

Research Article

ผลของโปรตีนเนื้อไก่ที่มีต่อสมบัติของเจลซูริมิที่มีคุณภาพแตกต่าง

Effect of Chicken Meat Protein on Gel Properties of Different Surimi Quality

ดวงเดือน กุลวิลัย *

Daungdoen Kulwilai *

ภาควิชาผลิตภัณฑ์ประมง คณะประมง มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ เขตจตุจักร กรุงเทพมหานคร 10900

Department of Fishery Products, Faculty of Fisheries, Kasetsart University, Chatuchak, Bangkok 10900, Thailand.

ABSTRACT

Article history:

Received: 2023-09-13

Revised: 2024-01-06

Accepted: 2024-04-05

Keywords:

functional properties;

gelation;

mixed gel;

surimi and chicken mixed gel

Surimi is often used as a raw material for fish jelly products, which sometimes face raw material shortages or have low quality. The improvement of functional properties of medium quality (SM) and low quality (SL) surimi gels with breast chicken meat was investigated. The chicken gel preparation conditions were studied by comparing unwashed minced chicken (UW) and minced chicken rinsed 3 times (W) with ground chicken meat to ice water ratio (w/w) of 1:4. The mixtures were heated at 40 °C for 30 min, followed by 90 °C for 20 min (40/90), and at 60 °C for 30 min, followed by 90 °C for 20 min (60/90). Then, the mixtures of surimi and chicken meat at ratios (w/w) of 75:25 and 50:50, heated at 40/90 and 60/90 were compared with mixtures of chicken meat at 60/90 and surimi at 40/90. The 50:50 ratio and 60/90 °C treatment gave optimum gel properties, with breaking force, breaking distance, gel strength, springiness, cohesiveness and chewiness higher than those of 40/90. Breaking force, hardness and chewiness increased from surimi gel by 1.45, 2.14 and 1.92 times, respectively. Moreover, the mixed gel had higher gel strength, hardness, chewiness than those of the 75:25 ratio ($p \geq 0.05$). In contrast, the 50:50 ratio of SL and chicken gels at 60/90 and 40/90 showed no differences in gel properties ($p > 0.05$), while gel strength, springiness, cohesiveness, L^* , b^* , and whiteness were higher than those of the 75:25 ratio ($p \geq 0.05$). The breaking force, hardness, springiness, cohesiveness and chewiness of the 50:50 ratio increased from the surimi gel by 1.34, 1.71, 1.14, 1.71 and 3.31 times, respectively. Therefore, adding water-washed chicken to the surimi could greatly improve the texture of medium-quality surimi and slightly improve the texture of low-quality surimi.

© 2025 Kulwilai, D. Recent Science and Technology published by Rajamangala University of Technology Srivijaya

บทคัดย่อ

ซูริมิเป็นวัตถุดิบที่นิยมใช้กับผลิตภัณฑ์ที่มีการเกิดเจลจากปลา ซึ่งบางครั้งประสบปัญหาขาดแคลนวัตถุดิบ หรือมีคุณภาพต่ำ จึงได้ศึกษาเพื่อปรับปรุงสมบัติเชิงหน้าที่ของเจลซูริมิคุณภาพปานกลาง (SM) และต่ำ (SL) ด้วยเนื้อไก่ส่วนนอก โดยศึกษาการเตรียมเนื้อไก่ที่ไม่ล้างน้ำ (UW) และ ล้างน้ำ 3 ครั้ง (W) สัดส่วนเนื้อไก่ต่อน้ำเย็นเป็น 1:4 (w/w) แล้วให้ความร้อนที่อุณหภูมิ 40 °C นาน 30 นาที ตามด้วย 90 °C นาน 20 นาที (40/90) และ 60 °C นาน 30 นาที ตามด้วย 90 °C นาน 20 นาที (60/90) และศึกษาสมบัติของเจลผสมที่มีสัดส่วนซูริมิต่อเนื้อไก่ล้าง 75:25 และ 50:50 (w/w) ให้ความร้อนที่ 40/90 และ 60/90

* Corresponding author.

E-mail address: ffisdak@ku.ac.th

Cite this article as:

Kulwilai, D. 2025. Effect of Chicken Meat Protein on Gel Properties of Different Surimi Quality *Recent Science and Technology* 17(1): 260393.

เปรียบเทียบกับเนื้อไก่ที่ 60/90 และซูริมิที่ 40/90 ผลการทดลองพบว่าเจลผสมซูริมิ SM และไก่สัดส่วน 50:50 ให้ความร้อน 60/90 ให้คุณสมบัติของเจลที่เหมาะสม มีค่า breaking force, breaking distance, gel strength, springiness, cohesiveness และ chewiness สูงกว่า 40/90 โดย breaking force, hardness และ chewiness เพิ่มขึ้นจากเจลซูริมิเป็น 1.45, 2.14 และ 1.92 เท่า ตามลำดับ และเจลผสมมีค่า gel strength, hardness, chewiness สูงกว่าที่ 75:25 ($p \geq 0.05$) ขณะที่เจลผสมซูริมิ SL และไก่สัดส่วน 50:50 ให้ความร้อน 60/90 และ 40/90 มีคุณสมบัติของเจลไม่แตกต่างกัน ($p > 0.05$) และมีค่า gel strength, springiness, cohesiveness, L^* , b^* และความขาว สูงกว่า ที่ 75:25 ($p \geq 0.05$) โดย breaking force, hardness, springiness, cohesiveness และ chewiness (50:50) เพิ่มขึ้นจากเจลซูริมิเป็น 1.34, 1.71, 1.14, 1.71 และ 3.31 เท่า ตามลำดับ แสดงว่า การผสมเนื้อไก่ล้างน้ำในซูริมิสามารถปรับปรุงเนื้อสัมผัสของซูริมิคุณภาพปานกลางได้ดี และซูริมิคุณภาพต่ำได้เล็กน้อย

คำสำคัญ: การเกิดเจล, สมบัติเชิงหน้าที่, เจลผสม, เจลผสมซูริมิและเนื้อไก่

1. บทนำ

ซูริมิ (Surimi) หรือเนื้อปลาสดที่แยกก้างออก แล้วล้างด้วยน้ำ ใช้เป็นวัตถุดิบสำหรับแปรรูปเป็นผลิตภัณฑ์ต่าง ๆ โดยเฉพาะผลิตภัณฑ์ที่เกิดเจล (Gelation) มีลักษณะยืดหยุ่น เช่น ลูกชิ้นปลา เต้าหู้ปลา คามาโบโกะ ปูอัด ซึ่งให้ความสะดวก และนำไปแปรรูปเป็นผลิตภัณฑ์เพิ่มมูลค่าพร้อมบริโภคได้อีกด้วย การล้างเนื้อปลาล้างด้วยน้ำเป็นขั้นตอนหนึ่งในกระบวนการผลิตเจลโปรตีน เพื่อกำจัดองค์ประกอบที่ไม่ต้องการออกไป เช่น เลือด ไขมัน กลิ่นคาว เอนไซม์ต่าง ๆ รวมทั้ง เอนไซม์โปรตีนเอสในกล้ามเนื้อ ส่งผลให้เนื้อปลามีสีขาวขึ้น และยังกำจัดโปรตีนซาร์โคพลาสซึมซึ่งมีผลยับยั้งความสามารถในการเกิดเจล (Suzuki, 1981) ส่งผลให้โปรตีนไมโอไฟบริลล์มีปริมาณสูงขึ้น จึงทำให้เจลมีความแข็งแรง และยืดหยุ่น

การเกิดเจลเป็นการเปลี่ยนแปลงของโปรตีนเมื่อได้รับความร้อน โดยเมื่อสับผสมกล้ามเนื้อโปรตีนกับเกลือ แล้วเกลือไปละลายโปรตีนไมโอไฟบริลล์ เกิดเป็นแอคโตไมโอซินโซล (Actomyosin sol) ซึ่งมีลักษณะหนืด เมื่อนำโซลไปผ่านความร้อน แอคโตไมโอซินเริ่มคลายตัวส่งผลให้บริเวณผิวหน้าของโมเลกุลโปรตีนมีความว่องไวต่อการเกิดปฏิกิริยา ก่อให้เกิดพันธะระหว่างโมเลกุลของโปรตีนกับโปรตีนที่อยู่ข้างเคียง เกิดเป็นโครงสร้างร่างแห 3 มิติที่สามารถจับน้ำหรือสารอื่นที่มีน้ำหนักโมเลกุลต่ำไว้ภายใน ทำให้โซลแปรสภาพเป็นเจลที่เหนียว (Suzuki, 1981) และอุณหภูมิในการเกิดเจล มีส่วนสำคัญในการสร้างความแข็งแรงของเจล ซึ่งแตกต่างกันไปตามชนิดและองค์ประกอบของเส้นใยกล้ามเนื้อ การเปลี่ยนแปลงของเส้นใยกล้ามเนื้อแบ่งออกเป็น 3 ช่วง คือ 1) ซูวารี (Suwari) หรือการเซ็ตตัวของเจล (Gel setting) เกิดที่ช่วงอุณหภูมิ 3-30 °C 2) โมโดริ (Modori) หรือการแตกตัว (Disintegration) เกิดที่ช่วงอุณหภูมิ 60-70 °C และ 3) อาชิ (Ashi) หรือการตรึงความยืดหยุ่น (Elasticity fixation) เกิดที่ช่วงอุณหภูมิ 80-90 °C (Suzuki, 1981)

