ผลของสารสกัดจากรากกระพังโหม *(Paederia foetida* Linn.) และระยะเวลาเซตตัวต่อการเกิดเจลของซูริมิจากปลาชะโด(*channa micropeltes*)

Effects of Skunk-Vine*(Paederia foetida* Linn.) Roots Extract and Setting Time on Gelation of Giant Snakehead (C*hanna micropeltes*) Surimi

เกรียงศักดิ์ บรรลือ[1*], สุภาภรณ์ ผางสูง[1] และ วนิดา จำปาจันทร์[1]

Kriangsak Banlue[1*], Supaphorn Pangsung[1] and Vanida Jampajan[1]

[1]ภาควิชาเทคโนโลยีการอาหารและโภชนศาสตร์ คณะเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยมหาสารคาม 44150

[1]Department of Food Technology and Nutrition, Faculty of Technology, Mahasarakham University, Mahasarakham, Thailand, 44150

*Corresponding author: kriangsak_b@hotmail.com

บทคัดย่อ

ความสามารถในการเกิดเจลและสมบัติทางเคมีของซูริมิจากปลาชะโด (*channa micropeltes*) ที่เติมสารสกัดจากรากกระพังโหม (*Paederia foetida* Linn.) ที่มีระดับความเข้มข้นของหมู่ซัลฟ์ไฮดริล (0, 0.12, 0.6, 1.2, 6.0 และ 12.0 µmol/100g ซูริมิ) เซทตัว 40°C, 30 นาที ให้ความร้อน 80°C, 30 นาที แล้ววิเคราะห์ความแข็งแรงเจล (gel strength) โปรตีนที่ละลายในกรดไตรคลอโรอะซิติก และปริมาณโปรตีนซัลฟ์ไฮดริล พบว่าสารสกัดจากรากกระพังโหมที่ 1.2 µmol/100g ซูริมิ สามารถเพิ่มความสามารถในการเกิดเจลซูริมิจากปลาชะโดสูงที่สุด เมื่อเปรียบเทียบกับตัวอย่างควบคุม ($p<0.05$) และศึกษาผลการเกิดเจลและพันธะไดซัลไฟด์ในระหว่างกระบวนการเซตตัวของเจลซูริมิจากปลาชะโดที่ระดับความเข้มข้นของสารสกัดจากรากกระพังโหม 1.2 µmol/100gซูริมิ โดยแปรผันระยะเวลาในการเซตตัวที่ 40°C, นาน 0, 30, 60, 90, 120 และ150 นาที ตามด้วยการให้ความร้อน 80°C, 30 นาที พบว่า ระยะเวลาในการเซตตัวที่ 40°C, 30 ถึง 90 นาที แล้วให้ความร้อน 80°C, 30 นาที สามารถเพิ่มค่า breaking force, deformation และ gel strength, โปรตีนที่ละลายในกรดไตรคลอโรอะซิติก ซึ่งสอดคล้องกับการลดลงของโปรตีนซัลฟ์ไฮดริล (2.9 ถึง 5.5 µmol/g) เมื่อระยะเวลาในการเซตตัวเพิ่มขึ้น ($p<0.05$) ดังนั้นสารสกัดจากรากกระพังโหมที่ระดับความเข้มข้น 1.2 µmol/100g ซูริมิ เซทตัวที่ 40°C, 30 ถึง 90 นาที แล้วให้ความร้อน 80°C 30 นาที สามารถเพิ่มความสามารถในการเกิดเจล โดยเหนี่ยวนำให้เกิด crosslinking ของโปรตีนด้วยพันธะไดซัลไฟด์ในระหว่างกระบวนการเซตตัว

คำสำคัญ: ซูริมิ, ปลาชะโด, กระพังโหม, โปรตีนซัลฟ์ไฮดริล

ABSTRACT

Gel-forming abilities and chemical properties of giant snakehead (*channa micropeltes*) surimi with skunk-vine (*Paederia foetida* Linn.) roots extract at different levels concentration (0, 0.12, 0.6, 1.2, 6.0 and 12.0 µmol/100g surimi) and set at 40°C for 30 min subsequently to heated at 80°C for 30 min, gel strength, TCA soluble protein contents and protein sulfhydryl contents of giant snakehead surimi gel were investigated. The results showed that giant snakehead surimi gel added with those extracts at 1.2 µmol/100g

