

บทที่ 3

ผลและวิจารณ์ผลการทดลอง

1. การวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมีของปลาตาหวานและปลาปากคม

จากการวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมีของปลาตาหวานและปลาปากคมดังตารางที่ 4 จะเห็นว่าค่าความชื้น โปรตีน ไขมัน และเถ้าของปลาปากคมมีค่าใกล้เคียงกับรายงานของ จีรวดี เทือกสุบรรณ (2544) โดยกลัมนเนื้อปลาปากคมมีปริมาณโปรตีนสูง (ร้อยละ 19.36) และมีปริมาณไขมันต่ำ (ร้อยละ 1.09) ปริมาณความชื้นร้อยละ 78.98 และปริมาณเถ้า ร้อยละ 1.05 จากการศึกษาของ อำนวย โชติญาณวงษ์ (2524) พบว่ากลัมนเนื้อปลาตาหวาน มีปริมาณโปรตีน ไขมัน ความชื้น และเถ้า ร้อยละ 18.9-19.9, 0.2-0.9, 77.6-79.9, 1.0-1.6 ตามลำดับ Stanby และ Olcott (1963) พบว่าองค์ประกอบของกลัมนเนื้อปลามีความชื้น โปรตีน ไขมัน และเถ้า อยู่ในช่วงร้อยละ 28-90, 6-28, 0.2-64 และ 0.4-1.5 ตามลำดับ โดยค่าที่ได้มีค่าแตกต่างกันในปลาต่างชนิดกัน ซึ่งเกิดจากปัจจัยเกี่ยวกับฤดูกาลในแต่ละปีของการจับและสถานที่จับปลา นอกจากนี้ยังขึ้นกับอายุ เพศ ขนาดของปลาและอุณหภูมิของแหล่งน้ำที่อาศัย ซึ่งทำให้มีองค์ประกอบทางเคมีที่แตกต่างกัน (Suzuki, 1981) และ Bennion (1980) กล่าวว่า ปลาไขมันต่ำประกอบด้วยไขมันน้อยกว่าร้อยละ 2 (โดยน้ำหนัก) ระดับไขมันปานกลางประกอบด้วยไขมันร้อยละ 2-5 และปลาไขมันสูงประกอบด้วยไขมันมากกว่าร้อยละ 5 และอาจมีไขมันมากกว่าร้อยละ 15 ในปลาบางชนิด ดังนั้นปลาตาหวานและปลาปากคมจึงจัดอยู่ในประเภทปลาไขมันต่ำ

ตารางที่ 4 องค์ประกอบทางเคมีของปลาตาหวานและปลาปากคม

องค์ประกอบ *	ปลาตาหวาน	ปลาปากคม
ความชื้น(ร้อยละโดยน้ำหนักเปียก)	77.87 ± 1.36	78.39 ± 0.74
โปรตีน (ร้อยละโดยน้ำหนักเปียก)	18.96 ± 0.58	19.36 ± 0.86
ไขมัน (ร้อยละโดยน้ำหนักเปียก)	0.26 ± 0.01	1.07 ± 0.03
เถ้า (ร้อยละโดยน้ำหนักเปียก)	1.46 ± 0.02	1.11 ± 0.04
ค่าพีเอช	6.4 ± 0.16	6.53 ± 0.23

* ค่าเฉลี่ย ± ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน จากการวิเคราะห์ปลา 3 ซ้ำ แต่ละซ้ำวัดค่า 3 ครั้ง

2. การเปลี่ยนแปลงคุณภาพของปลาระหว่างการเก็บรักษาต่อคุณสมบัติของโปรตีน

2.1 การเปลี่ยนแปลงทางกายภาพและทางเคมี

- คุณภาพจากลักษณะทางกายภาพ

จากผลการตรวจสอบคุณภาพปลาจากลักษณะทางกายภาพ โดยทดสอบทางประสาทสัมผัส ดังตารางที่ 5 พบว่าคะแนนการตรวจสอบของปลาตาหวานมีคะแนนคุณภาพโดยรวมสูงกว่าปลาปากคม เนื่องจากการเปลี่ยนแปลงลักษณะทางประสาทสัมผัสในสัตว์น้ำหลังการตายจะแตกต่างกันไปขึ้นอยู่กับชนิด ขนาด และเพศของสัตว์น้ำ วิธีการเก็บรักษา และการเปลี่ยนแปลงของสัตว์น้ำ (Lima dos Santos *et al.*, 1981) โดยปลาปากคมประกอบด้วยเอนไซม์โปรตีนสปริมาณสูง ซึ่งอาจย่อยสลายโปรตีนกล้ามเนื้อในระหว่างการขนส่งทำให้มีการเปลี่ยนแปลงคุณภาพได้อย่างรวดเร็ว (Suwansakomkul *et al.*, 1993) อย่างไรก็ตามจะเห็นว่าคะแนนการตรวจสอบปลาทั้งสองชนิดอยู่ในช่วง 7-10 ซึ่งจัดว่าเป็นปลาที่มีคุณภาพสูง

ตารางที่ 5 ลักษณะทางกายภาพของปลาตาหวานและปลาปากคม

คุณลักษณะ	คะแนนการตรวจสอบ **	
	ปลาตาหวาน *	ปลาปากคม *
ตา	8 - 9	7 - 8
สีของลำตัว	7 - 8	7 - 8
เหงือก	9 - 10	8 - 9
เนื้อสัมผัส	8 - 9	7 - 8

หมายเหตุ * คะแนน 7 - 10 สัตว์น้ำมีคุณภาพสูง

คะแนน 4 - 6 สัตว์น้ำมีคุณภาพยอมรับได้

คะแนน 1 - 3 คุณภาพของสัตว์น้ำไม่เป็นที่ยอมรับ

** คะแนนการตรวจสอบได้จากการวิเคราะห์ 3 ครั้ง ครั้งละ 5 ตัว

โดยใช้ผู้ประเมินจำนวน 3 คน

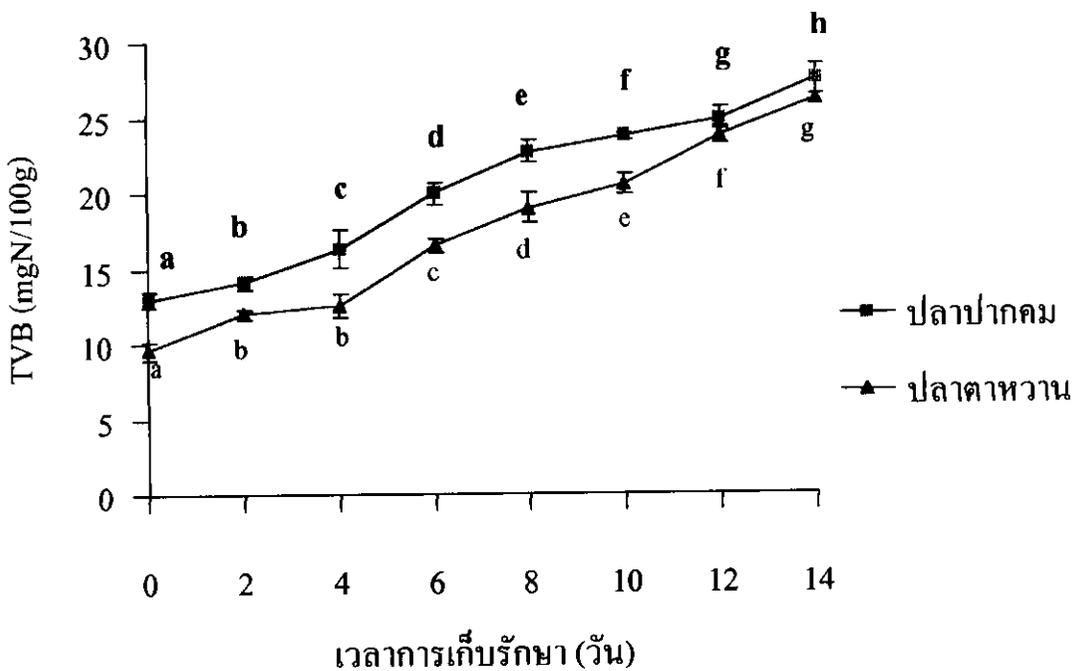
- ปริมาณ TVB-N และ TMA-N

จากการศึกษาปริมาณค่าที่ระเหยได้ (TVB-N) และ ไตรเมทิลเอมีน (TMA-N) ของกล้ามเนื้อปลาตาหวานและปลาปากคมที่เก็บรักษาในน้ำแข็งเป็นระยะเวลา 14 วัน ดังแสดงในรูปที่ 7 และ รูปที่ 8 ตามลำดับ พบว่าปริมาณ TVB-N และ TMA-N ของปลาทั้ง 2 ชนิดเพิ่มขึ้นเมื่อระยะเวลาการเก็บนานขึ้น ($P < 0.05$) โดยปริมาณเริ่มต้นของ TVB-N และ TMA-N ในปลาปากคม (12.89 ± 0.55 และ 4.64 ± 0.56 มิลลิกรัมในโตรเจนต่อ 100 กรัม ตามลำดับ) มีปริมาณมากกว่าปริมาณ TVB-N และ TMA-N เริ่มต้นของปลาตาหวาน (9.94 ± 0.37 และ 3.11 ± 0.47 มิลลิกรัมในโตรเจนต่อ 100 กรัม ตามลำดับ) Banks และคณะ (1980) และ Stanby และ Olcott (1963) กล่าวว่า ค่า TVB-N เป็นค่าที่วัดจากความสดของปลา โดยปลาสดจะต้องมีค่าน้อยกว่า 12 มิลลิกรัมในโตรเจนต่อ 100 กรัม ปลาที่ยังคงรับประทานได้แต่มีการเสื่อมเสียเล็กน้อย มีค่า TVB-N เท่ากับ 12-20 มิลลิกรัมในโตรเจนต่อ 100 กรัม ค่า TVB-N ของปลาที่มีการ

เสื่อมเสียเพิ่มขึ้นเท่ากับ 20-25 มิลลิกรัมไนโตรเจนต่อ 100 กรัม ส่วนปลาที่เสื่อมเสียไม่สามารถนำมารับประทานได้มีค่า TVB-N มากกว่า 25 มิลลิกรัมไนโตรเจนต่อ 100 กรัม ขณะที่ Ng (1987) รายงานว่าปลาที่มีค่า TVB-N ต่ำกว่า 20 มิลลิกรัมไนโตรเจนต่อ 100 กรัม จัดว่ามีความสดมาก แต่เมื่อค่า TVB-N มีค่าสูงกว่า 30 มิลลิกรัมไนโตรเจนต่อ 100 กรัม แสดงว่าปลาเริ่มมีความสดลดลง และเมื่อค่า TVB-N มีค่า 40 มิลลิกรัมไนโตรเจนต่อ 100 กรัม แสดงว่าปลาไม่สด จากรูปที่ 7 จะเห็นว่าตัวอย่างปลาตาหวานมีการเสื่อมเสียเล็กน้อยเมื่อเก็บไว้เป็นเวลา 2-10 วัน และการเสื่อมเสียเพิ่มขึ้นไม่สามารถนำมารับประทานได้หลังจากเก็บไว้เป็นเวลา 10 วัน ส่วนปลาปากคมมีความสดลดลงตั้งแต่เริ่มต้นของการเก็บรักษาและมีการเสื่อมเสียเพิ่มขึ้นไม่สามารถนำมารับประทานได้หลังจากเก็บไว้เป็นเวลา 8 วัน (Stanby and Olcott, 1963; Banks *et al.*, 1980)

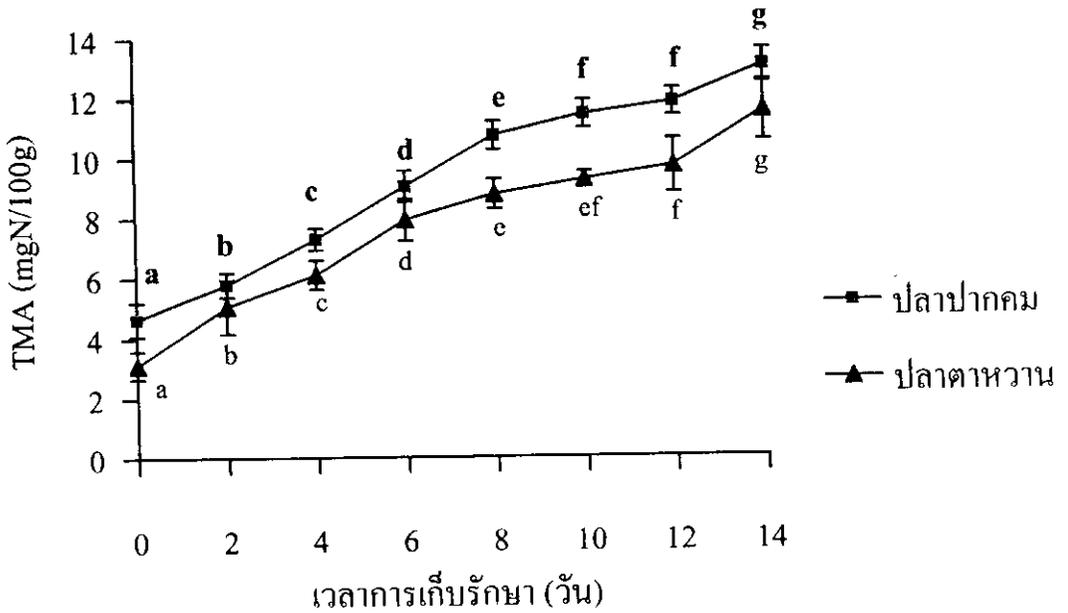
ปริมาณ TVB-N ที่เพิ่มขึ้นเป็นผลรวมของสารแอมโมเนีย ไคเมทริลเอมีน ไคเมทริลเอมีน และสารประกอบเอมีนที่ระเหยได้ (Sikorski, 1990) โดยทั่วไปมักพบแอมโมเนียปริมาณเล็กน้อยในช่วงสัปดาห์แรกของการเก็บรักษาสัตว์น้ำในน้ำแข็ง และค่าที่ระเหยได้ทั้งหมดจะเพิ่มขึ้นอย่างช้าๆ ระหว่างการเก็บรักษา โดยอาจเกิดจากกระบวนการกำจัดหมู่เอมีน (deamination) ของกรดอะมิโน (สุทรวัดน์ เบญจกุล, 2544) สำหรับปริมาณ TMA-N ที่เพิ่มขึ้นเนื่องจากปลาเกิดการเปลี่ยนแปลงสภาพทางเคมีหลังการตาย โดยมีสาเหตุมาจากการปนเปื้อนของจุลินทรีย์ซึ่งมีบทบาทสำคัญต่อการเปลี่ยน TMAO ไปเป็น TMA (Sikorski, 1990) โดยจุลินทรีย์สามารถสร้างเอ็นไซม์ที่เกี่ยวข้องกับการผลิต TMA นอกจากนี้เอ็นไซม์ในสัตว์น้ำก็มีบทบาทในการเปลี่ยน TMAO เป็น TMA เช่นกัน (สุทรวัดน์ เบญจกุล, 2544) การเน่าเสียของปลาทะเลจำพวก gadoid ได้แก่ ปลาคอด (cod) สัมพันธ์กับปริมาณ TMAO ที่ลดลงโดย TMAO เปลี่ยนเป็น Dimethylamine (DMA) และ Formaldehyde (FA) โดยเอ็นไซม์ไคเมทริลเอมีนออกไซด์ไคเมทริลเลส (TMAO demethylase) (Hebard *et al.*, 1982 อ้างโดย Magnusson and Martinsdottir, 1995) Hebard และคณะ (1982 อ้างโดย สุทรวัดน์ เบญจกุล, 2544) กล่าวว่าปลาสดมีคุณภาพดีมีค่า TMA-N เท่ากับ 0-1 มิลลิกรัมต่อ 100 กรัม ปลาที่สามารถขายได้ (Marketable) มีค่า TMA-N เท่ากับ 1-5 มิลลิกรัมต่อ 100 กรัม ปลาที่ไม่ยอมรับ

มีค่า TMA-N มากกว่า 5 มิลลิกรัมต่อ 100 กรัม Farber (1965) กล่าวว่าปลาโซล (sole) ที่เกิดการเสื่อมเสียมีปริมาณ TMA-N มีค่ามากกว่า 4.7 มิลลิกรัมไนโตรเจนต่อ 100 กรัม และ Connell (1990) กล่าวว่าปลาคอดที่มีค่า TMA-N มากกว่า 10-15 มิลลิกรัมไนโตรเจนต่อ 100 กรัมไม่ควรนำมาใช้ในการแปรรูป



รูปที่ 7 ปริมาณ TVB-N จากกล้ามเนื้อปลาดาวหวาน และปลากอมที่เก็บรักษาในน้ำแข็งที่ระยะเวลาต่างๆ

