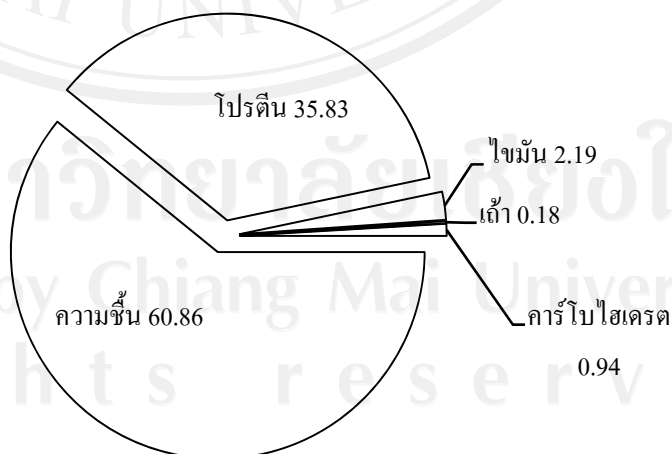


บทที่ 4

ผลการทดลอง

4.1 ส่วนประกอบทางเคมีโดยประมาณของหนังปลาเผา

รูปที่ 4.1 แสดงส่วนประกอบทางเคมีโดยประมาณของหนังปลาเผา โดยส่วนประกอบทางเคมีที่มีมากที่สุดคือน้ำตาล (60.86%) รองลงมาคือโปรตีน (35.83%) ไขมัน (2.19%) คาร์โบไฮเดรต (0.94%) และเถ้า (0.18%) ตามลำดับ เมื่อเปรียบเทียบส่วนประกอบทางเคมีโดยประมาณกับหนังปลาดุกและปลากะพงแดง (ตารางที่ 4.1) พบว่า หนังปลาเผามีความชื้นต่ำกว่ากับหนังปลาดุก (65.36%) และปลากะพงแดง (65.84%) หนังปลาเผามีปริมาณโปรตีนสูงที่สุด รองลงมาคือปลากะพงแดง (29.23%) และปลาดุก (21.44) ตามลำดับ ปริมาณไขมันในหนังปลาเผาใกล้เคียงกับปลากะพงแดง (2.34%) แต่สูงกว่าปลาดุก (0.26%) ปริมาณเถ้าในหนังปลาดุกสูงที่สุด (11.55%) รองลงมาคือหนังปลากะพงแดง (2.57%) ส่วนหนังปลาเผามีปริมาณเถ้าต่ำที่สุด คาร์โบไฮเดรตเป็นส่วนประกอบทางเคมีที่มีน้อยที่สุดในหนังปลาเผาและปลากะพงแดง ส่วนหนังปลาดุกไม่ได้รายงานผล อย่างไรก็ตามเมื่อคำนวณปริมาณคาร์โบไฮเดรตโดยวิธี by difference แล้วพบว่าหนังปลาดุกมีคาร์โบไฮเดรต 1.39% ซึ่งสูงกว่าหนังปลาเผาและปลากะพงแดง



รูปที่ 4.1 ส่วนประกอบทางเคมีโดยประมาณในหนังปลาเผา

ตารางที่ 4.1 ส่วนประกอบทางเคมีโดยประมาณของหนังปลาเหาะ ปลาตาหวาน และปลากะพงแดง

ส่วนประกอบทางเคมี	ปริมาณ (% น้ำหนักเปียก) ¹		
	ปลาเหาะ	ปลาตาหวาน ²	ปลากะพงแดง ³
ความชื้น	60.86 ± 0.65	65.36 ± 0.47	65.84 ± 2.19
โปรตีน	35.83 ± 2.61	21.44 ± 0.37	29.23 ± 1.07
ไขมัน	2.19 ± 0.64	0.26 ± 0.04	2.34 ± 0.28
เถ้า	0.18 ± 0.08	11.55 ± 1.07	2.57 ± 0.46
คาร์โบไฮเดรต	0.94 ⁴	1.39 ⁴	0.02 ± 0.00

¹แสดงข้อมูลในรูปค่าเฉลี่ย±ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของการทดลองอย่างต่ำ 3 ซ้ำ

² Kittiphattanabawon (2004)

³วรรณวิมล (2540)

⁴คำนวณโดยวิธี by difference (Sullivan and Carpenter, 1993)

4.2 การศึกษาการปรับสภาพหนังปลา (pretreatment)

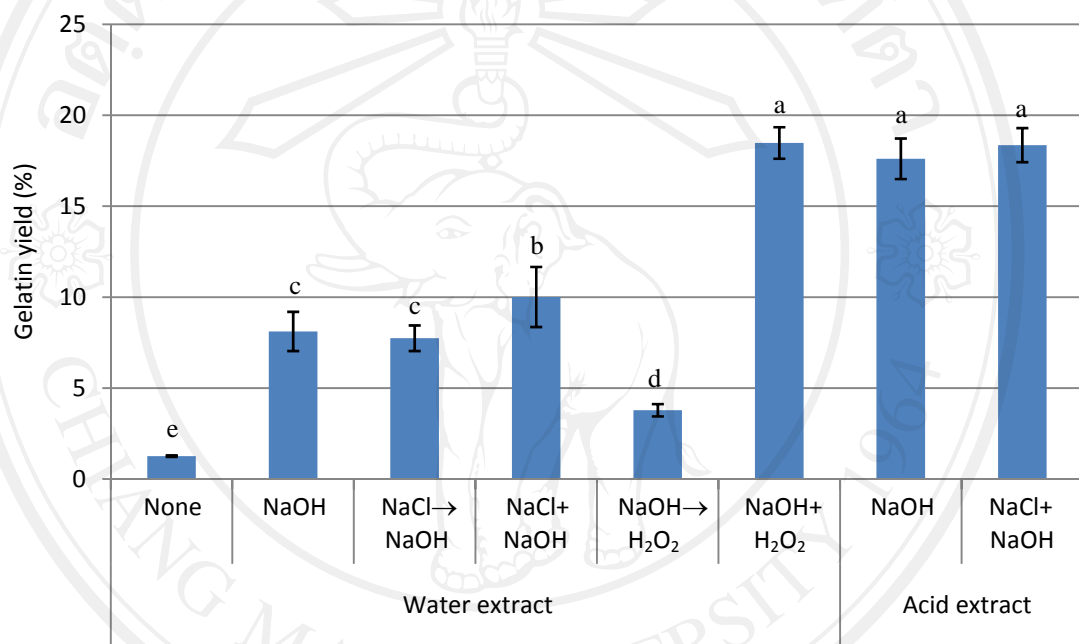
ผลผลิตเจลาติน

จากการปรับสภาพหนังปลาด้วยวิธีการต่างๆ ก่อนการสกัดเจลาตินด้วยน้ำหรือสารละลายกรดแอสติกความเข้มข้น 0.05 M ที่อุณหภูมิ 50°C เป็นเวลา 3 ชั่วโมง พบว่า ผลผลิตเจลาตินที่สกัดจากหนังปลาซึ่งปรับสภาพด้วยสารละลายต่างๆ มีค่าดังตารางที่ ก-1 และรูปที่ 4.2 โดยผลผลิตเจลาตินที่สกัดด้วยกรดแอสติก 0.5 M สูงกว่าการสกัดด้วยน้ำ โดยการปรับสภาพด้วย 0.1 M NaOH หรือ 0.8 M NaCl ร่วมกับ 0.1 M NaOH ให้ผลผลิตเจลาตินไม่แตกต่างกัน ($P>0.05$)

ในกลุ่มที่สกัดด้วยน้ำพบว่า หนังปลาเหาะที่ผ่านปรับสภาพด้วย 1% H_2O_2 ร่วมกับ 0.1 M NaOH มีปริมาณผลผลิตเจลาตินสูงสุด ซึ่งไม่แตกต่างจากกลุ่มที่สกัดด้วยกรดแอสติก ($P>0.05$) ส่วนการปรับสภาพด้วย 0.1 M NaOH แล้วตามด้วย 1% H_2O_2 ได้ผลผลิตเจลาตินค่อนข้างต่ำ แต่ยังคงสูงกว่าการไม่ปรับสภาพด้วยสารละลายชนิดใดเลย ($P\leq 0.05$) ซึ่งสอดคล้องกับการศึกษาของ Aewsiri et al. (2009) ที่ศึกษาการสกัดเจลาตินจากหนังปลา cuttlefish และพบว่า การปรับสภาพหนังปลาด้วยสารละลาย H_2O_2 ช่วยให้ผลผลิตเจลาตินสูงขึ้น โดย H_2O_2 จะไปสลายพันธะไฮโดรเจน ทำให้สกัดเจลาตินได้ง่ายขึ้น

การปรับสภาพด้วย 0.8 M NaCl ร่วมกับ 0.1 M NaOH ให้ผลผลิตเจลาตินต่ำกว่าการปรับสภาพด้วย 1% H_2O_2 ร่วมกับ 0.1 M NaOH แต่สูงกว่าการปรับสภาพด้วย 0.1 M NaOH เพียงอย่างเดียว สอดคล้องกับการศึกษาของ Giménez et al. (2005a) ซึ่งศึกษาการสกัดเจลาตินจากหนังปลา

Dover sole (*Solea vulgaris*) และพบว่า การปรับสภาพหนังปลาด้วยสารละลาย NaCl ช่วยเพิ่มผลผลิตเจลาตินเพิ่มขึ้น โดยไอออนของสารละลายเกลืออาจทำปฏิกิริยาโดยตรงกับสายเพปไทด์ของคอลลาเจน หรือเกิดอันตรกิริยา (interaction) กับ bound water ที่จับกับโมเลกุลคอลลาเจน ทำให้เกิดการสลายพันธะไฮโดรเจนและไฮโดรโฟบิกของคอลลาเจน จึงสกัดเจลาตินได้ง่ายขึ้น ส่วนการใช้ 0.8 M NaCl เป็นเวลา 10 นาที แล้วตามด้วย 0.1 M NaOH ไม่แตกต่างจากการใช้ 0.1 M NaOH เพียงอย่างเดียว ($P > 0.05$) อาจเนื่องมาจากระยะเวลาที่แช่หนังปลาในสารละลายเกลือสั้นเกินไป



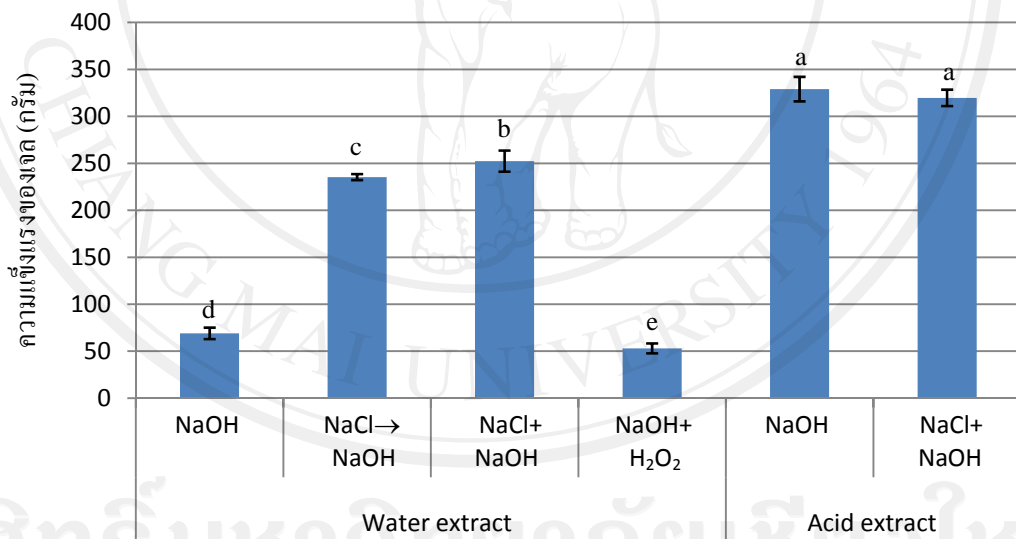
รูปที่ 4.2 ผลผลิตเจลาตินจากหนังปลาที่ผ่านการปรับสภาพด้วยสารละลายต่างๆ

ความแข็งแรงของเจล

ความแข็งแรงของเจลของเจลาตินจากหนังปลาเพาะซึ่งผ่านการปรับสภาพด้วยสารละลายต่างๆ เป็นดังรูปที่ 4.3 เจลาตินที่สกัดโดยไม่ผ่านการปรับสภาพและที่ปรับสภาพด้วย 0.1 M NaOH แล้วตามด้วย 1% H₂O₂ ไม่ถูกนำมาทดสอบ เนื่องจากให้ผลผลิตเจลาตินต่ำ จากการทดลองพบว่า เจลาตินที่สกัดด้วยกรดแอสซิติค 0.5 M มีความแข็งแรงของเจลสูงกว่าเจลาตินที่สกัดด้วยน้ำ ($P \leq 0.05$) ในกลุ่มของเจลาตินที่สกัดด้วยน้ำ พบว่า เจลาตินจากหนังปลาที่ปรับสภาพด้วย 0.8 M NaCl ร่วมกับ 0.1 M NaOH มีความแข็งแรงของเจลสูงที่สุด รองลงมาคือเจลาตินจากหนังปลาที่ปรับสภาพด้วย 0.8 M NaCl แล้วตามด้วย 0.1 M NaOH ผลการทดลองสอดคล้องกับ Giménez et al. (2005a) ซึ่งศึกษาการสกัดเจลาตินจากหนังปลา Dover sole และพบว่า การปรับสภาพด้วย NaCl ทำให้ความ

แข็งแรงของเจลเพิ่มขึ้นเมื่อเทียบกับการไม่ใช้สารละลายเกลือ การปรับสภาพหนังปลาด้วยสารละลายเกลือช่วยให้ปริมาณ α -chain ของคอลลาเจนหลงเหลืออยู่มากขึ้น ซึ่ง α -chain เป็นองค์ประกอบที่มีความสัมพันธ์กับความแข็งแรงของเจลมากที่สุด (Cole, 2000)

ส่วนเจลาตินที่ได้จากการปรับสภาพด้วย 1% H_2O_2 ร่วมกับ 0.1 M NaOH เป็นเวลา 4 ชม. มีความแข็งแรงของเจลาตินต่ำที่สุด ซึ่งขัดแย้งกับการศึกษาของ Aewsiri et al. (2009) ซึ่งศึกษาการสกัดเจลาตินจากปลา cuttlefish โดยปรับสภาพหนังปลาด้วยสารละลาย 2% และ 5% H_2O_2 เป็นเวลา 24 หรือ 48 ชม. และพบว่าความแข็งแรงของเจลที่ได้จากการปรับสภาพด้วย H_2O_2 สูงกว่าการไม่ใช้ H_2O_2 ความแตกต่างนี้อาจเป็นผลมาจากชนิดของปลาและอุณหภูมิที่ใช้แตกต่างกัน โดย Aewsiri et al. (2005) ใช้อุณหภูมิในการปรับสภาพที่ 4°C ส่วนในการทดลองครั้งนี้ปรับสภาพที่อุณหภูมิห้อง ซึ่งมีอุณหภูมิประมาณ 30°C การปรับสภาพที่อุณหภูมิสูงอาจทำให้โมเลกุลเจลาตินถูกไฮโดรไลซ์จนมีขนาดเล็กลง ส่งผลให้ความแข็งแรงของเจลลดลง

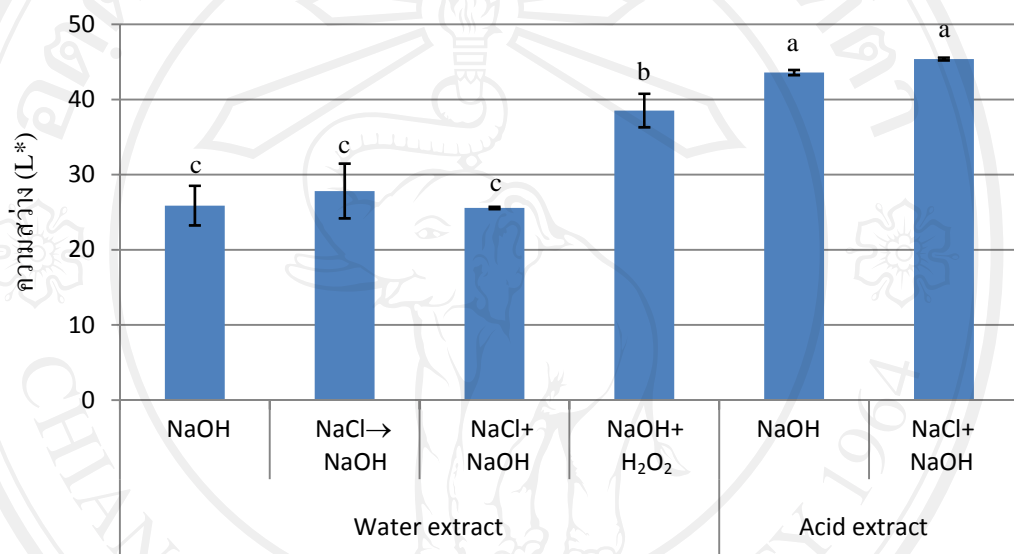


รูปที่ 4.3 ความแข็งแรงของเจลที่ได้จากหนังปลาที่ผ่านการปรับสภาพด้วยสารละลายต่างๆ

ความสว่างของเจล

ความสว่างของเจลของเจลาตินที่ผ่านการปรับสภาพด้วยสารละลายต่างๆ แสดงในรูปที่ 4.4 โดยเจลาตินที่สกัดด้วยกรดแอสซิดิกมีความสว่างของเจลสูงที่สุด ซึ่งไม่แตกต่างกันในกลุ่มที่สกัดด้วยกรด ส่วนในกลุ่มที่สกัดด้วยน้ำ พบว่า การปรับสภาพหนังปลาด้วย 1% H_2O_2 ร่วมกับ 0.1 M NaOH ให้ความสว่างของเจลสูงที่สุด ซึ่งสอดคล้องกับการศึกษาของ Aewsiri et al. (2009) ที่ศึกษาการสกัดเจลาตินจากปลา cuttlefish โดยปรับสภาพปลาก่อนการสกัดด้วยสารละลาย H_2O_2 และพบว่าความ

