สมบัติเชิงหน้าที่ของเจลาตินจากวัสดุเศษเหลือของปลาเขียวมรกต

Functional Properties of Gelatins from By-products of Hybrid Pangasius Fish (*P. bocourti* x *P. larnaudii*)

ทัตดาว ภาษีผล,[1*] ชลัดดา ชัยวิเศษ,[2] นิตยา กระแสจันทร์,[3] สุประภา บุญตา[4]

Tatdao Paseephol,[1*] Chaladda Chaiwisate,[2] Nittaya Krasaejun,[3] Suprapa Boonta[4]

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์ในการเพิ่มมูลค่าวัสดุเศษเหลือจากการตัดแต่งเนื้อปลา โดยใช้ส่วนของปลาเขียวมรกตที่แตกต่างกันสามส่วน ได้แก่ หัว หนัง และก้าง มาเป็นวัตถุดิบในการสกัดเจลาติน จากนั้นประเมินสมบัติทางเคมีกายภาพและสมบัติเชิงหน้าที่ของเจลาตินที่สกัดได้ ผลการศึกษาพบว่า เมื่อนำส่วนของหนังปลามาสกัดเจลาติน ได้ปริมาณผลผลิตสูงสุด (ร้อยละ 4.02) รองลงไปเป็นส่วนหัวปลาและก้างปลา (ร้อยละ 1.54 และ 1.06 ตามลำดับ) เจลาตินที่สกัดได้ทั้งหมดมีความสามารถในการดูดซับไขมันไม่แตกต่างกัน (p>0.05) เจลาตินจากส่วนของหนังปลาให้เจลที่มีความแข็งแรงมากกว่าส่วนหัวและก้างปลาอย่างมีนัยสำคัญ ($p\leq$0.05) และมีความสามารถในการเกิดโฟมและความสามารถในการคงตัวของโฟมสูง เจลาตินจากส่วนของก้างปลาเกิดโฟมได้น้อยที่สุด แต่มีความสามารถในการดูดซับน้ำ และความสามารถในการทำให้อิมัลชันคงตัวมากที่สุด ในงานวิจัยนี้ วัสดุเศษเหลือของปลาเขียวมรกตจัดเป็นแหล่งวัตถุดิบทางเลือกใหม่สำหรับการผลิตเจลาตินที่ไม่ใช่สัตว์เลี้ยงลูกด้วยนมเพื่อใช้ในอาหาร

คำสำคัญ: เจลาติน ความแข็งแรงของเจล ปลา

Abstract

This research was aimed value added of by-products disposed from fish processing. Three different parts of hybrid fish of Pangasius sp. (*Pangasius bocourti* x *P. larnaudii*), including head, skin and bone were used as materials for gelatin extraction. The physiochemical and functional properties of obtained gelatins were then undertaken. The results showed that fish skin gave the highest gelatin extraction yield (4.02%), followed by head and bone (1.54 and 1.06%, respectively). There was no significance (p>0.05) in fat absorption capacity from all prepared fish gelatins. The gelatin extracted from skin had higher gels strength than those of head and fishbone ($p\leq$0.05), and high in foam capacity and good stability. Gelatin extracted from bone showed the lowest foamability, but the water absorption capacity and emulsion stability were found to be greatest. In the present study, by-products of hybrid Pangasius fish have potential as an alternative source of non-mammalian gelatins for use in foods.

Keywords: gelatin, gel strength, fish

---

[1] ผู้ช่วยศาสตราจารย์, [2,3,4] นิสิตปริญญาตรี, สาขาเทคโนโลยีการอาหาร คณะเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยมหาสารคาม อ. กันทรวิชัย จ. มหาสารคาม 44150

[1] Assist. Professor, [2,3,4] Undergraduate student, Food Technology, Faculty of Technology, Mahasarakham University, Kantharawichai District, Mahasarakham 44150, Thailand.

*Corresponding author: E-mail address: tatdao_dao@yahoo.com

บทนำ

เจลาติน (gelatin) จัดอยู่ในกลุ่มของไฮโดรคอลลอยด์ประเภทโปรตีนที่ได้จากย่อยสลายคอลลาเจนด้วยกรดหรือด่าง มีกรดอะมิโนที่เป็นองค์ประกอบหลัก คือ โพรลีน (proline) ไฮดรอกซีโพรลีน (hydroxyproline) และไกลซีน (glycine) ในสัดส่วนแตกต่างกัน ขึ้นอยู่กับชนิดของวัตถุดิบและวิธีการในการผลิต เจลาตินสามารถก่อเจลที่ย้อนกลับได้ด้วยความร้อน (thermally reversible gel) ร่วมกับน้ำภายใต้สภาวะที่เหมาะสม และยังมีสมบัติในการยึดติด การเกิดโฟม การให้ความหนืดและการทำให้อิมัลชันคงตัว ทำให้มีการนำไปใช้ประโยชน์ในหลายอุตสาหกรรม เช่น ในอุตสาหกรรมอาหาร มีการนำไปทำเยลลี่ เติมลงในไอศกรีม เคลือบอาหารและผลไม้ที่ต้องการให้มีความมันวาว ในอุตสาหกรรมยา ใช้ในการเคลือบเม็ดยา ผลิตเป็นแคปซูล ใช้เป็นสารเพิ่มความหนืดในตำรับยาต่างๆ และในอุตสาหกรรมการเกษตร มีการใช้เป็นตัวกลางส่วนผสมแร่ธาตุที่จำเป็นต่อการปลูกพืช[1]

