

บทที่ 4

ผลและวิจารณ์ผลการทดลอง

4.1. องค์ประกอบทางเคมีของปลาทับทิมสด

ปลาทับทิมสดที่นำมาวิเคราะห์มีขนาดน้ำหนักเฉลี่ยประมาณ 700-800 กรัมต่อตัว มีลักษณะคาโศง เหงือกแดงสด ผิวหนังสีแดงอมชมพูสดเรียบเป็นเงา เนื้อสัมผัสยืดหยุ่นดี ผนังท้องไม่แตก ด้านในช่องท้องมีสีขาว เกล็ดไม่หลุดออกจากหนัง องค์ประกอบทางเคมีของปลาทับทิมสดแสดงในตารางที่ 4.1

ตารางที่ 4.1 องค์ประกอบทางเคมีของปลาทับทิมสด

องค์ประกอบทางเคมี	ค่าเฉลี่ย* ± ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน
ค่าความสด	
TVB (mg/100 g sample)	11.08 ± 0.01
TMA (mg/100 g sample)	0
โปรตีน (%)**	16.80 ± 0.01
ไขมัน (%)**	4.06 ± 0.03
ความชื้น (%)**	78.48 ± 0.21
pH	6.5 ± 0.1

* ค่าเฉลี่ยจากการทำซ้ำ 3 ซ้ำ

** wet basis

จากผลการวิเคราะห์ค่าความสดของปลา คือปริมาณค่าที่ระเหยได้ทั้งหมด (total volatile bases : TVB) และปริมาณไตรเมทิลลามีน (trimethylamine : TMA) ของเนื้อปลาทับทิมสดที่ใช้เป็นวัตถุดิบในการผลิตซูริมี พบว่าปริมาณ TVB และ TMA มีค่าเท่ากับ 11.08 mg/100 g sample และ 0 mg/100 g sample ตามลำดับ แสดงให้เห็นว่าปลาที่นำมาใช้เป็นวัตถุดิบเป็นปลาที่สดมาก โดยทั่วไปปลาน้ำจืดสดที่มีค่า TVB ไม่เกิน 30 mg/100 g sample และค่า TMA ไม่เกิน 6 mg/100 g sample จัดเป็นปลาที่มีความสดมาก (Uchiyama, 1978)

การวัดปริมาณ TVB เป็นวิธีที่นิยมใช้ในการวัดความสดของปลา เนื่องจากหลังที่ปลาตาย จะเกิดการเปลี่ยนแปลงที่เกิดจากการเจริญของจุลินทรีย์ย่อยสลายโปรตีนในเนื้อปลาเกิดสารประกอบไนโตรเจนที่ระเหยได้ ได้แก่ TMA, DMA และ NH₃ ซึ่งทำให้ค่า TVB เพิ่มขึ้นสามารถใช้เป็นดัชนีบ่งชี้ความสดของปลาได้ (Huss, 1995) ส่วนการวัดปริมาณ TMA ที่เกิดจากการแตกตัว

ของ trimethylamine oxide (TMAO) ที่ถูกใช้ในกระบวนการเจริญ โดยการใช้ออกซิเจนของ จุลินทรีย์ในพลาสติก ไม่เป็นที่นิยมใช้วัดความสดในปลาน้ำจืด เนื่องจากปลาน้ำจืดมีปริมาณ TMAO ค่ำมาก และไม่นิยมนำมาวัดความสดของปลาที่เก็บรักษาในน้ำแข็งไม่เกิน 6 วัน (Howgate, 1982)

ผลการวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมีของเนื้อปลาสด พบว่าปริมาณ โปรตีน และไขมัน เท่ากับ 16.80 % และ 4.06 % โดยน้ำหนักสด ตามลำดับ สำหรับการจำแนกชนิดปลาที่ใช้เป็น วัตถุดิบในการผลิต ซูริมิสามารถจำแนกตามปริมาณไขมัน ได้แก่ ปลาที่มีไขมันต่ำ (< 2 %) (lean fish) เช่น ปลา cod ปลา haddock ปลา Alaska pollock ปลาที่มีไขมันปานกลาง (2-5 %) (moderate-fat fish) เช่น ปลา round herring ปลา redfish และปลาที่มีไขมันสูง (> 5 %) (high-fat fish) เช่น ปลา blue whiting ปลา mackerel เป็นต้น (Spinelli และ Dassow, 1982; Ackman, 1994) อย่างไรก็ตาม มีข้อควรสังเกตว่าปริมาณไขมันในปลา โดยเฉพาะอย่างยิ่งปลาที่มีไขมันสูง มีการแปรผันได้ในช่วง ที่ค่อนข้างกว้าง โดยปริมาณไขมันในปลาจะขึ้นกับฤดูกาล (Ohshima และคณะ, 1988; Bandarra และคณะ, 1997) Okada (1980) รายงานว่าปลา sardine ในเขตแปซิฟิกเหนือมีปริมาณ ไขมันตั้งแต่ 6 % ในเดือนมีนาคมไปจนถึง 28 % ในช่วงปลายฤดูร้อน จากผลการทดลองโดยพิจารณาจาก หลักเกณฑ์การจำแนกชนิดปลาที่ใช้เป็นวัตถุดิบในการผลิตซูริมิข้างต้น พบว่าปลาที่จับได้เป็น วัตถุดิบที่มีปริมาณ โปรตีนสูง แต่มีปริมาณไขมันปานกลาง ซึ่งเหมาะสมในการนำไปเป็นวัตถุดิบ ในการผลิต ซูริมิ Shimizu และคณะ (1992) รายงานว่าไขมันในเนื้อปลาถ้ามีปริมาณสูงจะ ไปมีผลใน การขัดขวางการเกิดเจลของไมโอซิน ซึ่งเป็น โปรตีนที่มีบทบาทสำคัญในการเกิดเจลของซูริมิ โดย ส่วนที่ไม่ชอบน้ำของโมเลกุลไขมันจะไปรวมตัวกับหมู่ที่ไม่ชอบน้ำของไมโอซิน จึงไปขัดขวางการ เกิดร่างแหของไมโอซิน ส่งผลให้เจลที่ได้ไม่แข็งแรง นอกจากนี้ไขมันในเนื้อปลายังเป็นปัจจัยที่ทำให้ โปรตีนเสียสภาพธรรมชาติในระหว่างการเก็บรักษาโดยการแช่เยือกแข็ง (Fennema, 1996) โดย ในระหว่างการเก็บรักษาโดยการแช่แข็งไขมันในเนื้อปลาที่ถูกออกซิไดซ์สามารถเกิดการเชื่อมข้าม กับ โปรตีน ทำให้หมู่ที่ไม่ชอบน้ำของโปรตีนเปิดออกสู่ด้านนอกเพิ่มขึ้น โปรตีนจึงจับตัวกันเป็น สาเหตุให้โปรตีนเสียสภาพธรรมชาติ

4.2. การศึกษาภาวะการให้ความร้อนที่เหมาะสมกับการเกิดเจลของซูริมิจากปลาทับทิม

การศึกษานี้ใช้การเตรียมเจลซูริมิด้วยการให้ความร้อนด้วยอุณหภูมิ 2 ระดับ (two-step heating) โดยนำซูริมิไปเตรียมเป็นเจลที่อุณหภูมิต่ำ (1st step heating) ศึกษาผลของอุณหภูมิ และเวลา ในการให้ความร้อน โดยแปรอุณหภูมิ 7 ระดับ คือ 40, 45, 50, 55, 60, 65 และ 70 °C และเวลาใน การให้ความร้อน 4 ระดับ คือ 30, 60, 90 และ 120 นาที นำเจลซูริมิที่ได้ไปต้มให้สุกที่อุณหภูมิ 90 °C (2nd step heating) เป็นเวลา 30 นาที จากนั้นนำเจลซูริมิที่ได้มาประเมินค่าทางเนื้อสัมผัสของเจล ซูริมิ แสดงในตารางที่ 4.2-4.4 และรูปที่ 4.1-4.3

ตารางที่ 4.2 ค่าแรงกด (force) ของเจลซูริมิปลาทัทิมที่ทำให้เกิดเจลด้วยการให้ความร้อนที่ภาวะต่างกัน

Temp (°C)	force (g)			
	30 min	60 min	90 min	120 min
40	694.51 ^j ±11.56	753.65 ^k ±50.74	772.55 ^k ±9.38	785.61 ^k ±14.98
45	558.44 ⁱ ±37.33	555.61 ⁱ ±9.44	534.43 ⁱ ±15.08	524.85 ⁱ ±22.11
50	506.40 ⁱ ±4.38	524.95 ⁱ ±17.37	407.99 ^{fgh} ±47.61	371.59 ^{def} ±24.32
55	446.79 ^h ±22.44	389.82 ^{efg} ±13.47	390.08 ^{efg} ±6.71	350.48 ^{cde} ±6.75
60	416.28 ^{efgh} ±16.78	348.06 ^{cde} ±16.99	322.07 ^{bcd} ±44.48	314.23 ^{bc} ±13.20
65	407.61 ^{fgh} ±2.84	286.53 ^b ±7.43	266.81 ^{ab} ±32.99	265.81 ^a ±16.26
70	439.80 ^{gh} ±13.42	395.69 ^{efgh} ±32.17	299.48 ^{bc} ±14.45	291.90 ^b ±17.23

a, b, c,... ค่าเฉลี่ยที่มีอักษรกำกับต่างกันของข้อมูลมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$)

ตารางที่ 4.3 ค่าระยะทางก่อนเจลแตก (deformation) ของเจลซูริมิปลาทัทิมที่ทำให้เกิดเจลด้วยการให้ความร้อนที่ภาวะต่างกัน

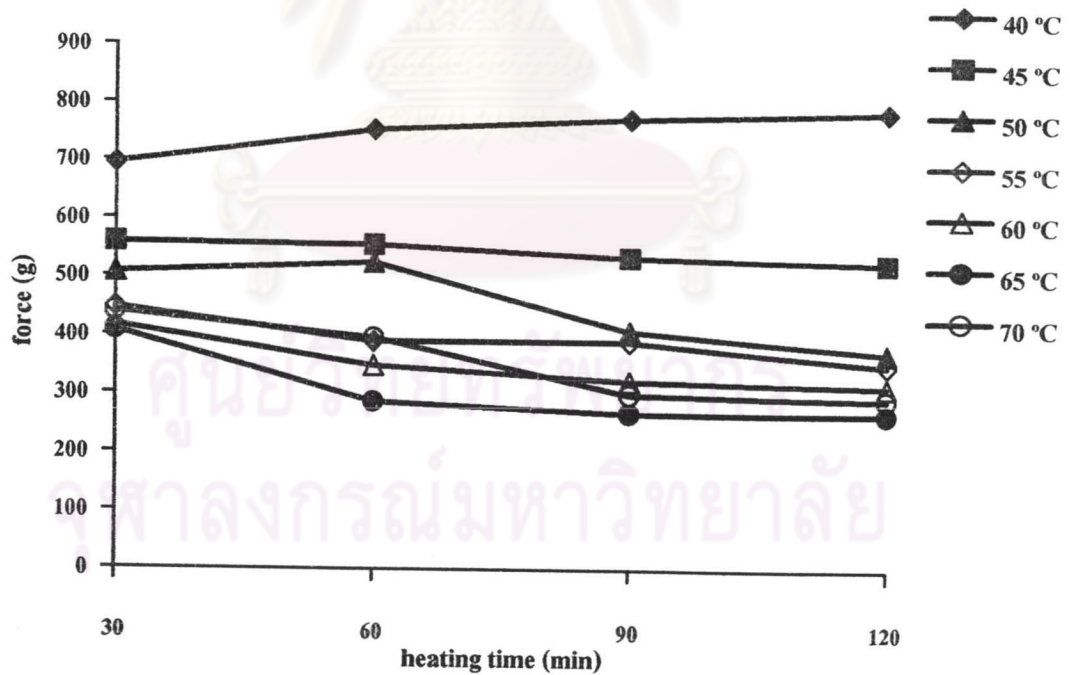
Temp (°C)	deformation (cm)			
	30 min	60 min	90 min	120 min
40	1.47 ^j ±0.02	1.40 ^{ij} ±0.08	1.40 ^{ij} ±0.01	1.43 ^j ±0.01
45	1.24 ^{gh} ±0.01	1.28 ^{gh} ±0.03	1.20 ^{fgh} ±0.05	1.25 ^{gh} ±0.09
50	1.26 ^{gh} ±0.03	1.21 ^{fgh} ±0.06	1.08 ^{bcdef} ±0.10	1.07 ^{bcde} ±0.15
55	1.19 ^{efgh} ±0.04	1.02 ^b ±0.05	1.02 ^b ±0.02	0.97 ^b ±0.06
60	1.27 ^{hi} ±0.07	1.05 ^{bcd} ±0.01	0.98 ^b ±0.06	0.97 ^b ±0.04
65	1.15 ^{cdefg} ±0.11	0.99 ^b ±0.01	0.90 ^b ±0.07	0.78 ^a ±0.03
70	1.22 ^{gh} ±0.01	1.17 ^{defgh} ±0.01	1.00 ^b ±0.03	1.04 ^{bc} ±0.04

a, b, c,... ค่าเฉลี่ยที่มีอักษรกำกับต่างกันของข้อมูลมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$)