สว่างของเจลสูงกว่าการไม่ใช้ H_2O_2 โดยความสว่างที่เพิ่มขึ้นเป็นผลมาจาก oxidizing agent ที่เกิดจากการสลายตัวของ H_2O_2 เช่น hydroperoxyl anion ไปออกซิไดซ์โมเลกุลของ chromophore ทำให้เกิดเป็นสารใหม่ที่ไม่สมบัติเป็น chromophore หรือเป็น chromophore ที่สะท้อนแสงที่คนมองไม่เห็น (Aewsiri et al., 2009) ส่วนเจลาตินที่ผ่านปรับสภาพด้วย 0.1 M NaOH เพียงอย่างเดียวหรือ 0.8 M NaCl ร่วมกับ 0.1 M NaOH มีความสว่างไม่แตกต่างกัน ($P>0.05$) ซึ่งมีค่าน้อยที่สุดในกลุ่มที่ทดสอบ



รูปที่ 4.4 ความสว่างของเจลที่ได้จากหนังปลาที่ผ่านการปรับสภาพด้วยสารละลายต่างๆ

4.3 การศึกษาสภาวะที่เหมาะสมในการสกัดเจลาติน

ผลการทดลองแสดงดังตารางที่ 4.2 และ 4.3 ค่าสัมประสิทธิ์ของตัวแปรอิสระ, P -value และสัมประสิทธิ์การตัดสินใจ (R^2) แสดงดังตารางที่ 4.4 และ 4.5 แบบจำลองทั้งหมดที่ได้มีนัยสำคัญยิ่ง ($P\leq 0.01$) และค่า lack of fit ไม่มีนัยสำคัญ ยกเว้นแบบจำลองความแข็งแรงของเจล ส่วนสมบัติทางกายภาพของสภาวะที่ 3 ไม่สามารถวัดได้เนื่องจากสกัดเจลาตินได้ปริมาณน้อย

ผลผลิตเจลาติน

แบบจำลองค่าตอบสนองของผลผลิตเจลาตินคือ

$$Y_1 = 21.400 + 6.198X_1 - 4.296X_2 + 2.286X_3 - 4.192X_1^2 - 1.774X_2^2 - 3.086X_3^2 + 4.578X_1X_2 - 1.852X_1X_3 + 2.358X_2X_3$$

ตารางที่ 4.2 ผลผลิตเจลาคตินและความแข็งแรงของเจลจากเจลาคตินที่สกัดได้จากหนังปลาเผา

การทดลอง	ระดับของตัวแปรอิสระ ¹			ผลผลิตเจลาคติน (%)		ความแข็งแรงของเจล (g)	
	อุณหภูมิ (°C)	pH	เวลา (ชม.)	ค่าจากการทดลอง	ค่าจากการทำนาย	ค่าจากการทดลอง	ค่าจากการทำนาย
1	-1 (40)	-1 (3.70)	0 (3)	19.12 ± 1.26	18.11	463.49 ± 4.53	476.51
2	+1 (70)	-1 (3.70)	0 (3)	21.36 ± 1.15	21.35	445.68 ± 4.66	455.62
3	-1 (40)	+1 (7.40)	0 (3)	0.35 ± 0.01	0.36	-	498.15
4	+1 (70)	+1 (7.40)	0 (3)	20.90 ± 0.93	21.91	397.45 ± 9.82	384.37
5	-1 (40)	0 (5.55)	-1 (1)	3.35 ± 0.07	3.79	587.06 ± 8.44	552.10
6	+1 (70)	0 (5.55)	-1 (1)	20.45 ± 1.48	19.89	495.59 ± 10.31	479.76
7	-1 (40)	0 (5.55)	+1 (5)	11.50 ± 1.28	12.06	486.43 ± 13.78	485.68
8	+1 (70)	0 (5.55)	+1 (5)	21.19 ± 0.46	20.75	407.06 ± 7.72	413.34
9	0 (55)	-1 (3.70)	-1 (1)	20.33 ± 0.62	20.91	479.69 ± 12.67	494.28
10	0 (55)	+1 (7.40)	-1 (1)	8.05 ± 0.30	7.60	460.84 ± 3.86	474.47
11	0 (55)	-1 (3.70)	+1 (5)	20.32 ± 0.95	20.76	455.42 ± 5.49	427.86
12	0 (55)	+1 (7.40)	+1 (5)	17.46 ± 0.97	16.89	408.60 ± 6.03	408.05
13	0 (55)	0 (5.55)	0 (3)	22.10 ± 1.63	21.40	473.32 ± 2.30	482.72
14	0 (55)	0 (5.55)	0 (3)	22.38 ± 1.33	21.40	479.77 ± 7.34	482.72
15	0 (55)	0 (5.55)	0 (3)	21.32 ± 0.75	21.40	464.03 ± 6.26	482.72
16	0 (55)	0 (5.55)	0 (3)	20.41 ± 0.68	21.40	481.70 ± 5.03	482.72
17	0 (55)	0 (5.55)	0 (3)	20.79 ± 0.60	21.40	469.52 ± 6.77	482.72

¹ตัวเลขนอกวงเล็บเป็นตัวแปรรหัส (coded variable) ตัวเลขในวงเล็บเป็นตัวแปรจริง (actual variable)

ตารางที่ 4.3 ค่าสีของเจลจากเจลาตินที่สกัดได้จากหนังปลาผะ

การทดลอง	ระดับของตัวแปรอิสระ ¹			Lightness (L*)		Chroma (C*)		Hue angle (h°)	
	อุณหภูมิ (°C)	pH	เวลา (ชม.)	ค่าจากการทดลอง	ค่าจากการทำนาย	ค่าจากการทดลอง	ค่าจากการทำนาย	ค่าจากการทดลอง	ค่าจากการทำนาย
1	-1 (40)	-1 (3.70)	0 (3)	45.62 ± 0.75	45.51	2.77 ± 0.02	2.68	33.52 ± 2.85	34.71
2	+1 (70)	-1 (3.70)	0 (3)	42.00 ± 1.50	42.47	4.70 ± 0.27	4.72	54.75 ± 2.57	55.14
3	-1 (40)	+1 (7.40)	0 (3)	-	35.97	-	4.71	-	19.86
4	+1 (70)	+1 (7.40)	0 (3)	35.88 ± 1.22	36.46	5.15 ± 0.39	5.24	41.86 ± 5.74	40.28
5	-1 (40)	0 (5.55)	-1 (1)	41.30 ± 1.27	42.24	3.11 ± 0.03	3.09	36.64 ± 3.73	35.13
6	+1 (70)	0 (5.55)	-1 (1)	41.33 ± 0.45	40.96	3.86 ± 0.23	3.74	46.33 ± 0.46	46.01
7	-1 (40)	0 (5.55)	+1 (5)	44.11 ± 0.91	43.28	2.99 ± 0.08	3.09	34.23 ± 4.31	34.55
8	+1 (70)	0 (5.55)	+1 (5)	42.69 ± 1.90	42.01	5.00 ± 0.51	5.00	63.01 ± 3.48	64.52
9	0 (55)	-1 (3.70)	-1 (1)	44.03 ± 1.99	43.33	2.92 ± 0.06	3.04	34.51 ± 7.29	34.64
10	0 (55)	+1 (7.40)	-1 (1)	33.40 ± 0.05	32.59	4.31 ± 0.22	4.32	11.11 ± 2.78	12.81
11	0 (55)	-1 (3.70)	+1 (5)	41.06 ± 1.46	41.40	3.69 ± 0.17	3.67	38.33 ± 0.46	36.63
12	0 (55)	+1 (7.40)	+1 (5)	36.37 ± 0.82	36.60	5.02 ± 0.33	4.95	28.87 ± 3.54	28.75
13	0 (55)	0 (5.55)	0 (3)	40.26 ± 1.14	40.50	4.05 ± 0.51	4.60	50.89 ± 4.66	48.49
14	0 (55)	0 (5.55)	0 (3)	41.21 ± 0.17	40.50	4.01 ± 0.65	4.60	52.43 ± 3.47	48.49
15	0 (55)	0 (5.55)	0 (3)	40.10 ± 2.12	40.50	5.06 ± 0.14	4.60	50.46 ± 2.76	48.49
16	0 (55)	0 (5.55)	0 (3)	39.89 ± 1.35	40.50	5.30 ± 0.24	4.60	46.75 ± 4.61	48.49
17	0 (55)	0 (5.55)	0 (3)	40.09 ± 0.23	40.50	4.61 ± 0.20	4.60	41.91 ± 0.53	48.49

¹ตัวเลขนอกวงเล็บเป็นตัวแปรรหัส (coded variable) ตัวเลขในวงเล็บเป็นตัวแปรจริง (actual variable)

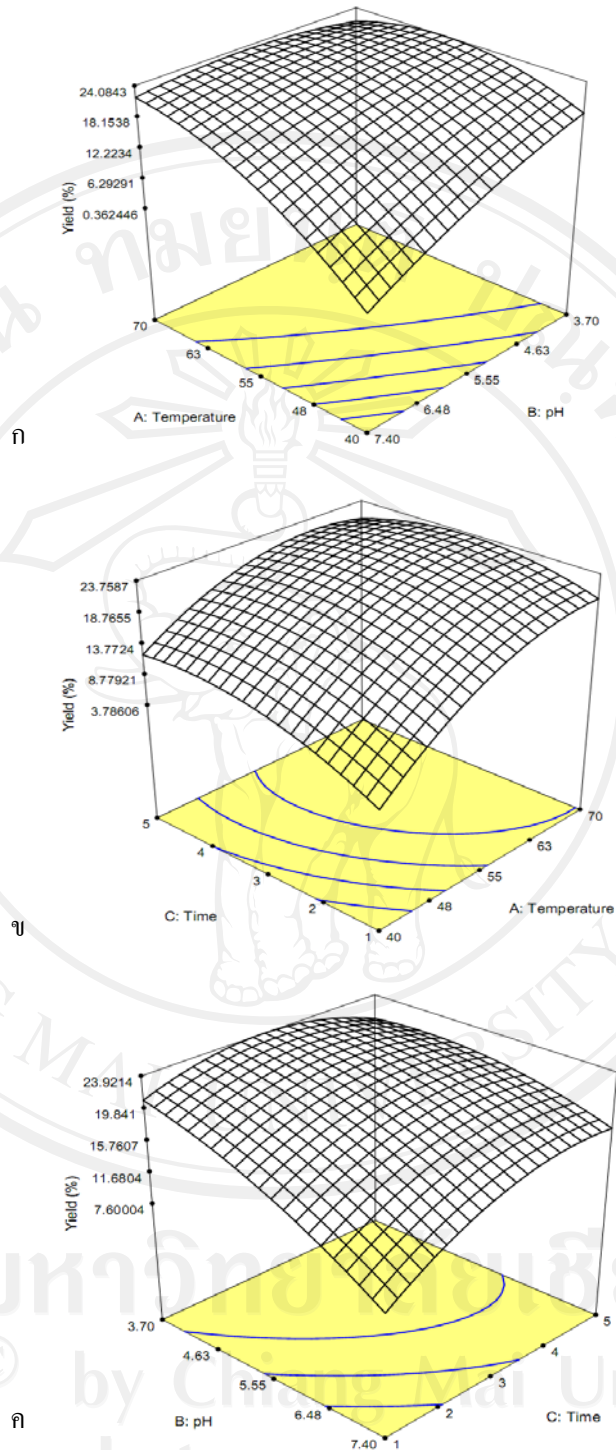
ตารางที่ 4.4 สัมประสิทธิ์และค่าคงที่ในแบบจำลองต่างๆ ในการสกัดเจลาตินจากปลาเผา

องค์ประกอบของ แบบจำลอง	ค่าสัมประสิทธิ์				
	ผลผลิต เจลาติน (%)	ความแข็งแรง ของเจล (g)	ค่าสี		
			L*	C*	h°
<i>ตัวแปรจริง</i>					
k	-20.352	182.871	73.763	-7.437	-31.667
อุณหภูมิ	1.732	1.734	-1.013	0.215	-1.228
pH	-7.553	138.071	1.493	1.092	38.297
เวลา	5.631	-16.604	-1.968	0.492	-2.196
อุณหภูมิ ²	-0.019		0.007	-0.001	0.013
pH ²	-0.518	-9.220	-0.590		-4.067
เวลา ²	-0.772			-0.152	-1.590
อุณหภูมิ × pH	0.165	-0.747	0.032	-0.014	
อุณหภูมิ × เวลา	-0.062			0.011	0.159
pH × เวลา	0.637		0.401		0.942
<i>ตัวแปรหัด</i>					
β_0	21.400	482.721	40.500	4.601	48.486
X_1	6.198	-36.169	-0.637	0.641	10.213
X_2	-4.296	-9.904	-3.888	0.639	-7.428
X_3	2.286	-33.209	0.521	0.313	4.481
X_1^2	-4.192		1.623	-0.262	2.929
X_2^2	-1.774	-31.557	-2.020		-13.918
X_3^2	-3.086			-0.609	-6.361
X_1X_2	4.578	-20.725	0.884	-0.377	
X_1X_3	-1.852			0.315	4.772
X_2X_3	2.358		1.485		3.487

ตารางที่ 4.5 การวิเคราะห์ความแปรปรวน (ANOVA) ของแบบจำลองค่าตอบสนองของเจลลาตินจากหนังปลาเพาะ

แหล่งของความแปรปรวน	P-value				
	ผลผลิตเจลลาติน (%)	ความแข็งแรงของเจล (g)	ค่าสี		
			L*	C*	h°
แบบจำลอง (model)	< 0.0001	0.0003	< 0.0001	0.0044	0.0003
X_1	< 0.0001	0.0009	0.0975	0.0065	0.0002
X_2	< 0.0001	0.2319	< 0.0001	0.0066	0.0011
X_3	0.0003	0.0006	0.1076	0.0686	0.0086
X_1^2	< 0.0001		0.0055	0.2825	0.1514
X_2^2	0.0082	0.0105	0.0016		0.0001
X_3^2	0.0004			0.0260	0.0100
X_1X_2	< 0.0001	0.1230	0.1429	0.2178	
X_1X_3	0.0075			0.1725	0.0298
X_2X_3	0.0021		0.0065		0.0872
Residual					
Lack of fit	0.2618	0.0189	0.1065	0.9943	0.8428
Adjusted R ²	0.9792	0.8099	0.9341	0.7662	0.9183

โดยทุกเทอมมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่น 99% ค่าสัมประสิทธิ์การตัดสินใจของสมการคือ 97.92% ผลผลิตเจลลาตินเพิ่มขึ้นเมื่อเพิ่มอุณหภูมิการสกัดหรือลดพีเอชของสารละลาย (รูปที่ 4.5) เนื่องจาก เจลาตินสามารถละลายในสารละลายกรด และละลายในน้ำร้อนได้ดีกว่าน้ำเย็น (O'Neil et al., 2001) ที่อุณหภูมิต่ำสามารถสกัดคอลลาเจนออกมาได้โดยไม่มีผลต่อการจัดเรียงตัวแบบ triple-helix แต่ที่อุณหภูมิสูง พันธะไฮโดรเจนและพันธะโควาเลนต์ถูกทำลาย ทำให้ triple-helix ไม่เสถียร และเกิดการเปลี่ยนแปลงที่เรียกว่า helix-to-coil transition (Montero and Gómez-Guillén, 2000) ปรากฏการณ์นี้ทำให้สกัดเจลลาตินได้ง่ายขึ้น ผลผลิตเจลลาตินยังเพิ่มขึ้นเมื่อเพิ่มระยะเวลาการสกัด (รูปที่ 4.5ข และ 4.5ค) การเปลี่ยนแปลงของผลผลิตเจลลาตินตามอุณหภูมิ พีเอช และระยะเวลาการสกัดนี้สอดคล้องกับรายงานของ Cho et al. (2006) อย่างไรก็ตาม การสกัดที่พีเอชต่ำนานเกินไป มีผลทำให้ผลผลิตเจลลาตินที่ได้ลดลง เมื่อพิจารณาจากค่าสัมประสิทธิ์ของเทอมต่างๆ แล้ว (ตารางที่ 4.4) พบว่าการเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมามีผลต่อค่าตอบสนองนี้มากที่สุด



