่สำคัญของซูริมิและผลิตภัณฑ์เนื้อสัตว์ โดยการเกิดเจลที่ดีควรมีเนื้อสัมผัสที่ยืดหยุ่นสูง (Kim and Lee, 1987)

การคลายตัวของโปรตีนและมีการจับกันใหม่ที่จุดเฉพาะเพื่อฟอร์มตัวเป็นโครงสร้างตาข่าย 3 มิติ การคลายตัวของโปรตีนเป็นการเปลี่ยนแปลงของโครงสร้างโปรตีนระดับที่ 2 ซึ่งการคลายตัวอาจมาจากการให้ความร้อน การมีกรด ต่าง ยูเรีย การเกิดโครงสร้าง 3 มิติ เกิดจากปฏิกิริยาระหว่างโปรตีนกับโปรตีน และโปรตีนกับสารละลาย โมเลกุลเกิดพันธะระหว่างกันจึงเกิดเป็นโครงร่างตาข่าย (Howe et al., 1994)

วัตถุดิบและสารผสมที่สามารถเกิดเจลได้หรือมีคุณสมบัติในการเป็นสารที่ทำให้เกิดเจลได้แก่ โปรตีน เช่น โปรตีนนม โปรตีนไข่ โปรตีนถั่วเหลือง เป็นต้น คาร์โบไฮเดรต เช่น สตาร์ช เพคติน กัม แอลจีเนต คาราจีแนน เป็นต้น กลไกในการเกิดเจลของสารที่ได้กล่าวมานี้มีความคล้ายคลึงกัน กล่าวคือ สารเหล่านี้จะต้องถูกทำให้เปียก มีการดูดน้ำ บางชนิดละลายน้ำได้ บางชนิดพองตัวเมื่อดูดน้ำและอุ้มน้ำไว้ได้ สารที่ทำให้เกิดเจลบางชนิดจะต้องผ่านกระบวนการให้ความร้อน เพื่อทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงในระดับโครงสร้างโมเลกุล เช่น การเสื่อมสภาพของโปรตีน การ

เจลาตินในเซชันของสตาร์ช เป็นต้น หลังจากนั้นโมเลกุลของโครงสร้างจะเกิดการจับเรียงตัวกันใหม่ ประสานกันเป็นร่างแห 3 มิติ เกิดเป็นเจลในสภาวะที่เหมาะสมกับสารที่ทำให้เกิดเจลนั้นๆ เช่น มีความเข้มข้นของสารที่ทำให้เกิดเจลสูงพอ การเติมอออนบางชนิด การลดอุณหภูมิ เป็นต้น โครงสร้างเจลที่เกิดขึ้นในผลิตภัณฑ์เนื้อสัตว์เป็นโครงสร้างผสม ผลิตภัณฑ์เนื้อสัตว์ชนิดที่ยังคงสภาพของเส้นใยกล้ามเนื้อ เช่น แฮม เมื่อผ่านการหุงต้ม จะมีเส้นใยกล้ามเนื้อจัดเรียงตัวอยู่ในเจลของโปรตีนไมโอไฟบริลลาร์ เช่น ไลเกอร์อก มีเมดิไซมันกระจายตัวอยู่ในเจลก้ามเนื้อ (ปาริฉัตร, 2542)

ปัจจัยที่มีผลต่อการเกิดเจลได้แก่คุณสมบัติทางเคมีกายภาพของโมเลกุลที่เป็นองค์ประกอบของสารนั้นๆ เช่น ขนาด รูปร่างของโมเลกุล ประจุ และความหนาแน่นของประจุ หมู่ไฮโดรฟิลิก และหมู่ไฮโดรโฟบิก เป็นต้น สำหรับปัจจัยภายนอกโมเลกุล เช่น ความเข้มข้นของวัตถุดิบ อุณหภูมิ และเวลาในการแปรรูป เป็นต้น

ลักษณะการฟอร์มเจลแบ่งเป็น 2 ลักษณะดังนี้

1. coagulum-type gel เกิดกับโปรตีนที่มี non-polar residue ภายใต้การตกตะกอนอย่างอิสระโดยเกิด hydrophobic interaction ซึ่งเจลจะมีความยืดหยุ่นและมีความสามารถในการอุ้มน้ำต่ำ และไม่สามารถกลับไปเป็นเหมือนเดิมได้เมื่อได้รับความร้อน (Thermo-irreversible gel) เช่น การเกิดเจลของเนื้อสัตว์

2. translucent gel เกิดกับพวกโปรตีนที่มี non-polar เหลืออยู่น้อย ปกติเจลจะจัดเรียงตัวเป็นระเบียบ มีความยืดหยุ่นสูง มีความสามารถในการอุ้มน้ำสูง สามารถหลอมละลายเป็นเหมือนเดิมเมื่อได้รับความร้อน (Thermo-reversible gel) เช่น เจลาติน วุ้น เมื่อโปรตีนใน Progel state ถูกความเย็นเกิดโมเลกุลเสียสภาพระหว่างการเกิด refold การเกิด refold และการฟอร์มเป็น intramolecular interaction จะลดจำนวนของหมู่ฟังก์ชันที่สามารถทำหน้าที่ได้สำหรับ intermolecular interaction ทำให้เจลมีความอ่อนและปริมาณโปรตีนที่น้อยที่สุดที่ต้องการฟอร์มตัว เพื่อให้เจลคงอยู่ได้ต้องมีมากกว่าการสูญเสียโปรตีน refold ขณะที่ cooling

โปรตีนที่มีกรดอะมิโนมากกว่า 31.5 เปอร์เซนต์ เป็น non-polar เช่น วาลีน โปรลีน ลิวซีน ไฮโซลิวซีน จะเกิดเจลแบบ coagulum-type gel และโปรตีนที่มีกรดอะมิโน non-polar น้อยกว่า 31.5 เปอร์เซนต์ จะเกิดเจลแบบ translucent gel แต่การที่จะเป็นไปตามทฤษฎีนี้ต้องไม่คำนึงถึงค่าอื่นๆ เช่น pH, ionic strength (Howe et al., 1994)

อิมัลชันเจลเกิดจากการให้ความร้อนกับอิมัลชันที่มีความคงตัว โปรตีนที่มีความเข้มข้นมากเมื่อล้อมรอบเมดิไซมันไว้จะมีความยืดหยุ่นสูง เมื่อโปรตีนได้รับความร้อนจะฟอร์มตัวเป็นโครงสร้างตาข่าย (gel network) กลายเป็นเจลที่แข็งแรง และโปรตีนที่มีสภาพไม่มีขั้วที่แทรกอยู่ในเมดิไซมันได้จะทำให้เกิดอิมัลชันที่มีความแข็งแรงกว่าอิมัลชันที่เกิดจากโปรตีนที่ล้อมรอบอยู่ด้าน

นอกของเม็ดไขมัน ความแข็งแรงของ heat set gel ขึ้นอยู่กับปัจจัยหลายอย่างเช่น ปริมาณโปรตีน อุณหภูมิในกระบวนการให้ความร้อน pH และชนิดและความเข้มข้นของเกลือ

