บทที่ 3

ผลและวิจารณ์

1.องค์ประกอบโปรตีนและสมบัติโปรตีนกล้ามเนื้อปลาทรายแดง

1.1 องค์ประกอบทางเคมีของปลาทรายแดง

ปลาทรายแดงที่ใช้ในการทดลอง จับได้จากทะเลอ่าวไทย หลังจากจับได้นำมาบรรจุในกล่องพลาสติกโดยวางปลาสลับน้ำแข็งในอัตราส่วนน้ำแข็ง : ปลา 2 : 1 ซึ่งปลาที่ใช้ในการทดลองมีอายุการเก็บรักษาในน้ำแข็งไม่เกิน 24 ชั่วโมง หลังจากนั้นนำไปตรวจสอบคุณภาพต่างๆ ตามแผนการทดลอง

องค์ประกอบทางเคมีของปลาทรายแดงพบว่าประกอบด้วย ความชื้น โปรตีน ไขมัน และเถ้า ร้อยละ 79.44, 17.06, 1.79, และ 1.40 ตามลำดับ (ตารางที่ 1) ผลที่ได้ใกล้เคียงกับการทดลองของ Kongpun (1999) ซึ่งรายงานว่าองค์ประกอบทางเคมีของปลาทรายแดงที่ศึกษาประกอบด้วย ความชื้น โปรตีน ไขมัน และเถ้า ร้อยละ 78.92, 16.57, 1.23, และ 0.92 ตามลำดับ Lee (1994) กล่าวว่าแม้ซูริมิสามารถผลิตได้จากปลาหลายชนิดแต่พบว่ามีปลาเพียงไม่กี่ชนิดเท่านั้นที่ได้รับความสนใจจากผู้ผลิตในการใช้เป็นวัตถุดิบ โดยปลาที่นิยมนำมาผลิตซูริมิเป็นปลาที่มีไขมันต่ำคือมีไขมันน้อยกว่าร้อยละ 2 เนื่องจากจะไม่มีปัญหาการแยกไขมันออกจากเนื้อปลาบดในระหว่างการล้าง

การตรวจสอบคุณภาพของปลาพบว่าปริมาณด่างที่ระเหยได้ทั้งหมดและปริมาณไตรเมทธิลเอมีนมีค่า 2.49 และ 0.28 มิลลิกรัมไนโตรเจนต่อ 100 กรัมตัวอย่างตามลำดับ (ตารางที่ 1) แสดงว่าปลาที่ใช้ในการศึกษามีคุณภาพดี สามารถยืนยันได้จากการตรวจสอบลักษณะปรากฏของปลาที่มีสภาพสมบูรณ์ ทั้งเหงือก ตา เกล็ด และความแน่นเนื้อดังแสดงในตารางที่ 2 ผ่องเพ็ญ รัตตกุล (2532) ระบุว่าลักษณะปรากฏของปลาที่เหมาะสมสำหรับการผลิตซูริมิ คือ สีตาและผิวหนังคงความมันวาวไม่ขุ่นมัว เกล็ดอาจหลุดเล็กน้อย ลักษณะเนื้อสัมผัสไม่นุ่มตามแรงมือกด เหงือกไม่มีกลิ่น ลูกตา

เป็นสีดำมันนูนพอเหมาะปราศจากเลือดบริเวณขอบตา และตาดำไม่ขุ่นมัว บริเวณท้องไม่บวมหรือแตก Sanu (1986) รายงานว่าความสดของวัตถุดิบเป็นหัวใจสำคัญของการผลิตซูริมิ ดังนั้นเพื่อให้ได้ซูริมิที่มีความสามารถเกิดเจลที่ดีการปฏิบัติต่อวัตถุดิบตั้งแต่หลังการจับจนเข้าสู่กระบวนการผลิตจึงต้องได้รับการดูแลอย่างใกล้ชิด

ตารางที่ 1 องค์ประกอบทางเคมีของกล้ามเนื้อปลาทรายแดง

องค์ประกอบ	ปริมาณ*
ความชื้น (ร้อยละโดยน้ำหนักเปียก)	79.44±0.15
โปรตีน (ร้อยละโดยน้ำหนักเปียก)	17.06±0.13
ไขมัน (ร้อยละโดยน้ำหนักเปียก)	1.79±0.16
เถ้า (ร้อยละโดยน้ำหนักเปียก)	1.40±0.05
ปริมาณด่างที่ระเหยได้ทั้งหมด (มิลลิกรัมไนโตรเจน/100กรัมตัวอย่าง)	2.49±0.03
ปริมาณไตรเมทธิลเอมีน (มิลลิกรัมไนโตรเจน/100กรัมตัวอย่าง)	0.28±0.01

* ค่าเฉลี่ย ± ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานจากการวิเคราะห์ 3 ครั้ง ๆ ละ 3ซ้ำ

ตารางที่ 2 ลักษณะปรากฏของปลาทรายแดง

ลักษณะปรากฏ	คะแนนการตรวจสอบ** (0-10) *
เหงือก	9.67±0.51 (แดงสด)
ตา	9.67±0.51 (ตาใส)
เกล็ด	9.50±0.51 (เรียบติดแน่น)
ความแน่นเนื้อ	9.83±0.48 (ไม่ทิ้งรอยกด)

*0 คือ คุณภาพต่ำมาก ๆ 10 คือคุณภาพดีเยี่ยม

** ค่าเฉลี่ย ± ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานจากการวิเคราะห์ 3 ครั้ง ๆ ละ 10 ตัว (จากผู้ประเมินเพียงคนเดียว)

1.2 ตรวจสอบชนิดของโปรตีนและสารประกอบไนโตรเจนที่ไม่ใช่โปรตีน

จากการแยกโปรตีนต่างๆ จากกล้ามเนื้อปลาทรายแดง พบว่าประกอบด้วย ซาร์โคพลาสมิกโปรตีน ไมโอไฟบริลล่าร์โปรตีน โปรตีนที่ละลายได้ในสารละลายด่าง และสโตรมา ร้อยละ 23.45, 68.75, 3.99 และ 3.80 ตามลำดับ (ตารางที่ 3) Hashimoto และคณะ (1979) ได้ทำการแยกโปรตีนจากเนื้อปลาซาร์ดีน พบว่าประกอบด้วยซาร์โคพลาสมิกโปรตีน ไมโอไฟบริลล่าร์โปรตีน โปรตีนที่ละลายได้ในสารละลายด่าง และสโตรมา ร้อยละ 27.5, 63.7, 6.8 และ 1.9 ตามลำดับ สอดคล้องกับรายงานของ Suzuki และคณะ (1981) รายงานว่าในเนื้อปลามีปริมาณไมโอไฟบ์รลล่าร์โปรตีนอยู่ประมาณร้อยละ 70-80 ของโปรตีนทั้งหมด ซึ่งประกอบด้วยไมโอซิน แอคติน โทรโปนิน และโทรโปไมโอซิน โดยที่โปรตีนเหล่านี้เป็นโปรตีนที่ละลายเกลือ (Stefansson and Hultin 1994) ส่วนซาร์โคพลาสมิกโปรตีนมีปริมาณร้อยละ 30 ของโปรตีนทั้งหมดได้แก่พวก ไมโอโกลบิน เอนไซม์และอัลบูมิน โดยโปรตีนในกลุ่มนี้สามารถละลายได้ในน้ำ ขณะที่สโตรมาและโปรตีนที่ละลายด่างในเนื้อปลานั้นมีปริมาณน้อยเช่น คลอลาเจน และอิลาสติน สำหรับปริมาณสารประกอบไนโตรเจนที่

ไม่ใช่โปรตีนนั้นขึ้นอยู่กับชนิดของปลา แหล่งที่จับ และความสดของปลา สารประกอบเหล่านี้ ได้แก่ กรดอะมิโน เอมีน ออกไซด์ของเอมีน นิวคลีโอไทด์ และยูเรีย (Mackie, 1994)

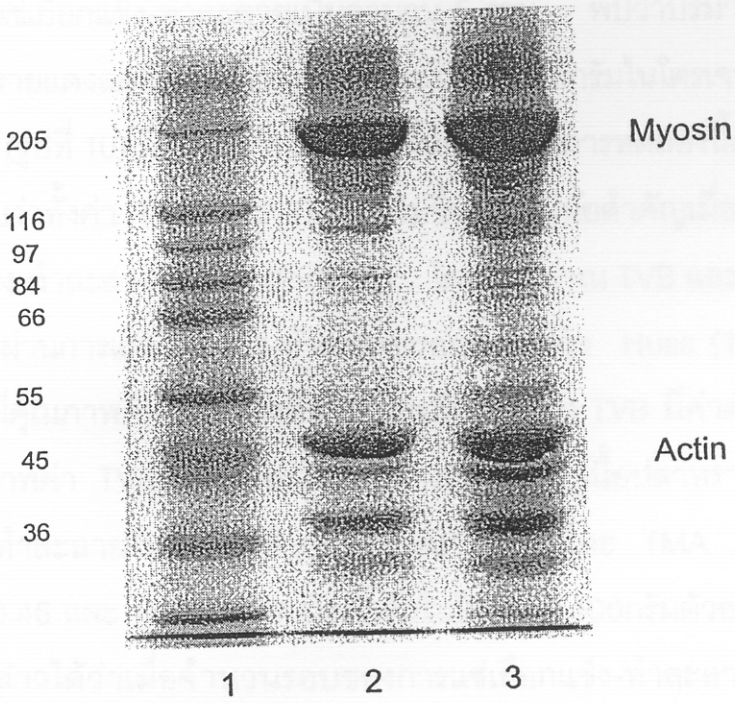
สำหรับการตรวจสอบชนิดของโปรตีนในกล้ามเนื้อปลาทรายแดงสด และไมโอไฟบริลล่าร์โปรตีนที่สกัดได้จากกล้ามเนื้อปลาทรายแดงโดยวิธีการ SDS-PAGE (รูปที่9) กล้ามเนื้อปลาทรายแดงปรากฏแถบของโปรตีนชนิดต่างๆ หลายแถบด้วยกัน โดยที่มีไมโอซินและแอคตินในปริมาณมาก ซึ่งเป็นโปรตีนที่มีน้ำหนักโมเลกุลสูง (205,000 และ 45,000 ดาลตัล) ผลของการนำไมโอไฟบริลล่าร์โปรตีนมาตรวจสอบปรากฏพบแถบของไมโอซิน (205,000) แอคติน (45,000) โทรโปรนิน (36,500) และโทรโปรไมโอซิน (37,000) เท่านั้น เนื่องจากโปรตีนตัวอื่น ๆ ถูกกำจัดไปในขั้นตอนของการสกัดแล้ว ผลที่ได้สอดคล้องกับการทดลองของ Chawla และคณะ (1996) รายงานว่าการล้างเนื้อปลาส่งผลให้ไม่ปรากฏแถบของโปรตีนที่มีน้ำหนักโมเลกุลต่ำ เนื่องจากการล้างเป็นการกำจัดพวกซาร์โคพลาสมิกโปรตีนซึ่งเป็นโปรตีนที่ละลายน้ำออกไปได้

ตารางที่ 3 ปริมาณสารประกอบไนโตรเจนที่แยกได้จากกล้ามเนื้อปลาทรายแดง

ชนิดของโปรตีนและสารประกอบไนโตรเจนที่ไม่ใช่โปรตีน	ปริมาณไนโตรเจน* (มิลลิกรัมไนโตรเจน/กรัมตัวอย่าง)	
สารประกอบไนโตรเจนที่ไม่ใช่โปรตีน	1.11±0.15	
โปรตีนซาร์โคพลาสมิก	6.22±0.03	(23.45)
โปรตีนที่ละลายด่าง	1.06±0.06	(3.99)
สโตรมา	1.01±0.03	(3.80)
โปรตีนไมโอไฟบริลล่าร์	18.24±0.50	(68.75)

* ค่าเฉลี่ย ± ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานจากการวิเคราะห์3 ครั้งๆ 3 ซ้ำ

( ) ร้อยละของปริมาณไนโตรเจนแต่ละส่วนเปรียบเทียบกับปริมาณไนโตรเจนทั้งหมด



รูปที่ 9 รูปแบบโปรตีนของเนื้อปลาทรายแดงสด และ ไมโอไฟบริลล่าร์โปรตีนโดย SDS-PAGE (10% running gel และ 4% stacking gel) โดยใช้ปริมาณโปรตีน 40 ไมโครกรัม

แถวที่ 1 โปรตีนมาตรฐาน

แถวที่ 2 ไมโอไฟบริลล่าร์โปรตีน

แถวที่ 3 เนื้อปลาทรายแดงสด

2 ผลของการแช่เยือกแข็งและทำละลายต่อคุณสมบัติของโปรตีนในเนื้อปลาแล่และซูริมิ

2.1 ผลของการแช่เยือกแข็งและทำละลายต่อคุณสมบัติของโปรตีนในเนื้อปลาแล่

2.1.1 ปริมาณด่างที่ระเหยได้ทั้งหมด และปริมาณไตรเมทธิลเอมีน

จากการศึกษาปริมาณ TVB และ TMA ของชิ้นปลาทรายแดงแล่

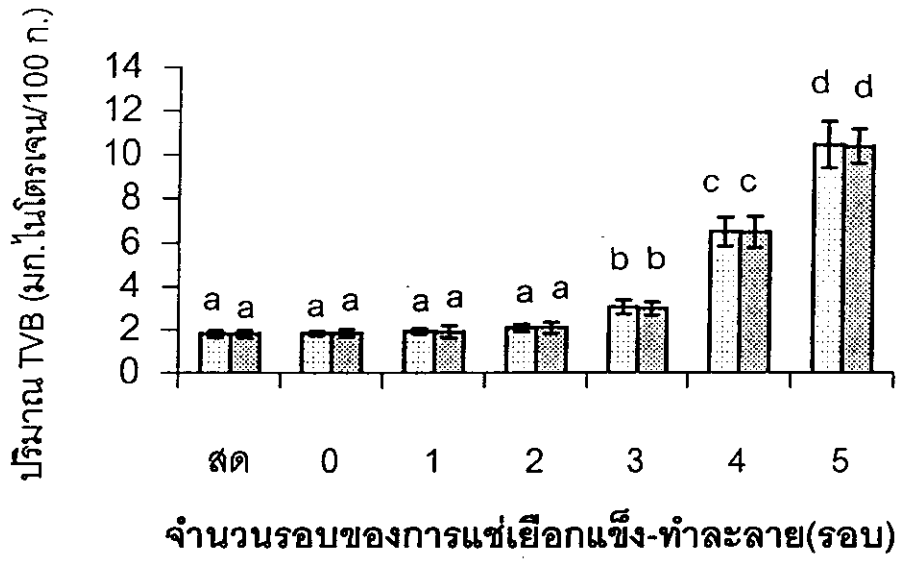
ที่ผ่านการแช่เยือกแข็ง-ทำละลายเป็นจำนวน 5 รอบ พบว่าปริมาณ TVB และ TMA ของปลาทรายแดงสดเริ่มต้นมีค่า 1.81 และ 0.14 มิลลิกรัมไนโตรเจน/100 กรัมตัวอย่าง ตามลำดับ (รูปที่ 10) ถือว่าปลาทรายแดงที่นำมาใช้ในการทดลองนี้คุณภาพดีมาก