รูปที่ 4.5 พื้นผิวตอบสนองของผลผลิตเจลาติน (%) ตาม (ก) อุณหภูมิการสกัดและค่า pH

(ข) อุณหภูมิและระยะเวลาการสกัด และ (ค) pH และระยะเวลาการสกัด

โดยปัจจัยที่สามในแต่ละกราฟกำหนดให้คงที่ที่จุดกึ่งกลางของช่วงที่ทดสอบ

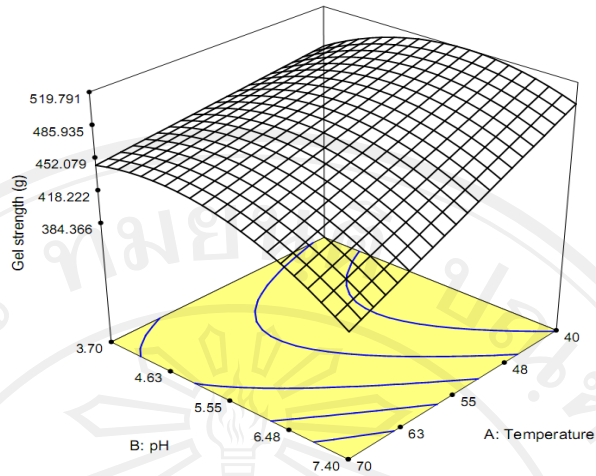
ความแข็งแรงของเจล

สมการค่าตอบสนองของความแข็งแรงของเจลคือ

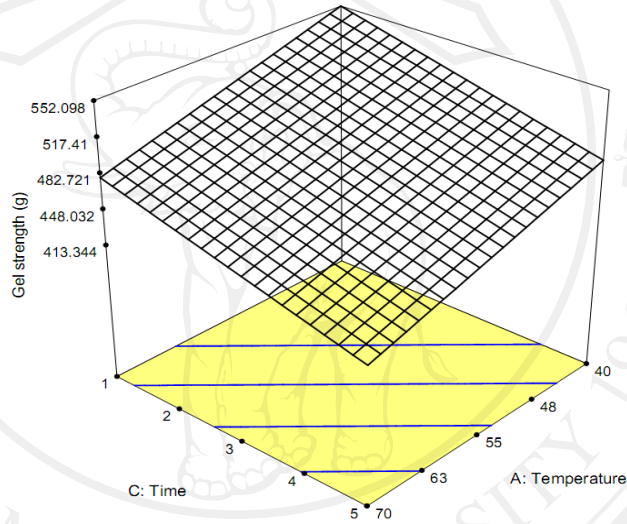
$$Y_2 = 482.72 - 36.17X_1 - 9.90X_2 - 33.21X_3 - 31.56X_2^2 - 20.73X_1X_2$$

โดยทุกเทอมมีผลต่อค่าตอบสนองอย่างมีนัยสำคัญ ($P \leq 0.05$) ยกเว้น X_2 และ X_1X_2 แต่เทอมทั้งสองทำให้สมการมีค่า R^2 สูงขึ้น (80.99%) อย่างไรก็ตาม จากการวิเคราะห์ค่า residual พบว่ามี lack-of-fit แสดงว่าสมการพหุนามกำลังสอง (quadratic polynomial) อาจไม่เหมาะสมสำหรับการอธิบายการเปลี่ยนแปลงของความแข็งแรงของเจลตามสภาวะการสกัดทั้ง 3 ปัจจัย ผลการทดลองที่ได้นี้ สอดคล้องกับ Yang, et al. (2007) ซึ่งศึกษาสภาวะการสกัดเจลาตินจากหนังปลา channel catfish และรายงานว่าสมการกำลังสองและสมการเส้นตรงไม่เหมาะสมสำหรับการอธิบายความแข็งแรงของเจล

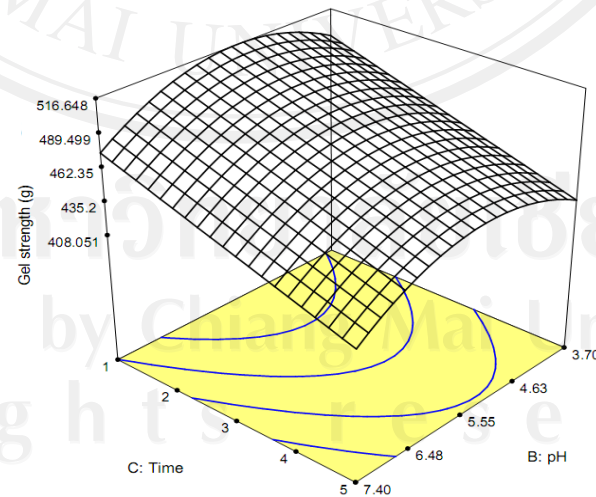
เมื่อพิจารณาความสัมพันธ์ระหว่างค่าตอบสนองและตัวแปรอิสระพบว่า การเพิ่มอุณหภูมิและระยะเวลาการสกัดทำให้ความแข็งแรงของเจลลดลง (รูปที่ 4.6) ถึงแม้ว่าการสกัดที่อุณหภูมิสูงและการสกัดเป็นเวลานานจะทำให้สกัดเจลาตินได้มากขึ้น แต่ที่สภาวะดังกล่าวจะเกิดการทำลายพันธะภายในโมเลกุลเจลาติน ทำให้โมเลกุลเจลาตินมีขนาดสั้นลง รวมถึงกรดอะมิโนอิสระบางส่วนถูกปลดปล่อยออกมา จึงส่งผลให้ความแข็งแรงของเจลลดลง (Cho, et al., 2006) เจลมีความแข็งแรงสูงสุดที่ช่วง pH ระหว่าง 4.5 ถึง 5.5 ขึ้นอยู่กับอุณหภูมิและระยะเวลาการสกัด การสกัดที่ pH ต่ำเกินไปทำให้เกิดการไฮโดรไลซ์ ส่งผลให้ความแข็งแรงของเจลลดลง Zhou and Regenstein (2005) รายงานว่าเจลาตินจากหนังปลา Alaska Pollock มีความแข็งแรงสูงสุดเมื่อสกัดที่ pH 6 และความแข็งแรงของเจลลดลงเมื่อ pH ลดลง ความแตกต่างของผลการศึกษานี้ อาจเกิดจากการออกแบบการทดลองที่ต่างกัน โดยในการทดลองครั้งนี้ทดลองที่ pH 3.7, 5.55 และ 7.4 แต่ของ Zhou and Regenstein เป็นค่า pH ที่วัดในช่วงสิ้นสุดของการสกัดด้วยสารละลายกรดความเข้มข้นต่างๆ



ก



ข



ค

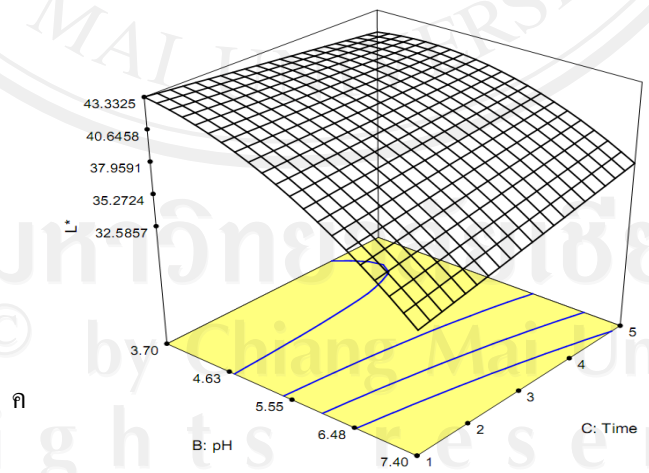
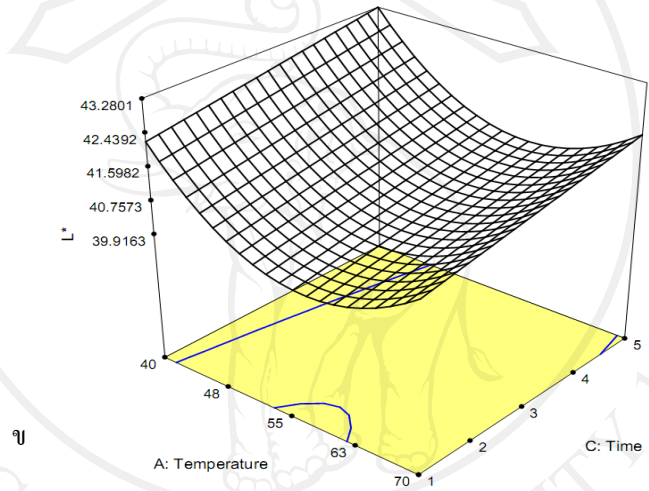
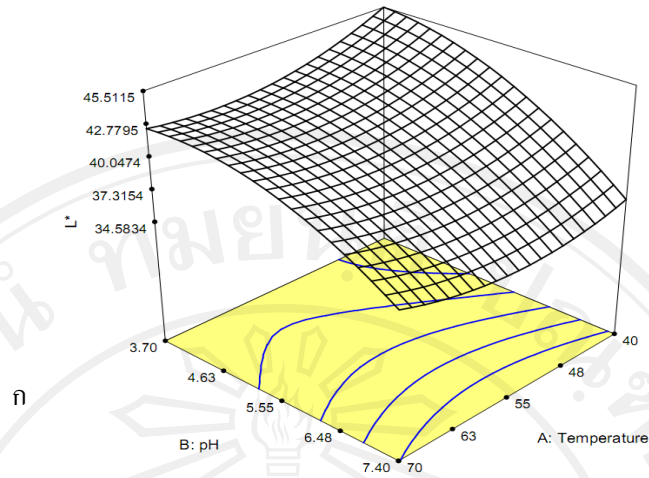
รูปที่ 4.6 พื้นผิวตอบสนองของความแข็งแรงของเจล (g) ตาม (ก) อุณหภูมิการสกัดและค่า pH

(ข) อุณหภูมิและระยะเวลาการสกัด และ (ค) pH และระยะเวลาการสกัด

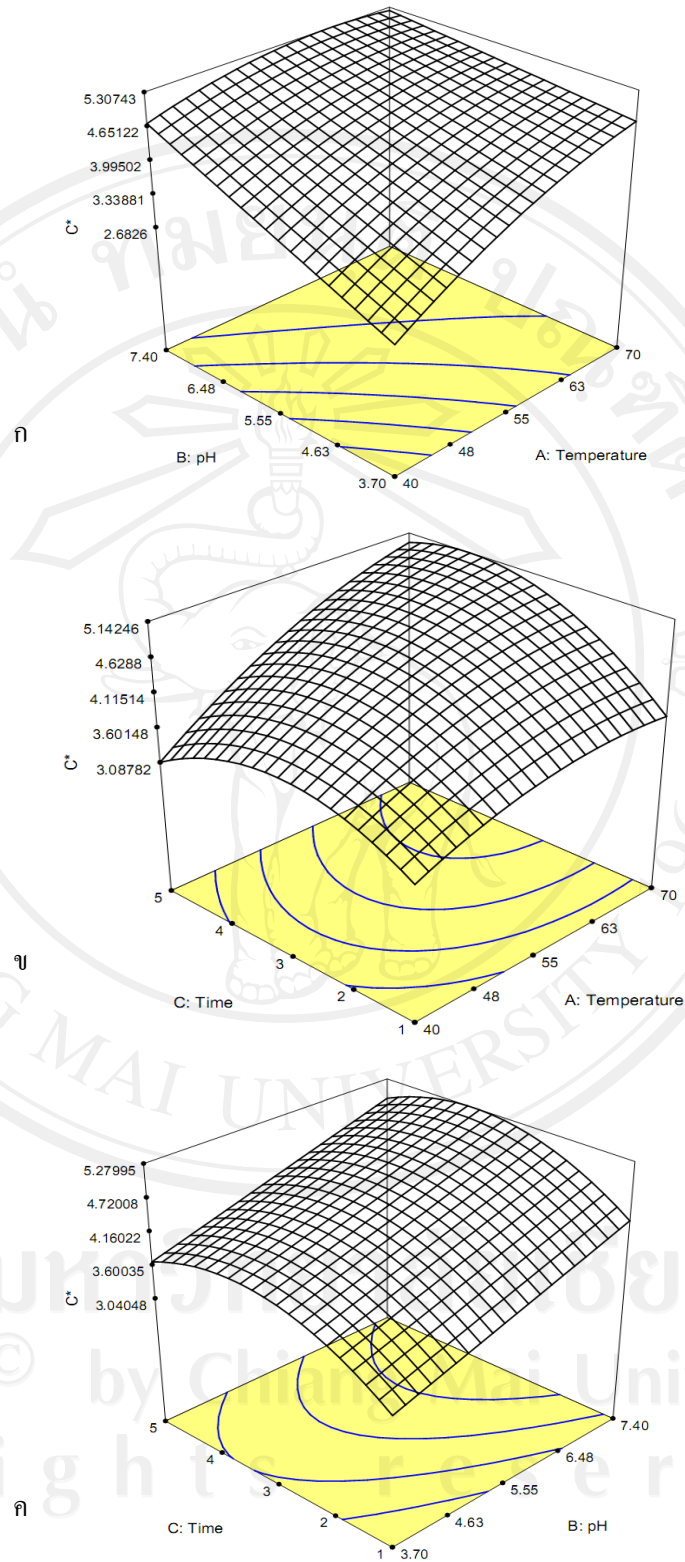
โดยปัจจัยที่สามในแต่ละกราฟกำหนดให้คงที่ที่จุดกึ่งกลางของช่วงที่ทดสอบ

ค่าสี

ค่าสีเป็นอีกปัจจัยหนึ่งที่ใช้วัดคุณภาพของเจลาติน สมการค่าตอบสนองสำหรับค่าสีทั้งสาม คือ ความสว่าง (L^*) chroma (C^*) และ hue angle (h°) มีนัยสำคัญ ($P < 0.01$) และ lack-of-fit ไม่มีนัยสำคัญ ($P > 0.5$) ตารางที่ 4.5 แสดงค่า adjusted R^2 ของสมการค่าสี ซึ่งถือว่ายอมรับได้ในการใช้อธิบายค่าตอบสนอง ค่า pH ในการสกัดเป็นปัจจัยที่มีผลต่อความสว่างของเจลาตินมากที่สุด การสกัดที่ pH สูงทำให้เจลาตินมีสีคล้ำ (รูปที่ 4.7) ค่า chroma เป็นค่าที่ใช้แสดงความเข้มของสีวัตถุ หากค่า chroma เป็น 0 แสดงว่าวัตถุมีสีขาวในกรณีที่ค่า L^* เท่ากับ 100 และค่าในกรณีที่ค่า L^* เป็น 0 หาก chroma มีค่ามากขึ้นแสดงว่าวัตถุมีสีจืดจาง ค่า chroma ของเจลาตินที่สกัดได้อยู่ในช่วง 2 ถึง 5 แสดงว่าเจลาตินมีสีจืด สมการค่าตอบสนองของ chroma มีหลายเทอมที่ไม่มีนัยสำคัญต่อค่าตอบสนอง (X_3 , X_1^2 , X_1X_2 และ X_1X_3) แต่เทอมเหล่านี้ทำให้สมการมีค่า adjusted R^2 สูง จึงยังรวมไว้ในสมการ อุณหภูมิและ pH ของสารละลายที่ใช้สกัดเป็นสองปัจจัยที่มีผลต่อค่า chroma มาก การสกัดที่อุณหภูมิสูงและ pH สูงทำให้เจลาตินมีสีมากขึ้น (รูปที่ 4.8) ส่วนค่า hue angle นั้นพบว่าอุณหภูมิมิผลมากที่สุด การสกัดที่อุณหภูมิสูงขึ้นทำให้เจลาตินเปลี่ยนจากสีชมพูเป็นสีเหลือง (รูปที่ 4.9) อย่างไรก็ตาม เนื่องจากค่า chroma ก่อนข้างต่ำ โทนสีจึงอาจดูไม่แตกต่างกันเมื่อสังเกตด้วยตาเปล่า ดังนั้น การศึกษานี้จึงไม่ใช้ค่า chroma และ hue angle เป็นเกณฑ์ในการหาสภาวะที่เหมาะสมในการสกัด