เจลาตินที่วางจำหน่ายในท้องตลาดสกัดได้จากกระดูก ฟัน เขา เนื้อเยื่อเกี่ยวพันของสัตว์ (หนัง เอ็น) และเครื่องในของสัตว์เลี้ยงลูกด้วยนมบางชนิด โดยมีสัดส่วนของเจลาตินที่ผลิตจากหนังหมู 46% หนังวัว 29.4% กระดูกวัว 23.1% และแหล่งอื่นๆ 1.5%[2] อย่างไรก็ตาม ผู้บริโภคบางกลุ่ม เช่น กลุ่มผู้นับถือศาสนาอิสลามไม่สามารถที่จะบริโภคเจลาตินจากหนังและกระดูกหมูหรือวัวได้ ที่ผ่านมาจึงมีงานวิจัยเกี่ยวกับการสกัดเจลาตินจากส่วนของสัตว์ชนิดอื่นๆ รวมทั้งเจลาตินจากส่วนหัว เกล็ด หาง ก้าง และหนังของปลา ซึ่งส่วนใหญ่เป็นปลาทะเลน้ำลึก[1] ส่วนการใช้ปลาน้ำจืดเป็นวัตถุดิบยังมีการศึกษาไม่มากนัก

ปลาเขียวมรกต เป็นปลาน้ำจืดที่พัฒนาสายพันธุ์ขึ้นเมื่อปี 2546 ได้จากการผสมระหว่างปลาลุ่มน้ำโขงกับปลาลุ่มน้ำมูล คือลูกผสมระหว่างปลาเผาะ (*Pangasius bocourti*) กับปลาเทโพ (*Pangasius larnaudii*) มีรูปร่างยาว หัวกว้างสั้น ครีบตั้ง หางโค้งเรียว ไม่มีเกล็ด ผิวด้านหลังมีสีเขียว-เหลือง ตามลักษณะของน้ำ ปลาชนิดนี้โตเร็ว ทนต่อทุกสภาพแวดล้อม ให้น้ำหนักของเนื้อสูง ลักษณะการกินอาหารคล้ายปลาดุกปลานิล และปลาสวาย ในปี 2550 ตลาดการสั่งซื้อลูกปลาพันธุ์นี้ คาดว่ามีไม่ต่ำกว่า 5 ล้านตัว การเลี้ยงมีสองวิธี คือ การเลี้ยงในบ่อดิน ขนาดพื้นที่ 1 ไร่ เลี้ยงได้ 4,000 ตัว และการเลี้ยงในกระชังที่มีแม่น้ำถ่ายเท โดยกระชังขนาด กว้าง × ยาว 4×6 เมตร หรือ 5× 5 เมตร เลี้ยงได้ 500-1,000 ตัว การเลี้ยงในกระชัง จะทำให้ได้ปลาที่มีคุณภาพเนื้อดีและมีผลผลิตสูงกว่าการเลี้ยงในบ่อดิน ลูกปลาที่เลี้ยงเป็นเวลา 6 เดือน จะมีน้ำหนัก 1.5 กิโลกรัมและจะเพิ่มเป็น 2-3 กิโลกรัม เมื่อเลี้ยงครบ 1 ปี ราคาจำหน่ายอยู่ที่กิโลกรัมละ 80-120 บาท เนื้อปลามีสีขาวรสชาติคล้ายปลาเนื้ออ่อน และไม่มีกลิ่นสาบ ใช้ประกอบอาหารได้ทุกประเภทและสามารถนำไปแปรรูปเป็นผลิตภัณฑ์ต่างๆ ได้ เช่น ปลารมควัน ปลาส้ม ปลาหวาน ลูกชิ้น ไส้กรอก หรือข้าวเกรียบ เป็นต้น[3] ซึ่งส่วนใหญ่มีการใช้ประโยชน์จากส่วนของตัวปลาและเนื้อปลา ทำให้มีส่วนของหัว ก้าง และหนัง ที่เหลือจากการแปรรูป ร้อยละ 25, 10, 10 (คิดจากน้ำหนักปลาทั้งตัว) ตามลำดับ ชิ้นส่วนเหล่านี้เป็นแหล่งของโปรตีนคอลลาเจน ดังนั้นงานวิจัยนี้จึงสนใจศึกษาการสกัดเจลาตินจากวัสดุเศษเหลือประเภทหัว หนัง และก้างของปลาเขียวมรกต เพื่อเป็นการเพิ่มมูลค่าให้แก่เศษเหลือดังกล่าวซึ่งปกติจะเป็นสาเหตุของปัญหาสิ่งแวดล้อมและศึกษาสมบัติเชิงหน้าที่ของเจลาตินที่สกัดได้ เพื่อเป็นแนวทางในการนำเอาไปใช้ประโยชน์ในอาหารต่อไป

วิธีการดำเนินงานวิจัย

การเตรียมวัตถุดิบ

ปลาเขียวมรกตขนาดน้ำหนัก 2-3 กิโลกรัม จับจากฟาร์มปลาในจังหวัดอุบลราชธานี และส่งมายัง

ห้องปฏิบัติการโดยการแช่น้ำแข็งภายใน 4 ชั่วโมง จากนั้นชำแหละเอาเนื้อและขูดเนื้อที่ติดกับหนังออก เก็บส่วนหัว ก้างและหนังมาล้างด้วยน้ำสะอาดจนหมดกลิ่น ส่วนหนังปลาตัดให้มีขนาด 1×1 เซนติเมตร บีบน้ำออกให้สะเด็ด ส่วนที่เป็นกระดูกทุบให้มีขนาดเล็กลง[4] จากนั้นแช่หัว หนัง และก้างของปลาเขียวมรกตจำนวน 100 กรัม ในสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์เข้มข้น 0.025 นอร์มอล นาน 1 ชั่วโมง เพื่อกำจัดโปรตีนที่ไม่ใช่คอลลาเจน ล้างด้วยน้ำกลั่นจนตัวอย่างมีค่าพีเอชเป็นกลาง (ทำซ้ำ 2 ครั้ง) ตัวอย่างที่เป็นก้างและหัวนำไปกำจัดแร่ธาตุ โดยแช่ในสารละลายกรดไฮโดรคลอริกเข้มข้น 0.6 โมลาร์ เป็นเวลา 1 ชั่วโมง จำนวน 2 ครั้ง จากนั้นนำหนังและก้างไปทำให้บวมโดยแช่ในสารละลายกรดอะซิติกเข้มข้น 0.1 โมลาร์ เป็นเวลา 40 นาที จำนวน 3 ครั้ง[5]