โดยทั่วไปการทำให้เกิดเจลของปลามักให้ความร้อน 2 ขั้นตอน (Two-step heating process) กับโซล เพื่อส่งเสริมความแข็งแรงของเจล โดยในขั้นตอนแรก การเซ็ตตัวเพื่อสร้างร่างแหโปรตีนอย่างต่อเนื่อง มีระเบียบ จากนั้นให้ความร้อนที่อุณหภูมิสูงขึ้นประมาณ 90 °C เพื่อให้โปรตีนเกิดเจลสมบูรณ์ เจลมีความคงรูปและชุ่ม (Fukushima *et al.*, 2007) การปรับปรุงคุณภาพของซูริมิทำได้หลายวิธี เช่น การใส่สารเติมแต่ง การใช้โปรตีนจากแหล่งอื่นมาผสม ซึ่งหนึ่งในนั้นมีการนำเนื้อไก่มาผสม เนื่องจาก เนื้อไก่มีสีอ่อน มีไขมัน และคอเลสเตอรอลต่ำกว่าเนื้อสุกรและเนื้อโค ช่วยลดโอกาสในการเกิดกลิ่นหืน นอกจากนี้ เนื้อไก่ยังเป็นสารเติมแต่งโปรตีนที่อุดมไปด้วยกล้ามเนื้อโปรตีนไมโอไฟบริลล์ สามารถเติมลงไปนซูริมิเพื่อปรับปรุงคุณภาพ และรสชาติของผลิตภัณฑ์ซูริมิ เช่น ปรับปรุงความแข็งแรงของเจล และคุณภาพเนื้อสัมผัสของเจลซูริมิปลาเตอร์เจียนแบบไม่ล้างได้ (Wang *et al.*, 2019) จากการศึกษาของ Gui *et al.* (2018) ซึ่งศึกษาอุณหภูมิการเซ็ตตัวของเจลจากช่วง 30-50 °C ของเนื้อไก่ล้างผสมเนื้อปลาเกล็ดเงิน พบว่าอุณหภูมิการเซ็ตตัวที่เหมาะสมของเนื้อปลา เนื้อปลาผสมเนื้อไก่ (1:1) และ เนื้อไก่ คือ 40, 45 และ 50 °C ตามลำดับ นอกจากนี้ Smyth and O'Neill (1997) ได้ศึกษาเจลของเนื้อไก่ที่แยกออกมาจากเนื้อติดกระดูก และผ่านการล้างตามเทคนิคของการเตรียมซูริมิ เมื่อตรวจสอบด้วย Compression rheology พบว่าค่าความแข็งแรงเจลประเมินได้เมื่อให้ความร้อนที่ 60 °C เป็นต้นไป ในขณะที่แอคโตไมโอซินของปลาทรายแดงเกิดเป็นเจลที่อุณหภูมิสูงกว่า 41 °C (Yongsawatdigul and Park, 2003) การศึกษาของ Kongpun (1999) ซึ่งศึกษาสมบัติการเกิดเจลของปลาปากคม (*Saurida undosquamis* และ *Saurida elongate*) และปลานิล (*Oreochromis niloticus*) พบว่าค่าความแข็งแรงเจลสูงสุดเมื่อล้างเนื้อปลาล้าง และให้ความร้อนที่ 30 และ 40 °C นาน 2 ชั่วโมง ก่อนนำไปให้ความร้อนที่ 90 °C นาน 20 นาที ในขณะที่ค่าความแข็งแรงเจลลดลงอย่างเห็นได้ชัดที่ 60 และ 70 °C เนื่องจากเกิดการเสื่อมสลายของไมโอซินสายหนัก (Myosin heavy chain) โดย

เกิดจาก ปัจจัยที่ทำให้เกิดการเสื่อมสลายโปรตีนที่ละลายในเกลือ (Salt soluble proteolytic degrading factor)

โรงงานผลิตซูรีมีบางครั้งอาจประสบปัญหาเกี่ยวกับวัตถุดิบที่ขาดแคลน และมีคุณภาพต่ำส่งผลให้ซูรีมีมีคุณสมบัติเชิงหน้าที่ต่ำ ผู้วิจัยจึงมีความสนใจที่จะปรับปรุงคุณภาพของเจลซูรีมีเกรดต่าง ๆ ด้วยโปรตีนที่มีศักยภาพคือ เนื้อไก่ โดยการหาสภาวะการเตรียมเจลไก่ที่เหมาะสมทั้งสภาวะการล้าง และการให้ความร้อน จากนั้นนำผลการทดลองมาใช้ในการศึกษาอิทธิพลของสัดส่วนของโปรตีนผสม และสภาวะการเกิดเจล เปรียบเทียบระหว่างซูรีมีเนื้อไก่ และสัดส่วนของโปรตีนผสมทั้งสองแหล่ง โดยศึกษาทั้งซูรีมีที่มีคุณภาพปานกลาง และคุณภาพต่ำ

2. วิธีดำเนินการวิจัย

2.1 วัตถุดิบ และการเตรียม

นำเนื้อไก่ส่วนนอกแช่เย็นซึ่งซื้อจากร้านค้าไม่เกิน 1 วัน มาเลาะหนังออก บดด้วยเครื่องบด (grinder) ที่มีขนาดรูเปิด 5 มิลลิเมตร แบ่งเนื้อไก่บดเป็นสองส่วน คือ เนื้อไก่ไม่ล้าง (UW) และเนื้อไก่ล้าง (W) โดยนำส่วนหนึ่งมาล้างน้ำเย็น (0-4 °C) ทั้งหมด 3 ครั้ง โดยครั้งที่ 1 และ 2 ล้างด้วยน้ำเย็นผสมน้ำแข็ง ส่วนการล้างครั้งที่ 3 ล้างด้วยน้ำเกลือเข้มข้นร้อยละ 0.3 (w/v) อัตราส่วนเนื้อไก่ต่อน้ำล้างเท่ากับ 1:4 (w/w) ขณะล้างกวนด้วยพายนาน 5 นาที ตั้งทิ้งไว้ 10 นาที ตักไขมันที่ลอยบนผิวหน้าออก จากนั้นแยกเนื้อไก่ออกจากน้ำล้างโดยกรองผ่านผ้าขาวบางสองชั้นแล้วบีบน้ำออก และเหวี่ยงแยกน้ำ สุ่มเนื้อไก่ที่ผ่านการล้างมาวิเคราะห์ปริมาณความชื้น

ซูรีมีแช่เยือกแข็งคุณภาพปานกลางได้จากบริษัท สมายธ์อาร์ท ฟู้ดส์ จำกัด (มีส่วนผสมของเนื้อปลาทรายแดง, ไข่ขาว, โซเดียมไตรโพลีฟอสเฟต และ น้ำตาลทราย ร้อยละ 93.5, 0.2, 0.3 และ 6.0 ตามลำดับ) และซูรีมีแช่เยือกแข็งคุณภาพต่ำได้จากบริษัทพีริเมียร์แคนนิ่งอินดัสตรี จำกัด (มีส่วนผสมของ เนื้อปลาปากคม, ไข่ขาว, โซเดียมไตรโพลีฟอสเฟต, เติตระโซเดียมพอลิฟอสเฟต และ น้ำตาลทราย ร้อยละ 93.5, 0.2, 0.2, 0.2 และ 6.0 ตามลำดับ) ขนส่งในกล่องโฟมมายังห้องปฏิบัติการ และ

เก็บรักษาในห้องแช่แข็งที่อุณหภูมิ -20°C เพื่อใช้ในการศึกษาต่อไปภายใน 8 เดือน

2.2 การเตรียมเจล

2.2.1 การเตรียมเจลไก่

สับผสมเนื้อไก่กับเกลือป่นร้อยละ 3 ของน้ำหนักด้วยเครื่องสับผสม (Stephan vertical cutter/mixer) ปรับความชื้นให้เท่ากับร้อยละ 80 ด้วยน้ำเย็นผสมน้ำแข็ง สับผสมรวม 8 นาที ควบคุมอุณหภูมิให้ต่ำกว่า 10 °C จากนั้นบรรจุส่วนผสมที่ได้ในกระบอกสเตนเลสขนาด 25x25 มิลลิเมตร อัดให้แน่นไม่ให้เกิดฟองอากาศ แล้วห่อด้วยฟิล์มพลาสติก มัดหัวท้าย ต้มในอ่างน้ำร้อนควบคุมอุณหภูมิ เปรียบเทียบการให้ความร้อน 2 สภาวะ คือ 1) ให้ความร้อน 2 ครั้ง ที่อุณหภูมิ 40 °C 30 นาที ตามด้วยอุณหภูมิ 90 °C 20 นาที (40/90) 2) ให้ความร้อน 2 ครั้ง ที่อุณหภูมิ 60 °C 30 นาที ตามด้วยอุณหภูมิ 90 °C 20 นาที (60/90) จากนั้นแช่น้ำเย็นผสมน้ำแข็ง 20 นาที นำเจลไปเก็บไว้ที่อุณหภูมิ 4 °C เป็นเวลา 18-24 ชั่วโมง ก่อนนำไปวิเคราะห์คุณภาพ นำตัวอย่าง เจลไก่ ออกจากแท่งทรงกระบอกวางไว้ที่อุณหภูมิห้อง เป็นเวลา 1 ชั่วโมง

2.2.2 การเตรียมเจลซูรีมี

นำซูรีมีแช่เยือกแข็งมาทำให้ نرم โดยวางไว้ที่อุณหภูมิ 4 °C 1 คืน วิเคราะห์หาความชื้น และเตรียมเจลเช่นเดียวกับข้อ 2.1 โดยต้มในอ่างน้ำร้อนควบคุมอุณหภูมิ ให้ความร้อน 2 ครั้ง ที่สภาวะ 40/90

2.2.3 การเตรียมเจลซูรีมีผสมเนื้อไก่ล้าง

นำซูรีมีแช่เยือกแข็ง และเนื้อไก่ล้างมาเตรียมเจลผสมตามวิธีการในข้อ 2.1 แปรสัดส่วนของซูรีมีและเนื้อไก่ล้างเป็นร้อยละ 100:0, 75:25, 50:50 และ 0:100 โดยน้ำหนัก ต้มในอ่างน้ำร้อนควบคุมอุณหภูมิโดยเปรียบเทียบการให้ความร้อน 3 สภาวะ คือ 1) สัดส่วน 100:0 (ซูรีมีล้วน) ให้ความร้อนที่ 40/90 2) สัดส่วน 75:25, 50:50 (ซูรีมีผสมเนื้อไก่) ให้ความร้อน 2 แบบ คือที่ 40/90 และ ที่ 60/90 3) สัดส่วน 0:100 (เนื้อไก่ล้วน) ให้ความร้อนที่ 60/90 โดยตัวอย่างควบคุม ได้แก่ สภาวะที่ 1 (ซูรีมีล้วน) โดยแผนภาพการทดลองแสดงดัง Figure 1