2.5 การเกิดเจลของโปรตีนถั่วเหลือง

โปรตีนถั่วเหลืองมีคุณสมบัติทางหน้าที่ (functional property) ที่สามารถเกิดการฟอร์มเจล การเกิดเจลสามารถทำได้โดยการให้ความร้อน (heat induced gel) หรือการใช้สารตกตะกอนโปรตีน (coagulant) เจลโปรตีนถั่วเหลืองที่ได้จากสารตกตะกอนที่รู้จักกันดีคือ เตาหู่ ถั่วเหลืองมีปริมาณโปรตีน 35-40 เปอร์เซ็นต์ แต่จะเป็นโปรตีนที่มีคุณภาพไม่สมบูรณ์คือมีปริมาณของกรดอะมิโนที่มีกัมมันตเป็นองค์ประกอบอยู่น้อย ได้แก่ เมทิลโอนีน ซีสตีน แต่มีปริมาณไลซีนสูง โปรตีนถั่วเหลืองจะถูกสะสมอยู่ในเซลล์ เรียกว่า protein bodies หรือ storage proteins เป็นโมเลกุลขนาดใหญ่ที่สามารถเชื่อมต่อกันได้อีกด้วย disulfide linkage ส่วนใหญ่เป็นโปรตีนที่มีชื่อว่า globulin ประกอบด้วย fraction ของ 2S 7S 11S และ 15S โดยมี fraction ของ 7S และ 11S เป็นองค์ประกอบหลัก การฟอร์มเจลของโปรตีนถั่วเหลืองจะเกี่ยวข้องโดยตรงกับโมเลกุลของ 7S และ 11S globulin การเปลี่ยนแปลงโครงสร้างใดๆ ของโมเลกุลทั้งสองจะมีผลต่อการเกิดเจล (น้ำทิพย์, 2544) เนื่องจากถั่วเหลืองมีส่วนประกอบหลักคือ ไกลซินินและเบต้าไกลซินิน ซึ่งโครงสร้างจตุรภูมิ (quaternary structure) ของโปรตีนชนิดนี้จะขึ้นอยู่กับค่า pH และสภาพออกซิเดชัน ซึ่งมีโครงสร้างที่เชื่อมต่อกันด้วยพันธะไดซัลไฟด์ (single disulfide bridge) สำหรับโพลีเปปไทด์ที่มีสภาพเป็นเบสที่ pH 7.6 ไกลซินินจะฟอร์มโครงสร้างคอมเพล็กซ์ (hexameric complexes) เป็น 11S และที่ pH 3.8 จะฟอร์มโครงสร้างคอมเพล็กซ์ (trimeric complexes) เป็น 7S ดังนั้นการให้ความร้อนในการฟอร์มเจลของโกลบูลาร์โปรตีนจะต้องมีอุณหภูมิสูง และสภาพออกซิเดชันที่แข็งแรง สำหรับไกลซินิน จะเกิดการเปลี่ยนแปลงสภาพที่อุณหภูมิประมาณ 80-90 องศาเซลเซียส (11S) และ 60-70 องศาเซลเซียส (7S) และเบต้าคอนไกลซินิน เริ่มเปลี่ยนสภาพเป็นเจลที่อุณหภูมิ 60-75 องศาเซลเซียส (Renkema and Vlité, 2002)

Renkema and Vlité (2002) ศึกษาการให้ความร้อนต่อการเกิดของโปรตีนถั่วเหลืองที่มีค่า pH เป็นกลาง พบว่าอุณหภูมิของการเกิดเจลเริ่มเกิดขึ้นที่อุณหภูมิสูงกว่า 84 องศาเซลเซียส ซึ่งเกิดจากการเสียสภาพของไกลซินิน และเพิ่มอุณหภูมิการให้ความร้อนที่ 90 องศาเซลเซียส ค่าความยืดหยุ่นของเจลเพิ่มสูงขึ้น จากการเสียสภาพของโปรตีน ค่าความยืดหยุ่นที่เพิ่มขึ้นนี้เกิดจากการเชื่อมกันเป็นโครงสร้างเป็นโครงสร้าง 3 มิติ และเมื่อลดอุณหภูมิของเจล ค่าความยืดหยุ่นของเจลจะเพิ่มขึ้นอีก ค่าความยืดหยุ่นที่เกิดขึ้นในกระบวนการลดอุณหภูมินี้เกิดจากการสร้างพันธะไดซัลไฟด์ เพราะการเชื่อมต่อกัน (rearrangement) ของโครงสร้างจะไม่เกิดขึ้นในกระบวนการลดอุณหภูมิ

Xiong and jong (2002) ศึกษาการรวมตัวกันระหว่างไมโอไฟบิลลาร์ของเนื้อหมู และโปรตีนถั่วเหลืองที่ถูกให้ความร้อนที่ 90 และ 95 องศาเซลเซียส นาน 3 นาที พบว่าการให้ความร้อนกับโปรตีนถั่วเหลืองทำให้สภาพไม่ชอบน้ำของโปรตีนเพิ่มขึ้นและลดการรวมตัวกันตกตะกอน (aggregation) ของ 11S ในหน่วยย่อยที่เป็นกรดและเบส เมื่อเติมโปรตีนที่ถูกให้ความร้อนก่อนร่วมกับไมโอไฟบิลลาร์ของเนื้อหมู พบว่าทำให้เกิดเจลที่เป็นบวก เนื่องจากการรวมตัวกันไมโอซิน และ 11S ของโปรตีนถั่วเหลือง

Remirez-Suarez and Xiong (2003) ศึกษาผลของเอนไซม์ทรานส์กลูตามิเนสที่ชักนำให้เกิดการเชื่อมข้าม (cross linking) ระหว่างไมโอไฟบิลลาร์กับโปรตีนถั่วเหลืองในการเกิดเจล พบว่าเอนไซม์ทรานส์กลูตามิเนสช่วยให้การเกิดเจลดีกว่าการใช้ไมโอซิน โปรตีนถั่วเหลืองและของผสมระหว่างไมโอซินกับถั่วเหลือง โดยทุกหน่วยการทดลองที่เติมเอนไซม์ทรานส์กลูตามิเนสเริ่มฟอร์มเจลที่อุณหภูมิประมาณ 45 องศาเซลเซียส ยกเว้นโปรตีนถั่วเหลืองอย่างเดียวไม่เกิดการฟอร์มเจล ซึ่งมี 5 หน่วยการทดลองที่เติมเอนไซม์ทรานส์กลูตามิเนส คือ โปรตีนถั่วเหลือง ไมโอซิน ไมโอซินกับถั่วเหลือง ไมโอซินกับถั่วเหลืองบ่ม 30 นาที ไมโอซินกับถั่วเหลืองบ่ม 4 ชั่วโมง และค่าโมดูลัสจะเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็วที่อุณหภูมิ 55-65 องศาเซลเซียส การที่กราฟขึ้นสูงขึ้นเนื่องจากเกิดการเชื่อมข้ามระหว่างไกลซีนกับไลซีนของโปรตีนผสมทั้งสองซึ่งเกิดจากการชักนำของเอนไซม์ทรานส์กลูตามิเนส ซึ่งไม่เกิดขึ้นกับหน่วยการทดลองที่ไม่เติมเอนไซม์ทรานส์กลูตามิเนส

Hua et al. (2003) ศึกษาคุณสมบัติการเกิดเจลของผสมระหว่างโปรตีนถั่วเหลืองกับกัมแคปลาการาจีแนน แชนแทนกัม โลคอลีนกัม และโพพิวลิโนไกลคอลลอัลจีเนต โดยวัดคุณสมบัติของเจลด้วย small deformation พบว่าความแข็งแรงของเจลของของผสมระหว่างโปรตีนถั่วเหลืองกับคาราจีแนนมีค่าแรงต้านทานสูงขึ้นกับความเข้มข้นของส่วนผสม ส่วนผสมระหว่างโปรตีนถั่วเหลืองกับแชนแทนกัมจะมีแรงต้านสูงเมื่อโปรตีนในเฟสต่อเนื่องคงที่ แรงต้านของเจลจะเปลี่ยนแปลงตามความเข้มข้นของแชนแทนกัม สำหรับเจลของโปรตีนถั่วเหลืองกับโพพิวลิโนไกลคอลลอัลจีเนต จะมีค่าความแข็งแรงของเจลและความคงตัวสูงกว่ากัมชนิดอื่นๆ เนื่องจากเกิดพันธะโควาเลนต์ระหว่างโพพิวลิโนไกลคอลลอัลจีเนตกับโปรตีนถั่วเหลือง

