

ผลของอิมัลซิไฟเออร์ต่อคุณสมบัติเนื้อสัมผัส คุณสมบัติทางเคมี และความคงตัวของอิมัลชันไส้กรอกหมูที่ผลิตจากเนื้อสุกรแช่เยือกแข็ง

Effects of Emulsifier on Texture and Chemical Properties and Emulsion Stability of Pork Sausage Made of Frozen Pork Meat

วรวลัญช์ นิมพะเนาวิ เอกรินทร์ อินประมุล มาลัยพร วงศ์แก้ว รัตติยากร ชาตดนนธ์ และ สิบงกช โตไพบุลย์*

Warawaran Shimbhano, Aekarin Inpramoon, Malaiporn Wongkaew, Rattiyakorn Chattanon
and Subongkoj Topaiboul *

Received: 8 February 2023, Revised: 11 August 2023, Accepted: 4 September 2023

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อวิเคราะห์เนื้อสัมผัสและคุณสมบัติของไส้กรอกอิมัลชันที่ทำจากเนื้อสุกรแช่เยือกแข็งที่ -40°C เป็นระยะเวลา 3 เดือนและปรับปรุงคุณสมบัติดังกล่าวด้วยการเติมอิมัลซิไฟเออร์ชนิดต่าง ๆ ประกอบไปด้วยผงถั่วเหลือง 10% และ 20% สารสกัดโปรตีนถั่วเหลือง 10% และ 20% และผงไข่ขาว 10% และ 20% เข้าทดแทนเนื้อสุกรแช่เยือกแข็ง โดยตรวจวัดค่าสี ค่าเนื้อสัมผัส ความคงตัวของอิมัลชัน ปริมาณความชื้น ปริมาณโปรตีนและไขมัน และวิเคราะห์โครงสร้างไส้กรอกด้วยภาพถ่ายจุลภาค ผลการทดลองพบว่า สีของไส้กรอกที่ผลิตจากเนื้อสุกรแช่เยือกแข็งแตกต่างกันไปตามชนิดและปริมาณอิมัลซิไฟเออร์ แต่ยังคงอยู่ในช่วงที่มีค่าความสว่างใกล้เคียงกัน อิมัลซิไฟเออร์ทุกชนิดมีผลต่อการเปลี่ยนแปลงความแข็ง ค่าความยืดเคาะ และดัชนีความต้านทานต่อการบดเคี้ยวของไส้กรอก แต่ไม่มีผลต่อค่าดัชนีการกินตัว การใช้ผงไข่ขาวส่งผลให้ไส้กรอกมีความแข็งมากที่สุด ซึ่งผลจากภาพถ่ายโครงสร้างทางจุลภาคพบความแตกต่างของขนาดโพรงและลักษณะผิวเนื้อไส้กรอกที่สอดคล้องกัน เมื่อพิจารณาคุณสมบัติทางเคมีพบว่ามีความชื้นใกล้เคียงกัน ปริมาณโปรตีนไม่มีการเปลี่ยนแปลงอย่างมีนัยสำคัญแต่ตรวจพบปริมาณที่มากขึ้นเมื่อใช้ผงถั่วเหลืองและผงไข่ขาว 20% ทดแทนเนื้อสุกร การใช้ผงถั่วเหลืองที่มากกว่า 10% สามารถปรับปรุงลักษณะเนื้อสัมผัสได้ นอกจากนี้ผงถั่วเหลืองและผงไข่ขาวสามารถปรับปรุงความคงตัวของอิมัลชันในส่วนผสมไส้กรอกได้ดีเมื่อใช้ที่ปริมาณ 10% ขึ้นไป

คำสำคัญ: เนื้อสุกร, แช่เยือกแข็ง, ไส้กรอกอิมัลชัน, คุณสมบัติเนื้อสัมผัส, ความคงตัวของอิมัลชัน

ABSTRACT

This study aims to analyze the texture and chemical property changes of emulsion pork sausages made from frozen pork meat after 3 months of storage at -40°C and to improve sausage quality by replacing the meat with various emulsifiers including 10% and 20% soy protein powder, 10% and 20% isolated soy protein, and 10% and 20% egg white powder. The color, texture, emulsion stability, moisture content, protein content, fat content, and microstructure images of the sausage samples were determined. The results showed the measured sausage colors were varied with the type and amount of emulsifier added; however, overall colors were within the same lightness zone. All emulsifiers affected hardness, cohesiveness, chewiness index, but not the springiness index. Using egg white powder led to the highest hardness. The microstructure of sausage samples showed different pore size and numbers, which were consistent with the texture properties. Regarding the chemical properties, it was found that all treatments had a similar amount of water content. Protein content did not change significantly, but a higher amount of protein could be measured when using 20% of soybean protein and white egg powder. Soy protein powder could improve the sausage texture properties when used in amounts greater than 10%. Furthermore, soy protein and egg white powder could improve the emulsion stability in the sausage mixture if used at 10% or higher.

Key words: pork meat, frozen storage, emulsion sausage, texture properties, emulsion stability

บทนำ

ในกระบวนการแปรรูปเนื้อสุกรหลังจากผ่านการชำแหละ เนื้อสดจะถูกเก็บรักษาไว้ในห้องเย็นแล้วจึงนำมาแปรรูปทันทีหลังการชำแหละ 24 ชั่วโมงเพื่อคงคุณภาพความสดของเนื้อและความปลอดภัยต่อการบริโภค บางกรณีที่เนื้อสดมีปริมาณมากกว่ากำลังการผลิต ผู้ผลิตมักใช้การเก็บรักษาในห้องแช่เยือกแข็งเพื่อยืดอายุของเนื้อให้คงสภาพได้ยาวนานขึ้น ซึ่งในกระบวนการผลิตไส้กรอกหมูของศูนย์วิจัยและพัฒนาผลิตภัณฑ์สำนักงานปศุสัตว์เชียงใหม่ ในบางช่วงมีความจำเป็นต้องใช้เนื้อสุกรแช่เยือกแข็งมาแปรรูปเป็นผลิตภัณฑ์ไส้กรอก และพบว่าคุณสมบัติความเป็นอิมัลชันและเนื้อสัมผัสของไส้กรอกมีการเปลี่ยนแปลงไปจากเดิม โดยคาดว่าอาจเป็นผลมาจากระยะเวลาในการแช่เยือกแข็งเนื้อสุกรก่อนการแปรรูป

มีงานวิจัยหลายชิ้นที่ศึกษาผลของระดับการแช่เยือกแข็งอย่างรวดเร็วและระยะเวลาในการแช่เยือกแข็งที่ส่งผลต่อคุณภาพของเนื้อสัตว์ โดยพบความสอดคล้องของผลวิจัยว่าระดับการแช่เยือกแข็งและระยะเวลาทำให้คุณภาพเนื้อสัตว์แย่ลงจากการเปลี่ยนแปลงโครงสร้างเนื้อและการเสียสภาพ (denature) ของโปรตีน มีรายงานวิจัยผลของระยะเวลาการแช่เยือกแข็งที่อุณหภูมิ -18°C เป็นระยะเวลา 3-18 เดือน พบว่าทำให้เกิดเปลี่ยนแปลงของโปรตีน โดยทำให้เนื้อหมูมีลักษณะนุ่มและมีความยืดหยุ่นลดลง ตรวจวัดได้จากการลดลงของค่าแรงเหวี่ยงเมื่อเก็บรักษาที่ระยะเวลานานขึ้น (Medic *et al.*, 2018) นอกจากนี้ยังพบการเกิดออกซิเดชันของไขมันที่ทำให้เกิดกลิ่นหืนในเนื้อแช่แข็ง และการสูญเสียน้ำจากการทำละลายน้ำแข็ง (thawing loss) เพิ่มขึ้น ความสามารถในการอุ้มน้ำลดลงร่วมด้วย

(Medic *et al.*, 2018; Choi *et al.*, 2018) ระดับอุณหภูมิในการแช่เยือกแข็งที่สูงเกินไปจะมีผลต่อการเร่งปฏิกิริยาการเกิดออกซิเดชันของไขมันและเกิดไฮโดรเปอร์ออกไซด์ ส่งผลให้เกิดกลิ่นและรสชาติไม่พึงประสงค์ในภายหลัง อุณหภูมิที่เหมาะสมที่สุดในการเก็บรักษาเนื้อสัตว์แช่แข็งจึงควรอยู่ที่ประมาณ -40°C (Estévez, 2011) และหากนำเนื้อไปแปรรูปเป็นผลิตภัณฑ์จะส่งผลให้ลักษณะเนื้อสัมผัสของผลิตภัณฑ์ที่ได้เปลี่ยนแปลงไปเช่นกัน