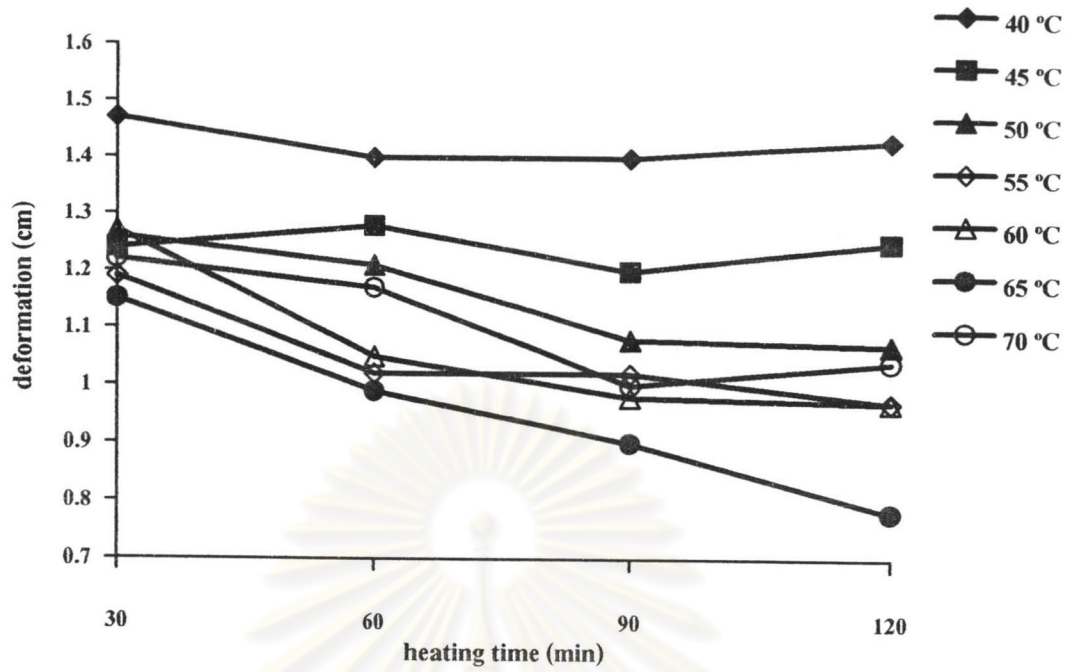
ตารางที่ 4.4 ค่าความแข็งแรงของเจล (gel strength) ของเจลซูริมิปลาที่บดที่ทำให้เกิดเจลด้วยการให้ความร้อนที่ภาวะต่างกัน

Temp (°C)	gel strength (g.cm)			
	30 min	60 min	90 min	120 min
40	1023.33 ⁱ ±13.90	1056.37 ^{lm} ±7.85	1083.51 ^{mn} ±15.89	1121.07 ⁿ ±11.56
45	691.69 ^{jk} ±48.21	708.28 ^k ±2.11	640.41 ⁱ ±8.38	655.28 ^{ij} ±21.71
50	636.10 ⁱ ±20.54	633.66 ⁱ ±7.97	439.83 ^{fg} ±10.07	394.24 ^{ef} ±31.36
55	529.86 ^h ±7.68	397.73 ^{ef} ±31.65	396.97 ^{ef} ±14.28	340.33 ^{cd} ±26.63
60	526.18 ^h ±7.37	364.68 ^{cd} ±14.37	314.98 ^{bc} ±25.00	303.60 ^{bc} ±14.20
65	469.92 ^g ±46.22	282.76 ^b ±4.09	239.02 ^{ab} ±9.80	207.41 ^a ±6.82
70	535.46 ^h ±5.71	461.58 ^g ±33.06	299.38 ^{bc} ±22.91	302.67 ^{bc} ±7.15

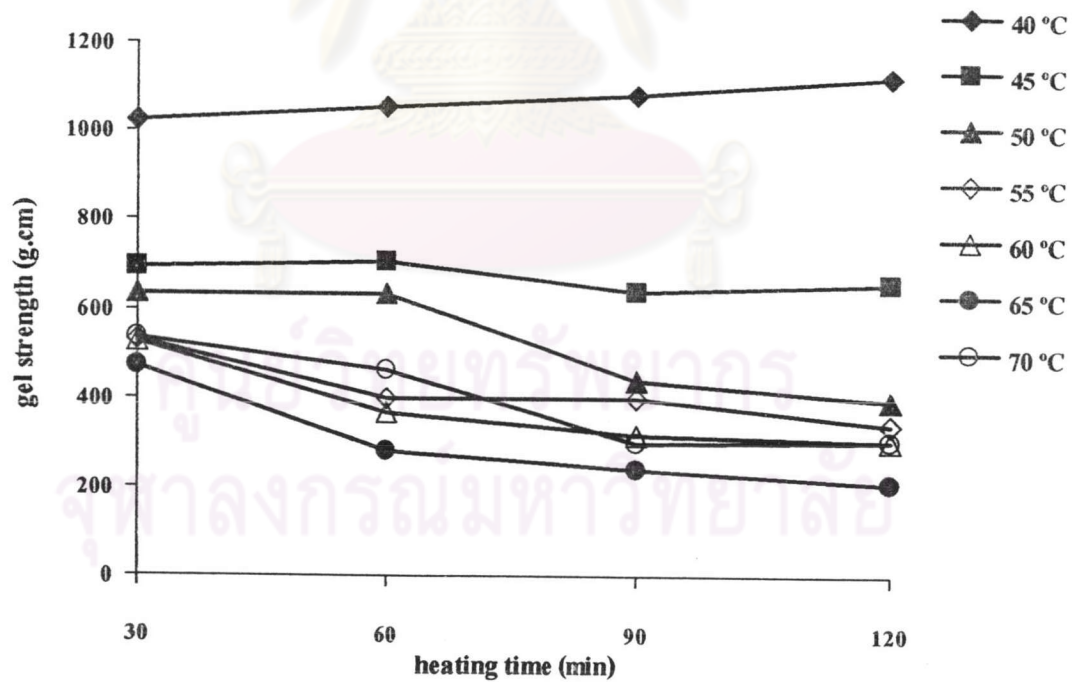
a, b, c,... ค่าเฉลี่ยที่มีอักษรกำกับต่างกันของข้อมูลมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$)



รูปที่ 4.1 ค่า force ของเจลซูริมิปลาที่บดที่ทำให้เกิดเจลด้วยการให้ความร้อนที่ภาวะต่างกัน



รูปที่ 4.2 ค่า deformation ของเจลชูริมิปลาทัทิมที่ทำให้เกิดเจลด้วยการให้ความร้อนที่ภาวะต่างกัน



รูปที่ 4.3 ค่า gel strength ของเจลชูริมิปลาทัทิมที่ทำให้เกิดเจลด้วยการให้ความร้อนที่ภาวะต่างกัน

จากการวิเคราะห์ความแปรปรวนทางสถิติของค่าความแข็งแรงของเจลซูริมิ พบว่าปัจจัยของอุณหภูมิ เวลาในการให้ความร้อน และอิทธิพลร่วมระหว่างอุณหภูมิ และเวลาในการให้ความร้อนเพื่อทำให้เกิดเจลซูริมิ มีผลต่อค่าความแข็งแรงของเจลซูริมิอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) จากผลการทดลอง พบว่าอุณหภูมิในการให้ความร้อนที่เหมาะสมต่อการเกิดเจลของซูริมิจากปลาทับทิม คือที่อุณหภูมิ 40 °C ให้เจลที่มีค่าแรงกด (force) และค่าระยะทางก่อนเจลแตก (deformation) สูงกว่าการให้ความร้อนที่อุณหภูมิอื่น ๆ ส่งผลให้ค่าความแข็งแรง (gel strength) ที่ได้มีค่าสูงด้วย เมื่อให้ความร้อนที่อุณหภูมิ 40 °C เป็นเวลา 30 นาที เจลจะมีค่า force, deformation และ gel strength เท่ากับ 694.51 g, 1.47 cm และ 1023.33 g.cm ตามลำดับ และเมื่อเพิ่มเวลาในการให้ความร้อนเป็น 120 นาที เจลจะมีค่า force, deformation และ gel strength สูงสุดเท่ากับ 785.61 g, 1.43 cm และ 1121.07 g.cm ตามลำดับ แต่เมื่อวิเคราะห์ผลทางสถิติ พบว่าคุณภาพของเจลทั้งค่า force, deformation และ gel strength ไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p > 0.05$) เมื่อให้ความร้อนเป็นเวลา 90 และ 120 นาที (รูปที่ 4.1-4.3)

เมื่ออุณหภูมิในการให้ความร้อนสูงขึ้นจาก 40 °C ไปเป็น 65 °C พบว่าเจลมีค่า force, deformation และ gel strength ลดลง และเจลจะมีค่า force, deformation และ gel strength กลับสูงขึ้นเมื่อให้ความร้อนที่ 70 °C โดยที่อุณหภูมิ 65 °C เจลมีค่า force, deformation และ gel strength ต่ำที่สุด โดยเมื่อให้ความร้อนที่อุณหภูมิ 65 °C เป็นเวลา 30 นาที เจลจะมีค่า force, deformation และ gel strength เท่ากับ 407.71 g, 1.15 cm และ 469.92 g.cm ตามลำดับ เมื่อเพิ่มเวลาในการให้ความร้อนเป็น 120 นาที เจลจะมีค่า force, deformation และ gel strength ต่ำที่สุดซึ่งมีค่าเท่ากับ 265.81 g, 0.78 cm และ 207.41 g.cm ตามลำดับ (รูปที่ 4.1-4.3)

ในอาหารแต่ละชนิดต้องการสมบัติเชิงหน้าที่ของ โปรตีนที่แตกต่างกันไป สำหรับซูริมิ สมบัติเชิงหน้าที่ที่สำคัญ คือ ความสามารถในการเกิดเป็นเจลที่แข็งแรง และสามารถอุ้มน้ำได้ดี โดยปัจจัยที่มีผลต่อสมบัติเชิงหน้าที่ดังกล่าว ได้แก่ ความสมบูรณ์ของ โมเลกุล แอคโนไมโอซินเอง และการเปลี่ยนแปลง โครงร่างของแอคโนไมโอซินในระหว่างให้ความร้อน (Nishimoto และคณะ, 1987) ในการเตรียมเจลที่อุณหภูมิ 40 °C จะให้เจลมีค่า gel strength ที่สูงที่สุด เนื่องจากที่อุณหภูมิ 40 °C เป็นอุณหภูมิที่เหมาะสมในการเกิดเจลของ โปรตีนซูริมิจากปลาทับทิม โดยการให้ความร้อนที่อุณหภูมิต่ำในครั้งแรก โมเลกุล โปรตีนจะเกิดการคลายตัวอย่างช้า ๆ และเกิดการจับกันระหว่าง โมเลกุล โปรตีนที่คลายตัวออกมาขึ้นอย่างมีระเบียบเกิดเป็น โครงสร้างตาข่าย 3 มิติของเจลที่มีความต่อเนื่อง จากนั้นเมื่อนำเจลไปให้ความร้อนที่อุณหภูมิสูงที่อุณหภูมิ 90 °C โครงสร้างของ โมเลกุล โปรตีนเกิดการเชื่อมข้ามระหว่าง โปรตีนที่คลายตัวออกมาเกิดขึ้นอย่างมีระเบียบจับตัวกันแน่นขึ้น เกิดเจลอย่างสมบูรณ์แล้วตกตะกอน เป็นผลให้เจลซูริมิที่มีเนื้อสัมผัสที่แข็งแรง และมีความยืดหยุ่นที่ดี (Foegeding และคณะ, 1986; Park, 1995)