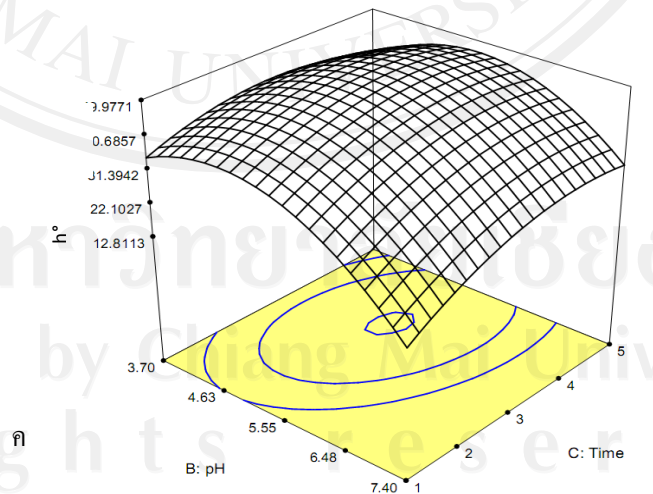
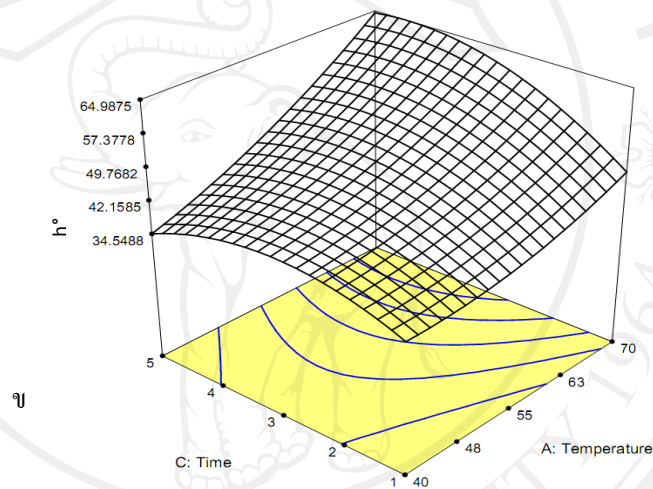
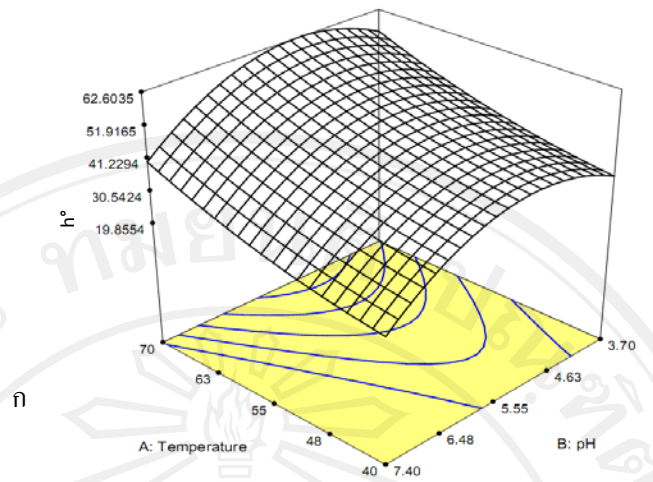
รูปที่ 4.7 พื้นผิวตอบสนองของค่าความสว่างของเจล (L^*) ตาม (A) อุณหภูมิการสกัดและค่า pH (B) อุณหภูมิและระยะเวลาการสกัด และ (C) pH และระยะเวลาการสกัด โดยปัจจัยที่สามในแต่ละกราฟกำหนดให้คงที่ที่จุดกึ่งกลางของช่วงที่ทดสอบ



รูปที่ 4.8 พื้นผิวตอบสนองของค่า chroma (C^*) ของเจลตาม (ก) อุณหภูมิการสกัดและค่า pH

(ข) อุณหภูมิและระยะเวลาการสกัด และ (ค) pH และระยะเวลาการสกัด

โดยปัจจัยที่สามในแต่ละกราฟกำหนดให้คงที่ที่จุดกึ่งกลางของช่วงที่ทดสอบ



รูปที่ 4.9 พื้นผิวตอบสนองของค่า hue angle (h°) ตาม (ก) อุณหภูมิการสกัดและค่า pH (ข) อุณหภูมิและระยะเวลาการสกัด และ (ค) pH และระยะเวลาการสกัด โดยปัจจัยที่สามในแต่ละกราฟกำหนดให้คงที่ที่จุดกึ่งกลางของช่วงที่ทดสอบ

การทดสอบการแจกแจงปกติ

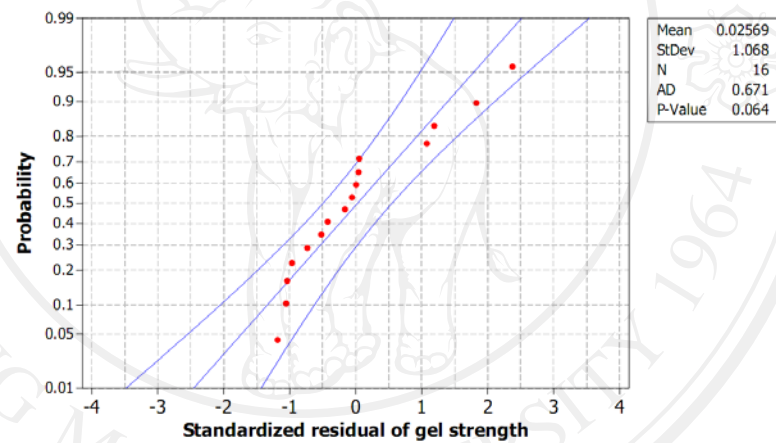
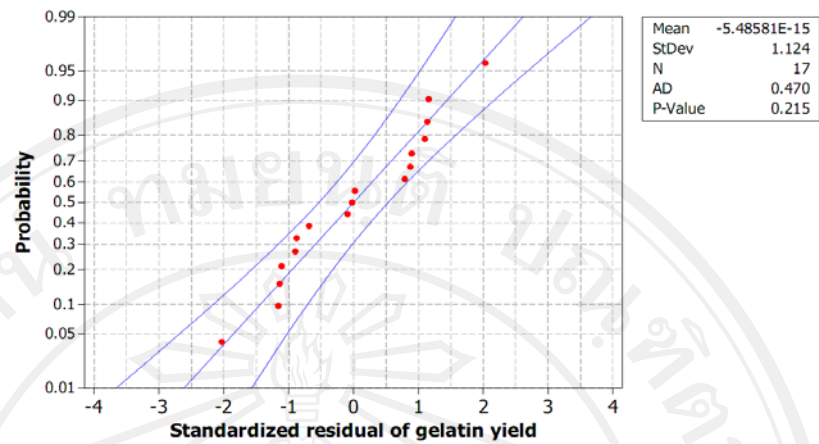
ค่า residual คือผลต่างระหว่างค่าที่ได้จากการทดลองกับค่าจากการทำนาย และเมื่อหารค่า residual ด้วยส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานจะได้ค่า standardized residual ซึ่งหากค่านี้มากกว่า 2 หรือน้อยกว่า -2 จะถือว่าค่า residual มีขนาดใหญ่ จากการทดลองพบว่า ผลผลิตเจลาตินมีค่า residual ขนาดใหญ่ 2 ค่า (รูปที่ 4.10ก) ค่าความแข็งแรงของเจล ความสว่าง และ hue angle มี residual ขนาดใหญ่ 1 ค่า (รูปที่ 4.10ข, 4.11ก และ 4.11ค) ส่วน chroma ไม่พบ residual ขนาดใหญ่ (รูปที่ 4.11จ)

เมื่อนำค่า standardized residual มาทดสอบการแจกแจงปกติโดยวิธี Anderson-Darling พบว่าค่า standardized residual ของค่าตอบสนองทั้งหมดมีการแจกแจงแบบปกติ ($P>0.05$) แสดงว่าแบบจำลองที่สร้างขึ้นมีความเหมาะสมที่จะใช้อธิบายค่าตอบสนอง อย่างไรก็ตาม แบบจำลองความแข็งแรงของเจลมีการแจกแจงของ residual ที่เกือบไม่เป็นแบบปกติ ($P=0.064$) ซึ่งสอดคล้องกับสมการที่มี lack-of-fit การสกัดเจลาตินจากปลา skate ของ Cho et al. (2005) พบว่าสมการค่าตอบสนองของความแข็งแรงของเจลมีนัยสำคัญและมี lack-of-fit แต่ค่า residual ยังแจกแจงแบบปกติเช่นเดียวกับการศึกษาครั้งนี้

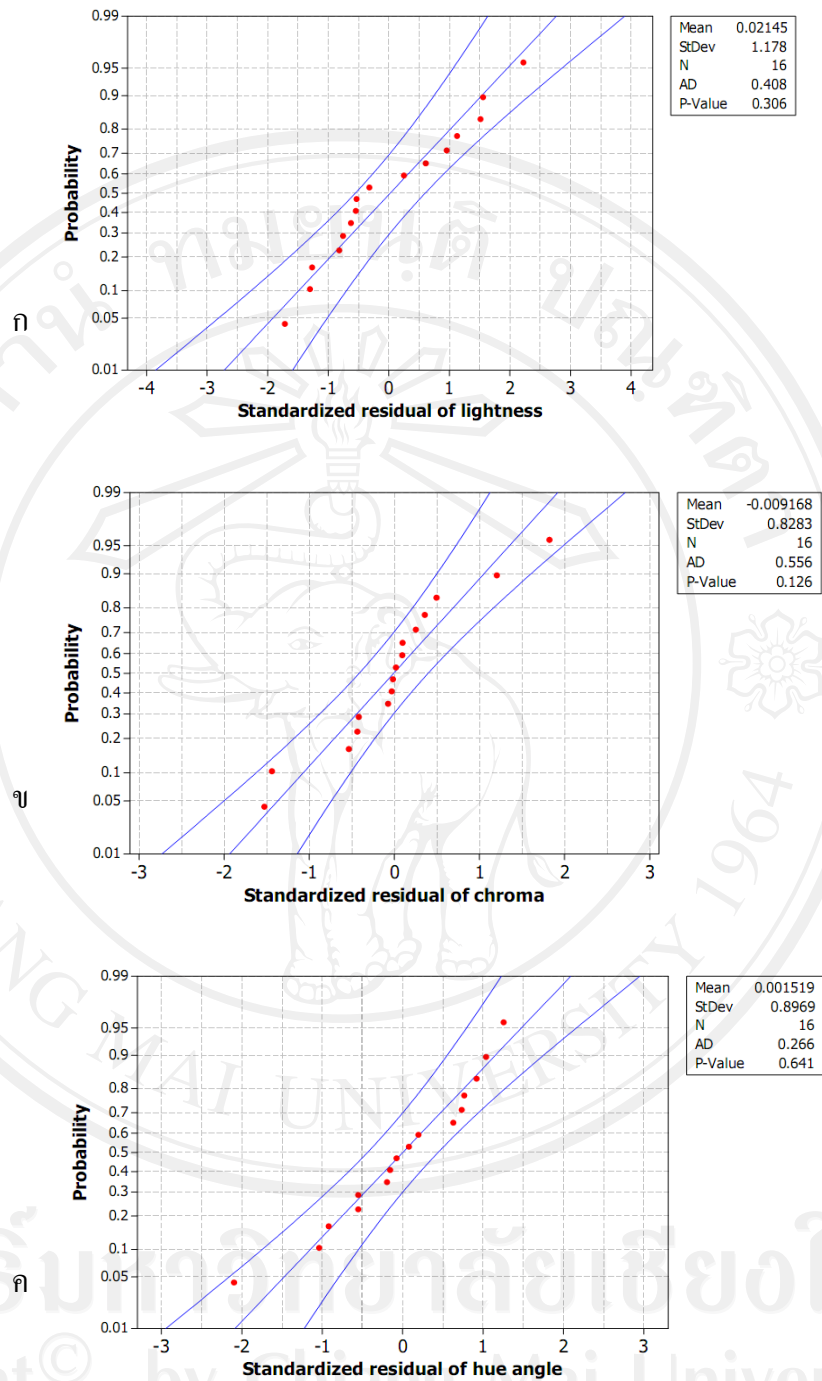
สภาวะที่เหมาะสม

เกณฑ์ในการคัดเลือกสภาวะที่เหมาะสมในการสกัดเจลาตินจากปลาเพาะคือ สภาวะที่ให้ผลผลิตเจลาติน ความแข็งแรงของเจล และความสว่างของเจลสูง จากการวิเคราะห์โดยโปรแกรม Design-Expert พบว่า สภาวะที่เหมาะสมคือ การสกัดที่อุณหภูมิ 55°C pH ของสารละลาย 4.55 และระยะเวลาการสกัด 1 ชม. ซึ่งค่าตอบสนองที่คำนวณได้จากสภาวะดังกล่าวคือ ผลผลิตเจลาติน 20.22% ความแข็งแรงของเจล 506.55 g ความสว่าง (L^*) 42.22 chroma (C^*) 3.56 และ hue angle (h°) 43.55°

Cho et al. (2005) รายงานสภาวะที่เหมาะสมในการสกัดเจลาตินจากหนังปลา yellowfin tuna คืออุณหภูมิ 58.15°C ที่ pH 6.0 เป็นเวลา 4.72 ชม. ซึ่งอุณหภูมิที่ได้ใกล้เคียงกับในการศึกษาครั้งนี้ แต่ระยะเวลาการสกัดนานกว่า Liu et al. (2008) รายงานสภาวะที่เหมาะสมในการสกัดเจลาตินจากหนังปลา channel catfish คืออุณหภูมิ 43.2°C ระยะเวลา 5.73 ชม. ในสารละลายที่มี pH เป็นกลาง Kasankala et al. (2007) รายงานสภาวะที่เหมาะสมในการสกัดเจลาตินจากหนังปลา grass carp ที่ผ่านการปรับสภาพด้วยสารละลาย 1.19% HCl เป็นเวลา 24 ชม. คืออุณหภูมิ 52.61°C ระยะเวลา 5.73 ชม. ความแตกต่างของสภาวะที่เหมาะสมระหว่างการศึกษาที่ผ่านมาับการศึกษาครั้งนี้ อาจเนื่องมาจากการใช้ปลาวัตถุดิบและใช้ pH ในการสกัดที่ต่างกันไป



รูปที่ 4.10 กราฟความเป็นไปได้ของ standardized residual ของผลผลิตเจลาติน (ก) และ ความแข็งแรงของเจล (ข) ที่จะมีการแจกแจงแบบปกติ ทดสอบโดยวิธี Anderson-Darling



รูปที่ 4.11 กราฟความเป็นไปได้ของ standardized residual ของค่าความสว่าง (ก), chroma (ข) และ hue angle (ค) ที่จะมีการแจกแจงแบบปกติ ทดสอบโดยวิธี Anderson-Darling

การยืนยันความเหมาะสมของแบบจำลอง

จากการสกัดเจลาตินภายใต้สภาวะที่เหมาะสม พบว่าค่าตอบสนองที่ได้จากการคำนวณและค่าที่ได้จากการทำนายไม่แตกต่างกันทางสถิติ ($P>0.05$) (ตารางที่ 4.6) แสดงให้เห็นว่าสมการมีความเหมาะสมสำหรับทำนายค่าตอบสนองภายใต้ช่วงสภาวะที่ทำการทดลอง

ตารางที่ 4.6 ค่าตอบสนองของเจลาตินจากการทดลองและการทำนาย ณ สภาวะที่เหมาะสม

ค่าตอบสนอง	ค่าจากการทำนาย	ค่าจากการทดลอง
ผลผลิตเจลาติน (%)	20.22	20.45 ± 1.28
ความแข็งแรงของเจล (g)	506.55	508.22 ± 22.05
ความสว่าง (L*)	42.22	43.74 ± 1.86
Chroma (C*)	3.56	3.31 ± 0.61
Hue angle (h°)	43.35	42.68 ± 4.71

4.4 การทดสอบทางประสาทสัมผัส

เมื่อนำเจลาตินที่สกัดได้จากปลาเหมาทดสอบทางประสาทสัมผัสเปรียบเทียบกับเจลาตินที่จำหน่ายทางการค้า ซึ่งเป็นเจลาตินชนิด B จากกระดูกสัตว์เลี้ยงลูกด้วยนม โดยนำเจลาตินมาละลายน้ำให้มีความเข้มข้นของเจลาติน 6.67% (w/w) แล้วแช่เย็นจนเป็นเจล คະเนนการทดสอบแสดงดังตารางที่ 4.7 โดยพบว่า เจลาตินจากกระดูกสัตว์เลี้ยงลูกด้วยนมมีสีเข้มมากที่สุด รองลงมาคือเจลาตินจากหนังปลาเหมาที่ไม่ฟอกด้วยถ่านกัมมันต์ และที่มีสีอ่อนที่สุดคือเจลาตินหนังปลาเหมาที่ฟอกด้วยถ่านกัมมันต์ อย่างไรก็ตาม เจลาตินจากหนังปลาเหมาทั้งสองชนิดมีความขุ่นมากกว่าเจลาตินจากกระดูกสัตว์เลี้ยงลูกด้วยนม ในด้านกลิ่นพบว่า เจลาตินจากกระดูกสัตว์เลี้ยงลูกด้วยนมมีกลิ่นน้อยที่สุด ส่วนเจลาตินจากหนังปลาเหมาทั้งสองได้คะแนนไม่แตกต่างกัน ในด้านเนื้อสัมผัสพบว่า เจลาตินจากหนังปลาเหมาทั้งสองมีเนื้อสัมผัสไม่แตกต่างกัน และแข็งกว่าเจลาตินจากกระดูกสัตว์เลี้ยงลูกด้วยนม ($P\leq 0.05$)

ตารางที่ 4.7 คะแนนการทดสอบทางประสาทสัมผัสของเจลาตินหนังปลาเพาะที่ไม่ฟอกด้วยถ่านกัมมันต์ เจลาตินหนังปลาเพาะที่ฟอกด้วยถ่านกัมมันต์ และเจลาตินจากกระดูกสัตว์เลี้ยงลูกด้วยนม

คุณภาพ	เจลาตินหนังปลาเพาะที่ไม่ฟอกด้วยถ่านกัมมันต์	เจลาตินหนังปลาเพาะที่ฟอกด้วยถ่านกัมมันต์	เจลาตินจากกระดูกสัตว์เลี้ยงลูกด้วยนม
สี (อ่อน-เข้ม)	$2.35^{b,2} \pm 1.94^1$	$1.84^c \pm 1.74$	$4.65^a \pm 2.29$
ความขุ่น (ใส-ขุ่น)	$7.37^a \pm 1.57$	$6.85^a \pm 2.70$	$4.50^b \pm 2.86$
กลิ่น (ไม่มีกลิ่น-กลิ่นแรง)	$4.98^a \pm 2.78$	$4.24^a \pm 2.44$	$1.86^b \pm 2.29$
เนื้อสัมผัส (อ่อน-แข็ง)	$5.59^a \pm 2.26$	$5.73^a \pm 2.25$	$4.82^b \pm 2.17$
ความชอบโดยรวม (ไม่ชอบมาก-ชอบมาก)	$4.10^c \pm 1.97$	$4.90^b \pm 1.68$	$5.94^a \pm 1.79$