การสกัดเจลาติน

การสกัดเจลาตินใช้หัว หนัง และก้างผสมกับน้ำในอัตราส่วน 1:1 แช่ในอ่างน้ำควบคุมอุณหภูมิที่ 80°ซ เป็นเวลา 2 ชั่วโมง กรองสารละลายผ่านผ้าขาวบาง นำส่วนใสมากรองด้วยกระดาษกรองเบอร์ 1 เพื่อกำจัดตะกอนที่เหลือ และเติมผงคาร์บอน (activated carbon) จำนวน 0.2% ลงไปในสารละลายที่ได้ เพื่อกำจัดกลิ่นและสี คนให้เข้ากัน กรองผ่านกระดาษกรองเบอร์ 1 นำสารละลายเจลาตินที่กรองได้จากส่วนต่างๆ ไปทำแห้งแบบเยือกแข็ง (freeze drying) ด้วยเครื่องทำแห้งแบบระเหิดภายใต้ความดัน 0.50 Pa และอุณหภูมิ –45°ซ จนได้ความชื้นต่ำกว่า 15% คำนวณปริมาณผลผลิตที่สกัดได้ทั้งหมด (%) ดังนี้[6]

$$\text{Yield (\%)} = \frac{\text{น้ำหนักตัวอย่างแห้งที่สกัดได้} \times 100}{\text{น้ำหนักตัวอย่างที่ใช้}}$$

การวิเคราะห์สมบัติทางเคมีกายภาพ

เจลาตินที่เตรียมได้นำมาละลายในน้ำกลั่นให้มีความเข้มข้น 6.67% (w/w) ให้ความร้อนในอ่างน้ำควบคุมอุณหภูมิที่ 60°ซ จนละลายหมด นำประเมินคุณภาพเทียบกับเจลาตินจากกระดูกวัวที่จำหน่ายทางการค้า ดังต่อไปนี้

1) ค่าพีเอช ด้วยเครื่องพีเอชมิเตอร์[6]

2) ค่าสี ด้วยเครื่อง chroma meter (CR-300, Minolta, Japan) รายงานค่าสีในระบบ CIE (L* a* และ b*)[6]

3) ความแข็งแรงของเจล (gel strength) โดยนำสารละลายเจลาตินความเข้มข้น 6.67% (w/w) เทใส่ลงในถ้วยขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 30 mm ให้มีความสูง 15 mm แล้วนำไปแช่เย็นที่ 10°ซ นาน 16-18 ชั่วโมง[6] วัดความแข็งของเจลด้วยเครื่องวัดค่าเนื้อสัมผัส (Texture analyzer; Stable micro systems, surrey, UK) โดยใช้หัววัดขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 12.7 mm (P/0.5R) อัตราเร็วในการกด 0.5 mm/s และระยะทางในการกด 4 mm รายงานค่าแรงสูงสุดที่ใช้ในการกดเจลในหน่วย g

4) ความขุ่นของสารละลาย นำสารละลายเจลาตินความเข้มข้น 6.67% (w/w) มาวัดค่าการดูดกลืนแสง (absorbance) ที่ความยาวคลื่น 360 นาโนเมตร ด้วยเครื่องสเปกโตรโฟโตมิเตอร์[7] เทียบกับน้ำกลั่น

การวิเคราะห์สมบัติเชิงหน้าที่

1) ความสามารถในการดูดซับน้ำ (water adsorption capacity) เริ่มจากชั่งเจลาติน 0.5 กรัม ใส่ในหลอด centrifuge เติมน้ำกลั่น 50 mL ทิ้งไว้ที่อุณหภูมิห้อง 1 ชั่วโมง โดยมีการผสมให้เข้ากันด้วย vortex mixer เป็นเวลา 5 วินาที ทุกๆ 15 นาที จากนั้นนำสารละลายเจลาตินที่ได้มาปั่นเหวี่ยงที่ความเร็วรอบ 450 *g* นาน 20 นาที แยกส่วนใสที่อยู่ด้านบนออกและเอียงหลอด centrifuge ทำมุม 45 องศา กับกระดาษกรองเป็นเวลา 30 นาที[8] คำนวณดัชนีการดูดซับน้ำ (water adsorption index; WAI) จากสมการต่อไปนี้

$$\text{WAI} = \frac{\text{น้ำหนักของตะกอน}}{\text{น้ำหนักตัวอย่างที่ใช้}}$$

2) ความสามารถในการดูดซับไขมัน (fat adsorption capacity) เริ่มจากชั่งเจลาติน 0.5 กรัม ใส่ในหลอด centrifuge เติมน้ำมันถั่วเหลือง 10 mL ทิ้งไว้ที่อุณหภูมิห้องนาน 1 ชั่วโมง โดยทุกๆ 15 นาที มีการผสมให้เข้ากันด้วย vortex mixer นาน 5 วินาที เมื่อครบเวลา นำสารละลายเจลาตินมาปั่นเหวี่ยงที่ความเร็วรอบ 450 *g* นาน 30 นาที แยกของเหลวที่อยู่ด้านบนออกและเอียงหลอด centrifuge ทำมุม 45 องศา กับกระดาษกรองเป็นเวลา 30 นาที[8] คำนวณดัชนีการดูดซับไขมัน (fat adsorption index; FAI) จากสมการต่อไปนี้