เจลซูริมิที่เตรียม โดยให้ความร้อนที่อุณหภูมิ 65 °C ก่อนนำไปให้ความร้อนอีกครั้งที่อุณหภูมิสูง พบว่าเจลซูริมิที่ได้มีลักษณะเนื้อสัมผัสต่ำลง ค่า gel strength ของเจลที่ได้ต่ำ ลักษณะดังกล่าวอาจเนื่องมาจากความร้อนที่ให้แก่เจลซูริมิมีผลกระตุ้นให้เอนไซม์ย่อยโปรตีนที่มีอยู่เองตามธรรมชาติในเนื้อปลาเกิดกิจกรรมขึ้นทำให้โครงร่างตาข่าย 3 มิติของเจลที่เกิดขึ้นถูกทำลาย (Niwa, 1992) An และคณะ (1994b) และ Park และคณะ (1997) รายงานว่าช่วงอุณหภูมิ 60-70 °C เป็นช่วงที่เอนไซม์โปรติเอสซึ่งมีอยู่ตามธรรมชาติในเนื้อปลามีกิจกรรมสูงสุด เอนไซม์จะย่อยสลายโปรตีนซึ่งเป็นโครงสร้างหลักของเจล ทำให้ความสามารถในการเกิดโครงร่างตาข่าย 3 มิติที่สามารถจับกับน้ำ หรือสารละลายอื่น ๆ เกิดขึ้นได้น้อยลง ในปลาแต่ละชนิดมีระดับการทำงานของเอนไซม์โปรติเอส และอุณหภูมิที่เหมาะสมต่อการทำงานของเอนไซม์ที่แตกต่างกันไป Makinodan และคณะ (1984) รายงานชนิดของปลาที่มีกิจกรรมของเอนไซม์ย่อยโปรตีนสูง ได้แก่ ปลาเรนโบว์เทราต์ ปลาซาร์ดีน ปลาไวต์ครอกเกอร์ ปลาคาร์ป ปลาแมกเคอเรล และปลาปากคม มีรายงานว่าเอนไซม์อัลคาไลน์โปรติเอสในปลาไวต์ครอกเกอร์ และปลาแอตแลนติกเมนฮาเดน มีกิจกรรมสูงสุดที่อุณหภูมิ 60 °C (Makinodan และคณะ, 1985; Boye และ Lanier, 1988) ในขณะที่เอนไซม์อัลคาไลน์โปรติเอสในปลาแปซิฟิกไวต์ทิงมีกิจกรรมสูงสุดที่อุณหภูมิ 55 °C (Chang-Lee และคณะ, 1989)

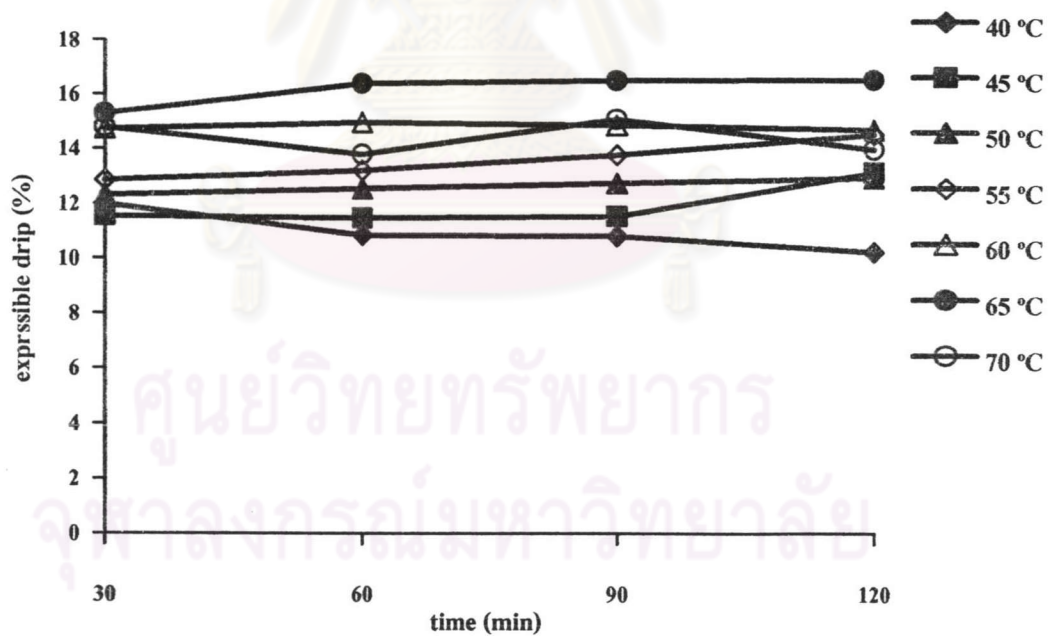
การวิเคราะห์ความสามารถในการอุ้มน้ำของเจล (water holding capacity) จะประเมินผลในรูปของปริมาณของน้ำที่เจลปล่อยออกมา (expressible drip) แสดงในตารางที่ 4.5 และรูปที่ 4.4 พบว่าเจลซูริมิที่เตรียมที่อุณหภูมิ 65 °C มีความสามารถในการอุ้มน้ำต่ำที่สุด โดยเมื่อนำมาบีบน้ำออก พบว่าเจลที่เตรียมที่ 65 °C มีปริมาณ expressible drip สูงกว่าเจลที่เตรียมที่อุณหภูมิต่าง ๆ และเมื่อเวลาในการให้ความร้อนเพิ่มขึ้นความสามารถในการอุ้มน้ำของเจลที่เตรียมที่อุณหภูมิต่าง ๆ จะมีการเปลี่ยนแปลงอยู่ในช่วงแคบ ๆ เนื่องจากที่อุณหภูมิ 65 °C เอนไซม์โปรติเอสในซูริมิมิแอคติวิตีสูงสุด ทำให้เกิดการย่อยสลายของไมโอซินมากขึ้น เจลซูริมิที่ได้มีความแข็งแรงลดลง และความสามารถในการอุ้มน้ำลดลงด้วย Chan-Lee และคณะ (1989) รายงานความสัมพันธ์ของค่า expressible drip กับเอนไซม์โปรติเอส พบว่าปริมาณของค่า expressible drip จะแปรผันตามปริมาณแอคติวิตีของเอนไซม์โปรติเอส กล่าวคือเมื่อซูริมิมิปริมาณโปรติเอสแอคติวิตีสูง จะทำให้ค่า expressible drip สูงขึ้นด้วย

เมื่อประเมินคุณภาพเจลโดยการทดสอบด้วยวิธี folding test พบว่าเจลที่ผ่านการให้ความร้อนที่อุณหภูมิ 40 45 50 55 60 และ 70 °C มีคุณภาพอยู่ในระดับ AA คือเจลมีความเหนียวอยู่ในระดับที่ตีมาก สามารถนำมาพับได้ 1 ใน 4 ส่วน และเจลไม่แตก และระดับ A คือเจลมีความเหนียวอยู่ในระดับปานกลาง สามารถนำมาพับได้ 1 ใน 2 ส่วน และเจลไม่แตก ส่วนตัวอย่างที่ให้ความร้อนที่อุณหภูมิ 65 °C พบว่าเจลมีคุณภาพในระดับ A เมื่อให้ความร้อนเป็นเวลา 30 นาที และคุณภาพของเจลจะลดลงอยู่ในระดับ B คือเจลมีความเหนียวในระดับพอใช้ เมื่อให้ความร้อนกับเจลเป็นเวลา 60-120 นาที แสดงในตารางที่ 4.6

ตารางที่ 4.5 ความสามารถในการอุ้มน้ำแสดงในรูปของปริมาณ expressible drip ของเจลซูริมิปลา ทับทมิมที่ทำให้เกิดเจลด้วยการให้ความร้อนที่ภาวะต่างกัน

Temp (°C)	expressible drip (%)			
	30 min	60 min	90 min	120 min
40	11.98 ^{cde} ±0.30	10.84 ^{ab} ±0.01	10.80 ^{ab} ±0.43	10.23 ^a ±0.21
45	11.55 ^{bcd} ±0.10	11.47 ^{bc} ±0.45	11.53 ^{bcd} ±0.04	13.14 ^{fgh} ±0.19
50	12.31 ^{def} ±0.23	12.55 ^{efg} ±0.39	12.74 ^{efg} ±0.01	12.95 ^{fg} ±0.43
55	12.86 ^{fg} ±0.15	13.20 ^{ghi} ±0.05	13.77 ^{hij} ±0.91	14.54 ^{jkl} ±0.21
60	14.74 ^{kl} ±1.04	14.97 ^l ±0.02	14.86 ^l ±0.10	14.71 ^{kl} ±0.05
65	15.30 ^l ±0.23	16.40 ^m ±0.13	16.52 ^m ±0.26	16.55 ^m ±0.23
70	14.79 ^l ±0.10	13.80 ^{hij} ±0.07	15.08 ^l ±0.69	13.98 ^{ijk} ±0.08

a, b, c,... ค่าเฉลี่ยที่มีอักษรกำกับต่างกันในแนวตั้งเดียวกันแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$)



รูปที่ 4.4 ความสามารถในการอุ้มน้ำแสดงในรูปของปริมาณ expressible drip ของเจลซูริมิ ปลาทับทมิมที่ทำให้เกิดเจลด้วยการให้ความร้อนที่ภาวะต่างกัน

ตารางที่ 4.6 ผลการทดสอบ folding test ของเจลซูริมิปลาทัทบิมที่ทำให้เกิดเจลด้วยการให้ความร้อนที่ภาวะต่างกัน

Temp (°C)	คุณภาพที่ได้จากการทำ folding test*			
	30 min	60 min	90 min	120 min
40	AA	AA	AA	AA
45	AA	AA	AA	AA
50	AA	AA	A	A
55	AA	A	A	A
60	AA	A	A	A
65	A	B	B	B
70	AA	A	A	A

* AA คือ พับตัวอย่างให้เป็น 1 ใน 4 และเจลไม่แตก

A คือ พับตัวอย่างให้เป็น 1 ใน 2 และเจลไม่แตก

B คือ พับตัวอย่างให้เป็น 1 ใน 2 และเจลแตกเล็กน้อย

สำหรับผลการวัดสีของเจลซูริมิที่เตรียมด้วยการให้ความร้อนที่ภาวะต่าง ๆ ได้ผลดังแสดงในตารางที่ 4.7 จากการวิเคราะห์ความแปรปรวนทางสถิติ พบว่าปัจจัยของอุณหภูมิ เวลาในการให้ความร้อน และอิทธิพลร่วมของอุณหภูมิ และเวลาในการให้ความร้อนเพื่อเกิดเจล ไม่มีผลต่อค่าความขาวของเจลซูริมิอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p > 0.05$) ในการผลิตซูริมิจะใช้เนื้อปลาส่วนเนื้อขาวเป็นวัตถุดิบหลัก โดยกำจัดส่วนที่เป็นเนื้อแดงซึ่งประกอบด้วยไขมัน กรดไขมัน ไมโอโกลบิน ฮีโมโกลบิน และเฮโมไซม์ (Spinelli และ Dassow, 1982) นอกจากนี้ในขั้นตอนการล้างเนื้อปลาบดยังมีส่วนในการกำจัดเลือด และ ไขมัน ซึ่งเป็นสาเหตุหลักที่ทำให้เจลซูริมิเกิดสีคล้ำจากเม็ดสีที่มีอยู่ในส่วนของเลือดออกไปจากส่วนเนื้อปลาบด ทำให้ซูริมิที่ผลิตได้มีลักษณะปรากฏที่เป็นเจลสีขาว ชุ่มผิวเรียบเป็นมันเงา (Pacheco-Aquilar และคณะ, 1989)

ดังนั้นภาวะในการให้ความร้อนที่เหมาะสมของซูริมิจากปลาทัทบิม คือการให้ความร้อนครั้งแรกที่อุณหภูมิ 40 °C เป็นเวลา 90 นาที ตามด้วยการให้ความร้อนที่ 90 °C เป็นเวลา 30 นาที