หมายเหตุ ตัวอักษร a, b, c ถึง h ที่แตกต่างกันบนเส้นกราฟเดียวกัน บ่งชี้ความแตกต่างทางสถิติ ($P < 0.05$) ค่าที่แสดงเป็นค่าเฉลี่ยจากการวิเคราะห์ปลา 2 ซ้ำ แต่ละซ้ำวัดค่า 3 ครั้ง



รูปที่ 8

ปริมาณ TMA-N จากกล้ามเนื้อปลาดานานและปลาดุกที่เก็บรักษา
ในน้ำแข็งที่ระยะเวลาต่างๆ

หมายเหตุ

ตัวอักษร a, b, c ถึง g ที่แตกต่างกันบนเส้นกราฟเดียวกัน บ่งชี้ความแตกต่างทางสถิติ ($P < 0.05$) ค่าที่แสดงเป็นค่าเฉลี่ยจากการวิเคราะห์ปลา 2 ซ้ำ
แต่ละซ้ำวัดค่า 3 ครั้ง

การเพิ่มขึ้นของค่า TVB-N และ TMA-N ของปลาตาหวานและปลาปากคมในระหว่างการเก็บรักษาให้ผลสอดคล้องกับการศึกษาของจิรวดี เทือกสุบรรณ (2544) ซึ่งพบว่าปริมาณ TVB-N และปริมาณ TMA-N ในปลาปากคมแบบทั้งตัว และแบบตัดหัวควักไส้มีค่าเพิ่มขึ้นระหว่างเก็บรักษาในน้ำแข็ง และเริ่มเสื่อมเสียหลังจากเก็บเป็นเวลา 12 และ 9 วัน ตามลำดับ และเมื่อเปรียบเทียบระหว่างชุดการทดลองที่เก็บรักษาปลาในน้ำแข็งทั้งตัวและตัดหัวควักไส้ พบว่าชุดการทดลองที่เก็บรักษาแบบทั้งตัวมีปริมาณ TVB-N และ TMA-N สูงกว่าชุดการทดลองที่เก็บแบบตัดหัวควักไส้ Magnusson และ Martinsdottir (1995) กล่าวว่า ปริมาณ TMA-N ในปลาคอดที่เก็บแบบทั้งตัวและแบบแล่ที่เก็บในน้ำแข็งมีค่าเพิ่มขึ้นหลังเก็บไว้เป็นเวลา 11 และ 13 วัน ตามลำดับ โดยปลาคอดทั้งสองแบบเริ่มเสื่อมเสียหลังจากวันที่ 15 ของการเก็บรักษา รวมทั้งปริมาณ TVB-N และปริมาณ TMA-N ของปลาโอเซียนเพิร์ช (ocean perch) แบบแล่ที่เก็บในน้ำแข็ง บ่งบอกถึงการเสื่อมเสียเมื่อเก็บเป็นเวลา 20 วัน นอกจากนี้ Lakshmanan และคณะ (1996) พบว่า ค่า TVB-N ของปลาหมัลเลท (mullet) (*Liza corsula*) และปลาเพิร์ลสปอท (pearlspot) (*Etroplus suratensis*) ที่เก็บรักษาในน้ำแข็งมีค่าคงที่ในช่วงเริ่มต้น และเพิ่มขึ้นเล็กน้อยหลังจากเก็บเป็นเวลา 10-12 ชั่วโมง และมีค่าเพิ่มขึ้นหลังจากระยะเวลาการเก็บเพิ่มขึ้น Reddy และคณะ (1995) พบว่าปริมาณ TVB-N ของเนื้อปลาพิงค์เพิร์ช (pink perch) บดมีปริมาณเพิ่มขึ้นเมื่อระยะเวลาการเก็บรักษาปลาในน้ำแข็งนานขึ้น

จากผลการทดลองบ่งชี้ได้ว่า การเก็บรักษาปลาตาหวานและปลาปากคมในน้ำแข็งที่นานขึ้นส่งผลให้เกิดการเน่าเสียเพิ่มขึ้น โดยสังเกตจากปริมาณ TVB-N และ TMA-N ที่เพิ่มขึ้นตลอดระยะเวลาการเก็บรักษา

- ค่าพีเอช

จากการศึกษาค่าพีเอชของกล้ามเนื้อปลาตาหวานและปลาปากคมที่เก็บรักษาในน้ำแข็งเป็นระยะเวลา 14 วัน (ตารางที่ 6) พบว่าปริมาณพีเอชของปลาทั้ง 2 ชนิดเพิ่มขึ้นเมื่อระยะเวลาการเก็บนานขึ้น โดยมีปริมาณเริ่มต้นในปลาตาหวาน เท่ากับ 6.4 และในปลาปากคมเท่ากับ 6.53 โดยปริมาณพีเอชมีค่าเพิ่มสูงขึ้นหลังจากวันที่ 6 ของการเก็บรักษา และเมื่อเก็บรักษาเป็นเวลา 14 วัน ปริมาณพีเอชในปลาตาหวานและปลาปากคมมีค่าเท่ากับ 6.82 และ 6.84 ตามลำดับ ซึ่งให้ผลสอดคล้องกับ Pastoriza และ Sampedro (1994) ซึ่งพบว่า ปลากระเบน (ray) (*Raja clavata*) ที่เก็บรักษาในน้ำแข็งมีค่า พีเอชเพิ่มขึ้น ($P < 0.05$) ในระหว่างการเก็บรักษาโดยปลามีคุณภาพที่ไม่สามารถยอมรับได้ในช่วงวันที่ 11-12 ของการเก็บรักษา Riebroy (2000) พบว่ากล้ามเนื้อปลากะพงขาวที่เก็บรักษาในน้ำแข็งทันทีภายหลังการตายมีปริมาณพีเอชลดลงเพียงเล็กน้อยเมื่อเก็บรักษาเป็นเวลา 6 วัน และมีปริมาณเพิ่มขึ้นเพียงเล็กน้อยเมื่อเก็บรักษาเป็นเวลา 14 วัน นอกจากนี้ Simeonidou และคณะ (1997) ได้มีการเก็บปลา 7 ชนิด ได้แก่ ปลา bogue (*Boops boops*) ปลาจับแมคเคอเรล (*Scomber japonicus collias*) ปลาฮอร์สแมคเคอเรล (*Scomber trachurus*) ปลาเมดิเตอร์เรเนียนเฮก (*Merluccius mediterraneus*) ปลาซาร์ดีน (*Sardine mediterraneus*) ปลาสตริปมัลเลต (*Mullus barbatus*) และปลาแอดเลนติกแมคเคอเรล (*Scomber scombrus*) ในน้ำแข็งที่อุณหภูมิ 1-3 องศาเซลเซียส และสุ่มตรวจในวันที่ 1, 3 และ 6 ของการเก็บรักษา พบว่าค่าการนำไฟฟ้าของผิวหนังและกล้ามเนื้อปลามีค่าลดลง แต่ค่าพีเอช ค่า TBA ค่าฟอร์มาลดีไฮด์มีค่าเพิ่มขึ้นตลอดระยะเวลาของการเก็บรักษา

การเพิ่มขึ้นของพีเอชระหว่างการเก็บรักษาในน้ำแข็งเกิดจากการเน่าเสียของปลา (Chang and Regenstein, 1997) และการเปลี่ยนแปลงของโปรตีนเกิดเป็นสารประกอบต่างที่ระเหยได้ ดังจะเห็นได้จากปริมาณ TVB-N และปริมาณ TMA-N ที่เพิ่มขึ้นตลอดระยะเวลาการเก็บรักษา (รูปที่ 13 และ 14 ตามลำดับ)

ตารางที่ 6 ค่าพีเอชจากกล้ามเนื้อปลาดุกและปลาปากคมที่เก็บรักษาในน้ำแข็งที่ระยะเวลาต่างๆ

วันที่เก็บรักษา	ปลาดุก*	ปลาปากคม*
0	6.35±0.05a	6.52±0.03a
2	6.47±0.04c	6.60±0.02b
4	6.52±0.03d	6.66±0.01c
6	6.41±0.05b	6.52±0.03a
8	6.61±0.04e	6.76±0.02d
10	6.76±0.01f	6.79±0.04d
12	6.78±0.03fg	6.82±0.02e
14	6.81±0.01g	6.84±0.02f

หมายเหตุ ตัวอักษร a, b, c และ d ที่แตกต่างกันในสคริปต์เดียวกัน บ่งชี้ความแตกต่างทางสถิติ ($P < 0.05$)

* ค่าเฉลี่ย ± ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน จากการวิเคราะห์ 3 ซ้ำ

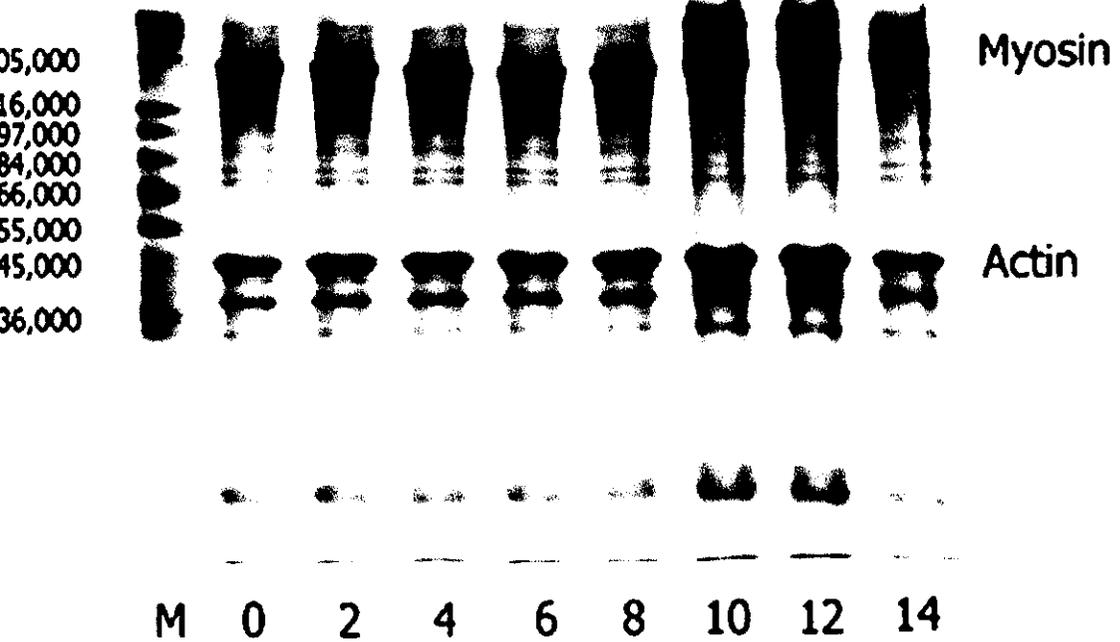
2.2 การเปลี่ยนแปลงของโปรตีนกล้ามเนื้อ

- รูปแบบของโปรตีนแอกโตไมโอซิน โดยการใช้ Sodium dodecyl sulfate-polyacrylamide gel electrophoresis (SDS-PAGE)

จากการศึกษารูปแบบของโปรตีนแอกโตไมโอซินที่สกัดได้จากกล้ามเนื้อปลาตาหวานและกล้ามเนื้อปลาปากคม ซึ่งเก็บรักษาในน้ำแข็งที่ระยะเวลาต่างๆ เป็นเวลา 14 วัน โดย SDS-PAGE ดังแสดงในรูปที่ 9 และรูปที่ 10 พบว่าไมโอซินเส้นหนักมีปริมาณลดลง เมื่อระยะเวลาในการเก็บรักษาปลาในน้ำแข็งนานขึ้น และปริมาณการลดลงอย่างชัดเจนหลังจากเก็บรักษานานกว่า 8 วัน แต่ไม่พบการเปลี่ยนแปลงของแอกตินตลอดระยะเวลาการเก็บรักษา และให้ผลสอดคล้องกับการศึกษาของ Benjakul และคณะ (1997) พบว่าปริมาณไมโอซินของกล้ามเนื้อปลาแปซิฟิกไวติงก์ (Pacific whiting) ลดลงอย่างต่อเนื่องระหว่างการรักษาในน้ำแข็งเป็นเวลา 8 วัน โดยมีปริมาณเหลือเพียงร้อยละ 45 เมื่อเก็บเป็นระยะเวลานาน 8 วัน แต่ไม่พบการเปลี่ยนแปลงของแอกติน การเปลี่ยนแปลงที่เกิดขึ้นหลังจากปลาตายส่วนใหญ่เกิดจากกิจกรรมของเอนไซม์โปรตีเนส โดยทำหน้าที่ย่อยสลายโปรตีนซึ่งเป็นองค์ประกอบหลักของกล้ามเนื้อปลา เช่นเดียวกับการศึกษาของจิรวดี เทือกสุบรรณ (2544) กล่าวว่าจากการศึกษารูปแบบของโปรตีนกล้ามเนื้อปลาปากคมทั้งตัว ซึ่งเก็บรักษาในน้ำแข็งที่ระยะเวลาต่างๆ เป็นเวลา 15 วัน พบว่าไมโอซินมีปริมาณลดลงเมื่อระยะเวลาการเก็บรักษาปลาในน้ำแข็งนานขึ้น โดยพบการลดลงอย่างเด่นชัดเมื่อเก็บรักษาเป็นเวลา 12 วัน ขณะที่การย่อยสลายตัวเอง (Autolysis) ของกล้ามเนื้อปลาปากคมเพิ่มขึ้นเมื่อระยะเวลาในการเก็บรักษาในน้ำแข็งนานขึ้น ($P < 0.05$) เนื่องจากการทำงานของเอนไซม์ย่อยโปรตีนที่มีในเนื้อปลา ซึ่งสามารถพบในเครื่องในและจากอวัยวะต่างๆ เช่น หัว และกล้ามเนื้อ รวมทั้งเอนไซม์จากจุลินทรีย์ที่ปนเปื้อนมากับส่วนต่างๆ ของตัวปลา โดยกิจกรรมการย่อยสลายจะเพิ่มขึ้นเมื่อปลามีการเสื่อมเสียมากขึ้น Sompongse (1996a) พบว่าการลดลงของไมโอซินเส้นหนักของแอกโตไมโอซินจากกล้ามเนื้อปลาคาร์ป (carp) มีปริมาณลดลงเมื่อเก็บไว้ในน้ำแข็งเป็นเวลา 12 วัน ซึ่งให้เห็นว่าการเปลี่ยนแปลงองค์ประกอบของไมโอซินเส้นหนักทำให้เกิดโครงสร้างของพอริเมอร์ และพันธะไคซัลไฟด์ ขณะที่ Riebroy (2000) กล่าวว่า

ไม่พบการเปลี่ยนแปลงของโปรตีนจากกล้ามเนื้อปลากะพงขาว (*Lates calcarifer*) เมื่อวิเคราะห์โดยวิธี SDS-PAGE ตลอดระยะเวลาการเก็บรักษาในน้ำแข็งเป็นเวลา 14 วัน เนื่องจากการเปลี่ยนแปลงของโปรตีนกล้ามเนื้อมีการย่อยสลายเพียงเล็กน้อย ซึ่งไม่สามารถวัดการเปลี่ยนแปลงโดยวิธี SDS-PAGE ได้ An และคณะ (1994) รายงานว่า เอนไซม์คาเธปซินจากกล้ามเนื้อปลาแปซิฟิกไวติงก์ (Pacific whiting) สามารถย่อยสลาย ไมโอซินเส้นหนัก (MHC) ได้สูงสุด รองลงมาคือ โทโรโปนิน T แอลฟา-โทโรโปไมโอซิน และ เบต้า-โทโรโปไมโอซิน

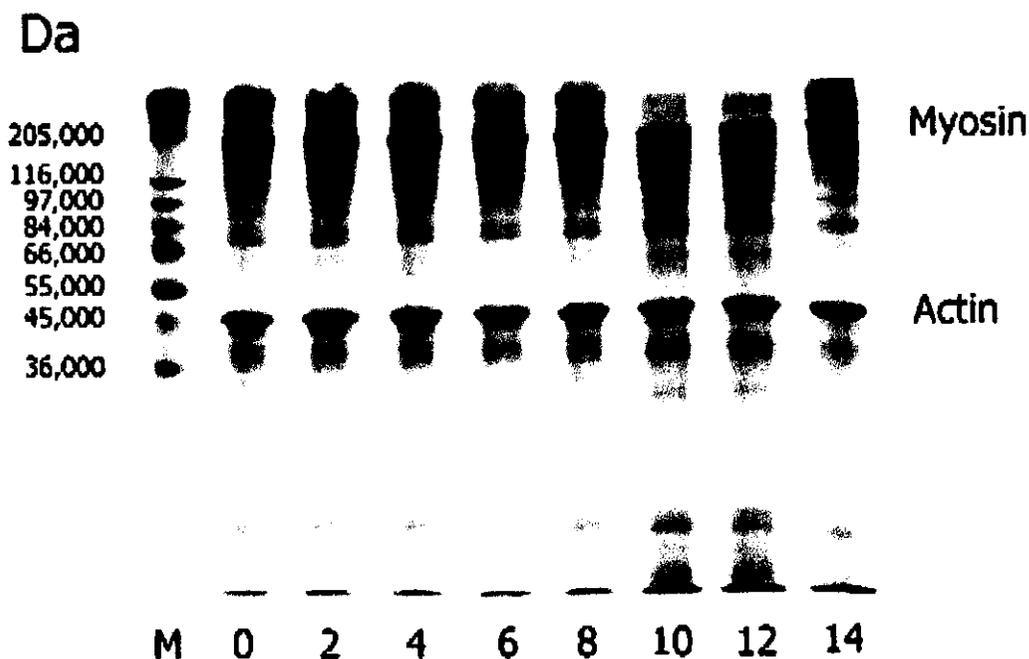
Da



รูปที่ 9

รูปแบบการย่อยสลายโปรตีนแอกโตไมโอซินจากกล้ามเนื้อปลาดุกที่เก็บรักษาในน้ำแข็งเป็นระยะเวลาต่างๆ โดย SDS-PAGE (running gel เข้มข้นร้อยละ 10 และ stacking gel เข้มข้นร้อยละ 4) โดยใช้ปริมาณโปรตีนแอกโตไมโอซิน 30 ไมโครกรัม