$$FAI = \frac{\text{น้ำหนักของตะกอน}}{\text{น้ำหนักตัวอย่างที่ใช้}}$$

3) ความสามารถในการทำให้อิมัลชันคงตัว (emulsion stability capacity) ใช้สารละลายเจลาตินความเข้มข้น 2% ปั่นผสมกับน้ำมันถั่วเหลืองในอัตราส่วนสารละลายเจลาตินต่อน้ำมันถั่วเหลือง 3 ต่อ 1 นาน 30 วินาที จนเกิดอิมัลชัน จากนั้นเทใส่ในหลอด centrifuge บันทึกน้ำหนักที่แน่นอน นำไปปั่นเหวี่ยงที่ความเร็วรอบ 2500 *g* นาน 15 นาที ดูดชั้นน้ำที่แยกตัวออกไปชั่งน้ำหนัก[9] คำนวณหาความคงตัวของอิมัลชัน (emulsion stability; ES) จากสมการต่อไปนี้

$$ES\ (\%) = \frac{\text{(น้ำหนักอิมัลชัน-น้ำหนักน้ำแยกตัว)}}{\text{น้ำหนักอิมัลชันเริ่มต้น}} \times 100$$

4) สมบัติการเกิดโฟม (foaming properties) เริ่มจากเตรียมสารละลายเจลาตินความเข้มข้น 2% จำนวน 15 mL ใส่ลงในหลอดทดลอง ปิดฝาให้แน่นเขย่าอย่างแรง 20 ครั้ง เทลงในกระบอกตวง อ่านปริมาตรของโฟม ณ เวลาเริ่มต้น (0 นาที) วัดปริมาตรของโฟมหลังทิ้งไว้ที่อุณหภูมิห้องเป็นเวลา 15 และ 30 นาที คำนวณความสามารถในการเกิดโฟม (foaming capacity; FC) และความสามารถทำให้โฟมคงตัว (foam stability; FS)[9] ดังนี้

$$\%FC = \frac{\text{ปริมาตรของโฟม} \times 100}{\text{ปริมาตรของสารละลายเริ่มต้น}}$$

$$\%FS = \frac{\text{ปริมาตรของโฟมหลัง 15 หรือ 30 นาที} \times 100}{\text{ปริมาตรของโฟมเริ่มต้น}}$$

การวิเคราะห์ผลทางสถิติ

ข้อมูลนำมาวิเคราะห์ความแปรปรวน (ANOVA) ตามแผนการทดลองแบบสุ่มสมบูรณ์ (Completely Randomized Design) และเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยโดยวิธี Duncan's New Multiple Range Test (DMRT) ที่ระดับความเชื่อมั่น 95% โดยใช้โปรแกรมสำเร็จรูป SPSS® version 16.0

ผลการทดลอง

ปริมาณผลผลิตที่สกัดได้

ปริมาณผลผลิตของเจลาตินที่สกัดได้ (%yield of extraction) จากส่วนหัว หนัง และก้างของปลาเขียวมรกต ซึ่งคำนวณจากน้ำหนักของเจลาตินที่ได้หลังการสกัดและทำแห้งแบบระเหิด เทียบกับน้ำหนักวัตถุดิบที่ใช้ในการสกัด พบว่า มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ การใช้หนังปลาเป็นวัตถุดิบทำให้ได้ผลผลิตของเจลาตินมากที่สุดเท่ากับ 4.02% ส่วนหัวปลาและก้างปลาให้ปริมาณผลผลิต 1.54 และ 1.06% ตามลำดับ

สมบัติทางเคมีกายภาพของสารละลายเจลาติน

Table 1 แสดงผลการทดสอบคุณภาพทางเคมีกายภาพ ได้แก่ ค่าพีเอช ค่าสี ค่าความแข็งแรงของเจลและความขุ่นของสารละลายเจลาตินที่สกัดจากส่วนต่างๆ ของปลาเขียวมรกตกับเจลาตินทางการค้า

ค่าพีเอชของสารละลายเจลาตินความเข้มข้น 6.67% (w/w) จากส่วนต่างๆ ของปลาเขียวมรกต มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) โดยเจลาตินจากก้างปลามีค่าพีเอชสูงสุด คือ

7.24±0.20 รองลงไปเป็นเจลาตินจากหนังและหัวปลาที่มีค่าระหว่าง 5.64-5.98 ส่วนเจลาตินทางการค้ามีค่าพีเอชต่ำสุด คือ 5.30±0.04

การวิเคราะห์ค่าสีของสารละลายเจลาตินความเข้มข้น 6.67% (w/w) พบว่า เจลาตินจากหนังปลามีค่าความสว่าง (L*) ใกล้เคียงกับเจลาตินทางการค้ามากที่สุด (p>0.05) คือ 74.33±0.03 เทียบกับ 74.19±0.81 รองลงไปเป็นเจลาตินจากหัวปลามีค่า L* 72.20±0.48 ส่วนสารละลายเจลาตินจากก้างปลามีค่า L* ต่ำที่สุด (63.32±0.47) ด้านค่าสีเขียว-แดง (a*) ของสารละลายเจลาตินจากปลาเขียวมรกตมีค่าระหว่าง 5.57-8.28 โดยค่า a* ของเจลาตินจากส่วนหนังปลามีค่าไม่แตกต่างกับเจลาตินทางการค้า (p >0.05) แต่ค่า a* ของเจลาตินจากหัวปลาและก้างปลามีค่าสูงกว่า เจลาตินทางการค้าอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ สำหรับค่าสีน้ำเงิน-เหลือง (b*) ของสารละลายเจลาตินทางการค้ามีค่ามากกว่าสารละลายเจลาตินจากส่วนต่างๆ ของปลาเขียวมรกตอย่างมีนัยสำคัญ (12.41±0.53 เทียบกับ 4.80-8.49) โดยเจลาตินจากหนังปลามีค่าสี b* ต่ำที่สุด ผลการวิเคราะห์ค่าสีสอดคล้องกับลักษณะปรากฏของเจลาตินจากกระดูกวัวที่จำหน่ายทางการค้าที่เป็นผงละเอียดสีเหลือง เมื่อนำมาละลายในน้ำจึงได้สารละลายเหลืองใส ส่วนเจลาตินจากส่วนต่างๆ ของปลาเขียวมรกตที่ได้จากการทำแห้งแบบเยือกแข็ง เป็นแผ่นโฟมสีขาว เมื่อนำมาละลายในน้ำจึงได้สารละลายที่ไม่มีสี