surimi increased gel strength reach the peak for compare to the control ($p<0.05$). In order to examine the gelation and disulfide bonds formation during setting at 40°C for 0, 30, 60, 90, 120 and 150 min subsequently to heating at 80°C for 30 min in the present of skunk-vine roots extract at 1.2 µmol/100g surimi, the breaking force, deformation, gel strength, TCA soluble protein content and protein sulfhydryl content were determined. The results showed that breaking force, deformation, gel strength significantly increased with setting time for 30 to 90 min ($p<0.05$). These results associated with the gradually decreased in protein sulfidryl contents by 2.9-5.5 µmol/g during setting for 30-150 min. These results revealed that the skunk-vine roots extract at 1.2 µmol/100g surimi enhanced gelation of giant snakehead through crosslinking protein sulfidryl by disulfide bonds during setting.

Keywords: Surimi, giant snakehead, skunk-vine, protein sulfhydryl

บทนำ

ปลาชะโด (*Channa micropeltes*) เป็นปลาน้ำจืด ที่พบทั่วไปในแหล่งน้ำของประเทศไทย ปลาชะโดเป็นปลาที่กินเนื้อและปลาอื่นๆเป็นอาหาร โตเร็ว และเพิ่มจำนวนอย่างรวดเร็วโดยไม่มีศัตรูตามธรรมชาติ ปลาชะโดเป็นปลาที่มีเนื้อขาวแน่น ซึ่งเป็นปลาที่มีโปรตีนและมีไขมันที่จำเป็นต่อร่างกายในปริมาณสูง (Zuraini et al. 2006) เนื้อปลาชะโดมีความสามารถในการเกิดเจลที่ดีและมีความสามารถในการเกิดเจลที่มีความยืดหยุ่นในสภาวะของการหมักด้วยเชื้อแบคทีเรียแลกติก (Banlue et al. 2014) จึงนิยมนำมาแปรรูปเป็นผลิตภัณฑ์ผลิตภัณฑ์ยืดหยุ่น และผลิตภัณฑ์อาหารหมัก แต่ถ่าในปัจจุบันปลาชะโดและผลิตภัณฑ์ที่แปรรูปจากปลาชะโดก็ยังคงมีมูลค่าทางเศรษฐกิจที่ต่ำอยู่

กระพังโหม (*Paederia foetida Linn.*) เป็นไม้เลื้อย ที่พบได้โดยทั่วไปในประเทศไทย มีกลิ่นฉุน ใบและยอดใช้รับประทานสดได้ ส่วนของราก ถูกนำมาใช้เป็นส่วนผสมของอาหารเพื่อใช้ปรับปรุงสมบัติของแป้งโดยการเกิดคลอสลิงค์เพื่อให้มีเนื้อสัมผัสและการฟองตัวที่ดี นอกจากนี้สารสกัดจากรากกระพังโหม ประกอบด้วยเอ็นไซม์ β-amylase ซึ่งสามารถนำมาใช้ประโยชน์ในอุตสาหกรรมการแปรรูปอาหารได้ (Sottirattanapan et al. 2017) น้ำรากกระพังโหมสดและอบแห้งมีผลต่อคุณสมบัติการเปลี่ยนแปลงความหนืดและลักษณะเนื้อสัมผัสของแป้งข้าวเหนียว กข 6 ขณะให้ความร้อน (Sampaotong and Chantaraponpan 2018) การเติมสารสกัดจากรากกระพังโหมที่ระดับความเข้มข้น 0.1% สามารถเพิ่มความแข็งแรงเจลได้ 39.5% และสามารถลดกิจกรรมการย่อยโปรตีนของเอนไซม์โปรตีเอส และส่งเสริมให้เกิดพันธะไดซัลไฟด์ของโปรตีนซัลฟ์ไฮดริลโดยไม่มีผลต่อความขาวของเจลซูริมิจากปลาชะโด (Banlue et al. 2018) แต่ถ่าการส่งเสริมของสารสกัดจากรากกระพังโหมในระหว่างกระบวนการเซตตัวของโปรตีนยังไม่มีรายงานการศึกษา ซึ่งสามารถนำมาประยุกต์ใช้ในการแปรรูปเป็นผลิตภัณฑ์ยืดหยุ่นที่มีความสามารถในการอุ้มน้ำสูง มีความยืดหยุ่นเพิ่มมากขึ้น และมีเนื้อสัมผัสที่ดี และสามารถการเพิ่มมูลค่าให้กับปลาชะโดให้มีมูลค่าทางเศรษฐกิจในลำดับต่อไป ดังนั้นงานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาผลของสารสกัดจากรากกระพังโหมต่อความสามารถในการเพิ่มความแข็งแรงเจลซูริมิจากปลาชะโดในระหว่างกระบวนการเซตตัว