Xie and Hettiarachchy (1997) ศึกษาการใช้ส่วนผสมระหว่างโปรตีนถั่วเหลืองเข้มข้นร่วมกับแชนแทนกัม เปรียบเทียบกับโบไวน์ซีรัมอัลบูมิน พบว่าการละลายของไนโตรเจนมากขึ้นในอิมัลชันที่ใช้โปรตีนถั่วเหลืองเข้มข้นร่วมกับแชนแทนกัม ส่งผลให้เกิดอิมัลชันมีค่าสูงขึ้น

Noitup and Raksakulthai (1997) ศึกษาการพัฒนากระบวนการผลิตและเก็บรักษาลูกชิ้นปลา โดยใช้แป้งข้าวโพด แป้งสาลี และแป้งมันสำปะหลัง พบว่าการเติมแป้งช่วยให้การเกิดเจลดีขึ้น มีความยืดหยุ่น ส่งผลดีต่อคะแนนการทดสอบทางประสาทสัมผัส ซึ่งได้คะแนนดีกว่าลูกชิ้นที่ไม่มีการเติมแป้ง

Hua *et al.* (2003) ศึกษาคุณสมบัติการเกิดเจลของของผสมระหว่างโปรตีนถั่วเหลือง กับกัม คาราจีแนน แชนแทนกัม โลคอสปีนกัม และโพรพิลีนไกลคอลอัลจีเนต พบว่าความแข็งแรงของเจลของของผสมระหว่างโปรตีนถั่วเหลืองกับคาราจีแนนมีค่าแรงต้านขึ้นอยู่กับความเข้มข้นของส่วนผสม แรงต้านของเจลจะเปลี่ยนแปลงตามความเข้มข้นของแชนแทนกัม ส่วนเจลของโปรตีนถั่วเหลืองกับโพรพิลีนไกลคอลอัลจีเนต จะมีค่าความแข็งแรงของเจลและคงตัวสูงกว่ากัมชนิดอื่นๆ เนื่องจากเกิดพันธะโควาเลนต์ระหว่างโพรพิลีนไกลคอลอัลจีเนตกับโปรตีนถั่วเหลือง

Kong *et al.* (1999) ศึกษาผลการเติมแป้งที่มีต่อคุณสมบัติด้านความยืดหยุ่นของเจลเนือปลาสด โดยการใช้ microscopic พบว่าเมื่อเม็ดแป้งเริ่มเกิดเจลบางส่วนจะทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงขนาดของแป้ง เม็ดแป้งจะดูดซับน้ำที่มีอยู่ในปลา ทำให้เม็ดแป้งบวมพองอยู่ภายในโครงสร้างของเนื้อปลา เจลเนื้อปลาจึงมีความแน่นและแข็งแรงมากขึ้น การใช้แป้งปริมาณสูงอาจทำให้ผลิตภัณฑ์เปราะและแตกง่าย

Sikorski (1990) กล่าวว่าในขณะที่มีการให้ความร้อนแป้งจะดูดน้ำจากเนื้อปลาสด ทำให้แป้งเกิดเจลในสับางส่วน และจะไปแทรกตามช่องว่างของโครงสร้างโปรตีนมีผลทำให้โครงสร้างแข็งแรงมากขึ้น นอกจากนี้แป้งยังทำหน้าที่เป็นสารดูดความชื้น และเพิ่มความคงตัวของเนื้อปลาสดในกระบวนการแช่แข็ง



บทที่ 3

อุปกรณ์และวิธีการทดลอง

3.1 วัตถุดิบ

3.1.1 ถั่วเหลืองพันธุ์ เชียงใหม่ 60 มีเปอร์เซ็นต์การงอก 92 เปอร์เซนต์ ได้รับความอนุเคราะห์จากสถาบันวิจัยพืชไร่ จังหวัดเชียงใหม่

3.1.2 ชูริมิ

3.2 อุปกรณ์และเครื่องมือ

3.2.1 อุปกรณ์ในการเตรียมผงเต้าหู้

3.2.1.1 เครื่องโม่แยกเปลือกถั่วเหลือง

3.2.1.2 เครื่องปั่นผสมอาหาร Mx-T1PN(G) National

3.2.1.3 เครื่องชั่งชนิดหยาบ Mettler,AE 204

3.2.1.4 เครื่องชั่งชนิดละเอียด Mettler,AE3000

3.2.1.5 เครื่องทำแห้งแบบถาด(tray dryer)

3.2.1.6 รีแฟรคโตมิเตอร์ (refractometer)

3.2.1.7 เทอร์โมมิเตอร์

3.2.1.8 นาฬิกาจับเวลา

3.2.1.9 ฮอทเพลท (hot plate)