ไส้กรอกสำหรับงานวิจัยชิ้นนี้เป็นผลิตภัณฑ์เนื้อประเภทอิมัลชันที่ทำจากเนื้อ มันแข็ง น้ำเครื่องเทศปรุงแต่งรส และกลิ่น และสารเคมีปรุงแต่งได้แก่ เกลือไนไตรท์ ฟอสเฟส แอสคอเบท และโปรตีนถั่วเหลือง โดยมีโมโนโพรพิลลาร์โปรตีนที่เป็นองค์ประกอบสำคัญในเนื้อสัตว์ที่ช่วยทำหน้าที่เป็นอิมัลซิไฟเออร์ เนื้อสัมผัสที่ดีของไส้กรอกเป็นผลมาจากความเสถียรในระบบอิมัลชันของส่วนผสมซึ่งสังเกตได้จากความสม่ำเสมอเรียบเนียน ความยืดหยุ่น เนื้อแน่นไม่ยุ่ย และไม่นิ่มเกินไป ไม่มีการแยกตัวของหยดน้ำมันออกจากไส้กรอก (Rattanapanone, 2014) ดังนั้น คุณภาพ ชนิด และปริมาณของอิมัลซิไฟเออร์ และส่วนผสมจึงส่งผลต่อลักษณะเนื้อสัมผัสของไส้กรอก (Lonergan *et al.*, 2019) โมโนโพรพิลลาร์โปรตีนในเนื้อที่ผ่านการแช่เยือกแข็งจะมีปริมาณน้อยลง (Hoogenkamp, 2011) ส่งผลต่อความสามารถในการเป็นอิมัลชัน เจลของส่วนผสมที่ได้มีความอ่อนแอและอุ้มน้ำได้น้อยลง (Smith, 1988) นอกจากนี้เนื้อสัตว์แล้วอิมัลซิไฟเออร์ที่มักนิยมใช้เพิ่มเติมในการแปรรูปคือโปรตีนจากแหล่งอื่น เช่น โปรตีนถั่วเหลือง โปรตีนนม เป็นต้น (Lukin, 2020)

การเพิ่มความคงตัวของอิมัลชันโดยการปรับทดแทนส่วนผสมเนื้อสัตว์ด้วยโปรตีนที่ช่วยให้เกิดการยึดเกาะกับไขมันและน้ำได้ดีขึ้นเป็นการปรับปรุง

คุณสมบัติของเนื้อสุกรที่เปลี่ยนแปลงไปหลังการแช่แข็งและลดต้นทุนการผลิตไปในคราวเดียวกัน เช่น Phonpannawit *et al.* (2021) ศึกษาปริมาณที่เหมาะสมของไขมัน คาร์ราจีแนน และโปรตีนสกัดจากถั่วเหลืองในผลิตภัณฑ์ไส้กรอกไก่ลดไขมัน โดยพบว่าปัจจัยทั้งสามมีผลต่อค่าความแข็ง ค่าการแตกหัก ค่าการยึดเกาะและปริมาณไขมันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ และพบว่าภายหลังจากการพัฒนาผลิตภัณฑ์ ประกอบไปด้วย เนื้อไก่ 80% น้ำแข็ง 10% ไขมัน 5.6% คาร์ราจีแนน 1.7% และโปรตีนสกัดจากถั่วเหลือง 2.7% ผลิตภัณฑ์ที่ได้มีปริมาณโปรตีน 14.4% ใกล้เคียงกับผลิตภัณฑ์ไส้กรอกลดไขมันที่จำหน่ายในท้องตลาด

มีการนำน้ำมันถั่วเหลืองและโปรตีนถั่วเหลืองมาใช้ส่วนผสมในไส้กรอกเนื้อแพะรมควัน (Cosenza *et al.*, 2003) โดยพบว่าปริมาณโปรตีนถั่วเหลืองที่ร้อยละ 3.5 และ ปริมาณน้ำมันถั่วเหลืองร้อยละ 4 ช่วยปรับปรุงเนื้อสัมผัสของไส้กรอก โดยไม่มีความแตกต่างของคะแนนการยอมรับทางประสาทสัมผัสของ กลิ่นรส และการยอมรับโดยรวมของกลุ่มตัวแทนผู้บริโภคเมื่อเทียบกับไส้กรอกหมูรมควัน (Cosenza *et al.*, 2003)

การใช้น้ำมันพืชในรูปแบบของเหลวกับผลิตภัณฑ์ไส้กรอก มีผลทำให้ผลิตภัณฑ์มีเนื้อสัมผัสนุ่มและอาจมีผลต่อความคงตัวของอิมัลชัน (emulsion stability) รวมทั้งยังทำให้ความแน่นแข็งของเนื้อสัมผัสลดลง (Muguerza *et al.*, 2004) การใช้น้ำมันพืชหรืออิมัลซิไฟเออร์ด้วยโปรตีนที่ไม่ใช่เนื้อสัตว์ (non meat protein) ร่วมกับน้ำ สามารถปรับปรุงความแน่นเนื้อ (firmness) ความสามารถในการอุ้มน้ำ (water holding capacity) (Muguerza *et al.*, 2002) และลดการสูญเสีย น้ำหนักระหว่างทำให้สุกของไส้กรอกได้ (López-López *et al.*, 2009)

งานวิจัยนี้จึงศึกษาผลของชนิดอิมัลซิไฟเออร์ที่มีต่อการเปลี่ยนแปลงลักษณะเนื้อสัมผัสและความเป็นอิมัลชันของไส้กรอกที่ผลิตจากเนื้อสุกรที่ผ่านการเก็บรักษาด้วยการแช่เยือกแข็งอย่างรวดเร็วเป็นเวลา 3 เดือน มีเป้าหมายเพื่อประเมินและบ่งชี้ชนิดของอิมัลซิไฟเออร์ที่จะสามารถนำมาทดแทนเนื้อสุกรเพื่อปรับปรุงคุณสมบัติไส้กรอกหัดเชยคุณสมบัติความเป็นอิมัลชันและลักษณะเนื้อสัมผัสเนื้อสุกรที่สูญเสียไประหว่างการแช่เยือกแข็งได้โดยยังไม่ครอบคลุมถึงการทดสอบประสาทสัมผัส

วิธีดำเนินการวิจัย

1. วัตถุดิบ

ใช้เนื้อสุกรและส่วนมันที่ผ่านการเชือดไม่เกิน 24 ชั่วโมงจากบริษัท VPF จังหวัดเชียงใหม่ เลือกเนื้อส่วนสะโพก นำมาแบ่งเป็นชิ้นตัวอย่างหนักชิ้นละ 1 กิโลกรัม บรรจุในถุงซิปล็อคครีตาอากาศออกแล้วนำไปแช่เยือกแข็งที่อุณหภูมิ -40 องศาเซลเซียสในตู้แช่แข็ง BINDER Ultra Low temperature Freezers UVF เป็นระยะเวลา 3 เดือน ก่อนนำมาผลิตไส้กรอกเนื้อสุกรที่ผ่านการแช่เยือกแข็งจะถูกนำมาละลายน้ำแข็งโดยการทิ้งไว้ในตู้แช่เย็นที่อุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียสเป็นเวลา 10 ชั่วโมง อิมัลซิไฟเออร์ประกอบด้วยผงถั่วเหลืองจากบริษัทนิวทรีเมท สารสกัดโปรตีนถั่วเหลืองจากบริษัทกรุงเทพเคมี และผงไข่ขาวจาก TR Food and bakery สำหรับส่วนผสมเครื่องเทศ น้ำแข็ง และไส้คอลลาเจนใช้เกรดทางค้าทั่วไป

2. การผลิตไส้กรอก

นำเนื้อสุกรที่ผ่านการละลายน้ำแข็งมาบดเข้ากับมันสุกรและส่วนผสมทั้งหมดตามอัตราส่วนโดยน้ำหนักของศูนย์วิจัยและพัฒนาผลิตภัณฑ์ สำนักงานปศุสัตว์เชียงใหม่โดยมีสัดส่วน (เนื้อสุกร:มันสุกร:น้ำแข็ง:เครื่องเทศ) ที่ (15:8:8:1) ผสมด้วยเครื่องสับผสมสำหรับทำไส้กรอกและลูกชิ้นจากบริษัท SCG