พบว่าทั้งค่า TVB และ TMA เพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญเมื่อจำนวนรอบของการแช่เยือกแข็ง-ทำละลายเพิ่มขึ้น ($P<0.05$) โดยที่ปริมาณ TVB และ TMA เพิ่มขึ้นอย่างเด่นชัดเมื่อผ่านการแช่เยือกแข็ง-ทำละลายรอบที่ 3 แล้ว Huss (1988) ได้กล่าวว่าในช่วงที่ปลามีคุณภาพดีหรือในช่วงที่สามารถบริโภคได้ค่า TVB มีค่าต่ำ แต่เมื่อปลาเริ่มเสื่อมคุณภาพค่า TVB มีค่าเพิ่มสูงขึ้นอย่างรวดเร็ว เนื้อปลาทรายแดงที่ผ่านการแช่-เยือกแข็ง-ทำละลายในรอบสุดท้ายมีปริมาณ TVB และ TMA สูงขึ้นมีค่าอยู่ในช่วง 10.37 - 10.46 และ 1.15 - 1.17 มิลลิกรัมไนโตรเจน/ 100กรัมตัวอย่างตามลำดับ จึงสามารถกล่าวได้ว่าเมื่อจำนวนรอบของการแช่เยือกแข็ง-ทำละลายมากขึ้น ปริมาณ TVB และ TMA เพิ่มขึ้น อาจเนื่องจากในกระบวนการทำละลายแต่ละรอบนั้นใช้เวลามากคือประมาณ 36 ชั่งโมง เพื่อให้จุดกึ่งกลางของตัวอย่างมีอุณหภูมิ 0 องศาเซลเซียส แต่พบว่าอุณหภูมิของตัวอย่างบริเวณรอบนอกนั้นมีอุณหภูมิสูงกว่าจุดกึ่งกลาง คือ อยู่ในช่วงอุณหภูมิ 2-3 องศาเซลเซียส ซึ่งเป็นช่วงอุณหภูมิที่ จุลินทรีย์และเอนไซม์สามารถทำงานได้ โดยหลังการตายของปลามีการเปลี่ยนแปลงสภาพทางเคมี ซึ่งมีสาเหตุมาจากเอนไซม์ในตัวปลาและการปนเปื้อนของจุลินทรีย์ ซึ่งจะสร้างเอนไซม์ออกมาย่อยสลายโปรตีนในกล้ามเนื้อปลา นอกจากนี้เอนไซม์ที่มีอยู่ในตัวปลาเองก็เป็นสาเหตุของการย่อยสลายโปรตีนเช่นเดียวกันทำให้เกิดสารประกอบที่ระเหยได้ เช่นไตรเมทธิลเอมีน ไดเมทธิลเอมีน แอมโมเนีย การเกิดไตรเมทธิลเอมีน มีสาเหตุมาจากการสลายตัวของไตรเมทธิลเอมีนออกไซม์ (Sikorski,1990)

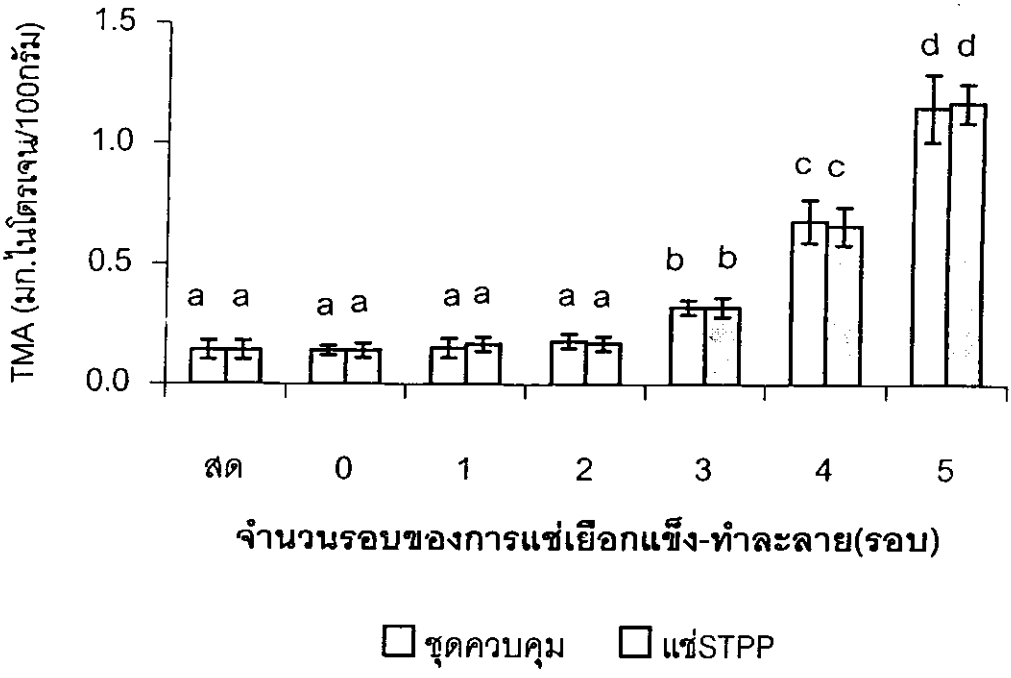
การแช่ปลาในสารละลายโซเดียมไตรพอลิฟอสเฟตไม่มีผลช่วยลดค่า TVB และ TMA เมื่อเปรียบเทียบกับชุดควบคุม ($P>0.05$) อาจกล่าวได้ว่าการแช่เนื้อปลาในสารละลายโซเดียมไตรพอลิฟอสเฟตก่อนทำการแช่เยือกแข็งไม่สามารถยับยั้งการทำงานของเอนไซม์ และ การเจริญเติบโตของจุลินทรีย์ ที่ก่อให้เกิดการเสื่อมเสียคุณภาพของเนื้อปลาทรายแดงแล่ในระหว่างการแช่เยือกแข็งและทำละลายได้ Suvanich และ

คณะ (2000) ได้กล่าวว่าการเพิ่มขึ้นของสารประกอบไนโตรเจนหลังการตายของสัตว์น้ำมีความสำคัญมากต่อการสูญเสียความสดและคุณภาพลักษณะปรากฏของเนื้อปลาและเป็นการเริ่มต้นการเน่าเสีย ในขณะที่ Pacheco และคณะ (2000) ได้รายงานว่าโดยทั่วไปปลาเกิดการเสื่อมเสียอย่างมากจะมี TMA อยู่ในช่วง 5-10 มิลลิกรัมไนโตรเจน/ 100 กรัม สอดคล้องกับรายงานของ Al-Kahtani และคณะ (1996) ซึ่งกล่าวว่าเมื่อปลาเกิดการเสื่อมเสียคุณภาพปริมาณ TVB ของปลาต่างชนิดกันจะมีค่าแตกต่างกัน เช่น ปลาทรายแดงที่อาศัยในเขตร้อน เกิดการเน่าเสียเมื่อมีค่า TVB สูงกว่า 19.5 มิลลิกรัมไนโตรเจน/ 100 กรัม ในขณะที่ปลา Spannish mackerel การเสื่อมเสียคุณภาพเกิดขึ้นเมื่อปริมาณ TVB สูงกว่า 25.2 มิลลิกรัมไนโตรเจน/100 กรัม Suvanich และคณะ (2000) ได้ศึกษาหาปริมาณ TVB ในเนื้อปลาดุกบด 2 ชุดการทดลอง คือเนื้อปลาบดที่ผ่านการล้างน้ำ และไม่ผ่านการล้างน้ำ แล้วเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 0 องศาเซลเซียส พบว่าในวันแรกของการเก็บรักษาปลาที่ผ่านการล้างน้ำและไม่ผ่านการล้างน้ำมีปริมาณ TVB เท่ากับ 5 และ 15 มิลลิกรัมไนโตรเจน/100 กรัมตามลำดับ แต่เมื่อผ่านการเก็บรักษาเป็นเวลา 7 วัน ปรากฏว่ามีค่า TVB 17.5 และ 32 มิลลิกรัมไนโตรเจน/100 กรัมตามลำดับ โดยปริมาณ TVB ของปลาทั้ง 2 ชุดการทดลองมีปริมาณเพิ่มขึ้นเพียงเล็กน้อยใน 3 วันแรกของการเก็บรักษา แต่หลังจากนั้นปริมาณ TVB เพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็ว ซึ่งอาจกล่าวได้ว่าการล้างเนื้อปลาบดก่อนการเก็บรักษาสามารถรักษาคุณภาพของเนื้อปลาไว้ได้ดีกว่าปลาที่ไม่ผ่านการล้างน้ำ

ก)



ข)

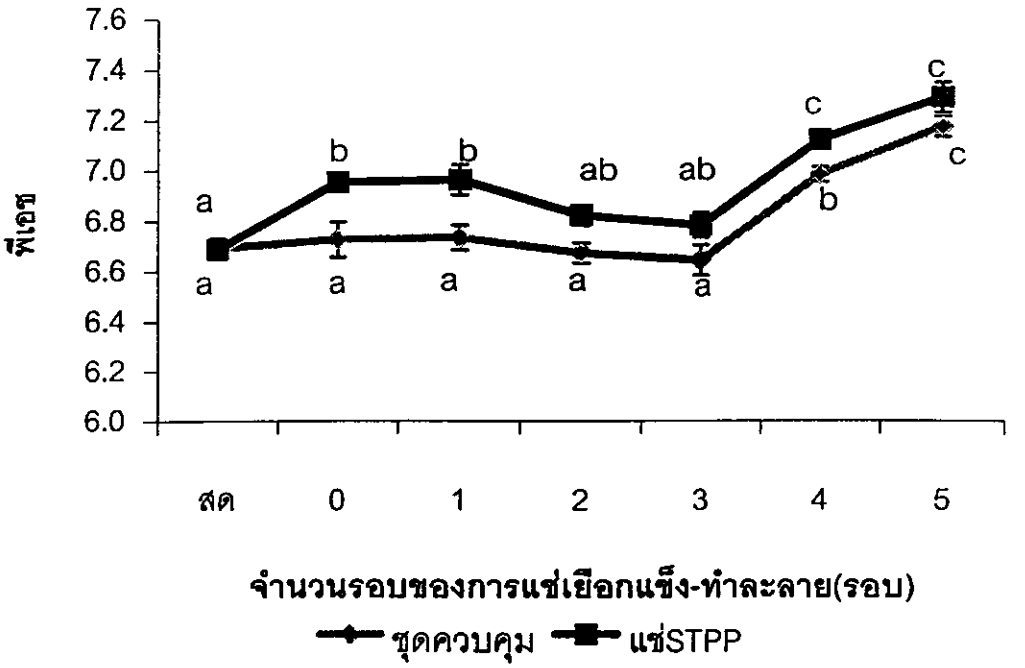


รูปที่ 10 ปริมาณด่างที่ระเหยได้ทั้งหมด (ก) และไตรเมทธิลเอมีน (ข) ของเนื้อปลาทรายแดงแล่ที่ผ่านการแช่เยือกแข็ง-ทำละลายในรอบต่างๆ

หมายเหตุ ตัวอักษร a b c และ d ที่แตกต่างกันในทรีตเมนท์เดียวกันบ่งชี้ความแตกต่างทางสถิติ ($P<0.05$)

2.1.2 ค่าพีเอช

ผลของการแช่เยือกแข็ง-ทำละลายต่อค่าพีเอช พบว่าเนื้อปลาทรายแดงสดมีค่าพีเอชเริ่มต้นเท่ากับ 6.69 (รูปที่ 10) แต่เมื่อนำเนื้อปลาทรายแดงมาแช่ในสารละลายโซเดียมไตรพอลิฟอสเฟตนาน 15 นาทีก่อนการแช่เยือกแข็งพบว่า มีค่าสูงขึ้นกว่าของปลาทรายแดงสดคือมีค่า 6.95 ในขณะที่ชุดควบคุมมีค่าพีเอช 6.72 หลังจากผ่านการแช่เยือกแข็ง-ทำละลายจำนวน 3 รอบ ค่าพีเอชของตัวอย่างทั้ง 2 ชุดการทดลองมีการเปลี่ยนแปลงเพียงเล็กน้อย โดยชุดที่แช่ในสารละลายโซเดียมไตรพอลิฟอสเฟต และชุดควบคุมมีค่า 6.78 และ 6.64 ตามลำดับ อย่างไรก็ตามหลังจากผ่านรอบที่ 3 ไปแล้วพบว่าค่าพีเอชของตัวอย่างทั้ง 2 ชุดการทดลองมีค่าเพิ่มขึ้น และค่าพีเอชในรอบสุดท้ายของการแช่เยือกแข็ง-ทำละลายมีค่าสูงถึง 7.29 และ 7.17 ตามลำดับ ดังนั้นจะเห็นได้ว่าตัวอย่างที่แช่ในสารละลายโซเดียมไตรพอลิฟอสเฟตสามารถรักษาค่าพีเอชของเนื้อปลาให้ใกล้เคียงค่าเป็นกลางได้มากกว่าชุดควบคุม โดยสอดคล้องกับรายงานของ Chang และ Regenstein (1997) ได้ศึกษาผลของการเติมโซเดียมไตรพอลิฟอสเฟต และโซเดียมเฮกซะเมตาฟอสเฟต ต่อค่าพีเอชของปลาคอดบดที่เก็บรักษาโดยการแช่ในน้ำแข็ง พบว่าค่าพีเอชในเนื้อปลาต่ำลงเมื่อเก็บรักษาภายใน 3 วันแรกแต่หลังจากนั้นค่าพีเอชสูงขึ้น Lim (1980) ระบุว่าปลาในเขตร้อนทั่วๆไปมีค่าพีเอชอยู่ในช่วง 6.4 - 6.8 โดยที่ค่าพีเอชสามารถเปลี่ยนแปลงไปตามฤดูกาลของเนื้อปลา นอกจากนี้ปลาที่อยู่ในช่วงหลังการเกร็งตัวค่าพีเอชเพิ่มสูงขึ้นอีกครั้ง เนื่องจากด่างและสารแอมโมเนียที่ระเหยได้ซึ่งเกิดจากปริมาณแบคทีเรียเพิ่มขึ้นและการสลายตัวของสารประกอบไนโตรเจน นอกจากนี้อัตราการเพิ่มขึ้นของค่าพีเอชยังขึ้นกับอุณหภูมิ ซึ่งสอดคล้องกับรายงานของ Suvanich และคณะ (2000) ซึ่งได้ศึกษาการเปลี่ยนแปลงค่าพีเอชในเนื้อปลาดุกบดในระหว่างการเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 0 องศาเซลเซียส พบว่ามีค่าพีเอชสูงขึ้นช่วงหลังของการเก็บรักษาเนื่องจากเกิดสารประกอบที่ระเหยได้ Love (1980) และ Rodger และคณะ (1980) รายงานว่าการเปลี่ยนแปลงค่าพี-เอชของเนื้อปลาในระหว่างการเก็บรักษาส่งผลให้ไมโอไฟบริลล่าร์โปรตีนมีความสามารถในการละลายลดต่ำลง



รูปที่ 11 ค่าพีเอชของปลาทรายแดงแล่ที่ผ่านการแช่เยือกแข็ง-ทำละลายในรอบต่างๆ

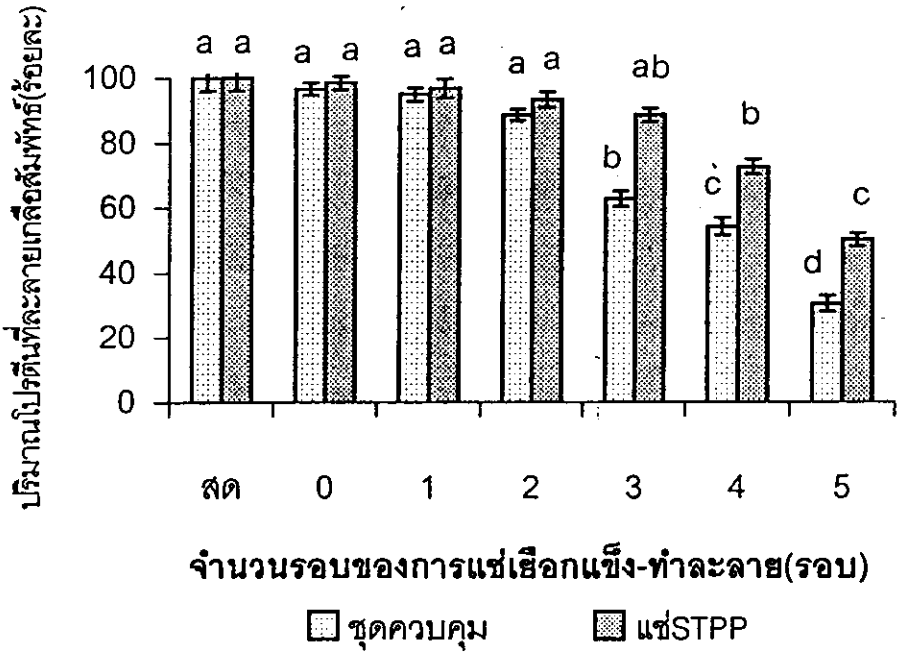
หมายเหตุ ตัวอักษร a b และ c ที่แตกต่างกันในทรีตเมนท์เดียวกันบ่งชี้ความแตกต่างทางสถิติ ($P<0.05$)