3.2.2 อุปกรณ์ในการเตรียมผลิตภัณฑ์

3.2.2.1 เครื่องสับผสมอาหาร Phillip , Masterchef 450

3.2.2.2 เครื่องปั่นผสมอาหาร Mx-T1Pn(G) , National

3.2.2.3 เครื่องชั่งชนิดหยาบ Mettler,AE 204

สวิตเซอร์แลนด์

3.2.2.4 เครื่องชั่งชนิดละเอียด Mettler,AE3000

สวิตเซอร์แลนด์

3.2.2.5 ฮอทเพลท

3.2.2.6 เทอร์โมมิเตอร์

3.2.2.7 นาฬิกาจับเวลา

3.2.3 อุปกรณ์ในการวิเคราะห์คุณภาพทางประสาทสัมผัส

3.2.3.1 ถ้วยชิม

3.2.3.2 แก้วน้ำ

3.2.4.2 ห้องเย็น 4 องศาเซลเซียส

3.2.5 เครื่องมือที่ใช้ในการวิเคราะห์ลักษณะเนื้อสัมผัส

3.2.5.1 เครื่องวัดลักษณะเนื้อสัมผัส TA-XT2i

3.3 วิธีการดำเนินงาน

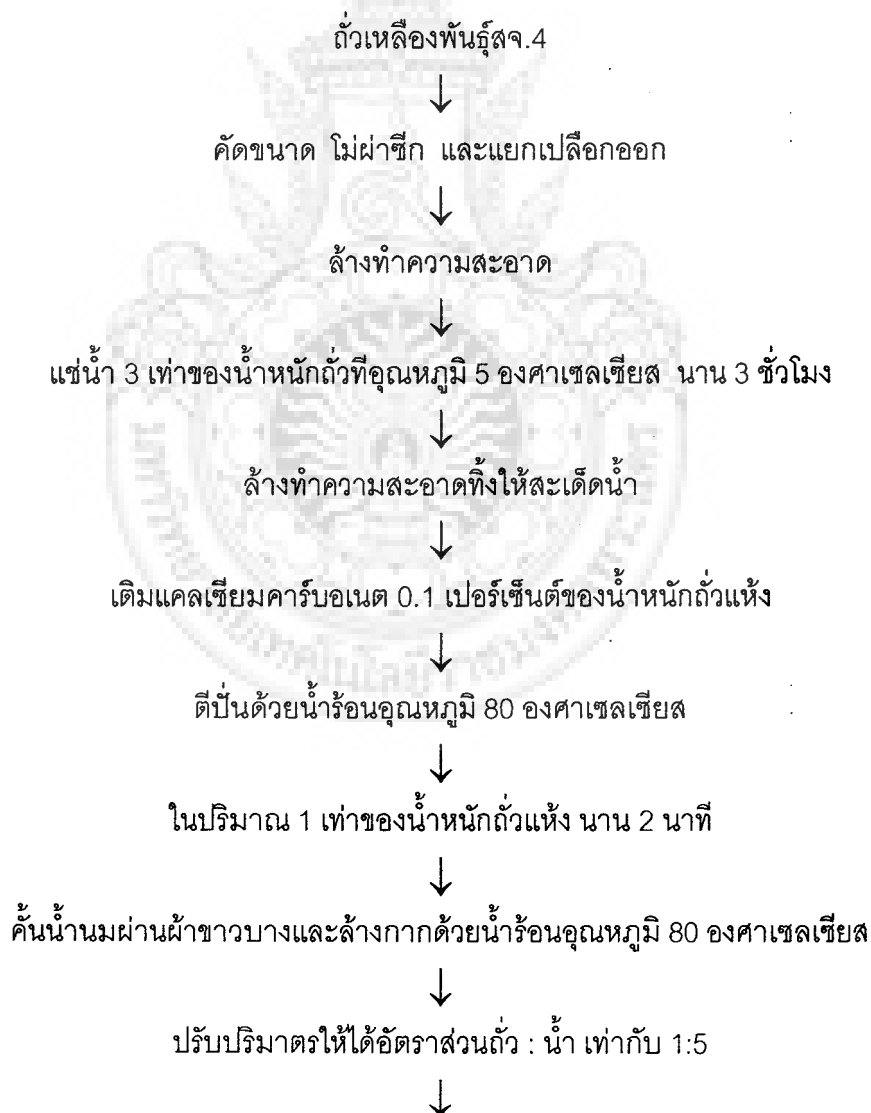
3.3.1 การเตรียมวัตถุดิบ

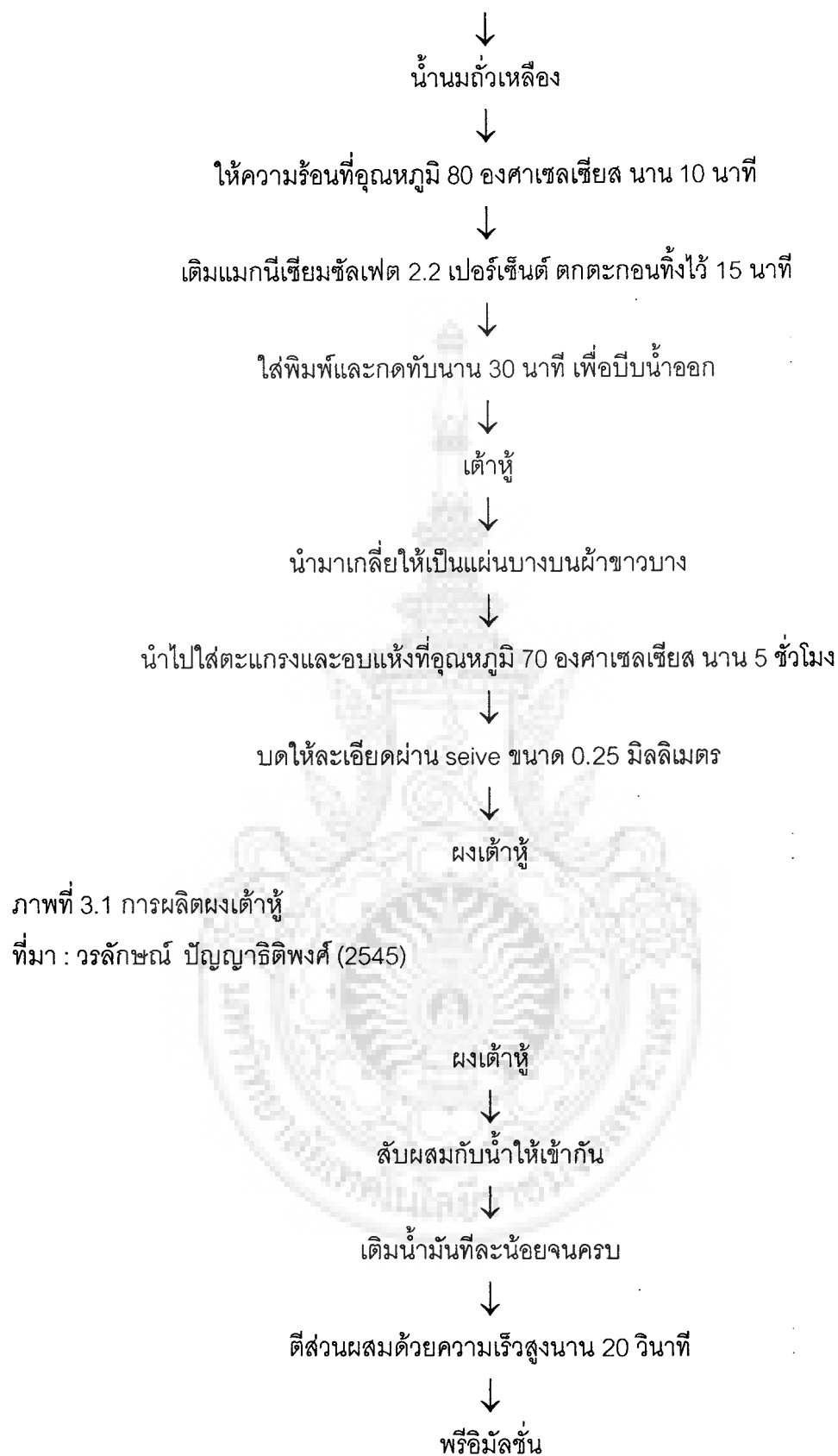
3.3.1.1 การเตรียมผงเต้าหู้

ทำการเตรียมผงเต้าหู้แสดงดังภาพที่ 3.1 ผงเต้าหู้ที่เตรียมได้เก็บรักษาไว้ในถุงอลูมิเนียมฟอยล์ที่อุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียส เพื่อนำไปใช้ในหัวข้อต่อไป

3.3.1.2 การเตรียมพรีอิมัลชัน

ทำการเตรียมพรีอิมัลชันดังภาพที่ 3.2 โดยใช้ผงเต้าหู้:น้ำ:น้ำมัน ในอัตราส่วน 1:1:0.75 ตีผสมด้วยเครื่องสับผสมอาหารในห้องควบคุมอุณหภูมิที่ 20 องศาเซลเซียส





3.3.2 ศึกษาปริมาณพรีอิมัลชันที่เหมาะสมต่อคุณภาพของลูกชิ้นปลา

ทำการเตรียมพรีอิมัลชัน (ภาพที่ 3.2) โดยใช้อัตราส่วน ผงเต้าหู้ : น้ำ : น้ำมัน 1 : 1 : 0.75 (สันติธรรม, 2546) นำพรีอิมัลชันไปใช้ทดแทนซูริมิบางส่วนในกระบวนการผลิตลูกชิ้นในอัตราส่วน 50, 60, 70 และ 80 เปอร์เซ็นต์ของซูริมิ โดยมีวิธีการผลิตดังภาพที่ 3.3 นำลูกชิ้นมาทดสอบคุณภาพเพื่อหาอัตราส่วนของพรีอิมัลชันที่เหมาะสมที่สามารถเติมลงในลูกชิ้นหมู การทดสอบได้แก่

