

บทที่ 3

วัสดุ อุปกรณ์ และวิธีการทดลอง

3.1 วัตถุดิบ

หนังปลาหะได้นำมาจากโรงงานแปรรูปในจังหวัดนครพนม และเก็บรักษาไว้ที่อุณหภูมิ -18°C ก่อนการศึกษาสภาวะการสกัดได้นำหนังปลาละลายด้วยน้ำที่อุณหภูมิห้อง ชูดเนื้อที่ติดกับหนังออกด้วยช้อน แล้วตัดให้มีขนาด 1-2 cm นำไปล้างน้ำอีกครั้ง แล้วบีบน้ำออกให้สะเด็ดน้ำ

3.2 เครื่องมือและอุปกรณ์

เครื่องมือและอุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลองแสดงในตารางที่ 3.1

ตารางที่ 3.1 เครื่องมือและอุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลอง

เครื่องมือ/อุปกรณ์	รุ่น	บริษัท, ประเทศ
เครื่องเขย่าแนวราบ (Orbital shaker)	SGM300	Gallenkamp, England
อ่างน้ำร้อน (Water bath)	WB14	Memmert, Germany
ตู้อบลมร้อน (Hot air oven)		Termaks, Norway
Muffle furnace	FSE520	Gallenkamp, England
เครื่องวัดสี (Chroma meter)	CR300	Monolta, Japan
เครื่องสเปกโตรโฟโตมิเตอร์ (Spectrophotometer)	Lambda 35	Perkin Elmer, United Kingdom
เครื่องหมุนเหวี่ยง (Centrifuge)	Rotina 46R	Hettich, Germany
เครื่องรีโอมิเตอร์ (Rheometer)	AR2000	TA Instruments, DE, USA
เครื่องวัดความหนืด	LVDV-II+	Brookfield, MN, USA
เครื่องวัด pH	CG842	Schott, Germany
เครื่องวัดเนื้อสัมผัส (Texture analyzer)	TA.XT Plus	Stable Micro System, England
เครื่องหาปริมาณโปรตีนโดยการเผาไหม้	FP-528	LECO, MI, USA

3.3 สารเคมี

สารเคมีที่ใช้ในการทดลองแสดงในตารางที่ 3.2

ตารางที่ 3.2 สารเคมีที่ใช้ในการทดลอง

สารเคมี	สูตรโมเลกุล	เกรด	บริษัท, ประเทศ
กรดแอซีติก (Acetic acid glacial)	CH_3COOH	AR	Labscan, Thailand
โซเดียมไฮดรอกไซด์ (Sodium hydroxide)	NaOH	AR	Merck, Germany
โซเดียมคลอไรด์ (Sodium chloride)	NaCl	Commercial	Thai Refined Salt, Thailand
ไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ (Hydrogenperoxide solution 30% (w/w) in water)	H_2O_2	AR	Carlo Erba Reagenti, USA
อัลบูมิน (Albumin from bovine serum)		AR	Sigma-Aldrich, Canada
คอปเปอร์ซัลเฟต (Cupric sulfate, 5-hydrate)	$\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$	AR	J.T. Baker, USA
โพแทสเซียมโซเดียมทาร์เตรต (Potassium sodium (+)-tartrate)	$\text{KNaC}_4\text{H}_4\text{O}_6 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$	AR	Univar, Australia
กรดไฮโดรคลอริก (Hydrochloric acid 37%)	HCl	AR	Normapur, France
เจลาตินชนิด B จากกระดูก 250 Bloom		Food	Nitta Gelatin Inc., Japan
น้ำมันถั่วเหลืองตรางู		Food	บ. น้ำมันพืชไทย, ประเทศไทย