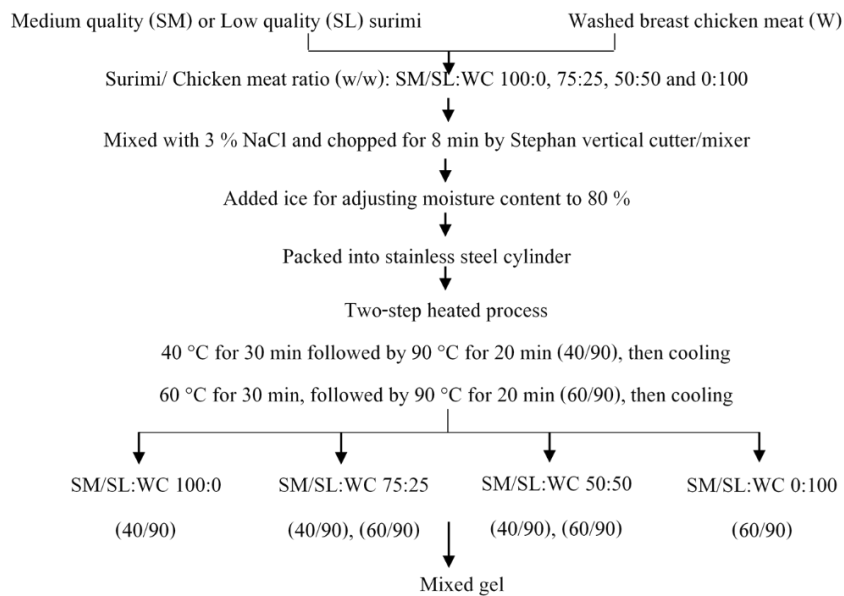


Figure 1 Processing flow chart of chicken gel and mixed surimi gels study

2.3 การวัดค่าความแข็งแรงของเจล

นำตัวอย่างเจลขนาด 25x25 มิลลิเมตร มาวัดค่าความแข็งแรงของเจล (gel strength; GS) ด้วยเครื่อง Texture Analyser Stable Micro System (รุ่น TA-XT Plus, สหราชอาณาจักร) ใช้หัววัดแบบ Spherical p5s ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 5 มิลลิเมตร กดลงไปในตัวอย่างด้วยความเร็วคงที่ 1.1 มิลลิเมตร/วินาที เป็นระยะทาง 15 มิลลิเมตร วัดค่าของแรงที่ใช้ในการเจาะทะลุ (Breaking force; BF) (กรัม) และระยะทางที่หัววัดกดก่อนทะลุ (Breaking distance; BD) (เซนติเมตร) แล้วนำค่าทั้งสองมาคูณกัน เพื่อคำนวณค่าความแข็งแรงของเจล (กรัม.เซนติเมตร) แต่ละคุณสมบัติที่วัดคำนวณค่าเฉลี่ยจากการวัด 4 ซ้ำ ดัดแปลงจาก MFRD (Marine Fisheries Research Development) (Tan *et al.*, 1987)

2.4 การวิเคราะห์ Texture profile analysis (TPA)

วิเคราะห์ Texture profile analysis; TPA) ของตัวอย่างเจลด้วยเครื่อง Texture Analyser Stable Micro System (รุ่น TA-XT Plus, สหราชอาณาจักร) โดยใช้หัววัดทรงกระบอกที่มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 50 มิลลิเมตร กดไปในตัวอย่างขนาด 25x25 มิลลิเมตร เป็นระยะทางร้อยละ 60 ของความสูงในรูปแบบของการกดสองครั้ง (two bite) ด้วยความเร็วคงที่ 2 มิลลิเมตร/วินาที วัดค่าความแข็ง (Hardness) (นิวตัน) ความยืดหยุ่น

(Springiness) ค่าการเกาะตัว (Cohesiveness) และค่าความเคี้ยวได้หรือค่าความต้านทานความเคี้ยวของอาหาร (Chewiness) คำนวณค่าเฉลี่ยจาก 4 ซ้ำ

2.5 การวัดค่าสีด้วยระบบ CIE (L^* , a^* , b^*) และค่าความขาว

นำเจล (ทรงกระบอกขนาด 25x25 มิลลิเมตร) มาตัดเป็นชิ้นหนาขนาด 5 มิลลิเมตร แล้วนำไปวางให้ปิดช่องแสง วัดสีในระบบ CIE (L^* , a^* , b^*) ด้วยเครื่องวัดสีแบบตั้งโต๊ะสเปคโตรโฟโตมิเตอร์ Hunter Lab (รุ่น Ultra-Scan VIS, สหรัฐอเมริกา) โดย L^* แสดงค่า ความสว่าง มีค่าระหว่าง 0-100 หรือสีดำถึงขาว a^* แสดงค่า (+) สีแดง หรือ (-) สีเขียว b^* แสดงค่า (+) สีเหลือง หรือ (-) สีน้ำเงิน จากค่า L^* , a^* , b^* นำไปคำนวณค่าความขาวตามสูตรของ Lanier (1992) แต่ละการวัดคำนวณค่าเฉลี่ยจาก 6 ซ้ำ

$$\text{Whiteness} = 100 - [(100 - L^*)^2 + a^{*2} + b^{*2}]^{0.5}$$

2.6 การวัดค่าความสามารถในการอุ้มน้ำ

เจลมาตัดให้มีขนาด 15x15x0.5 ลูกบาศก์ มิลลิเมตร วัดค่าความสามารถในการอุ้มน้ำ (Water holding capacity; WHC) โดยนำเจลวางระหว่างกระดาษกรองชั้นบน 2 แผ่น ชั้นล่าง 3 แผ่น กดด้วยแรงคงที่ 10 กิโลกรัม/เซนติเมตร² นาน 120 วินาที ซึ่งน้ำหนักตัวอย่างก่อนกด (W_1) และตัวอย่างหลังกด (W_2) วัดร้อยละปริมาณความชื้นของตัวอย่าง (M) คำนวณร้อยละของน้ำที่คงอยู่ในตัวอย่าง

ภายหลังการกด ตามสูตรที่ดัดแปลงจาก Motohiro (1981) คำนวณค่าเฉลี่ยจาก 3 ซ้ำ

$$WHC (\%) = \frac{(W_1 \times M) - (W_1 - W_2) \times 100}{(W_1 \times M)}$$

2.7 การวัดการพับ

นำเจลมาตัดเป็นชิ้นหนาขนาด 5 มิลลิเมตร แล้วนำไปทดสอบการพับ (Folding test) โดยนำตัวอย่างมาพับเป็นสองส่วน ถ้าไม่มีรอยแตกให้พับต่อเป็นสี่ส่วนแล้วให้คุณภาพตามเกณฑ์กำหนดตาม MFRD (Marine Fisheries Research Development) (Tan *et al.*, 1987) ดังนี้ AA; ไม่แตกเมื่อพับสี่ส่วน, A; แตกเล็กน้อยเมื่อพับสี่ส่วน, B; แตกเล็กน้อยเมื่อพับครึ่ง, C; แตก (แต่สองชิ้นยังติดกัน) เมื่อพับครึ่ง, D; แตกขาดออกจากกันเมื่อพับครึ่ง ทำ 5 ซ้ำ แล้วเลือกระดับคุณภาพตามจำนวนซ้ำที่มากที่สุด

2.8 การวิเคราะห์โครงสร้างระดับจุลภาค

นำตัวอย่างเจลของซูรีมิทั้งคุณภาพปานกลาง (SM) และคุณภาพต่ำ (SL) เจลเนื้อไก่ล้าง (WC) และ เจลผสมระหว่างซูรีมิ และเนื้อไก่ล้างที่สัดส่วน 50:50 มาวิเคราะห์โครงสร้างระดับจุลภาคโดยใช้ Scanning electron microscope (SEM) นำเจลมาตัดให้มีขนาด 5x5x5 มิลลิเมตร ทำแห้งด้วยเครื่องทำแห้งแบบแช่เยือกแข็ง (Freeze dryer) นำตัวอย่างแห้งไปเคลือบด้วยแพลทตินัม ก่อนนำไปวิเคราะห์ SEM แบบ Field emission SEM ด้วยเครื่อง Hitachi (รุ่น SU8020, ญี่ปุ่น) ด้วยความต่างศักย์เร่งที่ 5.0 kV

2.9 การวิเคราะห์สถิติ

การศึกษาการล้างเนื้อไก่และอุณหภูมิที่เหมาะสมของการเกิดเจลของเนื้อไก่จัดแผนการทดลองแบบ Factorial 2x2 (สภาวะการล้าง x สภาวะการให้ความร้อน) in RCBD ทำการทดลอง 2 ซ้ำ (แต่ละซ้ำใช้เนื้อไก่จาก lot ที่แตกต่างกัน) นำค่าเฉลี่ยของแต่ละซ้ำมาวิเคราะห์ความแปรปรวน ANOVA ที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 และวิเคราะห์ความแตกต่างของค่าเฉลี่ยด้วยวิธี Duncan's new multiple range test ($\alpha = 0.05$)

การศึกษาสัดส่วนของซูรีมิผสมเนื้อไก่ วางแผนการทดลองแบบ RCBD ทำการทดลอง 2 ซ้ำ นำค่าเฉลี่ยของแต่ละซ้ำวิเคราะห์ความแปรปรวน ANOVA ที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 และวิเคราะห์ความแตกต่าง

ของค่าเฉลี่ยด้วยวิธี Duncan's new multiple range test ($\alpha = 0.05$)

3. ผลการวิจัยและวิจารณ์ผล

3.1 ผลการศึกษาการล้างเนื้อไก่ และอุณหภูมิที่เหมาะสมของการเกิดเจลของเนื้อไก่

จากการศึกษาเบื้องต้น พบว่า สภาวะการให้ความร้อนที่เหมาะสมของซูรีมิทั้งคุณภาพปานกลาง และคุณภาพต่ำคือที่ 40/90 โดยการณีของซูรีมิคุณภาพปานกลาง มีคุณสมบัติทางเนื้อสัมผัส และความสามารถในการอุ้มน้ำสูงกว่าที่สภาวะอื่น ๆ (ข้อมูลไม่ได้นำเสนอ) และซูรีมิคุณภาพต่ำ มีคุณสมบัติทางเนื้อสัมผัสของ TPA สูงไม่แตกต่างจากที่อุณหภูมิ 90 (ข้อมูลไม่ได้นำเสนอ) ดังนั้นจึงได้ศึกษาสภาวะการให้ความร้อนของเจลไก่นอกจากที่ 60/90 คือ ที่ 40/90 ด้วย เพื่อเป็นแนวทางในการกำหนดสภาวะการให้ความร้อนของเจลผสมต่อไป

ผลของค่า Probability value (p-value) (Table 1) แสดงว่า สภาวะการล้างและสภาวะการให้ความร้อนไม่มีปฏิสัมพันธ์ (Interaction) ทางสถิติต่อทุกคุณสมบัติ ยกเว้นค่า b^* (ค่าสีเหลือง) กรณีคุณสมบัติทางเนื้อสัมผัส สภาวะการล้างไม่มีผลต่อค่าแรงเจาะทะลุ (BF) ขณะที่สภาวะการให้ความร้อนมีผลต่อค่า BF ($p \geq 0.05$) โดยเจลไก่ทั้งที่ W และ UW ที่ 60/90 มีค่า BF (283.44 g) สูงกว่าที่ 40/90 (211.23 g) (Table 2) สภาวะการล้าง และสภาวะการให้ความร้อนมีผลต่อค่าระยะทางที่เจาะทะลุ (BD) และค่าความแข็งแรงของเจล (GS) โดยเจลไก่ UW มีค่า BD, GS (0.64 cm, 160.32 g.cm) สูงกว่า BD, GS ของเจลไก่ W (0.54 cm, 137.54 g.cm) ส่วนเจลที่ 60/90 มีค่า BD, GS (0.63 cm, 179.73 g.cm) สูงกว่าที่ 40/90 (0.54 cm, 118.13 g.cm) ส่วนผลการวิเคราะห์ TPA ที่สภาวะการล้าง และสภาวะการให้ความร้อนไม่มีอิทธิพลต่อค่า Hardness, Springiness และ Cohesiveness แต่การให้ความร้อนที่ 60/90 ทำให้ค่า Chewiness (25.36) สูงกว่าที่ 40/90 (15.84) ขณะที่การล้างไม่มีผลต่อค่า Chewiness โดยค่า Hardness, Springiness, Cohesiveness มีค่าอยู่ในช่วง 32.03-53.10 N, 0.88-0.90, 0.55-0.66 ตามลำดับ