ผลการวิเคราะห์ความแข็งแรงของเจลของสารละลายเจลาตินที่ความเข้มข้น 6.67% โดยใช้เครื่องวัดลักษณะเนื้อสัมผัสอาหาร พบว่า เจลของเจลาตินจากหนังมีความแข็งแรงมากที่สุด (99.60±0.94 g) และไม่แตกต่างกับเจลาตินจากกระดูกวัวที่จำหน่ายทางการค้า ส่วนเจลาตินจากก้างมีความแข็งแรงน้อยที่สุด (93.74±1.01 g)

ด้านความขุ่นของสารละลายเจลาตินประเมินจากค่าดูดกลืนแสง (absorbance) ที่ความยาวคลื่น 360 nm ถ้าค่าการดูดกลืนแสงมากแสดงว่ามีความขุ่นมาก เนื่องจากแสงสามารถส่องผ่านสารละลายได้น้อย พบว่าเจลาตินทางการค้ามีความขุ่นน้อยที่สุด (0.76±0.01) และแตกต่างจากเจลาตินของปลาเขียวมรกตอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p\leq$ 0.05) เมื่อเปรียบเทียบความขุ่นระหว่างสารละลายเจลาตินจากส่วนต่างๆ ของปลา พบว่า เจลาตินจากก้างปลาและหัวปลามีความขุ่นมากกว่าส่วนหนังปลาอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95% โดยมีค่าดูดกลืนแสง 2.14±0.33, 1.83±0.09 และ 1.43±0.18 ตามลำดับ

Table 1 pH, color, gel strength and turbidity of gelatin solutions (6.67% w/v)

Treatments	pH	Color			Gel strength (g)	Turbidity (absorbance at 360 nm)*
		L*	a*	b*		
Commercial**	5.30±0.04^{d}	74.19±0.81^{a}	5.34±0.08^{c}	12.41±0.53^{a}	98.89±0.50^{ab}	0.76±0.01^{c}
Fish head	5.98±0.08^{b}	72.20±0.48^{b}	6.46±0.59^{b}	5.10±0.45^{c}	97.31±0.58^{b}	1.83±0.09^{a}
Fish skin	5.64±0.07^{c}	74.33±0.03^{a}	5.57±0.35^{bc}	4.80±0.57^{c}	99.60±0.94^{a}	1.43±0.18^{b}
Fishbone	7.24±0.20^{a}	63.32±0.47^{c}	8.28±0.19^{a}	8.49±0.07^{b}	93.74±1.01^{c}	2.14±0.33^{a}

Note: ^{a,b,c,d} Means in the same column with different letters differ significantly at $p\leq$0.05.

* Turbidity of gelatin solutions; ** Bovine bone gelatin

สมบัติเชิงหน้าที่ของสารละลายเจลาติน

Table 2 แสดงผลการวิเคราะห์ความสามารถในการดูดซับน้ำ (WAI) ความสามารถในการดูดซับไขมัน (FAI) ความสามารถในการทำให้อิมัลชันคงตัว (ES) ความสามารถในการเกิดโฟม (FC) และความสามารถทำให้โฟมคงตัว (FS) ของสารละลายเจลาตินที่สกัดจากส่วนต่างๆ ของปลาเขียวมรกตและเจลาตินทางการค้า

เมื่อผสมเจลาตินจากส่วนต่างๆ ของปลาเขียวมรกตในน้ำที่อุณหภูมิห้อง พบว่ามีการดูดน้ำและพองตัวได้ดี โดยเจลาตินจากส่วนก้างมีค่า WAI มากที่สุด (33.55±0.07) รองลงมาคือ เจลาตินจากส่วนหนังปลาและหัวปลา (21.15±0.47 และ 16.39±0.92) ถ้าพิจารณาเทียบกับเจลาตินทางการค้าที่มีค่า WAI เท่ากับ 4.70±0.32 จะเห็นว่า เจลาตินจากปลามีความสามารถในการดูดซับน้ำได้สูงกว่า สำหรับความสามารถในการดูดซับน้ำมัน พบว่า เจลาตินจากก้าง หนัง และหัวปลา มีค่า FAI ใกล้เคียงกัน (p>0.05) อยู่ระหว่าง 17.62-17.81 และมากกว่าเจลาตินทางการค้าที่มีค่า FAI เพียง 1.15±0.22

การวัดความสามารถการทำให้อิมัลชันคงตัวใช้สารละลายเจลาตินความเข้มข้น 2% ปั่นผสมกับน้ำมันถั่วเหลืองในอัตราส่วนสารละลายเจลาตินต่อน้ำมันถั่วเหลือง 3 ต่อ 1 จนเกิดเป็นอิมัลชันแล้วนำมาทดสอบความคงตัว พบว่า เจลาตินจากก้างปลาทำให้อิมัลชันคงตัวมากที่สุด มีค่า ES 58.82±0.97% รองลงมาคือเจลาตินจากส่วนหัวปลา (55.35±0.79%) ที่มีค่า ES ใกล้เคียงกับกับสารละลายเจลาตินทางการค้า (55.28±0.98%) ส่วนเจลาตินจากหนังปลามีค่า ES ต่ำที่สุดเป็น 41.00±0.85%