อุปกรณ์และวิธีการ

การเตรียมซูริมิจากปลาชะโด

ปลาชะโดโตเต็มวัยขนาด 4-5 กิโลกรัม จับด้วยเบ็ดจากแหล่งน้ำธรรมชาติในจังหวัดมหาสารคาม นำมาล้างทำความสะอาดด้วยน้ำเย็น ตัดหัวและลอกหนังแยกเอาเฉพาะเนื้อ ล้างทำความสะอาดด้วยน้ำเย็น บดให้ละเอียดด้วยเครื่องบดเนื้อ

และล้างเนื้อปลาบดด้วยสารละลายเกลือ 0.1% และบีบน้ำออกด้วยผ้าขาวบาง ทำการล้างเนื้อปลา 3 รอบ โดยให้เนื้อมีความชื้นต่ำกว่า 80% ผสมเนื้อปลากับน้ำตาลทราย 4% ซอร์บิทอล 4% และ โพลีฟอสเฟต 0.1% บรรจุถุงโพลีโพรพิลีนและเก็บรักษาซูริมิปลาชะโดในอุณหภูมิ -18 ถึง -20°C เพื่อใช้เป็นวัตถุดิบในการทดลองต่อไป

การเตรียมสารสกัดจากรากกระพังโหม

นำรากกระพังโหมมาล้างให้สะอาดและหั่นเป็นชิ้นเล็กๆขนาด 1-2 ลูกบาศก์มิลลิเมตร ปริมาณ 100 กรัม ปั่นผสมกับน้ำกลั่นในอัตราส่วน 1:1 ด้วยเครื่อง Homoginizer ที่ความเร็วระดับ 1100 rpm เป็นเวลา 2 นาที บีบกรองในผ้าขาวบางเพื่อแยกกาก แล้วกรองด้วยกระดาษกรองเบอร์1 เก็บรักษาสารสกัดที่กรองได้ในภาชนะปิดสนิททึบแสงที่อุณหภูมิ 4°C

ศึกษาความเข้มข้นของของหมู่ซัลฟ์ไฮดริลจากรากกระพังโหมต่อสมบัติทางเคมีกายภาพของเจลซูริมิจากปลาชะโด

ซูริมิ 100 g ปั่นผสมกับเกลือความเข้มข้น 2.5% เติมสารสกัดรากกระพังโหมที่ระดับความเข้มข้นของหมู่ซัลฟ์ไฮดริล 0, 0.12, 0.6, 1.2, 6.0 และ 12.0 (µmol/100g surimi) ปรับความชื้นของเนื้อปลาบดเป็น 80% บรรจุในแท่งสแตนเลสขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 2.5×2.5 cm. แล้วห่อด้วยฟิล์มโพลีเอธิลีน แล้วนำไปเซทนำไปเซทตัวที่อุณหภูมิ 40°C เป็นเวลา 30 นาที ตามด้วยให้ความร้อนที่อุณหภูมิ 80°C เป็นเวลา 30 นาที นำมาพักในน้ำเย็นที่อุณภูมิ 0°C นาน 30 นาที แล้วนำไปเก็บไว้ที่อุณหภูมิ 4°C 1 คืน ก่อนนำไปวิเคราะห์หาความเข้มข้นของหมู่ซัลฟ์ไฮดริลจากรากกระพังโหมที่ให้เจลที่มีความแข็งแรงที่สุดเพื่อใช้ในการศึกษาระยะเวลาในการเซตตัวของเจลปลาชะโดต่อไป โดยจะเตรียมเจลที่ระดับความเข้มข้นที่ให้ความแข็งแรงเจลสูงสุดเช่นเดียวกับการเตรียมเจลข้างต้น แล้วแปรผันระยะเวลาในการเซตตัวของเนื้อปลาบดที่ผ่านการเติมสารสกัดจากรากกระพังโหมแล้ว ที่อุณภูมิ 40°C เป็นเวลา 0, 30, 60, 90, 120 และ 150 นาที ตามด้วยการให้ความร้อนที่อุณหภูมิ 80°C นาน 30 นาที พักไว้ในน้ำเย็นที่อุณภูมิ 0°C 30 นาที แล้วนำไปเก็บไว้ที่อุณหภูมิ 4°C 1 คืน ก่อนนำไปวิเคราะห์