2.1.3 ปริมาณโปรตีนที่ละลายได้ในสารละลายเกลือ

ผลของการแช่เยือกแข็ง-ทำละลายเนื้อปลาทรายแดงแล่ต่อ ปริมาณโปรตีนที่ละลายได้ในสารละลายเกลือ พบว่าเนื้อปลาทรายแดงสดที่ไม่ผ่านการแช่เยือกแข็งสามารถละลายในสารละลายเกลือได้ดี เมื่อจำนวนรอบของการแช่เยือกแข็ง-ทำละลายเพิ่มมากขึ้นพบว่าปริมาณโปรตีนที่ละลายได้ในสารละลายเกลือมีค่าลดลง ($P<0.05$) (รูปที่ 12) โดยที่ปริมาณโปรตีนที่ละลายได้ในสารละลายเกลือลดลงอย่างเด่นชัด เมื่อผ่านการแช่เยือกแข็ง-ทำละลายรอบที่ 3 แล้ว พบว่าปลาที่ผ่านการแช่เยือกแข็งและทำละลายรอบที่ 5 มีปริมาณโปรตีนที่ละลายได้ในสารละลายเกลือของชุดการทดลองที่แช่ในสารละลายโซเดียมไตรพอลิฟอสเฟต และชุดควบคุมมีค่าร้อยละ 50.16 และ 30.57 ตามลำดับ อาจกล่าวได้ว่าการแช่เยือกแข็งและทำละลายแต่ละรอบมีผลต่อปริมาณโปรตีนที่ละลายได้ในสารละลายเกลือลดลงอย่างมีนัยสำคัญ ($P<0.05$) อย่างไรก็ตาม

พบว่าชิ้นปลาแล่ที่แช่ในสารละลายโซเดียมไตรพอลิฟอสเฟตสามารถป้องกันการสูญเสียปริมาณโปรตีนที่ละลายได้ในสารละลายเกลือมากกว่าชุดควบคุมอย่างมีนัยสำคัญ ($P<0.05$) (ในทุกๆ รอบของการแช่เยือกแข็ง-ทำละลาย) เนื่องจากการที่โซเดียมไตรพอลิฟอสเฟตมีประจุลบหลายประจุบนโมเลกุล ทำให้สามารถรวมตัวกับประจุบวกที่อยู่บนโมเลกุลขนาดใหญ่ เช่น โปรตีน จึงส่งผลให้โปรตีนสามารถละลายได้ดีขึ้น

จากผลการทดลองสามารถกล่าวได้ว่าการแช่เยือกแข็ง-ทำละลายมีผลต่อปริมาณโปรตีนที่ละลายได้ในสารละลายเกลือคือมีปริมาณลดต่ำลงตามจำนวนรอบของการแช่เยือกแข็งและทำละลายที่เพิ่มขึ้น แต่การนำตัวอย่างปลาแช่ในสารละลายโซเดียมไตรพอลิฟอสเฟตก่อนการแช่เยือกแข็งนั้นสามารถลดการสูญเสียปริมาณโปรตีนที่ละลายได้ในสารละลายเกลืออย่างมีนัยสำคัญ ($P<0.05$) เมื่อเปรียบเทียบกับชุดควบคุม ดังนั้นก่อนการเก็บรักษาปลาแล่ในสภาพแช่เยือกแข็งเพื่อผลิตซูริมิจึงควรมีการแช่ในสารละลายโซเดียมไตรพอลิฟอสเฟต Ellinge (1972) ให้เหตุผลว่าเมื่อโปรตีนสูญเสียสภาพมีผลให้การละลายลดลงทำให้เนื้อสัมผัสเหนียวขึ้น การแช่ตัวอย่างในสารละลายโซเดียมไตรพอลิฟอสเฟตก่อนสามารถยับยั้งการสูญเสียสภาพของโปรตีนได้ คือ เกลือฟอสเฟตจะจับกับโปรตีน ทำให้มีผลต่อการเพิ่มจำนวนหมู่ที่มีขั้วบนโปรตีน ดังนั้นการละลายจึงเพิ่มขึ้น นอกจากนี้ฟอสเฟตจะจับกับอนุมูลต่างๆ เช่น แคลเซียม สังกะสี มีผลให้ความมีขั้วเพิ่มสูงขึ้น Huidobro และคณะ (1991) รายงานว่าการเปลี่ยนแปลงโครงสร้างของโมเลกุลไมโอไฟบริลล่าร์โปรตีนในเนื้อปลา และผลิตภัณฑ์ระหว่างการเก็บรักษาในสภาพแช่เยือกแข็งเป็นสาเหตุของการสูญเสียคุณสมบัติเชิงหน้าที่ของโปรตีน โดยเฉพาะความสามารถในการละลายและความสามารถในการเกิดเจลของโปรตีนปลา Srinivasan และคณะ (1997) ได้กล่าวเพิ่มเติมอีกว่าเนื้อกุ้งที่ผ่านการแช่เยือกแข็งและทำละลายหลายครั้งก่อให้เกิดลักษณะเนื้อสัมผัสที่หยาบกระด้างซึ่งเป็นผลมาจากไมโอซินเกิดการสูญเสียสภาพ คือเกิดการรวมตัวกันของไมโอไฟบริลล่าร์โปรตีน



รูปที่ 12 ปริมาณโปรตีนที่ละลายได้ในสารละลายเกลือของเนื้อปลาทรายแดงแล่ที่ผ่านการแช่เยือกแข็ง-ทำละลายในรอบต่างๆ

หมายเหตุ ตัวอักษร a b c และ d ที่แตกต่างกันในทรีตเมนท์เดียวกันบ่งชี้ความแตกต่างทางสถิติ ($P<0.05$)

Koning และ Mol (1991) กล่าวว่าปริมาณโปรตีนที่ละลายเกลือสามารถใช้เป็นตัวบ่งชี้การสูญเสียสภาพของโปรตีน เนื่องจากปฏิกิริยาที่เกิดขึ้นมีผลให้ความไม่ชอบน้ำบนผิวหน้าโมเลกุลของโปรตีนเพิ่มขึ้น ทำให้การจับตัวของโปรตีนเพิ่มขึ้น ส่งผลให้คุณภาพของปลาแช่เยือกแข็งลดลง (Kussi *et al.*, 1975) Hultin (1992) กล่าวว่าฟอร์มัลดีไฮด์เป็นสารที่ก่อให้เกิดการสูญเสียสภาพของโปรตีน ทำให้โปรตีนเกิดการเปลี่ยนแปลงคุณสมบัติเชิงหน้าที่ เช่นความสามารถในการละลาย จึงทำให้เนื้อปลามีเนื้อสัมผัสที่เหนียวมากขึ้นอันเนื่องจากฟอร์มัลดีไฮด์ทำปฏิกิริยากับโปรตีน โดยเร่งให้เกิดการรวมตัวของโปรตีน ด้วยพันธะโควาเลนท์ของหมู่เมทธิลีน ทำให้น้ำหนักโมเลกุลเพิ่มขึ้นกลายเป็นโพลีเมอร์ที่ไม่สามารถละลายในสารละลายที่มีคุณสมบัติทำลายพันธะไฮโดรเจน การทำปฏิกิริยาของฟอร์มัลดีไฮด์กับโปรตีนเกิดได้สูง เมื่ออุณหภูมิในการเก็บ

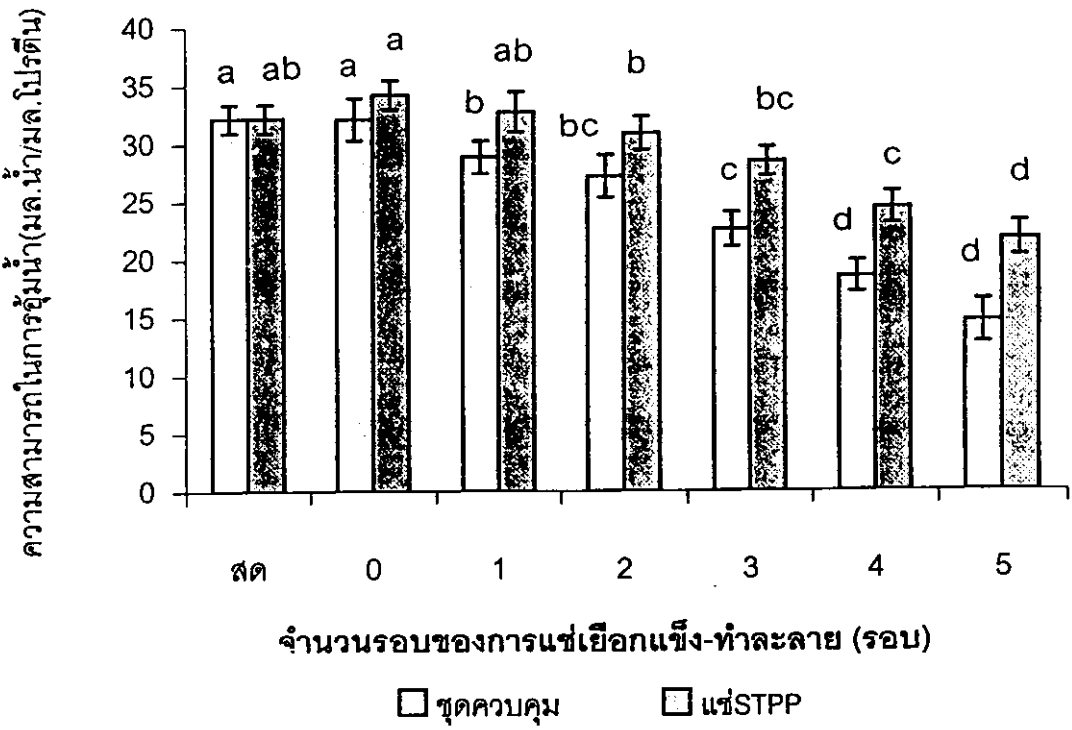
รักษาเพิ่มขึ้น และระยะเวลาในการเก็บรักษานานขึ้น ทำให้เนื้อสัมผัสมีลักษณะเหนียวมากขึ้น (Connell, 1975) Careche และ Li-Chan (1997) กล่าวว่าโปรตีนในเนื้อปลาบดเกิดการสูญเสียความสามารถในการละลาย ได้ง่ายและรวดเร็วกว่าชิ้นปลาแล่หรือปลาที่ผ่านการตัดหัวและควักไส้

Koning และ Mol (1991) รายงานว่าในระหว่างการเก็บรักษาปลาเฮกแช่เยือกแข็งที่อุณหภูมิ –18 องศาเซลเซียส ทั้งที่อยู่ในรูปของปลาแล่และปลาบดพบว่าปริมาณของโปรตีนที่สกัดได้ลดลงตามอายุการเก็บรักษาที่เพิ่มขึ้น โดยที่การเก็บรักษาในรูปปลาแล่นั้นเกิดการเปลี่ยนแปลงน้อยกว่า (Kotakowska ,1992) การเปลี่ยนแปลงต่างๆ นี้มีความสัมพันธ์กับการยอมรับทางประสาทสัมผัส คือค่าการยอมรับลดลง ในขณะที่ Chang และ Regenstein (1997) รายงานว่าการเติมโซเดียมไตรพอลิฟอสเฟต และโซเดียมเฮกซะเมตาฟอสเฟต ลงไปในเนื้อปลาคอดบดที่เก็บรักษาในน้ำแข็งนั้น สามารถรักษาสมบัติการละลายของโปรตีนได้ดีกว่าชุดควบคุม อย่างไรก็ตามเมื่อผ่านการเก็บรักษานาน 9 วัน พบว่าผลที่ได้ไม่แตกต่างกับชุดควบคุม ที่เป็นเช่นนี้อาจกล่าวได้ว่าเมื่อปลามีการเสื่อมเสียเพิ่มมากขึ้น ทำให้ความสามารถในการจับกับโปรตีนของฟอสเฟตลดลง ความสามารถในการละลายของโปรตีนจึงลดต่ำลง Suvanich และคณะ (2000) ได้ศึกษาปริมาณโปรตีนที่ละลายได้ในสารละลายเกลือของปลาดุกบดระหว่างการเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 0 และ 5 องศาเซลเซียส พบว่าความสามารถในการละลายลดลง ซึ่งการลดลงปรากฏเด่นชัดหลังผ่านการเก็บรักษาเป็นเวลา 3 วัน

2.1.4 ความสามารถในการอุ้มน้ำ

ผลของการแช่เยือกแข็ง - ทำละลายเนื้อปลาทรายแดงแล่ต่อความสามารถในอุ้มน้ำ พบว่าเมื่อจำนวนรอบของการแช่เยือกแข็ง-ทำละลายเพิ่มขึ้นความสามารถในการอุ้มน้ำของโปรตีนมีค่าลดลง ($P<0.05$) (รูปที่ 13) เมื่อเปรียบเทียบระหว่างชุดการทดลองคือแช่ในสารละลายโซเดียมไตรพอลิฟอสเฟต และชุดควบคุม พบว่าการแช่ตัวอย่างในสารละลายโซเดียมไตรพอลิฟอสเฟตนั้นสามารถลดการสูญเสียความสามารถในการสูญเสียน้ำได้ดีกว่าชุดควบคุม ($P<0.05$) เนื่องจากคุณสมบัติของโซเดียมไตร-

ลิฟอสเฟตที่มีประจุลบหลายประจุบนโมเลกุล จึงสามารถรวมตัวกับประจุบวกที่อยู่บนโมเลกุลของโปรตีน ทำให้โปรตีนมีความสามารถในการอุ้มน้ำได้มากขึ้น ซึ่งผลที่ได้สอดคล้องกับรายงานของ Srinivassan และคณะ(1997) ที่กล่าวว่าเมื่อเก็บรักษาเนื้อปลาโดยการแช่เยือกแข็งนั้นจะทำให้ความสามารถในการความสามารถในการอุ้มน้ำลดต่ำลง รวมทั้งการละลายของโปรตีนก็ลดต่ำลงด้วยเช่นกัน คุณภาพของปลาที่ด้อยลงนี้เกิดจากสาเหตุหลายประการด้วยกัน เช่นอัตราการแช่เยือกแข็งและทำละลาย การเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิขณะทำการเก็บรักษา รวมทั้งการนำเอาเนื้อปลามาทำการละลายซ้ำขณะทำการเก็บรักษา



รูปที่ 13 ความสามารถในการอุ้มน้ำของเนื้อปลาทรายแดงแล่ที่ผ่าน การแช่เยือกแข็ง-ทำละลายในรอบต่างๆ

หมายเหตุ ตัวอักษร a b c และ d ที่แตกต่างกันในทรีตเมนท์เดียวกันบ่งชี้ความแตกต่างทางสถิติ ($P<0.05$)

2.1.5 Tmax ของโปรตีนกล้ามเนื้อปลา

Srinivasan และคณะ (1997) ได้ทำการศึกษาการเปลี่ยนแปลงของโปรตีน จาก ค่า Tmax ของโปรตีนโดยการเปลี่ยนแปลงที่เกิดขึ้นในพีคที่ 1 และ 2 เป็นระดับอุณหภูมิ ที่ทำให้โปรตีนไมโอซิน และแอคตินเกิดการสูญเสียสภาพ