¹แสดงข้อมูลในรูปค่าเฉลี่ย±ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน

²เปรียบเทียบค่าเฉลี่ยในแนวนอน ตัวอักษรที่แตกต่างกัน แสดงว่าแตกต่างกันทางสถิติ ($P \leq 0.05$)

ตารางที่ 4.8 ความแตกต่างของคะแนนการทดสอบทางประสาทสัมผัสของเจลาตินหนังปลาเพาะที่ฟอกด้วยถ่านกัมมันต์จากคะแนนของเจลาตินกระดูกสัตว์เลี้ยงลูกด้วยนม เปรียบเทียบกับเจลาตินหนังปลาเพาะที่ไม่ฟอกด้วยถ่านกัมมันต์

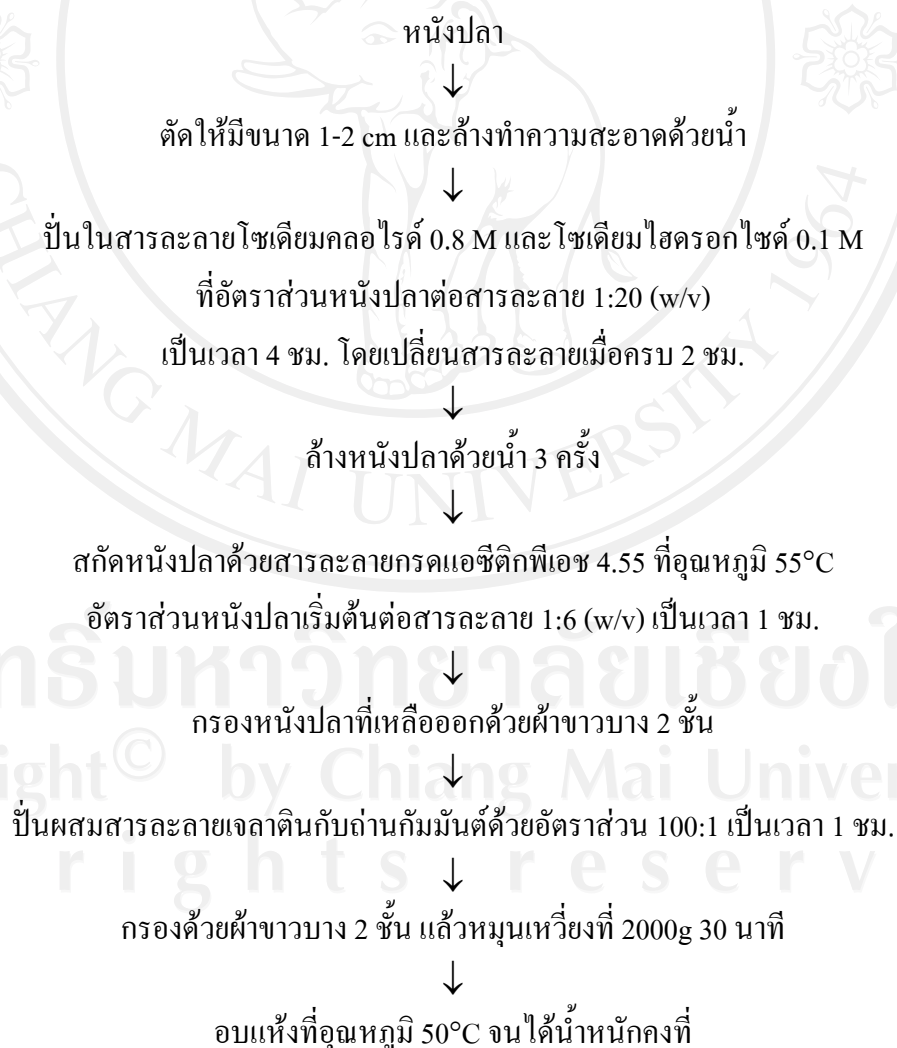
คุณภาพ	เจลาตินหนังปลาเพาะที่ไม่ฟอกด้วยถ่านกัมมันต์	เจลาตินหนังปลาเพาะที่ฟอกด้วยถ่านกัมมันต์
สี (อ่อน-เข้ม)	$-2.29^{b,2} \pm 1.90^1$	$-2.80^a \pm 2.06$
ความขุ่น (ใส-ขุ่น)	$2.35^b \pm 3.49$	$1.52^a \pm 3.26$
กลิ่น (ไม่มีกลิ่น-กลิ่นแรง)	$3.12^b \pm 3.00$	$2.37^a \pm 2.59$
เนื้อสัมผัส (อ่อน-แข็ง)	0.76 ± 2.21	0.90 ± 2.03
ความชอบโดยรวม (ไม่ชอบมาก-ชอบมาก)	$-1.84^b \pm 2.64$	$-1.04^a \pm 2.31$

¹แสดงข้อมูลในรูปค่าเฉลี่ย±ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน

²เปรียบเทียบค่าเฉลี่ยในแนวนอน ตัวอักษรที่แตกต่างกัน แสดงว่าแตกต่างกันทางสถิติ ($P \leq 0.05$)

อย่างไรก็ตาม เมื่อเปรียบเทียบความแตกต่างจากเจลาตินกระดูกสัตว์เลี้ยงลูกด้วยนม (ตารางที่ 4.8) พบว่า เจลาตินจากหนังปลาเพาะที่ฟอกด้วยถ่านกัมมันต์แตกต่างจากเจลาตินหนังปลาเพาะที่ไม่ฟอกด้วยถ่านกัมมันต์ในทุกด้าน ยกเว้นด้านเนื้อสัมผัส โดยเจลาตินที่ฟอกด้วยถ่านกัมมันต์มีสีอ่อนกว่า ใสกว่า กลิ่นอ่อนกว่า และได้คะแนนความชอบรวมมากกว่าเจลาตินที่ไม่ฟอกด้วยถ่านกัมมันต์ ดังนั้น ถ่านกัมมันต์จึงช่วยลดสี ความขุ่น และกลิ่นของเจลาตินจากหนังปลาเพาะได้ โดยไม่มีผลกับเนื้อสัมผัสของเจลาติน อย่างไรก็ตาม เจลาตินที่ใช้ถ่านกัมมันต์นี้ยังมีกลิ่นแรงกว่าเจลาตินจากกระดูกสัตว์เลี้ยงลูกด้วยนม ซึ่งควรจะได้ศึกษาวิธีการลดกลิ่นที่เหมาะสมต่อไป

จากการทดลองทั้งหมดที่ผ่านมาข้างต้นสามารถสรุปขั้นตอนการสกัดเจลาตินจากหนังปลาเพาะได้ดังรูปที่ 4.12



รูปที่ 4.12 ขั้นตอนการสกัดเจลาตินจากหนังปลาเพาะ

4.5 การวิเคราะห์สมบัติของเจลลาติน

เจลลาตินแห่งที่ได้จากการสกัดตามสภาวะที่เหมาะสมมีลักษณะไม่มีสี ละลายในน้ำร้อน ไม่ละลายในน้ำเย็น แต่จะพองตัวและอูมน้ำเมื่ออยู่ในน้ำเย็น สมบัติของเจลลาตินแห่งที่ได้มีดังนี้

4.5.1 ส่วนประกอบทางเคมีโดยประมาณ

ส่วนประกอบทางเคมีโดยประมาณของเจลลาตินจากหนังปลาเหาะ ปลาตาหวาน และปลากระพงแดงแสดงในตารางที่ 4.9 เจลาตินเป็นโปรตีนที่ค่อนข้างบริสุทธิ์ จึงมีปริมาณโปรตีนสูงที่สุด ปริมาณโปรตีนในเจลลาตินจากหนังปลาทั้งสามชนิดใกล้เคียงกัน โดยอยู่ในช่วง 84-87% รองลงมาคือความชื้น ซึ่งตามมาตรฐานของสำนักงานมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมกำหนดให้เจลลาตินต้องมีความชื้นไม่เกิน 15% เจลาตินจากหนังปลาเหาะมีปริมาณความชื้น 12% ซึ่งไม่เกินมาตรฐาน เจลาตินจากหนังปลาตาหวานมีปริมาณเถ้าสูงที่สุด (5.98%) รองลงมาคือปลากระพงแดง (1.93%) ส่วนเจลลาตินจากหนังปลาเหาะมีเถ้าต่ำที่สุดคือ 0.79% ทั้งนี้อาจเนื่องมาจากปลาเหาะเป็นปลาน้ำจืด จึงมีเถ้าซึ่งแสดงถึงปริมาณแร่ธาตุต่ำกว่าปลาตาหวานและปลากระพงแดงซึ่งเป็นปลาทะเล ไบโอมันและคาร์โบไฮเดรตเป็นส่วนประกอบทางเคมีที่มีน้อยที่สุดในเจลลาติน โดยมีปริมาณไม่เกิน 1%

ตารางที่ 4.9 ส่วนประกอบทางเคมีโดยประมาณของเจลลาตินจากหนังปลาเหาะ ปลาตาหวาน และปลากระพงแดง

ส่วนประกอบทางเคมี	ปริมาณ (% น้ำหนักเปียก) ¹		
	ปลาเหาะ	ปลาตาหวาน ²	ปลากระพงแดง ³
ความชื้น	12.00 ± 1.19	8.94 ± 0.61	13.50 ± 0.22
โปรตีน	86.11 ± 0.18	84.23 ± 1.27	84.0 ± 1.32
ไบโอมัน	0.27 ± 0.02	0.66 ± 0.09	0.25 ± 0.01
เถ้า	0.79 ± 0.04	5.98 ± 0.48	1.93 ± 0.21
คาร์โบไฮเดรต (by difference)	0.83	-	0.32 ± 0.03

¹แสดงข้อมูลในรูปค่าเฉลี่ย±ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของการทดลองอย่างต่ำ 3 ซ้ำ

² Kittiphattanabawon (2004)

³วรรณวิมล (2540)

4.5.2 pH

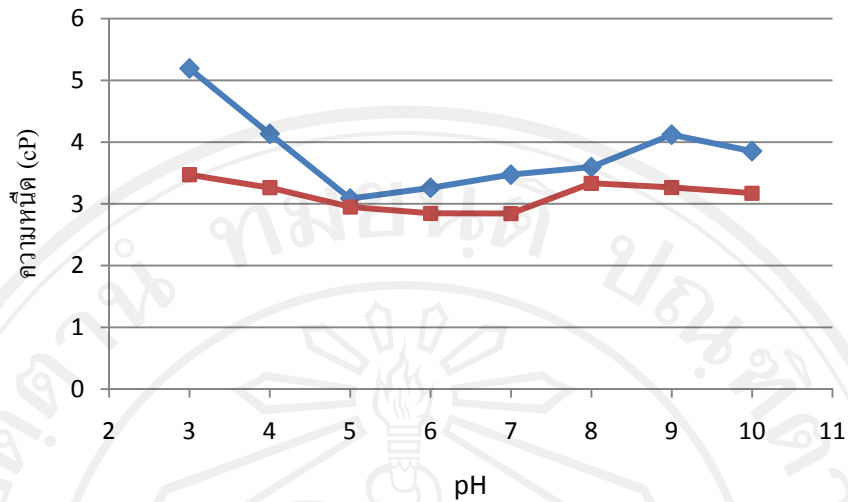
เจลาตินจากหนังปลาเผาะมีค่า pH 5.13 ± 0.05 ซึ่งเป็นไปตามมาตรฐานของสำนักงานมาตรฐานอุตสาหกรรม (มอก.) ซึ่งกำหนด pH ของเจลาตินไว้ในช่วง 3.8 ถึง 7.6

4.5.3 ความแข็งแรงของเจล

เจลาตินจากหนังปลาเผาะมีความแข็งแรงของเจล 513.75 ± 10.06 g สูงกว่าเจลาตินจากกระดูกสัตว์เลี้ยงลูกด้วยนมที่มีความแข็งแรงของเจล 465.76 ± 15.38 g ($P \leq 0.05$) สอดคล้องกับการศึกษาของ Cho et al. (2005) ที่ศึกษาการสกัดเจลาตินจากปลาหนัง yellowfin tuna และพบว่าเจลาตินจากหนังปลา yellowfin tuna มีความแข็งแรงของเจลสูงกว่าเจลาตินจากหนังโคและสุกร โดยปลาเผาะและปลา yellowfin tuna เป็นปลาในเขตศูนย์สูตร จึงมีคอลลาเจนที่คงตัวต่อความร้อนมากกว่าปลาในเขตน้ำเย็น เมื่อสกัดเป็นเจลาติน จึงได้เจลาตินที่มีความแข็งแรงของเจลสูง อย่างไรก็ตาม ยังมีปัจจัยอื่นที่มีผลต่อความแข็งแรงของเจลนอกเหนือจากชนิดของสัตว์ที่ใช้เป็นวัตถุดิบ เช่น สภาพที่ใช้ในการสกัด ในการผลิตเจลาตินจากกระดูกสัตว์เลี้ยงลูกด้วยนม มีขั้นตอนการขจัดแร่ธาตุด้วยสารละลายกรดไฮโดรคลอริก ซึ่งใช้ระยะเวลา 5-7 วัน และปรับสภาพด้วยด่างเป็นเวลา 35-70 วัน (Wasswa et al., 2007) สภาพเหล่านี้อาจส่งผลให้เกิดการไฮโดรไลซ์ของคอลลาเจนบางส่วนจนมีขนาดเล็ก เจลาตินที่ได้จึงมีความแข็งแรงต่ำ ในขณะที่การสกัดเจลาตินจากหนังปลาเผาะในการศึกษาครั้งนี้ใช้ระยะเวลาเพียง 5 ชม. ทำให้อาจหลงเหลือ α -chain ซึ่งเป็นองค์ประกอบที่สัมพันธ์กับความแข็งแรงของเจลอยู่สูง

4.5.4 ความหนืด

ค่าความหนืดของสารละลายเจลาตินจากหนังปลาเผาะและกระดูกสัตว์เลี้ยงลูกด้วยนม ความเข้มข้น 2% (w/w) ที่ pH ต่างๆ แสดงในตารางที่ ก-2 และรูปที่ 4.13 โดยพบว่าเจลาตินจากหนังปลาเผาะมีความหนืดสูงกว่าเจลาตินจากกระดูกสัตว์เลี้ยงลูกด้วยนมเกือบทุกค่า pH ที่ทดสอบ ยกเว้นที่ pH 5 ความหนืดของเจลาตินจะต่ำสุดที่จุดไอโซอิเล็กทริก เจลาตินที่ผ่านการปรับสภาพด้วยด่างจะมีจุดไอโซอิเล็กทริกในช่วง pH 4-6 โดยเจลาตินจากหนังปลาเผาะมีความหนืดต่ำสุดที่ pH 5 ในขณะที่เจลาตินจากสัตว์เลี้ยงลูกด้วยนมมีจุดไอโซอิเล็กทริกที่ pH 6-7 สาเหตุที่จุดไอโซอิเล็กทริกอยู่ในช่วงนี้ เนื่องจากสารละลายด่างจะเปลี่ยนกรดอะมิโนแอสพาราจินและกลูตามีนเป็นกรดแอสพาร์ติกและกรดกลูตามิก ตามลำดับ เจลาตินจากหนังปลาเผาะมีความหนืดสูงจึงเหมาะสำหรับผลิตเป็นฟิล์มเจลาติน (Baziwane and He, 2003; Cole, 2000)

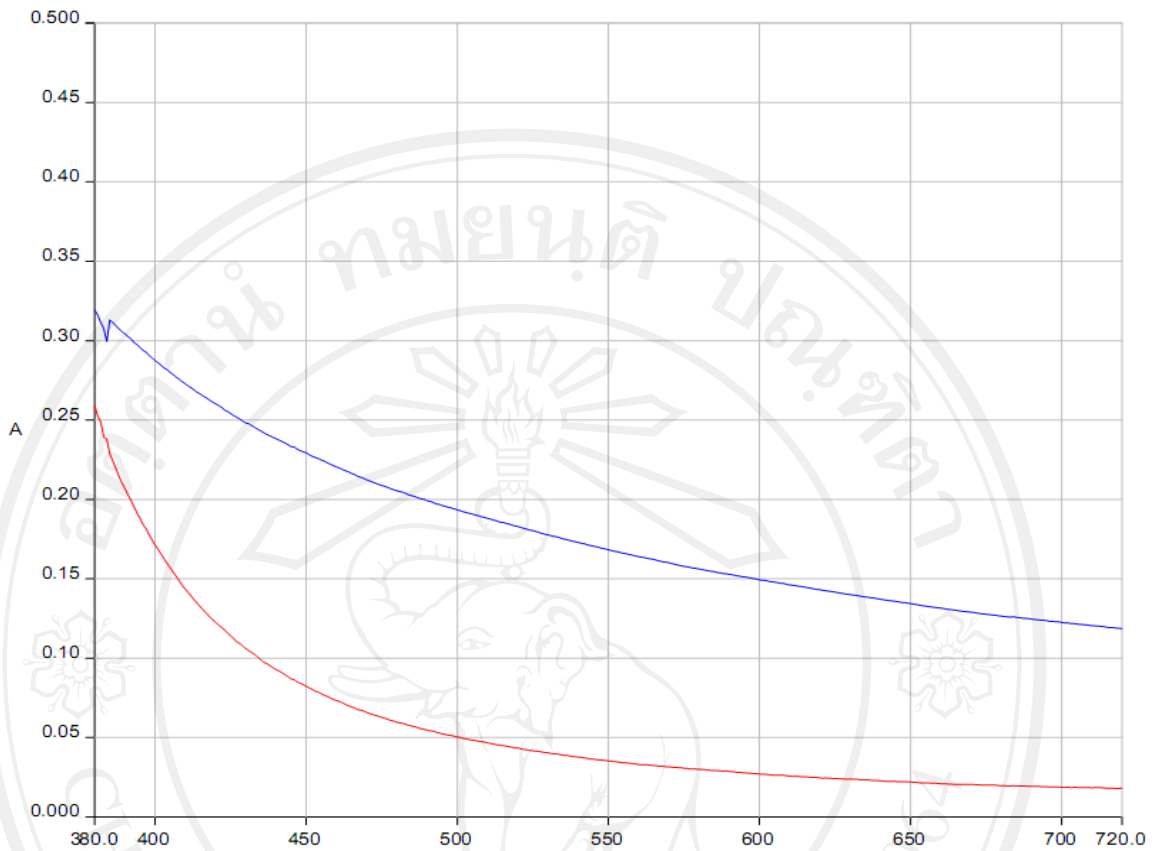


รูปที่ 4.13 ความขุ่นของสารละลายเจลาตินจากหนังปลาเผา (◆) และกระดูกสัตว์เลี้ยงลูกด้วยนม (■) ที่ระดับ pH ต่างๆ

