



อิทธิพลของสารละลายออสโมติกและสภาวะสุญญากาศต่อคุณภาพของ ปลากระพงขาวแล้ซึ้นเสริมธาตุเหล็กด้วยวิธีออสโมซิส

Influence of Osmotic Solution and Vacuum Condition on the Quality of Iron-Supplemented Asian Seabass (*Lates calcarifer*) Fillet by Osmosis

น้ำฝน ไทยวงษ์¹ ศาสลิณี กลับทับลัง² และนัฏฐา คเชนทร์ภักดี^{2*}

Numphon Thaiwong¹, Salinee Klapthaplang², and Natta Kachenpukdee^{2*}

¹สาขาเทคโนโลยีการเกษตรและสิ่งแวดล้อม คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลอีสาน

อำเภอเมือง จังหวัดนครราชสีมา 30000

²สาขาเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำและผลิตภัณฑ์ประมง คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีการประมง มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลศรีวิชัย

อำเภอสิเกา จังหวัดตรัง 92150

¹Agricultural Technology and Environment Department, Faculty of Sciences and Liberal Arts,

Rajamangala University of Technology Isan, Muang, Nakhon Ratchasima 30000, Thailand

²Aquaculture and Fishery Product Department, Faculty of Science and Fisheries Technology,

Rajamangala University of technology Srivijaya, Sikao, Trang 92150, Thailand

*Corresponding author, e-mail: n.kachenpukdee@yahoo.com

(Received: Feb 22, 2021; Revised: May 29, 2021; Accepted: June 14, 2021)

บทคัดย่อ

ภาวะทุพโภชนาการจากการขาดธาตุเหล็กเป็นปัญหาด้านโลหิตวิทยาที่พบบ่อยในโลก อาหารเสริมธาตุเหล็กมีความจำเป็นในการช่วยลดภาวะดังกล่าวได้ ปลากระพงขาวนำมาใช้เป็นวัตถุดิบในการผลิตอาหารเสริมธาตุเหล็กเนื่องจากเป็นสัตว์น้ำเศรษฐกิจของประเทศไทย แต่ปลากระพงขาวที่มีขนาดไม่ตรงตามความต้องการของตลาดมีราคาต่ำกว่าราคากลางจึงนำมาพัฒนาผลิตภัณฑ์เป็นปลากระพงขาวแล้ซึ้นเสริมธาตุเหล็ก โดยขั้นตอนแรกเป็นการเลือกสารละลายออสโมติกและสภาวะในการแช่ ขั้นตอนที่สองเป็นการเสริมธาตุเหล็กที่ความเข้มข้น 6 ระดับ (เฟอร์รัสซัลเฟตร้อยละ 0.2, 0.4, 0.6, 0.8 และ 1.0) การใช้โซเดียมคลอไรด์ร้อยละ 10 และกลูโคสร้อยละ 40 ที่สภาวะสุญญากาศ ส่งผลให้ตัวอย่างมีการสูญเสียน้ำหนักมากที่สุด (ร้อยละ 8.82 ± 0.15) และมีปริมาณของแข็งเพิ่มขึ้นมากที่สุด (ร้อยละ 6.84 ± 0.16) ที่ 240 นาที การเพิ่มความเข้มข้นของธาตุเหล็กในสารละลายออสโมติกนี้ทำให้ธาตุเหล็กของตัวอย่างเพิ่มขึ้น ($12.4-62.0$ มิลลิกรัม/100 กรัมตัวอย่าง) แต่ค่า L^* , a^* และ b^* ของตัวอย่างลดลง ขณะที่ความแข็งของตัวอย่างกลับเพิ่มขึ้น การประเมินคุณภาพทางประสาทสัมผัสทุกตัวอย่างได้รับคะแนนความชอบในระดับปานกลาง ($P > 0.05$) การใช้เฟอร์รัสซัลเฟตร้อยละ 0.2-0.4 ทำให้ความชอบด้านกลิ่นรสใกล้เคียงกับตัวอย่างควบคุม ทั้งนี้ การใช้โซเดียมคลอไรด์ร้อยละ 10 และกลูโคสร้อยละ 40 ร่วมกับเฟอร์รัสซัลเฟตร้อยละ 0.2-0.4 ที่สภาวะสุญญากาศ เพื่อเตรียมปลากระพงขาวแล้ซึ้นเสริมธาตุเหล็กสามารถนำไปใช้เป็นแนวทางในการพัฒนากระบวนการผลิตปลากระพงขาวแล้ซึ้นเสริมธาตุเหล็กเพื่อต่อยอดในเชิงพาณิชย์ได้

คำสำคัญ : ปลากระพงขาวแล้ซึ้นเสริมธาตุเหล็ก การออสโมซิส สารละลายออสโมติก ปริมาณการสูญเสียน้ำ ปริมาณของแข็งที่เพิ่มขึ้น