จากการศึกษาพบว่ากล้ามเนื้อปลาทรายแดงสด เกิดการสูญเสียสภาพของ โปรตีนไมโอซิน และแอคตินที่อุณหภูมิ 52.67 และ 72.99 องศาเซลเซียสตามลำดับ (ตารางที่ 4 และ 5) ซึ่งใกล้เคียงกับรายงานของ Poulter และคณะ (1985) กล่าวว่า ไมโอซิน และ แอคตินของปลาทรายแดงสูญเสียสภาพที่อุณหภูมิ 52.7 และ 73.2 องศาเซลเซียสตามลำดับ จากผลการทดลองพบว่า Tmax ของไมโอซินมีค่าลดลงอย่าง ต่อเนื่องเมื่อจำนวนรอบของการแช่เยือกแข็ง-ทำละลายเพิ่มขึ้น ($P<0.05$) โดยปลาที่ ผ่านการแช่เยือกแข็ง-ทำละลายรอบที่ 5 การสูญเสียสภาพของไมโอซิน ของชุดการ ทดลองที่แช่ในสารละลายโซเดียมไตรพอลิฟอสเฟต และชุดควบคุมเกิดที่อุณหภูมิ 48.76 (ตารางที่ 5) และ 46.36 (ตารางที่ 4) องศาเซลเซียสตามลำดับ จึงอาจกล่าว ได้ว่าการแช่เนื้อปลาแล่ในสารละลายโซเดียมไตรพอลิฟอสเฟต สามารถป้องกันการสูญ เสียสภาพของไมโอซิน ได้มากกว่าชุดควบคุมอย่างมีนัยสำคัญ ($P<0.05$) แต่การแช่ เยือกแข็ง-ทำละลายไม่มีผลต่อการเปลี่ยนแปลงการสูญเสียสภาพของแอคตินทั้ง 2 ชุด การทดลอง แม้จะผ่านการแช่เยือกแข็ง-ทำละลายเป็นเวลา 5 รอบแล้วก็ตาม ($P>0.05$)

จากการทดลองสามารถทำนายได้ว่าการแช่เยือกแข็ง-ทำละลายมีผลต่อการสูญ เสียสภาพของโปรตีนไมโอซิน กล่าวคือค่า Tmax (พีคที่ 1) ลดลงตามจำนวนรอบของ การแช่เยือกแข็ง-ทำละลายเพิ่มขึ้น การแช่ตัวอย่างในสารละลายโซเดียมไตรพอลิ-ฟอสเฟตก่อน สามารถลดการสูญเสียสภาพของโปรตีนไมโอซินได้ในระดับหนึ่ง คือ อัตราการลดลงของค่า Tmax (พีคที่ 1) จะลดลงต่ำกว่าชุดควบคุมอย่างเด่นชัด ส่วน โปรตีนแอคตินพบว่าไม่เกิดการเปลี่ยนแปลงแม้ผ่านการแช่เยือกแข็ง-ทำละลายเป็น จำนวน 5 รอบแล้วก็ตาม Jiang และ Lee (1985) กล่าวว่าระหว่างเก็บรักษาเนื้อปลา ที่อุณหภูมิ -20 องศาเซลเซียส มีผลให้ความคงตัวต่อความร้อนของไมโอซินลดลง เนื่องจากในระหว่างการเก็บรักษามีการย่อยสลายตัวเองทำให้โครงสร้างของโปรตีนถูก

ทำลายและเกิดเป็นเปปไทด์ใหม่อาจมีผลที่แตกต่างกัน สอดคล้องกับรายงานของ Poulter และคณะ (1985) ได้รายงานว่าการแช่เยือกแข็งมีผลให้โปรตีนไมโอซินสูญเสียสภาพ ทำให้ความคงตัวต่อความร้อนของโปรตีนกล้ามเนื้อปลาทรายแดงลดต่ำลง แต่อย่างไรก็ตามการแช่เยือกแข็งและทำละลายมีผลต่อแอคตินน้อยมาก Rodgers และคณะ (1987) ได้กล่าวว่าโปรตีนไมโอซินจากสัตว์น้ำมีความคงตัวต่อความร้อนต่ำกว่าโปรตีนของกล้ามเนื้อสัตว์อื่นๆ การสูญเสียสภาพของไมโอซินของปลานั้นพบว่าเกิดขึ้นอย่างช้าๆ แม้ว่าจะเก็บรักษาเนื้อปลาไว้ที่อุณหภูมิต่ำแล้วก็ตาม นอกจากนี้ยังพบอีกด้วยว่าระดับความคงตัวต่อความร้อนของโปรตีนไมโอซินแตกต่างไปตามชนิดของปลา โดยปลาที่จับได้จากเขตที่มีอุณหภูมิต่ำ โปรตีนจะมีความคงตัวต่อความร้อนต่ำกว่าโปรตีนของปลาที่จับได้จากเขตน้ำอุ่น

ตารางที่ 4 ค่า Tmax ของเนื้อปลาทรายแดงแล่ที่ผ่านการแช่เยือกแข็ง-ทำละลาย

จำนวนรอบแช่เยือกแข็ง-ทำละลาย (รอบ)	ค่าความคงตัวต่อความร้อน * พีคที่ 1	พีคที่ 2
ปลาทรายแดงสด	52.67±1.16a	72.99±0.17ab
0	51.83±0.46b	72.83±0.46ab
1	50.44±0.55b	72.58±0.58b
2	49.25±0.41c	72.66±1.00ab
3	48.91±0.75cd	72.83±0.83ab
4	47.83±0.33d	73.66±1.05a
5	46.36±0.97e	73.33±1.02ab

หมายเหตุ ตัวอักษรที่เหมือนกันในสดมภ์เดียวกันไม่มีความแตกต่างกัน (P>0.05)

* ค่าเฉลี่ย± ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานจากการวิเคราะห์ 2 ครั้ง ๆ ละ 2 ซ้ำ

ตารางที่ 5 ค่า Tmaxของเนื้อปลาทรายแดงแล่ที่แช่ในสารละลายโซเดียมไตรพอลิ-ฟอสเฟตก่อนการแช่เยือกแข็ง-ทำละลาย

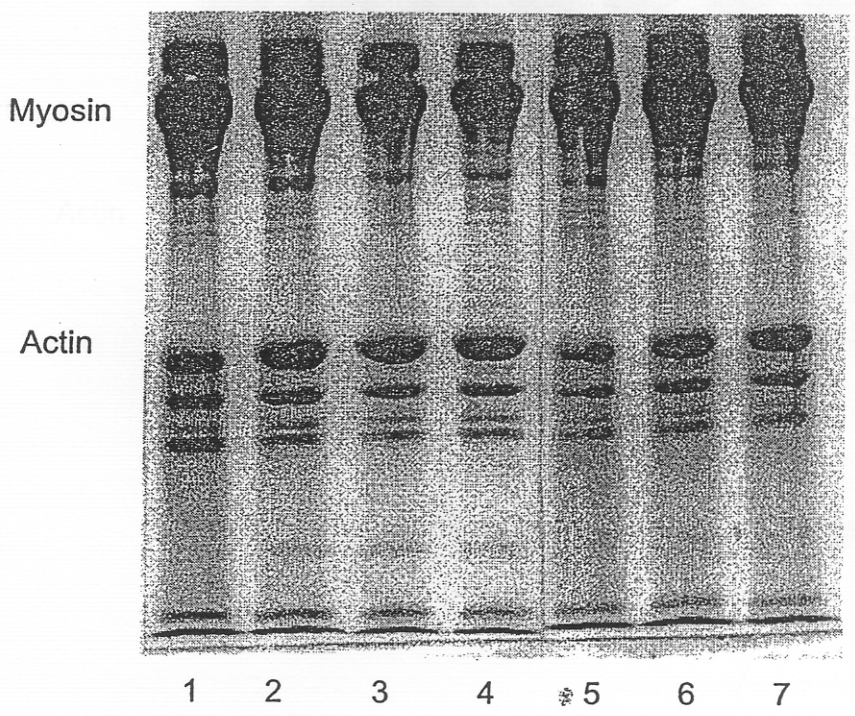
จำนวนรอบแช่เยือกแข็ง-ทำละลาย (รอบ)	ค่าความคงตัวต่อความร้อน * พีคที่ 1	พีคที่ 2
ปลาทรายแดงสด	52.67±0.06a	72.99±0.17a
0	52.03±0.52b	72.83±0.57ab
1	50.58±0.75b	72.25±0.25abc
2	49.75±0.05b	72.42±0.58abc
3	49.12±0.29c	71.41±0.25c
4	49.11±0.28c	71.91±0.08bc
5	48.76±0.74c	72.24±0.09abc

หมายเหตุ ตัวอักษรที่เหมือนกันในสดมภ์เดียวกันไม่มีความแตกต่างกัน (P>0.05)
* ค่าเฉลี่ย± ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานจากการวิเคราะห์ 2 ครั้ง ๆ ละ 2ซ้ำ

2.1.6 ตรวจสอบรูปแบบและน้ำหนักโมเลกุลของโปรตีน

ผลของการแช่เยือกแข็ง-ทำละลายเนื้อปลาทรายแดงแล่ต่อองค์ประกอบของโปรตีนโดยวิเคราะห์ด้วย SDS-PAGE เมื่อเปรียบเทียบระหว่างปลาทรายแดงสด และปลาที่ผ่านการแช่เยือกแข็ง-ทำละลายเป็นจำนวน 5 รอบ ในรูปที่ 14 และ 15 พบว่าแถบของโปรตีนไมโอซินมีปริมาณลดต่ำลงเล็กน้อย เมื่อจำนวนรอบของการแช่เยือกแข็ง-ทำละลายเพิ่มขึ้น การลดลงของไมโอซินอาจเกิดจากกิจกรรมของเอนไซม์จากเนื้อปลา และรวมทั้งจุลินทรีย์ ที่มีบทบาทเพิ่มขึ้นเมื่อจำนวนรอบของการแช่เยือกแข็ง-ทำละลายมากขึ้น แต่อย่างไรก็ตามไม่พบการเปลี่ยนแปลงของแถบแอคตินแม้จะผ่านการแช่เยือกแข็ง-ทำละลายเป็นเวลา 5 รอบแล้วก็ตาม การแช่เนื้อปลาในสารละลาย

โซเดียมไตรพอลิฟอสเฟตไม่มีผลให้แถบของไมโอซินและแอคตินที่ปรากฏนั้นแตกต่างจากชุดควบคุม Leiont และคณะ (1992) กล่าวว่าการเก็บรักษาปลาซาร์ดีนภายหลังการจับได้เก็บในน้ำแข็งพบว่า ปริมาณของซาร์โคพลาสมิกโปรตีนลดลงตามอายุการเก็บรักษา ขณะที่ปริมาณของไมโอไฟบริลล่าร์โปรตีนไม่มีการเปลี่ยนแปลง แต่อย่างไรก็ตามการวิเคราะห์องค์ประกอบของโปรตีนด้วย SDS-PAGE พบว่าการเก็บปลาในน้ำแข็งมีผลให้ปริมาณโปรตีน MHC ลดลง Jiang และ Lee (1995) รายงานถึงโปรตีนกล้ามเนื้อปลาชนิดต่างๆ ที่เก็บรักษาที่ –20 องศาเซลเซียส หลังจากผ่านการเก็บรักษา 12 สัปดาห์พบว่าไม่ปรากฏไมโอซินเส้นเบา อาจเป็นผลมาจากปฏิกิริยาระหว่างไมโอซินเส้นเบากับองค์ประกอบอื่นๆ ระหว่างการเก็บรักษาแต่ไม่พบการเปลี่ยนแปลงของแอคติน



รูปที่ 14 รูปแบบโปรตีนของเนื้อปลาทรายแดงแล่ที่ผ่านการแช่เยือกแข็ง-ทำละลายในรอบต่างๆ โดย SDS-PAGE (10% running gel และ 4% stacking gel) โดยใช้ปริมาณโปรตีน 40 ไมโครกรัม

แถวที่ 1 ปลาทรายแดงสด

แถวที่ 2 ปลาทรายแดงที่ผ่านการแช่น้ำ

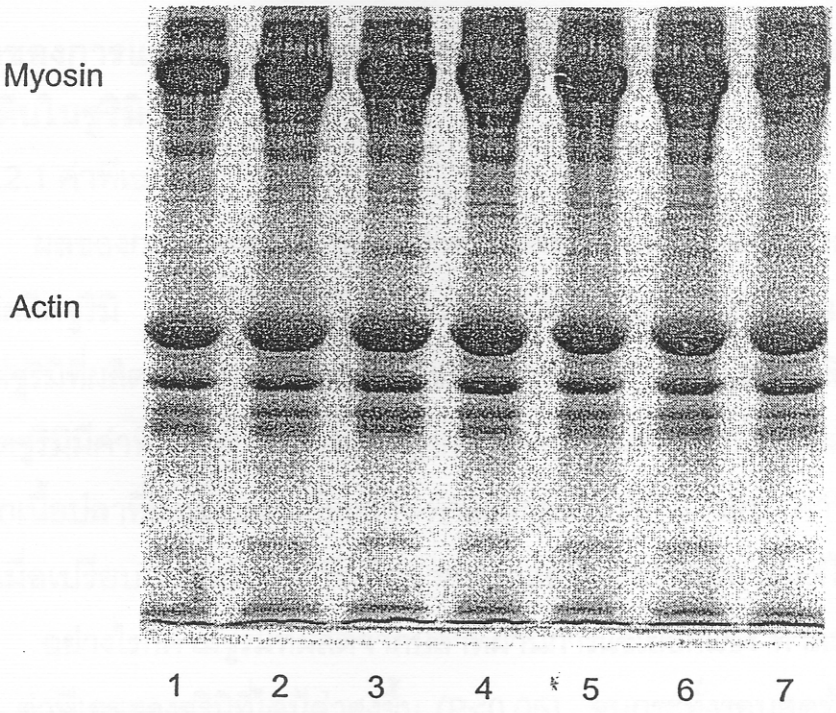
แถวที่ 3 ปลาทรายแดงที่ผ่านการแช่เยือกแข็ง-ทำละลาย 1 รอบ

แถวที่ 4 ปลาทรายแดงที่ผ่านการแช่เยือกแข็ง-ทำละลาย 2 รอบ

แถวที่ 5 ปลาทรายแดงที่ผ่านการแช่เยือกแข็ง-ทำละลาย 3 รอบ

แถวที่ 6 ปลาทรายแดงที่ผ่านการแช่เยือกแข็ง-ทำละลาย 4 รอบ

แถวที่ 7 ปลาทรายแดงที่ผ่านการแช่เยือกแข็ง-ทำละลาย 5 รอบ



รูปที่ 15 รูปแบบโปรตีนของเนื้อปลาทรายแดงแล่ที่ผ่านการแช่ในสารละลายโซเดียม-ไตรพอลิฟอสเฟตก่อนที่ผ่านการแช่เยือกแข็ง-ทำละลายในรอบต่างๆ โดย SDS-PAGE (10% running gel และ 4% stacking gel) โดยใช้ปริมาณโปรตีน 40 ไมโครกรัม