เริ่มจากนำเนื้อสุกรบดผสมกับเครื่องเทศแล้วเติมน้ำแข็งทีละน้อยจนกระทั่งได้ส่วนผสมที่เข้ากันดี มีลักษณะเนื้อเนียนและมันวาว บริเวณรอบถังบดผสมภายนอกใส่น้ำแข็งให้เต็มตลอดเวลาเพื่อช่วยลดอุณหภูมิระหว่างการบดและรักษาไม่ให้โปรตีนเสียสภาพ เมื่อได้ส่วนผสมแล้วจึงบรรจุลงในไส้คอลลาเจนเส้นผ่านศูนย์กลางขนาด 23 มิลลิเมตร ด้วยกระบอกดัดไส้กรอกมัดความยาวท่อนละ 5 นิ้ว ส่วนผสมไส้กรอกที่ผลิตจากเนื้อสุกรแช่เยือกแข็งจะมีการเติมอิมัลซิไฟเออร์ทดแทนเนื้อสุกร ประกอบไปด้วย ผงถั่วเหลือง 10% และ 20% สารสกัดโปรตีนถั่วเหลือง 10% และ 20% และ ผงไข่ขาว 10% และ 20% สำหรับส่วนผสมไส้กรอกจากเนื้อสุกรสดและส่วนผสมไส้กรอกจากเนื้อสุกรแช่เยือกแข็ง 3 เดือน จะไม่มีการเติมอิมัลซิไฟเออร์ สรุปส่วนผสมเป็น 8 รูปแบบ ดังนี้

รูปแบบที่ 1 ส่วนผสมจากเนื้อสุกรสด

รูปแบบที่ 2 ส่วนผสมจากเนื้อสุกรแช่เยือกแข็ง

รูปแบบที่ 3 ส่วนผสมจากเนื้อสุกรแช่เยือกแข็งและผงถั่วเหลือง 10%

รูปแบบที่ 4 ส่วนผสมจากเนื้อสุกรแช่เยือกแข็งและผงถั่วเหลือง 20%

รูปแบบที่ 5 ส่วนผสมจากเนื้อสุกรแช่เยือกแข็งและสารสกัดโปรตีนถั่วเหลือง 10%

รูปแบบที่ 6 ส่วนผสมจากเนื้อสุกรแช่เยือกแข็งและสารสกัดโปรตีนถั่วเหลือง 20%

รูปแบบที่ 7 ส่วนผสมจากเนื้อสุกรแช่เยือกแข็งและผงไข่ขาว 10%

รูปแบบที่ 8 ส่วนผสมจากเนื้อสุกรแช่เยือกแข็งและผงไข่ขาว 20%

ส่วนผสมไส้กรอกจะถูกแยกออกไปวัดค่าความคงตัวของอิมัลชัน ส่วนไส้กรอกที่บรรจุเรียบร้อยแล้วจะถูกนำไปต้มในอ่างน้ำร้อนที่อุณหภูมิเป็น 75 ± 1 องศาเซลเซียสเป็นเวลา 20 นาที แล้วแช่

ในน้ำเย็นที่อุณหภูมิ 10 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 10 นาที จากนั้นจึงนำมาวิเคราะห์คุณสมบัติทางกายภาพและทางเคมี

3. การวิเคราะห์คุณภาพของไส้กรอก

การวิเคราะห์คุณภาพของไส้กรอกจะเน้นเปรียบเทียบคุณสมบัติทางกายภาพและทางเคมีเป็นหลักโดยนำผลเพื่อบ่งชี้ว่าอิมัลชันไฟเออร์ชนิดใดส่งผลต่อการปรับปรุงเนื้อสัมผัสและความเป็นอิมัลชันโดยมีการวิเคราะห์ดังนี้

3.1 การวิเคราะห์ค่าสี ด้วยเครื่องวัดสี (colorimeter, ColorFlex EZ, Hunter Associates Laboratory, USA) โดยวัดค่าสีบนผิวของไส้กรอกหุ้มบริเวณทั้งสองด้าน ด้านละ 5 จุด ค่าสีที่วัดได้บันทึกเป็นค่า L^* (Lightness), a^* (Redness) และ b^* (Yellowness) (McGuire, 1992)

3.2 การวิเคราะห์เนื้อสัมผัสด้วยเครื่องวิเคราะห์เนื้อสัมผัส (Brookfield CT3 10K, USA) โดยใช้ตัวอย่างไส้กรอกที่ผ่านการต้มแล้วตัดให้มีขนาดความหนา 1 เซนติเมตร จำนวน 30 ตัวอย่าง กดด้วยหัววัดทรงกระบอกเส้นผ่าศูนย์กลางขนาด 1 เซนติเมตร ด้วยวิธี Double bite test ที่ความลึก 3 มิลลิเมตร (Texture Technologies, 2023)

3.3 การวิเคราะห์โครงสร้างจุลภาค (microstructure) โดยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (scanning electron microscopy, SEM, model Prisma E, Thermo scientific, USA) โดยเตรียมตัวอย่างไส้กรอกหุ้มให้มีขนาดความหนา 0.5 เซนติเมตร นำไปทำแห้งในสถานะแช่เยือกแข็ง จากนั้นตัดตัวอย่างให้มีขนาด 1x1x0.1 เซนติเมตร นำไปวางบนแท่นอะลูมิเนียม ฉาบตัวอย่างด้วยทองคำหนา 250-300 นาโนเมตร นำตัวอย่างไปส่องด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราดที่ กำลังขยาย 1,000 เท่า

3.4 การวัดความคงตัวของอิมัลชันจากส่วนผสมเนื้อไส้กรอก (ส่วนผสมดิบ) โดยวัดค่า Total Expressible Fluid (%TEF) โดยประยุกต์จากวิธีของ Chen *et al.* (2015) และ Hughes *et al.* (1997) โดยนำตัวอย่าง 3 กรัม ไปชั่งน้ำหนัก (weight of sample) นำไปปั่นเหวี่ยงที่ 60 g เป็นเวลา 3 นาที และนำหลอดไปต้มในอ่างน้ำร้อนที่อุณหภูมิ 80 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 20 นาที คั่วหลอดลงบนกระดาษซับของเหลวแล้วนำกระดาษที่มีของเหลวอยู่ไปชั่งน้ำหนัก (weight of towel paper and fluid release) นำกระดาษที่ชั่งแล้วไปเข้าอบในตู้อบแห้งที่อุณหภูมิ 105 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 3 ชั่วโมง นำกระดาษที่อบแห้งแล้วออกมาชั่งน้ำหนักอีกครั้ง (weight of heating exudate) จากนั้นคำนวณผลค่าปริมาณของเหลวทั้งหมดที่ปลดปล่อยออก (total fluid release, %TFR) ปริมาณน้ำที่ปลดปล่อยออก (water release, %WR) และปริมาณไขมันที่ปลดปล่อยออกมา (fat release, %FR) ตามสมการ

$$\%TFR = \frac{w_{tf} - w_t}{w_s} \times 100$$

$$\%WR = \frac{w_{ht} - w_t}{w_s} \times 100$$

$$\%FR = TFR - WR$$

เมื่อ w_{tf} คือ น้ำหนักของกระดาษที่ซับของเหลว
 w_t คือ น้ำหนักของกระดาษ
 w_{ht} คือ น้ำหนักของกระดาษที่ผ่านการอบ
 w_s คือ น้ำหนักของตัวอย่าง

3.5 วิเคราะห์ปริมาณโปรตีนและไขมัน การวิเคราะห์ปริมาณโปรตีนด้วยเครื่อง Dumas combustion (5E-TCN2200, CKIC, China) (Etheridge *et al.*, 1998) โดยใช้ตัวอย่างไส้กรอกหุ้มจำนวน 250 มิลลิกรัม นำไปเผาที่อุณหภูมิ 850 องศาเซลเซียส ส่วน

การวิเคราะห์ปริมาณไขมันด้วยเทคนิคการสกัดแบบซอกซ์เลต (Soxhlet extraction) (AOAC, 2000) โดยใช้ตัวอย่างไส้กรอกหมูจำนวน 3 กรัม ทั้งสองการทดลองทำการวิเคราะห์ 3 ซ้ำ

3.6 การวัดการสูญเสียน้ำหนักขณะทำให้สุกประยุกต์จากวิธีการของ Honikel (1998) โดยนำไส้กรอกดิบก่อนต้มไปชั่งน้ำหนักเริ่มต้น แล้วนำไปให้ความร้อนที่อุณหภูมิ 75 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 30 นาที จากนั้นนำตัวอย่างมาทำให้เย็นที่อุณหภูมิห้องที่ 21 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 3 ชั่วโมง ภายหลังตัวอย่างเย็นลงนำตัวอย่างไปชั่งน้ำให้แห้งแล้วชั่งน้ำหนัก คำนวณการสูญเสียน้ำหนักขณะทำให้สุก (%cooking loss) ดังสมการ

$$\%Cooking\ loss = \frac{W_r - W_c}{W_r} \times 100$$

เมื่อ W_r คือ น้ำหนักของส่วนผสมดิบ

W_c คือ น้ำหนักของส่วนผสมสุก

3.7 วิเคราะห์ค่าความเป็นกรด-ด่าง (pH) ด้วยวิธีของ Summo *et al.* (2006) โดยนำไส้กรอกหมูที่สุกแล้วประมาณ 5 กรัม บดรวมกับน้ำกลั่น 25 มิลลิลิตร แล้วนำไปวิเคราะห์ด้วยเครื่อง pH meter (PHTESTR30, EUTECH, Singapore) โดยทำการวิเคราะห์ 3 ซ้ำ