Abstract

Iron deficiency is one of the most common hematological problems in the world. Iron supplements are essential to help reduce this condition. Asian seabass is used as a raw material in the production of iron-supplemented food because of an economic aquatic animal of Thailand. However, Asian seabass is not the standard size that does not require the market demand, resulting in a lower than the reference price. Then, the iron-supplemented Asian seabass fillet was developed. The first step was to select the osmotic solutions and the soaking conditions. The second step was the iron



supplementation at six concentrations (0.2, 0.4, 0.6, 0.8 and 1.0% of ferrous sulfate (FeSO_4)). The result showed that 10% sodium chloride and 40% glucose at vacuum were the highest values of water loss ($8.82\% \pm 0.15\%$) and solid gain ($6.84\% \pm 0.16\%$) at 240 minutes. The increase of iron-supplemented in this osmotic solution improved the iron content in samples (12.4–62.0 mg/100 g sample). The L^* , a^* and b^* of samples was decreased as the hardness of branched samples was increased. The sensory evaluation of all samples was in the range of like moderately in the overall attribute ($P>0.05$). The 0.2-0.4% FeSO_4 affected the score of flavor attribute was nearly the control. Therefore, the preparation of 10% sodium chloride and 40% glucose with 0.2-0.4% FeSO_4 at vacuum could be used as a guideline for developing an iron-supplemented Asian seabass fillet for further commercialization.

Keywords: Iron-supplemented Asian seabass fillet, Osmosis, Osmotic solution, Water loss, Solid gain

บทนำ

ภาวะทุพโภชนาการจากการขาดธาตุเหล็กเป็นปัญหาด้านโลหิตวิทยาที่พบมากที่สุดทั่วโลก ประชากรโลกที่ประสบปัญหาดังกล่าวมีประมาณ 2,000,000 คน ส่วนใหญ่อยู่ในประเทศกำลังพัฒนา (Triwaree, 2019) ธาตุเหล็กมีความสำคัญต่อการทำงานของร่างกายหลายระบบ โดยเฉพาะกระบวนการขนส่งออกซิเจน อาการทางคลินิกจากการขาดธาตุเหล็ก เช่น ภาวะซีด อ่อนเพลีย การรับรสผิดปกติ เป็นต้น และมีผลต่อพฤติกรรมการเรียนรู้ ศักยภาพการทำงาน ภูมิคุ้มกันโรค ผลต่อการคลอดและภาวะโภชนาการของมารดาและทารก อย่างไรก็ตาม อาการและพฤติกรรมเหล่านี้ขึ้นอยู่กับบุคคล อายุ หรือเพศ ปริมาณธาตุเหล็กที่กระทรวงสาธารณสุขแนะนำให้คนไทยบริโภคจึงแตกต่างกัน ในเพศหญิงอายุ 19-50 ปี ควรบริโภคประมาณ 20 มิลลิกรัม/วัน เพศชายอายุ 19-60 ปี ควรบริโภคประมาณ 11.5 มิลลิกรัม/วัน (Bureau of Nutrition Department of Health Ministry of Public Health, 2020) อย่างไรก็ตาม การบริโภคธาตุเหล็กในปริมาณที่มากเกินไปส่งผลให้เกิดความผิดปกติต่อการทำงานของอวัยวะต่าง ๆ เช่น สมอง ตับ กล้ามเนื้อ และหัวใจ (Mobarra *et al.*, 2016) การบริโภคธาตุเหล็กจึงควรบริโภคในปริมาณที่เหมาะสมเพื่อให้ร่างกายทำหน้าที่ได้อย่างปกติ