M แสดงโปรตีนมาตรฐาน, 0, 2, 4, 6, 8, 10, 12 และ 14 แสดงจำนวนวันที่เก็บรักษาในน้ำแข็ง



รูปที่ 10

รูปแบบการย่อยสลายโปรตีนแอกโตไมโอซินจากกล้ามเนื้อปลาปากคม ที่เก็บรักษาในน้ำแข็งเป็นระยะเวลาต่างๆ โดย SDS-PAGE (running gel เข้มข้นร้อยละ 10 และ stacking gel เข้มข้นร้อยละ 4) โดยใช้ปริมาณโปรตีนแอกโตไมโอซิน 30 ไมโครกรัม

M แสดงโปรตีนมาตรฐาน, 0, 2, 4, 6, 8, 10, 12 และ 14 แสดงจำนวนวันที่เก็บรักษาในน้ำแข็ง

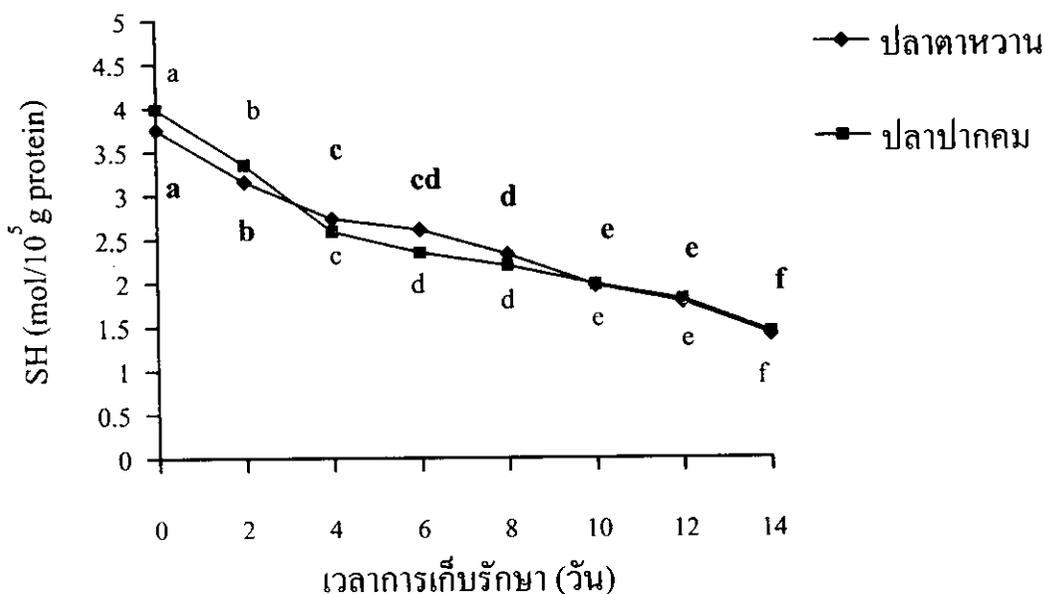
- ปริมาณ Sulfhydryl (-SH group) ของโปรตีนแอกโตไมโอซิน

จากการศึกษาปริมาณซัลไฟไฮดริล (Sulfhydryl group) ของโปรตีนแอกโตไมโอซินที่สกัดได้จากกล้ามเนื้อปลาดุกและปลาปากคม ซึ่งเก็บรักษาในน้ำแข็งที่ระยะเวลาต่างๆ เป็นเวลา 14 วัน พบว่าปริมาณซัลไฟไฮดริลมีปริมาณลดลงอย่างมีนัยสำคัญ ($P < 0.05$) เมื่อระยะเวลาการเก็บรักษานานขึ้น

การลดลงของจำนวนหมู่ซัลไฟไฮดริลเกิดจากการสร้างพันธะไดซัลไฟด์ (disulfide bonds) โดยการออกซิเดชันของหมู่ซัลไฟไฮดริล หรือเกิดการเปลี่ยนแปลงของไดซัลไฟด์ (Hayakawa and Nakai, 1985 อ้างโดย Benjakul *et al.*, 1997) Riebroy (2000) กล่าวว่าปริมาณซัลไฟไฮดริลทั้งหมดของแอกโตไมโอซินจากปลากะพงขาว ที่เก็บรักษาในน้ำแข็งเป็นเวลา 14 วัน มีค่าลดลงหลังจากวันที่ 8 และมีค่าลดลงร้อยละ 73.13 ในวันที่ 14 ของการเก็บรักษา Hamada และคณะ (1977) พบว่าการเก็บรักษาแอกโตไมโอซินจากปลาแคร์ป (carp) และปลาเรบบิท (rabbit) ที่อุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียสเป็นเวลา 14 วัน พบว่าแอกโตไมโอซินจากปลาเรบบิทมีการเปลี่ยนแปลงของปริมาณหมู่ซัลไฟไฮดริลเล็กน้อย และมีการเพิ่มขึ้นของพันธะไดซัลไฟด์ในแอกโตไมโอซินจากปลาแคร์ป Sompongse และคณะ (1996a) พบว่าการเก็บรักษาปลาแคร์ป (*Cyprinus carpio*) ในน้ำแข็งทำให้ปริมาณหมู่ซัลไฟไฮดริลลดลงหลังจากเก็บไว้ 4 วัน นอกจากนี้ Sompongse และคณะ (1996b) พบว่าหมู่ซัลไฟไฮดริลของไมโอซินของปลาแคร์ป (*Cyprinus carpio*) มีค่าลดลงระหว่างการเก็บในน้ำแข็งเป็นเวลา 8 วัน เนื่องจากเกิดการออกซิเดชันของหมู่ซัลไฟไฮดริลในไมโอซิน และการเกิดพอร์เมอไรเซชันของไมโอซินเส้นหนักนั้นเกิดขึ้นเฉพาะส่วนหางของโมเลกุลไมโอซิน

เมื่อเปรียบเทียบการเปลี่ยนแปลงของหมู่ซัลไฟไฮดริลของปลาปากคมและปลาดุก จะเห็นว่ามีความแตกต่างกันเล็กน้อย โดยปริมาณหมู่ซัลไฟไฮดริลเริ่มต้นของปลาดุกมีปริมาณสูงกว่าในปลาปากคมเล็กน้อย และมีปริมาณที่ลดลงเท่ากันหลังจากวันที่ 8 ของการเก็บรักษาในน้ำแข็ง (รูปที่ 11) การเปลี่ยนแปลงปริมาณหมู่ซัลไฟไฮดริลที่แตกต่างกันขึ้นอยู่กับชนิดของปลา โดย Buttikus (1970) กล่าวว่าไมโอซิน

จากปลาโคคมีกรรวมกลุ่ม (aggregation) และการเกิดออกซิเดชันของกลุ่มซัลฟ์ไฮดริล (SH group) น้อยกว่าในไมโอซินจากปลาเทราท์ (trout) และ ปลาแรบบิท (rabbit)



รูปที่ 11

ปริมาณซัลฟ์ไฮดริล (Sulphydryl group) ของโปรตีนแอคโตไมโอซิน ที่สกัดจากกล้ามเนื้อปลาดาวหวาน และปลาปากคมที่เก็บรักษาในน้ำแข็งที่ระยะเวลาต่างๆ

(ปริมาณ SH ได้จากการทำปฏิกิริยากับ 2-nitro-5-thiobenzoic acid และวัดการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 412 นาโนเมตร ที่ $13,600 \text{ M}^{-1}\text{cm}^{-1}$)

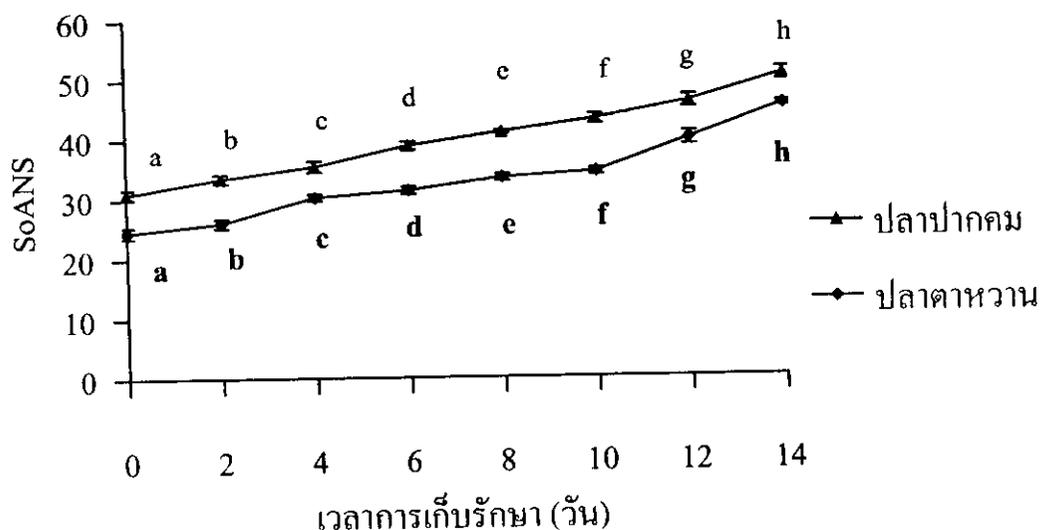
หมายเหตุ

ตัวอักษร a, b, c ถึง f ที่แตกต่างกันบนเส้นกราฟเดียวกัน บ่งชี้ความแตกต่างทางสถิติ ($P < 0.05$) ค่าที่แสดงเป็นค่าเฉลี่ยจากการวิเคราะห์ปลา 2 ซ้ำ แต่ละซ้ำวัดค่า 3 ครั้ง

- ค่า Hydrophobicity ของโปรตีนแอคโตไมโอซิน

จากการศึกษาค่าไฮโดรโฟบิกซิตี (Hydrophobicity) ของโปรตีนแอคโตไมโอซิน ที่สกัดได้จากกล้ามเนื้อปลาตาหวานและปลาปากคม ที่เก็บรักษาในน้ำแข็งเป็นเวลา 14 วัน ที่ระยะเวลาต่างๆ พบว่าค่าเริ่มต้นของ SoANS ของปลาตาหวานและปลาปากคมมีค่าเท่ากับ 24.35 ± 0.71 และ 30.71 ± 1.28 ตามลำดับ และมีค่าเพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่องจนถึงวันที่ 14 ของการเก็บรักษา โดยในวันที่ 14 มีปริมาณ SoANS เท่ากับ 44.95 ± 0.72 และ 50.09 ± 0.51 ตามลำดับ (รูปที่ 12) สอดคล้องกับรายงานของ Sompongse และคณะ (1996a) พบว่าจากการศึกษาโปรตีนแอคโตไมโอซินของปลาการ์ป (*Cyprinus carpio*) มีค่า surface hydrophobic เพิ่มขึ้นตลอดระยะเวลาการเก็บรักษาในน้ำแข็ง 8 วัน เนื่องจากการปลดปล่อยกรดอะมิโนชนิดไฮโดรโฟบิก (hydrophobic amino acid) ในโมเลกุลของไมโอซิน Benjakul และคณะ (1997) พบว่าระหว่างการเก็บรักษาปลาแปซิฟิกไวติง (Pacific whiting) ในน้ำแข็ง โปรตีนแอคโตไมโอซินมีค่า SoANS เพิ่มขึ้นร้อยละ 56 หลังจากเก็บเป็นเวลา 2 วัน หลังจากนั้นมีความคงที่ตลอดระยะเวลาการเก็บ 6 วัน Roura และคณะ (1992) พบว่า surface hydrophobicity ของโปรตีนแอคโตไมโอซินจากปลาแฮก (hake) มีค่าเพิ่มขึ้นเมื่อเก็บรักษาในน้ำแข็ง โดยมีค่าเพิ่มขึ้นใน 3 วันแรกของการเก็บรักษา

ANS เป็น probe ฟลูออเรสเซนส์ชนิดที่สามารถจับกับกรดอะมิโนชนิดไฮโดรโฟบิก (hydrophobic amino acid) ที่มีวงแหวน เช่น ฟีนิลอะลานีน (phenylalanine) และ ทริปโตฟาน (tryptophan) ค่าที่เพิ่มขึ้นแสดงให้เห็นว่าในระหว่างการเก็บรักษาในน้ำแข็งมีผลทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงโครงสร้างของโปรตีน (Kato and Nakai, 1980; Roura *et al.*, 1992) การเพิ่มขึ้นของ surface hydrophobicity ซึ่งให้เห็นถึงการปลดปล่อยของหมู่ไฮโดรโฟบิก (hydrophobic group) จากภายในโมเลกุลที่เกิดจากการเสถียรภาพของโปรตีน (Denaturation) หรือเกิดจากการย่อยสลาย (Degradation) (Multilangi *et al.*, 1996; Li-Chan *et al.*, 1985) โดยการเปลี่ยนแปลงดังกล่าวมีผลทำให้ความสามารถในการอุ้มน้ำ และความสามารถในการเกิดเจลของซูริมิลลดลง (Benjakul *et al.*, 1997)



รูปที่ 12 ค่า Hydrophobicity (SoANS) ของโปรตีนแอคติโนไมโอซินจากปลาดาวหวาน และปลาดุกค้มที่เก็บรักษาในน้ำแข็งที่ระยะเวลาต่างๆ

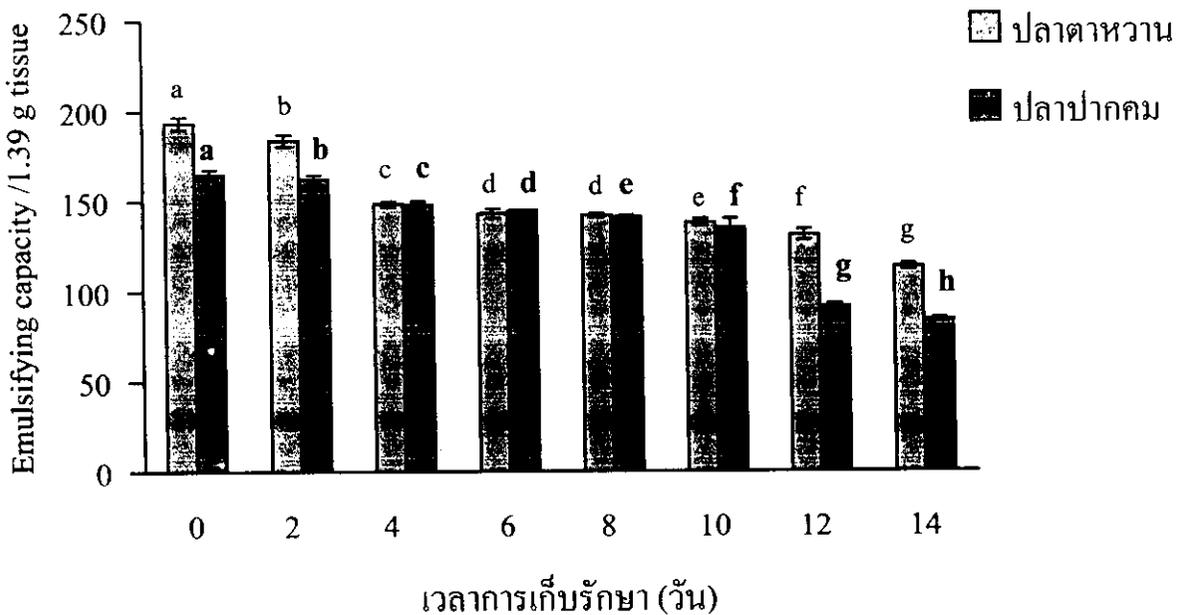
หมายเหตุ ตัวอักษร a, b, c ถึง h ที่แตกต่างกันบนเส้นกราฟเดียวกัน บ่งชี้ความแตกต่างทางสถิติ ($P < 0.05$) ค่าที่แสดงเป็นค่าเฉลี่ยจากการวิเคราะห์ปลา 2 ซ้ำ แต่ละซ้ำวัดค่า 3 ครั้ง