แถวที่ 1 ปลาทรายแดงสด

แถวที่ 2 ปลาทรายแดงที่ผ่านการแช่ STPP

แถวที่ 3 ปลาทรายแดงที่ผ่านการแช่เยือกแข็ง-ทำละลาย 1 รอบ

แถวที่ 4 ปลาทรายแดงที่ผ่านการแช่เยือกแข็ง-ทำละลาย 2 รอบ

แถวที่ 5 ปลาทรายแดงทีผ่านการแช่เยือกแข็ง-ทำละลาย 3 รอบ

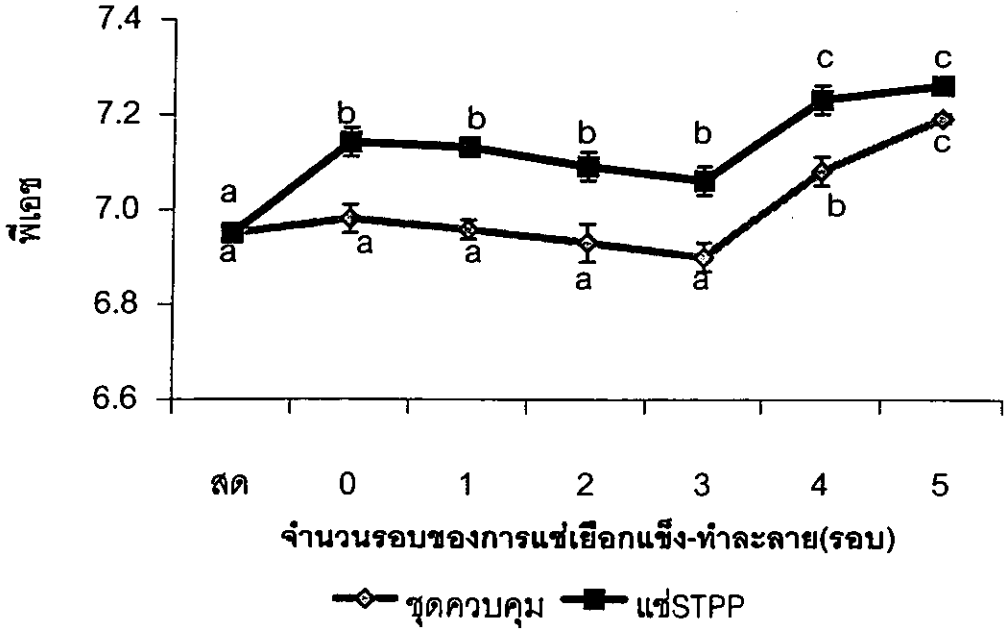
แถวที่ 6 ปลาทรายแดงที่ผ่านการแช่เยือกแข็ง-ทำละลาย 4 รอบ

แถวที่ 7 ปลาทรายแดงที่ผ่านการแช่เยือกแข็ง-ทำละลาย 5 รอบ

2.2 ผลของการแช่เยือกแข็งและทำละลายเนื้อปลาทรายแดงแล่ต่อคุณสมบัติของโปรตีนในซูริมิ

2.2.1 ค่าพีเอช

ผลของการนำเนื้อปลาทรายแดงแล่ที่ผ่านการแช่เยือกแข็ง-ทำละลายในรอบต่างๆ มาผลิตซูริมิ พบว่าซูริมิที่ได้จากปลาทรายแดงสดมีค่าพีเอชเริ่มต้นที่ 6.95 (รูปที่ 16) แต่ซูริมิที่ผลิตจากปลาทรายแดงที่แช่ในสารละลายโซเดียมไตรพอลิฟอสเฟตก่อนนำมาผลิตซูริมิมีค่าพีเอชเท่ากับ 7.14 ซึ่งสูงกว่าชุดควบคุมที่มีค่า 6.98 หลังจากนั้นซูริมิที่ผลิตจากเนื้อปลาที่ผ่านการแช่เยือกแข็ง-ทำละลายจำนวน 3 รอบ ค่าพีเอชลดต่ำลงเล็กน้อยเมื่อเปรียบเทียบกับซูริมิที่ผลิตจากปลาแล่ที่แช่สารละลายแต่ไม่ผ่านการแช่เยือกแข็ง อย่างไรก็ตามซูริมิที่ผลิตจากปลาที่ผ่านการแช่เยือกแข็ง-ทำละลายหลังจากรอบที่ 3 ค่าพีเอชของซูริมิที่ได้มีค่าสูงขึ้น ($P<0.05$) จนกระทั่งรอบสุดท้าย ค่าพีเอชของซูริมิทั้ง 2 ชุดการทดลองมีค่าประมาณ 7.20 โดยที่ซูริมิที่ผลิตจากปลาที่ผ่านการแช่ในสารละลายโซเดียมไตรพอลิฟอสเฟตของทุกๆ รอบของการแช่เยือกแข็ง-ทำละลาย ค่าพีเอชของซูริมิที่ได้มีค่าสูงกว่าชุดควบคุม ($P<0.05$) เนื่องจากสารประกอบฟอสเฟตมีค่าเป็นด่าง โดยผลที่ได้นั้นแปรผันตรงกับการตรวจค่าพีเอชของปลาแล่ จากผลการทดลองพบว่าค่าพีเอชของซูริมิมีค่าสูงกว่าค่าพีเอชของปลาแล่ ผลที่ได้สัมพันธ์กับรายงานของ Suvanich และคณะ (2000) กล่าวว่าพีเอชของซูริมิจากปลาดุกมีค่าสูงกว่าค่าพีเอชของเนื้อปลาดุกแล่ โดยให้เหตุผลว่าการล้างเนื้อปลาบดในกระบวนการผลิตซูริมินั้นได้กำจัดพวก กรดไขมันอิสระ กรดแลคติก รวมทั้งกรดต่างๆ ที่ละลายน้ำออกไป ส่งผลให้ค่าพีเอชเพิ่มสูงขึ้น



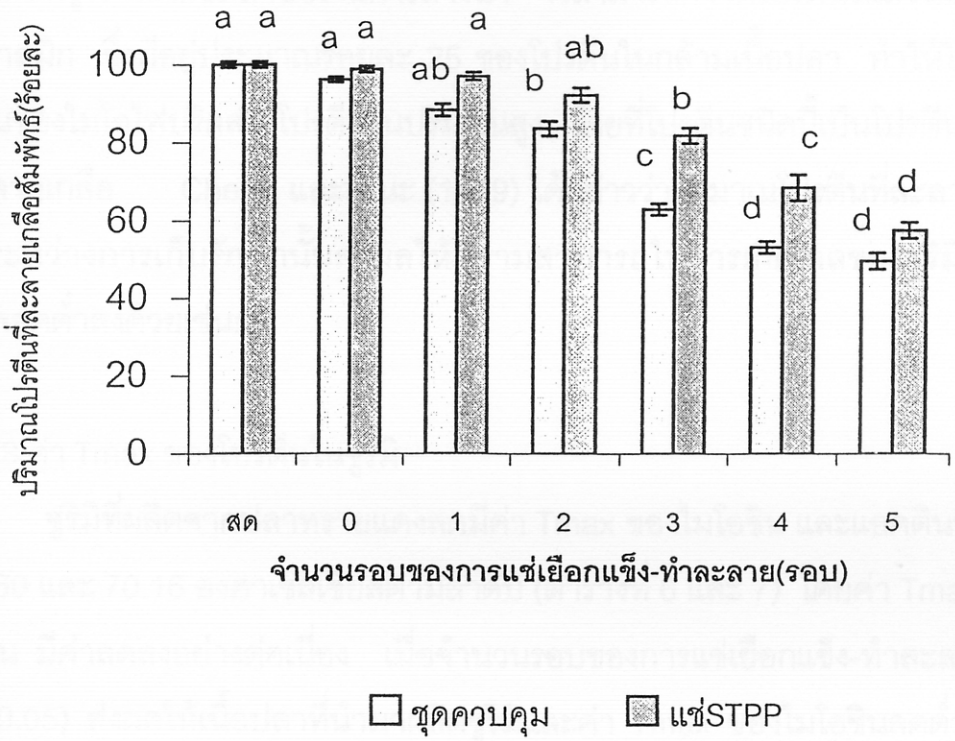
รูปที่ 16 ค่าพีเอชของซูริมิที่ผลิตจากเนื้อปลาทรายแดงแล่ที่ผ่านการแช่เยือกแข็ง-ทำละลายในรอบต่างๆ

หมายเหตุ ตัวอักษร a b และ c ที่แตกต่างกันในทรีตเมนท์เดียวกันบ่งชี้ความแตกต่างทางสถิติ ($P<0.05$)

2.2.2 ปริมาณโปรตีนที่ละลายได้ในสารละลายเกลือของซูริมิ

ผลของการนำเนื้อปลาทรายแดงแล่ที่ผ่านการแช่เยือกแข็งในรอบต่างๆ มาผลิตซูริมิ พบว่าซูริมิที่ได้จากปลาทรายแดงสดมีปริมาณโปรตีนที่ละลายได้ในสารละลายเกลือร้อยละ 97.77 (รูปที่17) แต่เมื่อนำปลาทรายแดงที่ผ่านการแช่เยือกแข็ง-ทำละลายที่รอบต่างๆ มาทำการผลิตซูริมิแล้วตรวจสอบปริมาณโปรตีนที่ละลายได้ในสารละลาย-เกลือ ปรากฏว่ามีค่าลดลงตามจำนวนรอบของการแช่เยือกแข็ง-ทำละลายที่เพิ่มขึ้น

อย่างมีนัยสำคัญ (P<0.05) ปริมาณโปรตีนที่ละลายได้ในสารละลายเกลือของซูริมิลดลงอย่างเด่นชัด เมื่อผ่านการแช่เยือกแข็ง-ทำละลายรอบที่ 3 แล้ว ผลที่ได้แปรผันตรงกับการตรวจสอบปริมาณโปรตีนที่ละลายได้ในสารละลายเกลือของเนื้อปลาแล่ ซูริมิที่ผลิตจากเนื้อปลาที่ผ่านการแช่เยือกแข็ง-ทำละลายรอบที่ 5 ของชุดควบคุมและชุดที่แช่ในสารละลายโซเดียมไตรพอลิฟอสเฟตมีปริมาณโปรตีนที่ละลายเกลือร้อยละ 40.53 และ 50.39 ตามลำดับ



รูปที่ 17 ปริมาณโปรตีนที่ละลายได้ในสารละลายเกลือของซูริมิที่ผลิตจากเนื้อปลาทรายแดงแล่ที่ผ่านการแช่เยือกแข็ง-ทำละลายในรอบต่างๆ

หมายเหตุ ตัวอักษร a b c และ d ที่แตกต่างกันในทรีตเมนท์เดียวกันบ่งชี้ความแตกต่างทางสถิติ (P<0.05)

จากผลการทดลองสามารถกล่าวได้ว่า ซูริมิที่ผลิตจากเนื้อปลาที่ผ่านการแช่-เยือกแข็ง-ทำละลายมีผลให้ปริมาณโปรตีนที่ละลายเกลือลดต่ำลง ตามจำนวนรอบของการแช่เยือกแข็ง-ทำละลายที่เพิ่มขึ้น แต่ซูริมิที่ผลิตจากเนื้อปลาที่แช่ในสารละลายโซเดียมไตรพอลิฟอสเฟตก่อนการแช่เยือกแข็งนั้นสามารถลดการสูญเสียปริมาณโปรตีนที่ละลายเกลือได้อย่างมีนัยสำคัญ ($P<0.05$) โปรตีนที่ละลายได้ในสารละลายเกลือระหว่างเนื้อปลาทรายแดงแล่กับซูริมิที่ผลิตจากเนื้อปลาแล่ พบว่าปริมาณโปรตีนที่ละลายเกลือในซูริมินั้นมีค่าสูงกว่า Sikorski และคณะ (1994) ได้กล่าวว่าในกระบวนการผลิตซูริมินั้นเนื้อปลาได้ผ่านการล้างน้ำ จึงสามารถกำจัดโปรตีนในส่วนของซาร์โค-พลาสมิก ซึ่งมีอยู่ประมาณร้อยละ 25 ของโปรตีนในกล้ามเนื้อปลา ทำให้ในซูริมิมีสัดส่วนของไมโอไฟบริลล่าร์โปรตีนในปริมาณสูง โดยที่โปรตีนชนิดนี้เป็นโปรตีนที่สามารถละลายเกลือ Cheng และคณะ (1979) ได้กล่าวว่าปริมาณโปรตีนที่ละลายเกลือลดลงระหว่างการเก็บรักษานั้นส่งผลให้ความสามารถในการเกิดเจลของซูริมิที่ได้มีคุณภาพลดต่ำลงด้วยเช่นกัน

2.2.3 ค่า Tmax ของโปรตีนในซูริมิ

ซูริมิที่ผลิตจากปลาทรายแดงสดมีค่า Tmax ของไมโอซิน และแอคตินที่อุณหภูมิ 52.60 และ 70.16 องศาเซลเซียสตามลำดับ (ตารางที่ 6 และ 7) โดยค่า Tmax ของไมโอซิน มีค่าลดลงอย่างต่อเนื่อง เมื่อจำนวนรอบของการแช่เยือกแข็ง-ทำละลายเพิ่มขึ้น ($P<0.05$) ส่งผลให้เนื้อปลาที่นำมาผลิตซูริมิและค่า Tmax ของไมโอซินลดต่ำลง โดยผลที่ได้ แปรผันตรงกับค่า Tmax ของโปรตีนไมโอซินของเนื้อปลาแล่ แต่แอคตินไม่เกิดการเปลี่ยนแปลงแม้ผ่านการแช่เยือกแข็ง-ทำละลายเป็นเวลา 5 รอบแล้วก็ตาม ($P>0.05$) เมื่อศึกษาถึงผลของโซเดียมไตรพอลิฟอสเฟตต่อค่า Tmax ของไมโอซิน และแอคตินพบว่าให้ผลไม่แตกต่างจากชุดควบคุม ($P>0.05$) จากผลการทดลองสามารถกล่าวได้ว่าการแช่เยือกแข็ง-ทำละลาย มีผลต่อค่า Tmax ของโปรตีนไมโอซิน

ตารางที่ 6 ค่า Tmax ของซูริมิที่ผลิตจากเนื้อปลาทรายแดงแล่ที่ผ่านการแช่เยือกแข็ง-ทำละลาย

จำนวนรอบแช่เยือกแข็ง-ทำละลาย (รอบ)	ค่าความคงตัวต่อความร้อน *	
	พีคที่ 1	พีคที่ 2
ปลาทรายแดงสด	52.60±0.16a	70.16±1.83a
0	51.61±0.44b	69.59±1.99a
1	50.75±0.75b	68.33±2.50a
2	50.58±0.42bc	68.09±1.24a
3	50.49±0.66bc	68.00±1.17a
4	50.66±0.99bc	68.58±0.42a
5	49.83±0.83c	67.91±0.75a

หมายเหตุ ตัวอักษรที่เหมือนกันในสดมภ์เดียวกันไม่มีความแตกต่างกัน ($P>0.05$)

* ค่าเฉลี่ย ±ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานจากการวิเคราะห์ 2 ครั้ง ๆ ละ 2ซ้ำ

ตารางที่ 7 ค่า Tmaxของซูริมิที่ผลิตจากเนื้อปลาทรายแดงแล่ที่ผ่านการแช่ในสารละลายโซเดียมไตรพอลิฟอสเฟตก่อนแช่เยือกแข็ง -ทำละลาย

จำนวนรอบแช่เยือกแข็ง-ทำละลาย (รอบ)	ค่าความคงตัวต่อความร้อน *	
	พีคที่ 1	พีคที่ 2
ปลาทรายแดงสด	52.60±0.10a	70.16±1.83a
0	51.76±0.59b	69.91±1.88a
1	50.99±0.83bc	69.58±1.75a
2	50.71±0.62bcd	67.89±0.06a
3	50.16±0.36cd	67.50±0.17a
4	50.25±0.75cd	67.60±0.05a
5	49.67±0.66d	67.59±1.23a

หมายเหตุ ตัวอักษรที่เหมือนกันในสดมภ์เดียวกันไม่มีความแตกต่างกัน (P>0.05)
* ค่าเฉลี่ย ±ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานจากการวิเคราะห์ 2 ครั้ง ๆ ละ 2ซ้ำ