ปัจจุบันการพัฒนาผลิตภัณฑ์อาหารเสริมธาตุเหล็กมีหลากหลายผลิตภัณฑ์ เช่น ข้าว ผลิตภัณฑ์จากเนื้อสัตว์ และสาหร่าย การเสริมธาตุเหล็กในอาหารส่วนใหญ่มักใช้ในแป้ง ข้าวและธัญพืช เนื่องจากวัตถุดิบเหล่านี้มีต้นทุนการผลิตต่ำกว่าวัตถุดิบชนิดอื่นๆ แม้ว่าธาตุเหล็กมีคุณสมบัติในการเป็นสารออกซิเดนต์สูง และทำให้ผลิตภัณฑ์มีรสโลหะซึ่งเป็นรสชาติเฉพาะเมื่อเสริมธาตุเหล็กลงในอาหาร และมีขั้นตอนในการเสริมธาตุเหล็กไม่ยุ่งยาก โดยผสมธาตุเหล็กที่อยู่ในรูปสารประกอบที่เป็นผงละเอียดลงในอาหารที่มีลักษณะเป็นผง หรือละลายสารประกอบธาตุเหล็กดังกล่าวลงในเครื่องต้ม ทั้งนี้ สารประกอบธาตุเหล็กที่ใช้ในการเสริมขนมปังใช้เฟอร์รัสซัลเฟต (FeSO_4) (Rodriguez-Ramiro *et al.*, 2017) ขณะที่การเสริมธาตุเหล็กในน้ำนมใช้ FeSO_4 และเฟอร์รัสฟูมาเรต ($\text{C}_4\text{H}_2\text{FeO}_4$) (Harrington *et al.*, 2011) งานวิจัยนี้จึงนำแนวคิดการพัฒนาผลิตภัณฑ์อาหารเสริมธาตุเหล็กมาใช้กับปลากะพงขาวแล่ชิ้น (Asian seabass fillet) เนื่องจากปัจจุบันประเทศไทยมีการเพาะพันธุ์ปลากะพงขาวได้เป็นจำนวนมาก โดยปลากะพงขาวตามความต้องการของตลาดมีขนาด 500–800 กรัม/ตัว (Department of Trade Negotiations, 2020) ส่งผลให้ปลากะพงขาวที่มีขนาดไม่ตรงมีราคาต่ำกว่าราคากลาง การพัฒนาผลิตภัณฑ์ปลากะพงขาวแล่ชิ้นเสริมธาตุเหล็กจึงเป็นแนวทางหนึ่งในการลดปัญหานี้ ซึ่งเป็นการเพิ่มมูลค่าและเพิ่มช่องทางในการจำหน่ายผลิตภัณฑ์ นอกเหนือจากการขายสด การเสริมธาตุเหล็กในปลากะพงขาวแล่ชิ้นใช้หลักการดึงน้ำออกด้วยวิธีออสโมซิส (Osmosis dehydration) โดยใช้สารละลายไฮเพอร์โทนิก (Hypertonic solution) เพื่อทำให้สารละลายภายนอกเซลล์มีความเข้มข้นสูงกว่าสารละลายภายในเซลล์ การเคลื่อนที่ออกของน้ำภายในเซลล์ทำให้เกิดการถ่ายเทมวลสาร (Mass transfer) ซึ่งน้ำเคลื่อนที่ออกจากเซลล์ผ่านทางเยื่อเลือกผ่านของเนื้อเยื่ออาหาร วิธีออสโมซิสที่นิยมใช้กันอย่างแพร่หลายในการแปรรูปอาหาร ได้แก่ การทำเค็มปลา (Fish salting) ซึ่งเป็นการลดปริมาณน้ำพร้อมกับเพิ่มปริมาณเกลือในเนื้อเยื่อปลา ซึ่งเนื้อเยื่อปลามีการคายน้ำออกจากเซลล์เล็กน้อยในระหว่างที่แช่อยู่ในสารละลายออสโมติก (Giannakourou *et al.*, 2019) สารละลายออสโมติกที่นิยมใช้ในอุตสาหกรรมอาหารมักเป็นการใช้สารสองชนิดร่วมกัน (binary osmotic solutions) ทั้งนี้ น้ำตาลและเกลือเป็นสารละลายออสโมติกที่มีประสิทธิภาพ เหมาะสม และให้รสชาติที่ดีแก่ผลิตภัณฑ์ (Tortoe, 2010) งานวิจัยนี้จึงนำแนวคิดของวิธีการออสโมซิสมาใช้ในการพัฒนาผลิตภัณฑ์ปลากะพงขาวแล่ชิ้นเสริมธาตุเหล็ก



วัตถุประสงค์ของการวิจัย

เพื่อคัดเลือกสารละลายออสโมติกและสภาวะการออสโมซิส (ความดันบรรยากาศปกติ และ ความดันสุญญากาศ) ที่เหมาะสมในการผลิตปลากระป๋องแช่แข็งเสริมธาตุเหล็ก และศึกษาปริมาณเฟอร์รัสซัลเฟต (FeSO_4) ที่ใช้เป็นส่วนประกอบในสารละลายออสโมติกที่มีผลต่อคุณภาพของผลิตภัณฑ์

วิธีดำเนินการวิจัย

1) การเตรียมตัวอย่าง

ล้างปลากระป๋อง (จากฟาร์มปลาในพื้นที่จังหวัดตรัง) ด้วยน้ำสะอาด 2 ครั้ง (อุณหภูมิ น้ำ 25–30 องศาเซลเซียส) ขอดเกล็ดปลา ตัดหัว ควักไส้ และแล่เฉพาะเนื้อปลาให้ติดหนังด้านหนึ่ง ขนาด กว้าง×ยาว×หนา เท่ากับ 5×5×1 เซนติเมตร (น้ำหนักประมาณ 25 ± 1 กรัม) เก็บตัวอย่างที่ -20 องศาเซลเซียส เพื่อทดลองในลำดับต่อไป

2) การวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมี ค่าสี ลักษณะปรากฏ

วิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมี ได้แก่ ความชื้น เถ้า โปรตีน และไขมัน ตัวอย่างปลากระป๋องแช่แข็งจากข้อ 1) ตามวิธี AOAC (2000) วิเคราะห์ค่า pH ตามวิธี AOAC (2000) วัดค่าสี $L^* a^* b^*$ (ColorFlex EZ, HunterLab, VA: US) วัดค่า pH ตัวอย่างโดยการบดเนื้อปลาน้ำหนัก 10 กรัมให้ละเอียด ผสมน้ำกลั่นปริมาตร 40 มิลลิลิตร ผสมให้เข้ากัน และวัดค่า pH (Benchtop pH meter STARA1117, Thermo Scientific, MA: US)