สภาวะการล้างมีผลต่อความสามารถในการอุ้มน้ำ (WHC) โดยเจลไก่ที่ W มีค่า WHC (99.87%) สูงกว่าที่ UW (99.73 %) ($p \geq 0.05$) ขณะที่สภาวะการให้ความร้อนไม่มีอิทธิพลต่อ WHC ผลการทดสอบการพับพบว่า เจลของ UW และ W มีค่าการพับไม่แตกต่างกันที่สภาวะอุณหภูมิเดียวกัน โดยเจลเมื่อให้ความร้อนที่ 60/90 มีคุณภาพการ

พักระดับ A คือแตกเล็กน้อยเมื่อพับสี่ส่วน ดีกว่าที่ 40/90 ซึ่งอยู่ในระดับ C คือแตกเมื่อพับครึ่ง แต่สองชั้นยังติดกัน

สภาวะการล้างมีผลต่อค่าสี L^* (ความสว่าง) และค่า a^* (ค่าลบ คือค่าสีเขียว) โดยเจลไก่ UW มีค่า L^* (74.49) สูงกว่า W (70.45) เล็กน้อย และมีค่า a^* (-0.63) น้อยกว่า W (-1.31) แต่สภาวะการให้ความร้อนไม่มีอิทธิพลต่อค่าทั้งสอง ส่วนผลที่มีต่อค่า b^* เมื่อพิจารณาเจลไก่ UW สภาวะการให้ความร้อนไม่มีผลต่อค่า b^* แต่เจลไก่ W และให้ความร้อนที่ 60/90 ให้ค่า b^* สูงกว่าที่ 40/90 แต่เมื่อพิจารณาผลของสภาวะการให้ความร้อน ที่ 40/90 ค่า b^* ของเจลไก่ UW สูงกว่าที่ W แต่ที่ 60/90 ค่า b^* ไม่แตกต่างกันระหว่าง UW และ W ซึ่งเมื่อคำนวณเป็นค่า Whiteness เจลไก่ UW (71.52) มีค่าสูงกว่าเจลไก่ W (68.52) เล็กน้อย โดยทั่วไปการล้างทำให้เจลไก่มีความขาวเพิ่มขึ้น (Kang *et al.*, 2009) ทั้งนี้ เมื่อตรวจสอบผลของค่าสีเนื้อไก่ เนื้อไก่ล้างน้ำมีค่า L^* และ Whiteness (68.90 ± 0.36 และ 64.77 ± 0.35 ตามลำดับ) มากกว่าเนื้อไก่ไม่ล้าง (57.96 ± 0.85 , และ 54.99 ± 0.87 ตามลำดับ) ($p \leq 0.05$) (ข้อมูลเพิ่มเติม) แต่เมื่อนำไปขึ้นรูปเป็นเจล กลับให้ผลตรงกันข้าม ทั้งนี้อาจเกิดจากเจลไก่ UW สามารถกักน้ำไว้ในเจลได้ดี ซึ่งความชื้นส่งผลต่อการเพิ่มขึ้นของค่า L^* (Park, 2000) แต่น้ำดังกล่าวบางส่วนอาจอยู่ในรูปน้ำอิสระ สามารถแยกออกจากเจลได้เมื่อนำไปผ่านการกดและระเหยระหว่างการให้ความร้อนอย่างรวดเร็ว (Niwa, 1992) จึงทำให้ค่า WHC ของเจลไก่ UW ลดลง

จากผลการทดลองสรุปได้ว่าการไม่ล้างเนื้อไก่ทำให้เจลโปรตีนมีค่า BD, GS, L^* และ Whiteness สูงกว่าเจลไก่ W ขณะที่การล้างไก่ทำให้เจลโปรตีนมีค่า a^* และ WHC สูงกว่าเจลไก่ UW เจลไก่ที่ได้จากการให้ความร้อน 60/90 มีค่าลักษณะเนื้อสัมผัส BF, BD, GS และ Chewiness สูงกว่าที่ 40/90 แต่ไม่ให้ผลแตกต่างต่อค่า

Hardness, Springiness และ Cohesiveness เมื่อพิจารณาเนื้อไก่ที่ W จะมีกลืนไกรุนแรงน้อยกว่าเนื้อไก่ UW (สังเกตโดยผู้วิจัย และทีมวิจัย) ซึ่งถ้าเลือกวิธีการเตรียมเนื้อไก่แบบ UW กลืนไกร่างไปกลบกลิณของซูริมิทำให้ไม่แสดงลักษณะของกลืนปลา แม้ว่าเจลไก่ W มีค่า BD และ GS ต่ำ แต่เจลไก่ทั้งที่ W และ UW มีผลต่อค่าเนื้อสัมผัสแบบ TPA ไม่แตกต่างกัน Lee and Chung (1989) กล่าวว่า การทดสอบด้วยวิธีการกด (Compression test) แบบ TPA เป็นวิธีที่เหมาะสมสำหรับการตรวจสอบการเกาะตัวของเจล ขณะที่วิธีการเจาะทะลุ (Penetration test) เป็นวิธีที่เหมาะสมสำหรับการวัดความหนาแน่น และความอัดแน่น (Compactness) ของโครงข่ายเจลซึ่งเป็นผลมาจากการรวมกลุ่มของโปรตีน โดยทั่วไปแล้วการทดสอบด้วยวิธี TPA จะมีความสัมพันธ์ที่สุดกับข้อมูลการทดสอบทางประสาทสัมผัส มากกว่าวิธีการเจาะทะลุ นอกจากนั้นการล้างยังทำให้เจลไก่มีค่า WHC สูงกว่าไก่ UW

ผลของการให้ความร้อนที่ 60/90 ดีกว่าที่ 40/90 ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยของ Smyth and O'Neill (1997) ซึ่งพบว่าการให้ความร้อนน้อยกว่า 60 °C เจลมีความนุ่มและอ่อน แต่เจลแข็งแรงขึ้นระหว่าง 60 - 70 °C ซึ่งเกิดการจับตัวกันระหว่างโปรตีนกับโปรตีน และความแข็งแรงของเจลไม่แตกต่างกันระหว่าง 70 - 80 °C แสดงให้เห็นว่าระหว่างอุณหภูมิ 50 - 60 °C เป็นจุดวิกฤติในโครงสร้างการเกิดเจลของกล้ามเนื้อไก่ นอกจากนี้ Siegel *et al.* (1979) กล่าวว่าความร้อนที่ทำให้เกิดเจลมีความสำคัญ โดยมีผลต่อความคงตัว และเนื้อสัมผัสมากกว่ากระบวนการอื่น ๆ ดังนั้น จึงเลือกวิธีการเตรียมเนื้อไก่ด้วยการล้าง และเลือกอุณหภูมิที่เหมาะสมในการทำให้เกิดเจลที่ 60/90 ไปใช้ศึกษาในขั้นตอนถัดไป

Table 1 Probability value (p-value) from two-level factorial design with effect of factor A (different washing) and factor B (heating conditions) on functional properties of chicken meat gels.

Gel properties	Factor	p-value	Gel properties	Factor	p-value
Breaking force (g)	A	0.602	Chewiness	A	0.340
	B	0.002*		B	0.034*
	A × B	0.358		A × B	0.672
Breaking distance (cm)	A	0.007*	Water holding capacity (%)	A	0.004*
	B	0.010*		B	0.697
	A × B	0.865		A × B	0.895
Gel strength (g.cm)	A	0.028*	L*	A	0.048*
	B	0.002*		B	0.358
	A × B	0.251		A × B	0.874
Hardness (N)	A	0.142	a*	A	0.001*
	B	0.095		B	0.351
	A × B	0.846		A × B	0.663
Springiness	A	0.058	b*	A	0.003*
	B	0.058		B	0.006*
	A × B	0.058		A × B	0.013*
Cohesiveness	A	0.538	Whiteness	A	0.055
	B	0.115		B	0.445
	A × B	0.689		A × B	0.978

* A p-value less than 0.05 means that deviation from the null hypothesis is statistically significant, and the null hypothesis is rejected.

Factor A; Washing condition, Factor B; Heating condition, Factor A × B; A - B interaction

Table 2 Textural properties, color value, whiteness, folding test, and water holding capacity of chicken meat gels at different washing and heating conditions.

Gel properties	Washing conditions	Heating conditions		Mean
		40/90 °C	60/90 °C	
Breaking force (g)	UW	211.20 ± 0.59	284.96 ± 14.94	
	W	211.26 ± 26.61	281.92 ± 13.39	
	Mean	211.23 ^B ± 13.60	283.44 ^A ± 14.17	
Breaking distance (cm)	UW	0.59 ± 0.02	0.68 ± 0.02	0.64 ^a ± 0.02
	W	0.50 ± 0.06	0.58 ± 0.02	0.54 ^b ± 0.04
	Mean	0.54 ^B ± 0.04	0.63 ^A ± 0.02	
Gel strength (g.cm)	UW	125.49 ± 8.42	195.14 ± 17.23	160.32 ^a ± 12.83
	W	110.76 ± 27.42	164.31 ± 13.54	137.54 ^b ± 20.48
	Mean	118.13 ^B ± 17.92	179.73 ^A ± 15.39	

Table 2 (Continuous)

Gel properties	Washing conditions	Heating conditions		Mean
		40/90 °C	60/90 °C	
Hardness ns (N)	UW	32.03 ± 16.20	42.58 ± 21.05	
	W	40.52 ± 21.93	53.10 ± 32.34	
Springiness ns	UW	0.88 ± 0.07	0.90 ± 0.06	
	W	0.90 ± 0.06	0.90 ± 0.06	
Cohesiveness ns	UW	0.59 ± 0.22	0.66 ± 0.16	
	W	0.55 ± 0.30	0.65 ± 0.21	
Chewiness	UW	14.99 ± 0.79	23.32 ± 4.27	
	W	16.68 ± 1.55	27.39 ± 6.56	
	Mean	15.84B ± 1.17	25.36A ± 5.42	
Water holding capacity (%)	UW	99.73 ± 0.01	99.73 ± 0.01	99.73b ± 0.01
	W	99.87 ± 0.05	99.88 ± 0.04	99.87a ± 0.05
Folding test	UW	C	A	
	W	C	A	
L*	UW	73.45 ± 0.15	74.43 ± 1.95	74.49a ± 1.05
	W	69.77 ± 0.70	71.13 ± 2.36	70.45b ± 1.53
a*	UW	-0.69 ± 0.05	-0.57 ± 0.06	-0.63b ± 0.06
	W	-1.51 ± 0.20	-1.47 ± 0.04	-1.31a ± 0.12
b*	UW	11.37aA ± 0.33	11.52aA ± 0.40	
	W	10.16bB ± 0.55	11.23aA ± 0.58	
Whiteness	UW	71.11 ± 0.27	71.94 ± 1.61	71.52a ± 0.94
	W	68.08 ± 0.82	68.97 ± 1.98	68.52b ± 1.40

Results are presented as mean ± standard deviations. UW; Unwashing, W; Washing

^{ns} Means are not significantly different ($p > 0.05$).