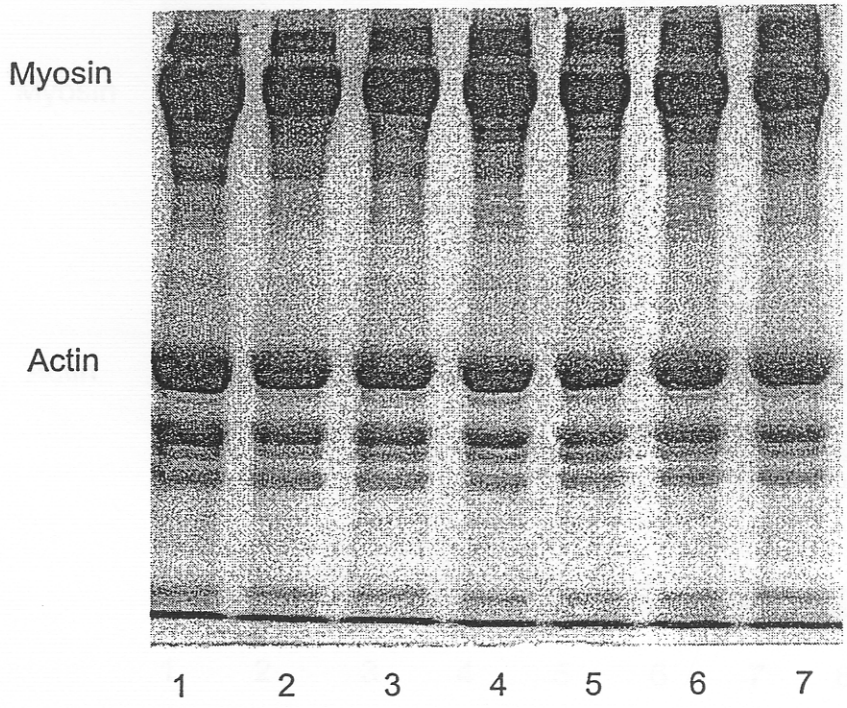
Matsunage และคณะ (1990) กล่าวว่าโปรตีนของซูริมิเกิดการสูญเสียสภาพที่อุณหภูมิสูงกว่าโปรตีนของปลาสด เนื่องจากซูริมิมีการเติมสารไคโอโปรแทคแตนท์ซึ่งมีผลช่วยเสริมการเกิดปฏิกิริยาระหว่างโมเลกุลโปรตีน เช่นสารประกอบฟอสเฟตทำให้โปรตีนจับตัวกันดีขึ้นไม่สูญเสียสภาพได้ง่าย สำหรับ Connell (1961) รายงานว่าความคงตัวต่อความร้อนของโปรตีนในกล้ามเนื้อปลามีความสัมพันธ์กับอุณหภูมิแหล่งน้ำที่ปลาชนิดนั้นอาศัยอยู่ ในกรณีของซูริมิที่มีไมโอไฟบริลล่าร์โปรตีนเป็นองค์ประกอบหลักและเป็นโปรตีนที่มีความสำคัญต่อสมบัติเชิงหน้าที่ของซูริมิ ดังนั้นการติดตามการสูญเสียสภาพของโปรตีนชนิดนี้ในซูริมิจึงสามารถทำได้โดยวิเคราะห์การเปลี่ยนแปลงความ

สามารถเกิดเจลของซูริมิจากคุณภาพของเจลที่เตรียมได้เช่นการตรวจสอบความแข็งแรงของเจล

2.2.4 ตรวจสอบรูปแบบและน้ำหนักโมเลกุลของโปรตีน

ผลของการนำเนื้อปลาทรายแดงแล่ที่ผ่านการแช่เยือกแข็ง-ทำละลายในรอบต่างๆ มาผลิตซูริมิจากนั้นศึกษาองค์ประกอบของโปรตีนโดยวิเคราะห์ด้วย SDS-PAGE ปรากฏว่าแถบโปรตีนไมโอซินลดต่ำลง เมื่อจำนวนรอบของการแช่เยือกแข็ง-ทำละลายเพิ่มมากขึ้น (รูปที่ 18 และ 19) เนื้อปลาที่แช่ในสารละลายโซเดียมไตรพอลิฟอสเฟตไม่มีผลให้แถบของไมโอซินลดลงในอัตราส่วนที่ต่ำกว่าชุดควบคุม จากผลการทดลองสามารถกล่าวได้ว่า การเปลี่ยนแปลงของโปรตีนไมโอซินและแอคติน นั้นแปรผันตามจำนวนรอบของการแช่เยือกแข็ง-ทำละลาย

Chan และคณะ (1995) รายงานว่าในระหว่างการเก็บรักษาซูริมิที่ผลิตได้จากปลาแฮริ่งไว้ที่อุณหภูมิ – 20องศาเซลเซียส ส่งผลต่อโปรตีน MHC คือมีปริมาณลดลง สอดคล้องกับรายงานของ Nomura และคณะ (1995) ได้กล่าวว่าการลดลงของโปรตีนไมโอซิน มีความสัมพันธ์กับการสูญเสียความยืดหยุ่นของเจล สำหรับ Wan และคณะ (1995) กล่าวว่าปริมาณโปรตีนในซูริมิมีบทบาทสำคัญต่อการเกิดเจลซูริมิ เช่น ซูริมิที่ผลิตจากปลา chum salmon ที่มีโปรตีนไมโอซินเส้นหนัก ร้อยละ 20 มีความแข็งแรงของเจลต่ำกว่าเมื่อเปรียบเทียบกับซูริมิที่ผลิตจากปลา pollack ซึ่งมีโปรตีนสูงถึงร้อยละ



รูปที่ 18 รูปแบบโปรตีนของซูริมิที่ผลิตจากปลาทรายแดงแล่ที่ผ่านการแช่เยือกแข็ง-ทำละลายในรอบต่างๆ โดย SDS-PAGE (10% running gel และ 4% stacking gel) โดยใช้ปริมาณโปรตีน 40 ไมโครกรัม

แถวที่ 1 ซูริมิจากปลาทรายแดงสด

แถวที่ 2 ซูริมิจากปลาทรายแดงที่ผ่านการแช่น้ำ

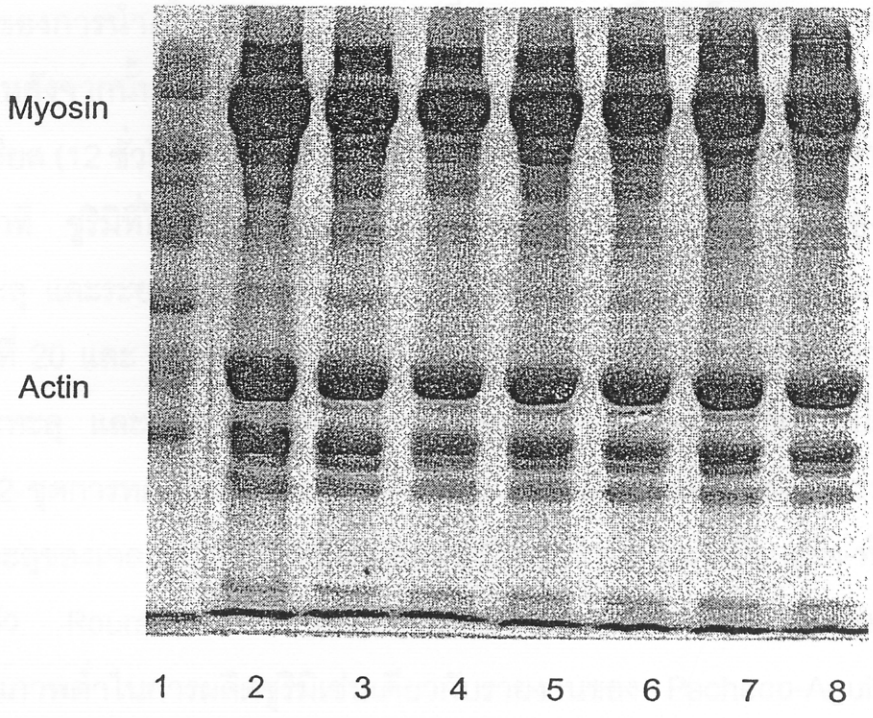
แถวที่ 3 ซูริมิจากปลาทรายแดงที่ผ่านการแช่เยือกแข็ง-ทำละลาย 1 รอบ

แถวที่ 4 ซูริมิจากปลาทรายแดงที่ผ่านการแช่เยือกแข็ง-ทำละลาย 2 รอบ

แถวที่ 5 ซูริมิจากปลาทรายแดงที่ผ่านการแช่เยือกแข็ง-ทำละลาย 3 รอบ

แถวที่ 6 ซูริมิจากปลาทรายแดงที่ผ่านการแช่เยือกแข็ง-ทำละลาย 4 รอบ

แถวที่ 7 ซูริมิจากปลาทรายแดงที่ผ่านการแช่เยือกแข็ง-ทำละลาย 5 รอบ



รูปที่ 19 รูปแบบโปรตีนของปลาทรายแดงแล่ที่ผ่านการแช่ในสารละลายโซเดียมไตรพอ-ลิฟอสเฟตก่อนที่ผ่านการแช่เยือกแข็ง-ทำละลายในรอบต่างๆ โดย SDS-PAGE (10% running gel และ 4% stacking gel)โดยใช้ปริมาณโปรตีน 40 ไมโครกรัม

แถวที่ 1 โปรตีนมาตรฐาน

แถวที่ 2 ซูริมิจากปลาทรายแดงสด

แถวที่ 3 ซูริมิจากปลาทรายแดงที่ผ่านการแช่ STPP

แถวที่ 4 ซูริมิจากปลาทรายแดงที่ผ่านการแช่เยือกแข็ง-ทำละลาย 1 รอบ

แถวที่ 5 ซูริมิจากปลาทรายแดงที่ผ่านการแช่เยือกแข็ง-ทำละลาย 2 รอบ

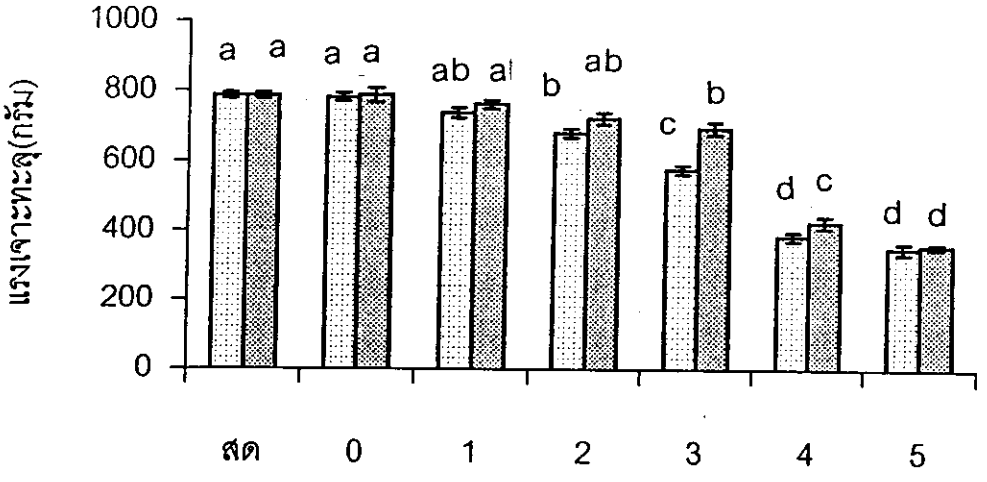
แถวที่ 6 ซูริมิจากปลาทรายแดงที่ผ่านการแช่เยือกแข็ง-ทำละลาย 3 รอบ

แถวที่ 7 ซูริมิจากปลาทรายแดงที่ผ่านการแช่เยือกแข็ง-ทำละลาย 4 รอบ

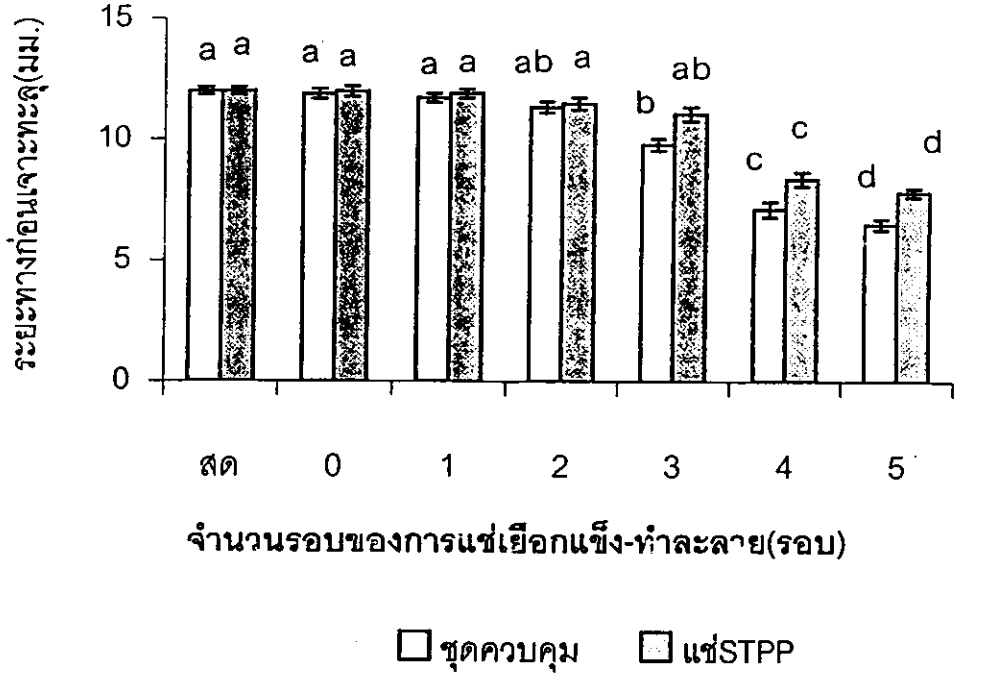
แถวที่ 8 ซูริมิจากปลาทรายแดงที่ผ่านการแช่เยือกแข็ง-ทำละลาย 5 รอบ

2.2.5 ตรวจสอบความแข็งแรงของเจล

ผลของการนำเนื้อปลาทรายแดงแล่ที่ผ่านการแช่เยือกแข็งจากรอบต่างๆ มาผลิตซูริมิ หลังจากนั้นทำการเตรียมเจลซูริมิภายใต้สภาวะที่มีการเซ็ตตัวที่อุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียส (12 ชั่วโมง) และตามด้วยการให้ความร้อนที่อุณหภูมิ 90 องศาเซลเซียส นาน 20 นาที ซูริมิที่ได้จากเนื้อปลาทรายแดงสดมีค่าความแข็งแรงของเจลสูง คือมีค่าแรงเจาะทะลุ และระยะทางก่อนเจาะทะลุ 787.41 กรัม และ 11.98 มิลลิเมตร ตามลำดับ (รูปที่ 20 และ 21) พบว่าเมื่อจำนวนรอบของการแช่เยือกแข็ง-ทำละลายเพิ่มขึ้น ค่าแรงเจาะทะลุ และระยะทางก่อนเจาะทะลุ ของเจลซูริมิที่เตรียมจากเนื้อปลาทราย-แดงแล่ทั้ง 2 ชุดการทดลองมีค่าลดลง ($P<0.05$) โดยค่าแรงเจาะทะลุ และระยะทางก่อนเจาะทะลุของเจลมีค่าลดลงอย่างชัดเจนหลังจากผ่านการแช่เยือกแข็ง-ทำละลายรอบที่ 3 แล้ว Roura และคณะ (1992) กล่าวว่าความแข็งแรงของเจลลดลง เมื่อใช้ปลาที่มีคุณภาพต่ำในการผลิตซูริมิเช่นเดียวกับรายงานของ Pacheco-Aguilar และคณะ (1998) และ Lee (1986) รายงานว่าความสดของปลาเป็นปัจจัยสำคัญที่มีผลต่อคุณภาพของเจลซูริมิ สำหรับ Yean และคณะ (1992) ได้รายงานว่าซูริมิที่ผลิตจากปลาทรายแดงที่ผ่านการเก็บรักษาในน้ำแข็งไว้นาน 2 วันมีผลให้เจลมีความแข็งแรงต่ำกว่าเจลซูริมิที่ได้จากปลาทรายแดงสด และคุณภาพของเจลจะไม่เป็นที่ยอมรับเมื่อใช้ปลาที่ผ่านการเก็บรักษาไว้นานกว่า 4 วัน Haard และ Warren (1985) รายงานว่าความสามารถเกิดเจลของซูริมิที่ผลิตจากปลาที่ผ่านการเก็บรักษาจะแตกต่างกันไปตามชนิดของปลา เช่น Kurokawa (1979) รายงานว่าความแข็งแรงของเจลที่ได้จากปลาปากคมลดลงร้อยละ 50 เมื่อใช้ปลาที่ผ่านกาฯเก็บรักษาไว้ในน้ำแข็งนาน 3 วันเป็นวัตถุดิบ เช่นเดียวกับคุณภาพของเจลซูริมิที่ผลิตจากปลาอลาสกาพอลแลคที่ผ่านการเก็บไว้ในน้ำแข็ง 3-4 วันมีคุณภาพของเจลต่ำลง (Lee, 1986) แต่ปลาโฮกิที่เก็บรักษาในน้ำแข็งนานถึง 10 วันสามารถใช้ผลิตซูริมิที่มีคุณภาพสูงได้ (MacDonald *et al* ., 1990)