3) การศึกษาสารละลายออสโมติกและสภาวะการออสโมซิส

เตรียมสารละลายออสโมติกชนิดที่ 1 (โซเดียมคลอไรด์ร้อยละ 10 และกลูโคสร้อยละ 30) และสารละลายออสโมติกชนิดที่ 2 (โซเดียมคลอไรด์ร้อยละ 10 และกลูโคสร้อยละ 40) ปรับค่า pH ของสารละลายด้วยกรดซิตริกเข้มข้น 1 โมลาร์ ให้มีค่าประมาณ pH 3 และให้ความร้อนแก่สารละลายที่ 80–85 องศาเซลเซียส เวลา 5 นาที ตัดแปลงจาก Yuenyongputtakal *et al.* (2013) เตรียมตัวอย่างปลาให้สะอาด น้ำ โดยวางบนตะแกรง 30 นาที และทำการออสโมซิสดังนี้ 1) ออสโมซิสในสารละลายออสโมติกชนิดที่ 1 หรือชนิดที่ 2 ที่สภาวะบรรยากาศ 2) ออสโมซิสในสารละลายออสโมติกชนิดที่ 1 หรือชนิดที่ 2 ในสภาวะสุญญากาศ ความดัน 500 มิลลิบาร์ และ 3) ตัวอย่างควบคุม ตัดแปลงวิธีตาม Yuenyongputtakal *et al.* (2013) กำหนดน้ำหนักตัวอย่างต่อสารละลายออสโมติกเท่ากับ 1 ต่อ 10 ใช้เวลาออสโมซิส 240 นาที สุ่มตัวอย่างทุก 40 นาที เพื่อวิเคราะห์การถ่ายเทมวลสารจากปริมาณน้ำที่สูญเสียและปริมาณของแข็งที่เพิ่มขึ้น ดังสมการที่ (1) และ (2) ตามลำดับ

$$\text{ปริมาณน้ำที่สูญเสีย (Water loss หรือ WL (\%))} = \frac{[W_i \left(\frac{M_i}{100} \right) - W_f \left(\frac{M_f}{100} \right)] \times 100}{[W_f \left(\frac{100 - M_f}{100} \right) - W_i \left(\frac{100 - M_i}{100} \right)] \times 100} \quad (1)$$

$$\text{ปริมาณของแข็งที่เพิ่มขึ้น (Solid gain หรือ SG (\%))} = \frac{W_i}{W_f} \quad (2)$$

เมื่อ W_i คือน้ำหนักตัวอย่างเริ่มต้น (กรัม) ; W_f คือน้ำหนักตัวอย่างที่เวลาใด ๆ (กรัม) ; M_i คือ ปริมาณความชื้นเริ่มต้นของตัวอย่าง (กรัมของน้ำ/100 กรัมของน้ำหนักเริ่มต้น) ; M_f คือ ปริมาณความชื้นของตัวอย่างที่เวลาใด ๆ (กรัมของน้ำ/100 กรัมของน้ำหนักเริ่มต้น)

4) การเสริมธาตุเหล็กปลากระป๋องแช่แข็ง

เตรียมสารละลายออสโมติกชนิดที่ 2 จากข้อ 3) และเติม FeSO_4 ที่ความเข้มข้นร้อยละ 0, 0.2, 0.4, 0.6, 0.8 และ 1.0 นำตัวอย่างข้อ 2.1 มาทำการออสโมซิส โดยใช้สารละลายออสโมติกที่มี FeSO_4 ที่ความเข้มข้นต่างกัน ในสภาวะสุญญากาศ เป็นเวลา 240 นาที เก็บตัวอย่างเพื่อนำตัวอย่างที่ได้มาวัดค่าสี (ColorFlex EZ, HunterLab, VA: US) และวิเคราะห์ปริมาณธาตุเหล็กตามวิธีของ AOAC (2016) 999.10 สามารถคำนวณปริมาณธาตุเหล็กได้ดังสมการที่ (3)

$$\text{ปริมาณธาตุเหล็ก (C (มิลลิกรัม/กิโลกรัม))} = \frac{(a-b) \times df}{m} \quad (3)$$

เมื่อ a คือ ความเข้มข้นที่วิเคราะห์ได้จากสารละลายตัวอย่าง (มิลลิกรัม/ลิตร), b คือ ความเข้มข้นเฉลี่ยที่วิเคราะห์ได้จากแบลงค์ (มิลลิกรัม/ลิตร), df คือ ค่า dilution factor และ m คือ น้ำหนักตัวอย่าง (กรัม)

ลวกเตรียมตัวอย่างปลากะพงขาวแล้ขึ้นเสริมธาตุเหล็กที่เวลา 240 นาที ด้วยน้ำร้อนอุณหภูมิ 95 ± 2 องศาเซลเซียสเป็นเวลา 15 วินาที แช่น้ำเย็น 1 นาที ทำให้สะอาด น้ำตัวอย่างที่ได้มาวัดค่าสี (ColorFlex EZ, HunterLab, VA: US) ลักษณะปรากฏ ความแข็ง (Hardness) (TA.XT Plus, Stable Micro System, UK) และประเมินคุณภาพทางประสาทสัมผัส