- Emulsion capacity ของเนื้อปลาและโปรตีนแอกโตไมโอซิน

ค่า Emulsion capacity (EC) เป็นค่าที่บอกถึงปริมาณสูงสุดของน้ำมันที่เกิดการอิมัลซิฟายด์กับปริมาณโปรตีนก่อนเกิดการแยกชั้นภายใต้สภาวะที่เหมาะสม (Hill, 1996)

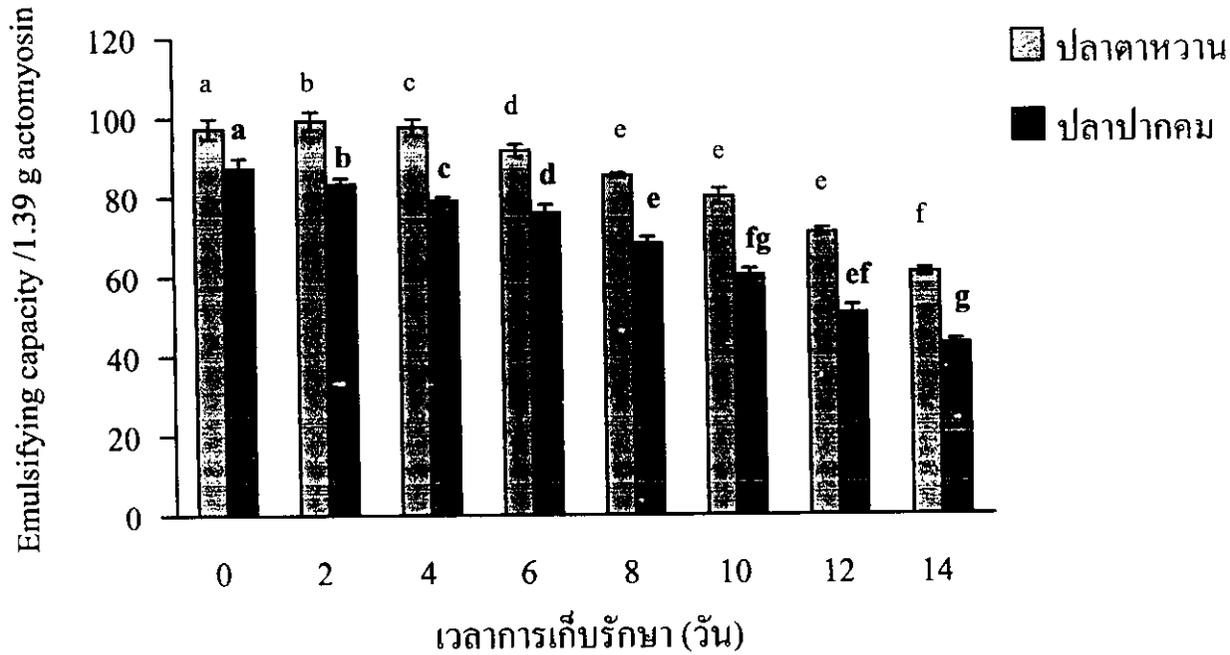
ผลการวิเคราะห์ค่า EC ของกล้ามเนื้อปลาทูหางานและปลาปากคมที่เก็บรักษาในน้ำแข็งเป็นระยะเวลาต่างๆ กัน (รูปที่ 13) แสดงให้เห็นว่าค่า EC ของปลาปากคมและปลาทูหางานลดลงตลอดระยะเวลาการเก็บรักษาโดยค่า EC ของปลาปากคมลดลงมากกว่าค่า EC ของปลาทูหางานเมื่อระยะเวลาการเก็บรักษาปลาในน้ำแข็งนานขึ้น ($P < 0.05$) เมื่อเทียบค่า EC ของโปรตีนแอกโตไมโอซินที่สกัดได้กับค่า EC ของกล้ามเนื้อปลาทั้ง 2 ชนิดในปริมาณที่เท่ากันพบว่าค่า EC ของโปรตีนแอกโตไมโอซิน และของกล้ามเนื้อปลาระหว่างการเก็บรักษาในน้ำแข็งเป็นระยะเวลาต่างๆ (รูปที่ 14) มีการลดลงเช่นเดียวกัน ดังนั้นจึงอาจกล่าวได้ว่าการลดลงของค่า EC ของกล้ามเนื้อปลาในระหว่างการเก็บรักษาเกิดจากการเปลี่ยนแปลงคุณสมบัติของโปรตีนแอกโตไมโอซินเป็นปัจจัยสำคัญ Sarma และคณะ (1999) กล่าวว่าปลาฟิงค์เพิร์ช (*Nemipterus japonicus*) และปลาซาร์ดีน (*Sardinella longiceps*) ที่เก็บรักษาในน้ำแข็งเป็นเวลา 20 วัน พบว่าปริมาณโปรตีนที่ละลายในน้ำและปริมาณโปรตีนที่ละลายได้ในเกลือของปลาทั้ง 2 ชนิด มีค่าลดลงเมื่อเก็บเป็นเวลา 16 และ 20 วัน ตามลำดับ ซึ่งปริมาณโปรตีนดังกล่าวมีผลต่อการลดลงของค่า EC ค่าความหนืด ค่าความสามารถในการจับกับน้ำ และการเพิ่มขึ้นของค่าการสูญเสียน้ำหนักหลังทำให้สุก ตลอดระยะเวลาการเก็บรักษา การศึกษาของ Colmenero และ Borderias (1983) แสดงให้เห็นว่าค่า EC ค่าการละลายของโปรตีน และค่าความหนืดของกล้ามเนื้อปลาฮอร์สแมคเคอเรล (horse mackerel) และปลาบลูไวท์คิง (blue whiting) มีความสัมพันธ์กันอย่างใกล้ชิด และมีค่าลดลงตลอดระยะเวลาการเก็บรักษาที่อุณหภูมิ -20 องศาเซลเซียสในเวลา 8 เดือน การลดลงของค่า EC ของเนื้อปลาเป็นผลมาจากการเสียดสภาพและการรวมตัว (aggregation) ของโปรตีนที่เกิดจากการแช่เยือกแข็ง และการศึกษาของ Grabowska และ Sikorski (1974) อ้างโดย Colmenero and Borderias, (1983) ในเนื้อปลาคอดบดแช่เยือกแข็งก็ให้ผลทำนองเดียวกัน Reddy และ Srikar (1991) พบว่าค่า

EC ของเนื้อปลาฟิงค์เพิร์ชลดลงหลังจากการเก็บรักษาเนื้อปลาบคในน้ำแข็งเป็นเวลา 5 วัน การเปลี่ยนแปลงค่า EC เป็นผลมาจากการสูญเสียความสามารถในการละลายของ โปรตีนที่เกิดจากการเสียดสภาพของโปรตีน และ Namulema และคณะ (1999) พบว่าเมื่อ เก็บปลาไนล์เพิร์ช (Nile perch) (*Lates niloticus*) แบบแช่ที่อุณหภูมิ -13 และ -27 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 12 สัปดาห์ ทำให้ค่าความสามารถในการอุ้มน้ำ ค่า EC และปริมาณ โปรตีนที่ละลายได้ลดลง เมื่อระยะเวลาการเก็บปลานานขึ้น



รูปที่ 13 ค่า Emulsifying capacity (มิลลิลิตรของน้ำมันต่อเนื้อปลา 1.39 กรัม) ของกล้ามเนื้อปลาดาวหวานและปลาปากคมที่เก็บรักษาในน้ำแข็งที่ระยะเวลาต่างๆ

หมายเหตุ ตัวอักษร a, b, c ถึง g ที่แตกต่างกันบนเส้นกราฟเดียวกัน บ่งชี้ความแตกต่างทางสถิติ ($P < 0.05$) ค่าที่แสดงเป็นค่าเฉลี่ยจากการวิเคราะห์ปลา 2 ซ้ำ แต่ละซ้ำวัดค่า 3 ครั้ง



รูปที่ 14 ค่า Emulsifying capacity (มิลลิลิตรของน้ำมันต่อแอกโตไมโอซิน 1.39 กรัม) ของโปรตีนแอกโตไมโอซินจากกล้ามเนื้อปลาตาหวาน และปลาปากคม ที่เก็บรักษาในน้ำแข็งที่ระยะเวลาต่างๆ

หมายเหตุ ตัวอักษร a, b, c ถึง g ที่แตกต่างกันบนเส้นกราฟเดียวกัน บ่งชี้ความแตกต่างทางสถิติ ($P < 0.05$) ค่าที่แสดงเป็นค่าเฉลี่ยจากการวิเคราะห์ปลา 2 ซ้ำ แต่ละซ้ำวัดค่า 3 ครั้ง

ค่า surface hydrophobicity ของโปรตีนมีผลต่อการเพิ่มขึ้นของค่า Emulsifying activity และมีผลต่อการลดแรงตึงผิวของอิมัลชัน (Kato and Nakai, 1980) Li-Chan และคณะ (1985) พบว่า ทั้ง aromatic hydrophobicity และ aliphatic hydrophobicity เป็นตัวบ่งชี้ถึงค่าความคงตัวในอิมัลชัน (Emulsifying stability index) และคุณสมบัติการจับตัวกับไขมันของโปรตีนกล้ามเนื้อที่ละลายได้ในเกลือ จากการทดลองแม้ว่าค่า hydrophobicity เพิ่มขึ้น (รูปที่ 12) แต่พบว่าค่า EC ของกล้ามเนื้อปลา และโปรตีนแอก

โตไมโอซินจากกล้ามเนื้อปลาทั้ง 2 ชนิดมีค่าลดลง ดังนั้นการลดลงของความสามารถในการละลายของโปรตีนที่ได้จากการเสียสภาพของโปรตีนขณะเก็บรักษาในน้ำแข็งจึงเป็นสาเหตุสำคัญต่อการเปลี่ยนแปลงค่า EC Gill และคณะ (1979 อ้างโดย Reddy and Srikar, 1991) พบว่าผลิตภัณฑ์ที่ได้จากการทำปฏิกิริยาของ TMAO และ DMA กับเอนไซม์ที่กำจัดหมู่เมทิลออก และสารประกอบเอมีนที่เกิดขึ้นระหว่างการเก็บรักษาสามารถทำปฏิกิริยากับโปรตีนทำให้ความสามารถในการละลายลดลง นอกจากนี้การเกิดออกซิเดชันของหมู่ซัลฟิไฮดริล (ดังแสดงในผลในปริมาณหมู่ซัลฟิไฮดริล รูปที่ 11) ทำให้การเชื่อมกันระหว่างโมเลกุลของน้ำและโมเลกุลของโปรตีนด้วยพันธะไฮโดรเจนลดลง ทำให้สภาวะการเกิดอิมัลชันไม่เหมาะสมส่งผลให้ค่า EC มีค่าลดลง (สุทรวัดน์เบญจกุล, 2543)

2.3 การศึกษาคุณภาพไส้กรอกอิมัลชันจากปลาตาหวานและปลาปากคมซึ่งเก็บรักษาในน้ำแข็งที่ระยะเวลาต่างๆ

จากการศึกษาการผลิตไส้กรอกอิมัลชันจากเนื้อปลาตาหวานซึ่งเก็บรักษาในน้ำแข็งที่ระยะเวลาต่างๆ (0, 4, 8 และ 12 วัน) พบว่าเมื่อระยะเวลาในการเก็บรักษาปลาที่นำมาผลิตไส้กรอกอิมัลชันนานขึ้น การวิเคราะห์คุณภาพเนื้อสัมผัสโดยวิธี TPA ให้ค่า Hardness, Cohesiveness, Gumminess, Chewiness และค่าต้านแรงเฉือน (Shear force) ของไส้กรอกลดลง ($P < 0.05$) (ตารางที่ 7) และให้ผลทำนองเดียวกันเมื่อวิเคราะห์ค่าเนื้อสัมผัสของไส้กรอกจากปลาปากคม โดยเมื่อระยะเวลาการเก็บรักษานานขึ้น ทำให้ค่า Hardness, Springiness, Cohesiveness, Gumminess, Chewiness และค่า Shear force มีค่าลดลง ($P < 0.05$) โดยไม่มีผลต่อค่า Adhesiveness ($P > 0.05$) (ตารางที่ 8)

ไส้กรอกอิมัลชันเป็นอิมัลชันประเภทเจล (gel-type emulsion) ซึ่งไขมันกระจายตัวอย่างสม่ำเสมอในเมตริกซ์ของเจลโปรตีน และความคงตัวของอิมัลชันขึ้นอยู่กับการกระจายตัวของอนุภาคไขมัน และความแข็งแรงของเจล (Zayas, 1997) ดังนั้นคุณภาพด้านเนื้อสัมผัสของไส้กรอกปลาอิมัลชันที่เตรียมจากเนื้อปลาที่เก็บรักษาในน้ำแข็งมีคุณภาพลดลงนั้นสัมพันธ์กับการเสียสภาพของโปรตีนซึ่งส่งผลต่อการเปลี่ยนแปลง

คุณสมบัติการเป็นอิมัลชันคิงที่กล่าวข้างต้น นอกจากนี้ผลของการย่อยสลายไมโอซินที่เพิ่มขึ้นตลอดระยะเวลาการเก็บรักษา ดังแสดงในผลของ SDS-PAGE (รูปที่ 9 และรูปที่ 10) มีผลทำให้สายโซ่ของไมโอซินสั้นลง ดังนั้นในการเกิดเจลจึงมีการสร้างพันธะระหว่างโปรตีนลดลง ทำให้ได้เจลที่มีความแข็งแรงต่ำ (An *et al.*, 1996) จากการศึกษาของ Yean (1993) พบว่าชูริมิจากปลาทรายแดง (Threadfin bream) ที่เก็บรักษาในน้ำแข็งเป็นเวลา 2 วัน ให้ค่า Hardness ที่ยอมรับได้ และมีค่าลดลงอย่างรวดเร็วจนไม่เป็นที่ยอมรับเมื่อเก็บไว้ 4 วัน ทั้งนี้เป็นผลจากการสูญเสียความสมบูรณ์ของโปรตีนแอคโตไมโอซินที่ซับซ้อนในระหว่างการเก็บรักษา นอกจากนี้ Niwa (1992 อ้างโดย An *et al.*, 1996) ยังกล่าวว่าโครงสร้างของโปรตีนในสภาพธรรมชาติ (Native protein) มีความสำคัญมากต่อการเกิดเจลที่ดี ดังนั้นไมโอซินที่เสียสภาพก่อนการเกิดเจลจึงไม่สามารถได้เจลที่แข็งแรงที่สุด จะเห็นว่ากล้ามเนื้อปลาที่ได้จากการเก็บรักษาในน้ำแข็งนั้น โปรตีนเกิดการเสียสภาพเพิ่มขึ้นตลอดระยะเวลาการเก็บ ดังนั้นไส้กรอกปลาอิมัลชันที่ได้จึงเกิดจากการสร้างเจลที่ไม่สมบูรณ์ไม่สามารถเก็บกักน้ำและไขมันภายในเมตริกซ์ของเจลโปรตีนได้ ทำให้เกิดลักษณะเนื้อสัมผัสที่อ่อนนุ่มลง

เมื่อเปรียบเทียบค่า TPA ของไส้กรอกอิมัลชันจากเนื้อปลาดาทาหวานสด (0 วัน) มีค่าสูงกว่าจากเนื้อปลาปากคมสด เนื่องจากในเนื้อปลาปากคมมีกิจกรรมของเอนไซม์ที่ย่อยโปรตีนสูง (จิรวดี เทือกสุบรรณ, 2544) ทำให้การย่อยสลายเพิ่มขึ้นเมื่อปลา มีระยะเวลาการเก็บรักษาเพิ่มขึ้น การย่อยสลายของโปรตีนกล้ามเนื้อจะส่งผลให้คุณภาพของเนื้อปลาลดต่ำลงในขณะที่เก็บรักษาปลาไว้ที่อุณหภูมิต่ำ ซึ่งเป็นสาเหตุทำให้เนื้อสัมผัสที่ได้เปลี่ยนแปลงไป คือ มีลักษณะที่อ่อนตัวและนิ่ม ดังนั้นค่าวิเคราะห์เนื้อสัมผัสที่ได้จึงลดลงด้วย (Ando *et al.*, 1999)

ตารางที่ 7 ค่าลักษณะเนื้อสัมผัสโดยวิธี TPA ของไส้กรอกอิมัลชันจากปลาตาหวาน ที่เก็บรักษาในน้ำแข็งที่ระยะเวลาต่างๆ

ระยะเวลา (วัน)	Hardness	Adhesiveness	Springiness	Cohesiveness	Gumminess	Chewiness	Shear force
0	4179.30a	73.47ns	0.95ns	0.59a	2485.83a	2347.00a	1741.02a
4	3804.47b	66.05ns	0.94ns	0.59a	2250.68b	2113.53b	1581.60b
8	3802.91b	60.59ns	0.94ms	0.58a	2215.85b	2075.86b	1544.53b
12	3729.56b	52.93ns	0.93ns	0.49b	1814.07c	1688.61c	1462.83b