3.4 วิธีการวิจัย

ตอนที่ 1 การวิเคราะห์ส่วนประกอบทางเคมีโดยประมาณของหนังปลาเผา

นำปลาเผามาวิเคราะห์ส่วนประกอบทางเคมีโดยประมาณ ดังนี้

- ปริมาณความชื้น โดยใช้ตู้อบลมร้อน (AOAC, 2000; ภาคผนวก ข-1)
- ไขมัน โดยวิธีโรส-กอตต์เลียบ (AOAC, 2000; ภาคผนวก ข-2)
- โปรตีน โดยวิธี Dumas combustion (AOAC, 2000; ภาคผนวก ข-3)
- เถ้า โดยการเผาไหม้ที่ 550°C (AOAC, 2000; ภาคผนวก ข-4)
- คาร์โบไฮเดรต โดยวิธีการคำนวณ (Sullivan and Carpenter, 1993; ภาคผนวก ข-5)

ตอนที่ 2 การศึกษาการปรับสภาพหนังปลาก่อนการสกัด (pretreatment)

นำหนังปลาเผามาปรับสภาพโดยการแช่ในสารละลายชนิดต่างๆ โดยมีอัตราส่วนของหนังปลาต่อสารละลายเป็น 1:20 (w/v) (Noitup, 2004) เป็นระยะเวลาต่างๆ กัน ดังแสดงในตารางที่ 3.3 โดยแช่ด้วยเครื่องเขย่าแนวราบ ความเร็ว 120 rpm ล้างหนังปลาด้วยน้ำ 3 ครั้ง จากนั้นนำไปสกัดเจลาตินด้วยน้ำหรือสารละลายกรดแอสซิดิกความเข้มข้น 0.05 M ที่อัตราส่วนของหนังปลาเริ่มต้นต่อน้ำหรือสารละลายเป็น 1:6 (w/v) ที่อุณหภูมิ 50°C ใช้ระยะเวลา 3 ชั่วโมง (Cho, et al., 2006) ควบคุมอุณหภูมิโดยใช้อ่างน้ำร้อน จากนั้นนำไปกรองผ่านผ้าขาวบาง 2 ชั้นเพื่อแยกหนังปลาที่เหลือออก นำสารละลายที่กรองได้ไปหมุนเหวี่ยงที่ความเร็ว 2000g เป็นเวลา 30 นาทีเพื่อแยกตะกอนที่เหลือออก นำสารละลายใสชั้นบนไปวัดปริมาณโปรตีนโดยวิธี Biuret (Zhou and Regenstein, 2006) แล้วคำนวณผลผลิตเจลาตินดังสมการ

$$\text{ผลผลิตเจลาติน (\% น้ำหนักเปียก)} = \frac{\text{ปริมาณโปรตีนในสารละลายใส (g)} \times 100}{\text{น้ำหนักหนังปลา (g)}}$$

นำสารละลายที่เหลือไปอบแห้งด้วยตู้อบลมร้อนที่อุณหภูมิ 70°C จนได้น้ำหนักคงที่ นำเจลาตินแห้งไปวิเคราะห์คุณภาพด้านต่างๆ ดังนี้

1) ความแข็งแรงของเจล

นำเจลาตินแห้งไปละลายน้ำให้มีความเข้มข้น 6.67% (w/w) โดยแช่เจลาตินในน้ำประมาณ 1 ชั่วโมง เพื่อให้เจลาตินคูดน้ำอย่างสมบูรณ์ แล้วจึงนำสารผสมไปให้ความร้อนในอ่างน้ำร้อนอุณหภูมิ 60±1°C เป็นเวลา 30 นาที คนเป็นระยะเพื่อให้เจลาตินละลาย จากนั้นเติมสารละลายเจลาตินลงในถ้วยขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 30 mm สูง 15 mm แล้วนำไปแช่ในตู้เย็นอุณหภูมิ 2±0.4°C เป็นเวลา 16-18 ชม. (Zhou and Regenstein, 2004) นำไปวัดลักษณะเนื้อสัมผัสด้วยเครื่อง

Texture Analyzer โดยใช้หัววัดขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 12.7 mm (P/0.5R) อัตราเร็วในการกด 0.5 mm/s และระยะทางในการกด 4 mm วัดความแข็งแรงของเจลจากแรงสูงสุดที่ใช้ในการกดเจล