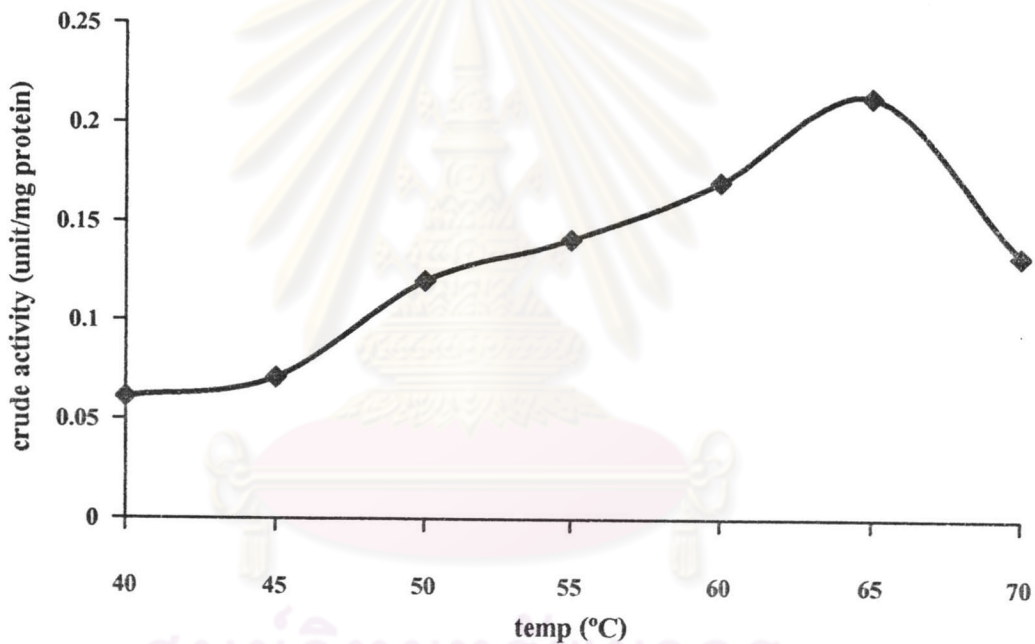
ตารางที่ 4.7 ค่าสี และความขาวของเจลซูริมีปลาทับทิมที่ทำให้เกิดเจลด้วยการให้ความร้อนที่ภาวะต่างกัน

Temp (°C)	Time (min)	ค่าสี			whiteness ^{ns}
		L* ^{ns}	a* ^{ns}	b* ^{ns}	
40	30	77.62±0.25	-2.44±0.57	-2.25±0.71	77.37±0.32
	60	76.33±1.22	-2.55±0.18	-3.16±0.74	75.97±1.32
	90	75.89±0.12	-2.59±0.15	-3.34±0.49	75.52±0.20
	120	75.18±0.86	-2.57±0.11	-3.47±0.66	74.81±0.95
45	30	76.60±0.21	-2.65±0.18	-1.88±0.98	76.39±0.11
	60	76.67±0.03	-2.72±0.14	-2.09±0.95	76.41±0.07
	90	76.74±1.20	-2.74±0.25	-2.14±1.12	76.47±1.05
	120	76.71±0.28	-2.70±0.23	-1.62±0.63	76.49±0.20
50	30	77.38±0.72	-2.64±0.18	-1.44±0.57	77.18±0.66
	60	77.63±0.19	-2.62±0.30	-1.42±0.29	77.43±0.13
	90	77.67±1.27	-2.60±0.22	-1.39±0.38	77.47±1.21
	120	77.89±0.72	-2.58±0.24	-1.24±0.62	77.70±0.65
55	30	77.75±0.45	-2.64±0.20	-1.51±0.60	77.54±0.38
	60	78.04±0.34	-2.68±0.12	-1.18±0.81	77.84±0.28
	90	78.19±0.33	-2.64±0.14	-1.31±0.81	77.98±0.26
	120	78.37±0.12	-2.63±0.28	-1.23±1.05	78.16±0.03
60	30	77.84±0.81	-2.37±0.07	-1.17±0.99	77.67±0.87
	60	78.22±1.20	-2.40±0.08	-1.05±0.99	78.05±1.25
	90	78.41±1.08	-2.41±0.07	-0.95±1.08	78.24±1.13
	120	78.52±1.32	-2.42±0.07	-0.82±0.98	78.35±1.36
65	30	77.80±0.38	-2.42±0.04	-1.15±0.55	77.64±0.35
	60	78.00±0.15	-2.41±0.04	-0.89±0.29	77.85±0.14
	90	78.01±0.25	-2.34±0.04	-1.01±0.57	77.86±0.23
	120	78.92±0.83	-2.34±0.07	-0.57±0.74	78.78±0.86
70	30	78.41±0.14	-2.33±0.06	-0.83±0.71	78.26±0.11
	60	78.66±0.30	-2.36±0.06	-0.95±0.35	78.50±0.32
	90	78.59±0.19	-2.32±0.04	-0.99±0.39	78.44±0.21
	120	78.48±0.21	-2.32±0.01	-0.74±0.47	78.34±0.22

ns ไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p > 0.05$)

4.3. การศึกษาผลของเอนไซม์โปรติเอสต่อ myosin heavy chain (MHC) ของโปรตีนปลาทับทิม

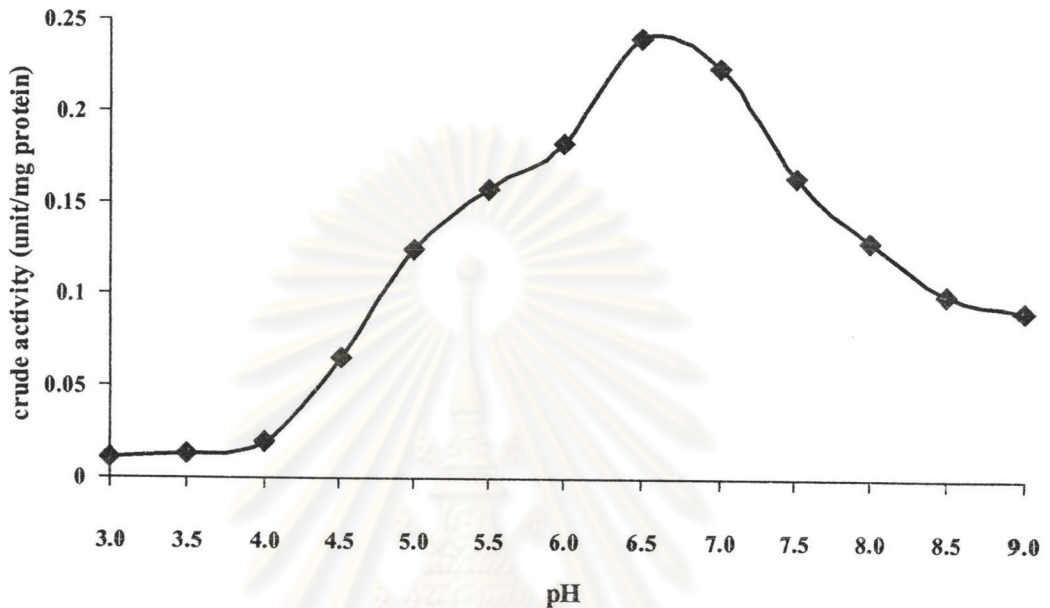
จากการสูญเสียความแข็งแรงของเจลซูริมิในระหว่างการให้ความร้อนนั้น อาจเป็นผลจากปัจจัยบางประการที่อยู่ในเนื้อปลาสดซึ่งมีกิจกรรมเกิดขึ้นในระหว่างการให้ความร้อน (Cheng และคณะ, 1979) จึงได้ศึกษาการเปลี่ยนแปลงของปริมาณโปรตีนไมโอซินซึ่งเป็นโปรตีนที่สำคัญในการเกิดเจลซูริมิที่ผ่านการให้ความร้อน โดยศึกษาการทำงานของเอนไซม์โปรติเอสในปลาทับทิม ต่อการเปลี่ยนแปลงของ MHC พบว่าเมื่อนำ crude protease ที่สกัดได้จากปลาทับทิม มาศึกษาอุณหภูมิที่เหมาะสมในการทำงาน โดยแปรอุณหภูมิในช่วง 40-70 °C ซึ่งเป็นอุณหภูมิที่ใช้ในการเตรียมเจลซูริมิ วิเคราะห์แอกติวิตีของโปรติเอส ที่อุณหภูมิต่างๆ โดยใช้สารละลายเคซีน ความเข้มข้น 2 % ในสารละลายฟอสเฟตบัฟเฟอร์ pH 7.0 เป็นสับสเตรท ผลการทดลองที่ได้แสดงดังรูปที่ 4.5



รูปที่ 4.5 temperature activity profile ของ crude protease สกัดจากปลาทับทิม

จากผลการทดลอง พบว่า crude protease ที่สกัดได้จากปลาทับทิมมีแอกติวิตีสูงสุดที่อุณหภูมิ 65 °C ผลที่ได้นี้สอดคล้องกับการศึกษาผลจากอุณหภูมิที่ให้ความร้อนกับการเกิดเจลซูริมิ จากข้อ 4.2 ซึ่งพบว่าที่อุณหภูมินี้ความแข็งแรงของเจลมีค่าต่ำที่สุด Yongsawatdigul และคณะ (2000) รายงานว่าเอนไซม์โปรติเอสที่สกัดได้จากปลานิลสามารถย่อยสลายโปรตีน MHC ได้สูงสุดที่อุณหภูมิ 65 °C

จากนั้นนำ crude protease ที่สกัดได้จากปลาทับทิม มาศึกษา optimum pH ที่อุณหภูมิ 65 °C โดยแปรค่า pH ในช่วง 3.0-9.0 วิเคราะห์โปรตีนแอกติวิตีที่ pH ต่าง ๆ ผลการทดลองที่ได้ดังแสดงในรูปที่ 4.6

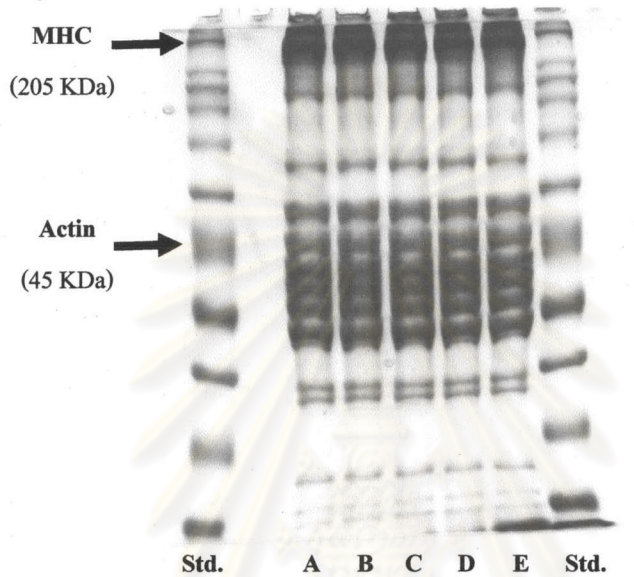


รูปที่ 4.6 pH activity profile ของ crude protease สกัดจากปลาทับทิมที่อุณหภูมิ 65 °C

จากผลการทดลอง พบว่า crude protease ที่สกัดได้จากปลาทับทิมมี optimum pH อยู่ที่ pH 6.5 โดยที่ pH นี้เอนไซม์มีแอกติวิตีสูงที่สุด ทั้งนี้เนื่องจาก pH มีผลต่อการเกิด ionization ของ phototropic groups ที่บริเวณ active site ของเอนไซม์ ซึ่งทำหน้าที่จับกับสับสเตรท หรือเปลี่ยนสับสเตรทให้เป็นผลิตภัณฑ์ (Whitaker, 1972) จากการศึกษาของ Wang และคณะ (1992) พบว่า เอนไซม์โปรตีนเอสชนิดเซรีนที่สกัดจากปลานิลลูกผสม (*Tilapia nilotica* x *T. aurea*) สามารถย่อยสลาย MHC ได้สูงสุดที่ระดับ pH ในช่วง 6.0-7.5 สำหรับปลาแมกเคอเรล (*Scomber australasicus*) มีรายงานว่า pH ที่เอนไซม์มีกิจกรรมสูงสุด สำหรับเอนไซม์คาเทปซินบี และคาเทปซินแอล เท่ากับ 6.5 และ 5.0-5.5 ตามลำดับ (Lee และคณะ, 1993; Jiang และคณะ, 1994) ในขณะที่เอนไซม์อัลคาไลน์โปรตีนเอสที่สกัดจากกล้ามเนื้อปลาแอตแลนติกเมนฮาเดน มีกิจกรรมสูงสุดที่ pH เท่ากับ 7.5-8.0 (Boye และ Lanier, 1988)