รูปที่ 20 แรงเจาะทะลุของเจลซูริมิที่ผลิตจากเนื้อปลาทรายแดงที่ผ่านการแช่เยือกแข็ง-ทำละลายในรอบต่างๆ



รูปที่ 21 ระยะทางก่อนเจาะทะลุของเจลซูริมิที่ผลิตจากเนื้อปลาทรายแดงที่ผ่านการแช่เยือกแข็ง-ทำละลายในรอบต่างๆ

หมายเหตุ ตัวอักษร a b c และ d ที่แตกต่างกันในทรีตเมนท์เดียวกันบ่งชี้ความแตกต่างทางสถิติ ($P<0.05$)

ส่วน McDonald และคณะ (1994) รายงานความเป็นไปได้ของการใช้วัตถุดิบที่ผ่านการแช่เยือกแข็งในการผลิตซูริมิด้วยการวิเคราะห์คุณภาพเจล พบว่าคุณภาพเจลที่ได้จากซูริมิที่ผลิตจากปลาpacific whiting บดซึ่งเติมซูโครสร้อยละ 12 และ พอลิฟอสเฟตร้อยละ 0.2 ที่ผ่านการเก็บรักษาไว้ที่อุณหภูมิ –20 และ –50 องศาเซลเซียสนาน 6 เดือนนั้นให้ผลที่ไม่แตกต่างกันทางสถิติจากคุณภาพของเจลซที่ได้จากซูริมิปกติ เช่นเดียวกับรายงานของ Simpson และคณะ (1994) ได้ใช้วัตถุดิบที่ผ่านการแช่เยือกแข็งในการผลิตซูริมิ แสดงให้เห็นว่าซูริมิที่ผลิตได้จากเนื้อปลาบดแช่เยือกแข็งซึ่งใช้ซูโครสร้อยละ 12 และพอลิฟอสเฟตร้อยละ 0.2 เป็นสารป้องกันการสูญเสียสภาพธรรมชาติของโปรตีนและผ่านการเก็บรักษาไว้ที่อุณหภูมิ –20 และ –50 องศาเซลเซียสเป็นเวลา 9 เดือน เจลที่เตรียมได้จากซูริมิมีคุณภาพไม่แตกต่างในทางสถิติจากคุณภาพของเจลที่เตรียมจากซูริมิที่ผลิตได้จากปลาสดและเก็บไว้ในห้องเย็นในเวลาเดียวกัน

เมื่อเปรียบเทียบระหว่างเจลซูริมิที่เตรียมจากเนื้อปลาที่ผ่านการแช่ในสารละลายโซเดียมไตรพอลิฟอสเฟต และชุดควบคุม พบว่า ค่าแรงเจาะทะลุและระยะทางก่อนเจาะทะลุของเนื้อปลาที่ผ่านการแช่ในสารละลายโซเดียมไตรพอลิฟอสเฟต มีอัตราลดลงต่ำกว่าเจลซูริมิที่เตรียมจากชุดควบคุม ($P<0.05$) แต่เจลซูริมิที่เตรียมจากเนื้อปลาแล่ที่ผ่านแช่เยือกแข็ง-ทำละลายเป็นเวลา 5 รอบของทั้ง 2 ชุดการทดลองให้ผลที่ไม่แตกต่างกัน คือมีค่าแรงเจาะทะลุ และระยะก่อนเจาะทะลุ อยู่ในช่วง 350-357 กรัม และ 6.48 -6.64 มิลลิเมตรตามลำดับถือว่าเจลที่ได้มีคุณภาพต่ำ Shaban และคณะ (1985) กล่าวว่าปัจจัยที่มีผลต่อคุณภาพของซูริมิในระหว่างการเก็บรักษาในสภาพแช่เยือกแข็งคืออุณหภูมิของห้องเย็นที่ใช้เก็บรักษา และความแปรปรวนของอุณหภูมิห้องเย็นขณะทำการเก็บ จากผลการทดลองสามารถกล่าวได้ว่าความแข็งแรงของเจลซูริมิมีความสัมพันธ์กับปริมาณโปรตีนที่ละลายได้ในสารละลายเกลือคือ มีปริมาณลดต่ำลงเมื่อจำนวนรอบของการแช่เยือก-แข็ง-ทำละลายมากขึ้น มีผลให้ความสามารถในการเกิดเจลของซูริมิลดลง

3 ผลของโซเดียมไตรพอลิฟอสเฟตต่อการเกิดเจลซูวาริ และ คามาโบโกะ

3.1 ค่า Tmax ของโปรตีน

จากการศึกษาผลของโซเดียมไตรพอลิฟอสเฟต และเกลือต่อคุณภาพของเจลซูวาริ (เจลที่ผ่านการเซ็ตตัวที่อุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียส 12 ชั่วโมงแต่ไม่ผ่านการให้ความร้อน) และเจลคามาโบโกะ (เจลที่ผ่านการเซ็ตตัวที่อุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียส 12 ชั่วโมง และผ่านการให้ความร้อนที่อุณหภูมิ 90 องศาเซลเซียส) พบว่าเจลซูวาริที่เตรียมโดยมีการเติมเกลือร่วมกับโซเดียมไตรพอลิฟอสเฟต (โซเดียมคลอไรด์ร้อยละ 3 และโซเดียมไตรพอลิฟอสเฟตร้อยละ 0.2 โดยน้ำหนัก) มีค่า Tmax ของโปรตีนไมโอซิน และแอคติน ที่อุณหภูมิ 48.00 และ 71.45 องศาเซลเซียส สำหรับเจลซูวาริที่เตรียมโดยมีการเติมเกลือเพียงอย่างเดียวมีค่า Tmax ของโปรตีนดังกล่าวที่อุณหภูมิ 47.16 และ 71.28 องศาเซลเซียส จากผลการทดลองสามารถกล่าวได้ว่าค่า Tmax ของโปรตีนไมโอซิน ของทั้ง 2 ชุดการทดลองมีค่าไม่แตกต่างกัน

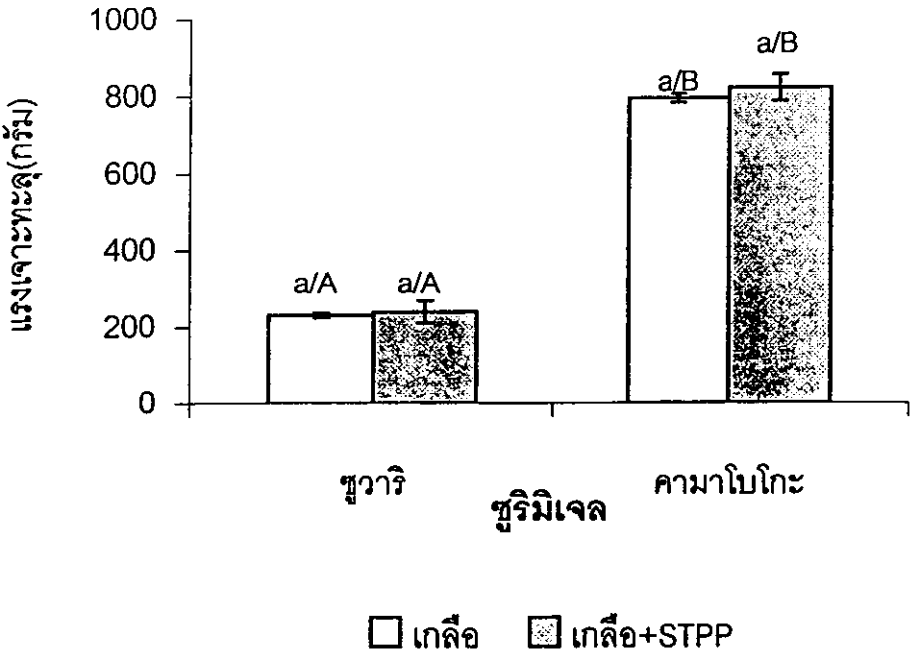
3.2 ตรวจสอบความแข็งแรงของเจล

จากการศึกษาพบว่าการเตรียมเจลโดยการเติมเกลือเพียงอย่างเดียว และการเติมเกลือร่วมกับโซเดียมไตรพอลิฟอสเฟตร้อยละ 0.2 ต่อคุณภาพเจลซูวาริที่ได้มีค่าแรงเจาะทะลุ และระยะทางก่อนเจาะทะลุไม่แตกต่างกัน ($P>0.05$) แต่ในเจลคามาโบโกะพบว่าให้ผลของค่าแรงเจาะทะลุที่แตกต่างกัน ($P<0.05$) คือเจลคามาโบโกะที่เตรียมโดยมีการเติมโซเดียมไตรพอลิฟอสเฟตร่วมกับเกลือ มีค่าแรงเจาะทะลุ 920.18 กรัม (รูปที่ 22) ซึ่งสูงกว่าชุดการทดลองที่มีการเติมเกลือเพียงอย่างเดียว Okada (1985) กล่าวว่าโซเดียมไตรพอลิฟอสเฟตที่มีความเข้มข้นร้อยละ 0.1-0.3 โดยน้ำหนักมีประสิทธิภาพในการเพิ่มความแข็งแรงของเจล คือสารประกอบฟอสเฟตมีผลให้ไมโอไฟบริลล่าร์โปรตีนละลายออกมาได้มาก โดยเป็นผลมาจากปัจจัยที่สำคัญ 3 ประการ คือ เพิ่มความเป็นกรดด่าง การเพิ่มความแรงอิออน และการเกิดปฏิกิริยากับโปรตีนไมโอซิน

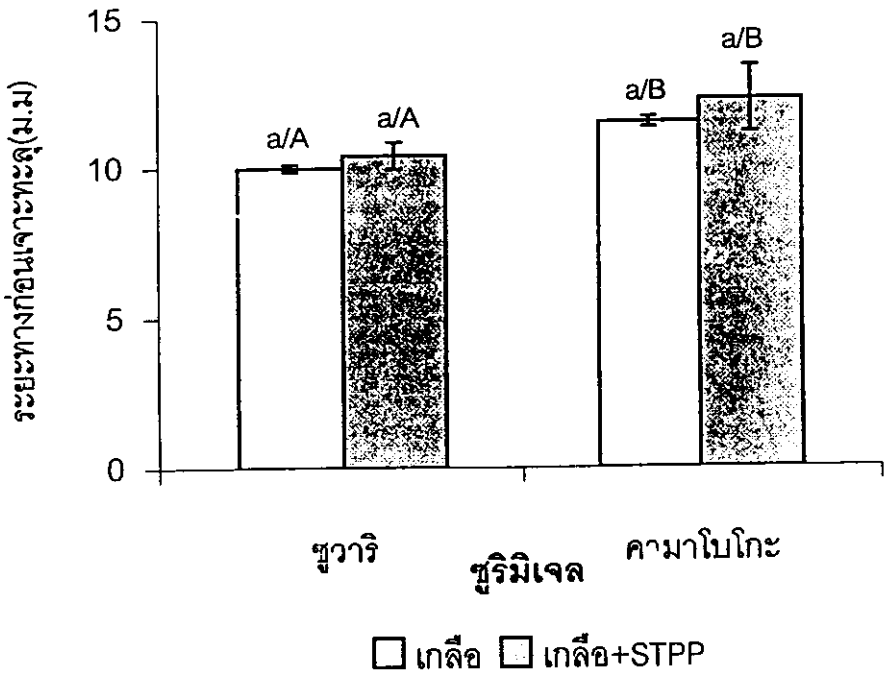
เมื่อเปรียบเทียบคุณภาพเจลระหว่างเจลซูวาริและเจลคามาโบโกะ พบว่าเจล

คามาโบโกะที่ได้มีค่าแรงเจาะทะลุ และระยะทางก่อนเจาะทะลุสูงกว่า ($P<0.05$) เนื่องจากเจลที่ผ่านการเซ็ตตัวแล้วผ่านด้วยการให้ความร้อน มีความแข็งแรงของเจลสูงกว่าเจลซูวาริที่ผ่านการเซ็ตตัวเพียงอย่างเดียว ทั้งนี้เนื่องจากการให้ความร้อนที่อุณหภูมิสูงส่งเสริมการจัดเรียงตัวของโปรตีนโดยพันธะชนิดต่างๆ โดยเฉพาะพันธะไฮโดรโฟบิกและพันธะไดซัลไฟด์เพิ่มขึ้นทำให้ความแข็งแรงของเจลเพิ่มขึ้น Chen และคณะ(1992) กล่าวว่าไมโอไฟบริลล่าร์โปรตีนเป็นโปรตีนชนิดที่ละลายในเกลือ เมื่อนำปลาบดซึ่งมีไมโอไฟบริลล่าร์โปรตีนเป็นองค์ประกอบหลักมาบดผสมกับเกลือจะเกิดการคลายตัวของโปรตีน และเกิดเป็นร่างแหของโปรตีน ดังนั้นการเซ็ตตัวของเนื้อปลาบดที่อุณหภูมิต่ำกว่าอุณหภูมิห้องจะเพิ่มการคลายตัวของโปรตีน และเพิ่มการทำปฏิกิริยาระหว่างหมู่ที่ไม่ชอบน้ำบนโซ่โปรตีน ส่งผลให้โครงสร้างที่แข็งแรงกว่าเนื้อปลาบดที่ไม่ได้เซ็ตตัวก่อนการให้ความร้อน นอกจากนี้โครงสร้างของเจลที่แข็งแรงเกิดจากสมดุลย์ระหว่างโปรตีนกับน้ำ ส่วนการจับตัวกันของหมู่ที่ไม่ชอบน้ำและพันธะไดซัลไฟด์เป็นสิ่งสำคัญที่มีผลต่อความแข็งแรงของโครงสร้างภายในเจล

Lanier และคณะ (1982) รายงานว่าการเก็บโซลไว้ที่อุณหภูมิต่ำหรือการให้ความร้อนที่อุณหภูมิต่ำ เช่นที่อุณหภูมิ 0 หรือ 10 องศาเซลเซียสเป็นระยะเวลาหนึ่งก่อนให้ความร้อนที่อุณหภูมิสูงมีผลให้เจลที่ได้มีความคงตัวและมีความแข็งแรงที่ดี เนื่องจากการเตรียมเจลในลักษณะนี้การคลายตัวของโปรตีนจะเกิดขึ้นอย่างช้าๆ ทำให้ปฏิกิริยาระหว่างโปรตีนที่คลายตัวออกมาเกิดขึ้นอย่างมีระเบียบโครงสร้างของเจลจึงมีความต่อเนื่อง Foegeding และคณะ (1986) กล่าวว่าการใช้สารประกอบฟอสเฟตในซูริมิ มีผลให้เจลมีความแข็งแรงและมีความสามารถอุ้มน้ำได้มากขึ้น โดยโซเดียมไพโรฟอสเฟตและโซเดียมไตรพอลิฟอสเฟต มีประสิทธิภาพเพิ่มความแข็งแรงและความสามารถในการอุ้มน้ำของเจลซูริมิที่ดี



รูปที่ 22 แรงเจาะทะลุของเจลซูริมิที่เตรียมโดยเติมเกลือและสารประกอบโซเดียมไตร-พอลิฟอสเฟตของเจลซูวาริและเจลคามาโบโกะ