ตารางที่ 3.3 ลำดับการสกัดเจลาตินด้วยสารละลายต่างๆ เพื่อศึกษาผลของวิธีการปรับสภาพ

ความเข้มข้นของสารเคมีที่ใช้ปรับสภาพ	ระยะเวลาการสกัดด้วยสารเคมีชนิดต่างๆ							
	None	NaOH	NaCl→NaOH	NaCl+NaOH	NaOH→H ₂ O ₂	NaOH+H ₂ O ₂	NaOH	NaCl+NaOH
0.8 M NaCl			10 นาที	4 ชม.				4 ชม.
0.1 M NaOH		4 ชม.	4 ชม.		4 ชม.	4 ชม.	4 ชม.	
1% (v/v) H ₂ O ₂					30 นาที			
การสกัดเจลาติน	สกัดด้วยน้ำ 3 ชม.						สกัดด้วยกรดแอซีติก 0.05 M 3 ชม.	

2) ค่าสี

นำตัวอย่างเจลที่เตรียมโดยวิธีเดียวกับการวัดลักษณะเนื้อสัมผัสไปวัดค่าสีด้วยเครื่อง Minolta Chroma Meter ในระบบสี L*C*h°

3) การวิเคราะห์ผลทางสถิติ

ทดสอบความแตกต่างของปริมาณผลผลิตเจลาติน ความแข็งแรงของเจล และค่าสีของเจลที่ได้จากการปรับสภาพหนังปลาด้วยสารละลายต่างๆ โดยวางแผนการทดลองแบบสุ่มตลอด (Completely randomized design, CRD) แล้ววิเคราะห์ความแปรปรวน (Analysis of variance, ANOVA) และทดสอบความแตกต่างโดยวิธี Duncan's multiple range test (MRT) โปรแกรมที่ใช้ในการวิเคราะห์คือ SPSS (SPSS Inc., Chicago, Illinois)

ตอนที่ 3 การศึกษาสภาวะที่เหมาะสมในการสกัดเจลาติน

ศึกษาสภาวะที่เหมาะสมในการสกัดเจลาตินโดยใช้ response surface methodology วางแผนการทดลองแบบ Box-Behnken เพื่อศึกษาผลของอุณหภูมิในการสกัด (40-70°C), pH ของสารละลาย (3.7-7.4), และระยะเวลาการสกัด (1-5 ชั่วโมง) ต่อปริมาณผลผลิตเจลาตินที่ได้ ความแข็งแรง และค่าสีของเจล แผนการทดลองนี้ศึกษาปัจจัยละ 3 ระดับ และทดลอง 5 ซ้ำที่จุดศูนย์กลางเพื่อทดสอบ pure error sum squares ระดับของแต่ละปัจจัยแสดงดังตารางที่ 3.4

ตารางที่ 3.4 ระดับของปัจจัยในแผนการทดลอง เพื่อศึกษาสภาวะการสกัดเจลาตินจากหนังปลาเพาะ

ตัวแปรตาม	สัญลักษณ์	ช่วงและระดับ		
ค่ารหัส:		-1	0	1
ค่าจริง:				
อุณหภูมิ (°C)	X_1	40	55	70
pH	X_2	3.7	5.55	7.4
ระยะเวลา (ชั่วโมง)	X_3	1	3	5