หมายเหตุ ตัวอักษร a, b ที่แตกต่างกันในสดมภ์เดียวกัน บ่งชี้ความแตกต่างทางสถิติ ($P < 0.05$) ค่าที่แสดงเป็นค่าเฉลี่ยจากการวิเคราะห์ 2 ซ้ำ แต่ละซ้ำวัดค่า 6 ครั้ง
ns = ไม่มีความแตกต่างทางสถิติ ($P > 0.05$)

ตารางที่ 8 ค่าลักษณะเนื้อสัมผัสโดยวิธี TPA ของไส้กรอกอิมัลชันจากปลาปากคม ที่เก็บรักษาในน้ำแข็งที่ระยะเวลาต่างๆ

ระยะเวลา (วัน)	Hardness	Adhesiveness	Springiness	Cohesiveness	Gumminess	Chewiness	Shear force
0	3096.74a	19.59ns	1.18a	0.25a	733.45a	867.19a	734.42a
4	2445.47b	15.16ns	0.91b	0.22ab	528.98b	481.29b	522.78b
8	2443.20b	7.93ns	0.87b	0.21ab	515.74b	452.29b	445.48c
12	2389.70b	7.46ns	0.87b	0.20b	471.79b	414.58b	413.84c

หมายเหตุ ตัวอักษร a, b, ab และ c ที่แตกต่างกันในสดมภ์เดียวกัน บ่งชี้ความแตกต่างทางสถิติ ($P < 0.05$) ค่าที่แสดงเป็นค่าเฉลี่ยจากการวิเคราะห์ 2 ซ้ำ แต่ละซ้ำวัดค่า 6 ครั้ง
ns = ไม่มีความแตกต่างทางสถิติ ($P > 0.05$)

นอกจากนี้ค่าการสูญเสียน้ำหนักหลังทำให้สุก (Cooking loss) ของไส้กรอกอิมัลชันจากเนื้อปลาตาหวานและปลาปากคม (วันที่ 0 ของการเก็บรักษา) มีค่าเท่ากับร้อยละ 6.05 และร้อยละ 7.09 ตามลำดับ และมีค่าเพิ่มขึ้นเมื่อระยะเวลาในการเก็บรักษานานขึ้น ($P < 0.05$) (ตารางที่ 9) ซึ่งสอดคล้องกับ Reddy และ Srikar (1995) พบว่าเนื้อปลาฟิงค์เพิร์ช ที่เก็บในน้ำแข็งเป็นระยะเวลาต่างๆ (3, 5, 11 และ 14 วัน) เมื่อนำมาบดและแช่แข็งมีผลทำให้ค่าการสูญเสียน้ำหนักหลังทำให้สุกมีค่าเพิ่มขึ้น ($P < 0.05$) ซึ่งเป็นผลจากการสูญเสียสภาพของโปรตีนในระหว่างการเก็บรักษา ทำให้ความสามารถในการเก็บกักน้ำของโปรตีนลดลง Sarma และคณะ (2000) กล่าวว่า ในปลาฟิงค์เพิร์ช และปลาชาร์ดิน มีค่าการสูญเสียน้ำหนักหลังทำให้สุกมีค่าเพิ่มขึ้น ($P < 0.05$) เนื่องจากการสูญเสียสภาพของโปรตีน ทำให้การละลายของโปรตีนลดลง ดังนั้นจึงมีผลทำให้ค่าความสามารถในการเก็บกักน้ำ (water holding capacity) ลดลงและเกิดการสูญเสียน้ำในระหว่างการแปรรูป นอกจากนี้ Pearson และ Tauber (1984) รายงานว่าการผลิตไส้กรอกปลาอิมัลชันจากโปรตีนที่เสียดสภาพมีผลทำให้ค่าการสูญเสียน้ำหนักหลังทำให้สุกมีค่าเพิ่มขึ้น เนื่องจากน้ำในผลิตภัณฑ์ไส้กรอกมีปริมาณคงที่ในขณะที่ปริมาณไมโอไฟบริลลาโปรตีนมีจำกัด ทำให้ผลิตภัณฑ์มีน้ำอิสระมากขึ้น รวมทั้งโปรตีนห่อหุ้มอนุภาคไขมันไม่ทั่วถึง เมื่อผ่านกระบวนการให้ความร้อนจะมีการสูญเสียทั้งส่วนของน้ำและไขมันเนื่องจากน้ำอิสระและอิมัลชันบางส่วนที่ไม่คงตัว

ตารางที่ 9 ค่าการสูญเสียน้ำหนักหลังทำให้สุกของไส้กรอกอิมัลชันจากปลาตาหวาน และปลาปากคมที่เก็บรักษาในน้ำแข็งที่ระยะเวลาต่างๆ

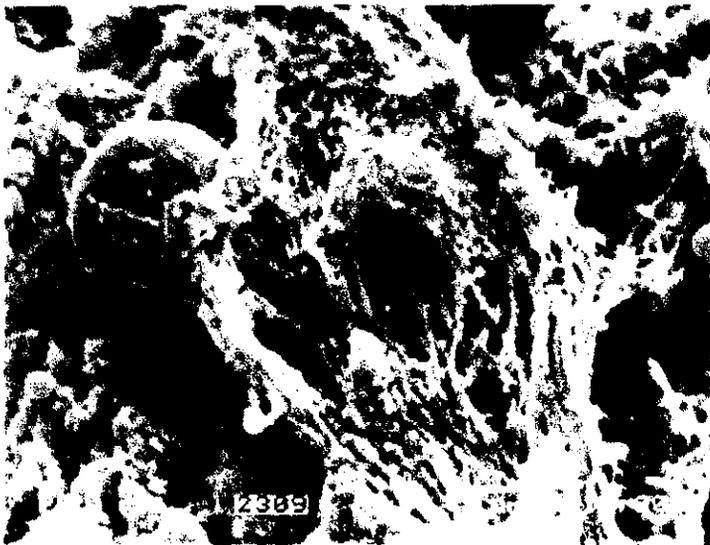
อายุการเก็บปลา (วัน)	ค่าการสูญเสียน้ำหนักหลังทำให้สุก (ร้อยละ)	
	ปลาตาหวาน *	ปลาปากคม *
0	6.07 ± 0.00a	7.13 ± 0.03a
4	6.53 ± 0.04b	7.75 ± 0.09b
8	7.15 ± 0.03c	8.18 ± 0.13c
12	7.81 ± 0.17d	8.26 ± 0.15d

หมายเหตุ ตัวอักษร a, b, ab และ c ที่แตกต่างกันในสครมภ์เดียวกัน บ่งชี้ความแตกต่างทางสถิติ ($P < 0.05$)

* ค่าเฉลี่ย ± ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานจากการวิเคราะห์ 2 ซ้ำ

โครงสร้างจุลภาคของไส้กรอกปลาอิมัลชัน

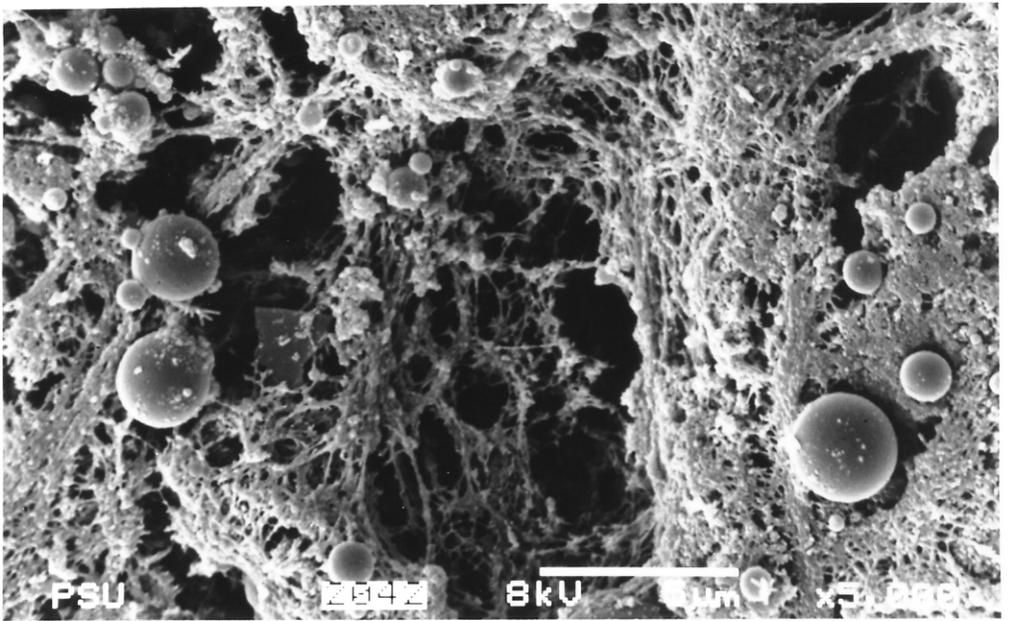
ลักษณะทั่วไปของโครงสร้างจุลภาคของไส้กรอกปลาอิมัลชันที่เตรียมจากเนื้อปลาตาหวานและปลาปากคมเมื่อตรวจดูด้วย Scanning Electron Microscope (SEM) ประกอบด้วยโครงข่ายโปรตีนซึ่งมีช่องว่างขนาดต่างๆ และประกอบด้วยเม็ดไขมันและเม็ดแป้งกระจายตัวอยู่ในโครงข่ายโปรตีน โดยเม็ดไขมันจะถูกห่อหุ้มด้วยแผ่นฟิล์มและเส้นใยโปรตีน ดังรูปที่ 15 เช่นเดียวกับรายงานของ Gordon และ Barbut (1990) ซึ่งศึกษาโครงสร้างของเนื้อวัวบคโดย SEM และพบว่าเนื้อวัวบคมีโครงสร้างของโครงข่ายโปรตีนที่ละเอียดประกอบด้วยเม็ดไขมันขนาดต่างๆ ซึ่งกระจายตัวอยู่ในโครงข่ายดังกล่าว โดยเนื้อวัวบคที่ผ่านการปรุงสุกจะมีโครงข่ายของโปรตีนที่หนากว่าเนื้อวัวบคที่ไม่ผ่านการปรุงสุก เนื่องจากความร้อนทำให้โปรตีนเกิดการจับรวมตัวกัน มีผลให้ความต่อเนื่องของเส้นใยน้อยลงและช่องว่างที่ใหญ่ขึ้น แผ่นฟิล์มโปรตีนและลักษณะโครงข่าย



รูปที่ 15 ลักษณะโครงสร้างของเม็ดไขมันที่ถูกห่อหุ้มด้วยโปรตีนในไส้กรอกอิมัลชันจากปลาตาหวานสด ค่าย Scanning Electron Microscope (10,000X)

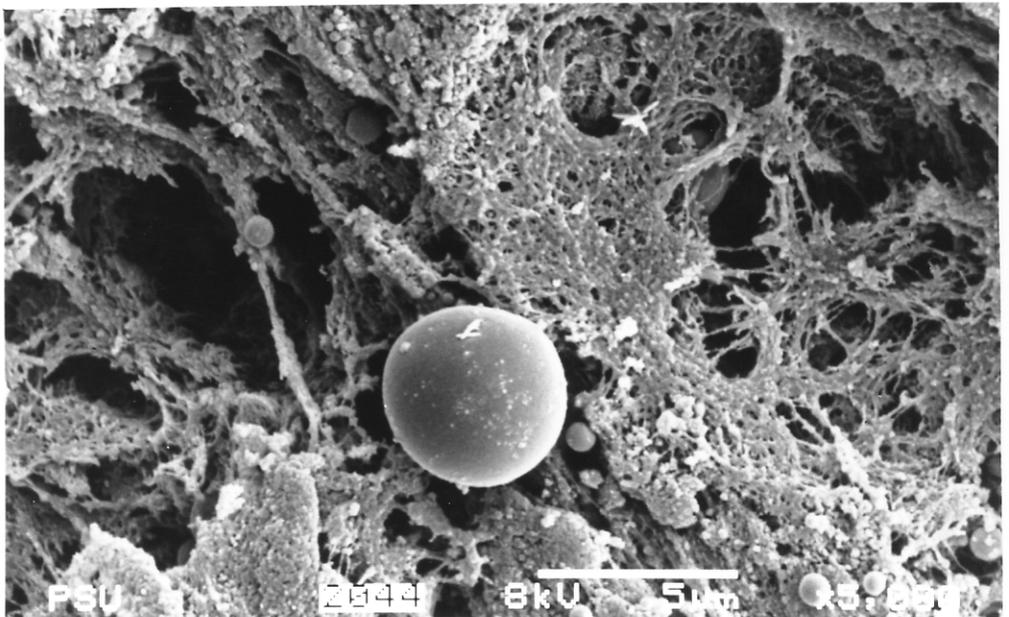
โปรตีนที่ล้อมรอบเม็ดไขมันมีผลต่อความคงตัวของอิมัลชันระหว่างกระบวนการให้ความร้อนซึ่งมีความสัมพันธ์โดยตรงต่อโครงสร้างและเนื้อสัมผัสของอิมัลชันจากเนื้อสัตว์ (Jones and Mandigo, 1992) สำหรับขนาดเม็ดไขมันในผลิตภัณฑ์เนื้ออิมัลชันทั่วไปนั้นมีความหลากหลายไม่แน่นอนขึ้นกับชนิดและกระบวนการผลิต Helmer และ Saffle (1963 อ้างโดย Saffle, 1968) รายงานว่าเม็ดไขมันในผลิตภัณฑ์เนื้อสัตว์ เมื่อศึกษาโดยใช้ Photomicrographs มีขนาดใหญ่กว่า 50 ไมครอน ในขณะที่การศึกษาด้วย SEM ในผลิตภัณฑ์เนื้ออิมัลชันชนิดต่างๆ เช่น เนื้อไก่บด ไส้กรอกแฟรงค์เฟอร์เตอร์ และในไส้กรอกโบลิลญา พบว่าเม็ดไขมันอาจมีขนาดเล็กกว่า 1 ไมครอน จนถึง 50 ไมครอน (Borchert *et al.*, 1967; Gordon and barbut, 1990; Jones and Mandigo, 1992; Carballo *et al.*, 1996)

การตรวจสอบโครงสร้างจุลภาคของไส้กรอกปลาอิ้มัลชั้นที่เตรียมจากเนื้อปลาตาหวาน (รูปที่ 16, 17, 18 และ 19) และจากเนื้อปลาปากคม (รูปที่ 20, 21, 22 และ 23) ที่ผ่านการเก็บในน้ำแข็งเป็นเวลา 0, 4, 8 และ 12 วัน ตามลำดับ พบว่าเมื่อระยะเวลาในการเก็บรักษาเพิ่มขึ้น โครงสร้างภายในเนื้อสัมผัสของไส้กรอกที่เตรียมจากปลาทั้ง 2 ชนิดมีช่องว่างใหญ่ขึ้นความหนาของเส้นโครงข่ายโปรตีนเพิ่มขึ้นและความต่อเนื่องของเส้นใยลดลง สอดคล้องกับผลการวิเคราะห์เนื้อสัมผัสที่วัด โดย TPA (ตารางที่ 7 และ 8) ของไส้กรอกที่เตรียมจากปลาทั้งสองชนิดมีค่าลดลง ในขณะที่ค่าการสูญเสียน้ำหนักหลังทำให้สุก (ตารางที่ 9) มีค่าเพิ่มขึ้นตามลำดับเมื่อระยะเวลาการเก็บนานขึ้น เป็นที่สังเกตได้ว่าโครงข่ายโปรตีนของไส้กรอกที่ทำจากปลาตาหวานโดยรวมมีการเปลี่ยนแปลงน้อยกว่าไส้กรอกที่ทำจากปลาปากคม ยกเว้นที่ระยะเวลาเก็บ 12 วันจะไม่สามารถบอกความแตกต่างระหว่างโครงสร้างภายในของไส้กรอกจากปลาทั้ง 2 ชนิด (รูปที่ 19 และ 23) เนื่องจากเนื้อปลาทั้ง 2 มีคุณภาพต่ำมาก