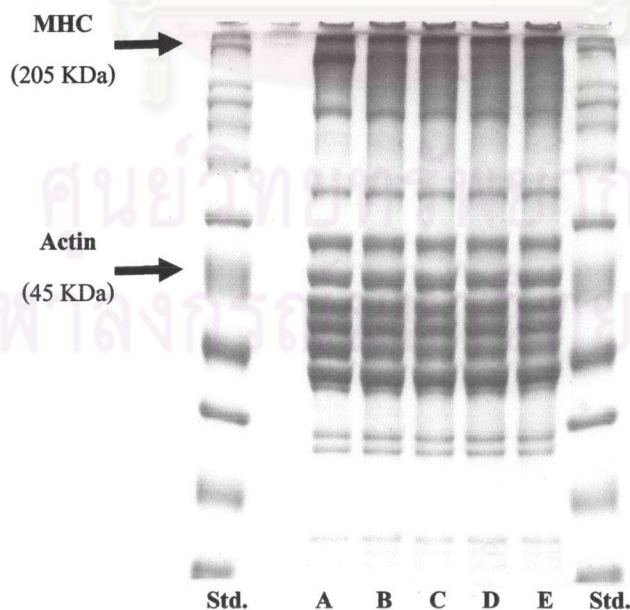
การศึกษาภาวะที่เหมาะสมในการทำงานของ crude protease ที่สกัดจากปลาทับทิมสด พบว่า specific activity ของเอนไซม์โปรตีนเอสในปลาทับทิมที่ภาวะเอนไซม์มีกิจกรรมสูงสุด (อุณหภูมิ 65 °C, pH เท่ากับ 6.5) มีค่าเท่ากับ 0.24 units / mg protein

สำหรับการติดตามการเปลี่ยนแปลงของปริมาณ MHC ของโปรตีนปลาที่อุณหภูมิต่ำที่ถูกลดลงสลายด้วยเอนไซม์โปรติเอส ด้วยวิธี SDS-PAGE โดยการนำ crude protease ที่สกัดจากปลาที่อุณหภูมิต่ำมาผสมกับ crude actomyosin ที่สกัดจากซุริมิ แล้วนำไปบ่มที่อุณหภูมิ 40 และ 65 °C ซึ่งเป็นอุณหภูมิที่เจตมึค่าความแข็งแรงสูงสุด และต่ำสุด ตามลำดับ จากนั้นตรวจสอบการเปลี่ยนแปลงของปริมาณโปรตีนด้วยวิธี SDS-PAGE เพื่อสังเกตการเปลี่ยนแปลงของแถบ MHC ของโปรตีนปลาที่อุณหภูมิต่ำ แสดงในรูปที่ 4.7 และ 4.8



รูปที่ 4.7 protein pattern ของซุริมิปลาที่ให้ความร้อนที่อุณหภูมิ 40 °C เป็นเวลา 0-120 นาที

(Std. = protein standard; A = 0 min; B = 30 min; C = 60 min; D = 90 min; E = 120 min)



รูปที่ 4.8 protein pattern ของซุริมิปลาที่ให้ความร้อนที่อุณหภูมิ 65 °C เป็นเวลา 0-120 นาที

(Std. = protein standard; A = 0 min; B = 30 min; C = 60 min; D = 90 min; E = 120 min)

จาก protein pattern ของซุริมิปลาทับทิม พบว่าที่อุณหภูมิ 40 °C แถบของ MHC ไม่เกิดการเปลี่ยนแปลงเมื่อเวลาที่ใช้บ่มเพิ่มขึ้น (รูปที่ 4.7) ส่วนที่อุณหภูมิ 65 °C จะเห็นได้ว่าเมื่อเวลาในการบ่มเพิ่มขึ้นแถบ MHC จะเริ่มจางลง (รูปที่ 4.8) เนื่องจากที่อุณหภูมิ 40 °C เป็นอุณหภูมิที่ไม่เหมาะสมในการทำงานของเอนไซม์โปรติเอส กิจกรรมของเอนไซม์โปรติเอสอยู่ในระดับที่ต่ำ ส่วนที่อุณหภูมิ 65 °C เป็นอุณหภูมิที่เอนไซม์โปรติเอสของปลาทับทิมมีกิจกรรมสูงสุด และย่อยโปรตีนให้มีขนาดเล็กลง โปรตีนไมโอซินโดยเฉพาะอย่างยิ่ง MHC เป็นโปรตีนที่มีบทบาทสำคัญในการเกิดเจลซุริมิ Wan และคณะ (1995) รายงานว่าการที่เจลซุริมิจากปลาซุมแซลมอน (*Chum salmon : Ducorhynchus keta*) มีคุณภาพต่ำ เป็นผลมาจากการที่ซุริมิมีปริมาณ MHC ต่ำเพียง 30 % เมื่อเทียบกับซุริมิจากปลาพอลแลกที่มีปริมาณ MHC 40 % ซึ่งจะได้ซุริมิที่มีคุณภาพดีกว่า การที่ MHC ถูกย่อยโดยเอนไซม์โปรติเอสเป็นโปรตีนที่มีขนาดเล็กลง (สายสั้นลง) ทำให้เจลซุริมิที่เตรียมที่อุณหภูมิ 65 °C มีความแข็งแรงต่ำ เมื่อเวลาที่ใช้ในการให้ความร้อนสูงขึ้นแถบของ MHC จะจางลง ซึ่งผลที่ได้นี้สอดคล้องกับค่า gel strength ของซุริมิที่ลดลง เมื่อให้ความร้อนที่ 65 °C เป็นเวลานานขึ้น Yongsawatdigul และคณะ (2000) รายงานว่าเอนไซม์โปรติเอสที่สกัดจากปลานิล (*Oreochromis niloticus*) ทำงานเพิ่มขึ้นเมื่ออุณหภูมิเพิ่มขึ้นจาก 40 °C เป็น 70 °C และมีกิจกรรมสูงสุดที่อุณหภูมิ 65 °C แถบของ MHC จะถูกย่อยสลาย และจางหายไปเมื่อให้ความร้อนที่อุณหภูมิ 65 °C เป็นเวลา 4 ชั่วโมง และพบแถบของโปรตีนที่มีโมเลกุลขนาด 97-116 kDa เกิดขึ้น ในขณะที่การให้ความร้อนที่อุณหภูมิ 70 °C ไม่พบกิจกรรมของเอนไซม์ เนื่องจากเอนไซม์สูญเสียสภาพธรรมชาติที่อุณหภูมิสูง

4.4. การศึกษาผลของความสดของปลาต่อคุณภาพของเจลซุริมิ

จากการศึกษาผลในการเก็บรักษาปลาสดที่อุณหภูมิ 0 ± 2 °C โดยบรรจุพร้อมน้ำแข็งในถังพลาสติกหุ้มฉนวนกันความร้อนที่มีช่องระบายน้ำด้านล่างในอัตราส่วน 1:1 โดยน้ำหนัก ลักษณะของปลาก่อนนำมาเก็บรักษามีความสดในระดับที่ดีมาก (TVB ไม่เกิน 30 mg/100 g sample และ TMA ไม่เกิน 6 mg/100 g sample) เหยือกมีสีแดง ลูกตาใสไม่ขุ่นมัว ผิวหนังเรียบเป็นเงา เนื้อสัมผัสยืดหยุ่น ผนังท้องไม่แตก ก่อนที่จะนำมาผลิตซุริมินำปลาที่เก็บรักษาไว้เป็นเวลา 0-5 วัน มาศึกษาองค์ประกอบทางเคมีของวัตถุดิบ ดังแสดงในตารางที่ 4.8

ตารางที่ 4.8 องค์ประกอบทางเคมีของปลาหีบที่สัมผัสระหว่างการรักษาในน้ำแข็ง

chemical composition	storage time (days)					
	0	1	2	3	4	5
freshness						
TVB (mg/100 g sample)	11.08 ^a ±0.01	11.10 ^a ±0.01	11.09 ^a ±0.07	11.10 ^a ±0.04	13.72 ^b ±0.01	13.78 ^b ±0.02
TMA (mg/100 g sample)	-	-	-	2.71 ^a ±0.11	5.48 ^b ±0.01	5.51 ^b ±0.01
Protein (%)*	16.80 ^b ±0.01	17.44 ^c ±0.33	16.30 ^a ±0.05	16.85 ^b ±0.13	18.28 ^d ±0.11	17.89 ^d ±0.09
Fat (%)*	4.06 ^{ab} ±0.03	4.16 ^{abc} ±0.13	4.29 ^c ±0.06	4.14 ^{abc} ±0.03	4.22 ^{bc} ±0.01	4.04 ^a ±0.01
Moisture (%)*	78.48 ^a ±0.21	79.17 ^b ±0.28	79.73 ^{bc} ±0.04	79.33 ^{bc} ±0.52	79.77 ^{bc} ±0.14	79.87 ^c ±0.06
pH	6.45 ^a ±0.03	6.55 ^b ±0.01	6.58 ^{bc} ±0.01	6.57 ^{bc} ±0.01	6.60 ^c ±0.01	6.69 ^d ±0.02

a, b, c, d ค่าเฉลี่ยที่มีอักษรกำกับต่างกันในแนวนอนเดียวกันแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$)

* wet basis

จากผลการทดลองวิเคราะห์ความสดของปลาหีบที่สัมผัส เมื่อพิจารณาการเปลี่ยนแปลงของค่า TVB และค่า TMA ที่ใช้เป็นดัชนีแสดงความสดของวัตถุดิบ พบว่าปลาหีบที่สัมผัสที่เก็บรักษาในน้ำแข็งวันที่ 0 มีปริมาณ TVB และ TMA เริ่มต้นเท่ากับ 11.08 และ ไม่พบการเปลี่ยนแปลงตามลำดับ แสดงได้ว่าตัวอย่างปลาหีบที่นำมาผลิตซูริมีอยู่ในระดับที่สดมาก ซึ่งโดยทั่วไปปลาหีบที่สดมีค่า TVB ในระดับ ไม่เกิน 30 mg/100 g sample และค่า TMA ไม่เกิน 6 mg/100 g sample จัดได้ว่าเป็นปลาที่มีความสดมาก (Uchiyama, 1978) และเมื่อเวลาในการเก็บรักษานานขึ้นค่า TVB และ TMA จะเพิ่มสูงขึ้นอย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$) ดังแสดงตารางที่ 4.8 โดยในช่วงเวลาการรักษาในน้ำแข็ง 0-2 วัน ตรวจพบเฉพาะปริมาณ TVB เท่านั้น ในช่วงเวลาการรักษาที่ 0-3 วัน พบว่าไม่มีการเปลี่ยนแปลงของปริมาณ TVB อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p > 0.05$) ส่วนปริมาณ TMA พบว่าในช่วงเวลาการรักษาในน้ำแข็ง 0-2 วัน วิเคราะห์ไม่พบปริมาณ TMA ในเนื้อปลาหีบ ปริมาณ TMA จะเพิ่มสูงขึ้นในวันที่ 3 ของการรักษา โดยมีปริมาณเท่ากับ 2.71 mg/100 g sample ปริมาณ TVB และ TMA ในปลาหีบที่สัมผัสที่เก็บรักษาในน้ำแข็งมีค่าเพิ่มขึ้นเมื่อระยะเวลาการรักษาเพิ่มขึ้น ทั้งนี้เนื่องมาจากการทำงานของเอนไซม์ที่มีอยู่ตามธรรมชาติในตัวปลา และจากเอนไซม์ที่เกิดจากจุลินทรีย์ที่ปนเปื้อนอยู่ตามส่วนของเหงือก และอวัยวะในช่องท้องของปลา โดยเฉพาะแบคทีเรียที่สามารถสร้างสปอร์ได้ เช่น *Shewanella putrefaciens*, *Photobacterium phosphoreum* และ *Vibrionaceae* เป็นต้น (Huss, 1995; Gram และ Huss, 1996) แบคทีเรียเหล่านี้สามารถเจริญได้โดยไม่ใช้อากาศ และย่อยสลายสารประกอบไนโตรเจนในเนื้อปลาทำให้เกิด