นำหนังปลาเพาะมาปรับสภาพตามวิธีที่เหมาะสมซึ่งได้จากการทดลองตอนที่ 2 โดยใช้อัตราส่วนของหนังปลาต่อสารละลายเป็น 1:20 (w/v) เขย่าด้วยเครื่องเขย่าแนวราบ ความเร็ว 120 rpm เป็นเวลา 4 ชั่วโมง โดยเปลี่ยนสารละลายเมื่อครบ 2 ชั่วโมง ล้างหนังปลาด้วยน้ำ 3 ครั้ง จากนั้นนำไปสกัดตามสภาวะต่างๆ ตามที่ออกแบบไว้ในแผนการทดลองซึ่งแสดงในตารางที่ 3.5 โดยมีอัตราส่วนของหนังปลาเริ่มต้นต่อสารละลายเป็น 1:6 (w/v) (Kolodziejska, et al., 2008) ให้ความร้อนด้วยอ่างน้ำร้อน จากนั้นกรองสารละลายผ่านผ้าขาวบาง 2 ชั้นเพื่อแยกหนังปลาที่เหลือออกไป นำสารละลายที่ได้ไปหมุนเหวี่ยงที่ความเร็ว 2000g เป็นเวลา 30 นาที เพื่อแยกตะกอนที่เหลือออกไป นำสารละลายใสชั้นบนไปวัดปริมาณโปรตีนโดยวิธี Biuret (Zhou and Regenstein, 2006) แล้วคำนวณผลผลิตเจลาตินจากปริมาณโปรตีนที่วัดได้เช่นเดียวกับตอนที่ 2 จากนั้นนำสารละลายที่เหลือไปอบแห้งด้วยตู้อบลมร้อนที่อุณหภูมิ 50°C จนได้น้ำหนักคงที่ นำเจลาตินแห้งที่ได้ไปวิเคราะห์ความแข็งแรงของเจลและค่าสีเช่นเดียวกับการทดลองตอนที่ 2

วิเคราะห์ผลทางสถิติโดยใช้โปรแกรม Design Expert (Stat-Ease, Inc., MN, USA) แบบจำลองที่ใช้ทำนายค่าตอบสนองเป็นสมการพหุนามกำลังสอง (quadratic polynomial) ดังนี้

$$Y_i = \beta_0 + \sum_{i=1}^3 \beta_i X_i + \sum_{i=1}^3 \beta_{ii} X_i^2 + \sum_{i=1}^2 \sum_{j=i+1}^3 \beta_{ij} X_i X_j$$

โดย Y_i เป็นค่าตอบสนอง, β_0 เป็นค่าคงที่, β_i , β_{ii} และ β_{ij} เป็นสัมประสิทธิ์ของตัวแปรอิสระ X_i และ X_{ij} ทั้งนี้ บางเทอมอาจถูกตัดออกไประหว่างการวิเคราะห์เพื่อให้ได้แบบจำลองที่มีนัยสำคัญ ได้ค่า lack of fit ที่ไม่มีนัยสำคัญ หรือมีค่าสัมประสิทธิ์การตัดสินใจ (R^2) ที่มีค่าสูง

ทดสอบความเหมาะสมของแบบจำลองโดยวิธี Anderson-Darling normality test ซึ่งทดสอบการแจกแจงของค่า standardized residual ซึ่งเป็นผลต่างระหว่างค่าที่ได้จากการทดลองและ

ค่าจากการทำนายโดยสมการหารด้วยส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน โปรแกรมที่ใช้ในการวิเคราะห์คือ Minitab software (Minitab, Inc., State College, Pa, U.S.A.)

ตารางที่ 3.5 แผนการทดลองเพื่อศึกษาสภาวะการสกัดเจลาตินจากปลาเผา

ลำดับ	สภาวะการสกัด		
	อุณหภูมิ (°C)	pH	ระยะเวลา (ชั่วโมง)
1	40	3.70	3
2	70	3.70	3
3	40	7.40	3
4	70	7.40	3
5	40	5.55	1
6	70	5.55	1
7	40	5.55	5
8	70	5.55	5
9	55	3.70	1
10	55	7.40	1
11	55	3.70	5
12	55	7.40	5
13	55	5.55	3
14	55	5.55	3
15	55	5.55	3
16	55	5.55	3
17	55	5.55	3