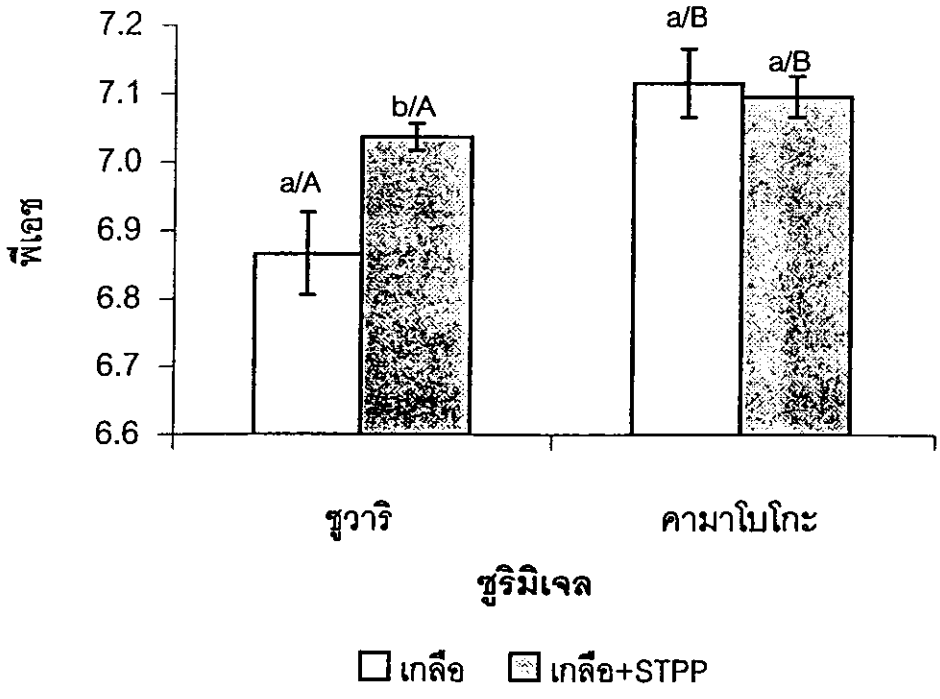
รูปที่ 23 ระยะทางก่อนเจาะทะลุของเจลซูริมิที่เตรียมโดยเติมเกลือและสารประกอบโซ-เดียมไตรพอลิฟอสเฟตของเจลซูวาริและเจลคามาโบโกะ

หมายเหตุ ตัวอักษร a b ที่แตกต่างกัน ในเจลชนิดเดียวกันที่เติมสารต่างกัน มีความแตกต่างทางสถิติ ($P<0.05$)
ตัวอักษร A B ที่แตกต่างกัน ของสารที่เติมเหมือนกันในเจลต่างชนิดกัน มีความแตกต่างทางสถิติ ($P<0.05$)

ส่วน Konno (1992) กล่าวว่าการใช้สารประกอบฟอสเฟตร่วมกับเกลือจะมีผลให้ความสามารถเกิดเจลของโปรตีนไมโอซินเพิ่มมากขึ้น โดยอาจเป็นผลจากการสูญเสียสภาพของโปรตีนไมโอซินที่แยกตัวออกจากโปรตีนแอคติน หรือเกิดจากสารประกอบฟอสเฟตทำปฏิกิริยาโดยตรงกับโปรตีนไมโอซิน คือทำให้โปรตีนเกิดการคลายตัวได้สมบูรณ์ยิ่งขึ้น และเกิดการจับตัวกันของโปรตีนเป็นโครงสร้างตาข่ายที่เป็นระเบียบและต่อเนื่อง จึงส่งผลให้เจลที่ได้มีความแข็งแรง

3.3 ค่าพีเอช

เมื่อเปรียบเทียบค่าพีเอช ระหว่างเจลซูวาริ และเจลคามาโบโกะ พบว่าเจลคาโบโกะที่ได้มีค่าพีเอชสูงกว่า ($P<0.05$) (รูปที่ 24) สำหรับเจลที่มีการเติมเกลือร่วมกับโซเดียมไตรโพลีฟอสเฟตนั้น มีผลให้ค่าพีเอชเป็นกลางมากกว่า



รูปที่ 24 ค่าพีเอชของเจลซูริมิที่เตรียมโดยเติมเกลือและสารประกอบโซเดียมไตรพอลิ-ฟอสเฟตของเจลซูวาริและเจลคามาโบโกะ

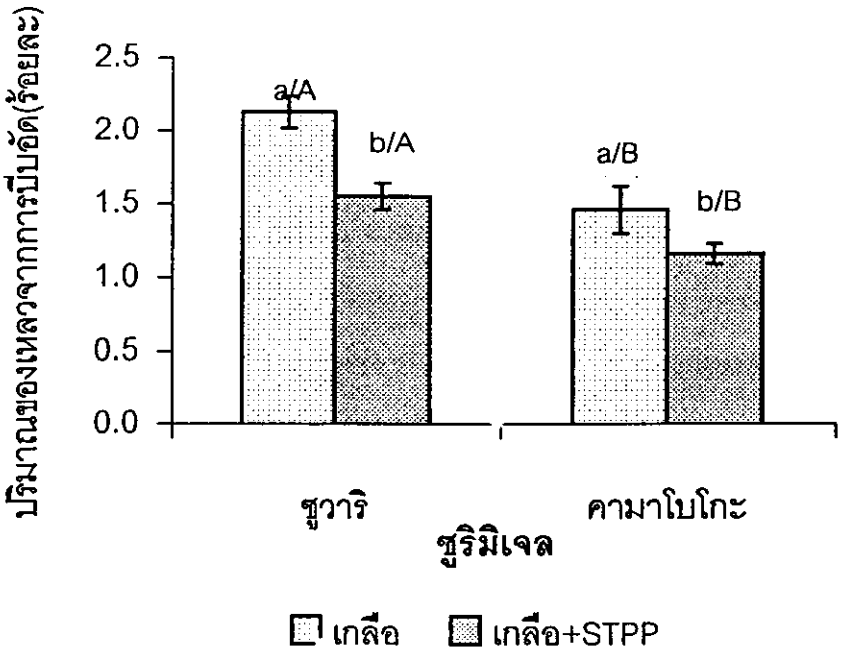
หมายเหตุ ตัวอักษร a b ที่แตกต่างกัน ในเจลชนิดเดียวกันที่เติมสารต่างกัน มีความแตกต่างทางสถิติ ($P<0.05$) ตัวอักษร A B ที่แตกต่างกัน ของสารที่เติมเหมือนกันในเจลต่างชนิดกัน มีความแตกต่างทางสถิติ ($P<0.05$)

3.4 ปริมาณของเหลวจากการบีบอัด

เมื่อพิจารณาปริมาณของเหลวจากการบีบอัดของเจลซูวาริและเจลคามาโบโกะที่มีการเติมเกลือเพียงอย่างเดียวและเติมเกลือร่วมกับโซเดียมไตรพอลิฟอสเฟต มีปริมาณของเหลวจากการบีบอัดแตกต่างกัน ($P<0.05$) ปริมาณของเหลวจากการบีบอัดของเจลซูวาริและคามาโบโกะที่เติมโซเดียมไตรพอลิฟอสเฟตร่วมด้วยพบว่ามีค่าต่ำกว่าเจลที่มีการเติมเกลือเพียงอย่างเดียว ($P<0.05$) (รูปที่ 25)

เมื่อเปรียบเทียบเจลซูวาริ และเจลคามาโบโกะพบว่าเจลซูวาริที่ไม่ผ่านการให้ความร้อนมีปริมาณของเหลวจากการบีบอัดสูงกว่า ทั้งนี้เนื่องจากการให้ความร้อนภาย

หลังการเซ็ตตัวก่อให้เกิดพันธะต่างๆ ที่มีผลให้เกิดโครงสร้างเจลที่แข็งแรงและสามารถกักเก็บน้ำภายในโครงสร้างได้อย่างมีประสิทธิภาพเพิ่มขึ้น โดยสัมพันธ์กับงานวิจัยของ Kumazawa และคณะ(1995) กล่าวว่าเจลซูวาริที่ผ่านและไม่ผ่านการให้ความร้อนมีปริมาณของเหลวจากการบีบอัดที่แตกต่างกัน โดยพบว่าเมื่ออุณหภูมิของการเซ็ตตัวเพิ่มขึ้นปริมาณของเหลวจากการบีบอัดมีค่าลดลง เมื่อเปรียบเทียบเจลซูวาริที่ไม่ผ่านและผ่านการให้ความร้อนพบว่า เจลซูวาริที่ไม่ผ่านการให้ความร้อนมีปริมาณของเหลวจากการบีบอัดสูงกว่า ทั้งนี้เนื่องจากการให้ความร้อนภายหลังการเซ็ตตัวก่อให้เกิดพันธะต่างๆที่มีผลให้เกิดโครงสร้างเจลที่แข็งแรง และสามารถกักเก็บน้ำภายในโครงสร้างได้อย่างมีประสิทธิภาพเพิ่มขึ้น



รูปที่ 25 ปริมาณของเหลวจากการบีบอัดของเจลซูริมิที่เตรียมโดยเติมเกลือและสารประกอบโซเดียมไตรพอลิฟอสเฟตของเจลซูวาริและเจลคามาโบโกะ

หมายเหตุ ตัวอักษร a b ที่แตกต่างกัน ในเจลชนิดเดียวกันที่เติมสารต่างกัน มีความแตกต่างทางสถิติ ($P<0.05$)
ตัวอักษร A B ที่แตกต่างกัน ของสารที่เติมเหมือนกันในเจลต่างชนิดกัน มีความแตกต่างทางสถิติ ($P<0.05$)

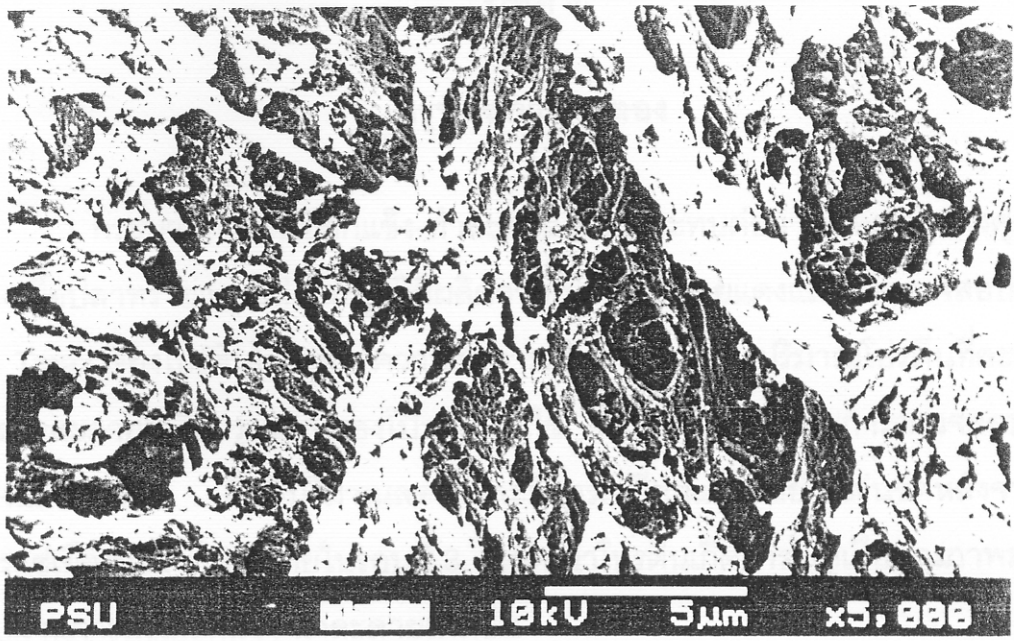
ความสามารถในการอุ้มน้ำของซูริมิขึ้นกับโครงสร้างและชนิดของโปรตีน โดยปกติน้ำจะถูกกักเก็บอยู่ในช่องว่างระหว่างเมตริกซ์

Nishimoto และคณะ (1987) ได้กล่าวว่าสำหรับซูริมิสมบัติเชิงหน้าที่ที่ดีคือ มีความสามารถในการเกิดเจลที่สามารถอุ้มน้ำไว้ได้ในปริมาณสูง และมีความยืดหยุ่น โดยที่สมบัติดังกล่าวมีความสัมพันธ์กับความสมบูรณ์ของโมเลกุลโปรตีนแอคโตไมโอซิน และการเปลี่ยนแปลงโครงร่างโมเลกุลโปรตีน โดยเฉพาะการเปลี่ยนแปลงที่เกิดขึ้นกับโปรตีนระหว่างการให้ความร้อน

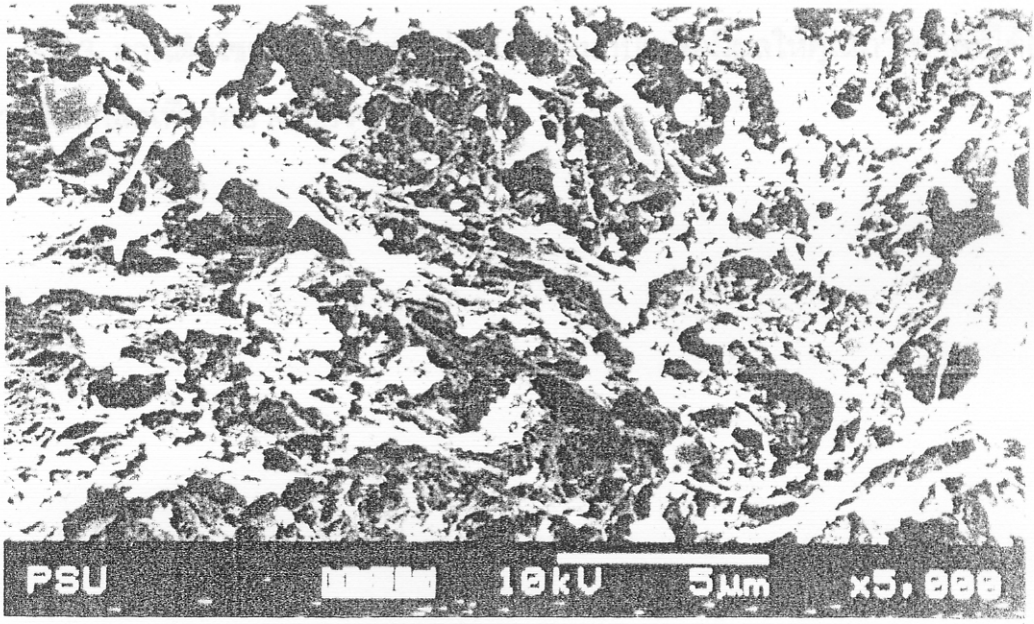
3.5 โครงสร้างจุลภาคของเจลซูริมิ

จากการวิเคราะห์โครงสร้างเจลที่เตรียมโดยใช้เกลือ และเกลือร่วมกับโซเดียม-ไตรพอลิฟอสเฟต (รูปที่ 26) แสดงให้เห็นว่าโครงสร้างร่างแหของเจลทั้ง 2 ชุดการทดลองให้ผลที่ไม่แตกต่างกัน คือโครงสร้างเส้นใยกล้ามเนื้อของโปรตีนจับตัวกันแน่นต่อเนื่องและเป็นระเบียบ สังเกตได้จากขนาดช่องว่างระหว่างโครงสร้างร่างแหของเจลที่เกิดจากการจับตัวกันของโปรตีนที่มีขนาดและการกระจายตัวที่สม่ำเสมอ Gomez-Guillen และคณะ (1997) กล่าวว่าโครงสร้างตาข่าย 3 มิติของเจล มีความสัมพันธ์กับความแข็งแรงของเจล และความสามารถในการอุ้มน้ำของเจล โดยเจลที่มีโครงสร้างแน่นและแข็งแรงจะอุ้มน้ำไว้ได้สูง โดยน้ำที่มีอยู่ในโครงสร้างของเจลนั้นเชื่อมกันว่าจะถูกตรึงอยู่ในโครงสร้าง 3 มิติของเจล

ก



ข



รูปที่ 26 โครงสร้างจุลภาคของเจลซูริมิโดยใช้ Scanning Electron Microscopy(SEM) เติมเกลือ (ก) เติมเกลือร่วมกับสารประกอบโซเดียมไตรพอลิฟอสเฟต (ข)