^{ab} Different lowercase letters indicate significant differences across washing treatments ($p \geq 0.05$).

^{AB} Different capital letters indicate significant differences across heating treatments ($p \geq 0.05$).

3.2 ผลการศึกษาสัดส่วนของซูรีมีคุณภาพปานกลางผสมเนื้อไก่ล้าง และอุณหภูมิของการเกิดเจลที่เหมาะสม

ผลการศึกษาเปรียบเทียบเจลไก่ เจลซูรีมีคุณภาพปานกลาง และ เจลผสมของซูรีมีและเนื้อไก่ล้างที่ให้ความร้อนทั้งสภาวะที่เหมาะสมของเนื้อไก่ (60/90) และของซูรีมี (40/90) แสดงใน Table 3 โดยค่า BF ของเจลไก่ล้วน [SM:WC (0:100)] ที่อุณหภูมิ 60/90 มีค่าสูงที่สุด ($p \geq 0.05$) เมื่อพิจารณาเจลผสมที่มีสัดส่วนเท่ากันทั้ง 75:25 และ 50:50 ที่ 60/90 มีค่าสูงกว่าที่ 40/90 โดยเฉพาะที่สัดส่วน 50:50 ซึ่งใช้เนื้อไก่มากกว่า ดังนั้นความร้อนมีผลต่อค่า BF โดยค่า BF ที่ 60/90 สัดส่วน 50:50 (315.97 g) สูงกว่าที่ 75:25 (235.55 g) ($p \geq 0.05$) นั่นคือ เมื่อผสมเนื้อ

ไก่ล้างที่สัดส่วนมากขึ้น ค่า BF ของเจลมีแนวโน้มสูงขึ้นและสูงมากเมื่อให้ความร้อนที่เหมาะสมกับการเกิดเจลไก่ ค่า BD ของเจลซูรีมีล้วน [SM:WC (100:0)] ที่ 40/90 มีค่าสูงที่สุด (1.01 cm) ($p \geq 0.05$) ขณะที่ของเจลไก่ล้วน ที่ 60/90 มีค่าต่ำที่สุด (0.57 cm) เมื่อพิจารณาสภาวะการให้ความร้อน พบว่าที่ 60/90 ให้ค่า BD สูงกว่าที่ 40/90 ทุกสัดส่วน ($p \geq 0.05$) และการผสมเนื้อไก่ล้างที่สัดส่วนมากขึ้นทำให้ค่า BD ลดลง ($p \geq 0.05$) ค่า GS ของเจลซูรีมีล้วน เนื้อไก่ล้วน และสัดส่วน 50:50 ที่ 60/90 มีค่าสูงที่สุด (221.03-231.98 g.cm) ไม่แตกต่างกัน ($p > 0.05$) อย่างไรก็ตาม เมื่อพิจารณาเจลผสมที่สัดส่วนเดียวกัน ที่อุณหภูมิ 60/90 ให้ค่าสูงกว่าที่ 40/90 ทุกสัดส่วน ($p \geq 0.05$) การผสมเนื้อไก่ล้างที่สัดส่วนมากขึ้นนั้น เจลมีแนวโน้มของค่า GS ที่สูงขึ้น

เฉพาะที่ 60/90 ผลของการวัดค่า TPA ค่า Hardness มีค่าสูงที่สุดในเจลไกล้วน (97.99 N) และ มีค่าต่ำสุดในเจลซูริมีล้วน (37.30 N) ค่า Hardness ที่สัดส่วน 50:50 ที่ 60/90 (79.88 N) มีแนวโน้มสูงกว่าที่ 40/90 (65.72 N) และยังให้ผลไม่แตกต่างจากเจลไกล้วนที่มีค่าสูงที่สุด ($p \geq 0.05$) ในขณะที่สัดส่วน 75:25 สภาวะความร้อนไม่ส่งผลต่อความแตกต่างของค่า Hardness และมีค่าลดลง (48.31-50.18 N) ค่า Springiness ของเจลซูริมีล้วน ไกล้วน ที่สัดส่วน 75:25 และ 50:50 ให้ความร้อนที่อุณหภูมิ 60/90 ไม่แตกต่างกัน ($p > 0.05$) มีค่า Springiness ในช่วง 0.85-0.86 ขณะที่ค่าต่ำกว่าที่ 40/90 (0.82-0.83) ค่า Cohesiveness ของเจลซูริมีล้วน สัดส่วน 75:25 และ 50:50 ที่ 60/90 มีค่าสูงที่สุด (0.62-0.70) และในไกล้วนมีค่าต่ำสุด (0.35) ขณะที่ตัวอย่างผสมที่สัดส่วนทั้งสอง ที่ 40/90 มีค่าลดลง ค่า Chewiness ของเจลที่สัดส่วน 50:50 ที่ 60/90 มีค่าสูงที่สุด (42.68) สูงกว่าทุกตัวอย่างซึ่งมีค่า 22.22-29.37 ($p \geq 0.05$) ค่า WHC ของตัวอย่างทุกสัดส่วน และสภาวะการให้ความร้อนแตกต่างกันอย่างไม่มีนัยสำคัญ ($p > 0.05$) มีค่าสูงถึงร้อยละ 99.83-99.89 การพับของเจลซูริมีล้วนมีระดับคุณภาพสูงที่สุด คือ AA นั่นคือ เจลมีความเหนียวดีมาก ไม่แตกเมื่อพับสี่ส่วน และแตกต่างกัน ($p \geq 0.05$) กับเจลอื่น ๆ ทุกสัดส่วน และสภาวะการให้ความร้อน รวมถึงเจลของเนื้อไกล้วน ซึ่งมีระดับคุณภาพการพับที่ระดับ A คือ เจลมีความเหนียวดี แตกเล็กน้อยเมื่อพับสี่ส่วน

ค่าสี L^* และ ค่า Whiteness ของเจลซูริมีล้วน และที่สัดส่วน 75:25 ทั้งสองสภาวะความร้อน (69.95-70.07, 68.38-68.41 ตามลำดับ) มีค่าสูงกว่าที่สัดส่วน 50:50 และเจลไกล้วน (68.58-69.27, 67.00-67.60) เล็กน้อย ยกเว้นเจลที่สัดส่วน 50:50 ที่ 60/90 มีค่า L^* และ Whiteness ต่ำที่สุด ส่วนค่า a^* (สีเขียว) และค่า b^* (สีเหลือง) ของทุกตัวอย่างมีค่าไม่แตกต่างกัน ($p > 0.05$)

จากการทดลองสรุปได้ว่า เจลซูริมีคุณภาพปานกลางที่นำมาศึกษามีคุณลักษณะทางเนื้อสัมผัสที่นุ่มเหนียว ยืดหยุ่น การเกาะตัวสูง และมีความสามารถในการอุ้มน้ำสูง ขณะที่เจลของเนื้อไกล้วนมีเนื้อสัมผัสที่แข็งค่อนข้างเปราะ ยืดหยุ่น การเกาะตัวต่ำ และมีความสามารถในการอุ้มน้ำสูงเช่นเดียวกับเจลซูริมี เจลซูริมีมีคุณสมบัติของสี L^* a^* b^* ไม่แตกต่างจากเจลไกล้วน แต่มีความขาวมากกว่าเจลไกล้วนเล็กน้อย การผสมเนื้อไกล้วนกับซูริมีคุณภาพปานกลางที่สัดส่วน 50:50 ทำให้เจลโปรตีนผสมมีค่า GS, Hardness, Chewiness (231.98 g.cm, 79.88 N, 42.68) สูงกว่าที่สัดส่วน 75:25 (191.28 g.cm, 48.31 N, 26.25) ตามลำดับ ($p \geq 0.05$) ค่า Whiteness ที่สัดส่วน 50:50 จากการให้ความร้อนที่อุณหภูมิ 60/90 (67.00) มีค่าไม่แตกต่าง

จากที่ 40/90 (67.60) ($p > 0.05$) เมื่อพิจารณาอุณหภูมิในการทำให้เกิดเจลที่สัดส่วนเดียวกันพบว่า เจลผสมที่สัดส่วน 50:50 ที่ 60/90 มีค่า BF, BD, GS, Springiness, Cohesiveness และ Chewiness (315.97 g, 0.73 cm, 231.98 g.cm, 0.86, 0.62, 42.68) สูงกว่าที่ 40/90 (235.57 g, 0.63 cm, 160.28 g.cm, 0.82, 0.47, 25.91) ตามลำดับ ($p \geq 0.05$) และเจลผสมที่สัดส่วน 75:25 ที่ 60/90 มีค่า BD และ GS (0.81 cm, 191.28 g.cm) สูงกว่าที่ 40/90 (0.73 cm, 140.59 g.cm) ตามลำดับ ($p \geq 0.05$) ดังนั้นการผสมเนื้อไกล้วนและให้ความร้อนที่อุณหภูมิ 60/90 จึงช่วยปรับปรุงเนื้อสัมผัสของซูริมีได้ดีขึ้น

การนำเนื้อไกล้วนทดแทนซูริมี ช่วยปรับปรุงสมบัติทางเนื้อสัมผัสของซูริมีบางประการคือ เจลผสมที่ได้มีแนวโน้มที่เพิ่มขึ้นของค่า BF, Hardness, Chewiness ได้เป็น 1.45, 2.14 และ 1.92 เท่า ตามลำดับ โดยสภาวะที่ให้ค่าดังกล่าวสูงที่สุดคือ ที่สัดส่วนร้อยละ 50:50 ให้ความร้อนที่อุณหภูมิ 60 °C เวลา 30 นาที ตามด้วย 90 °C เวลา 20 นาที

3.3 ผลการศึกษาสัดส่วนของซูริมีคุณภาพต่ำผสมเนื้อไกล้วน และอุณหภูมิของการเกิดเจลที่เหมาะสม