หาสภาวะที่เหมาะสมในการสกัดโดยใช้โปรแกรม Design-Expert เกณฑ์ที่ใช้ในการหาสภาวะที่เหมาะสมคือได้ค่าผลผลิตเจลาติน ความแข็งแรงของเจล และความสว่างของเจลสูง รวมถึงมีอุณหภูมิที่ใช้ในการสกัดต่ำ ดังแสดงในตารางที่ 3.6

ตารางที่ 3.6 เกณฑ์ในการหาสภาวะที่เหมาะสมในการสกัดเจลาตินจากปลาเผา

เกณฑ์	เป้าหมาย	ค่าต่ำสุด	ค่าสูงสุด	น้ำหนัก	ความสำคัญ
อุณหภูมิ (°C)	ต่ำสุด	40	70	1	+
ผลผลิตเจลาติน (%)	สูงสุด	19	22.4	1	+++
ความแข็งแรงของเจล (g)	สูงสุด	500	587	1	+++
ความสว่าง (L*)	สูงสุด	33.4	45.6	1	+

สกัดเจลาตินตามสภาวะที่เหมาะสม 3 ซ้ำ วิเคราะห์คุณภาพของเจลาตินที่สกัดได้ เช่นเดียวกับการทดลองตอนที่ 2 ทดสอบความแตกต่างระหว่างค่าตอบสนองที่ได้จากการทดลองกับค่าที่ได้จากการทำนายโดยการวิเคราะห์ความแปรปรวน (ANOVA) โปรแกรมที่ใช้คือ Minitab

ตอนที่ 4 การทดสอบทางประสาทสัมผัส

สกัดเจลาตินตามสภาวะที่เหมาะสมที่ได้จากการทดลองตอนที่ 2 และ 3 แล้วแบ่งสารละลายเจลาตินที่ผ่านการกรองออกเป็นสองส่วน ส่วนที่หนึ่งนำไปอบแห้งที่ 50°C ส่วนที่สองเติมถ่านกัมมันต์ (activated carbon) ด้วยอัตราส่วนถ่านกัมมันต์ต่อหนังปลาเริ่มต้นเท่ากับ 1:100 แล้วคนด้วยเครื่อง magnetic stirrer เป็นเวลา 1 ชั่วโมง ที่ความเร็ว 400 rpm (Hiroyuki and Takayuki, 2004) ก่อนนำไปอบแห้ง

นำเจลาตินแห้งจากหนังปลาเผาที่ฟอกและไม่ฟอกด้วยถ่านกัมมันต์ และเจลาตินที่จำหน่ายทางการค้าไปผสมน้ำให้มีความเข้มข้น 6.67% (w/w) นำไปละลายในอ่างน้ำร้อนที่อุณหภูมิ 60°C จากนั้นเทใส่ถ้วยชิมขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 30 mm สูง 15 mm นำไปแช่เย็นที่ 2°C เป็นเวลา 16-18 ชม. แล้วทดสอบทางประสาทสัมผัสด้วยวิธี Quantitative Descriptive Analysis (QDA) ในด้านสี ความขุ่น กลิ่น เนื้อสัมผัส และความชอบโดยรวม โดยใช้ผู้ทดสอบชิมจำนวน 51 คน

วางแผนการทดลองแบบ Randomized complete block design (RCBD) แล้ววิเคราะห์ผลทางสถิติด้วยโปรแกรม SPSS โดยให้ชนิดของเจลาตินและผู้ทดสอบชิมเป็นตัวแปรอิสระ เปรียบเทียบคะแนนค่าคุณภาพด้านต่างๆ ของเจลาตินทั้งสาม

ตอนที่ 5 การวิเคราะห์สมบัติของเจลาติน

สกัดเจลาตินตามสภาวะที่เหมาะสมซึ่งได้จากการทดลองตอนที่ 2, 3 และ 4 แล้วนำไปวิเคราะห์สมบัติด้านต่างๆ เปรียบเทียบกับเจลาตินทางการค้า และใช้โปรแกรม SPSS วิเคราะห์ความแตกต่างทางสถิติ ค่าที่วิเคราะห์มีดังต่อไปนี้