5) การประเมินคุณภาพทางประสาทสัมผัส

การประเมินคุณภาพทางประสาทสัมผัสตัวอย่างปลากะพงขาวแล้ขึ้นเสริมธาตุเหล็กลวก กำหนดปริมาณที่ใช้ 50 กรัม/เสิร์ฟ ด้านสี กลิ่น รสชาติ เนื้อสัมผัส และความชอบโดยรวม ใช้ผู้ทดสอบที่ผ่านการฝึกฝนทางประสาทสัมผัสจำนวน 30 คน ด้วยการให้คะแนนความชอบ 9 ระดับ (9-Point Hedonic Scale)

6) วิเคราะห์ทางสถิติ

วิเคราะห์ผลการทดลอง 3 ซ้ำ วางแผนการทดลองแบบ Completely randomized design (CRD) และวิเคราะห์ผลทางสถิติโดยใช้วิธี Analysis of Variance (ANOVA) ที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 และวิเคราะห์ความแตกต่างระหว่างตัวอย่างด้วยวิธี Duncan's new multiple's range test (DMRT) ด้วยโปรแกรม SPSS version 13

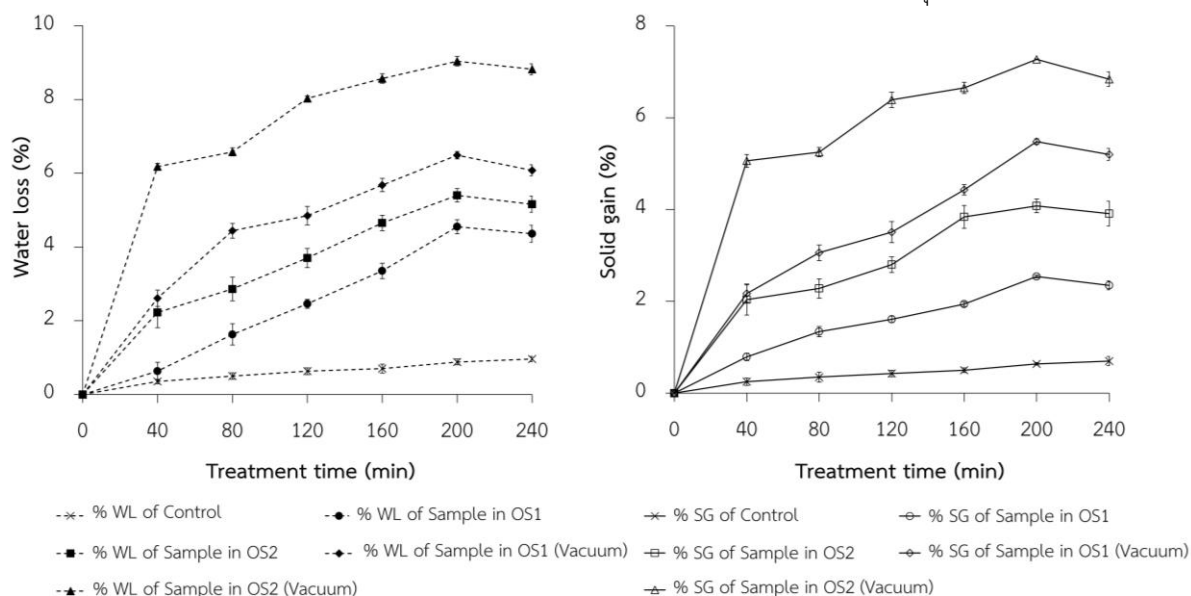
ผลการวิจัย

1) องค์ประกอบทางเคมีและสมบัติทางกายภาพ

องค์ประกอบทางเคมีของปลากะพงขาวมีปริมาณความชื้น เถ้า โปรตีน และไขมัน มีค่าเท่ากับร้อยละ 75.45 ± 0.14 , 1.12 ± 0.08 , 19.68 ± 0.29 และ 2.32 ± 0.61 ตามลำดับ และมีค่าสี L^* , a^* และ b^* เท่ากับ 51.49 ± 0.28 , 0.17 ± 0.04 และ 6.27 ± 0.19 ตามลำดับ และค่า pH ของตัวอย่างมีค่าเท่ากับ 5.50

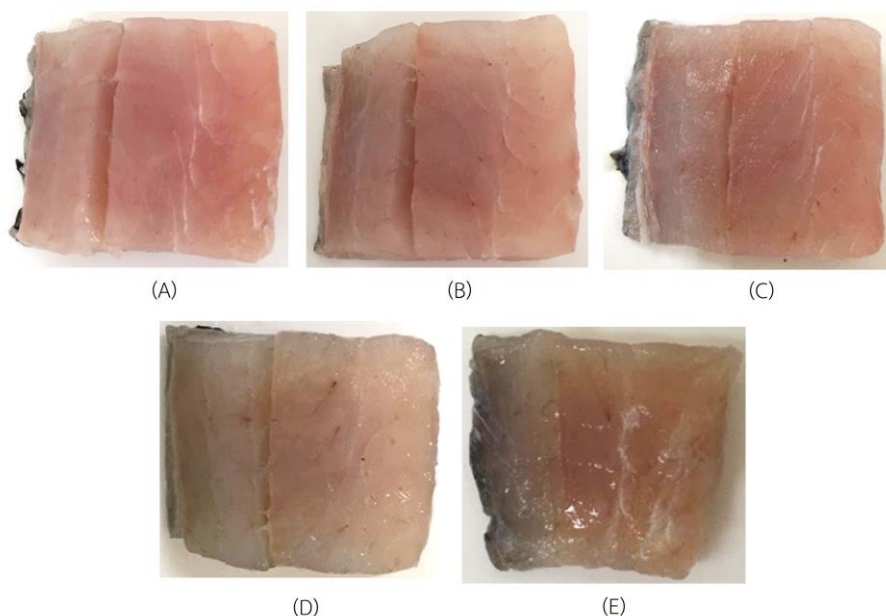
2) การศึกษาการถ่ายเทมวลสารของปลากะพงขาวแล้ขึ้นด้วยวิธีออสโมซิส