4.5.5 สีและความขุ่น

จากการวัดความขุ่นของสารละลายเจลาตินเข้มข้น 6.67% โดยใช้เครื่องสเปกโตรโฟโตมิเตอร์ที่ความยาวคลื่น 620 nm พบว่า แสงสามารถส่องผ่านสารละลายเจลาตินจากหนังปลาเผาได้ $73.21 \pm 0.63\%$ ในขณะที่สารละลายเจลาตินจากกระดูกสัตว์เลี้ยงลูกด้วยนมนั้น แสงสามารถส่องผ่านได้ $95.24 \pm 0.44\%$ แสดงว่าเจลาตินจากหนังปลาเผามีความขุ่นมากกว่าเจลาตินจากกระดูกสัตว์เลี้ยงลูกด้วยนม ($P < 0.01$) การวัดค่าการดูดกลืนแสงในช่วง 380 ถึง 720 nm (รูปที่ 4.14) ให้ผลเช่นเดียวกัน คือสารละลายเจลาตินจากหนังปลาเผาดูดกลืนแสงได้มากกว่าเจลาตินจากกระดูกสัตว์เลี้ยงลูกด้วยนมตลอดช่วงความยาวคลื่นที่ทดสอบ

เนื่องจากสารละลายเจลาตินทั้งสองชนิดมีความขุ่นต่างกัน ทำให้ไม่สามารถวัดสีโดยใช้เครื่องสเปกโตรโฟโตมิเตอร์ได้ ดังนั้นจึงวัดค่าสีด้วยเครื่อง Minolta Chroma Meter ผลที่ได้แสดงดังตารางที่ 4.10 โดยพบว่าเจลาตินจากกระดูกสัตว์เลี้ยงลูกด้วยนมมีความสว่างมากกว่าเจลาตินจากหนังปลาเผา ($P < 0.05$) ค่า hue angle ของเจลาตินทั้งสองแตกต่างกัน ($P < 0.05$) โดยเจลาตินจากปลาเผามีสีอยู่ในช่วงสีส้ม แต่เนื่องจากค่า chroma ซึ่งเป็นค่าใช้แสดงความเข้มของสีต่ำมาก จึงเห็นสีได้น้อย ส่วนเจลาตินจากกระดูกสัตว์เลี้ยงลูกด้วยนมมีสีเหลือง แต่เนื่องจากค่า chroma สูงกว่าเจลาตินจากหนังปลาเผา ($P < 0.05$) จึงเห็นสีได้ชัดเจนกว่า



รูปที่ 4.14 ค่าการดูดกลืนแสงของสารละลายเจลาตินจากหนังปลาเผา (เส้นบน) และกระดูกสัตว์เลี้ยงลูกด้วยนม (เส้นล่าง)

ตารางที่ 4.10 ค่าสีของสารละลายเจลาตินจากหนังปลาเผาและกระดูกสัตว์เลี้ยงลูกด้วยนม

ค่าสี	เจลาตินจากหนังปลาเผา	เจลาตินจากกระดูกสัตว์เลี้ยงลูกด้วยนม
ความสว่าง (L*)	43.62 ^b ± 1.53	45.78 ^a ± 1.52
Chroma (C*)	3.66 ^b ± 0.38	4.25 ^a ± 0.63
Hue angle (h°)	45.28 ^b ± 5.21	70.89 ^a ± 9.62

หมายเหตุ: แสดงข้อมูลในรูปค่าเฉลี่ย±ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของการทดลอง 3 ซ้ำ

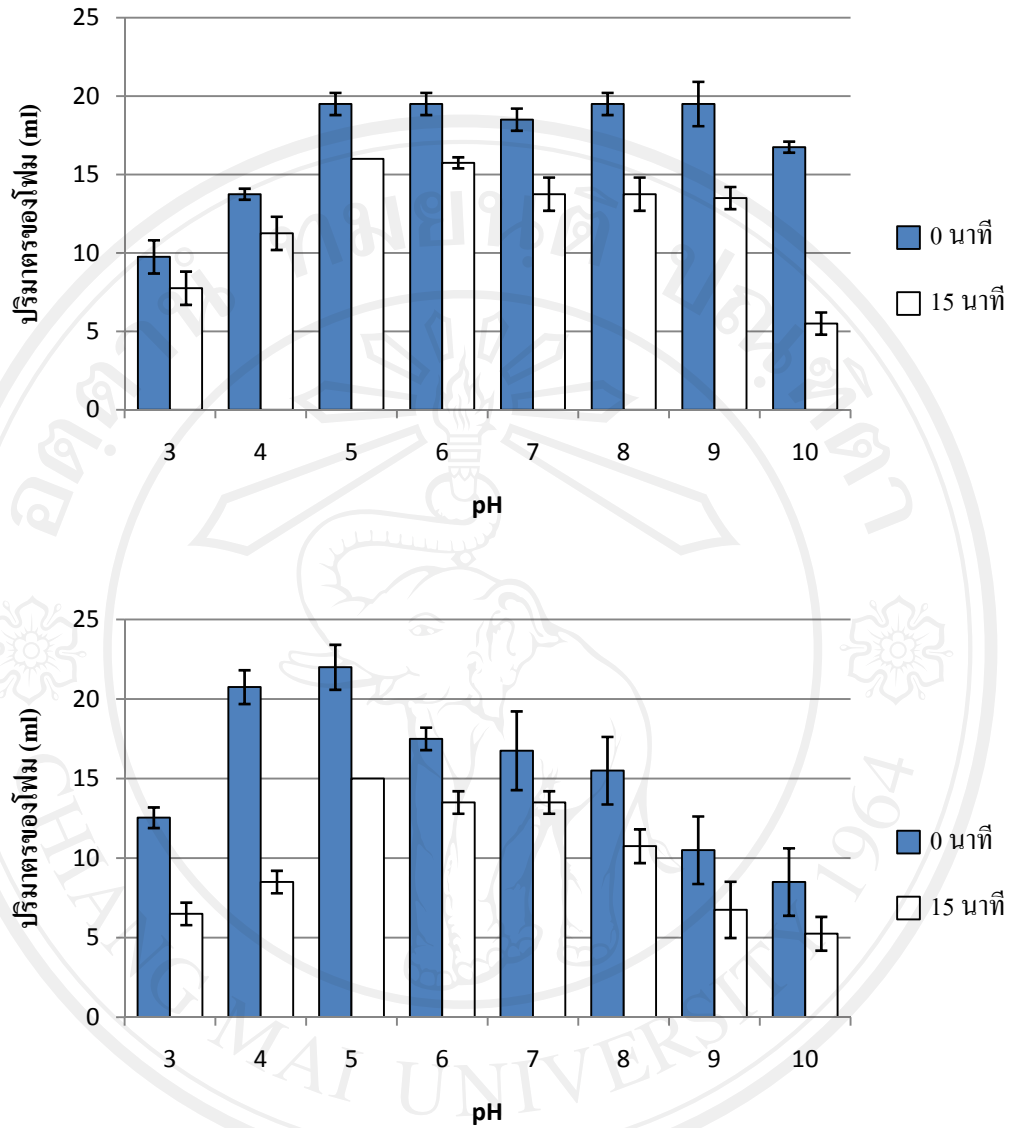
ตัวอักษรที่แตกต่างกันในแนวนอนแสดงว่ามีความแตกต่างทางสถิติ ($P < 0.05$)

4.5.6 การเกิดโฟม

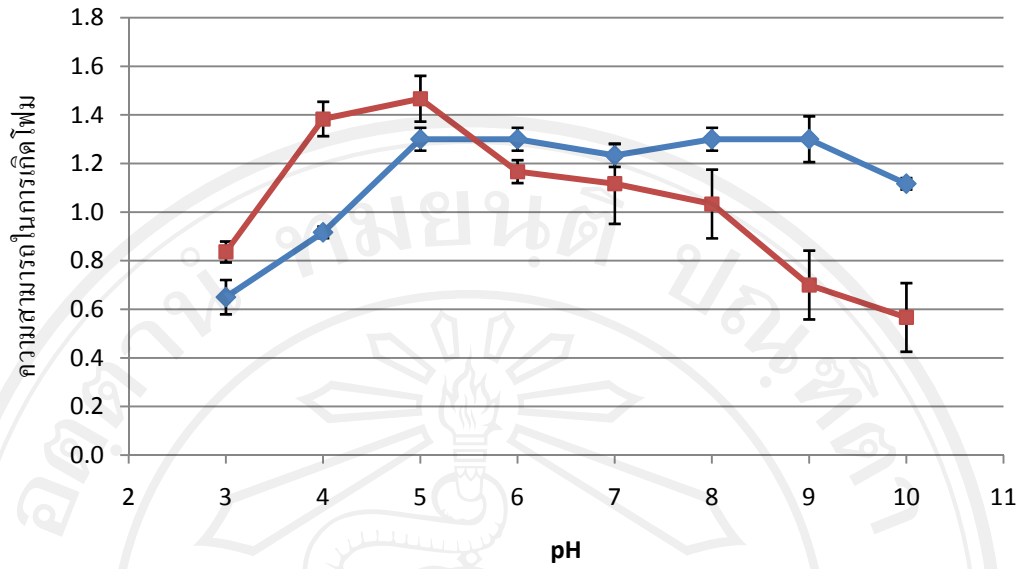
ปริมาณของโฟมเจลาตินจากหนังปลาเผาและเจลาตินจากกระดูกสัตว์เลี้ยงลูกด้วยนม แสดงในตารางที่ ก-3 และรูปที่ 4.15 ปริมาณเริ่มต้นของสารละลายเจลาตินคือ 15 ml จากการวิเคราะห์แบบ Factorial in completely random design (CRD) พบว่า โฟมเจลาตินปลาเผามีปริมาณเฉลี่ย 14.70 ± 4.31 ml ซึ่งสูงกว่าเจลาตินจากกระดูกสัตว์เลี้ยงลูกด้วยนมที่มีปริมาณโฟม 12.78 ± 4.99 ml ($P \leq 0.05$) การปล่อยโฟมทิ้งไว้เป็นเวลา 15 นาที ทำให้ปริมาณโฟมลดลงอย่างมีนัยสำคัญ ($P \leq 0.05$) โดยปริมาณโฟมเริ่มต้นเฉลี่ยคือ 16.30 ± 4.20 ml ปริมาณโฟมเมื่อเวลาผ่านไป 15 นาทีคือ 11.19 ± 3.78 ml นอกจากนี้ pH มีผลต่อปริมาณโฟมเจลาตินอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P \leq 0.05$)

ความสามารถในการเกิดโฟมของเจลาตินจากหนังปลาเผาและเจลาตินจากกระดูกสัตว์เลี้ยงลูกด้วยนมแสดงในตารางที่ ก-4 และรูปที่ 4.16 ความสามารถในการเกิดโฟมเฉลี่ยของเจลาตินหนังปลาเผา คือ 1.13 ± 0.24 ซึ่งสูงกว่าของเจลาตินจากกระดูกสัตว์เลี้ยงลูกด้วยนมที่มีค่าเท่ากับ 1.03 ± 0.32 ($P \leq 0.05$) เมื่อพิจารณาที่ pH ต่างๆ พบว่า เจลาตินจากหนังปลาเผามีความสามารถในการเกิดโฟมสูงกว่าเจลาตินจากกระดูกสัตว์เลี้ยงลูกด้วยนมที่ pH 9 และ 10 ในขณะที่เจลาตินจากกระดูกสัตว์เลี้ยงลูกด้วยนมมีความสามารถในการเกิดโฟมสูงกว่าเจลาตินจากหนังปลาเผาที่ pH 4 ($P \leq 0.05$) ความสามารถในการเกิดโฟมสูงสุดของเจลาตินจากปลาเผา คือ 1.3 เท่าของสารละลายเริ่มต้นในช่วง pH 5-9 ในขณะที่ของเจลาตินจากกระดูกสัตว์เลี้ยงลูกด้วยนมคือ 1.47 เท่า ที่ pH 5

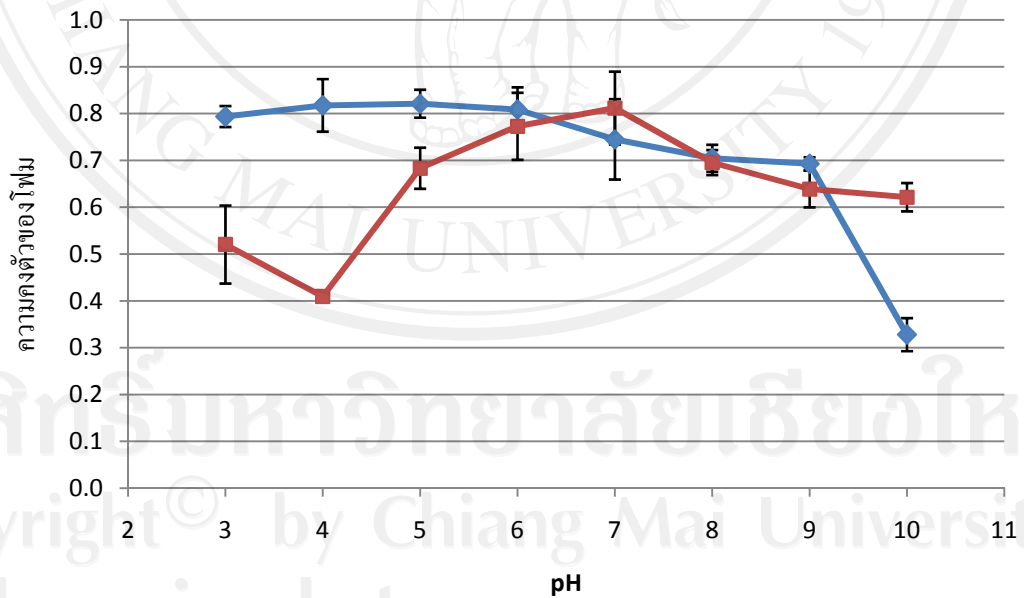
ความคงตัวของโฟมเจลาตินจากหนังปลาเผาและเจลาตินจากกระดูกสัตว์เลี้ยงลูกด้วยนม แสดงในตารางที่ ก-4 และรูปที่ 4.17 ความคงตัวเฉลี่ยของเจลาตินจากหนังปลาเผา คือ 0.71 ± 0.16 ซึ่งสูงกว่าของเจลาตินจากกระดูกสัตว์เลี้ยงลูกซึ่งมีค่าเท่ากับ 0.64 ± 0.13 ($P \leq 0.05$) เจลาตินจากปลาเผามีความคงตัวสูงสุดในช่วง pH 3-6 และความคงตัวจะค่อยๆ ลดลงจนถึงที่ pH 10 พบว่าค่าความคงตัวของเจลาตินจะลดลงอย่างชัดเจน ในขณะที่เจลาตินจากกระดูกสัตว์เลี้ยงลูกด้วยนมมีความคงตัวสูงสุดที่ pH 7 และมีความคงตัวลดลงมากเมื่อ pH น้อยกว่า 5 ดังนั้นการคัดเลือกชนิดของเจลาตินที่เหมาะสมสำหรับการใช้งานที่ต้องการสมบัติการเกิดโฟมของเจลาตินจึงขึ้นอยู่กับ pH ที่ใช้



รูปที่ 4.15 ปริมาณของโพลีฟีนอลในหนังปลาเผา (บน) และกระดูกสัตว์เลี้ยงลูกด้วยนม (ล่าง) ณ เวลาเริ่มต้นและหลังจากผ่านไป 15 นาที



รูปที่ 4.16 ความสามารถในการเกิดโฟมของเจลาตินจากหนังปลาเผา(◆) และกระดูกสัตว์เลี้ยงลูกด้วยนม(■) ที่ pH ต่างๆ