1) ส่วนประกอบทางเคมีโดยประมาณ

นำเจลาตินจากหนังปลาเพาะมาวิเคราะห์ส่วนประกอบทางเคมีโดยประมาณ ดังนี้

- ปริมาณความชื้น โดยใช้ตู้อบลมร้อน (AOAC, 2000)
- โปรตีน โดยวิธี Dumas combustion (AOAC, 2000)
- ไขมัน โดยวิธี โรส-กอตต์เลียบ (AOAC, 2000)
- เถ้า โดยการเผาไหม้ที่ 550°C (AOAC, 2000)
- คาร์โบไฮเดรต โดยวิธีการคำนวณ

2) ค่า pH

วัดค่า pH ของสารละลายเจลาตินความเข้มข้น 6.67% (w/w) ด้วยเครื่อง pH meter

3) ความแข็งแรงของเจล

วัดความแข็งแรงของเจลที่เตรียมจากสารละลายเจลาตินความเข้มข้น 6.67% (w/w) เช่นเดียวกับการทดลองตอนที่ 2

4) ความหนืด

นำสารละลายเจลาตินความเข้มข้น 6.67% (w/w) ปริมาตร 7 ml ใส่ในบีกเกอร์ แล้วปรับ pH ของสารละลายให้มีค่าตั้งแต่ 3 ถึง 10 ด้วย 0.1 M HCl หรือ 0.1 M NaOH จากนั้นปรับปริมาตรให้ครบ 25 ml ในขวดปรับปริมาตรด้วยน้ำที่ปรับ pH ให้เท่ากับสารละลายเจลาติน แล้วจะได้สารละลายเจลาติน 2% (w/w) ที่มีค่า pH ต่างๆ กัน

นำสารละลายเจลาตินที่มีค่า pH ต่างๆ ไปวัดความหนืดด้วยเครื่อง Brookfield viscometer โดยใช้หัว S18 ความเร็ว 200 rpm ที่อุณหภูมิ 25°C บันทึกค่าเมื่อความหนืดคงที่ โดยใช้เวลาในการวัดประมาณ 10 วินาที

5) สีและความขุ่น

ทดสอบความขุ่นโดยนำสารละลายเจลาตินความเข้มข้น 6.67% ไปวัดค่าการส่องผ่านของแสง (% Transmittance) โดยใช้เครื่องสเปกโตรโฟโตมิเตอร์ที่ความยาวคลื่น 620 nm

วัดค่าสีของเจลความเข้มข้น 6.67% ในระบบสี $L^*C^*h^o$ โดยใช้เครื่อง Minolta Chroma Meter

6) สมบัติการเกิดโฟม

วัดสมบัติการเกิด โฟม โดยใช้วิธีที่ดัดแปลงจากวิธีของ Marinova et al. (2009) โดยเตรียมสารละลายเจลาตินเช่นเดียวกับการวัดความหนืด แล้วนำสารละลายเจลาติน 15 ml ใส่ในกระบอกตวงขนาด 50 ml ปิดปากกระบอกตวงด้วยพาราฟิล์ม จากนั้นเขย่าอย่างแรง 20 ครั้ง วัดปริมาตรของโฟม ณ เวลาเริ่มต้น และหลังจากผ่านไป 15 นาที วิเคราะห์ค่าดังนี้

$$\text{ความสามารถในการเกิดโฟม (Foamability)} = \frac{\text{ปริมาตรของโฟม}}{\text{ปริมาตรของสารละลายเริ่มต้น}}$$

$$\text{ความเสถียรของโฟม (Foam stability)} = \frac{\text{ปริมาตรของโฟมหลังผ่านไป 15 นาที}}{\text{ปริมาตรของโฟมเริ่มต้น}}$$