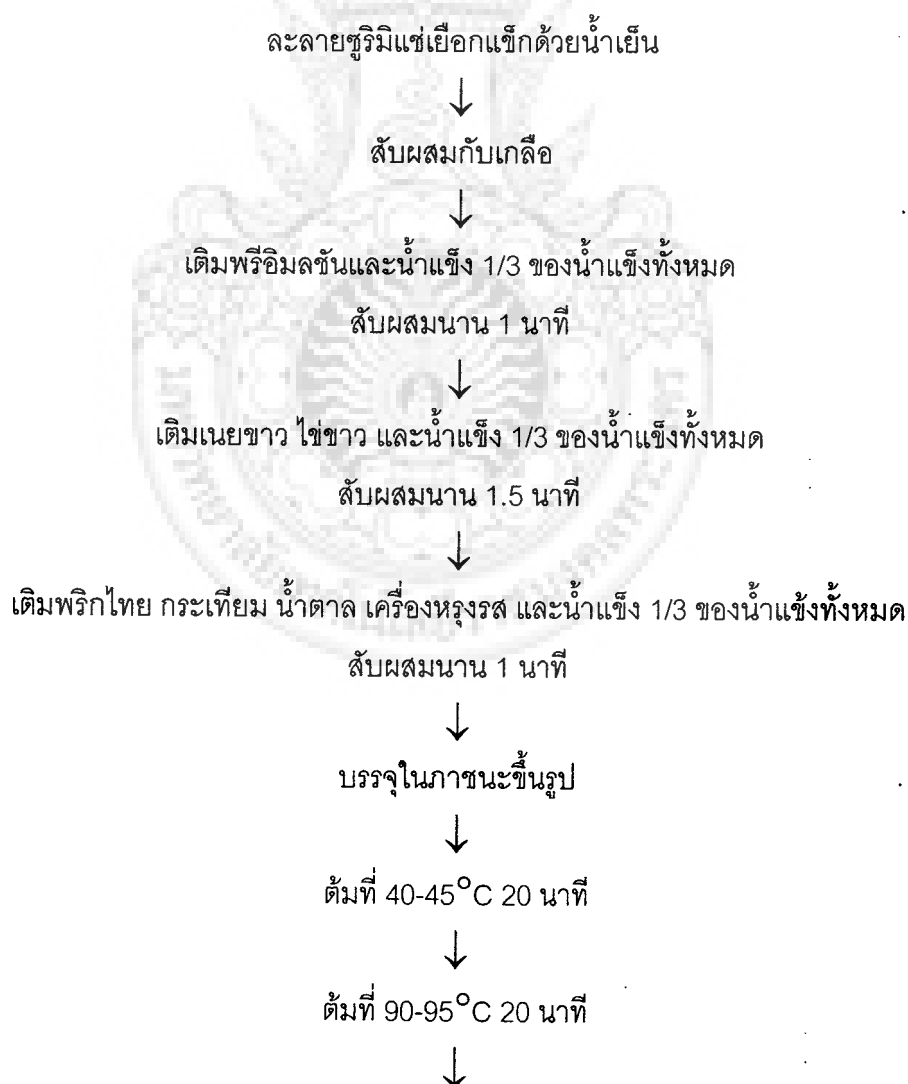
3.3.2.1 การทดสอบทางประสาทสัมผัส นำลูกชิ้นไปทำการทดสอบทางประสาทสัมผัสให้ผู้ทดสอบ 30 คน โดยวิธี 9-point hedonic scale (1 คือไม่ชอบมากที่สุด 9 คือชอบมากที่สุด) ปัจจัยที่ทำการทดสอบได้แก่ สี กลิ่นรส รสชาติ ลักษณะเนื้อสัมผัสและความชอบรวม วิเคราะห์ความแตกต่างทางของข้อมูลด้วยแผนการทดลองแบบ Randomized Complete Block Design (RCBD) และเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยด้วยวิธี Duncan's New Multiple Range Test เลือกสูตรที่ได้รับความนิยมมากที่สุด

3.3.2.2 การวัดลักษณะเนื้อสัมผัส นำตัวอย่างลูกชิ้นมาวัดเนื้อสัมผัสโดยการกด (compression) ด้วยเครื่องวัดลักษณะเนื้อสัมผัส (Texture Expert for Windows รุ่น Stable Micro Systems TA-XT2i) โดยการกดบนตัวอย่างที่สูง 10 มิลลิเมตร เส้นผ่านศูนย์กลาง 2.5 เซนติเมตร กดลงไป 30 เปอร์เซ็นต์ deformation โดยใช้หัวกดขนาด 75 มิลลิเมตร ความเร็วของหัวกดเคลื่อนที่ลงมาก่อนสัมผัสตัวอย่าง (Pre-test speed) 1.0 มิลลิเมตรต่อวินาที ความเร็วของหัวกดเคลื่อนที่ลงในตัวอย่าง (Test speed) 1.0 มิลลิเมตรต่อวินาที ความเร็วของหัวกดขณะเคลื่อนที่ขึ้นจากตัวอย่าง (Post-test speed) 10.0 มิลลิเมตรต่อวินาที ทำการทดลอง 10 ซ้ำ วางแผนการทดลองแบบ Complete Randomized Design (CRD) เปรียบเทียบค่าเฉลี่ยด้วยวิธี Duncan's New Multiple Range Test

ตารางที่ 3.1 ส่วนผสมในการผลิตลูกชิ้นปลา

ส่วนผสม	ร้อยละโดยน้ำหนักของซูริมิ
ซูริมิ	100
เกลือ	3
เนยขาว	2
ไข่ขาว	0.5
น้ำตาล	1
ผงชูรส	0.15
กระเทียม	0.5
พริกไทย	0.5
น้ำแข็งบด	15

ที่มา: ดัดแปลงจากโสธยา เกิดพิบูลย์ (2545)





ภาพที่ 3.3 ขั้นตอนการผลิตลูกชิ้นปลา

ที่มา: ดัดแปลงจากโสธยา เกิดพิบูลย์ (2545)

3.3.3 ศึกษาปริมาณพรีอิมัลชันที่เหมาะสมต่อคุณภาพของเต้าหู้ปลา

ทำการเตรียมพรีอิมัลชัน (ภาพที่ 3.1) โดยใช้อัตราส่วน ผงเต้าหู้ : น้ำ : น้ำมัน 1 : 1 : 0.75 (สันติธรรม, 2546) นำพรีอิมัลชันไปใช้ทดแทนซูริมิบางส่วนในกระบวนการผลิตเต้าหู้ปลาในอัตราส่วน 40, 50 และ 60 เปอร์เซ็นต์ของซูริมิ โดยมีวิธีการผลิตดังภาพที่ 3.3 นำเต้าหู้ปลามาทดสอบคุณภาพเพื่อหาอัตราส่วนของพรีอิมัลชันที่เหมาะสมที่สามารถเติมลงในลูกชิ้นหมู การทดสอบได้แก่

3.3.3.1 การทดสอบทางประสาทสัมผัส นำเต้าหู้ปลาไปทำการทดสอบทางประสาทสัมผัสให้ผู้ทดสอบ 30 คน โดยวิธี 9-point hedonic scale (1 คือไม่ชอบมากที่สุด 9 คือชอบมากที่สุด) ปัจจัยที่ทำการทดสอบได้แก่ สี กลิ่นรส รสชาติ ลักษณะเนื้อสัมผัสและความชอบรวม วิเคราะห์ความแตกต่างทางของข้อมูลด้วยแผนการทดลองแบบ Randomized Complete Block Design (RCBD) และเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยด้วยวิธี Duncan's New Multiple Range Test เลือกสูตรที่ได้รับความนิยมมากที่สุด