ในการวิเคราะห์สมบัติการเกิดโฟมของเจลาตินรายงานเป็นค่าความสามารถในการเกิดโฟม (FC) และความสามารถในการคงตัวของโฟม (FS) หลังทิ้งไว้เป็นเวลา 15 นาที และ 30 นาที พบว่า เจลาตินทางการค้ามีความสามารถในการเกิดโฟมไม่แตกต่างกับเจลาตินจากหนังปลา (126.67% และ111.67% ตามลำดับ) ส่วนเจลาตินจากหัวและก้างปลามีความสามารถในการเกิดโฟมต่ำกว่าเพียง 38.88% และ 22.22% ตามลำดับ ด้านความสามารถในการคงตัวของโฟม พบว่า สารละลายเจลาตินทางการค้าและเจลาตินจากหนังและก้างปลา มีค่า FS ไม่แตกต่างกันทั้งที่เวลา 15 และ 30 นาที โดยอยู่ในช่วง 71.47-80.89% ส่วนเจลาตินจากหัวปลามีความสามารถในการทำให้โฟมคงตัวน้อยที่สุดคือ มีค่า FS 53.74% ทั้งนี้เป็นที่สังเกตได้ว่าค่า FS หลังจากทิ้งไว้ 15 และ 30 นาทีของแต่ละตัวอย่างมีค่าค่อนข้างคงที่ แสดงว่าโฟมที่เกิดขึ้นมีการเปลี่ยนแปลงที่น้อยมากในระหว่างช่วงเวลาดังกล่าว

วิจารณ์และสรุปผล

การใช้หนังปลาเป็นวัตถุดิบ ทำให้ได้ปริมาณผลผลิตของเจลาตินมากกว่าการใช้หัวปลาและก้างปลา 2.61-2.96 เท่า สอดคล้องกับผลการวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมีของวัตถุดิบที่นำมาสกัดที่พบว่าส่วนของหนังปลาเขียวมรกตมีปริมาณโปรตีนโดยเฉลี่ย 30.30±1.82% มากกว่าส่วนก้างและหัวปลาที่มีโปรตีน 13.73±1.15% และ 13.86±0.97% คิดเป็น 2.19-2.21 เท่า ส่วนปัจจัยอื่นๆ ที่มีต่อผลผลิตเจลาตินที่ได้ประกอบด้วย อุณหภูมิและเวลาในการสกัด และค่าพีเอชของสารละลายที่ใช้สกัด โดยเมื่อใช้อุณหภูมิสูงขึ้นและเวลานานขึ้น ปริมาณผลผลิตที่สกัดได้จะเพิ่มขึ้น เนื่องจากเจลาตินสามารถละลายได้ดีในน้ำร้อน และการใช้อุณหภูมิสูงจะทำลายพันธะไฮโดรเจนและพันธะโควาเลนท์ของคอลลาเจน จนเกิด helix-to-coil transition ทำให้สกัดเจลาตินออกมาได้ง่ายขึ้น[9] อย่างไรก็ตามการศึกษาถึงผลของสภาวะในการสกัด

เจลาตินจากปลาเขียวมรกต จะได้ทำการศึกษาในขั้นต่อไป

Table 2 Functional properties of commercial and extracted gelatins

Types of gelatins	Funtional properties					
	WAI	FAI	ES (%)	FC (%)	FS (%) 15 min	FS (%) 30 min
Commercial*	4.70±0.32^{d}	1.15±0.22^{b}	55.28±0.98^{b}	126.67±4.71^{a}	80.89±8.14^{a}	79.99±7.80^{a}
Fish head	16.39±0.92^{c}	17.81±0.06^{a}	55.35±0.79^{b}	38.88±1.02^{b}	53.74±1.34^{b}	53.74±1.34^{b}
Fish skin	21.15±0.47^{b}	17.62±0.46^{a}	41.00±0.85^{c}	111.67±7.07^{a}	71.47±0.38^{ab}	71.47±0.38^{a}
Fishbone	33.55±0.07^{a}	17.69±0.15^{a}	58.82±0.97^{a}	22.22±5.09^{c}	75.71±6.06^{a}	75.71±6.06^{a}

Note: ^{a,b,c,d} Means in the same column with different letters differ significantly at $p \leq 0.05$.

WAI – water adsorption index; FAI – fat adsorption index; ES – emulsion stability; FC – foaming capacity; FS – foam stability

* Bovine bone gelatin

เมื่อนำเจลาตินจากส่วนหนัง ก้างและหัวของปลาเขียวมรกตที่ผ่านการทำแห้งแบบเยือกแข็งจนมีความชื้น 13.01±0.31%, 12.85±0.39% และ 13.12±0.28% ตามลำดับ มาเตรียมให้อยู่ในรูปสารละลายเจลาตินความเข้มข้น 6.67% (w/w) แล้วนำมาทดสอบคุณภาพทางเคมีกายภาพ พบว่าสารละลายเจลาตินจากทั้งสามส่วนของปลาเขียวมรกตมีค่าพีเอชที่เป็นไปตามข้อกำหนดของสำนักงานมาตรฐานอุตสาหกรรม[10] ที่กำหนดค่าไว้ระหว่าง 3.8 ถึง 7.6 โดยสารละลายเจลาตินจากหนังปลา มีค่าสี L* และ a* ใกล้เคียงกับเจลาตินทางการค้ามากที่สุด แต่มีค่าสี b* ต่ำกว่า แสดงว่ามีสีเหลืองอ่อนกว่า ซึ่งเป็นคุณลักษณะของเจลาตินที่ดี เนื่องจากจะไม่ส่งผลรบกวนสีของผลิตภัณฑ์อาหารหากมีการนำไปใช้ อย่างไรก็ตาม สารละลายเจลาตินจากปลาเขียวมรกตทั้งสามส่วนมีความขุ่นมากกว่าเจลาตินจากกระดูกวัวที่จำหน่ายทางการค้า 1.9-2.8 เท่า อาจเกิดจากการมีสิ่งแขวนลอยที่มีเสถียรภาพสูงและละลายน้ำได้ต่ำ เช่น ไขมัน เส้นใยคอลลาเจนที่ไม่สามารถละลาย อิลาสติน (elastin) และเคราติน (keratin) เหลือจากกระบวนการผลิต[11] โดยเฉพาะสารละลายเจลาตินจากส่วนของกระดูกและหัวปลามีความขุ่นมากกว่าจากส่วนหนังปลาอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ อาจเกิดจากการกำจัดเอาแคลเซียมที่ละลายออกมาจากวัตถุดิบได้ไม่หมด จึงเกิดการตกตะกอนในรูปแคลเซียมฟอสเฟตเมื่อมีการเปลี่ยนแปลงค่าพีเอชเกิดขึ้น[11] ดังนั้นการนำเจลาตินจากปลาเขียวมรกตมาประยุกต์ใช้จึงอาจเหมาะกับผลิตภัณฑ์ที่ไม่ต้องการความใสมากนัก เช่น พุดดิ้ง นม โยเกิร์ต[12]