สารประกอบต่าง ๆ เช่น สารประกอบเอมีนที่ระเหยได้ (total volatile bases, TVB) ไตรเมทิลามีน (trimethylamine, TMA) ไดเมทิลามีน (dimethylamine, DMA) และแอมโมเนีย (ammonia) รวมทั้งสารเอมีนที่ระเหยไม่ได้อื่น ๆ เช่น ฮีสตามีน เป็นต้น ทำให้ปลาสดเกิดกลิ่นเหม็น (off-odour และ off-flavour) (Huss, 1995) อย่างไรก็ตาม ในงานวิจัยนี้ พบว่าในวันที่ 5 ของการเก็บรักษาปลาสดในน้ำแข็ง ปลาที่บ่มสดยังมีความสดอยู่ในระดับดีมาก โดยมีค่า TVB และ TMA เท่ากับ 13.78 และ 5.51 mg/100 g sample ตามลำดับ นอกจากนี้แล้วยังพบว่าการย่อยสลายของโปรตีนในเนื้อปลาที่เกิดขึ้นยังมีผลทำให้ระดับ pH ในเนื้อปลาเพิ่มขึ้นจากที่ pH เท่ากับ 6.45 ในวันที่ 0 เป็นที่ pH เท่ากับ 6.69 ในวันที่ 5 เนื่องจากเกิดการเปลี่ยนแปลงของสารประกอบไนโตรเจนในเนื้อปลาที่ถูกย่อยสลายไปเป็นสารประกอบพวกเอมีน หรือแอมโมเนีย และยังเกิดจากการเพิ่มขึ้นของสารประกอบฟอสเฟตที่เกิดจากการแตกตัวของ adenosine triphosphate (ATP) ที่สะสมอยู่ในกล้ามเนื้อเกิดเป็นสารประกอบต่าง ๆ เช่น adenosine diphosphate (ADP), adenosine monophosphate (AMP), inosine monophosphate (IMP), inosine hypoxanthine riboside (HxR) และ hypoxanthine (HX) ตามลำดับ (Somboonyanithi, 1990) ส่งผลให้ระดับ pH ในเนื้อปลาสดเพิ่มสูงขึ้น (Park และคณะ, 1990) ผลที่ได้สอดคล้องกับรายงานของ Benjakul และคณะ (2002) ซึ่งศึกษาสมบัติการเกิดเจลของซูริมิจากปลาตาโต (bigeye snapper) 2 สายพันธุ์ คือ *Priacanthus tayenus* และ *P. macracanthus* ที่เก็บรักษาในน้ำแข็งเป็นเวลา 0-15 วัน พบว่าค่า TVB และ TMA ของปลาเพิ่มสูงขึ้นเมื่อระยะเวลาการเก็บรักษาในน้ำแข็งเพิ่มขึ้น โดยที่เวลาการเก็บรักษา 0-9 วัน ค่า TVB และ TMA เพิ่มขึ้นอย่างช้า ๆ และเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็วที่ระยะเวลาการเก็บรักษามากกว่า 9 วัน สำหรับค่า pH Benjakul และคณะ (2002) รายงานว่าค่า pH ของกล้ามเนื้อปลาตาโตเพิ่มขึ้นจากประมาณ 6.6-6.7 ที่วันที่ 0 ของการเก็บรักษา ไปเป็น pH ที่สูงกว่า 7.0 ที่วันที่ 9 ของการเก็บรักษา และหลังจากวันที่ 9 ของการเก็บรักษา ไม่พบการเปลี่ยนแปลงของ pH อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p > 0.05$)

หลังจากนั้นนำปลาสดที่เก็บรักษาโดยการแช่น้ำแข็งในแต่ละวันมาผลิตเป็นซูริมิ ทำการแยกเนื้อปลาส่วนกล้ามเนื้อขาวออกจากส่วนของกล้ามเนื้อแดง ก้าง หน้าง และเนื้อเยื่อเกี่ยวพันโดยใช้วิธีการชำแหละด้วยมือ หลังจากผ่านการล้างน้ำจะได้ปริมาณเนื้อปลาสด ดังแสดงในตารางที่ 4.9 พบว่าปลาสดในวันที่ 0 ของการเก็บรักษามีลักษณะเนื้อสัมผัสที่ยืดหยุ่นได้ดี คาไล เหยือกแดง ผิวหนังเรียบเป็นมัน เกล็ดยังไม่หลุดล่อนออกจากหนัง แต่หลังจากปลาได้ผ่านการเก็บรักษานานขึ้น ลักษณะของปลาจะเริ่มเปลี่ยนไป ลักษณะเนื้อสัมผัสเริ่มนุ่ม มีเมือกกลิ่นตามตัวมากขึ้น เหยือกเริ่มมีสีแดงคล้ำ คาไล หน้าง หน้าง เกล็ดหลุดออกจากหนังได้ง่าย ส่วนของช่องท้องนุ่มมาก และมีกลิ่นคาวมากขึ้น

ตารางที่ 4.9 ปริมาณเนื้อปลาที่ผลิตจากปลาที่บ่มสดทั้งตัวที่เก็บรักษาโดยการแช่น้ำแข็ง เป็นระยะเวลาต่างๆ

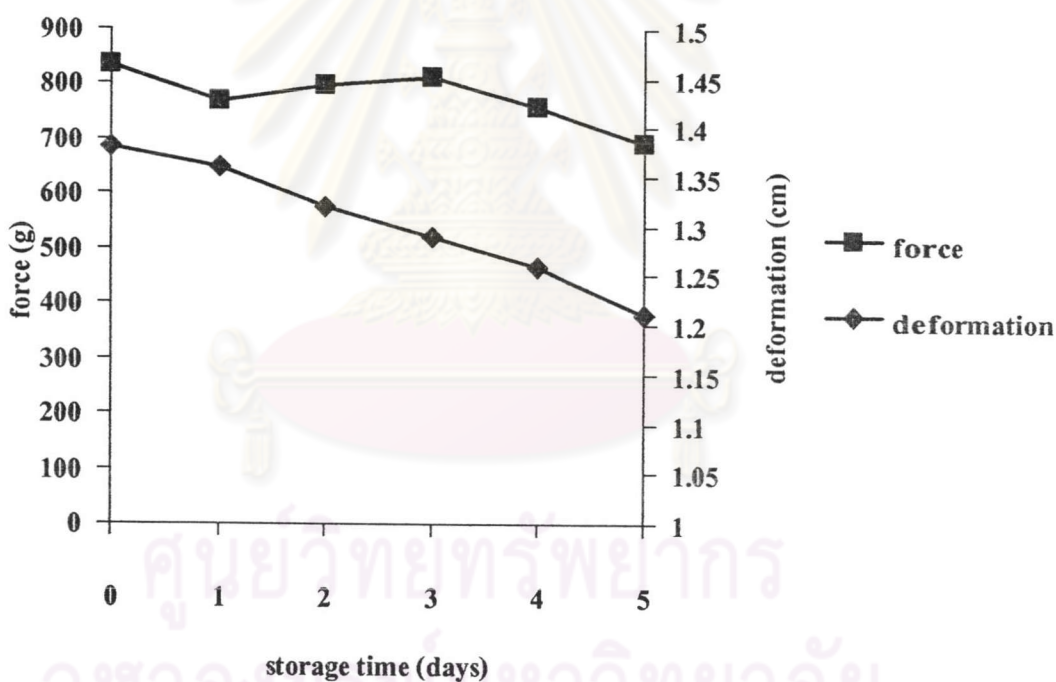
storage time (days)	น้ำหนักปลาสด (g)	น้ำหนักเนื้อปลาบด (g)	น้ำหนักเนื้อปลาบดหลังล้าง (g)	% yield
0	3974.59 ±37.61	1062.05 ±10.05	854.23 ±8.08	21.49 ^c ±0.03
1	4391.41 ±27.89	950.51 ±6.04	779.69 ±4.96	17.75 ^d ±0.04
2	3920.18 ±46.26	826.79 ±10.35	655.32 ±8.20	16.71 ^c ±0.01
3	3451.09 ±29.96	734.09 ±6.37	564.86 ±4.90	16.37 ^c ±0.02
4	3814.37 ±43.85	773.09 ±8.89	608.94 ±7.01	15.96 ^b ±0.01
5	3542.23 ±28.89	754.67 ±6.15	536.59 ±4.38	15.15 ^a ±0.01

a, b, c,... ค่าเฉลี่ยที่มีอักษรกำกับต่างกันในแนวตั้งเดียวกันแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$)

จากผลการทดลองจะเห็นได้ว่าปลาสดที่วันที่ 0 ของการเก็บรักษา จะให้ % yield ของเนื้อปลาบดหลังผ่านการล้างที่มากที่สุด (21.49 %) กล้ามเนื้อที่ได้มีลักษณะยืดหยุ่น กล้ามเนื้อมีลักษณะเป็นเส้นใยชัดเจน การแยกส่วนเนื้อออกจากส่วนก้าง และหนัง โดยการชูดทำให้ได้ยาก แต่เมื่อเวลาในการเก็บรักษาปลาสดนานขึ้นในวันที่ 1-5 พบว่า % yield จะลดลงจนมีค่าเท่ากับ 15.15 % ในวันที่ 5 ลักษณะของเนื้อปลาที่แยกมาได้จะแยกออกจากส่วนก้าง และหนังได้ง่าย แต่กล้ามเนื้อที่มีลักษณะที่นุ่มและขาดออกจากกันได้ง่าย มีส่วนของน้ำแยกออกมาจากส่วนกล้ามเนื้อ และเนื้อปลาจะมีกลิ่น NH_3 ทั้งนี้เนื่องจาก โปรตีนของกล้ามเนื้อปลาเริ่มมีการย่อยสลายด้วยตัวมันเองจากเอนไซม์โปรติเอสที่มีอยู่ในเนื้อปลาตามธรรมชาติ กลายเป็นสารประกอบไนโตรเจนที่มีโมเลกุลขนาดเล็ก และเกิดการเสื่อมเสียจากจุลินทรีย์ที่ปนอยู่ในปลาสด เมื่อนำเนื้อปลาบดที่ได้ไปผ่านการล้างจะเกิดการสูญเสียเนื้อปลาไปกับน้ำที่ใช้ล้างเป็นจำนวนมาก (ตารางที่ 4.9)

จากการวัดค่า force, deformation และ gel strength ของเจลซูริมิที่ผลิตจากวัตถุดิบที่ผ่านการเก็บรักษาความสด โดยการแช่ในน้ำแข็ง (ตารางที่ 4.10 และรูปที่ 4.9) พบว่าระยะเวลาในการเก็บรักษาความสดของวัตถุดิบมีผลต่อคุณภาพของเจลซูริมิอย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$) โดยเมื่อเวลาในการเก็บรักษาปลาสดเพิ่มขึ้น ค่า force, deformation และ gel strength มีแนวโน้มลดลง กล่าวคือเจลซูริมิที่ผลิตจากปลาสดในวันที่ 0 ของการเก็บรักษาในน้ำแข็งให้ค่า force เท่ากับ 833.42 g, ค่า deformation เท่ากับ 13.82 cm และค่า gel strength เท่ากับ 1152.42 g.cm และเจลซูริมิที่ผลิตจากปลาที่เก็บรักษาในน้ำแข็งเป็นเวลา 5 วัน เจลมีคุณภาพต่ำสุด คือ ค่า force เท่ากับ 693.61 g, ค่า deformation เท่ากับ 12.12 cm และค่า gel strength เท่ากับ 840.66 g.cm ซึ่งผลที่ได้สอดคล้องกับความสามารถในการอุ้มน้ำของเจล โดยประเมินผลในรูปของปริมาณ expressible drip (ตารางที่

4.11) พบว่าปริมาณของ expressible drip ของเจลชูริมิเพิ่มสูงขึ้นเมื่อเวลาการเก็บรักษาพลาสติกเพิ่มขึ้น เนื่องจากการเก็บรักษาพลาสติกในน้ำแข็งเป็นเวลานาน ทำให้โปรตีนในเนื้อปลามีคุณภาพลดลง เป็นผลให้โครงสร้างของเจลที่ผลิตได้สูญเสียสมบัติในการอุ้มน้ำไว้ภายในไม่สามารถจับกับน้ำ หรือสารละลายอื่นไว้ภายในโครงสร้างได้ (Benjakul และคณะ, 1997) และเมื่อทดสอบคุณภาพของเจลด้วยวิธี folding test พบว่าเจลชูริมิที่ผลิตได้ในทุก ๆ วันยังคงมีคุณภาพในระดับ AA ดังแสดงในตารางที่ 4.9 ผลที่ได้สอดคล้องกับรายงานของ Benjakul และคณะ (2002) ซึ่งศึกษาสมบัติของเจลชูริมิจากปลาตาโต (bigeye snapper) ที่เก็บรักษาในน้ำแข็งเป็นระยะเวลา 0-15 วัน พบว่าคุณภาพของเจลทั้งค่า force, deformation และ gel strength ลดลงอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) เมื่อเวลาการเก็บรักษาพลาสติกโดยการเก็บในน้ำแข็งเพิ่มขึ้น



รูปที่ 4.9 ค่า force และ deformation ของเจลชูริมิที่ผลิตจากปลาทับทิมสดที่เก็บรักษาโดยการแช่ในน้ำแข็งเป็นระยะเวลาต่าง ๆ