จาก Table 4 ค่า BF ของเจลไกล้วน ที่อุณหภูมิ 60/90 มีค่าสูงที่สุด ($p \geq 0.05$) (371.10 g) ขณะที่เจลซูริมีล้วน และที่สัดส่วน 75:25 มีค่าต่ำที่สุด (123.34-141.72) เมื่อพิจารณาสัดส่วนที่เท่ากันทั้ง 75:25 และ 50:50 การให้ความร้อนที่ 60/90 ไม่แตกต่างจากที่ 40/90 ส่วนที่สัดส่วน 50:50 ซึ่งใช้เนื้อไกล้วนมากกว่า มีค่า BF (170.74-174.12 g) สูงกว่าที่ 75:25 (123.34-141.72 g) นั่นคือ เมื่อผสมเนื้อไกล้วนที่สัดส่วนมากขึ้น เจลมีแนวโน้มของค่า BF ที่สูงขึ้น ค่า BD ของเจลซูริมีล้วนสูงที่สุด (0.66 cm) ($p \geq 0.05$) ขณะที่ของเจลไกล้วนมีค่าลดลงมา (0.59 cm) เมื่อนำมาผสมกันกลับทำให้ค่า BD ลดลง ($p \geq 0.05$) (0.42-0.48) คือเจลเปราะเพิ่มขึ้น เมื่อพิจารณาสภาวะการให้ความร้อน ที่สัดส่วน 75:25 ความร้อน 60/90 ให้ค่าสูงกว่าที่ 40/90 ($p \geq 0.05$) แต่ที่สัดส่วน 50:50 ไม่แตกต่างกัน ($p > 0.05$) ($p \geq 0.05$) ค่า GS มีแนวโน้มการเปลี่ยนแปลงคล้ายกับค่า BF กล่าวคือ GS ของเจลไกล้วนมีค่าสูงที่สุด (219.46 g.cm) ($p \geq 0.05$) รองลงมาคือเจลซูริมีล้วน (85.92 g.cm) และเจลเนื้อไกล้วนผสมที่สัดส่วน 50:50 (75.77-81.91 g.cm) ขณะที่สัดส่วน 75:25 มีค่าต่ำที่สุด (59.23-59.62 g.cm) โดยการให้ความร้อนตัวอย่างผสมที่ 60/90 ไม่แตกต่างจากที่ 40/90 นั่นคือเจลซูริมีคุณภาพต่ำที่นำมาศึกษาแม้จะผสมเนื้อไกล้วน ทำให้ค่า BF สูงขึ้นเล็กน้อย แต่ไม่ทำให้ค่า GS สูงขึ้น ทั้งนี้อาจเนื่องจากคุณภาพของโปรตีนซูริมีที่ไม่

แข็งแรงมาก เมื่อประสานกับโปรตีนไก็ก็ยังไม่สามารถสร้างร่างแหโปรตีนที่แข็งแรงได้ ซึ่งซูริมิปลาปากคมมีระดับกิจกรรมโปรตีนในกล้ามเนื้อสูง (Yongsawatdigul, 2019) จึงอาจก่อให้เกิดการย่อยสลายของเส้นใยโปรตีนได้ ค่า Hardness มีค่าสูงที่สุดในเจลไก็ล้วน (42.11 N) รองลงมาคือ เจลไก็ผสมสัดส่วน 50:50 ที่ 40/90 และ 60/90 และสัดส่วน 75:25 ที่ 40/90 (19.96-24.82 N) ไม่แตกต่างกัน ($p>0.05$) และมีค่าต่ำที่สุดคือ เจลซูริมิล้วน และสัดส่วน 75:25 ที่ 60/90 (14.45-14.62 N) ($p\geq 0.05$) Hardness ของเจลซูริมิเพิ่มขึ้นเมื่อผสมเนื้อไก็ที่สัดส่วน 50:50 ให้ความร้อนได้ทั้งสองสภาวะ หรือที่สัดส่วน 75:25 ซึ่งมีปริมาณซูริมิมาก ต้องให้ความร้อนเฉพาะที่ 40/90 ค่า Springiness และค่า Cohesiveness แสดงผลคล้ายคลึงกัน กล่าวคือ มีค่าสูงสุดในเจลไก็ล้วน (0.91, 0.76 ตามลำดับ) และมีค่าต่ำที่สุดในเจลซูริมิล้วน (0.77, 0.41) การผสมเนื้อไก็ที่สัดส่วน 50:50 ทั้งสองสภาวะความร้อนให้ค่า Springiness และค่า Cohesiveness (0.88, 0.69-0.70) สูงกว่าที่สัดส่วน 75:25 ซึ่งที่สัดส่วน 75:25 นี้ ให้ความร้อนที่ 40/90 ให้ค่าสูงกว่าที่ 60/90 ค่า Chewiness มีแนวโน้มการเปลี่ยนแปลงคล้ายกับค่า Hardness คือ มีค่าสูงสุดในเจลไก็ล้วน (28.83) รองลงมาคือ เจลเนื้อไก็ผสมสัดส่วน 50:50 ที่ 40/90 และ 60/90 และสัดส่วน 75:25 ที่ 40/90 (10.52-15.11) ไม่แตกต่างกัน ($p>0.05$) และมีค่าต่ำที่สุดคือ เจลซูริมิล้วน และสัดส่วน 75:25 ที่ 60/90 (4.57-5.76) ($p\geq 0.05$) Chewiness ของเจลซูริมิเพิ่มขึ้นเมื่อผสมเนื้อไก็ที่สัดส่วน 50:50 ให้ความร้อนได้ทั้งสองสภาวะ หรือที่สัดส่วน 75:25 ต้องให้ความร้อนเฉพาะที่ 40/90

ค่า WHC ของทุกตัวอย่างแตกต่างกันอย่างไม่มีนัยสำคัญ ($p>0.05$) มีค่าสูงถึงร้อยละ 99.75-99.90 การพับของเจลไก็ล้วนมีค่าสูงที่สุดโดยอยู่ในระดับ A คือ เจลมีความเหนียวดี แตกเล็กน้อยเมื่อพับสี่ส่วน ซึ่งแตกต่าง ($p\geq 0.05$) จากค่าการพับของเจลตัวอย่างอื่น ๆ ทุกสัดส่วนและสภาวะการให้ความร้อน รวมถึงเจลของซูริมิล้วน ซึ่งมีค่าการพับที่ระดับ C เท่ากัน คือ เจลมีความเหนียวน้อย แตกเมื่อพับครึ่งแต่สองชิ้นยังติดกัน

ค่า L^* และ Whiteness มีแนวโน้มของการเปลี่ยนแปลงคล้ายคลึงกัน โดยเจลซูริมิล้วน และที่สัดส่วน 75:25 ทั้งสองสภาวะความร้อนมีค่า L^* และ Whiteness (67.03-68.07, 66.54-67.28 ตามลำดับ) น้อยกว่าของเจลไก็ล้วน และที่สัดส่วน 50:50 (69.73-71.52, 68.55-69.64) เล็กน้อย ค่า a^* (สีเขียว) ของเจลซูริมิล้วน และที่สัดส่วน 75:25 ทั้งสองสภาวะความร้อน มีค่า (-2.23 ถึง -2.30) สูงที่สุด ($p\leq 0.05$) ขณะที่เจลไก็ล้วนมีค่าต่ำที่สุด (-1.42) ถ้าเพิ่มสัดส่วนของเนื้อไก็มากขึ้น (50:50) ให้ความเป็น

สีเขียว (-2.06 ถึง -2.15) ลดลง ค่า b^* (สีเหลือง) ของเจลไก็มีค่ามากที่สุด (10.35) และเจลซูริมิมีค่าน้อยที่สุด (5.24) ($p\geq 0.05$) ที่สัดส่วนเดียวกันทั้งสองสภาวะความร้อนให้ค่า b^* ไม่แตกต่างกัน แต่การเพิ่มสัดส่วนของเนื้อไก็มากขึ้นทำให้เจลมีค่า b^* สูงขึ้น

จากการทดลองสรุปได้ว่า เจลซูริมิคุณภาพต่ำที่นำมาศึกษามีคุณลักษณะทางเนื้อสัมผัสที่นุ่ม ร่วน ยืดหยุ่นเล็กน้อย การเกาะตัวต่ำ กัดขาดง่ายมาก และมีความสามารถในการอุ้มน้ำสูง ขณะที่เจลของเนื้อไก็ล้วนมีเนื้อสัมผัสที่แข็งเล็กน้อย ก่อนข้างเปราะ ยืดหยุ่น การเกาะตัวสูง และมีความสามารถในการอุ้มน้ำสูงเช่นเดียวกับเจลซูริมิ เจลซูริมิมีคุณสมบัติของความสว่าง ความเป็นสีเหลืองและความขาวต่ำ แต่มีความเป็นสีเขียวมากกว่าเจลไก็ การผสมเนื้อไก็ล้วนกับซูริมิคุณภาพต่ำที่สัดส่วนร้อยละ 50:50 ทำให้เจลโปรตีนผสมมีค่าสมบัติทางเนื้อสัมผัสทุกพารามิเตอร์ที่ได้จากการให้ความร้อนทั้งสองสภาวะแตกต่างกันอย่างไม่มีนัยสำคัญ เมื่อเทียบกับที่สัดส่วน 75:25 ค่า GS, Springiness, Cohesiveness, L^* , b^* และ Whiteness ของเจลที่ 50:50 สูงกว่าอย่างมีนัยสำคัญ

การนำเนื้อไก็มาทดแทนซูริมิ ช่วยปรับปรุงสมบัติทางเนื้อสัมผัสของซูริมิบางประการคือ เจลผสมที่ได้มีแนวโน้มที่เพิ่มขึ้นของค่า Breaking force ความแข็ง ค่าความยืดหยุ่น ค่าการเกาะตัว และค่าความเคี้ยวได้ เป็น 1.34, 1.71, 1.14, 1.71 และ 3.31 เท่า ตามลำดับ โดยสภาวะที่ให้ค่าดังกล่าวสูงที่สุดคือ ที่สัดส่วนร้อยละ 50:50 ให้ความร้อนทั้งที่ 40/90 และ 60/90 แต่การเพิ่มขึ้นนี้ยังไม่มากพอที่จะทำให้เจลมีเนื้อสัมผัสที่ดี ในที่นี้จึงเลือกสภาวะการให้ความร้อนที่อุณหภูมิ 60 °C เวลา 30 นาที ตามด้วย 90 °C เวลา 20 นาที ไปตรวจสอบโครงสร้างในระดับจุลภาค

Table 3 Textural properties, color value, whiteness, folding test, and water holding capacity of medium quality surimi and chicken mixture gels at different proportions and heating