ความแข็งแรงเจล (Gel strength)

วิเคราะห์ความแข็งแรงโดยใช้เครื่อง Texture Analyser TA-XT2i (Stable Micro System, Godaming, UK) โดยใช้อัตราเร็วในการกด 1 mm/s ด้วยหัววัด cylinder probe (P/5S) วิเคราะห์ตัวแปรทางเนื้อสัมผัสดังนี้ แรงสูงสุดที่ใช้ในการเจาะทะลุผิวหน้าตัวอย่าง (breaking force) และระยะทางที่หัววัดเคลื่อนที่จากผิวหน้าตัวอย่างจนเจาะทะลุ (deformation) และค่าความแข็งแรงเจล (Gel strength) ได้จากผลคูณของ Breaking force กับ Deformation (Lanier 1992)

โปรตีนที่ละลายในกรดไตรคลอโรอะซิติก (TCA-soluble protein)

ตัวอย่างเจลซูริมิ 3 g เติมกรดไตรคลอโรอะซิติก 5% (w/v) ปริมาตร 27 ml จากนั้นนำไปโฮโมจีไนซ์เป็นเวลา 4 นาที เก็บส่วนผสมไว้ที่อุณหภูมิห้องเป็นเวลา 1 ชั่วโมง จากนั้นปั่นเหวี่ยงที่ 5,000g เป็นเวลา 5 นาที นำสารละลายส่วนใสไปวัดปริมาณโปรตีนที่ละลายในสารละลายกรดไตรคลอโรอะซิติกตามวิธีของ Lowry et al. (1951)

โปรตีนซัลฟ์ไฮดริล(Protein sulfhydryl)

ตัวอย่างเจล 0.5 g homogenize โดยใช้ Teflon homogenizer ที่ 1,200 rpm นาน 5 นาที ในสารละลาย 8 M urea, 2% SDS, 10 mM EDTA, 0.1 M phosphate buffer (pH 7) ปริมาตร 29.5 ml นำไปวิเคราะห์ปริมาณหมู่ซัลฟ์ไฮดริลทั้งหมด (Total sulfhydryl groups) ตามวิธีของ Ellman (1959) โดยใช้สารละลายที่ได้ 4 ml ผสมกับ 0.1% DTNB ปริมาณ 0.4 ml บ่มที่ 40°C นาน 15 นาที (ที่มืด) วัดค่าการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 412 nm และวิเคราะห์ปริมาณของหมู่ซัลฟ์ไฮดริลอิสระ (Free-sulfhydryl groups) โดยใช้สารละลายที่ได้ 4 ml ตกตะกอนด้วย Trichloroacetic acid 15% (w/v) แล้วนำไปปั่นเหวี่ยงที่ 5,000xg นาน 10 นาที ปรับค่าความเป็นกรด-ด่าง ที่ 7.0 นำส่วนใส (Supernatant) ของสารละลายที่ได้ 4 ml ผสมกับ 0.1% DTNB ปริมาณ 0.4 ml บ่มที่ 40°C นาน 15 นาที (ที่มืด) วัดค่าการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 412 nm คำนวณปริมาณหมู่ซัลฟ์ไฮดริลโดยกำหนดได้จากค่า molar extinction 13612.5 M^{-1} cm^{-1} ของ 2-nitro-5-triobenzoic acid โดยที่ปริมาณโปรตีนซัลฟ์ไฮดริลคำนวณได้จากปริมาณหมู่ซัลฟ์ไฮดริลทั้งหมดลบด้วยปริมาณของหมู่ซัลฟ์ไฮดริลอิสระ

ความแปรปรวนของกลุ่มทดลอง(ANOVA)

วางแผนการทดลองแบบ completely randomized design (CRD) และเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยด้วยวิธี Duncan's New Multiple Range Test (DMRT) ที่ระดับความเชื่อมั่น 95% ด้วยโปรแกรมสำเร็จรูปทางสถิติ (Steel and Torrie 1980)