3.3.3.2 การวัดลักษณะเนื้อสัมผัส นำตัวอย่างเต้าหู้ปลามาวัดเนื้อสัมผัสโดยการกด (compression) ด้วยเครื่องวัดลักษณะเนื้อสัมผัส (Texture Expert for Windows รุ่น Stable Micro Systems TA-XT2i) โดยการกดบนตัวอย่างที่สูง 20 มิลลิเมตร กดลงไป 30 เปอร์เซ็นต์ deformation โดยใช้หัวกดขนาด 75 มิลลิเมตร ความเร็วของหัวกดเคลื่อนที่ลงมาก่อนสัมผัสตัวอย่าง (Pre-test speed) 1.0 มิลลิเมตรต่อวินาที ความเร็วของหัวกดเคลื่อนที่ลงในตัวอย่าง (Test speed) 1.0 มิลลิเมตรต่อวินาที ความเร็วของหัวกดเคลื่อนที่ขึ้นจากตัวอย่าง (Post-test speed) 10.0 มิลลิเมตรต่อวินาที ทำการทดลอง 10 ซ้ำ วางแผนการทดลองแบบ Complete Randomized Design (CRD) เปรียบเทียบค่าเฉลี่ยด้วยวิธี Duncan's New Multiple Range Test

ตารางที่ 3.2 ส่วนผสมในการผลิตเต้าหู้ปลา

ส่วนผสม	ร้อยละโดยน้ำหนักของซูริมิ
ซูริมิ	100
เกลือ	2.5
น้ำตาล	5
น้ำแข็งบด	45

ที่มา: ดัดแปลงจากธนอมร วันสม และคณะ (2545)



ภาพที่ 3.4 ขั้นตอนการผลิตเต้าหู้ปลา

ที่มา : ดัดแปลงจากธนอมร วันสมและคณะ

บทที่ 4

ผลการทดลองและวิจารณ์

4.1 ผลการศึกษาปริมาณพรีอิมัลชันที่เหมาะสมต่อคุณภาพของลูกชิ้นปลา

เนื่องจากผงเต้าหู้มีข้อจำกัดการใช้ คือมีความสามารถในการละลายต่ำ แต่เมื่อนำไปตีผสมกับน้ำและน้ำมันจะทำให้พรีอิมัลชันมีความคงตัว ดังนั้นการผลิตผลิตภัณฑ์จากผงเต้าหู้เพื่อเป็นทางเลือกให้ผู้บริโภคที่ต้องการหลีกเลี่ยงเนื้อสัตว์จึงควรผลิตอยู่ในรูปของผลิตภัณฑ์พรีอิมัลชัน เจล เช่น ไส้กรอก หมูยอ และลูกชิ้น เป็นต้น

ในการผลิตผลิตภัณฑ์อิมัลชันเจลของโรงงานอุตสาหกรรม จะมีการเตรียมอิมัลชันของน้ำกับน้ำมันที่เรียกกันว่าพรีอิมัลชัน เพื่อใช้เป็นส่วนผสมของเนื้อสัตว์ พรีอิมัลชันที่เติมลงไปจะช่วยทำให้ผลิตภัณฑ์มีความฉ่ำน้ำ และช่วยเพิ่มปริมาณผลผลิตทำให้ผลิตภัณฑ์มีต้นทุนลดลง

การเติมพรีอิมัลชันถึงแม้ว่าจะช่วยปรับปรุงลักษณะเนื้อสัมผัส และมีต้นทุนในการผลิตต่ำลง แต่จำเป็นต้องคำนึงถึงการยอมรับของผู้บริโภค เนื่องจากปริมาณการใช้เนื้อสัตว์ลดลง ในการทดลองผลิตลูกชิ้นปลาได้ทำการเติมผงเต้าหู้ในรูปของพรีอิมัลชันลงในส่วนผสมในอัตราส่วน 50, 60, 70 และ 80% ของน้ำหนักซูริมิ ทำการตรวจสอบการยอมรับของผู้บริโภค และลักษณะเนื้อสัมผัสของลูกชิ้นที่ได้

การทดสอบทางประสาทสัมผัสจะให้ผู้ชิมให้คะแนนความชอบแบบ 9-point hedonic scale โดยที่ 1 คือไม่ชอบมากที่สุด 9 คือชอบมากที่สุด โดยผลคะแนนการทดสอบชิมแสดงดังตาราง 4.1

ตารางที่ 4.1 ผลการทดสอบทางประสาทสัมผัสของผลิตภัณฑ์ลูกชิ้นปลาที่มีการเติมพรีอิมัลชัน

พรีอิมัลชัน	สี	กลิ่นรส	รสชาติ	ลักษณะเนื้อสัมผัส	ความชอบรวม
50%	6.97	7.13	6.93	6.70	7.10
60%	7.10	6.93	7.20	6.93	7.14
70%	7.23	6.77	7.23	6.77	7.01
80%	7.07	7.20	6.83	7.03	7.27

จากการทดสอบทางประสาทสัมผัส พบว่าสามารถเติมพรีอิมัลชันได้มากถึง 80% ของน้ำหนักซูริมิ โดยไม่ทำให้คะแนนความชอบของผู้ชิมไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ

($p>0.05$) กับตัวอย่างอื่นๆ แต่เมื่อเติมพรีอิมัลชันเพิ่มมากขึ้นส่งผลให้การขึ้นรูปของลูกชิ้นยากขึ้น โดยถ้าเพิ่มปริมาณพรีอิมัลชันมากกว่า 80% จะปั้นขึ้นรูปลูกชิ้นยากขึ้น

การวิเคราะห์ผลของพรีอิมัลชันที่มีต่อลักษณะเนื้อสัมผัสของลูกชิ้น ทำโดยใช้เครื่องวัดลักษณะเนื้อสัมผัส ทำการกดตัวอย่าง 30 เปอร์เซนต์ deformation กดตัวอย่างติดต่อกันสองครั้ง นำข้อมูลเข้าโปรแกรม Texture profile analysis เพื่อคำนวณค่าความแข็ง (hardness) และความยืดหยุ่น (springiness) ของตัวอย่างลูกชิ้นเมื่อเติมพรีอิมัลชันที่ระดับต่างๆ

ตารางที่ 4.2 ผลการวิเคราะห์ลักษณะเนื้อสัมผัสของตัวอย่างลูกชิ้นปลาที่มีการเติมพรีอิมัลชัน

พรีอิมัลชัน	Hardness (g.force)	Springiness (m)
50%	3495.32 ^a	0.93 ^a
60%	3518.73 ^a	0.93 ^a
70%	3564.91 ^a	0.94 ^a
80%	2380.39 ^b	0.91 ^b

อักษรที่แตกต่างกัน หมายถึง มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p\leq 0.05$)

พบว่าเมื่อปริมาณของพรีอิมัลชันที่เติมเพิ่มมากขึ้นค่าความแข็งและค่าความยืดหยุ่นที่วัดโดยเครื่องวัดลักษณะเนื้อสัมผัสมีค่าเพิ่มขึ้น แต่เมื่อเติมถึงระดับหนึ่ง เช่น ที่ระดับ 80% ของน้ำหนักซูริมี ค่าความแข็งและค่าความยืดหยุ่นจะลดลง เนื่องจากการเติมพรีอิมัลชันที่ปริมาณที่มากขึ้นปริมาณของผงเต้าหู้ก็สูงขึ้น และในผงเต้าหู้ยังคงมีองค์ประกอบของคาร์โบไฮเดรตหรือแป้งอยู่ เมื่อได้รับความร้อนแป้งจะเกิดการพองตัวอุ้มน้ำเอาไว้ ทำให้โครงสร้างเกิดการยืดเหนียวเกาะตัวกันมากขึ้น ซึ่งสอดคล้องกับการทดลองของการเติมแป้งในลูกชิ้นปลาจะทำให้เนื้อสัมผัสของลูกชิ้นปลาแข็งขึ้น (Kong, 1999) อย่างไรก็ตามการเติมพรีอิมัลชันในส่วนผสมมากเกินไป ส่งผลให้ลูกชิ้นมีปริมาณของเหลว คือน้ำและน้ำมันมากเป็นเหตุให้ความแข็งของลูกชิ้นลดลง