3.8 วิเคราะห์ปริมาณความชื้น (AOAC, 2000) โดยนำไส้กรอกหมูที่สุกแล้วประมาณ 5 กรัม ใส่ในจานอูมิเนียมที่ทราบน้ำหนักที่แน่นอน จากนั้นนำไปอบแห้งในตู้อบลมร้อน (UF450, Memmert, Germany) ที่อุณหภูมิ 105 องศาเซลเซียส เป็นเวลาประมาณ 24 ชั่วโมงจนกระทั่งได้น้ำหนักที่คงที่ คำนวณหาร้อยละของความชื้นมาตรฐานเปียก (%MC_{wb}) โดยทำการวิเคราะห์ 3 ซ้ำ

4. การวิเคราะห์ทางสถิติ

วางแผนการทดลองแบบสุ่มสมบูรณ์ (Completely Randomized Design; CRD) เปรียบเทียบความแตกต่างของค่าเฉลี่ยในแต่ละรูปแบบที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 โดยใช้ Tukey HSD วิเคราะห์ด้วยโปรแกรมทางสถิติ SPSS จำนวนการทดลองไม่น้อยกว่า 3 ซ้ำ

ผลการวิจัยและวิจารณ์ผล

1. การเปลี่ยนแปลงค่าสี

จากผลการวัดค่าความสว่าง (L*) ค่าสีแดง (a*) และค่าความเป็นสีเหลืองหรือสีน้ำเงิน (b*) ของไส้กรอกหมูด้วยเครื่องวัดค่าสี แสดงผลดังตารางที่ 1 พบว่าค่าสี L*, a* และ b* ของไส้กรอกทั้ง 8 รูปแบบมีค่าสีที่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (p<0.05) เมื่อเปรียบเทียบเฉพาะไส้กรอกที่ผลิตจากเนื้อสุกรที่เก็บรักษาไว้ในช่องแช่เยือกแข็งเป็นเวลา 3 เดือนกับไส้กรอกที่ผลิตจากเนื้อสุกรสดแล้วพบว่าไส้กรอกมีค่าความสว่างลดลงและมีโทนสีแดงเพิ่มขึ้นเล็กน้อย โดยพบรายงานผลที่สอดคล้องกันว่าเป็นการเปลี่ยนแปลงอย่างมีนัยสำคัญ การเปลี่ยนแปลงความสว่างและโทนสีแดงเกิดจากโครงสร้างกล้ามเนื้อที่เปลี่ยนแปลงและการเสียสภาพของไมโอโกลบิน หลังจากการแช่เยือกแข็ง (Wang *et al.*, 2023; Yang *et al.*, 2022) การเติมอิมัลซิไฟเออร์ในไส้กรอกที่ผลิตจากเนื้อสุกรแช่เยือกแข็งเป็นเวลา 3 เดือน พบว่าค่าสี L* ของไส้กรอกมีค่าอยู่ในช่วง 46.86-51.12 ค่าสี a* อยู่ในช่วง 2.54-4.96 และค่าสี b* อยู่ในช่วง 9.20-16.93 ค่าทั้งหมดแสดงถึงสีของผลิตภัณฑ์ไส้กรอกที่มีความสว่างในระดับกลางและมีโทนไปในทางสีแดงและสีเหลืองเพียงเล็กน้อย การเพิ่มอิมัลซิไฟเออร์ชนิดต่าง ๆ ส่งผลต่อการปรับปรุงค่าโทนสีของไส้กรอกที่ผลิตจากเนื้อสุกรแช่เยือกแข็งแตกต่างกันไปตามชนิดและปริมาณอิมัลซิไฟเออร์ ซึ่งค่า L* หรือ

ความสว่างมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นเมื่อเติมสารสกัดโปรตีนถั่วเหลืองและผงไข่ขาวในขณะที่การเติมผงถั่วเหลืองทำให้ความสว่างของไส้กรอกลดลง ค่า a^* มีแนวโน้มทางบวกหรือเป็นสีแดงเพิ่มขึ้นเมื่อเติมผงถั่วเหลืองแต่จะลดลงตามการเติมสารสกัดโปรตีนถั่วเหลืองและไข่ขาว สำหรับค่า b^* มีการเพิ่มขึ้นในโทนสีเหลืองอย่างชัดเจนเมื่อเติมผงถั่วเหลืองในขณะที่สารสกัดถั่วเหลืองส่งผลต่อเพิ่มสีเหลืองที่น้อยกว่าส่วนไข่ขาวมีผลต่อการลดค่า b^* จากผลการทดลองและผลวิเคราะห์ค่าความแตกต่างของสีรวม (ΔE) ชี้แนะว่าค่าสีของไส้กรอกที่ผลิตจากหมูแช่เยือกแข็งเป็นระยะเวลา 3 เดือนสามารถปรับปรุงให้ใกล้เคียงกับไส้กรอกหมูสดมากที่สุดเมื่อใช้ไขมันหมูใน

รูปแบบ 6 และ 7 หรือสารสกัดโปรตีนถั่วเหลือง 20% และ ผงไข่ขาว 10% ตามลำดับ อย่างไรก็ตาม การปรับปรุงค่าสีอาจมีผลที่แตกต่างไปตามสีดั้งเดิมของวัตถุดิบและชนิดไขมันหมูที่ใช้เองดังอธิบายในผลงานวิจัยของ Akesowan (2008) ที่ได้ศึกษาผลของการเติมสารสกัดโปรตีนถั่วเหลืองต่อคุณภาพของไส้กรอก โดยเติมสารสกัดโปรตีนถั่วเหลือง 1.5% และ 2% พบว่าสารสกัดถั่วเหลืองมีผลต่อการลดลงของค่า a^* (3.98-3.01) และการเพิ่มขึ้นของค่า b^* (5.94-6.83) อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P \leq 0.05$) เป็นผลมาจากการเปลี่ยนแปลงสีของเนื้อสุกร (สีแดง) ถูกแทนที่ด้วยสารสกัดโปรตีนถั่วเหลือง (สีครีม) (Akesowan, 2008)

Table 1 Changes in color values (L^* , a^* , b^*) of pork sausage made of different pork meat

Treatment	L^*	a^*	b^*	ΔE
1. Fresh pork	53.64 $\pm$ 1.05 ^A	3.16 $\pm$ 0.10 ^C	10.41 $\pm$ 0.09 ^{CD}	-
2. 3-moth-storage frozen pork	49.93 $\pm$ 0.89 ^{BC}	3.59 $\pm$ 0.09 ^{BC}	10.39 $\pm$ 0.27 ^{CD}	3.73
3. Frozen pork+10% soy protein powder	49.08 $\pm$ 0.35 ^{BC}	3.74 $\pm$ 0.38 ^B	12.25 $\pm$ 0.41 ^B	4.95
4. Frozen pork+20% soy protein powder	46.86 $\pm$ 1.47 ^C	4.96 $\pm$ 0.45 ^A	16.98 $\pm$ 1.78 ^A	9.61
5. Frozen pork+10% isolated soy protein	48.70 $\pm$ 0.79 ^{BC}	3.48 $\pm$ 0.11 ^{BC}	11.78 $\pm$ 0.13 ^{BC}	5.13
6. Frozen pork+20% isolated soy protein	50.87 $\pm$ 1.14 ^{AB}	3.21 $\pm$ 0.04 ^C	10.34 $\pm$ 0.13 ^{CD}	2.77
7. Frozen pork+10% egg white powder	51.12 $\pm$ 1.79 ^{AB}	3.22 $\pm$ 0.16 ^{BC}	10.00 $\pm$ 0.24 ^D	2.55
8. Frozen pork+20% egg white powder	46.97 $\pm$ 2.71 ^C	2.54 $\pm$ 0.15 ^D	9.20 $\pm$ 0.37 ^D	6.81

Data are expressed as mean values $\pm$ SD. Values with different superscripts in the same column differ significantly at $P \leq 0.05$.