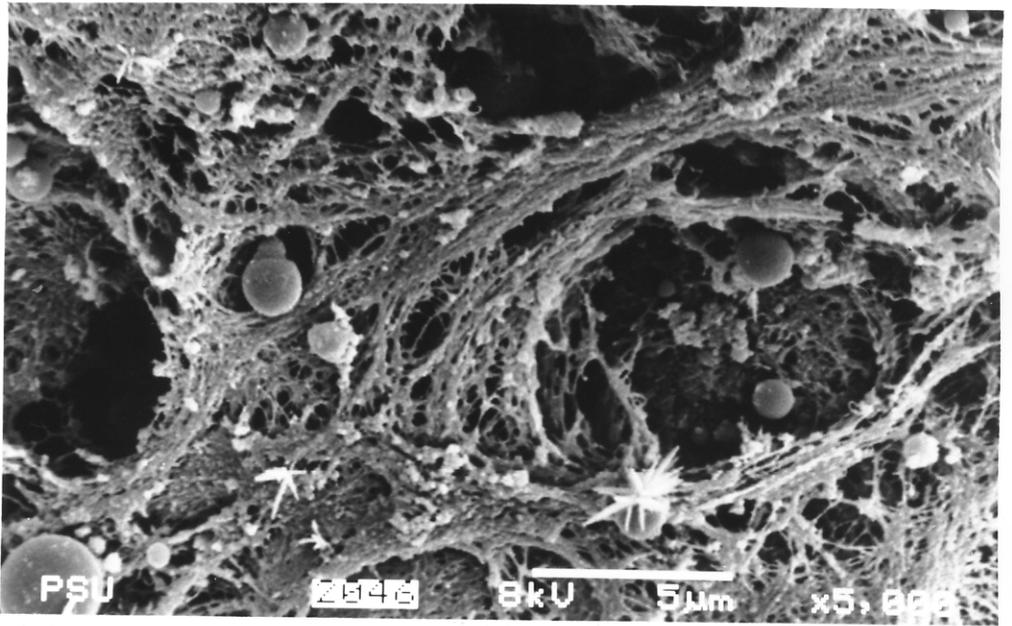
รูปที่ 16

ลักษณะ โครงสร้างจุลภาคของไส้กรองอิมัลชันที่เตรียมจาก
 ปลาตาหวานที่เวลาการเก็บรักษา 0 วัน
 ถ่ายด้วย Scanning Electron Microscope (5000X)



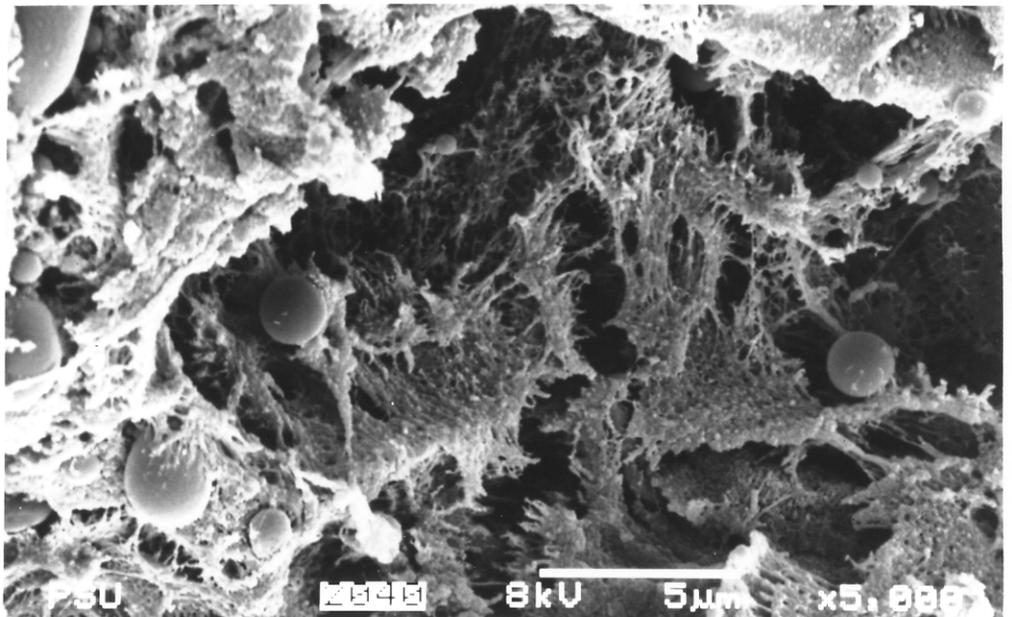
รูปที่ 17

ลักษณะ โครงสร้างจุลภาคของไส้กรองอิมัลชันที่เตรียมจาก
 ปลาตาหวานที่เวลาการเก็บรักษา 4 วัน
 ถ่ายด้วย Scanning Electron Microscope (5000X)



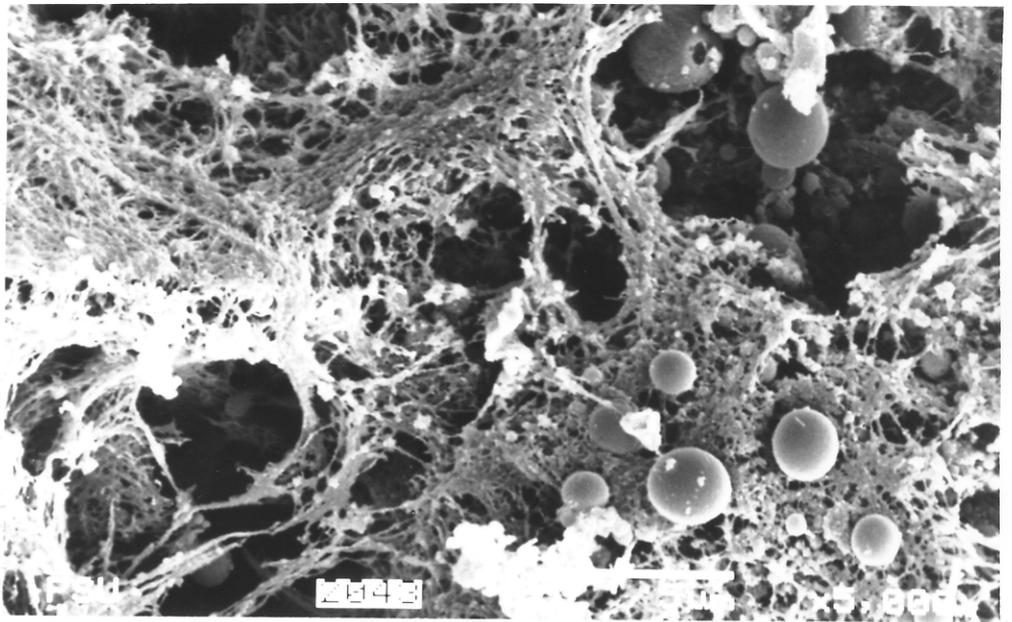
รูปที่ 18

ลักษณะโครงสร้างจุลภาคของไส้กรองอิมัลชันที่เตรียมจาก
 ปลาตาหวานที่เวลาการเก็บรักษา 8 วัน
 ถ่ายด้วย Scanning Electron Microscope (5000X)



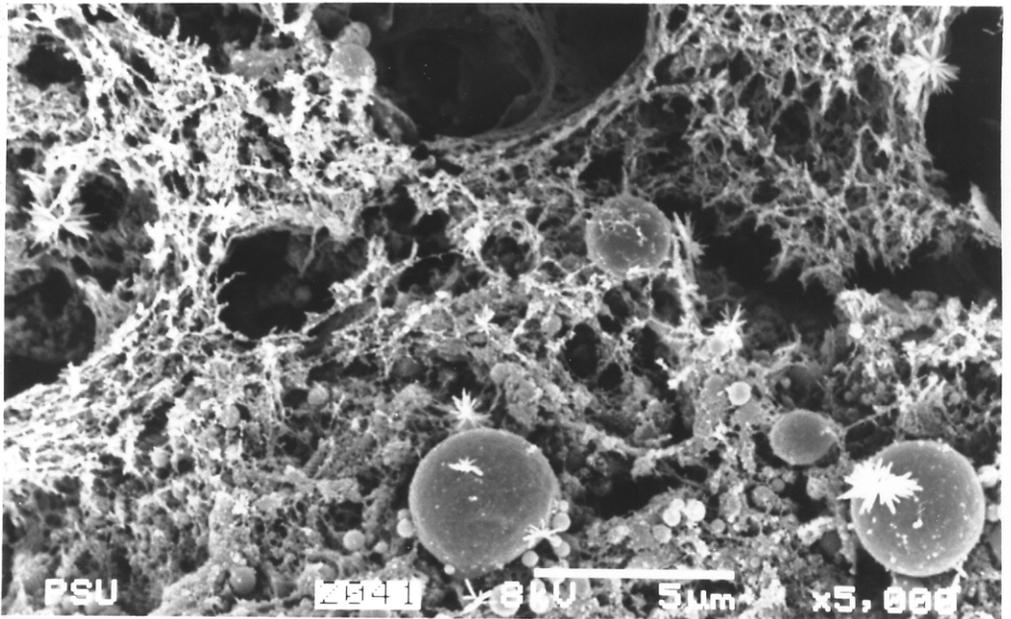
รูปที่ 19

ลักษณะโครงสร้างจุลภาคของไส้กรองอิมัลชันที่เตรียมจาก
 ปลาตาหวานที่เวลาการเก็บรักษา 12 วัน
 ถ่ายด้วย Scanning Electron Microscope (5000X)



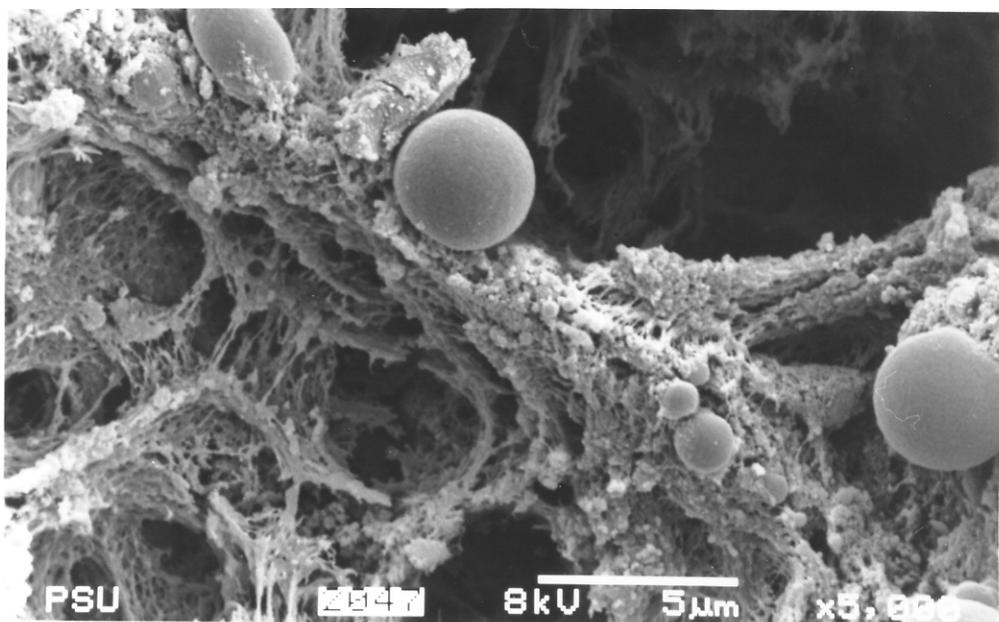
รูปที่ 20

ลักษณะโครงสร้างจุลภาคของไส้กรองอิมัลชันที่เตรียมจาก
ปลาปากคมที่เวลาการเก็บรักษา 0 วัน
ถ่ายด้วย Scanning Electron Microscope (5000X)



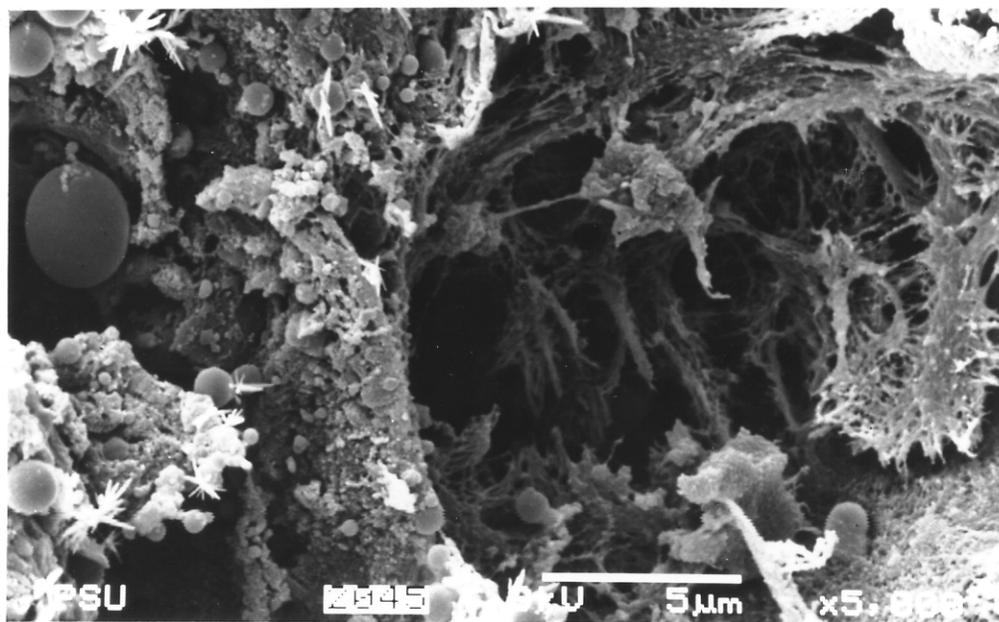
รูปที่ 21

ลักษณะโครงสร้างจุลภาคของไส้กรองอิมัลชันที่เตรียมจาก
ปลาปากคมที่เวลาการเก็บรักษา 4 วัน
ถ่ายด้วย Scanning Electron Microscope (5000X)



รูปที่ 22

ลักษณะโครงสร้างจุลภาคของโพลีเอทิลีนไกล์คอลอิมัลชันที่เตรียมจาก
 ปลาปากคมที่เวลาการเก็บรักษา 8 วัน
 ถ่ายด้วย Scanning Electron Microscope (5000X)



รูปที่ 23

ลักษณะโครงสร้างจุลภาคของโพลีเอทิลีนไกล์คอลอิมัลชันที่เตรียมจาก
 ปลาปากคมที่เวลาการเก็บรักษา 12 วัน
 ถ่ายด้วย Scanning Electron Microscope (5000X)

3. การศึกษาผลของสัดส่วนของปลาตาหวานและปลาปากคมที่มีต่อคุณภาพไส้กรอกปลาอิมัลชัน

จากผลการทดสอบคุณภาพไส้กรอกปลาอิมัลชัน โดยการศึกษาสัดส่วนของปลาตาหวานและปลาปากคมในอัตราส่วน 1 : 0, 0.9 : 0.1, 0.8 : 0.2, 0.7 : 0.3 และ 0.6 : 0.4 พบว่าค่าลักษณะเนื้อสัมผัสที่วัดโดยเครื่อง Texture Analyser ให้ค่า Adhesiveness และค่า Springiness ไม่แตกต่าง ($P > 0.05$) แต่ค่า Hardness, Cohesiveness, Gumminess, Chewiness และค่า Shear force มีแนวโน้มลดลง เมื่อมีสัดส่วนของปลาปากคมเพิ่มขึ้น ($P < 0.05$) (ตารางที่ 10) โดยไส้กรอกปลาที่เตรียมจากสัดส่วนของปลาตาหวานเพียงอย่างเดียวจะให้ค่าลักษณะเนื้อสัมผัสสูงสุด และเมื่อพิจารณาค่าการสูญเสียน้ำหนักหลังทำให้สุกพบว่าสัดส่วนของปลาปากคมสูงขึ้นไปจะทำให้ค่าการสูญเสียน้ำหนักหลังทำให้สุกมีค่าเพิ่มขึ้น ($P < 0.05$) (ตารางที่ 11) เนื่องจากปลาปากคมประกอบด้วยเอนไซม์โปรตีนเอสปริมาณสูง (Suwansakornkul *et al.*, 1993) เอนไซม์ดังกล่าวอาจย่อยสลายโปรตีนกล้ามเนื้อส่งผลให้โปรตีนขาดความสมบูรณ์ (integrity) รวมทั้งอาจเร่งการสูญเสียสภาพธรรมชาติของโปรตีน ซึ่งเป็นปัจจัยหลักในการเกิดเจล (จิรวดี เทือกสุบรรณ, 2544) ดังนั้นไส้กรอกปลาที่เตรียมจากสัดส่วนของปลาตาหวานเพียงอย่างเดียวจะให้ค่าลักษณะเนื้อสัมผัสสูงสุด และค่าการสูญเสียน้ำหนักหลังทำให้สุกมีค่าต่ำสุด

จากผลการทดสอบทางด้านประสาทสัมผัส (Hedonic Scale) โดยใช้ผู้ทดสอบจำนวน 30 คน ดังตารางที่ 12 พบว่าไม่มีความแตกต่างของคะแนนด้านลักษณะปรากฏระหว่างตัวอย่างที่มีปลาทั้งสองชนิดในอัตราส่วนต่างๆ ($P > 0.05$) แต่ผู้ทดสอบให้คะแนนความชอบด้านรสชาติ เนื้อสัมผัส และความชอบรวมของตัวอย่างที่มีปลาตาหวานเพียงอย่างเดียวสูงกว่าตัวอย่างที่มีปลาปากคมเป็นส่วนผสม ($P < 0.05$) ซึ่งคะแนนความชอบด้านเนื้อสัมผัสมีความสัมพันธ์โดยตรงกับค่า TPA และค่าแรงเนียน โดยค่าทั้งสองมีค่าลดลงเมื่อไส้กรอกมีส่วนผสมของปลาปากคมเพิ่มขึ้น (ตารางที่ 10)