ตารางที่ 4.10 ค่า force, deformation และ gel strength ของเจลซูริมิปลาหับทิมที่ผลิตจากปลาสด ที่เก็บรักษาโดยการแช่น้ำแข็งเป็นระยะเวลาต่าง ๆ

storage time (days)	force (g)	deformation (cm)	gel strength (g.cm)
0	833.42 ^c ±25.99	13.82 ^d ±0.23	1152.42 ^d ±55.50
1	767.54 ^{bc} ±11.10	13.57 ^{cd} ±0.13	1041.09 ^c ±4.74
2	799.57 ^{bc} ±18.59	13.22 ^{bcd} ±0.14	1056.74 ^c ±13.27
3	811.39 ^{bc} ±14.53	12.94 ^{abc} ±0.06	1050.13 ^c ±13.64
4	758.55 ^{ab} ±58.46	12.55 ^{ab} ±0.74	950.10 ^b ±16.96
5	693.61 ^a ±7.62	12.12 ^a ±0.19	840.66 ^a ±22.08

a, b, c,... ค่าเฉลี่ยที่มีอักษรกำกับต่างกัน ในแนวตั้งเดียวกันแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$)

ตารางที่ 4.11 ความสามารถในการอุ้มน้ำแสดงในรูปของปริมาณ expressible drip และผลการทดสอบ folding test ของเจลซูริมิปลาหับทิมที่ผลิตจากปลาสด ที่เก็บรักษาโดยการแช่น้ำแข็งเป็นระยะเวลาต่าง ๆ

storage time (days)	expressible drip (%)	folding test*
0	9.64 ^a ±0.03	AA
1	9.75 ^a ±0.39	AA
2	9.60 ^a ±0.08	AA
3	10.92 ^c ±0.08	AA
4	10.35 ^b ±0.16	AA
5	10.54 ^{bc} ±0.09	AA

a, b, c ค่าเฉลี่ยที่มีอักษรกำกับต่างกัน ในแนวตั้งเดียวกันมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$)

* AA คือ พับตัวอย่างให้เป็น 1 ใน 4 และเจลไม่แตก

ผลการวัดค่าสีของเจลซูริมิโดยใช้ค่าความขาวเป็นปัจจัยในการประเมินคุณภาพซูริมิ (ตารางที่ 4.12) พบว่าค่าความขาวของเจลซูริมิจะมีค่าลดลงอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) เมื่อระยะเวลาการเก็บรักษาวัตถุดิบในการผลิตซูริมิเพิ่มขึ้น เนื่องจากในระหว่างการเก็บรักษาโดยการแช่วัตถุดิบในน้ำแข็ง รังควาญที่มีอยู่ตามธรรมชาติในปลา คือ ไมโอโกลบิน และฮีโมโกลบิน ที่มีอยู่

ในส่วนของเนื้อปลา และเลือด ซึ่งสามารถแยกออกได้โดยการล้างเนื้อปลาคด้วยน้ำ และสารละลายเกลือเจือจาง แต่ไม่สามารถแยกออกได้ทั้งหมด สามารถเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันเปลี่ยนไปเป็นเมทไมโอโกลบิน (metmyoglobin) และเมทฮีโมโกลบิน (methemoglobin) ซึ่งให้สีน้ำตาลเกิดขึ้น เป็นผลให้เจลซูริมิที่ผลิตจากวัตถุดิบที่ผ่านการเก็บรักษาโดยการแช่น้ำแข็งเป็นเวลานานจะมีค่าความขาวลดลง (Haard, 1992) ผลที่ได้สอดคล้องกับรายงานของ Benjakul และคณะ (2002) ซึ่งศึกษาความขาวของเจลซูริมิจากปลาตาโต (bigeye snapper) ที่เก็บรักษาในน้ำแข็งเป็นระยะเวลา 0-15 วัน พบว่าค่าความขาวของเจลซูริมิจะลดลงอย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$) เมื่อเวลาการเก็บรักษาปลาสดโดยการเก็บในน้ำแข็งเพิ่มขึ้น

ตารางที่ 4.12 ค่าสี และความขาวของเจลซูริมิปลาทับทิมที่ผลิตจากปลาสดที่เก็บรักษาโดยการแช่น้ำแข็งเป็นระยะเวลาต่างๆ

storage time (days)	ค่าสี			whiteness
	L*	a*	b*	
0	79.22 ^c ±0.04	-2.45 ^b ±0.03	-0.40 ^a ±0.23	79.07 ^c ±0.04
1	78.81 ^d ±0.06	-2.53 ^b ±0.08	-0.63 ^a ±0.23	78.65 ^d ±0.05
2	78.40 ^c ±0.03	-2.59 ^{ab} ±0.05	-0.60 ^a ±0.01	78.24 ^c ±0.02
3	78.62 ^{cd} ±0.18	-2.51 ^b ±0.02	-0.50 ^a ±0.04	78.47 ^{cd} ±0.18
4	78.03 ^b ±0.02	-2.70 ^a ±0.08	1.21 ^c ±0.28	77.83 ^b ±0.02
5	77.44 ^a ±0.15	-2.56 ^b ±0.02	0.20 ^b ±0.06	77.29 ^a ±0.15

a, b, c... ค่าเฉลี่ยที่มีอักษรกำกับต่างกัน ในแนวตั้งเดียวกันมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$)

4.5. การศึกษาผลของระยะเวลาการเก็บรักษาซูริมิในภาวะแช่แข็งต่อคุณภาพของเจลซูริมิ

ในการศึกษาผลของระยะเวลาการเก็บรักษาซูริมิในภาวะแช่แข็งที่อุณหภูมิ -20 ± 2 °C โดยทุก ๆ 1 เดือนนำซูริมิที่เก็บรักษามาเตรียมเจลดด้วยภาวะการให้ความร้อนที่ให้ความแข็งแรงของเจลสูงสุดซึ่งเลือกได้จากการทดลองในหัวข้อ 4.2 (1st-step heating: 40 °C, 90 min; 2nd-step heating: 90 °C, 30 min) แล้วนำไปวิเคราะห์คุณภาพของเจล ตารางที่ 4.13 และรูปที่ 4.10 แสดงค่า force, deformation และ gel strength ของเจลซูริมิ

จากการทดลอง พบว่าระยะเวลาการเก็บรักษาซูริมิในภาวะแช่แข็งที่อุณหภูมิ -20 ± 2 °C มีผลต่อคุณภาพของเจลซูริมิ กล่าวคือ เมื่อระยะเวลาการเก็บรักษาซูริมิโดยการแช่เยือกแข็งเพิ่มขึ้น ค่า force และค่า gel strength ของเจลซูริมิลดลงอย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$) แต่ไม่มีผลต่อค่า deformation อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p > 0.05$) โดยซูริมิที่เก็บรักษาโดยการแช่แข็งที่ 0 เดือน จะมี

ค่า force และค่า gel strength สูงสุด เท่ากับ 577.69 g และ 857.87 g.cm ตามลำดับ ในขณะที่เจลของซูริมิที่เก็บรักษาโดยการแช่แข็งเป็นเวลา 9 เดือน มีค่า force และค่า gel strength ของเจลเท่ากับ 369.20 g และ 560.06 g.cm ตามลำดับ (ตารางที่ 4.13) สอดคล้องกับผลการวิเคราะห์ความสามารถในการอุ้มน้ำของเจลซูริมิโดยประเมินในรูปของปริมาณ expressible drip พบว่าที่เวลาการเก็บรักษา 0 เดือน เจลซูริมิมีค่า expressible drip เท่ากับ 9.59 % และค่าจะเพิ่มขึ้นเท่ากับ 12.92 % ที่เวลาการเก็บรักษา 9 เดือน (ตารางที่ 4.14)

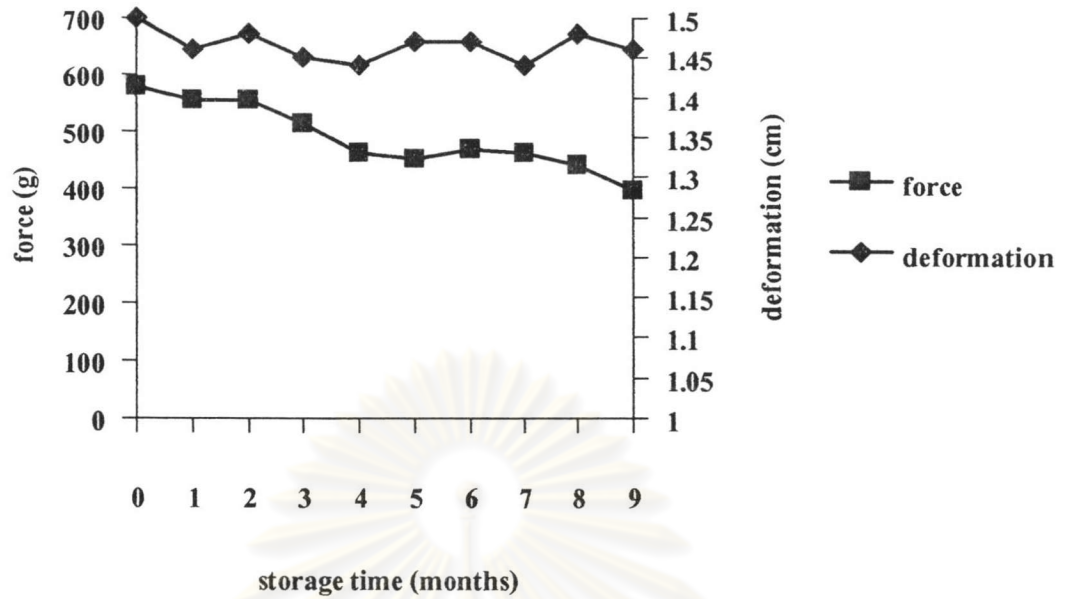
ตารางที่ 4.13 ค่า force, deformation และ gel strength ของเจลซูริมิปลาหีบที่ผลิตจากซูริมิที่เก็บรักษาในภาวะแช่แข็งเป็นระยะเวลาต่าง ๆ

storage time (months)	force (g)	deformation ^{ns} (cm)	gel strength (g.cm)
0	577.68 ^d ±6.04	1.50±0.01	857.87 ^c ±4.46
1	555.59 ^d ±6.00	1.46±0.01	778.72 ^d ±11.20
2	553.65 ^d ±15.81	1.48±0.20	797.35 ^{de} ±39.68
3	512.42 ^c ±31.10	1.45±0.39	705.37 ^c ±72.42
4	462.65 ^b ±18.44	1.44±0.19	628.09 ^{ab} ±45.02
5	450.95 ^b ±5.67	1.47±0.25	630.47 ^{ab} ±19.03
6	470.09 ^b ±1.23	1.47±0.28	671.36 ^{bc} ±3.23
7	462.93 ^b ±3.77	1.44±0.06	646.01 ^{bc} ±3.61
8	440.08 ^b ±8.39	1.48±0.16	627.61 ^{ab} ±5.90
9	396.20 ^a ±4.54	1.46±0.38	560.06 ^a ±20.70

a, b, c... ค่าเฉลี่ยที่มีอักษรกำกับต่างกัน ในแนวตั้งเดียวกันแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$)

ns ไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p > 0.05$)

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



รูปที่ 4.10 ค่า force และ deformation ของเจลชูริมิที่ผลิตจากชูริมิที่เก็บรักษาในภาวะแช่แข็งเป็นระยะเวลาต่าง ๆ

ตารางที่ 4.14 ความสามารถในการอุ้มน้ำแสดงในรูปของปริมาณ expressible drip และผลการทดสอบ folding test ของชูริมิปลาหีบที่ผลิตจากชูริมิที่เก็บรักษาในภาวะแช่แข็งเป็นระยะเวลาต่าง ๆ

storage time (months)	expressible drip (%)	folding test*
0	9.59 ^a ±0.07	AA
1	10.42 ^b ±0.15	AA
2	11.87 ^c ±0.09	AA
3	11.85 ^c ±0.15	AA
4	11.95 ^c ±0.04	AA
5	12.78 ^d ±0.15	AA
6	12.93 ^{de} ±0.12	AA
7	12.92 ^{de} ±0.02	AA
8	13.06 ^e ±0.01	AA
9	12.92 ^{de} ±0.06	AA

a, b, c... ค่าเฉลี่ยที่มีอักษรกำกับต่างกันในแนวตั้งเดียวกันแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$)