Gel properties	Medium quality surimi per washed chicken meat ratios (w/w) / temperature (°C)							
	SM:WC (100:0) 40/90	SM:WC (75:25) 40/90	SM:WC (75:25) 60/90	SM:WC (50:50) 40/90	SM:WC (50:50) 60/90	SM:WC (0:100) 60/90		
Breaking force (g)	217.49 ^{cd} ± 24.51	193.24 ^d ± 11.96	235.55 ^{cd} ± 13.61	235.57 ^c ± 23.38	315.97 ^b ± 19.74	394.50 ^a ± 64.47		
Breaking distance (cm)	1.01 ^a ± 0.03	0.73 ^c ± 0.01	0.81 ^b ± 0.01	0.63 ^d ± 0.01	0.73 ^c ± 0.01	0.57 ^d ± 0.04		
Gel strength (g.cm)	221.03 ^a ± 32.34	140.59 ^c ± 6.52	191.28 ^b ± 6.94	160.28 ^c ± 18.30	231.98 ^a ± 18.71	223.79 ^a ± 19.82		
Hardness (N)	37.30 ^d ± 3.42	50.18 ^c ± 8.01	48.31 ^c ± 4.49	65.72 ^{bc} ± 11.95	79.88 ^{ab} ± 9.67	97.99 ^a ± 28.35		
Springiness	0.85 ^{ab} ± 0.00	0.83 ^{bc} ± 0.01	0.85 ^{ab} ± 0.01	0.82 ^c ± 0.01	0.86 ^a ± 0.01	0.86 ^a ± 0.01		
Cohesiveness	0.70 ^a ± 0.01	0.60 ^b ± 0.05	0.64 ^{ab} ± 0.00	0.47 ^c ± 0.07	0.62 ^{ab} ± 0.01	0.35 ^d ± 0.01		
Chewiness	22.22 ^b ± 2.36	24.89 ^b ± 6.41	26.25 ^b ± 2.74	25.91 ^b ± 8.85	42.68 ^a ± 6.35	29.37 ^b ± 9.19		
Water holding capacity (%) ^{ns}	99.85 ± 0.01	99.83 ± 0.03	99.86 ± 0.04	99.84 ± 0.03	99.86 ± 0.01	99.89 ± 0.02		
Folding test	AA	A	A	A	A	A		
L *	69.95 ^a ± 0.53	70.07 ^a ± 0.76	70.05 ^a ± 1.42	69.27 ^{ab} ± 1.42	68.58 ^b ± 0.93	69.16 ^{ab} ± 1.71		
a* ^{ns}	-0.95 ± 0.03	-1.14 ± 0.00	-1.19 ± 0.01	-1.30 ± 0.04	-1.33 ± 0.05	-1.14 ± 0.57		
b* ^{ns}	9.77 ± 0.11	10.08 ± 0.21	9.97 ± 0.41	10.15 ± 0.71	9.99 ± 0.66	10.46 ± 1.11		
Whiteness	68.38 ^a ± 0.54	68.39 ^a ± 0.65	68.41 ^a ± 1.22	67.60 ^{ab} ± 1.13	67.00 ^b ± 0.69	67.39 ^b ± 1.29		

Results are presented as mean ± standard deviations. SM; Medium quality surimi, WC; Washed chicken meat

^{ns} Means are not significantly different (p>0.05).

^{a-d} Different letters indicate significant differences across treatments (p≥0.05).

Table 4 Textural properties, color value, whiteness folding test, and water holding capacity of low-quality surimi and chicken mixture gels at different proportions and heating
Results are presented as mean ± standard deviations. SL: Low quality surimi, WC: Washed chicken meat

Gel properties	Low quality surimi per washed chicken meat ratios (w/w) / temperature (°C)							
	SL:WC (100:0)		SL:WC (75:25)		SL:WC (50:50)		SL:WC (50:50)	
	40/90		40/90		60/90		60/90	
Breaking force (g)	129.86 ^c ± 5.44		141.72 ^{bc} ± 14.96		123.34 ^c ± 8.65		170.74 ^b ± 27.88	
Breaking distance (cm)	0.66 ^a ± 0.06		0.42 ^d ± 0.00		0.48 ^c ± 0.01		0.45 ^{cd} ± 0.02	
Gel strength (g.cm)	85.92 ^b ± 3.63		59.62 ^c ± 5.87		59.23 ^c ± 2.61		75.77 ^b ± 8.29	
Hardness (N)	14.45 ^c ± 0.10		19.96 ^b ± 3.04		14.62 ^c ± 0.59		24.82 ^b ± 3.46	
Springiness	0.77 ^a ± 0.01		0.85 ^c ± 0.00		0.81 ^d ± 0.02		0.88 ^b ± 0.01	
Cohesiveness	0.41 ^a ± 0.00		0.63 ^c ± 0.01		0.49 ^d ± 0.04		0.69 ^b ± 0.01	
Chewiness	4.57 ^d ± 0.21		10.52 ^{bc} ± 1.69		5.76 ^{cd} ± 0.41		15.04 ^b ± 2.17	
Water holding capacity (%) ^{ns}	99.78 ± 0.03		99.87 ± 0.02		99.75 ± 0.10		99.85 ± 0.06	
Folding test	C		C		C		C	
L*	67.03 ^c ± 0.65		68.07 ^c ± 1.94		68.02 ^c ± 1.65		70.33 ^{ab} ± 2.35	
a*	-2.27 ^{ab} ± 0.05		-2.23 ^{ab} ± 0.04		-2.30 ^a ± 0.01		-2.06 ^c ± 0.01	
b*	5.24 ^d ± 0.11		6.79 ^{cd} ± 0.32		7.01 ^c ± 0.09		8.25 ^b ± 0.49	
Whiteness	66.54 ^c ± 0.66		67.28 ^{bc} ± 1.83		67.18 ^{bc} ± 1.59		69.11 ^a ± 2.12	
							68.55 ^{ab} ± 2.06	
							371.10 ^a ± 45.17	
							0.59 ^b ± 0.04	
							219.46 ^a ± 10.95	
							42.11 ^a ± 5.61	
							0.91 ^a ± 0.02	
							0.76 ^a ± 0.00	
							28.83 ^a ± 3.16	
							99.90 ± 0.02	
							A	
							71.52 ^a ± 1.98	
							-1.42 ^d ± 0.08	
							10.35 ^a ± 0.96	
							69.64 ^a ± 1.53	

^{ns} Means are not significantly different (p>0.05).
^{a-d} Different letters indicate significant differences across treatments (p≥0.05)

3.4 การวิเคราะห์โครงสร้างระดับจุลภาค

ผลการตรวจสอบโครงสร้างระดับจุลภาคด้วย SEM ของเจลซูริมิคุณภาพปานกลาง เจลเนื้อไก่ล้างและเจลผสมระหว่างซูริมิ และเนื้อไก่ที่สัดส่วน 50:50 (Figure 1) พบว่าที่กำลังขยาย 50 เท่า (A-C) ที่ผิวหน้าของเจลไก่ (B) แสดงการเชื่อมประสานของเส้นใยโปรตีนค่อนข้างแน่น มีระเบียบ และสม่ำเสมอ ขณะที่เจลซูริมิ (A) มีความคล้ายคลึงกับเจลไก่ แต่มีช่องว่างมากกว่า ส่วนเจลผสม (C) มีลักษณะผิวหน้า เรียบ เนียน ส่วนที่กำลังขยาย 400 เท่า (D-F) ทั้งเจลไก่ (E) และเจลซูริมิ (D) มองเห็นการเชื่อมประสานที่แน่น เรียบเป็นเนื้อเดียวกัน ส่วนเจลผสม (F) เกิดการประสานของโปรตีนเส้นใย (Fibrous protein) จากกล้ามเนื้อทั้งสองแหล่งเป็นเนื้อเดียวกัน เสมือนกับเกิดการสร้างพอลิเมอร์ร่วมกันในโครงข่ายโปรตีน โดย Jiang *et al.* (2023) ได้เพิ่มสัดส่วนของเนื้อไก่ในเนื้อปลาเกล็ดเงิน มากขึ้น ทำให้โครงสร้างเจลมีความหนามากขึ้น มีรูพรุนน้อยลง และทำให้พื้นผิวโครงสร้างเรียบ ซึ่งสอดคล้องกับการเพิ่มขึ้นของ ค่า BF และ Hardness ของเจลผสม (Table 3)

ผลการตรวจสอบ SEM ของเจลซูริมิคุณภาพต่ำ เจลเนื้อไก่ล้าง และ เจลผสมระหว่างซูริมิ และเนื้อไก่ที่สัดส่วน 50:50 (Figure 2) พบว่าที่กำลังขยาย 50 เท่า (A-C) ที่ผิวหน้าของเจลไก่ (B) แสดงการเชื่อมประสานของเส้นใยโปรตีนค่อนข้างแน่น มีระเบียบ และสม่ำเสมอ ขณะที่ผิวหน้าเจลซูริมิ (A) และเจลผสม (C) มีความขรุขระ มีช่องว่างมากกว่า ส่วนที่กำลังขยาย 400 เท่า (D-F) ทั้งเจลไก่ (E) และเจลซูริมิ (D) มองเห็นการเชื่อมประสานที่แน่น เรียบเป็นเนื้อเดียวกัน แต่เจลซูริมิมีการเชื่อมประสานที่ไม่ต่อเนื่องบ้าง มองเห็นมีหลายชั้น ทั้งนี้อาจเกิดจากเส้นใยกล้ามเนื้อไม่แข็งแรงทำให้การประสานกันเป็นร่างแหของเจลไม่สม่ำเสมอและไม่เป็นระเบียบ สอดคล้องกับลักษณะของเนื้อสัมผัสที่มีคุณภาพต่ำ เนื้อนุ่ม การเกาะตัวต่ำ และขาดง่าย และเมื่อผสมซูริมิ กับเนื้อไก่ ปรากฏภาพว่ามีการประสานของโปรตีนเส้นใยทั้งสองเป็นเนื้อเดียวกัน)

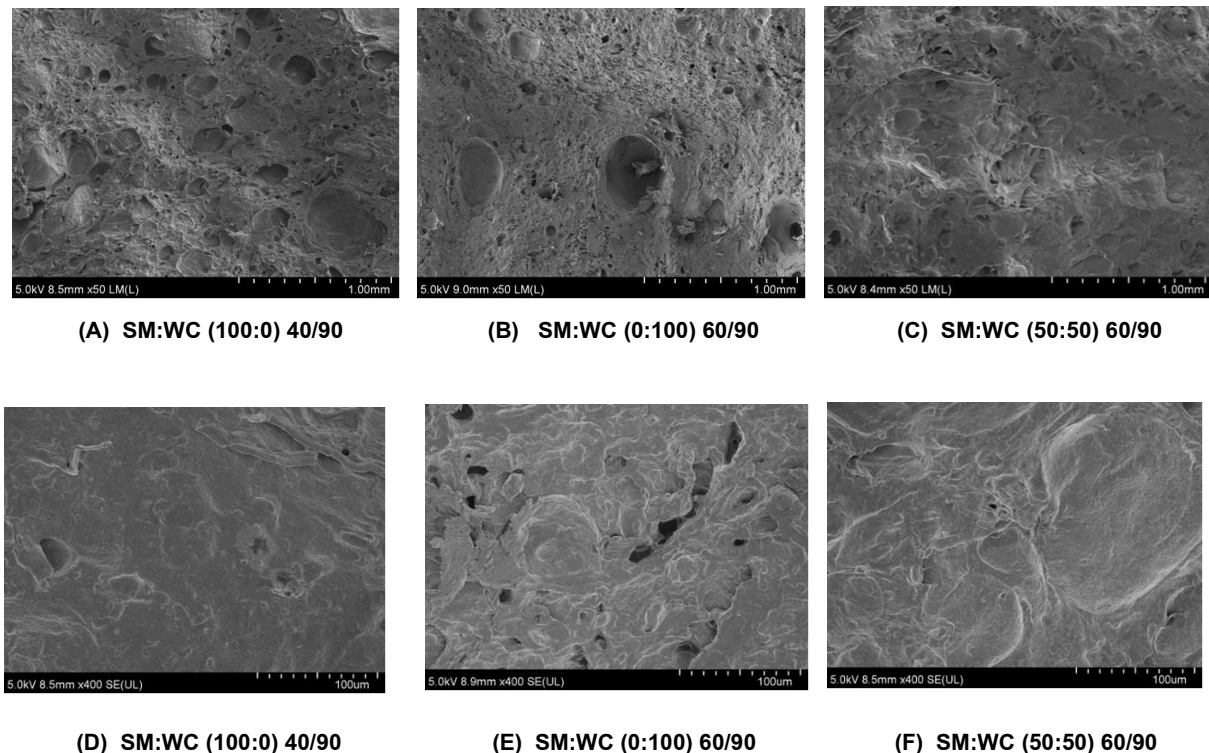


Figure 2 Scanning micrographs of protein gels at different proportions and heating conditions. Magnification: 50 × (A-C), 400 × (D-F) (A, D); medium-quality surimi gels, (B, E); chicken gels, (C, F); SM surimi/chicken mixture gels. SM; Medium quality surimi, WC; Washed chicken meat.