ผลการทดลองและวิจารณ์

ผลของสารสกัดจากรากกระพังโหมที่ระดับความเข้มข้นของหมู่ซัลฟ์ไฮดริลที่แตกต่างกันที่เติมลงในเจลซูริมิจากปลาชะโดสามารถเพิ่มความแข็งแรงเจลให้สูงขึ้นตามระดับความเข้มข้นของสารสกัดจากรากกระพังโหมที่เพิ่มขึ้นและเจลมีความแข็งแรงเจลได้สูงสุดถึง 32.14% ที่ความเข้มข้นของหมู่ซัลฟ์ไฮดริล 1.2 (µmol/100g) เมื่อเปรียบเทียบกับตัวอย่างควบคุม ($p<0.05$) แต่ความแข็งแรงเจลจะมีแนวโน้มลดลงเมื่อความเข้มข้นของสารสกัดมากขึ้น (6.0-12.0 µmol/100g) ซึ่งผลการทดลองนี้สอดคล้องกับงานวิจัยของ Banlue et al. (2018) รายงานว่าระดับของความเข้มข้นของสารสกัดจากรากกระพังโหมที่เหมาะสมสามารถส่งเสริมให้เจลซูริมิจากปลาชะโดมีความแข็งแรงเพิ่มขึ้น และความแข็งแรงเจลจะลดลงเมื่อความเข้มข้นของของหมู่ซัลฟ์ไฮดริลมากเกินพอ เนื่องจากสารสกัดจากกระพังโหมประกอบด้วยสาร methyl sulfide ซึ่งสามารถเหนี่ยวนำให้เกิดปฏิกิริยาออกซิเดชั่นของหมู่ซัลฟ์ไฮดริลให้เป็นพันธะไดซัลไฟด์ ซึ่งเป็นพันธะโควาเลนท์ระหว่างโมเลกุลของโปรตีนไมโอซินเฮวีเชน (myosin heavy chain) ทำให้เจลมีความแข็งแรงเพิ่มขึ้นในระหว่างการให้ความร้อน (Lee et al. 1997) ซึ่งผลการทดลองนี้สอดคล้องกับปริมาณของโปรตีนซัลฟ์ไฮดริลที่ลดลงอย่างมีนัยสำคัญเมื่อเปรียบเทียบกับตัวอย่างควบคุม ($p<0.05$) ในช่วง 1.9 ถึง 3.12 µmol/g แต่ระดับและความแรงของการลดลงไม่ได้แปรผันตามความเข้มข้นของปริมาณหมู่ซัลฟ์ไฮดริลที่ปรากฏในสารละลาย ผลการวิเคราะห์ปริมาณโปรตีนที่ละลายในกรดไตรคลอโรอะซิติก พบว่าระดับความเข้มข้นของหมู่ซัลฟ์ไฮดริลไม่มีผลที่ชัดเจนต่อปริมาณโปรตีนที่ละลายในกรดไตรคลอโรอะซิติก ซึ่งเป็นค่าแสดงถึงกิจกรรมการย่อยสลายตัวเองของโปรตีนที่เกิดจากกิจกรรมของเอ็นไซม์ย่อยโปรตีน (Table 1)

เพื่อศึกษาอิทธิพลของสารสกัดจากรากกระพังโหมต่อความสามารถในการเกิดเจลซูริมิจากปลาชะโดในระหว่างกระบวนการเซตตัวที่ระยะเวลาต่างๆ กันที่ความเข้มข้นของหมู่ซัลฟ์ไฮดริล 1.2 µmol/100g เนื่องจากให้ค่าความแข็งแรงเจลสูงที่สุดในการศึกษาข้างต้น โดยวิเคราะห์ความสามารถในการเกดิเจล ได้แก่ Breaking force, Deformation และ Gel strength พบว่าเมื่อเซตตัวเนื้อปลาบดที่ผ่านการเติมสารสกัด ที่อุณภูมิ 40°C เป็นเวลา 0, 30, 60, 90, 120 และ 150 นาที ตามด้วยให้ความร้อนที่อุณหภูมิ 80°C นาน 30 นาที ค่าที่ชี้วัดความสามารถในการเกิดเจลทั้งสามค่าเพิ่มขึ้นจากตัวอย่างควบคุมอย่างมีนัยสำคัญ ($p<0.05$) และเพิ่มขึ้นตามระยะเวลาที่เซตตัวที่เพิ่มขึ้นในช่วง 30 ถึง 90 นาที เมื่อเพิ่มระยะเวลาในการเซตตัวเป็น 120 และ 150 นาที พบว่าค่า Breaking force, Deformation และ Gel strength และมีแนวโน้มลดลงเล็กน้อยเมื่อระยะเวลาในการเซตตัวเพิ่มขึ้น แสดงดัง Table 2