7) ความคงตัวของอิมัลชัน

วัดสมบัติการทำให้อิมัลชันคงตัวโดยใช้วิธีที่ดัดแปลงจาก Kittiphattanabawon (2004) โดยเตรียมสารละลายเจลาตินความเข้มข้น 1, 2 และ 3% นำสารละลายเจลาตินที่ได้ไปปั่นผสมกับน้ำมันถั่วเหลืองในอัตราส่วน 3:1 เป็นเวลา 30 วินาที จากนั้นนำอิมัลชันที่ได้ไปชั่งน้ำหนักที่แน่นอนประมาณ 5 กรัมในหลอดหมุนเหวี่ยง แล้วนำไปหมุนเหวี่ยงที่ 2500g เป็นเวลา 15 นาที ดูดสารละลายชั้นน้ำที่แยกตัวออกไปชั่งน้ำหนัก แล้วคำนวณความคงตัวของอิมัลชันจากสูตร

$$\text{ความคงตัวของอิมัลชัน (\%)} = \frac{(\text{น้ำหนักอิมัลชันเริ่มต้น} - \text{น้ำหนักน้ำที่แยกตัว}) \times 100}{\text{น้ำหนักอิมัลชันเริ่มต้น}}$$

8) Texture profile analysis (TPA)

นำวุ้นเจลาตินความเข้มข้น 6.67% (w/w) ที่มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 30 mm สูง 15 mm ไปทดสอบเนื้อสัมผัสแบบ TPA ด้วยเครื่อง Texture Analyzer สภาวะที่ใช้ในการทดสอบมีดังนี้

- หัววัดอะลูมิเนียมเส้นผ่านศูนย์กลาง 36 mm (P/36R)
- ความเร็วในการวัด 1 mm/s
- การเปลี่ยนรูป (deformation) 30%

ค่าที่วัด ได้แก่ fracturability, hardness, adhesiveness, cohesiveness, chewiness, gumminess, springiness และ resilience

9) สมบัติวิสโคอิลาสติก (*Viscoelastic properties*)

วัดสมบัติวิสโคอิลาสติกโดยใช้วิธีที่ดัดแปลงจากวิธีของ Liu et al. (2009) โดยนำสารละลายเจลาตินความเข้มข้น 6.67% (w/w) อุณหภูมิ 40°C ปริมาณ 1 ml มาวิเคราะห์ด้วยเครื่องรีโอมิเตอร์ โดยกำหนดสภาวะต่างๆ ดังนี้

- หัว cone-plate มุม 1° เส้นผ่านศูนย์กลาง 40 mm
- Scan rate 1°C/min
- ความถี่ 1 Hz
- Oscillating stress 3.0 Pa
- Gap 1 mm

วัดสมบัติวิสโคอิลาสติกระหว่างการทำให้เย็นลงจาก 40°C มาเป็น 5°C ปล่อยให้ไวที่อุณหภูมินั้น 5 นาที จากนั้นเพิ่มอุณหภูมิจาก 5°C ไปเป็น 40°C วิเคราะห์ผลจากกราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างมอดูลัสสะสม (storage modulus, G') มอดูลัสสูญเสีย (loss modulus, G'') และมุมเฟส (phase angle) กับอุณหภูมิ

10) การวิเคราะห์ผลทางสถิติ

วางแผนการทดลองแบบสุ่มตลอด (Completely randomized design, CRD) สำหรับการทดสอบความแข็งแรงของเจล ความหนืด สี ความชุ่ม สมบัติวิสโคอิลาสติก และ Texture profile analysis วางแผนการทดลองแบบ Factorial in CRD สำหรับการทดสอบการเกิดโฟมและความคงตัวของอิมัลชัน เปรียบเทียบสมบัติทางกายภาพของเจลาตินจากหนังปลาเพาะและเจลาตินจากกระดูกสัตว์เลี้ยงลูกด้วยนมโดยการวิเคราะห์ความแปรปรวน (Analysis of variance, ANOVA) และทดสอบความแตกต่างโดยวิธี Duncan's multiple range test (MRT) โปรแกรมที่ใช้ในการวิเคราะห์คือ SPSS (SPSS Inc., Chicago, Illinois)