สมบัติสำคัญอย่างหนึ่งของการนำเจลาตินมาใช้เป็นส่วนผสมในอุตสาหกรรมอาหาร คือความสามารถในการเกิดเจล ซึ่งต้องมีความเข้มข้นที่สูงพอ หากความเข้มข้นต่ำเกินไป อาหารที่เติมเจลาตินลงไปจะมีเพียงความหนืดที่เพิ่มขึ้น ในงานวิจัยนี้ทดสอบความแข็งแรงของเจล (gel strength) ที่เตรียมจากสารละลายเจลาตินความเข้มข้น 6.67% พบว่าเจลาตินจากหนังปลาให้เจลที่มีความแข็งแรงจลสูงที่สุดและใกล้เคียงกับเจลาตินทางการค้า ในขณะที่เจลาตินจากก้างให้เจลที่มีความแข็งแรงน้อยที่สุด ซึ่งความแข็งของเจลนี้ ขึ้นกับชนิดของปลาหรือสัตว์ที่ใช้เป็นวัตถุดิบ

ในการสกัด รวมทั้งวิธีการผลิต เช่น ระยะเวลาในการแช่ด้วยสารละลายด่างหรือกรด หรือสภาวะที่ใช้ในการสกัดที่แตกต่างกัน เนื่องจากมีผลทำให้มีปริมาณของสายโซ่อัลฟา (alpha-chain) ปรากฏในเจลาตินแตกต่างกัน อันส่งผลโดยตรงต่อความสามารถในการเกิดเจลและความแข็งแรงของเจลาตินเจลที่ได้[12]

สำหรับผลการวิเคราะห์สมบัติเชิงหน้าที่ของเจลาตินที่สกัดได้ พบว่า เจลาตินจากส่วนต่างๆ ของปลาเขียวมรกตมีความสามารถในการดูดซับน้ำและไขมันมากกว่าเจลาตินทางการค้า 3.5-7.1 เท่า และ 17 เท่า ตามลำดับ โดยเจลาตินจากก้างมีค่าการดูดซับน้ำมากที่สุด ส่วนค่าการดูดซับน้ำมันใกล้เคียงกันในทุกตัวอย่าง นอกจากนั้น การที่เจลาตินเป็นผลิตภัณฑ์โปรตีน จึงทำให้มีทั้งส่วนที่ชอบน้ำ (hydrophilic) และส่วนที่ไม่ชอบน้ำ (hydrophobic) อยู่ภายในโครงสร้างโมเลกุล เมื่ออยู่ในสารผสมของสองเฟสที่ไม่เป็นเนื้อเดียวกัน คือ มีน้ำมันกระจายตัวอยู่ในน้ำ โมเลกุลของเจลาตินจะเคลื่อนตัวไปแทรกเป็นฟิล์มบางๆ อยู่ระหว่างรอยต่อของสองเฟส ป้องกันไม่ให้หยดน้ำมันมารวมตัวกัน ทำให้เจลาตินมีประสิทธิภาพเป็นสารอิมัลซิไฟเออร์ที่ช่วยเพิ่มความคงตัวของอิมัลชันแบบน้ำมันในน้ำ (oil in water) ได้[9] จากผลการทดลองเจลาตินจากก้างปลามีความสามารถในการทำให้อิมัลชันคงตัวมากกว่าเจลาตินจากส่วนอื่นๆ ซึ่งอาจเกี่ยวข้องกับความสามารถในการดูดซับน้ำ (WAI) ที่มากกว่าตัวอย่างอื่นๆ จึงเพิ่มความหนืดของเฟสของน้ำให้มากขึ้น และทำให้อิมัลชันความคงตัวมากขึ้น[13] สำหรับเจลาตินทางการค้าเป็นเจลาตินชนิด B จากกระดูกวัว ซึ่งจะผ่านขั้นตอนการปรับสภาพด้วยด่างเป็นเวลานาน[12] ในขณะที่เจลาตินจากส่วนต่างๆ ของปลาเขียวมรกตผ่านขั้นตอนนี้ 2 ชั่วโมง จึงอาจทำให้เจลาตินทางการค้าสามารถเพิ่มความหนืดของเฟสน้ำได้ดีกว่า และส่งผลให้อิมัลชันคงตัวได้ดี แม้ว่าจะมีค่า WAI และ FAI ที่ต่ำกว่าเจลาตินจากส่วนต่างๆ ของปลาเขียวมรกตก็ตาม เจลาตินจากปลาเขียวมรกตยังแสดงสมบัติการเกิดโฟมได้ โดยส่วนของหนังปลามีความสามารถในการเกิดโฟมสูง (FC) และใกล้เคียงกับเจลาตินทางการค้ามากที่สุด ในขณะที่ความสามารถในการคงตัวของโฟม (FS) ของเจลาตินจากส่วนก้างและหนังปลา หลังจากทิ้งไว้นาน 15 และ 30 นาที มีค่าสูงไม่แตกต่างกันกับเจลาตินทางการค้า และมีค่าต่ำที่สุดในตัวอย่างเจลาตินจากส่วนหัว ปัจจัยที่มีผลต่อการเกิดโฟมและความคงตัวของโฟมจากโปรตีน มีทั้งความสามารถในการละลายของโปรตีน และความเข้มข้นของโปรตีน[14] ซึ่งการที่เจลาตินจากหนังปลากับเจลาตินทางการค้า มีสมบัติการเกิดโฟมได้สูง อาจเกิดจากการมีปริมาณโปรตีนมากกว่าเจลาตินจากส่วนอื่นๆ (83.18±0.01% และ 80.33±0.37% ตามลำดับ) ในขณะที่เจลาตินจากหัวปลาและก้างปลามีโปรตีน 78.35±0.03% และ 78.00±0.73% ตามลำดับ นอกจากนี้ยังอาจได้รับอิทธิพลจากค่าพีเอชที่มีความแตกต่างกันด้วย โดยค่าพีเอชที่ทำให้เกิดโฟมที่ดีจะมีค่าใกล้เคียงกับค่าไอโซอิเล็กทริก (isoelectric point; pI) ของโปรตีนโฟม[14]