การวิเคราะห์ปริมาณโปรตีนที่ละลายในกรดไตรคลอโรอะซิติก (Table 3) ตลอดระยะเวลาในการเซตตัวในช่วง 0 ถึง 150 นาที พบปริมาณโปรตีนที่ละลายในกรดไตรคลอโรอะซิติกที่แตกต่างกันในช่วงแคบๆ คือมีปริมาณในช่วง 1.31 ถึง 2.39 (mg/g) ซึ่งชี้ให้เห็นว่าระยะเวลาในการเซตตัวที่อุณภูมิ 40°C มีผลต่อการเพิ่มขึ้นของการแตกตัวของโปรตีนที่มีน้ำหนักโมเลกุลขนาดเล็กที่สามารถแขวนลอยได้ในสาร ละลายกรด ที่เกิดจากกิจกรรมของเอ็นไซม์ย่อยโปรตีนในระหว่างกระบวนการให้ความร้อน เช่นเดียวกันกับผลการวิเคราะห์ปริมาณโปรตีนซัลฟ์ไฮดริล พบว่ามีปริมาณที่ละลงอย่างเห็นได้ชัดเจนในช่วงระยะเวลาในการเซตตัว ที่อุณภูมิ 40°C นาน 30 ถึง 90 นาที และลดลงเล็กน้อยจนอยู่ในระดับที่คงที่ ในช่วงระยะเวลาในการเซตตัวที่ 90 ถึง 150 นาที สามารถลดปริมาณโปรตีนซัลฟ์ไฮดริลได้ 5.7 µmol/g (Table 3) จากผลการทดลองนี้ชี้ให้เห็นว่าสารสกัดจากรากกระพังโหมที่ระดับความเข้มข้นของหมู่ซัลฟ์ไฮดริล 1.2 µmol/100g ซริมิ สามารถเหนี่ยวนำให้เกิด crosslinking ของโปรตีนจากปฏิกิริยาออกซิเดชั่นของโปรตีนที่มีหมู่ซัลฟ์ไฮดริลให้เป็นพันธะไดซัลไฟด์ซึ่งเป็นพันธะโควาเลนท์ระหว่างโมเลกุลของโปรตีนไมโอซินเฮวีเชน (myosin heavy chain) ทำให้เจลมีความแข็งแรงเพิ่มขึ้นในระหว่างการให้ความ

ร้อน (Lee et al. 1997) และพันธะไดซัลไฟด์สามารถเพิ่มจำนวนมากขึ้นเมื่อระยะเวลาในการให้ความร้อนเพิ่มมากขึ้น และปฏิกิริยาการเกิดออกซิเดชั่นของโปรตีนซัลฟ์ไฮดริลจะหยุดหรือสิ้นสุดการเกิดกิจกรรมเมื่อระยะเวลาในการให้ความร้อนที่มากกว่า 90 นาที

สรุป

สารสกัดจากรากกระพังโหมที่มีผลต่อการเกิดเจลซูริมิจากปลาชะโดที่มีปริมาณความเข้มข้นของหมู่ซัลฟ์ไฮดริล 1.20 µmol/100g ซริมิ ให้ความร้อนเนื้อปลาบดที่อุณภูมิ 40°C นาน 30 ถึง 90 นาที ตามด้วยการให้ความร้อนที่อุณหภูมิ 80°C นาน 30 นาที สามารถส่งเสริมให้เจลซูริมิจากปลาชะโดมีความสามารถในการเกิดเจลดีที่สุด เนื่องจากกระพังโหมมีหมู่ methyl sulfide ซึ่งสามารถเหนี่ยวนำให้เกิด crosslinking ของโปรตีนซัลฟ์ไฮดริล ด้วยพันธะไดซัลไฟด์ในระหว่างกระบวนการเซตตัว

เอกสารอ้างอิง

Banlue, K., S. Impan, and S. Pansang. 2014. Effects of lactic acid bacteria and fermentation conditions on physiochemical properties of fermented giant snakehead (*Channa micropeltes*) fish protein. KKU Research J. 19(Suppl.): 254-259.

Banlue, K., K. Sarapoka and T. Wongpinij. 2018. Effects of skunk-vine (*Paederia foetida* Linn.) roots extract on gelation of surimi from giant snakehead (*Channa micropeltes*). Khon Kaen Agr. J. 46(Suppl.): 1: 943-947. (in Thai)

Ellman, G L. Tissue sulfhydryl groups. Archives of Biochemistry Biophysics. 82: 70-77.