4.2 ผลการศึกษาปริมาณพรีอิมัลชันที่เหมาะสมต่อคุณภาพของเต้าหู้ปลา

เต้าหู้ปลาจัดเป็นผลิตภัณฑ์อิมัลชันเจลเช่นเดียวกับลูกชิ้นหรือไส้กรอก ซึ่งสามารถเติมผงเต้าในรูปของพรีอิมัลชันลงในส่วนผสมได้ เพื่อช่วยในการปรับปรุงลักษณะเนื้อสัมผัสและลดต้นทุนในการผลิต ซึ่งในการทดลองได้ทำการผลิตเต้าหู้ปลาโดยเติมผงเต้าในรูปของพรีอิมัลชันในอัตราส่วน 40, 50 และ 60% ของน้ำหนักซูริมีทำการตรวจสอบการยอมรับของผู้บริโภค และลักษณะเนื้อสัมผัสของลูกชิ้นที่ได้

การทดสอบทางประสาทสัมผัสจะให้ผู้ชิมให้คะแนนความชอบแบบ 9-point hedonic scale โดยที่ 1 คือไม่ชอบมากที่สุด 9 คือชอบมากที่สุด โดยผลคะแนนการทดสอบชิมแสดงดังตาราง 4.3

ตารางที่ 4.3 ผลการทดสอบทางประสาทสัมผัสของผลิตภัณฑ์เต้าหู้ปลาที่มีการเติมพรีอิมัลชัน

พรีอิมัลชัน	สี	กลิ่นรส	รสชาติ	ลักษณะเนื้อสัมผัส	ความชอบรวม
40%	6.17 ^b	6.23 ^b	5.88 ^b	5.73 ^b	6.17 ^b
50%	7.33 ^a	7.05 ^a	7.48 ^a	7.38 ^a	7.68 ^a
60%	6.72 ^{ab}	6.68 ^a	6.83 ^{ab}	6.60 ^a	6.83 ^{ab}

อักษรที่แตกต่างกัน หมายถึง มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$)

จากการทดสอบทางประสาทสัมผัส พบว่าในการผลิตเต้าหู้ปลาสามารถเติมพรีอิมัลชันได้มากถึง 60% ของน้ำหนักซูริมิ และได้รับคะแนนความชอบของผู้ชิมไม่ต่างจากตัวอย่างอื่นๆ ($p \leq 0.05$) แต่เมื่อมีการเพิ่มปริมาณพรีอิมัลชันมีแนวโน้มให้ค่าคะแนนความชอบของเต้าหู้ปลาลดลง

การวิเคราะห์ผลของพรีอิมัลชันที่มีต่อลักษณะเนื้อสัมผัสของเต้าหู้ปลา ทำโดยใช้เครื่องวัดลักษณะเนื้อสัมผัส ทำการกดตัวอย่าง 30 เปอร์เซ็นต์ deformation กดตัวอย่างติดต่อกันสองครั้ง นำข้อมูลเข้าโปรแกรม Texture profile analysis เพื่อคำนวณค่าความแข็ง (hardness) และความยืดหยุ่น (springiness) ของตัวอย่างเต้าหู้ปลาเมื่อเติมพรีอิมัลชันที่ระดับต่างๆ

จากการทดลองพบว่าเมื่อปริมาณของพรีอิมัลชันที่เติมเพิ่มมากขึ้นค่าความแข็งและค่าความยืดหยุ่นของเต้าหู้ปลาที่วัดโดยเครื่องวัดลักษณะเนื้อสัมผัสมีค่าเพิ่มขึ้นสอดคล้องกับการทดลองผลิตลูกชิ้นปลา ดังตารางที่ 4.4

ตารางที่ 4.4 ผลการวิเคราะห์ลักษณะเนื้อสัมผัสของตัวอย่างเต้าหู้ปลาที่มีการเติมพรีอิมัลชัน

พรีอิมัลชัน	Hardness (g.force)	Springiness (m)
40%	5823.80 ^c	0.76 ^b
50%	7948.30 ^b	0.79 ^b
60%	10236.71 ^a	0.86 ^a

อักษรที่แตกต่างกัน หมายถึง มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$)

บทที่ 5

สรุปผลการทดลอง

1. การศึกษาการผลิตลูกขึ้นปลาโดยเติมผงเต้าหู้ในรูปของพรีอิมัลชัน เพื่อทดแทนปริมาณซูริมิ พบว่าสามารถเติมผงเต้าหู้ในรูปของพรีอิมัลชันได้ถึง 80% ของน้ำหนักซูริมิ โดยที่ผู้ทดสอบชิมให้คะแนนความชอบไม่แตกต่างกับตัวอย่างอื่นๆ

2. การศึกษาการผลิตเต้าหู้ปลาโดยเติมผงเต้าหู้ในรูปของพรีอิมัลชัน เพื่อทดแทนปริมาณซูริมิ พบว่าพบว่าการเติมผงเต้าหู้ในรูปของพรีอิมัลชันได้ถึง 60% ของน้ำหนักซูริมิ โดยที่ผู้ทดสอบชิมให้คะแนนความชอบไม่แตกต่างกับตัวอย่างอื่นๆ และสามารถช่วยปรับปรุงคุณลักษณะทางด้านลักษณะเนื้อสัมผัสของเต้าหู้ปลาให้มีค่าความแข็งและค่าความยืดหยุ่นเพิ่มขึ้น



บรรณานุกรม

- ปาริฉัตร หงส์ประภาส. 2542. เคมีกายภาพของอาหารคอลลอยด์ อิมัลชัน และเจล. กรุงเทพฯ. วรลักษณ์ ปัญญาธิติพงษ์. 2545. "การศึกษากระบวนการผลิตผงเต้าหู้และการใช้ประโยชน์ของผงเต้าหู้ในลูกชิ้นหมู." วิทยานิพนธ์วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิทยาศาสตร์การอาหาร บัณฑิตวิทยาลัย, สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง.
- วรลักษณ์ ปัญญาธิติพงษ์ และยุพร พิชกมูทร. 2545. "การศึกษากระบวนการผลิตผงเต้าหู้เพื่อใช้เป็นแหล่งโปรตีนทดแทน."การประชุมทางวิชาการเพื่อผู้บริโภค (Farm for consumer) การแสดงผลงานภาคโปสเตอร์ 19 เรื่อง วันที่ 12 กุมภาพันธ์ 2545 อาคารเจ้าคุณทหาร. กรุงเทพฯ : สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง.
- สันติธรรม โชติประทุม. 2546. "การศึกษาการเกิดเจลของผลิตภัณฑ์ระหว่างผงเต้าหู้และเนื้อหมูบด." วิทยานิพนธ์วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาวิทยาศาสตร์การอาหาร บัณฑิตวิทยาลัย, สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง.
- สุพรรณิการ์ วิลาวรรณ และมลศิริ วีโรทัย. 2540. "การผลิตผงเต้าหู้เพื่อใช้เป็นแหล่งโปรตีนจากพืชในผลิตภัณฑ์อาหาร." วิทยาศาสตร์ มศว. 13 : 26-33.
- ไสรยา เกิดพิบูลย์. 2545. "การศึกษาวิธีการผลิตลูกชิ้นปลาผสมเนื้อหอย." วิทยานิพนธ์วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิทยาศาสตร์การอาหาร บัณฑิตวิทยาลัย, สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง.
- Chung , W.H. and Y.H. Kim. 1996. "Functional properties and composition of tofu flour 206 –209." In the processing of the second international soybean processing and utilization . Bangkok : Kasetsat University .
- Federal Register. 1998. Food labeling : Health claim; soy protein and coronary heart disease. Federal Register. Vol 63, Nr. 217.
- Helik , J. J., E. Pichon., M. Sholnan., M. H. Schwarz and M. Yezek. 1976. Dried tofu powder. USA. U.S. patent. No.3943266. March 1 , 1976.
- Hideo, O. and Kawassaki, S. 1990. Processed Soybean Curd Food Having a Texture similar to Meat. U.S. patent no. 4897280, June 7, 1990.
- Hua , Y., S. W. Cui and Q. Wang. 2003. "Gelling property soy protein gum mixtures." Food Hydrocolloids.