2. ลักษณะเนื้อสัมผัส

ผลการทดสอบคุณลักษณะเนื้อสัมผัสของของไส้กรอกหมูทั้ง 8 รูปแบบ แสดงดังตารางที่ 2 พบว่าเมื่อเปรียบเทียบกับไส้กรอกที่ผลิตจากหมูสดแล้วไส้กรอกที่ผลิตจากหมูแช่เยือกแข็งมีค่าความแข็ง (hardness) และดัชนีความต้านทานต่อการบดเคี้ยว (chewiness index) ลดลง เป็นผลมาจากน้ำแข็งที่เกิดขึ้นระหว่างกระบวนการแช่เยือกแข็งทำลายเซลล์

กล้ามเนื้อของเนื้อสุกรทำให้เนื้อนุ่มขึ้น (Teuteberg *et al.*, 2021) ส่งผลให้ไส้กรอกเนื้อสุกรแช่แข็งมีลักษณะนุ่มขึ้นเช่นกันแต่ค่าความยึดเกาะ (cohesiveness) และดัชนีความยืดหยุ่น (springiness index) ยังไม่มีการเปลี่ยนแปลงที่ชัดเจน ไส้กรอกยังมีความเหนียวและความสามารถในการคืนตัวอันเป็นผลมาจากน้ำและไขมันที่เพิ่มเติมในส่วนผสมไส้กรอกซึ่งช่วยรักษาคุณสมบัติทั้งสองไว้ได้ เมื่อพิจารณาผลของการ

ปรับปรุงคุณลักษณะเนื้อสัมผัสด้วยอิมัลซิไฟเออร์ทั้ง 3 ชนิดด้วยการแทนที่เนื้อสุกรแช่เยือกแข็ง 10-20% พบว่า อิมัลซิไฟเออร์ทุกชนิดมีผลต่อการเปลี่ยนแปลงความแข็ง ค่าความยืดเกาะ และดัชนีความต้านทานต่อการบดเคี้ยวของไส้กรอกตามชนิดของอิมัลซิไฟเออร์ โดยการเติมผงไข่ขาวส่งผลให้ไส้กรอกมีความแข็งมากกว่าการใช้อิมัลซิไฟเออร์ชนิดอื่น การใช้ผงไข่ขาว 10% ขึ้นไปในส่วนผสมทำให้ไส้กรอกมีเนื้อสัมผัสที่แข็งกว่าไส้กรอกเนื้อสุกรสดเกือบ 3 เท่าและเพิ่มดัชนีความต้านทานต่อการบดเคี้ยว แสดงถึงอาหารมีความแน่นแข็งต้องใช้แรงมากขึ้นในการบดเคี้ยวอาหารให้แตกออกจากกันเป็นชิ้นเล็ก แต่ใน

ขณะเดียวกันผงไข่ขาวกลับทำให้ค่าความยืดเกาะลดลงซึ่งบ่งบอกถึงไส้กรอกมีการเกาะติดกันน้อยหรือรู้สึกถึงความร่วนระหว่างการเคี้ยว การเติมผงไข่เหลือง 10% มีผลต่อการปรับปรุงความแข็งและดัชนีความต้านทานในการบดเคี้ยวแต่หากใช้มากเกินไปกว่า 10% ไส้กรอกจะมีเนื้อสัมผัสโดยรวมที่แย่งส่วนสารสกัดโปรตีนจากไข่เหลืองมีผลในการปรับปรุงความแข็งและความต้านทานในการบดเคี้ยวเมื่อใช้ 10% แต่หากใช้มากถึง 20% จะส่งผลลบต่อค่าความยืดเกาะเช่นเดียวกับการใช้ไข่ขาว ผลการวิเคราะห์ลักษณะเนื้อสัมผัสนี้จะนำไปอธิบายร่วมกับภาพถ่ายโครงสร้างจุลภาคของไส้กรอกดังภาพที่ 1

Table 2 Changes in texture properties of pork sausage made of different pork meat

Treatment	Texture properties			
	Hardness (N)	Cohesiveness	Springiness Index	Chewiness Index
1. Fresh pork	3.79±0.38 ^{CD}	0.72±0.02 ^{CD}	0.80±0.03 ^{BC}	2.19±0.29 ^{CD}
2. 3-month-storage frozen pork	2.91±0.70 ^{CD}	0.76±0.02 ^{AB}	0.81±0.04 ^B	1.79±0.47 ^{CD}
3. Frozen pork+10% soy protein powder	3.09±1.13 ^{CD}	0.74±0.03 ^{BC}	0.78±0.07 ^C	1.84±0.79 ^{CD}
4. Frozen pork+20% soy protein powder	1.33±0.14 ^D	0.70±0.03 ^D	0.72±0.05 ^D	0.68±0.11 ^D
5. Frozen pork+10% isolated soy protein	1.88±0.26 ^D	0.78±0.02 ^A	0.83±0.03 ^{AB}	1.22±0.19 ^{CD}
6. Frozen pork+20% isolated soy protein	5.08±0.60 ^C	0.57±0.03 ^F	0.82±0.03 ^{AB}	2.36±0.35 ^C
7. Frozen pork+10% egg white powder	10.52±1.05 ^B	0.56±0.05 ^F	0.81±0.03 ^B	4.82±0.72 ^B
8. Frozen pork+20% egg white powder	33.94±5.99 ^A	0.65±0.04 ^E	0.85±0.04 ^A	18.78±2.98 ^A

Data are expressed as mean values ±SD. Values with different superscripts in the same column differ significantly at $P \leq 0.05$.

3. โครงสร้างจุลภาค

จากภาพถ่ายจุลภาคของเนื้อไส้กรอกด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนชนิดส่องกราด (SEM) กำลังขยาย 1000 เท่า (ภาพที่ 1) พบว่าไส้กรอกที่ผลิตจากเนื้อสุกรสด (1A) มีลักษณะเนื้อที่มีการเกาะตัวกันของส่วนผสมร่วมกับโครงขนาดใหญ่กระจายอยู่ทั่วไป ส่วนไส้กรอกที่ผลิตจากเนื้อสุกรแช่เยือกแข็ง

เป็นเวลา 3 เดือน (1B) พบลักษณะเนื้อที่มีโครงขนาดเล็กและมีจำนวนโครงน้อยลงแสดงถึงความแน่นเนื้อที่เพิ่มขึ้นซึ่งสอดคล้องกับค่าความแข็งและดัชนีความต้านทานต่อการบดเคี้ยวที่สูงขึ้น การเพิ่มปริมาณอิมัลชันในส่วนผสมทำให้ลักษณะเนื้อไส้กรอกมีความละเอียดเรียบเนียนมากยิ่งขึ้น โดยที่ขนาดและปริมาณโครงอากาศน้อยลงเมื่อเติมผง

ถั่วเหลืองและผงไข่ขาวในปริมาณที่มากขึ้น (1C, 1D, 1G และ 1H) โดยเฉพาะไส้กรอกที่มีการเติมผงไข่ขาว 20% (1H) มีความเรียบเนียนมากที่สุดและไม่พบโพรงอากาศ และพบความสอดคล้องกับผลค่าความแข็งและดัชนีความต้านทานต่อการบดเคี้ยว ในกรณีของสารสกัดโปรตีนถั่วเหลืองลักษณะเนื้อไส้กรอกที่ได้คล้ายคลึงกับเนื้อสุกรแช่เยือกแข็ง (1B) เมื่อเติมที่ 10% แต่เมื่อเพิ่มปริมาณเป็น 20% ลักษณะเนื้อไส้กรอกจะมีความเรียบเนียนมากขึ้นและมีโพรงขนาดเล็กใหญ่กระจายเป็นปริมาณน้อยลง ชนิดและ

ปริมาณอิมัลซิไฟเออร์ที่ใช้นอกจากส่งผลต่อค่าคุณสมบัติเนื้อสัมผัสแล้วยังส่งผลต่อลักษณะเนื้อที่ปรากฏเช่นกัน การเพิ่มปริมาณอิมัลซิไฟเออร์มากเกินไปทำให้ลักษณะเนื้อแตกต่างไปจากเนื้อไส้กรอกหมูสดมากขึ้นและอาจส่งผลต่อรสชาติและกลิ่นของไส้กรอกในขณะรับประทาน มีการรายงานว่า การเติมโปรตีนถั่วเหลืองมากเกินไปจะทำให้ไส้กรอกแห้งแข็ง หรือเหนียวหนืด รวมถึงมีกลิ่นรสที่เฉพาะ และอาจทำให้เกิดกลิ่นที่ไม่พึงประสงค์ (Suwonsichon , 2007)