ปริมาณน้ำที่สูญเสียและของแข็งที่เพิ่มขึ้นของตัวอย่างจากการใช้สารละลายออสโมติกต่างชนิด ที่สภาวะออสโมซิสต่างกัน (ความดันปกติและสุญญากาศ) แสดงดังภาพที่ 1 ผลการศึกษาแสดงให้เห็นว่า ตัวอย่างทุกตัวอย่างมีการสูญเสียน้ำเพิ่มขึ้นเมื่อเวลาออสโมซิสเพิ่มขึ้น โดยการสูญเสียน้ำลดลงอย่างรวดเร็วในเวลาที่ 40-160 หลังจากนั้นการสูญเสียน้ำของตัวอย่างเริ่มลดลงอย่างช้า ๆ จนกระทั่งมีค่าค่อนข้างคงที่ตั้งแต่เวลาที่ 200 ทั้งนี้ ตัวอย่างที่แช่ในสารละลายออสโมติกชนิดที่ 2 ในสภาวะสุญญากาศ มีการสูญเสียน้ำมากที่สุด ขณะที่ตัวอย่างทุกตัวอย่างมีปริมาณของแข็งเพิ่มขึ้นตลอดระยะเวลาออสโมซิส ซึ่งเวลาที่ 200 ปริมาณของแข็งที่เพิ่มขึ้นของตัวอย่างเพิ่มขึ้นอย่างคงที่ และลดลงเล็กน้อยในเวลาสุดท้าย



Remark: WL: Weight loss, SG: Solid gain, OS1: Osmotic solution 1, OS2: Osmotic solution 2

ภาพที่ 1 ปริมาณน้ำที่สูญเสียและปริมาณของแข็งที่เพิ่มขึ้นของปลากะพงขาวแล้ขึ้นจากการออสโมซิส



ภาพที่ 2 ลักษณะปรากฏของปลากระพงขาวแล้ขึ้นหลังการออสโมซิสที่ 240 นาที (A) ตัวอย่างควบคุม (B) สารละลายออสโมติกชนิดที่ 1 (C) สารละลายออสโมติกชนิดที่ 2 (D) สารละลายออสโมติกชนิดที่ 1 ที่สุญญากาศ (E) สารละลายออสโมติกชนิดที่ 2 ที่สุญญากาศ

ตารางที่ 1 ค่าสีและลักษณะปรากฏของปลากระพงขาวแล้ขึ้นจากการออสโมซิสที่ 240 นาที

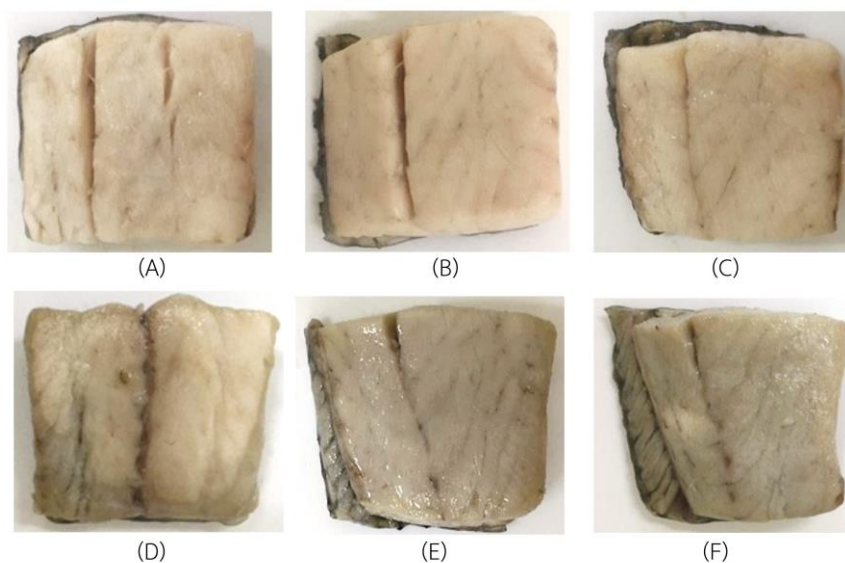
Color value	Control	OS1	OS2	OS1 with Vacuum	OS with Vacuum
L^*	51.49 ± 0.28^a	47.35 ± 0.33^b	44.10 ± 0.77^c	40.17 ± 0.03^d	39.17 ± 0.58^d
a^*	0.17 ± 0.04^b	0.36 ± 0.02^a	0.19 ± 0.01^b	-0.99 ± 0.02^c	-1.11 ± 0.12^c
b^*	6.27 ± 0.19^b	8.24 ± 0.17^a	5.79 ± 0.13^b	4.71 ± 0.21^c	3.89 ± 0.14^d

Note: ^{a, b, c} Means in the same row with different superscripts differ significantly ($P < 0.05$). OS 1 and OS 2 mean Osmotic solution 1 and Osmotic solution 2, respectively.