ตารางที่ 10 ลักษณะเนื้อสัมผัสโดยวิธี TPA ของไส้กรอกอิมัลชันจากปลาตาหวาน และปลาปากคมที่มีสัดส่วนต่างๆ

อัตราส่วนของ ปลาตาหวาน และปลา ปากคม	Hardness	Adhesiveness	Springiness	Cohesiveness	Gumminess	Chewiness	Shear force
1 : 0	4363.78a	12.39ns	0.93ns	0.56a	2457.88a	2278.83a	1471.34a
0.9 : 0.1	4128.99ab	9.84ns	0.92ns	0.51b	2114.76b	1937.36ab	1188.26b
0.8 : 0.2	3914.84b	11.02ns	0.92ns	0.55a	2164.96b	1997.70b	1122.27bc
0.7 : 0.3	3971.65b	9.69ns	0.92ns	0.47b	1881.86b	1731.78c	1038.76cd
0.6 : 0.4	3249.84c	9.85ns	0.92ns	0.38c	1272.95c	1203.67d	960.98d

หมายเหตุ ตัวอักษร a, b, c และ d ที่แตกต่างกันในสคมภ์เดียวกัน บ่งชี้ความแตกต่างทางสถิติ ($P < 0.05$) ค่าที่แสดงเป็นค่าเฉลี่ยจากการวิเคราะห์ 2 ซ้ำ แต่ละซ้ำ วัดค่า 6 ครั้ง

ns = ไม่มีความแตกต่างทางสถิติ ($P > 0.05$)

ตารางที่ 11 ค่าการสูญเสียน้ำหนักหลังทำให้สุกของไส้กรอกอิมัลชันจาก ปลาตาหวานและปลาปากคมที่มีสัดส่วนต่างๆ

สัดส่วนปลาตาหวาน : ปลาปากคม	ค่าการสูญเสียน้ำหนักหลังทำให้สุก (%)*
1 : 0	6.11 ± 0.02a
0.9 : 0.1	6.17 ± 0.00b
0.8 : 0.2	6.24 ± 0.00c
0.7 : 0.3	6.32 ± 0.01d
0.6 : 0.4	6.38 ± 0.01e

หมายเหตุ ตัวอักษร a, b, c และ d ที่แตกต่างกันในสคมภ์เดียวกัน บ่งชี้ความแตกต่างทางสถิติ ($P < 0.05$)

* ค่าเฉลี่ย ± ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานจากการวิเคราะห์ 2 ซ้ำ

ตารางที่ 12 คะแนนความชอบ โดยวิธี Hedonic Scale (9 คะแนน) ของไส้กรอก
อิมัลชันจากปลาตาหวานและปลาปากคมที่มีสัดส่วนต่างๆ

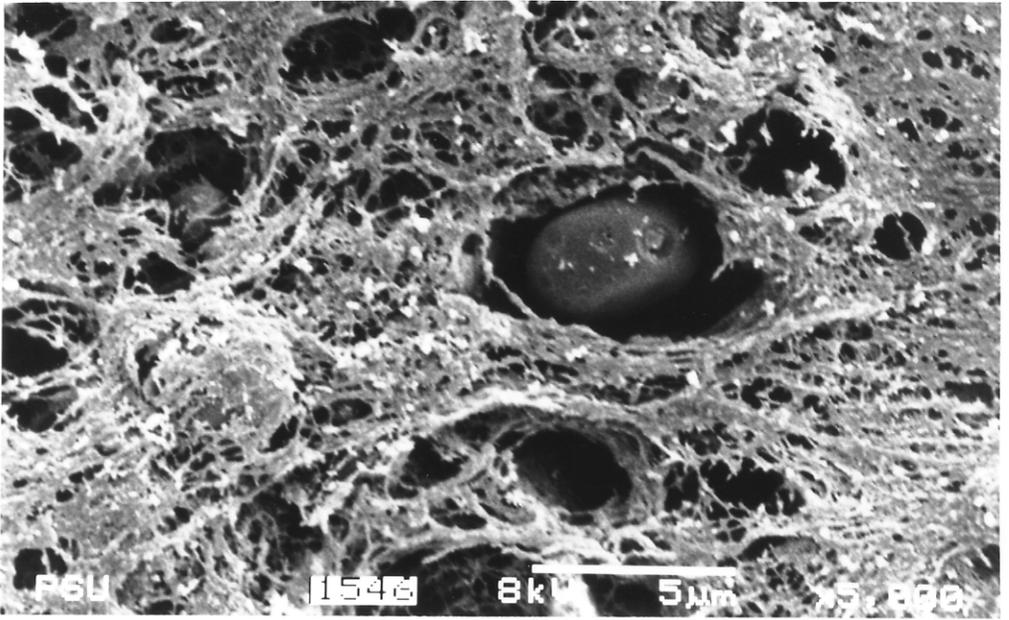
คุณลักษณะ	คะแนนความชอบ ¹				
	สัดส่วนของปลาตาหวานและปลาปากคม				
ทางประสาทสัมผัส	1 : 0	0.9 : 0.1	0.8 : 0.2	0.7 : 0.3	0.6 : 0.4
ความชอบรวม	7.12a	6.53bc	6.78b	6.00d	6.40c
ลักษณะปรากฏ	6.73ab	6.70b	6.83ab	6.98a	6.75ab
รสชาติ	6.82a	6.33bc	6.65ab	5.88d	6.10cd
ลักษณะเนื้อสัมผัส	7.05a	6.73a	6.80ab	5.90c	5.90c

หมายเหตุ อักษร a, b, c และ d ที่ต่างกันในแนวนอน มีความแตกต่างกันอย่าง
มีนัยสำคัญทางสถิติ ($P < 0.05$)

¹ ค่าเฉลี่ยของคะแนนความชอบ จากผู้ทดสอบ 30 คน (2 ซ้ำ)

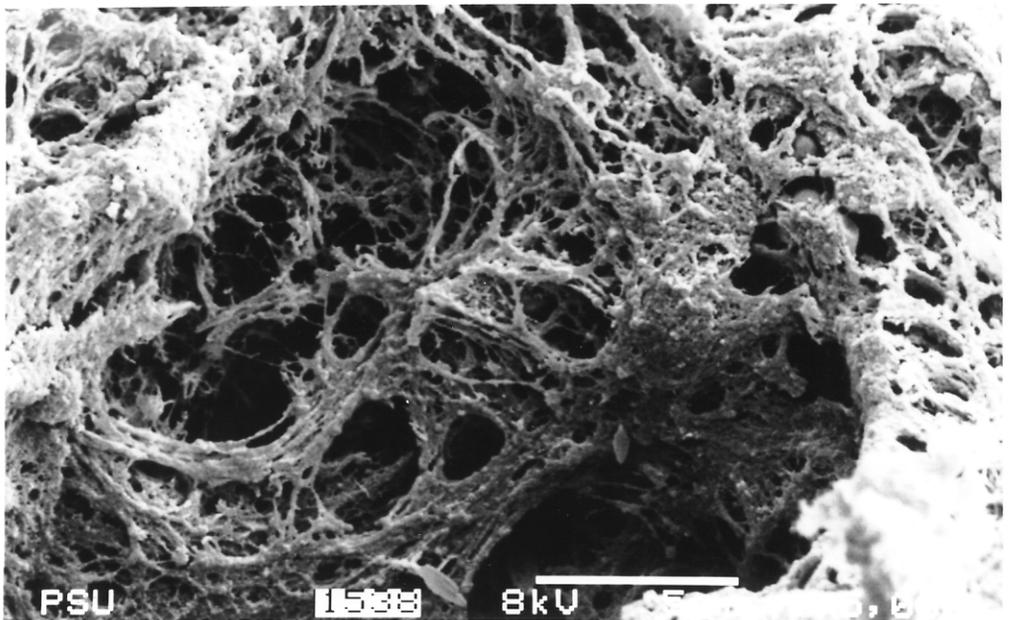
โครงสร้างจุลภาคของไส้กรอกปลาอิมัลชัน

ลักษณะโครงสร้างจุลภาคของไส้กรอกปลาอิมัลชันที่ผลิตจากเนื้อปลาตาหวาน
และปลาปากคมผสมกันในอัตราส่วน 1:0, 0.9:0.1, 0.8:0.2, 0.7:0.3 และ 0.6:0.4 ดังรูปที่
24, 25, 26, 27 และ 28 ตามลำดับ พบว่าไส้กรอกที่ผลิตจากเนื้อปลาตาหวานเพียงอย่าง
เดียวมีโครงข่ายของโปรตีนที่ละเอียดและเชื่อมต่อกันมากกว่าไส้กรอกที่มีปลาปากคม
เป็นส่วนผสม และเมื่อมีอัตราส่วนของปลาปากคมเพิ่มขึ้นทำให้โครงข่ายของโปรตีนมี
ขนาดของช่องว่างใหญ่ขึ้นและความต่อเนื่องของเส้นใยโปรตีนน้อยลง ซึ่งผลที่ได้สอดคล้อง
กับค่าวิเคราะห์เนื้อสัมผัสโดย TPA (ตารางที่ 10) มีค่าลดลงและค่าการสูญเสียน้ำ
หนักหลังทำให้สุก (ตารางที่ 11) มีค่าเพิ่มขึ้นตามลำดับ เมื่อไส้กรอกมีสัดส่วนของเนื้อ
ปลาปากคมสูงขึ้น



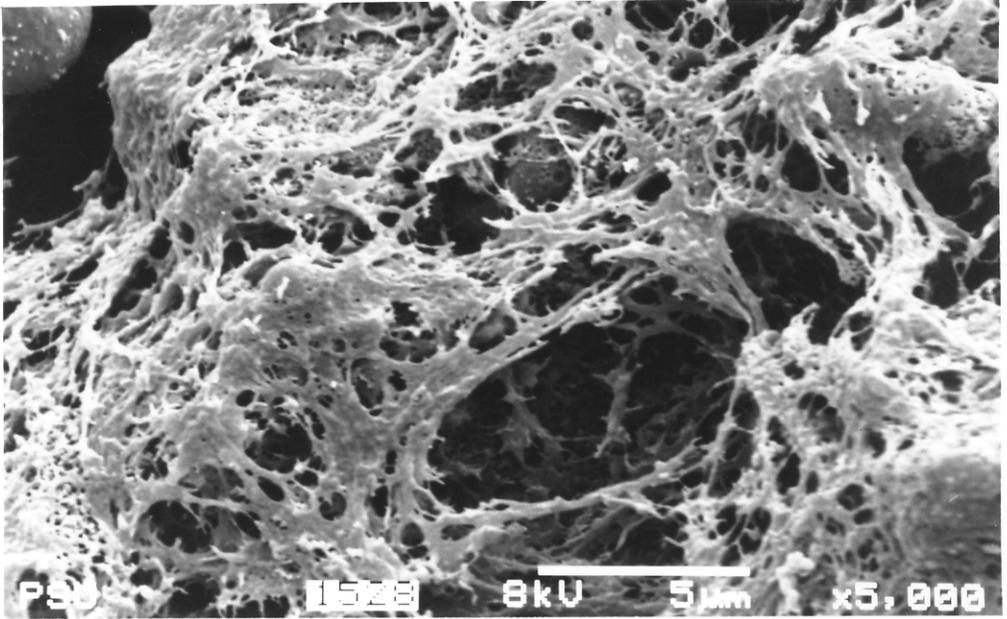
รูปที่ 24

ลักษณะโครงสร้างจุลภาคของใยกรอกอิมัลชันที่เตรียมจาก
เนื้อปลาตาหวานและปลาปากคมผสมในอัตราส่วน 1 : 0
ถ่ายด้วย Scanning Electron Microscope (5000X)



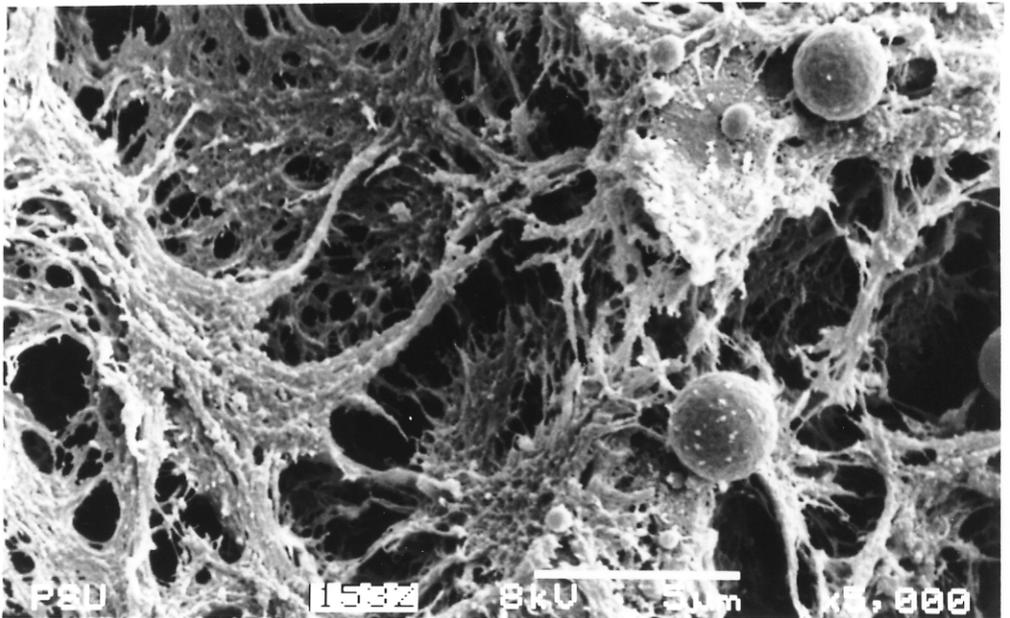
รูปที่ 25

ลักษณะโครงสร้างจุลภาคของใยกรอกอิมัลชันที่เตรียมจาก
เนื้อปลาตาหวานและปลาปากคมผสมในอัตราส่วน 0.9 : 0.1
ถ่ายด้วย Scanning Electron Microscope (5000X)



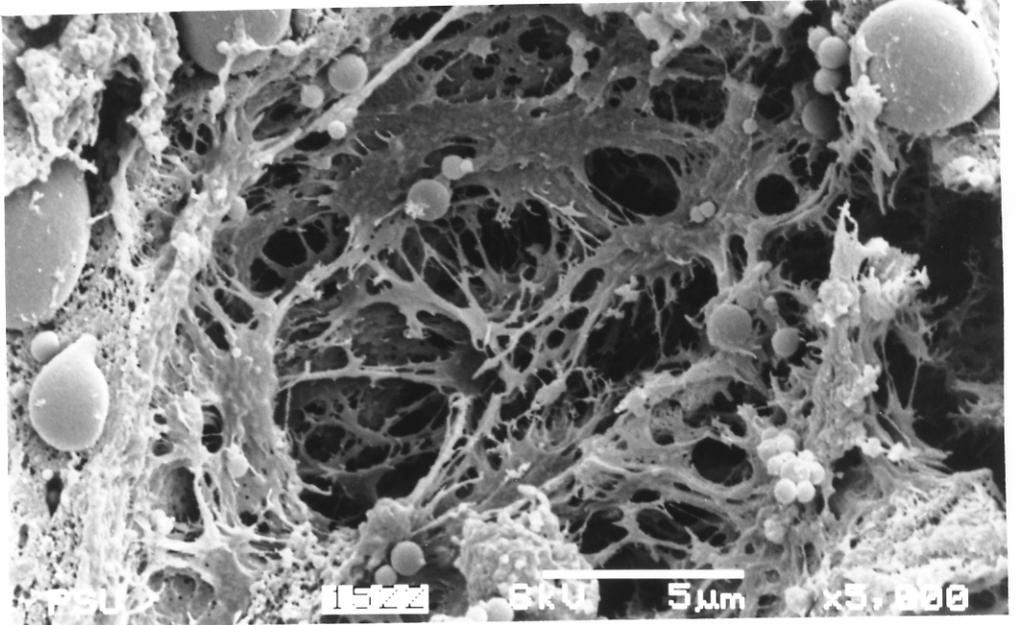
รูปที่ 26

ลักษณะโครงสร้างจุลภาคของไส้กรองอิมัลชันที่เตรียมจาก
เนื้อปลาหวานและปลาปากผสมในอัตราส่วน 0.8 : 0.2
ถ่ายด้วย Scanning Electron Microscope (5000X)



รูปที่ 27

ลักษณะโครงสร้างจุลภาคของไส้กรองอิมัลชันที่เตรียมจาก
เนื้อปลาหวานและปลาปากผสมในอัตราส่วน 0.7 : 0.3
ถ่ายด้วย Scanning Electron Microscope (5000X)