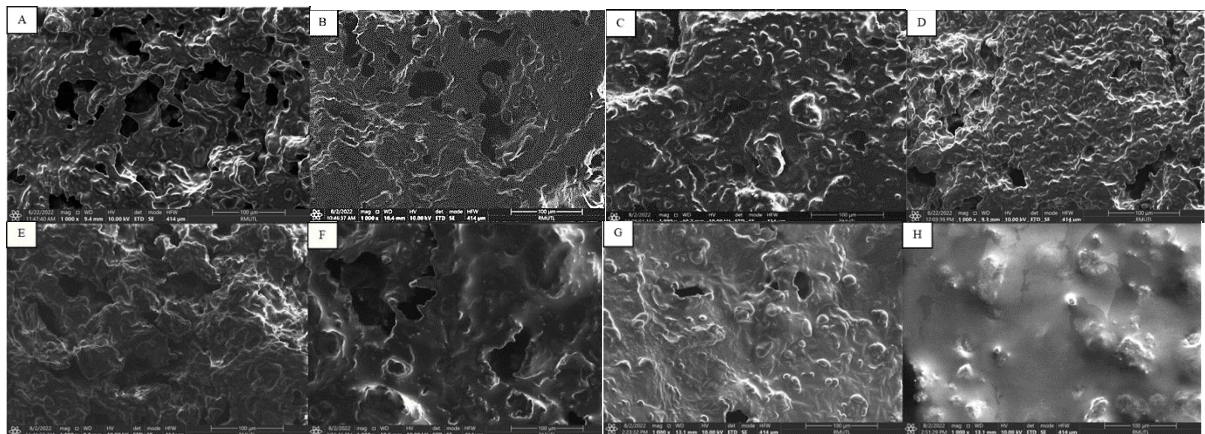


Figure 1 Microstructure of pork sausages at 1000x magnification; A: Fresh pork, B: 3-month-storage frozen pork and C-H: 3-month-storage frozen pork with 10% soy protein powder, 20% soy protein powder, 10% isolated soy protein, 20% isolated soy protein, 10% egg white powder and 20% egg white powder, respectively

4. คุณสมบัติทางด้านความคงตัวของอิมัลชันและการสูญเสียน้ำหนักขณะทำให้สุก

จากการเปรียบเทียบคุณสมบัติทางด้านความคงตัวของอิมัลชันและการสูญเสียน้ำหนักของไส้กรอกที่เตรียมจากเนื้อสุกรสด กับไส้กรอกที่เตรียมจากเนื้อสุกรแช่เยือกแข็ง 3 เดือน และไส้กรอกที่เตรียมจากเนื้อสุกรแช่เยือกแข็งและมีการเติมสารต่าง ๆ ลงในส่วนผสม ดังแสดงในตารางที่ 3 พบว่าการสูญเสียน้ำหนักขณะทำให้สุก (%Cooking loss) ของไส้กรอกทั้ง 8 รูปแบบ มีค่าอยู่ในช่วง 0.12-1.28% ซึ่ง

ไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ ($P>0.05$) สำหรับคุณสมบัติทางด้านความคงตัวของอิมัลชันของไส้กรอกทั้ง 8 รูปแบบ มีค่าแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P\leq 0.05$) พบว่า ไส้กรอกที่เตรียมจากหมูแช่เยือกแข็ง 3 เดือน (รูปแบบที่ 2) มีค่าปริมาณของเหลวทั้งหมดที่ปลดปล่อยออก (%TFR) เท่ากับ 10.78% ค่าปริมาณน้ำที่ปลดปล่อยออก (%WR) เท่ากับ 0.62% และค่าปริมาณไขมันที่ปลดปล่อยออก (%FR) เท่ากับ 10.15% สังเกตได้ว่าการทดแทนด้วยผงถั่วเหลือง 10% (รูปแบบที่ 3) และ

สารสกัดโปรตีนถั่วเหลือง 10 และ 20% ไม่สามารถปรับปรุงค่าความคงตัวของอิมัลชันได้ซึ่งเกิดจากปริมาณที่ใช้ยังไม่เหมาะสม ส่วนการทดแทนด้วยผงถั่วเหลือง 20% (รูปแบบที่ 4) มีผลทำให้ค่าความคงตัวของอิมัลชันที่ดีขึ้นคือมีปริมาณของเหลวทั้งหมดที่ปลดปล่อยออก (%TFR) ลดลง เท่ากับ 3.92% และค่าปริมาณไขมันที่ปลดปล่อยออก (%FR) ลดลงเท่ากับ 3.00% และการทดแทนด้วยผงไข่ขาว 10 และ 20% (รูปแบบที่ 7 และ 8) มีผลทำให้ค่าปริมาณของเหลวทั้งหมดที่ปลดปล่อยออก (%TFR) ลดลง เท่ากับ 4.59 และ 0.4% ตามลำดับ และค่าปริมาณไขมันที่ปลดปล่อยออก (%FR) ลดลงเท่ากับ 3.88 และ 0.22% ตามลำดับ สอดคล้องรายงานของ Phonpanawit *et*

al. (2021) ที่ทำการศึกษาปริมาณที่เหมาะสมของคาร์ราจีแนน และโปรตีนสกัดจากถั่วเหลือง ที่เติมลงในผลิตภัณฑ์ไส้กรอกไก่ลดไขมัน ซึ่งพบว่า การเติมคาร์ราจีแนน 1.7% และโปรตีนสกัดจากถั่วเหลือง 2.7% มีผลต่อการเพิ่มการยึดเกาะของผลิตภัณฑ์ไส้กรอกลดไขมัน การสารประเภทโปรตีนลงในส่วนผสมของผลิตภัณฑ์ไส้กรอก สารประเภทโปรตีนกลุ่มนี้จะช่วยทำหน้าที่เป็นอิมัลซิไฟเออร์ (emulsifier) ช่วยให้ส่วนของไขมันกระจายตัวในส่วนผสมที่เหลือโดยไม่แยกชั้นไขมันออกมา และยังมีผลทำให้ผลิตภัณฑ์ไส้กรอกมีความคงตัวมากขึ้น และมีเนื้อสัมผัสที่แน่นขึ้นด้วย (Lecomte *et al.*, 1993)

Table 3 Emulsion stability and cooking loss percentage of pork sausage made of different pork meat

Treatment	Emulsion stability			%Cooking loss ^{ns}
	%TFR	%WR	%FR	
1. Fresh pork	11.41±0.49 ^B	1.95±0.21 ^B	9.46±0.68 ^C	0.12±0.08
2. 3-month-storage frozen pork	10.78±0.91 ^B	0.62±0.35 ^{BC}	10.15±0.58 ^C	0.76±0.08
3. Frozen pork+10% soy protein powder	12.59±1.08 ^B	3.89±0.90 ^A	8.70±0.19 ^C	0.68±0.59
4. Frozen pork+20% soy protein powder	3.92±0.41 ^C	0.92±0.18 ^{BC}	3.00±0.46 ^D	0.65±0.39
5. Frozen pork+10% isolated soy protein	17.27±2.62 ^A	3.91±0.87 ^A	13.36±1.76 ^B	0.59±0.27
6. Frozen pork+20% isolated soy protein	17.97±0.57 ^A	1.79±0.40 ^B	16.18±0.30 ^A	1.17±0.14
7. Frozen pork+10% egg white powder	4.59±1.18 ^C	0.71±0.53 ^{BC}	3.88±0.65 ^D	1.28±0.49
8. Frozen pork+20% egg white powder	0.40±0.15 ^D	0.17±0.11 ^C	0.22±0.08 ^E	0.89±0.08

Data are expressed as mean values ±SD. Values with different superscripts in the same column differ significantly at $P \leq 0.05$.

5. ปริมาณโปรตีนและไขมัน

การวิเคราะห์โปรตีนของไส้กรอกทั้ง 8 รูปแบบ พบว่า ปริมาณโปรตีนของไส้กรอกอยู่ระหว่าง 13.35-21.35% และมีค่าแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P \leq 0.05$) (ตารางที่ 4) เมื่อเปรียบเทียบปริมาณโปรตีนของไส้กรอกที่เตรียมจากเนื้อสุกรสด (รูปแบบที่ 1) และไส้กรอกที่เตรียมจาก

เนื้อสุกรแช่เยือกแข็ง 3 เดือน (รูปแบบที่ 2) จะเห็นว่า มีปริมาณโปรตีนลดลงเพียงเล็กน้อยจาก 16.30% เหลือ 15.75% ตามลำดับซึ่งจากการวิเคราะห์ทางสถิติแล้วไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ส่วนการทดแทนเนื้อสุกรแช่เยือกแข็งด้วยผงถั่วเหลือง สารสกัดถั่วเหลือง และผงไข่ขาว ลงในไส้กรอก มีผลทำให้ปริมาณโปรตีนลดลงบ้างแต่ไม่มีการเปลี่ยนแปลง