- Imeson , A. 1997. Thickening and gelling agents for food. 2nd. New York : Chapman & Hall.
- Jeng , C.Y., H. W. Ockerman., V. R. Caholl. and A. C. Peng. 1988. "Influence of substituting two level of tofu for fat in cooked commuted meat – type product." *J. Food Sci.* 53(1) : 97-100.
- Kai-Lai , G. H., L. A. Wilson and J. G. Sebranek. 1997. "Dried soy tofu powder effects on frankfurter and pork sausage patty." *J. Food Sci.* 60(2) : 434-437.
- Kim , J.M. and C. M. Lee. 1987. "Effect of starch of textural properties of surimi gel." *J. Food Sci.* 52(3) : 722 – 725
- Kong , C.S., H. Ogawa and N. Iso. 1999. "Compression properties of Fish – Meat gel as affected by gelatinization of added starch. *J. Food Sci.* 64(2) : 283 - 286
- Lecomte , N.B., J. F. Zayas and C. L. Kastner. 1993. "Soya proteins functional and Sensory characteristics improved in comminuted meats." *J. Food Sci.* 58(3) : 464 - 472
- Lin , K. W. and M. Y. Mei. 2000. "Influence of gum , soy protein isolate and heating temperature on reduced – fat meat batter in model system." *J. Food Sci.* 65(1) : 97 – 100.
- Noitup , P. and N. Raksakulthai. 1997. "Process development and storage of fish – cuttle balls." *Asean Food Journal* . 12(1) : 27-32.
- Rahardjo , R., L. A. Wilson and J. G. Sebranek. 1994. "Spray dried soy milk used in reduced fat pork sausage patties." *J. Food Sci.* 59(6) :1286 – 1290.
- Samejima , K., M. Ishioroshi. and T. Yasui. 1981. "Relative roles of the head and tail portion of the molecule in heat-induced gelation of myosin." *J. Food Sci.* 46 : 1412-1418.
- Uzzan, M. and T.P. Labuza. 2004. "Critical Issues in R&D of Soy Isoflavone enriched Foods and Dietary Supplements." *J. Food Sci.* 69 (3) : CRH77-CRH86.
- Zayas , J. F. 1997. Functionality of protein in food. New York : Spronger – Verlage Berlin.

ภาคผนวก ก
แบบทดสอบทางประสาทสัมผัส



แบบทดสอบทางประสาทสัมผัส

ชื่อผู้ทดสอบ.....อายุ.....วันที่ทดสอบ.....

คำแนะนำ กรุณาทดสอบตัวอย่างโดยพิจารณาคุณลักษณะต่างๆของผลิตภัณฑ์ตามที่กำหนดไว้ โดยคุณลักษณะเนื้อสัมผัสคือความรู้สึกที่กัดและเคี้ยว และให้คะแนนความชอบตามคำอธิบาย ข้างล่างนี้ให้ตรงกับรหัสตัวอย่าง กรุณاب้วนปากทุกครั้งหลังการทดสอบตัวอย่าง

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

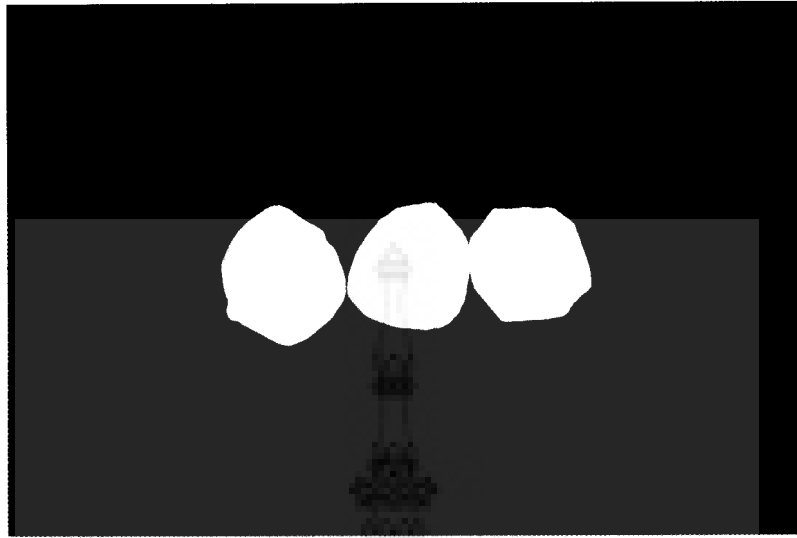
ลักษณะที่ทดสอบ	รหัสตัวอย่าง		
สี			
กลิ่นรส			
รสชาติ			
เนื้อสัมผัส			
การยอมรับรวม			

ข้อเสนอแนะ.....

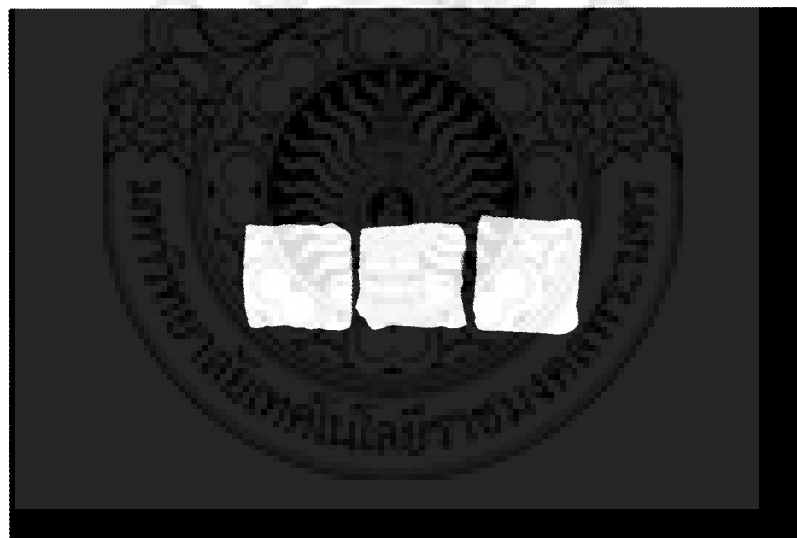
ภาคผนวก ข

ลักษณะผลิตภัณฑ์





ภาพที่ ข1 ลูกชิ้นปลาที่ใช้ฝังเต้าน้ำทดแทนซูริมิบางส่วน



ภาพที่ ข2 เต้าน้ำปลาที่ใช้ฝังเต้าน้ำทดแทนซูริมิบางส่วน