รูปที่ 28

ลักษณะโครงสร้างจุลภาคของไส้กรอกอีมีลชั้นที่เตรียมจาก
เนื้อปลาตาหวานและปลาปากคมผสมในอัตราส่วน 0.6 : 0.4
ถ่ายด้วย Scanning Electron Microscope (5000X)

4. การศึกษาผลของปริมาณไขมันที่มีต่อคุณภาพไส้กรอกปลาอิมัลชัน

จากผลการวิเคราะห์ค่า TPA และค่าการสูญเสียน้ำหนักหลังการทำให้ของไส้กรอกปลาอิมัลชันที่เติมน้ำมันถั่วเหลือง 3 ระดับ คือ ร้อยละ 5 (ชุดควบคุม) 10 และ 15 และแปรปริมาณน้ำเป็นร้อยละ 17 (ชุดควบคุม) 12 และ 7 ตามลำดับ ดังแสดงในตารางที่ 13 และ ตารางที่ 14 ตามลำดับ พบว่าปริมาณน้ำมันถั่วเหลืองที่สูงขึ้นมีผลต่อการสูญเสียน้ำหนักหลังทำให้สุกเพิ่มขึ้น ขณะที่ ค่า TPA และค่าแรงเฉือน (Shearing force) มีค่าลดลง ($P < 0.05$) การที่ค่าการสูญเสียน้ำหนักหลังทำให้สุกสูงขึ้น อธิบายได้ว่าเมื่อปริมาณน้ำมันเพิ่มมากขึ้น สัดส่วนระหว่างปริมาณโปรตีนต่อปริมาณไขมันมีค่าลดลง เนื่องจากโปรตีนเป็นองค์ประกอบซึ่งทำหน้าที่จับโมเลกุลของน้ำและไขมัน เมื่อปริมาณโปรตีนคงที่ ทำให้มีโมเลกุลของน้ำมันอิสระเหลืออยู่ในระบบมากขึ้นจึงเกิดการสูญเสียระหว่างการให้ความร้อนดังนั้นปริมาณไขมันยิ่งมากขึ้น เช่นเดียวกับการศึกษาของ Berry (1992) พบว่าหลังการให้ความร้อน ground beef patties มีปริมาณไขมันคงอยู่น้อยลง เมื่อปริมาณไขมันของผลิตภัณฑ์สูงขึ้น (ร้อยละ 0, 4, 8, 12, 16 และ 20) เนื่องจากเมื่อให้ความร้อนแก่ผลิตภัณฑ์ทำให้หยดไขมันจำนวนมากขยายตัวเพิ่มขึ้น ซึ่งมีผลทำให้อนุภาคไขมันเกิดการเคลื่อนที่ออกนอกโครงสร้างของโปรตีน ขณะที่ตัวอย่างที่มีไขมันต่ำมีเมตริกซ์ของโปรตีนที่แน่น ทำให้ป้องกันการขยายตัวของหยดไขมันและการไหลออกจากโครงสร้างโปรตีน Cross และคณะ (1980) พบว่า เนื้อวัวบดที่มีไขมันระดับต่างๆ (ร้อยละ 16, 20, 24 และ 28) มีการสูญเสียหลังการปรุงสุกสูงขึ้นเมื่อผลิตภัณฑ์มีปริมาณไขมันสูงขึ้น นอกจากนี้ Berry และ Leddy (1984) ยังพบว่าเนื้อวัวบดที่มีปริมาณไขมันสูงขึ้น จะมีผลทำให้ค่าแรงเฉือนลดลงเนื่องจากไขมันจะทำให้เนื้อสัมผัสผลิตภัณฑ์นุ่มไม่แข็งกระด้าง (Swift, 1954 อ้างโดย Saffle, 1968) โดยไขมันทำหน้าที่เป็นสารหล่อลื่น ทำให้เส้นใยกล้ามเนื้อแยกจากกันได้ง่าย จึงมีผลทำให้ค่าความนุ่ม (tenderness) เพิ่มขึ้น และค่าแรงเฉือนมีค่าลดลง (Forrest *et al.*, 1975 อ้างโดย Cross *et al.*, 1980) จากผลการทดลองดังกล่าวได้ผลสอดคล้องกับการทดลองของ Niwa และคณะ (1989) พบว่าการเติมไขมันมากกว่าร้อยละ 5 ในเนื้อปลาซาร์ดีนบดมีผลทำให้ค่า gel strength และ ค่า breaking strain มีค่าลดลง

จากการทดสอบความชอบด้านลักษณะเนื้อปรากฏ รสชาติ เนื้อสัมผัส และความชอบรวม ดังตารางที่ 15 เมื่อผลิตภัณฑ์มีปริมาณน้ำมันที่ระดับร้อยละ 10 มีคะแนนความชอบ รสชาติ เนื้อสัมผัสและความชอบรวมสูงกว่าที่ปริมาณน้ำมันร้อยละ 15 ($P < 0.05$) แต่ไม่แตกต่างจากปริมาณน้ำมันร้อยละ 5 อาจเนื่องจากไขมันมีส่วนช่วยทำให้ผลิตภัณฑ์นุ่มขึ้น แต่การเพิ่มของปริมาณน้ำมันต้องมีปริมาณที่พอเหมาะ ถ้ามากเกินไปอาจทำให้ผู้ทดสอบยอมรับผลิตภัณฑ์น้อยลง และเนื้อสัมผัสของไส้กรอกจะไม่เกาะกันแน่นหรือเนื้อสัมผัสมีลักษณะแฉะ (Cross *et al.*, 1980)

ตารางที่ 13 ลักษณะเนื้อสัมผัสโดยวิธี TPA ของไส้กรอกอิมัลชันที่มีสัดส่วนปริมาณไขมันและปริมาณน้ำต่างๆ

ปริมาณไขมัน (ร้อยละ)และ ปริมาณน้ำ (ร้อยละ)	Hardness	Adhesiveness	Springiness	Cohesiveness	Gumminess	Chewiness	Shear force
5 : 17	4366.30a	12.39ab	0.92a	0.56a	2464.05a	2275.37a	1471.14a
10 : 12	3986.86b	19.03a	0.92a	0.57a	2281.77ab	2103.61ab	1355.61ab
15 : 7	3956.69b	7.49b	0.91b	0.54b	2139.75b	1951.52b	1179.11b

หมายเหตุ ตัวอักษร a, b และ c ที่แตกต่างกันในสดมภ์เดียวกัน บ่งชี้ความแตกต่างทางสถิติ ($P < 0.05$) ค่าที่แสดงเป็นค่าเฉลี่ยจากการวิเคราะห์ 2 ซ้ำ แต่ละซ้ำ วัดค่า 6 ครั้ง

ตารางที่ 14 ค่าการสูญเสียน้ำหนักหลังทำให้สุกของไส้กรอกอิมัลชันที่มีสัดส่วนของปริมาณไขมันและปริมาณน้ำต่างๆ

ปริมาณไขมัน (ร้อยละ)	ปริมาณน้ำ (ร้อยละ)	ค่าการสูญเสียน้ำหนัก หลังทำให้สุก (%)
5	17	6.53 ± 0.01a
10	12	7.45 ± 0.05b
12	7	8.36 ± 0.04c

หมายเหตุ ตัวอักษร a, b, c และ d ที่แตกต่างกันในสคริปต์เดียวกัน บ่งชี้ความแตกต่างทางสถิติ ($P < 0.05$)

* ค่าเฉลี่ย ± ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานจากการวิเคราะห์ 2 ซ้ำ

ตารางที่ 15 คะแนนความชอบ โดยวิธี Hedonic Scale (9 คะแนน) ของไส้กรอกอิมัลชันที่มีสัดส่วนของปริมาณไขมันและปริมาณน้ำต่างๆ

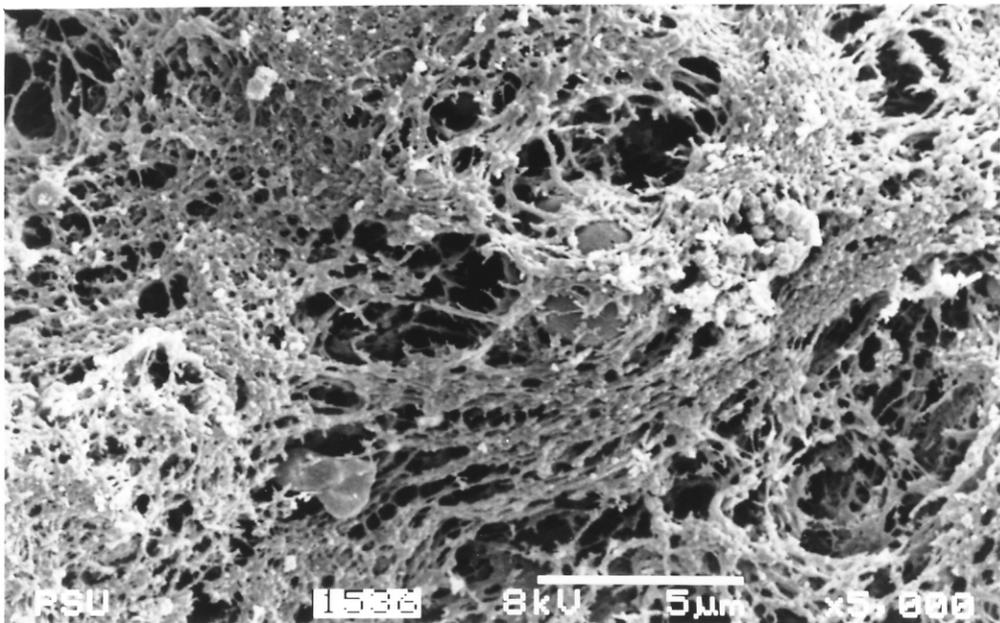
ปริมาณไขมัน (ร้อยละ)	ปริมาณน้ำ (ร้อยละ)	คะแนนความชอบ ¹			
		ความชอบรวม	ลักษณะปรากฏ	รสชาติ	ลักษณะเนื้อสัมผัส
5	7	7.10a	6.78b	6.70ab	7.05ab
10	12	7.20a	7.10a	6.90a	7.32a
15	7	6.63b	6.83b	6.53b	6.80b

หมายเหตุ อักษร a, b และ ab ที่ต่างกันในสคริปต์เดียวกัน มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P < 0.05$)

¹ ค่าเฉลี่ยของคะแนนความชอบจากผู้ทดสอบ 30 คน (2 ซ้ำ)

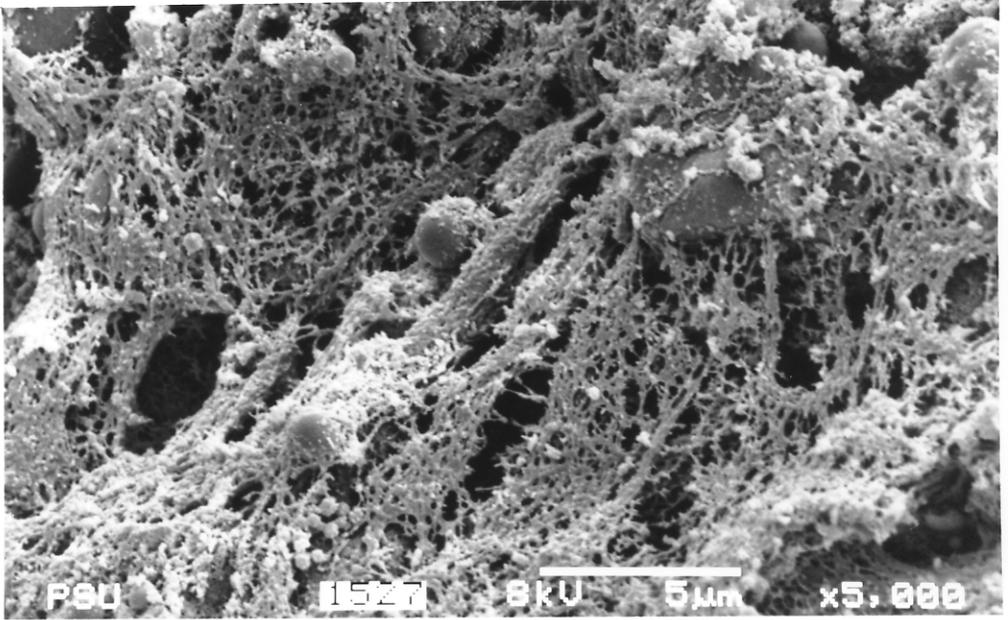
โครงสร้างจุลภาคของไส้กรอกปลาอิมัลชัน

จากการศึกษาผลของปริมาณไขมันที่มีต่อ โครงสร้างจุลภาคของไส้กรอกปลาอิมัลชันที่เตรียมจากเนื้อปลาตาหวาน โดยปรับปริมาณไขมันและปริมาณน้ำในสัดส่วนร้อยละ 5 : 17, 10 : 12, 15 : 7 พบว่าเมื่อดไขมันภายในโครงข่ายโปรตีนมีขนาดเล็กลงและความหนาแน่นของโครงข่ายโปรตีนเพิ่มขึ้นเมื่อไส้กรอกปลามีปริมาณไขมันในส่วนผสมเพิ่มขึ้น ดังรูปที่ 29, 30 และ 31 ทั้งนี้อาจเนื่องมาจากเมื่อปริมาณน้ำมันเพิ่มมากขึ้นทำให้สัดส่วนระหว่างปริมาณโปรตีนต่อปริมาณไขมันมีค่าลดลง ทำให้มีโมเลกุลของน้ำมันอิสระเหลืออยู่ในระบบมากขึ้นและเกิดการสูญเสียระหว่างการให้ความร้อน ซึ่งสอดคล้องกับค่าการสูญเสียน้ำหนักแห้งทำให้สุกมีค่าเพิ่มขึ้น เมื่อปริมาณไขมันเพิ่มขึ้น (ตารางที่ 14) ส่งผลให้ความหนาแน่นของโครงข่ายโปรตีนเพิ่มขึ้น



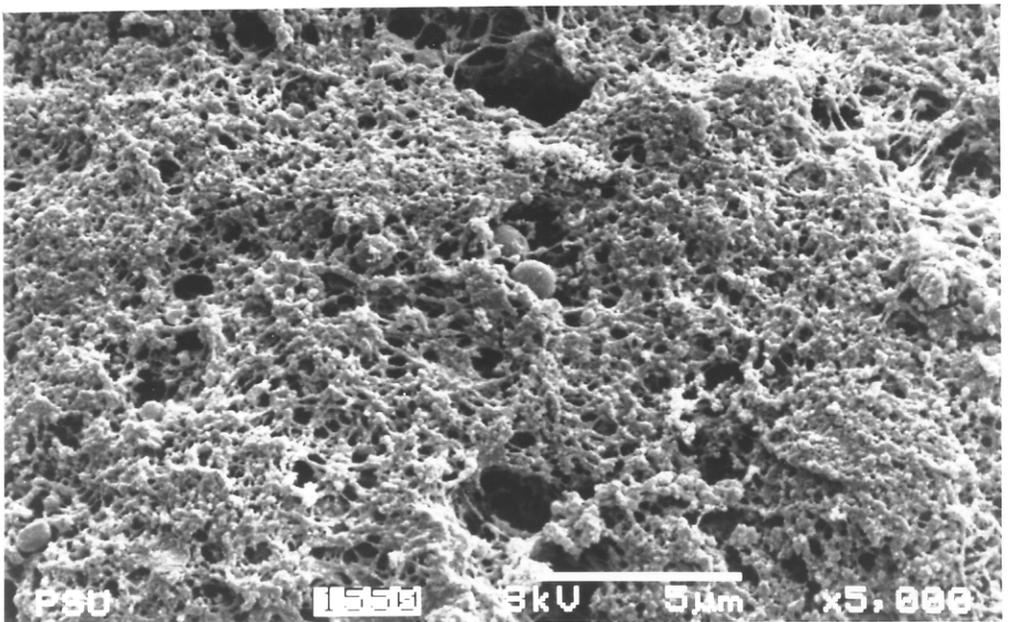
รูปที่ 29

ลักษณะโครงสร้างจุลภาคของไส้กรอกอิมัลชันที่เตรียมจากเนื้อปลาตาหวาน โดยใช้ปริมาณน้ำมันร้อยละ 5 และปริมาณน้ำร้อยละ 17 ถ่ายด้วย Scanning Electron Microscope (5000X)



รูปที่ 30

ลักษณะโครงสร้างจุลภาคของไส้กรอกอิมัลชันที่เตรียมจากเนื้อปลา
ตาหวานโดยใช้ปริมาณน้ำมันร้อยละ 10 และปริมาณน้ำร้อยละ 12
ถ่ายด้วย Scanning Electron Microscope (5000X)



รูปที่ 31

ลักษณะโครงสร้างจุลภาคของไส้กรอกอิมัลชันที่เตรียมจากเนื้อปลา
ตาหวานโดยใช้ปริมาณน้ำมันร้อยละ 15 และปริมาณน้ำร้อยละ 7
ถ่ายด้วย Scanning Electron Microscope (5000X)