อย่างมีนัยสำคัญเช่นกัน ยกเว้นกรณี การทดแทนด้วยผงถั่วเหลือง 20% และผงไข่ขาว 20% ทำให้ได้ไส้กรอกที่มีปริมาณโปรตีนมากขึ้นคือ 17.10% และ 21.35% ตามลำดับ และสำหรับปริมาณไขมันของไส้กรอก พบว่า ไส้กรอกที่เตรียมจากเนื้อสุกรสด (รูปแบบที่ 1) และไส้กรอกที่เตรียมจากเนื้อสุกรแช่เยือกแข็ง 3 เดือน (รูปแบบที่ 2) มีปริมาณไขมันลดลงจาก 20.13% เหลือ 13.02% ตามลำดับ ปริมาณไขมันที่ลดลงอย่างต่อเนื่องในเนื้อสุกรแช่เยือกแข็งเกิดจากการสลายของลิพิดในเนื้อสัตว์ ซึ่งเกิดขึ้นโดยเอนไซม์ลิเพสและฟอสโฟลิพิดของเนื้อสัตว์ (Hussein *et al.*, 2020) การเติมผงถั่วเหลือง สารสกัดถั่วเหลือง และผงไข่ขาว ทำให้ปริมาณโปรตีนในไส้กรอกมีค่าเพิ่มขึ้น เนื่องจากสารดังกล่าวจัดเป็นสารประเภทโปรตีน (Phonpannawit *et al.*, 2021)

6. ค่าความเป็นกรด-ด่าง

ค่าความเป็นกรด-ด่างของไส้กรอกทั้ง 8 รูปแบบ มีค่าอยู่ระหว่าง 5.67-6.65 โดยมีค่าแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P \leq 0.05$) ดังแสดงใน

ตารางที่ 4 ค่าความเป็นกรด-ด่างของไส้กรอกที่เตรียมจากเนื้อสุกรแช่เยือกแข็งมีค่าลดลงเมื่อเปรียบเทียบกับไส้กรอกที่ผลิตจากเนื้อสุกรสด โดยค่าความเป็นกรด-ด่างของไส้กรอกที่เตรียมจากเนื้อสุกรสด (รูปแบบที่ 1) และไส้กรอกที่เตรียมจากเนื้อสุกรแช่เยือกแข็งเป็นระยะเวลา 3 เดือน (รูปแบบที่ 2) มีค่าเท่ากับ 6.65 และ 5.72 ตามลำดับ ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยของ Wei *et al.* (2017) ที่รายงานว่าระยะเวลาการแช่เยือกแข็งมีผลต่อค่าความเป็นกรด-ด่างของเนื้ออกไก่ โดยพบว่า ค่าความเป็นกรด-ด่างของเนื้อไก่สดเท่ากับ 6.09 และเมื่อผ่านการแช่เยือกแข็งเป็นเวลา 1 เดือน ค่าความเป็นกรด-ด่างลดลงเหลือ 5.96 และมีแนวโน้มลดลงอย่างต่อเนื่องตลอดการแช่เยือกแข็ง โดยการแช่เยือกแข็งมักทำให้เกิดการสูญเสียของเหลว (drip loss) ที่ทำให้สูญเสียส่วนของเนื้อสัตว์แช่เยือกแข็ง การที่เนื้อสัตว์สูญเสียน้ำและของแข็งที่ละลายในน้ำนั้น เป็นสาเหตุให้ความเข้มข้นของตัวทำละลายเพิ่มขึ้น ส่งผลให้ค่าความเป็นกรด-ด่างในเนื้อสัตว์แช่เยือกแข็งลดลง (Wei *et al.*, 2017)

Table 4 Chemical properties of pork sausage made of different pork meat

Treatment	pH	%Moisture content	%Protein content	%Fat content
1. Fresh pork	6.65±0.02 ^A	60.46±0.18 ^A	16.30±0.14 ^B	20.13±0.43 ^A
2. 3-month-storage frozen pork	5.72±0.01 ^E	57.05±0.35 ^D	15.75±0.07 ^B	13.02±0.42 ^{CD}
3. Frozen pork+10% soy protein powder	5.67±0.02 ^E	57.59±1.07 ^{CD}	16.65±0.07 ^B	15.33±0.08 ^B
4. Frozen pork+20% soy protein powder	6.58±0.03 ^A	58.31±0.54 ^C	17.10±3.11 ^{AB}	11.25±0.90 ^D
5. Frozen pork+10% isolated soy protein	6.39±0.01 ^B	59.30±1.02 ^{AB}	14.95±0.07 ^B	14.05±0.40 ^{BC}
6. Frozen pork+20% isolated soy protein	5.90±0.01 ^D	59.76±0.65 ^A	14.35±0.07 ^B	19.78±0.11 ^A
7. Frozen pork+10% egg white powder	6.21±0.02 ^C	57.80±0.77 ^{CD}	13.35±0.05 ^B	21.78±0.59 ^A
8. Frozen pork+20% egg white powder	6.32±0.02 ^B	57.16±0.59 ^{CD}	21.35±0.05 ^A	15.34±0.57 ^B

Data are expressed as mean values±SD. Values with different superscripts in the same column differ significantly at $P \leq 0.05$.

7. ปริมาณความชื้น

ปริมาณความชื้นของไส้กรอกทั้ง 8 รูปแบบ มีค่าอยู่ระหว่าง 57.05-60.46% โดยมีค่าแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P \leq 0.05$) ดังแสดงในตารางที่ 4 จากการทดลองพบว่า การเติมสารสกัดถั่วเหลือง 10 และ 20% ลงในส่วนผสมของไส้กรอกที่เตรียมจากเนื้อสุกรแช่แข็งเป็นระยะเวลา 3 เดือน (รูปแบบที่ 5-6) มีผลทำให้ไส้กรอกที่ได้มีค่าความชื้นเพิ่มขึ้นโดยมีค่าเท่ากับ 59.30% และ 59.76% ตามลำดับ เมื่อเปรียบเทียบกับไส้กรอกที่เตรียมจากเนื้อสุกรแช่แข็งเป็นระยะเวลา 3 เดือน (รูปแบบที่ 2) ที่มีค่าปริมาณความชื้นเท่ากับ 57.05% ซึ่งสอดคล้องกับรายงานของ Lecomte *et al.* (1993) ที่ได้ทำการศึกษาผลของการเติมอิมัลชันไฟเออร์ลงในส่วนผสมของไส้กรอกฟริงเกอร์เตอร์ โดยมีการสาร 3 ชนิด ได้แก่ โปรตีน แป้งถั่วเหลือง โปรตีนถั่วเหลืองเข้มข้น และโปรตีนสกัดจากถั่วเหลือง พบว่า การเติมโปรตีนถั่วเหลืองทำให้ไส้กรอกฟริงเกอร์เตอร์ที่ได้ มีความชื้นเพิ่มขึ้น และการค่าความสามารถในการอุ้มน้ำเพิ่มขึ้น เมื่อเปรียบเทียบกับชุดควบคุมที่ไม่มีการเติมอิมัลชันไฟเออร์ดังกล่าว (Lecomte *et al.*, 1993) เมื่อเปรียบเทียบลักษณะทางกายภาพของสารทั้ง 3 ชนิดที่ใช้ในการเติม ได้แก่ ผงถั่วเหลือง สารสกัดถั่วเหลือง และผงไข่ขาว ซึ่งมีสารสกัดถั่วเหลืองชนิดเดียวที่เป็นของเหลว ในขณะที่ผงถั่วเหลืองและผงไข่ขาวเป็นของแข็ง จึงมีผลทำให้ความชื้นของไส้กรอกที่เติมด้วยสารสกัดถั่วเหลืองมีปริมาณความชื้นมากกว่าสารประเภทโปรตีนทำหน้าที่เป็นตัวดูดซับน้ำ โดยจะเกิดพันธะไฮโดรเจนกับโมเลกุลของน้ำทำให้น้ำถูกจับไว้ในโมเลกุลของโปรตีน มีความสามารถในการอุ้มน้ำได้ดี (Phonpannawit *et al.*, 2021)