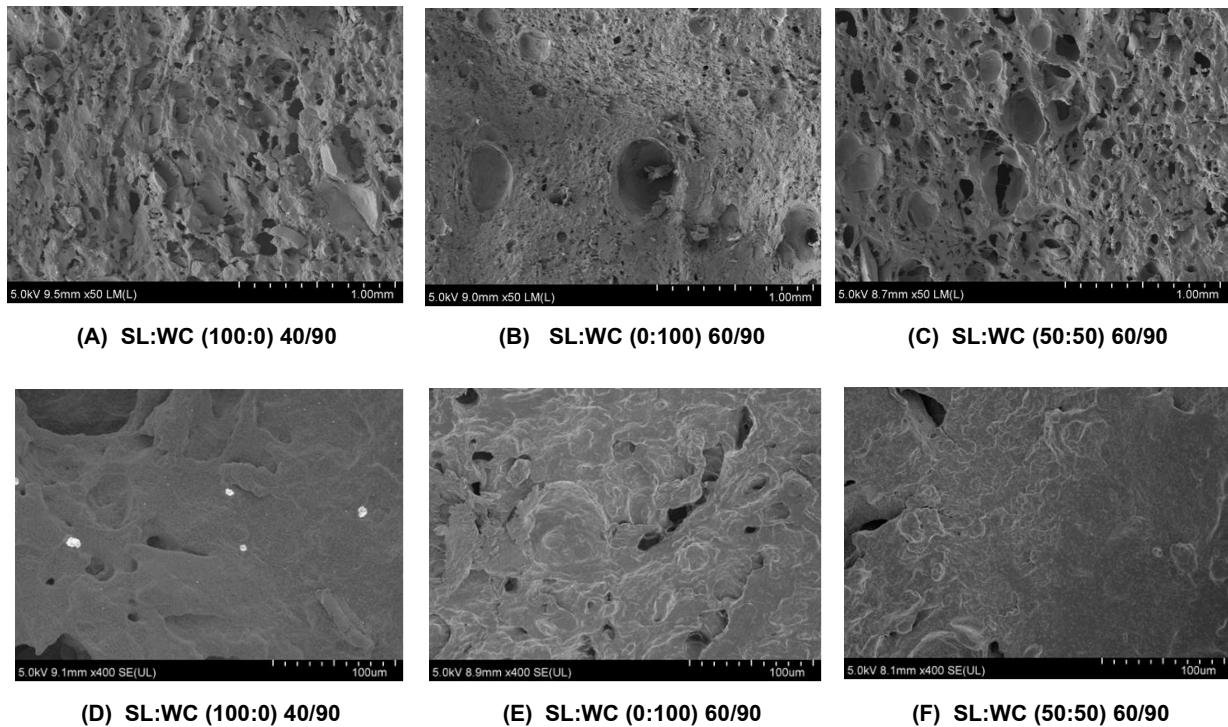


Figure 3 Scanning micrographs of protein gels at different proportions and heating conditions. Magnification: 50 × (A-C), 400 × (D-F) (A, D); low-quality surimi gels, (B, E); chicken gels, (C, F); SM surimi/chicken mixture gels. SL; low-quality surimi, WC; Washed chicken meat.

4. สรุป

สภาวะที่เหมาะสมของการเกิดเจลของเนื้อไก่ คือ ขั้นตอนการล้างเนื้อไก่บด และการให้ความร้อนที่อุณหภูมิ 60 °C 30 นาที ตามด้วย 90 °C 20 นาที (60/90) การนำเนื้อไก่มาทดแทนซูริมิคุณภาพปานกลาง (ปลาทรายแดง) ที่สัดส่วน 50:50 (w/w) ให้ความร้อนที่สภาวะ 60/90 เช่นเดียวกับของเนื้อไก่ ช่วยให้ค่าแรงที่ใช้ในการเจาะทะลุ (BF) ค่าความแข็ง และค่าความเคี้ยวได้ มีแนวโน้มเพิ่มขึ้นจากเจลซูริมิล้วน ในขณะที่เจลผสมระหว่างซูริมิคุณภาพต่ำ (ปลาปากคม) ที่สัดส่วน 50:50 ให้ความร้อนทั้งที่สภาวะ 60/90 และ 40/90 มีแนวโน้มที่เพิ่มขึ้นของค่า BF และค่าเนื้อสัมผัสที่ตรวจด้วยวิธี TPA แต่การเพิ่มขึ้นนี้ยังไม่มากพอที่จะทำให้เจลมีเนื้อสัมผัสที่ดี ดังนั้น การใช้เนื้อไก่ส่วนออกทดแทนจึงเป็นแนวทางในการนำมาปรับปรุงคุณภาพของเจลซูริมิคุณภาพปานกลาง

5. ข้อเสนอแนะ

ในการนำเนื้อไก่มาทดแทนซูริมิบางส่วน ถ้าเนื้อไก่มีราคาสูงกว่าซูริมิ อาจทำให้ต้นทุนการผลิตสูงขึ้น จึงอาจใช้เนื้อไก่ราคาถูกจากส่วนอื่น เช่น เนื้อไก่ที่

แยกออกมาจากเนื้อติดกระดูก ซึ่งจำเป็นต้องมีการศึกษาสภาวะที่เหมาะสมในการเตรียมเนื้อไก่ และสภาวะในการให้ความร้อน

6. กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณ คณะประมง มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ ที่ได้ให้การสนับสนุนทุนสนับสนุนส่งเสริมการศึกษาค้นคว้าวิจัย ประจำปี พ.ศ. 2564

7. เอกสารอ้างอิง

- Fukushima, H. , Okazaki, E. , Fukuda, Y. and Watabe, S. 2007. Rheological properties of selected fish paste at selected temperature pertaining to shaping of surimi-based products. **Journal of Food Engineering** 81(2): 492-499.
- Gui, P. , Zhang, L. , Hong, H. , Feng, L. and Luo, Y. 2018. Gel properties of silver carp (*Hypophthalmichthys molitrix*) and chicken mixture gels as affected by setting temperatures. **International Journal of Food Properties** 21(1): 2250-2264.

- Jiang, Q., Wang, L., Gao, P., Yu, P., Yang, F., Yu, D., Chen, H. and Xia, W. 2023. Study on the effect and mechanism of chicken breast on the gel properties of silver carp (*Hypophthalmichthys molitrix*) surimi. **Journal of the Science of Food and Agriculture** 104: 1132-1142.
- Kang, G. H. , Kim, S. H. , Kim, J. H. , Kang, H. K. , Kim, D.W., Na, J.C., Yu, D.J., Suh, O.S. and Choi, Y.H. 2009. Effects of washing methods on gel properties of chicken surimi prepared from spent hen breast muscle. **Poultry Science** 88: 1438-1443.
- Kongpun, O. 1999. The gel forming ability of washed and unwashed fish meat (lizardfish and Nile tilapia). **Kasetsart Journal (Nat. Sci.)** 33: 258-269.
- Lanier, T.C. 1992. Measurement of surimi composition and functional properties, pp. 311-320. *In* Lanier, T.C. and Lee, C.M., eds. **Surimi Technology**. Marcel Dekker, Inc., New York.
- Lee, C.M. and Chung, K.H. 1989. Analysis of surimi gel properties by compression and penetration test. **Journal of Texture Studies** 20: 363-377.
- Motohiro, T. 1981. General aspect of processing marine food, pp. nd. *In* Motohiro, T., Kadota, H., Hashimoto, K., Kayama, M. and Tokunaga, T., eds. **Science of Processing Marine Food Products vol. II**. Kanagawa International Fisheries Training Center, Japan International Cooperation Agency, Japan.
- Niwa, E. 1992. Chemistry of surimi gelation, pp. 389-427. *In* Lanier, T.C. and Lee, C.M., eds. **Surimi Technology**. Marcel Dekker, Inc. , New York.
- Park, J. W. 2000. Ingredient technology and formulation development, pp. 343-391. *In* Park, J.W., eds. **Surimi and Surimi Seafood**. Marcel Dekker, Inc., New York.
- Siegel, D.G., Church, K.E. and Schmidt, G.R. 1979. Gel structure of nonmeat proteins as relate to their ability to bind meat pieces. **Journal of Food Science** 44: 1276-1284.
- Smyth, A.B. and O'Neill, E. 1997. Heat-induced gelation properties of surimi from mechanically separated chicken. **Journal of Food Science** 62: 326-330.
- Suzuki, T. 1981. **Fish and Krill Protein Processing Technology**. Applied Science Pub, London.
- Tan, S.M. , Ng, M.C. , Fujimara, T. , Hooi, K.K. and Hasegawa, H. 1987. **Handbook on Processing of Frozen Surimi and Fish Jelly Products in Southeast Asia**. Marine Fisheries Research Department, Southeast Asian Fisheries Development Center, Singapore.
- Wang, R. , Gao, R. , Xiao, F. , Zhou, X. , Wang, H. , Xu, H., Gong, C., Huang, P. and Zhao, Y. 2019. Effect of chicken breast on the physicochemical properties of unwashed sturgeon surimi gels. **LWT-Food Science and Technology** 113: 108306.
- Yongsawatdigul, J. 2019. **Science of Fish Proteins**. Active Print Company Ltd., Bangkok. (in Thai)
- Yongsawatdigul, J. and Park, J.W. 2003. Thermal denaturation and aggregation of threadfin bream actomyosin. **Food Chemistry** 83(3): 409-416.