รูปที่ 4.17 ความคงตัวของโฟมเจลาตินจากหนังปลาเผา(◆) และกระดูกสัตว์เลี้ยงลูกด้วยนม(■) ที่ pH ต่างๆ

4.5.7 ความคงตัวของอิมัลชัน

เมื่อนำสารละลายเจลาตินความเข้มข้น 1, 2 และ 3% ปริมาณ 30 g มาปั่นผสมกับน้ำมันถั่วเหลือง 10 g เพื่อให้เกิดเป็นอิมัลชันแล้วทดสอบความคงตัวของอิมัลชัน ผลการทดลองเป็นแสดงตารางที่ 4.11 โดยพบว่า ความเข้มข้นของสารละลายเจลาตินมีผลต่อความคงตัวของอิมัลชันแตกต่างกัน ($P < 0.05$) สารละลายเจลาตินความเข้มข้น 3% ให้อิมัลชันที่มีความคงตัวมากกว่าเจลาติน 2% และ 1% ตามลำดับ เมื่อเปรียบเทียบระหว่างชนิดของเจลาตินพบว่าเจลาตินจากหนังปลาเพาะให้ความคงตัวของอิมัลชันมากกว่าเจลาตินจากกระดูกสัตว์เลี้ยงลูกด้วยนม ($P < 0.05$) อย่างไรก็ตาม ไม่พบอันตรกิริยา (interaction) ระหว่างชนิดและความเข้มข้นของเจลาตินต่อความคงตัวของอิมัลชัน

อิมัลชันที่เตรียมจากสารละลายเจลาตินหนังปลาเพาะความเข้มข้น 3% มีความคงตัวสูงสุด รองลงมาคือสารละลายเจลาตินจากหนังปลาเพาะ 2% ซึ่งให้ความคงตัวของอิมัลชันไม่แตกต่างจากเจลาตินกระดูกสัตว์เลี้ยงลูกด้วยนม 3% ถัดมาคือเจลาตินปลาเพาะ 1% ซึ่งให้ผลไม่แตกต่างจากเจลาตินกระดูกสัตว์เลี้ยงลูกด้วยนม 2% เช่นกัน และสารละลายเจลาตินกระดูกสัตว์เลี้ยงลูกด้วยนม 1% ให้ความคงตัวของอิมัลชันต่ำที่สุด

ตารางที่ 4.11 ความคงตัวของอิมัลชันที่ใช้เจลาตินเป็นอิมัลซิไฟเออร์

ความเข้มข้นของ สารละลาย เจลาติน (%)	ความคงตัวของอิมัลชัน (%)		
	เจลาตินจากหนัง ปลาเพาะ	เจลาตินจากกระดูก สัตว์เลี้ยงลูกด้วยนม	ค่าเฉลี่ย
1	34.19 ^c ± 1.56	30.0 ^d ± 0.99	32.40 ^c ± 2.56
2	37.60 ^b ± 1.05	32.96 ^c ± 1.02	35.28 ^b ± 2.62
3	44.57 ^a ± 1.97	37.36 ^b ± 0.89	40.45 ^a ± 4.07
ค่าเฉลี่ย	38.16 ^a ± 4.17	33.63 ^b ± 2.99	

หมายเหตุ: แสดงข้อมูลในรูปค่าเฉลี่ย ± ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของการทดลอง 3 ซ้ำ

เปรียบเทียบค่าเฉลี่ยที่อยู่ในกรอบสี่เหลี่ยมเดียวกัน ตัวอักษรกำกับที่แตกต่างกันแสดงว่าแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P < 0.05$)

โปรตีนทุกชนิด รวมถึงเจลาติน มีทั้งส่วนที่ชอบน้ำ (hydrophilic) และส่วนที่ไม่ชอบน้ำ (hydrophobic) เมื่ออยู่ในสารผสมที่ประกอบด้วยสองเฟส เช่น มีน้ำมันกระจายตัวอยู่ในน้ำ เจลาตินจะเคลื่อนตัวไปอยู่บริเวณรอยต่อระหว่างสองเฟส โดยส่วนที่ไม่ชอบน้ำจะหันเข้าหาหยดไขมัน และส่วนที่ชอบน้ำจะหันเข้าหาน้ำ เจลาตินจึงหุ้มหยดไขมันไว้ด้วยฟิล์มที่บางมาก หากอนุภาคที่เกิดขึ้นมี

ประจุเหมือนกันก็จะผลักกัน ทำให้หยดไขมันไม่รวมตัวกัน สมบัติอิมัลชันไฟเออร์ของเจลาตินยังขึ้นอยู่กับความหนืด การเพิ่มความหนืดของเฟสน้ำทำให้อิมัลชันคงตัวมากขึ้น (Schrieber and Gareis, 2007) เจลาตินจากหนังปลาเผาะมีความหนืดสูงกว่ากระดูกสัตว์เลี้ยงลูกด้วยนม จึงให้อิมัลชันที่คงตัวมากกว่า ความคงตัวที่เพิ่มขึ้นเมื่อเพิ่มความเข้มข้นของเจลาตินเป็นผลมาจากมีโปรตีนล้อมรอบหยดไขมันมากขึ้น ฟิล์มที่ล้อมรอบหยดไขมันจึงมีความแข็งแรงมากกว่า นอกจากนี้ปริมาณเจลาตินที่เพิ่มขึ้นยังเพิ่มความหนืดของเฟสน้ำ ทำให้อิมัลชันคงตัวมากขึ้น

4.5.8 Texture Profile Analysis

Texture profile ของเจลาตินจากหนังปลาเผาะและเจลาตินจากกระดูกสัตว์เลี้ยงลูกด้วยนม แสดงในตารางที่ 4.12 และรูปที่ 4.18 โดยเจลาตินทั้งสองชนิดไม่แตกต่างกันในด้าน fracturability, chewiness และ gumminess ($P>0.05$)

ค่า hardness หรือ firmness เป็นแรงสูงสุดในการกัดครั้งแรก ลักษณะการวัดค่านี้คล้ายกับการวัดความแข็งแรงของเจล ซึ่งเป็นแรงสูงสุดในการกดเช่นกัน แต่ต่างกันที่หัววัด ระยะทาง และความเร็วในการกด อย่างไรก็ตามผลที่ได้สัมพันธ์กับความแข็งแรงของเจล กล่าวคือเจลาตินจากหนังปลาเผาะมีความแข็งแรงของเจลสูงกว่าเจลาตินจากกระดูกสัตว์เลี้ยงลูกด้วยนม ($P<0.05$)

ค่า adhesiveness เป็นพื้นที่ของแรงที่ติดลบหลังการกัดครั้งแรก เป็นแรงที่ใช้เอาชนะแรงยึดติดระหว่างพื้นผิวของอาหารกับพื้นผิวของวัสดุอื่น จากการทดลองพบว่าเจลาตินจากหนังปลาเผาะมีความสามารถในการยึดติดกับวัสดุอื่นได้ดีกว่าเจลาตินจากกระดูกสัตว์เลี้ยงลูกด้วยนม ($P<0.05$) ดังนั้นเจลาตินจากหนังปลาเผาะจึงเหมาะสำหรับผลิตเป็นกาว หรือใช้เป็นส่วนผสมของอาหารที่เติมเจลาตินเพื่อทำหน้าที่ในการยึดติดส่วนผสมอื่นๆ

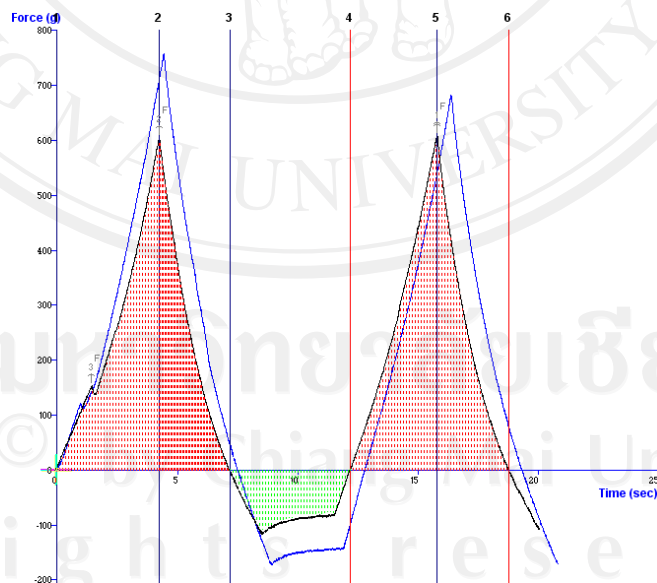
ค่า cohesiveness เป็นอัตราส่วนระหว่างพื้นที่ของแรงในการกดครั้งที่สองต่อการกดครั้งแรก เป็นอัตราการแตกสลายภายใต้แรงกด ค่านี้แสดงถึงแรงยึดเกาะภายในตัวอาหาร จากการทดลองพบว่าเจลาตินจากกระดูกสัตว์เลี้ยงลูกด้วยนมมีค่า cohesiveness มากกว่าเจลาตินจากหนังปลาเผาะ ($P<0.05$)

ค่า springiness เป็นความสูงของอาหารที่คืนตัวภายในช่วงเวลาที่ยืดสุดการกัดครั้งแรก จนถึงเริ่มการกัดครั้งที่สอง ค่านี้แสดงถึงความยืดหยุ่นของอาหาร จากการทดลองพบว่าเจลาตินจากกระดูกสัตว์เลี้ยงลูกด้วยนมมีความยืดหยุ่นมากกว่าเจลาตินจากหนังปลาเผาะ ($P<0.05$) ในขณะที่ค่า resilience เป็นค่าที่แสดงถึงความสามารถในการคืนตัวของอาหารหลังการเสีรูปทั้งในด้านของแรงและความเร็ว จากการทดลองพบว่าเจลาตินจากกระดูกสัตว์เลี้ยงลูกด้วยนมมีความสามารถคืนตัวได้ดีกว่าเจลาตินจากหนังปลาเผาะ ($P<0.05$)

ตารางที่ 4.12 Texture profile ของสารละลายเจลาตินจากหนังปลาเผาและกระดูกสัตว์เลี้ยงลูกด้วยนม

ลักษณะเนื้อสัมผัส	เจลาตินจากหนังปลาเผา	เจลาตินจากกระดูกสัตว์เลี้ยงลูกด้วยนม
Fracturability (g)	181.18 ± 49.96	150.68 ± 31.00
Hardness (g)	750.47 ^a ± 24.85	642.28 ^b ± 27.49
Adhesiveness (g.sec)	-369.09 ^a ± 49.33	-75.48 ^b ± 24.15
Cohesiveness	0.838 ^b ± 0.039	0.950 ^a ± 0.029
Chewiness	533.59 ± 56.45	562.60 ± 41.54
Gumminess	629.68 ± 48.13	610.41 ± 44.45
Springiness	0.847 ^b ± 0.046	0.922 ^a ± 0.018
Resilience	0.618 ^b ± 0.026	0.683 ^a ± 0.012

หมายเหตุ: แสดงข้อมูลในรูปค่าเฉลี่ย±ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของการทดลองอย่างต่ำ 3 ซ้ำ
ตัวอักษรที่แตกต่างกันในแนวนอนแสดงว่ามีความแตกต่างทางสถิติ ($P < 0.05$)

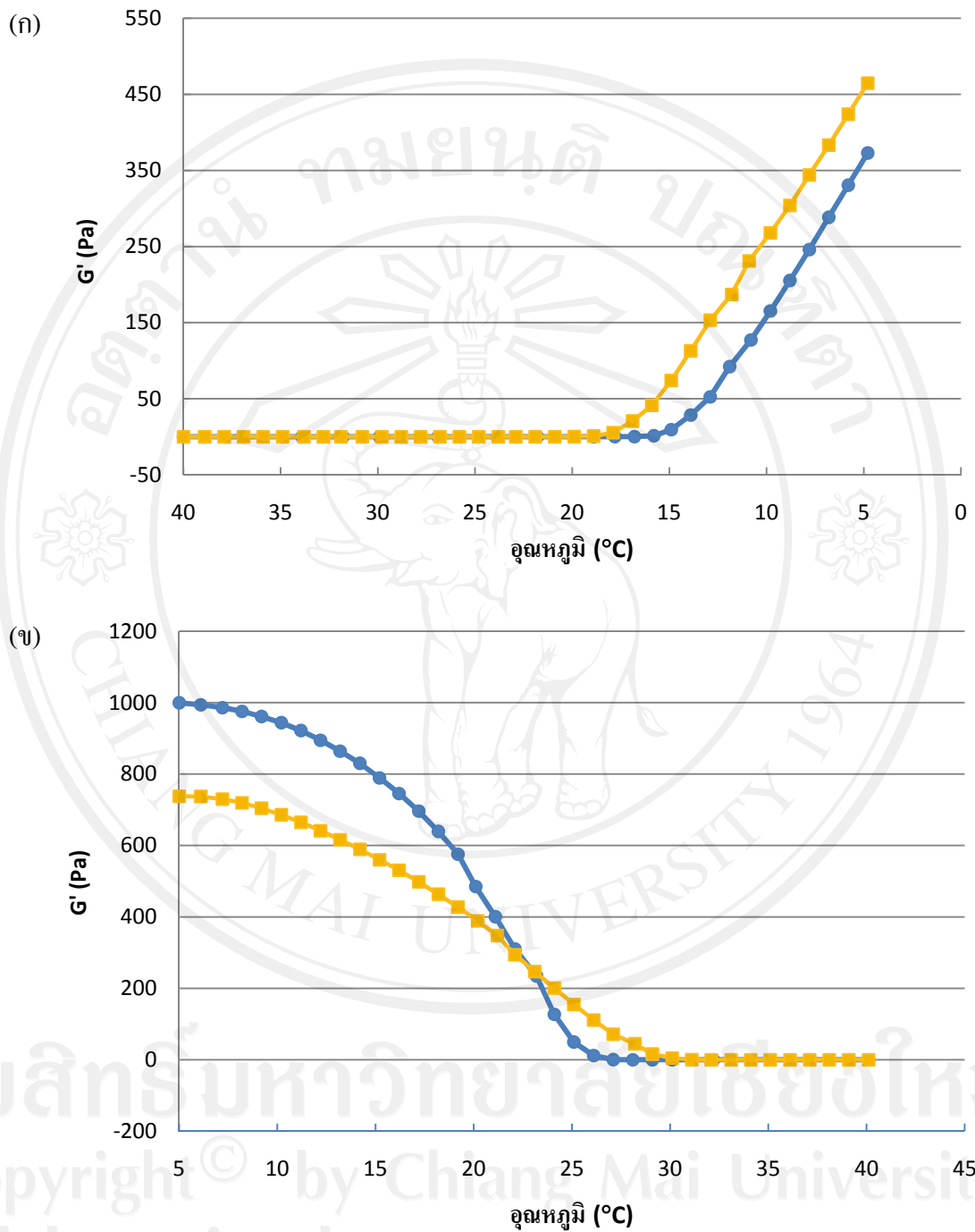


รูปที่ 4.18 Texture profile ของเจลาตินจากหนังปลาเผา (กราฟโปร่ง) และเจลาตินจากกระดูกสัตว์เลี้ยงลูกด้วยนม (กราฟแรง)