จากผลการทดลองข้างต้น จะเห็นว่า เจลาตินจากส่วนต่างของปลาเขียวมรกตมีสมบัติเชิงหน้าที่แตกต่างกัน ทำให้มีศักยภาพในการนำมาใช้งานในอาหารที่แตกต่างกัน กล่าวคือ เจลาตินจากหนังปลา เป็นตัวก่อเจลที่ดี จึงเหมาะสมต่อการนำไปใช้ในผลิตภัณฑ์ประเภทวุ้น เช่น เยลลี่ และพุดดิ้ง รวมทั้งมีความสามารถในการเกิดโฟมและประสิทธิภาพในการทำให้โฟมคงตัวสูง จึงเหมาะสมต่อการนำไปใช้ในผลิตภัณฑ์ประเภทเมลโลว์[12] เช่น มาร์ชเมลโลว์ (marshmallow) และเมอแรง (meringue) ขนมฟองนม และไอศกรีม ส่วนเจลาตินจากก้างปลาและหัวปลา มีความสามารถในการทำให้อิมัลชันคงตัวได้ดี จึงเหมาะสมในการนำไปใช้ในผลิตภัณฑ์ประเภทน้ำสลัดและแซนวิชสเปรดได้

โดยสรุป งานวิจัยนี้แสดงให้เห็นถึงแนวทางการเพิ่มมูลค่าให้แก่วัสดุเศษเหลือประเภทหนัง กระดูก และหัวของปลาเขียวมรกตที่เป็นปลาน้ำจืด โดยสามารถนำมาเป็นแหล่งวัตถุดิบทางเลือกเพื่อใช้ในการผลิตเจลาตินที่มีศักยภาพในการนำมาใช้งานในอาหารได้

เอกสารอ้างอิง

1. Karim AA, Bhat R. Fish gelatin: properties, challenges, and prospects as an alternative to mammalian gelatins. Food Hydrocolloid 2009; 23(3):563-576.
2. Nik Aisyah NM, Nurul H, Azhar ME, Fazilah A. Poultry as an alternative source of gelatin. Health & Environ J 2014;5(1):37-49.
3. บริษัท รักบ้านเกิด จำกัด. การเลี้ยงปลาเขียวมรกตในกระชัง. ได้จาก: http://www.Rakbankerd.com/agriculture/page. สืบค้นเมื่อ 10 เมษายน 2559.
4. Duan R, Zhang J, Du X, Yao X, Konno K. Properties of collagen from skin, scale and bone of carp (*Crprius carpio*). Food Chem 2009;112(3):702-706.
5. Jongjareonrak A, Rawdkuen S, Chaijan M, Benjkul S, Osaku K, Tanaka M. Chemical composition and characterisation of skin galatin from farmed giant catfish (*Pangasianodon gigas*). LWT- Food Sci & Tech 2006;43(1):161-165.
6. See SF, Hong PK, Ng KL, Wan Aida WM, Babji AS. Physicochemical properties of gelatins extracted from skins of different freshwater fish species. Int Food Res J 2010;17(3):809-816.
7. Fernández-Díaz MD, Montero P, Gómez-Guillén MC. Gel properties of collagen from skin of cod (*Gadus morhua*) and hake (*Merluccius merluccius*) and their modification by the coenhancers magnesium sulphate, glycerol and transglutaminase. Food Chem 2001;74(2):161-167.
8. Cho M, Kwaka KS, Park DC, Gu YS, Ji CI, Jang DH, Lee YB, Kim SB. Processing optimization and functional properties of gelatin from shark (*Isurus oxyrinchus*) cartilage. Food Hydrocolloid 2004;18(4):573-579.
9. ตระกูล พรหมจักร. การสกัดเจลาตินจากหนังปลาเผาะ. วิทยานิพนธ์ปริญญาวิทยาศาสตรบัณฑิต สาขาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีการอาหาร. บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยเชียงใหม่; 2552.
10. สำนักงานมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม (สมอ). มาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมเจลาติน. มอก. 799-2548.
11. Cole CGB. Gelatine clarity. Available from: URL: http://www.gelatin.co.za/Gelatine%20Clarity.pdf Accessed Aug 7, 2016.
12. Cole CGB. Gelatin. *In* Frederick FJ, editor. Encyclopedia of food science and technology. 2nd ed. New York: John Wiley & Sons, 2000. p. 1183-1188.
13. Schrieber R, Gareis H. Gelatine handbook: Theory and industrial practice. Weinheim: Wiley-VCH Verlag GmbH & Co. KGaA; 2007.
14. พิมพ์เพ็ญ พรเฉลิมพงศ์ และนิธิยา รัตนาปนนท์. สมบัติเชิงหน้าที่ของโปรตีน. ได้จาก: http://www.foodnetworksolution.com. สืบค้นเมื่อ 10 สิงหาคม 2559.