สรุป

จากการศึกษาผลของการเติมอิมัลชันไฟเออร์เพื่อทดแทนเนื้อสุกรแช่เยือกแข็งในไส้กรอก พบว่าค่าสี L^* , a^* และ b^* อยู่ในช่วง 46.86-51.12, 2.54-4.96 และ 9.20-16.98 ตามลำดับ ($p < 0.05$) ปริมาณและชนิดของอิมัลชันไฟเออร์มีผลต่อค่าสีของไส้กรอกหมู ไส้กรอกที่มีการเติมผงถั่วเหลือง 20% มีค่าสี a^* หรือค่าสีแดง และค่าสี b^* หรือค่าความเป็นสีเหลืองมากที่สุด เนื้อสัมผัสของไส้กรอกที่ใช้ผงไข่ขาว 20% มีความแข็ง และค่าความต้านทานต่อการบดเคี้ยวที่สูงที่สุดโดยมีลักษณะเนื้อสัมผัสแข็งและแน่นกว่าอิมัลชันไฟเออร์ชนิดอื่นสอดคล้องกับภาพถ่ายจุลภาคเมื่อพิจารณาความชื้น และปริมาณไขมันของไส้กรอกอยู่ในช่วง 52.16-62.78% และ 11.25-21.78% ตามลำดับ ซึ่งค่าที่ได้มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ ($p < 0.05$) ปริมาณโปรตีนอยู่ในช่วง 13.35-21.35% โดยรวมมีค่าลดลงแต่ไม่มีการเปลี่ยนแปลงอย่างมีนัยสำคัญ ยกเว้นกรณี การทดแทนด้วยผงถั่วเหลือง 20% และผงไข่ขาว 20% ที่ทำให้โปรตีนมากขึ้นอย่างมีนัยสำคัญ คือ 17.10% และ 21.35% ตามลำดับ สำหรับความคงตัวของอิมัลชัน พบว่า ไส้กรอกที่มีการเติมผงไข่ขาว 20% มีค่า %TFR, %WR และ %FR ต่ำที่สุด การใช้อิมัลชันไฟเออร์มีผลต่อการเปลี่ยนแปลงคุณสมบัติของไส้กรอกที่ผลิตจากเนื้อสุกรแช่เยือกแข็งเป็นระยะเวลา 3 เดือนในระดับที่แตกต่างกัน จากภาพรวมพบว่าการใช้ผงถั่วเหลืองที่มากกว่า 10% สามารถปรับปรุงลักษณะเนื้อสัมผัสได้ ผงถั่วเหลืองและผงไข่ขาวมีผลต่อการปรับปรุงความเป็นอิมัลชันของส่วนผสมไส้กรอกเมื่อใช้ที่ปริมาณ 10% ขึ้นไป แต่ทั้งนี้ควรศึกษาเพิ่มเติมถึงปริมาณที่เหมาะสมและทดสอบทางด้านประสาทสัมผัสเพิ่มเติมเพื่อพิจารณารสชาติและกลิ่นของไส้กรอกที่เปลี่ยนไป

กิตติกรรมประกาศ

งานวิจัยนี้เป็นหนึ่งในผลงานจากโครงการวิจัย รหัสโครงการ 2301875 ซึ่งได้รับทุนงบประมาณด้านวิจัยและนวัตกรรม ประเภท Fundamental Fund ประจำปีงบประมาณ 2565 จากมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลล้านนา ภายใต้งบประมาณอุดหนุนโครงการวิจัย 2565 จากสำนักงานคณะกรรมการการวิทยาศาสตร์ วิจัย และ นวัตกรรม (สกว.)

เอกสารอ้างอิง

- Akesowan, A. 2008. Effect of soy protein isolate on quality of light pork sausages containing konjac flour. **African Journal of Biotechnology** 7(24): 4586-4590.
- AOAC. 2000. **Official Methods of Analysis of AOAC International**. 17th ed. AOAC International, Gaithersburg.
- Chen, L., Wang, P., Kang, Z.L., Li, K., Xie, C., Sun, J.X. and Xu, X.L. 2015. Effect of soybean oil emulsified and unemulsified with chicken plasma protein on the physicochemical properties of frankfurters. **CyTA – Journal of Food** 13(3): 445-455.
- Choi, M.J., Abduzukhurov, T., Park, D.H., Kim, E.J. and Hong, G.P. 2018. Effects of deep freezing temperature for long-term storage on quality characteristics and freshness of lamb meat. **Korean Journal for Food Science of Animal Resources** 38(5): 959-969.
- Cosenza, G.H., Williams, S.K., Johnson, D.D., Sims, C. and McGowan, C.H. 2003. Development and evaluation of a cabrito smoked sausage product. **Meat Science** 64: 119-124.
- Estévez, M. 2011. Protein carbonyls in meat systems: A review. **Meat Science** 89 (3): 259-279.
- Etheridge, R.D., Pesti, G.M. and Foster, E.H. 1998. A comparison of nitrogen values obtained utilizing the Kjeldahl nitrogen and Dumas combustion methodologies (Leco CNS 2000) on samples typical of an animal nutrition analytical laboratory. **Animal Feed Science and Technology** 73(1-2): 21-28.
- Hoogenkamp, H. 2011. Protein performance in emulsion stability. **Fleischwirtschaft International** 3: 54-59.
- Honikel, K. 1998. Reference Methods for the Assessment of Physical Characteristics of Meat. **Meat Science** 49: 447-457.
- Hussein, H.A., Salman, M.N. and Jawad, A.M. 2020. Effect of freezing on chemical composition and nutritional value in meat. **Drug Invention Today** 13(2): 329-333.
- Hughes, E., Cofrades, S. and Troy, D.J. 1997. Effect of fat level, oat fiber and carrageenan on frankfurters formulated with 5, 12 and 30 % fat. **Meat Science** 45(3): 273-281.
- Lecomte, N.B., Zayas, J.F. and Kastner, C.L. 1993. Soya Proteins Functional and Sensory Characteristics Improved in Cornminuted bleats. **Journal of Food Science** 58(3): 464-466.
- Lonergan, S.M., Topel, D.G. and Marple, D.N. 2019. Chapter 14 - Sausage processing and production, pp. 229-253. In Lonergan, S.M., Topel, D.G.

- and Marple, D.N., eds. **The Science of Animal Growth and Meat Technology**. Academic Press, Cambridge.
- López-López, I., Cofrades, S. and Jiménez-Colmenero, F. 2009. Low-fat frankfurters enriched with *n*-3 PUFA and edible seaweed: Effects of olive oil and chilled storage on physicochemical, sensory and microbial characteristics. **Meat Science** 83(1): 148-154.
- Lukin, A. 2020. Applicability of demineralized milk whey powder in cooked sausage production. **Songklanakarin Journal of Science and Technology** 42(2): 255-262.
- McGuire, R.G. 1992. Reporting of objective color measurement. **HortScience** 27(12): 1254-1255.
- Medic, H., Kusec, I.D., Pleadin, J., Kozacinski, L., Njari, B., Hengl, B. and Kusec, G. 2018. The impact of frozen storage duration on physical, chemical and microbiological properties of pork. **Meat Science** 140: 119-127.
- Muguerza, E., Fista, G., Ansorena, D., Astiasaran, I. and Bloukas, J.G. 2002. Effect of fat level and partial replacement of pork backfat with olive oil on processing and quality characteristics of fermented sausages. **Meat Science** 61(4): 397-404.
- Muguerza, E., Gimeno, O., Ansorena, D. and Astiasarán, I. 2004. New formulations for healthier dry fermented sausages: a review. **Trends in Food Science & Technology** 15(9): 452-457.
- Phonpannawit, A., Khueanphet, B. and Funcharoensak, K. 2021. Product development of reduced fat chicken emulsion-type sausage using carrageenan and soy protein isolate. **YRU Science and Technology Journal** 6(2): 126-136. (in Thai)
- Rattanapanone, N. 2014. **Food Chemistry**. Odeon store Press, Bangkok. (in Thai)
- Smith, D.M. 1988. Factors influencing texture formation in comminuted meats., pp 48-52. **In Proceedings-Annual Reciprocal Meat Conference of the American Meat Science Association**. Laramie, Wyoming.
- Suwonsichon, S. 2007. Use of tapioca starch in combination with Sodium caseinate, soy protein isolate, or carrageenan as fat replacers in low fat frankfurter. **The Science and Technology Journal** 15(2): 8-21. (in Thai)
- Summo, C., Caponio, F. and Pasqualone, A. 2006. Effect of vacuum-packaging storage on the quality level of ripened sausages. **Meat Science** 74(2): 249-254.
- Teuteberg, V., Kluth, I.K., Ploetz, M. and Krischek, C. 2021. Effects of duration and temperature of frozen storage on the quality and food safety characteristics of pork after thawing and after storage under modified atmosphere. **Meat Science** 174: 108419.
- Texture Technologies. 2023. **Overview of TPA**. Texture Technologies Corp. and Stable Micro Systems. Available Source: <https://texturetechnologies.com/resources/texture-profile-analysis#overview>, August 9, 2023.
- Wang, Q., Dong, Q., Wang, L. and Sun, D. 2023. Quality attributes of pork tenderloin frozen under different high voltage electric fields

with ultrahigh permittivity ceramic-enhanced electrodes. **LWT** 184: 114989.

Wei, R., Wang, P., Han, M., Chen, T., Xu, X. and Zhou, G. 2017. Effect of freezing on electrical properties and quality of thawed chicken breast meat. **Asian-Australasian Journal of Animal Sciences** 30(4): 569-575.

Yang, Z., Liu, S., Sun, Q, Zheng, O., Wei, S., Xia, Q., Ji, H., Deng, C., Hao, J. and Xu, J. 2022. Insight into muscle quality of golden pompano (*Trachinotus ovatus*) frozen with liquid nitrogen at different temperatures. **Food Chemistry** 374: 131737.