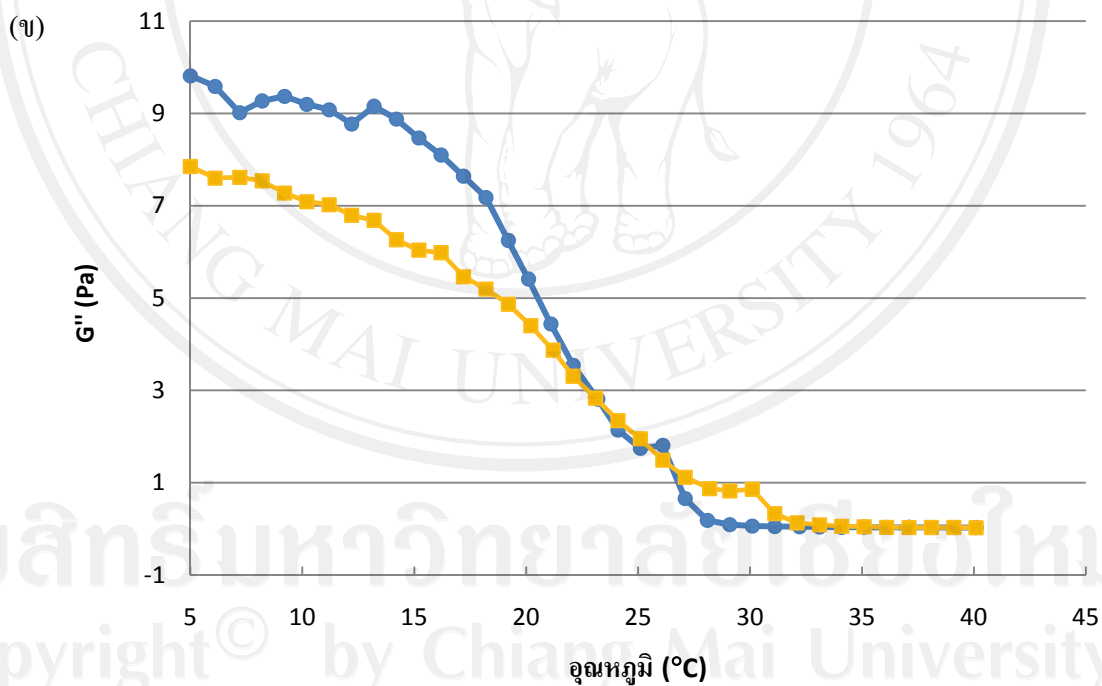
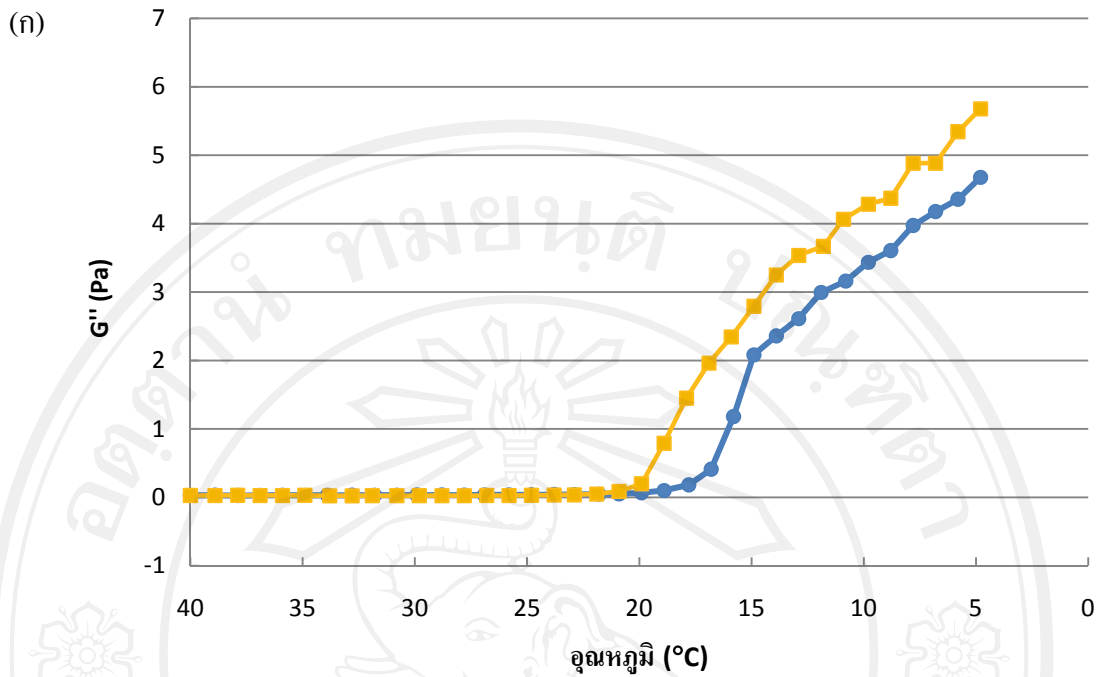
Wangtueai and Noomhorm (2009) ได้ศึกษา texture profile ของเจลาตินจากเกล็ดปลา lizardfish (*Saurida* spp.) แล้วพบว่าเจลาตินจากเกล็ดปลา lizardfish มีค่า hardness, gumminess และ chewiness ต่ำกว่าเจลาตินจากโค ($P \leq 0.05$) โดยค่า springiness และ cohesiveness ไม่แตกต่างกัน ความแตกต่างของผลการทดลองในศึกษานี้และการศึกษาของ Wangtueai and Noomhorm (2009) อาจเนื่องมาจากชนิดของปลาที่แตกต่างกันและอุณหภูมิที่ใช้บ่มเจล เนื่องจากการศึกษาเจลาติน เกล็ดปลา lizardfish บ่มเจลที่อุณหภูมิ 9-10°C ในขณะที่การทดลองครั้งนี้บ่มเจลที่ 2°C

4.5.7 สมบัติวิสโคอิลาสติก

เมื่อนำสารละลายเจลาตินความเข้มข้น 6.67% (w/w) มาวัดสมบัติวิสโคอิลาสติกด้วยเครื่องรีโอมิเตอร์ โดยลดอุณหภูมิจาก 40°C เป็น 5°C แล้วคงไว้ที่อุณหภูมิ 5°C เป็นเวลา 5 นาที จากนั้นจึงเพิ่มอุณหภูมิกลับไปที่ 40°C อีกครั้งหนึ่ง พบว่าในระหว่างการทำให้เย็น ค่ามอดูลัสสะสม (G') และมอดูลัสสูญเสีย (G'') ของเจลาตินจากกระดูกสัตว์เลี้ยงลูกด้วยนมมีค่ามากกว่าเจลาตินจากหนังปลาเพาะ (รูปที่ 4.19ก และ 4.20ก ตามลำดับ) อย่างไรก็ตาม หลังการบ่มที่ 5°C เป็นเวลา 5 นาทีพบว่าค่ามอดูลัสทั้งสองของเจลาตินจากหนังปลาเพาะเพิ่มขึ้นจนสูงกว่าเจลาตินจากกระดูกสัตว์เลี้ยงลูกด้วยนม (รูปที่ 4.19ข และ 4.20ข) สัมพันธ์กับการทดสอบความแข็งแรงของเจล การทดสอบทางประสาทสัมผัส และค่า hardness ใน texture profile ซึ่งทดสอบหลังการเก็บเจลาตินที่ 2°C เป็นเวลา 16-18 ชม. และพบว่าค่าทั้งสามของเจลาตินจากหนังปลาเพาะสูงกว่าเจลาตินจากกระดูกสัตว์เลี้ยงลูกด้วยนม อย่างไรก็ตาม เมื่อเพิ่มอุณหภูมิขึ้น ค่ามอดูลัสทั้งสองของเจลาตินจากหนังปลาเพาะลดลงเร็วกว่าเจลาตินจากกระดูกสัตว์เลี้ยงลูกด้วยนม แสดงว่าเจลาตินจากหนังปลาเพาะมีความคงตัวต่อความร้อนน้อยกว่าเจลาตินจากกระดูกสัตว์เลี้ยงลูกด้วยนม



รูปที่ 4.19 โมดูลัสสะสม (Storage modulus, G') ของเจลาตินจากหนังปลาฉะ (●) และเจลาตินจากกระดูกสัตว์เลี้ยงลูกด้วยนม (■) ระหว่างการทำให้เย็น (ก) และระหว่างให้ความร้อน (ข)



รูปที่ 4.20 มอดูลัสสูญเสีย (Loss modulus, G'') ของเจลาคตินจากหนังปลาเพาะ (●) และเจลาคตินจากกระดูกสัตว์เลี้ยงลูกด้วยนม (■) ระหว่างการทำให้เย็น (ก) และระหว่างให้ความร้อน (ข)

อุณหภูมิก่อเจล (gelling point) และอุณหภูมิหลอมเหลว (melting point) ของเจลาตินสามารถพิจารณาได้จากจุด phase angle ที่ลดลงหรือเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็ว (Liu, et al., 2008) อุณหภูมิก่อเจลและอุณหภูมิหลอมเหลวของเจลาตินจากหนังปลาเหาะและเจลาตินจากกระดูกสัตว์เลี้ยงลูกด้วยนมแสดงในตารางที่ 4.13 โดยพบว่า สารละลายเจลาตินจากหนังปลาเหาะก่อเจลที่อุณหภูมิ 16.40°C และหลอมเหลวที่อุณหภูมิ 26.87°C ในขณะที่เจลาตินจากกระดูกสัตว์เลี้ยงลูกด้วยนมก่อเจลที่อุณหภูมิ 18.45°C และหลอมเหลวที่อุณหภูมิ 29.90°C อุณหภูมิก่อเจลและอุณหภูมิหลอมเหลวของเจลาตินจากกระดูกสัตว์เลี้ยงลูกด้วยนมสูงกว่าเจลาตินจากหนังปลาเหาะ สาเหตุที่จุดหลอมเหลวของเจลาตินสูงกว่าอุณหภูมิก่อเจลคือการหลอมเหลวเป็นกระบวนการดูดพลังงาน อัตราเร็วในการก่อเจลและการหลอมละลายสามารถพิจารณาได้จากความชันของกราฟ ณ จุดที่มุมเฟสลดลงหรือเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็ว จากรูปที่ 4.21 จะเห็นได้ว่าอัตราการก่อเจลและหลอมเหลวของสารละลายเจลาตินทั้งสองใกล้เคียงกัน

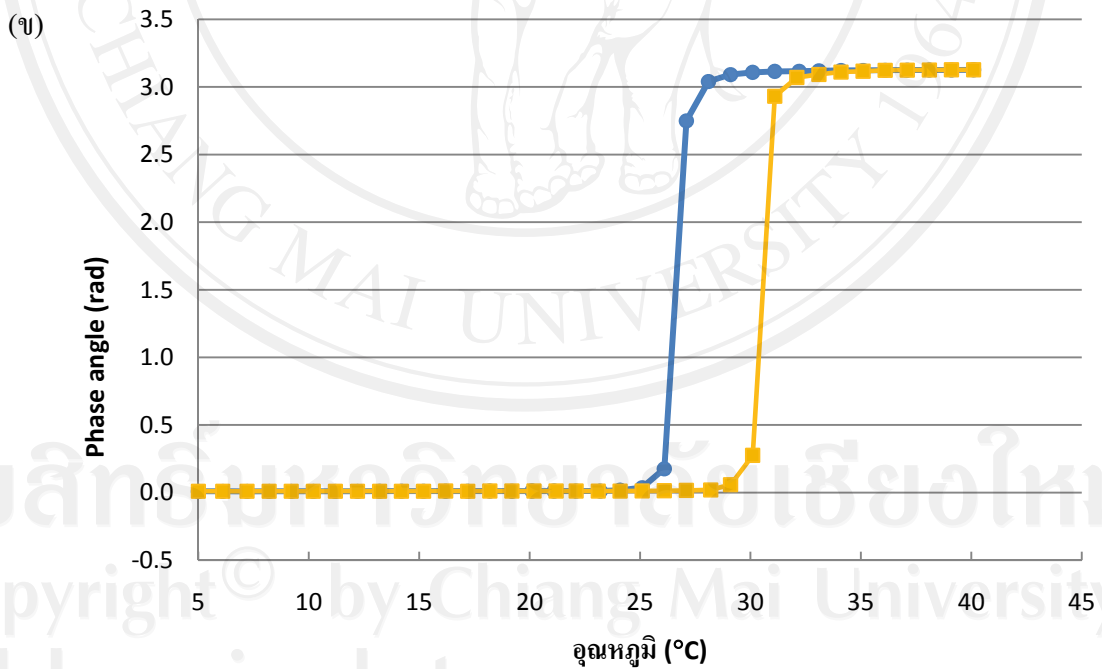
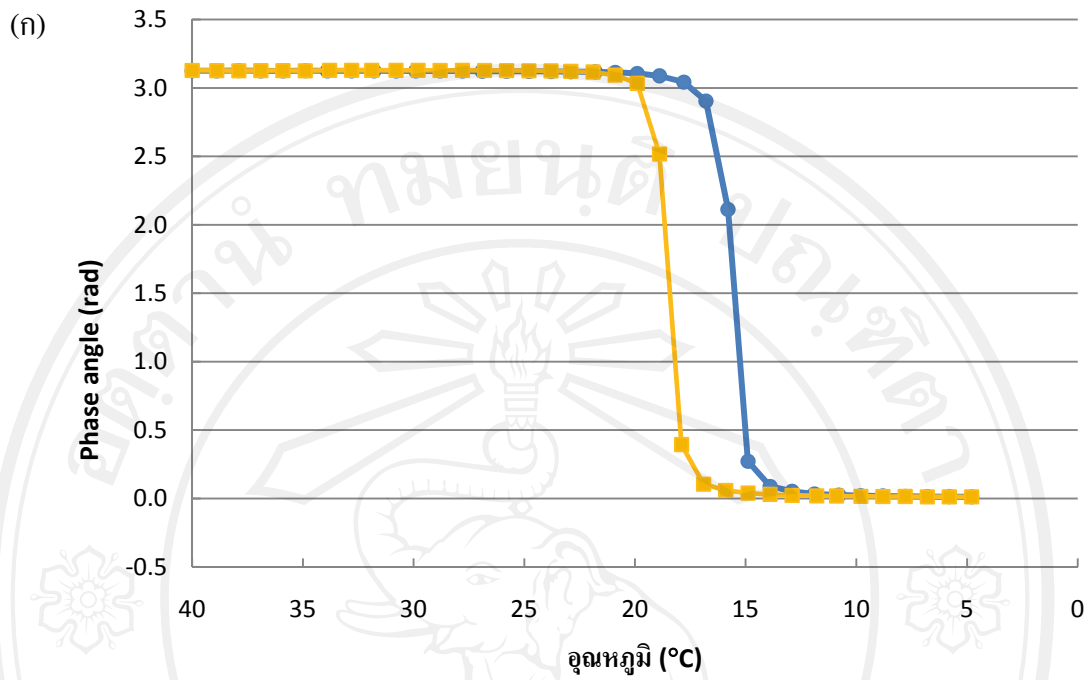
เมื่อเปรียบเทียบกับเจลาตินจากปลาชนิดอื่น (ตารางที่ 4.14) จะพบว่าจุดหลอมเหลวของเจลาตินจากปลาเหาะสูงกว่าปลาบางชนิด เช่น megrim, hake, cod และ herring แต่ต่ำกว่าสัตว์บกคือ โคและสุกร ความแตกต่างของสมบัติทางกายภาพของเจลาตินขึ้นอยู่กับองค์ประกอบของกรดอะมิโน ซึ่งแตกต่างกันไปตามชนิดของสัตว์ ปลาในเขตน้้ำอุ่นมีกรดอะมิโน โพรลีนและไฮดรอกซีโพรลีนสูงกว่าปลาในเขตน้้ำเย็น แต่ต่ำกว่าสัตว์บก กรดอะมิโนทั้งสองมีผลต่อโครงสร้าง triple helix ของคอลลาเจน คอลลาเจนที่มีกรดอะมิโนทั้งสองมากจะทำให้พันธะของโมเลกุลคอลลาเจนมีความแข็งแรง เมื่อสกัดออกมาเป็นเจลาตินจึงได้เจลาตินที่คงตัวต่อความร้อนสูง นอกจากนี้สมบัติทางกายภาพของเจลาตินยังขึ้นอยู่กับ การกระจายตัวของขนาดโมเลกุล ซึ่งขึ้นอยู่กับกระบวนการผลิต การสกัดที่ใช้สภาวะรุนแรงจะทำให้โมเลกุลเจลาตินถูกไฮโดรไลซ์จนมีขนาดเล็ก ส่งผลให้ความแข็งแรงของเจลลดลง

ตารางที่ 4.13 จุดก่อเจลและจุดหลอมเหลวของเจลาตินจากหนังปลาเหาะและกระดูกสัตว์เลี้ยงลูกด้วยนม

สมบัติทางความร้อน	เจลาตินจากหนังปลาเหาะ	เจลาตินจากกระดูกสัตว์เลี้ยงลูกด้วยนม
อุณหภูมิก่อเจล (°C)	16.40 ^b ± 0.17	18.45 ^a ± 0.07
อุณหภูมิหลอมเหลว (°C)	26.87 ^b ± 0.31	29.90 ^a ± 0.14

หมายเหตุ: แสดงข้อมูลในรูปค่าเฉลี่ย ± ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของการทดลอง 3 ซ้ำ

ตัวอักษรที่แตกต่างกันในแนวนอนแสดงว่ามีความแตกต่างทางสถิติ ($P < 0.05$)



รูปที่ 4.21 มุมของเฟส (Phase angle) ของเจลาคตินจากหนังปลาตะเพียน (●) และเจลาคตินจากกระดูกสัตว์เลี้ยงลูกด้วยนม (■) ระหว่างการทำให้เย็น (ก) และระหว่างให้ความร้อน (ข)

ตารางที่ 4.14 อุณหภูมิก่อเจลและอุณหภูมิหลอมเหลวของเจลาตินจากสัตว์ชนิดต่างๆ

วัตถุดิบ	อุณหภูมิก่อเจล (°C)	อุณหภูมิหลอมเหลว (°C)	เอกสารอ้างอิง
หนังปลาฉะ	16.4	26.87	-
หนังปลา yellowfin tuna	18.7	24.3	Cho et al. (2005)
หนังปลา channel catfish	22	25	Liu et al. (2008)
หัวปลา channel catfish	18.4	25.1	Liu et al. (2009)
หนังปลา grass carp	19.5	26.8	Kasankala et al. (2007)
ปลา tilapia	18.2	25.8	Gudmundsson (2002)
หนังปลา red tilapia	-	22.45	Jamilah and Harvinder (2002)
หนังปลา black tilapia	-	28.90	
หนังปลา skate	16.12	19.30	Cho et al. (2006)
ปลา Chinese Herring	5.1	16.7	Norziah et al. (2009)
ปลา megrim	11.8	20.0	Gudmundsson (2002)
	17	21	Gómez-Guillén et al. (2002)
หนังปลา dover sole	19	21	
หนังปลา hake	11	15	
ปลาหมึก	13	19	
ปลา cod	12	13	
	3.6	10.3	Gudmundsson (2002)
หนังโค	23.8	33.8	Cho et al. (2005)
	19.33	28.7	Norziah et al. (2009)
	22.6	29.7	Gudmundsson (2002)
กระดูกโค	24.5	31.2	
หนังสุกร	25.6	36.5	Cho et al. (2005)
	27	29	Liu et al. (2008)
	24.7	32.3	Gudmundsson (2002)
กระดูกสุกร	26.0	33.2	
	21.9	29.7	