จากลักษณะปรากฏและค่าสีของปลากระพงขาวแล้ขึ้นจากการออสโมซิสที่ 240 นาที (ภาพที่ 2 และตารางที่ 1) ตัวอย่างที่ผ่านการออสโมซิสมีความสว่าง (L^*) ลดลง เมื่อความเข้มข้นของสารละลายออสโมติกมีค่ามากขึ้นในสถานะสุญญากาศ เช่นเดียวกับค่า a^* และ b^* ที่มีค่าลดลงต่ำเช่นกัน

3) การเสริมธาตุเหล็กในปลากระพงขาวแล้ขึ้นโดยการออสโมซิส

ลักษณะปรากฏ ค่าสี ความแข็ง และปริมาณธาตุเหล็กที่วิเคราะห์ได้จากตัวอย่างปลากระพงขาวแล้ขึ้นเสริมธาตุเหล็กแสดงดังภาพที่ 3 และตารางที่ 2



ภาพที่ 3 ลักษณะปรากฏของปลากะพงขาวแล้งชิ้นลูกที่เสริมธาตุเหล็กด้วยวิธีการออสโมซิสในสภาวะสุญญากาศโดยใช้สารละลายออสโมติกที่มีส่วนผสมของ FeSO_4 ที่ความเข้มข้นต่างกัน (A) ตัวอย่างควบคุม (B) FeSO_4 ร้อยละ 0.2 (C) FeSO_4 ร้อยละ 0.4 (D) FeSO_4 ร้อยละ 0.6 (E) FeSO_4 ร้อยละ 0.8 และ (F) FeSO_4 ร้อยละ 1

ตารางที่ 2 ค่าสี และปริมาณธาตุเหล็กของปลากะพงขาวแล้งชิ้นลูกที่เสริมธาตุเหล็กด้วยวิธีการออสโมซิสในสภาวะสุญญากาศโดยใช้สารละลายออสโมติกที่มีส่วนผสมของ FeSO_4 ที่ความเข้มข้นต่างกัน

FeSO_4 (%)	Color value before blanching			Color value after blanching			Iron content (mg/100g)	Hardness (g)
	L^*	a^*	b^*	L^*	a^*	b^*		
0	39.17±0.58 ^a	-1.10±0.12 ^e	3.89±0.14 ^{ns}	66.99±0.21 ^a	0.38±0.09 ^b	15.75±0.07 ^{ab}	0.37 ^f	570.77±24.66 ^c
0.2	36.58±0.32 ^b	-2.43±0.06 ^d	4.07±0.7 ^{ns}	67.30±0.03 ^b	0.12±0.02 ^b	16.13±0.35 ^{ab}	12.40 ^e	597.43±16.53 ^{bc}
0.4	34.83±0.85 ^c	-4.79±0.58 ^c	4.33±1.25 ^{ns}	56.21±0.11 ^c	-0.92±0.03 ^c	14.83±0.18 ^{bc}	24.80 ^d	619.13±33.07 ^{abc}
0.6	33.99±0.80 ^c	-6.81±0.46 ^b	4.89±0.12 ^{ns}	61.41±0.01 ^d	-1.40±0.40 ^d	13.89±1.72 ^{cd}	37.20 ^c	630.13±42.85 ^{ab}
0.8	31.15±0.65 ^d	-7.42±0.49 ^{ab}	5.18±0.33 ^{ns}	59.63±0.02 ^e	0.80±0.02 ^a	16.64±0.01 ^a	49.60 ^b	647.83±18.91 ^{ab}
1.0	29.55±0.42 ^e	-7.91±0.53 ^a	5.39±0.21 ^{ns}	57.46±0.02 ^f	-1.34±0.01 ^d	13.23±0.05 ^d	62.00 ^a	654.93±10.16 ^a

Note: a, b, c, d, e, f Means in the same column with different superscripts differ significantly ($P < 0.05$). ^{ns} Means in the same column do not differ significantly ($P > 0.05$).