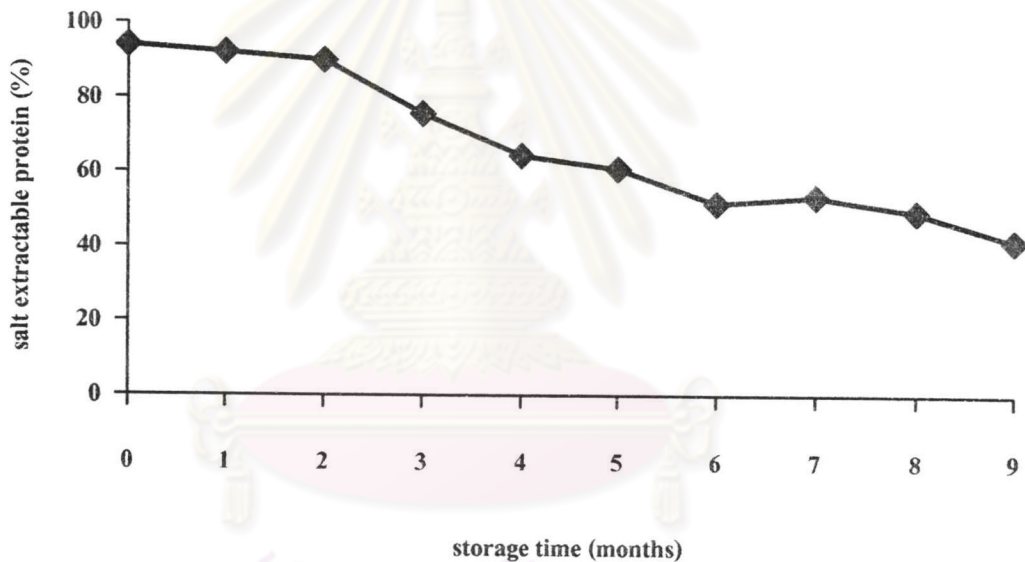
* AA คือ พับตัวอย่างให้เป็น 1 ใน 4 และเจลไม่แตก

เมื่อทดสอบคุณภาพของเจลด้วยวิธี folding test พบว่าเจลซูริมิที่ผลิตจากซูริมิซึ่งเก็บรักษาในภาวะแช่เยือกแข็ง ยังคงได้คุณภาพในระดับ AA ซึ่งจัดเป็นซูริมิที่มีคุณภาพระดับชั้นที่ 1 ตลอดอายุการเก็บรักษา 9 เดือน (ตารางที่ 4.14) และระยะเวลาในการเก็บรักษาซูริมิในภาวะแช่แข็งไม่มีผลต่อค่าความขาวของเจลซูริมิอย่างมีนัยสำคัญ ($p > 0.05$) โดยเจลซูริมิมีค่าความขาวประมาณ 77-78 (ตารางที่ 4.15) แสดงให้เห็นว่าซูริมิจากปลาทับทิมที่เก็บรักษาโดยการแช่แข็งเป็นเวลา 9 เดือนยังสามารถผลิตเป็นเจลที่มีคุณภาพเป็นที่ยอมรับได้

ในระหว่างการเก็บรักษาซูริมิโดยการแช่แข็ง พบว่าคุณภาพ และความแข็งแรงของเจลซูริมิจะลดลงเมื่อเวลาการเก็บรักษานานขึ้น ซึ่งเป็นผลจากการเสียดสภาพธรรมชาติของ โปรตีน ไมโอไฟบริลลาร์ในซูริมิจึงมีผลต่อการเปลี่ยนแปลงความสามารถเกิดเจลของซูริมิ โดยสามารถติดตามการเปลี่ยนแปลงของ โปรตีนในซูริมิในระหว่างการเก็บรักษาโดยการแช่แข็งจากปริมาณ salt extractable protein (SEP) พบว่าค่า SEP ของตัวอย่างซูริมิจะลดลงจาก 93.97 % ที่ 0 เดือน เหลือเพียง 41.53 % เมื่อซูริมิผ่านการเก็บรักษานาน 9 เดือน (รูปที่ 4.11) เนื่องจากเมื่อเวลาในการเก็บรักษาซูริมิในภาวะแช่แข็งนานขึ้น จะเกิดการเปลี่ยนแปลงของ โปรตีน ไมโอไฟบริลลาร์ที่เป็นองค์ประกอบหลัก และเป็น โปรตีนที่มีความสำคัญต่อสมบัติเชิงหน้าที่ของซูริมิโดยโปรตีนจะสูญเสียสภาพธรรมชาติ โมเลกุลโปรตีนที่คลายตัวออกที่อยู่ใกล้กันเกิดการจับกันด้วยพันธะไดซัลไฟด์ และพันธะ โควาเลนต์ มีผลต่อความสามารถในการละลายของ SEP ความสามารถในการเกิดเจล และสมบัติการอุ้มน้ำของเจล (Haard, 1992; Mackie, 1993) ที่จะลดลงเมื่อเวลาการเก็บรักษานานขึ้น Fennema (1993) รายงานว่าการแช่เยือกแข็งมีผลทำให้น้ำในระบบของกล้ามเนื้อปลาเปลี่ยนเป็นผลึกน้ำแข็ง เป็นผลให้สารละลายอื่น ๆ ในระบบที่ยังไม่แข็งตัวในกล้ามเนื้อมีความเข้มข้นเพิ่มขึ้นตามระยะเวลาแช่แข็งที่เพิ่มขึ้น จึงส่งผลให้ภาวะแวดล้อมของ โปรตีนเปลี่ยนแปลงไปจากภาวะปกติ การเพิ่มขึ้นของความเข้มข้นของตัวถูกละลายในสารละลายที่ยังไม่แข็งตัวจะทำให้เกิดการเพิ่มขึ้นของความเป็นกรดของสารละลายที่ยังไม่แข็งตัวส่งผลให้โปรตีนเสียดสภาพธรรมชาติ นอกจากนี้การสูญเสียที่ล้อมรอบ โมเลกุลโปรตีนจากการที่น้ำเปลี่ยนสถานะไปเป็นผลึกน้ำแข็ง มีผลต่อเนื้อให้โมเลกุลโปรตีนอยู่ใกล้ชิดกันมากขึ้นเกิดการจับกันระหว่าง โมเลกุลโปรตีนได้ง่ายขึ้น และสูญเสียสภาพธรรมชาติในที่สุด (Morrison, 1993)

และเมื่อติดตามการเปลี่ยนแปลงของ MHC ในระหว่างการเก็บรักษาโดยการแช่แข็ง ด้วยวิธี SDS-PAGE พบว่าซูริมิที่เก็บรักษาโดยการแช่แข็งเป็นเวลา 9 เดือน แถบของ MHC จะจางลงเล็กน้อย เมื่อเปรียบเทียบกับซูริมิที่เก็บรักษาโดยการแช่แข็งเป็นเวลา 0 เดือน (รูปที่ 4.12) ผลที่ได้นี้สอดคล้องกับรายงานของ Sultanbawa และ Li-Chan (1998) ซึ่งศึกษาผลของการใช้น้ำตาลเป็นสาร cyoprotectant ในซูริมิจากปลา ling cod ที่เก็บรักษาโดยการแช่แข็งเป็นเวลา 4 เดือน พบว่าซูริมิที่ผ่านการเก็บรักษาโดยการแช่แข็ง มีค่า SEP ลดลงจาก 79 % ที่เวลาเก็บรักษา 0 เดือน เหลือเพียง 48 % เมื่อเก็บรักษานาน 4 เดือน แต่ไม่พบความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ ($p > 0.05$) ของอัตราส่วน

ระหว่างแถบ MHC และ actin และสุวรรณ วิรัชกุล และคณะ (2543) ศึกษาผลของการเก็บรักษา ชูริมิจากปลานิลไว้ที่อุณหภูมิ $-20 \pm 2^{\circ}\text{C}$ เป็นระยะเวลา 6 และ 12 เดือน เมื่อนำเจลชูริมิมาวัดค่า gel strength พบว่าค่า gel strength ของเจลชูริมิที่ผลิตจากชูริมิที่เก็บรักษาในภาวะแช่แข็งเป็นเวลา 6 เดือนมีค่า 208.68 g.cm ในขณะที่เจลชูริมิที่ผลิตจากชูริมิที่เก็บรักษาในภาวะแช่แข็งเป็นเวลา 12 เดือน มีค่า gel strength ลดลงเหลือเพียง 165.07 g.cm ค่าที่ได้นี้ลดลงอย่างมากเมื่อเปรียบเทียบกับ เจลชูริมิที่ผลิตจากชูริมิที่เก็บในภาวะแช่แข็งไว้นาน 2 สัปดาห์ และ 3 เดือน ซึ่งให้เจลที่มีค่าความ แข็งแรงเท่ากับ 366.08 g.cm และ 299.29 g.cm ตามลำดับ โดยตลอดอายุการเก็บรักษาชูริมิในภาวะ แช่แข็งนั้นปัจจัยสำคัญที่มีผลต่อคุณภาพของชูริมิที่ต้องคำนึงถึง ก็คือ อุณหภูมิ และความแปรปรวน ของอุณหภูมิของห้องเก็บเย็นจะต้องควบคุมให้คงที่ตลอดอายุการเก็บรักษาชูริมิ



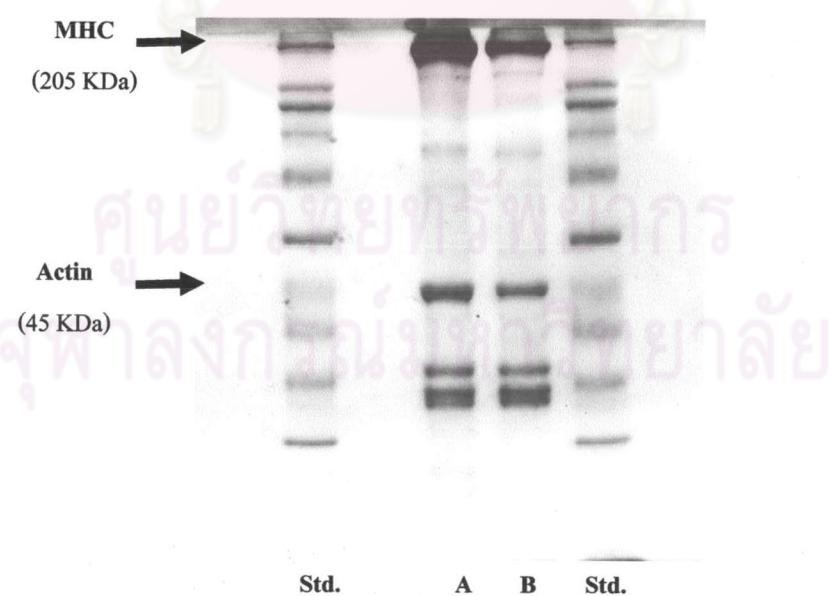
รูปที่ 4.11 การเปลี่ยนแปลงของปริมาณ salt extractable protein ของ โปรตีนชูริมิปลาตะบึก ที่เก็บรักษาในภาวะแช่แข็งเป็นระยะเวลาต่าง ๆ

ตารางที่ 4.15 ค่าสี และความขาวของเจลซูริมิปลาหับทิมที่ผลิตจากซูริมิที่เก็บรักษาในภาวะแช่แข็ง เป็นระยะเวลาต่างๆ

storage time (month)	ค่าสี			whiteness ^{ns}
	L*	a*	b*	
0	77.31 ^{ab} ±0.25	-2.57 ^{bc} ±0.02	-1.85 ^c ±0.07	77.09±0.25
1	76.76 ^a ±0.53	-2.79 ^a ±0.09	-2.27 ^{abc} ±0.27	77.48±0.51
2	77.89 ^b ±0.05	-2.41 ^d ±0.07	-2.16 ^{bc} ±0.02	77.65±0.05
3	78.22 ^b ±0.16	-2.33 ^{de} ±0.07	-1.97 ^c ±0.27	78.00±0.19
4	77.64 ^{ab} ±0.40	-2.53 ^c ±0.03	-2.49 ^{ab} ±0.03	77.35±0.40
5	77.82 ^b ±0.25	-2.23 ^e ±0.02	-2.74 ^a ±0.15	77.54±0.26
6	78.17 ^b ±0.25	-2.58 ^{bc} ±0.03	-1.86 ^c ±0.02	77.93±0.24
7	76.89 ^a ±0.36	-2.66 ^b ±0.03	-2.28 ^{abc} ±0.49	77.12±0.40
8	77.37 ^{ab} ±0.79	-2.66 ^b ±0.01	-1.97 ^c ±0.02	77.13±0.78
9	77.64 ^{ab} ±0.08	-2.26 ^e ±0.02	-1.81 ^c ±0.15	77.45±0.09

a, b, c... ค่าเฉลี่ยที่มีอักษรกำกับต่างกันในแนวตั้งเดียวกันแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$)

ns ไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p > 0.05$)



รูปที่ 4.12 protein pattern ของซูริมิปลาหับทิมที่เก็บรักษาโดยการแช่แข็ง

(Std. = protein standard; A = 0 month; B = 9 month)