Lanier, T.C. 1992. Measurement of surimi composition and functional properties. Surimi Technology. 123-166.

Lee, H.G., T.C. Lanier, and D.D. Hamann. 1997. Chemically induced covalent crosslinks affect thermo-rheological profiles of fish protein gels. Journal of Food Science. 62(1): 29-32.

Lowry, O. H., N. J. Rosebrough A. L. Far, and R. J. Randall, 1951. Protein measurement with folin phenol reagent. Journal of Biological Chemistry. 193: 256-275.

Sampaotong, P and A. Chantaraponpan. 2018. *Paederia linearis* Hook. f. root: chemical compositions, antioxidant activity and its effect on physico-chemical properties of RD6 glutinous rice flour. Khon Kaen Agr. J. 46 SUPPL. 1 : 438-444. (in Thai)

Steel, R.G.D., and J.H. Torrie. 1980. Principle and procedure of statistics (2nd ed). New York: McGraw-Hill.International Journal of Food Properties. 517.

Sottirattanapan, P., K. Nantachai, S. Daduang, T. Funahashi, and M. Yamada. 2017. Purification and characterization of amylase from roots of *Paederia foetida* Linn. Biocatalysis and Agricultural Biotechnology. 10: 329-335.

Zuraini, A., M.N. Somchit, M.H. Solihah, Y.M. Goh, Arifah, A.K. Zakaria, M.S. Somchit, N. Rajion, M.A. Z.A. Zakaria, and A.M. Mat Jais. 2006. Fatty acid and amino acid composition of three local Malaysian Channa spp. Fish. Food Chemistry. 97: 674-678.

Table 1 Gel strength, TCA-soluble protein content and protein sulfhydryl content of giant snakehead surimi gel with skunk-vine water extract at different concentration.

Sulfhydryl content (μmol/100g surimi)	Gel strength (g.cm)	TCA-soluble protein (mg/g)	Protein sulfhydryl (μmol/g)
0	406.56±9.05^{b}	1.60±0.11^{c}	9.13±0.81^{a}
0.12	408.96±71.45^{b}	1.31±0.12^{d}	6.75±0.04^{b}
0.60	439.80±34.39^{b}	1.97±0.06^{b}	6.01±0.21^{b}
1.20	537.25±62.19^{a}	2.30±0.04^{a}	6.62±0.10^{b}
6.00	418.01±79.25^{b}	2.11±0.22^{ab}	7.21±0.49^{b}
12.0	359.59±34.99^{b}	1.96±0.25^{b}	6.78±1.46^{b}

Means(±SD) with different superscript letters in the same column indicate significant differences(P<0.05).

Table 2 Breaking force, Deformation, Gel strength of giant snakehead surimi gel with skunk-vine water extract at different setting time.

Setting time (min)	Breaking force (g)	Deformation (cm)	Gel strength (g.cm)
0	392.76±25.35^{c}	0.70±0.01^{b}	278.75±19.45^{c}
30	630.46±31.88^{a}	0.94±0.05^{a}	598.20±45.26^{a}
60	638.23±20.88^{a}	0.93±0.05^{a}	597.42±36.36^{a}
90	589.43±39.91^{ab}	0.90±0.08^{a}	536.44±87.88^{ab}
120	545.80± 4.16^{b}	0.85±0.03^{a}	465.23±16.73^{b}
150	544.46±30.22^{b}	0.85±0.07^{a}	465.42±60.22^{b}

Means(±SD) with different superscript letters in the same column indicate significant differences(P<0.05).

Table 3 TCA-soluble protein content and Protein sulfhydryl content of giant snakehead surimi gel with skunk-vine water extract at different setting time.

Setting time (min)	TCA-soluble protein (mg/g)	Protein sulfhydryl (μmol/g)
0	1.31±0.04^{b}	9.94±0.43^{a}
30	2.39±0.26^{a}	7.01±0.53^{b}
60	2.51±0.20^{a}	5.31±0.64^{c}
90	1.98±0.25^{bc}	4.27±0.26^{d}
120	1.74±0.20^{c}	4.25±0.14^{d}
150	2.22±0.09^{ab}	4.40±0.18^{d}

Means(±SD) with different superscript letters in the same column indicate significant differences(P<0.05).