จากตารางที่ 2 ปริมาณธาตุเหล็กที่วิเคราะห์ได้จากตัวอย่างควบคุมมีค่า 0.37 มิลลิกรัม/100 กรัมตัวอย่าง และเมื่อเพิ่มความเข้มข้นของ FeSO_4 ในสารละลายออสโมติกปริมาณธาตุเหล็กในตัวอย่างมีค่าเพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่อง การเพิ่มปริมาณ FeSO_4 ในสารละลายออสโมติกส่งผลให้ค่าสีของตัวอย่างก่อนลวกและหลังลวกมีสีเข้มขึ้น โดยเฉพาะค่า L^* ที่มีค่าเพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่อง เช่นเดียวกับค่าความแข็งของตัวอย่างปลากะพงขาวแล้งชิ้นลูกที่มีค่าเพิ่มขึ้นจาก 570.77 ± 24.66 g (ตัวอย่างควบคุม) เป็น 597.43 ± 16.53 g ถึง 654.93 ± 10.16 g

ตารางที่ 3 การประเมินคุณภาพทางประสาทสัมผัสของปลากะพงขาวแล้งขึ้นเสริมธาตุเหล็ก

FeSO ₄ (%)	Color	Odor	Flavor	Texture	Overall
0	8.26±0.45 ^{ns}	7.38±0.63 ^{ns}	8.32±0.51 ^a	7.30±0.53 ^{ns}	7.40±0.95 ^{ns}
0.2	8.34±0.50 ^{ns}	7.02±0.93 ^{ns}	7.82±0.37 ^{ab}	7.25±0.75 ^{ns}	7.34±0.80 ^{ns}
0.4	7.98±0.89 ^{ns}	7.03±0.62 ^{ns}	7.95±0.05 ^{ab}	7.45±0.49 ^{ns}	7.23±1.19 ^{ns}
0.6	7.70±0.49 ^{ns}	7.16±0.46 ^{ns}	7.70±0.49 ^{ab}	7.49±0.47 ^{ns}	7.22±1.27 ^{ns}
0.8	7.27±0.50 ^{ns}	7.27±0.42 ^{ns}	7.46±0.47 ^b	7.67±0.85 ^{ns}	7.17±1.15 ^{ns}
1.0	7.22±0.83 ^{ns}	7.17±0.78 ^{ns}	7.28±0.50 ^b	8.00±0.56 ^{ns}	7.03±0.90 ^{ns}

Note: ^{a, b, c} Means in the same column with different superscripts differ significantly ($P < 0.05$). ^{ns} Means in the same column do not differ significantly ($P > 0.05$).

การประเมินคุณภาพทางประสาทสัมผัสของปลากะพงขาวแล้งขึ้นเสริมธาตุเหล็กจากตารางที่ 3 ผู้ทดสอบให้คะแนนความชอบคุณลักษณะด้านสี กลิ่น เนื้อสัมผัส และความชอบโดยรวมของตัวอย่างทุกตัวอย่างไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ โดยมีคะแนนความชอบในระดับชอบปานกลางถึงชอบมาก ขณะที่ตัวอย่างควบคุมได้รับคะแนนความชอบด้านกลิ่นรสมากที่สุด (8.32±0.51) และมีค่าใกล้เคียงตัวอย่างที่เสริมธาตุเหล็กด้วย FeSO₄ ที่ร้อยละ 0.2-0.6 และตัวอย่างที่เสริมธาตุเหล็กด้วย FeSO₄ ที่ร้อยละ 1.0 ได้รับคะแนนความชอบด้านกลิ่นรสน้อยที่สุด

อภิปรายผลการวิจัย

1) องค์ประกอบทางเคมีและสมบัติทางกายภาพ

จากการวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมีของตัวอย่างที่มีปริมาณความชื้น เถ้า โปรตีน และไขมัน มีค่าเท่ากับร้อยละ 75.45±0.14, 1.12±0.08, 19.68±0.29 และ 2.32±0.61 ตามลำดับ แสดงให้เห็นว่า ปลากะพงขาวแล้งขึ้นมีปริมาณคาร์โบไฮเดรตประมาณร้อยละ 1.43 ผลดังกล่าวมีความสอดคล้องกับปริมาณความชื้น เถ้า โปรตีน ไขมัน และคาร์โบไฮเดรตจากงานวิจัยของ Shapawi & Zamry (2016) มีค่า ร้อยละ 65.61±0.79, 5.51±0.16, 22.0±0.93, 6.70±0.15, และ 0.19 ตามลำดับ ขณะที่ Pervin *et al.* (2012) รายงานค่าเท่ากับ ร้อยละ 70±2.8, 5±0.24, 23.5±0.16, 5.7±0.3 และ 0.93±0.16 ตามลำดับ และ Kamruzzaman *et al.* (2015) รายงานค่าประมาณ ร้อยละ 68.2, 3.5, 22.2, 5.2 และ 0.90 ตามลำดับ แสดงให้เห็นว่าปลากะพงขาวมีปริมาณคาร์โบไฮเดรตต่ำมาก ทั้งนี้ ปัจจัยด้านขนาด เพศ อายุของปลา การเพาะเลี้ยง สภาพแวดล้อม และชนิดของอาหาร ส่งผลให้ค่าองค์ประกอบทางเคมีของปลากะพงขาวแตกต่างกัน (Pechsiri *et al.*, 2020) จากตารางที่ 1 การเพิ่มปริมาณ FeSO₄ ส่งผลให้ตัวอย่างลวกมีสีเข้มขึ้น สามารถอธิบายได้โดยปฏิกิริยาชีวเคมีที่ทำหน้าที่เกี่ยวข้องกับไมโอโกลบินและปฏิกิริยาออกซิเดชันเร่งปฏิกิริยาออกซิเดชันกันเอง ทำให้เกิดการเสื่อมสภาพของเม็ดสีเมื่ออะตอมธาตุเหล็กที่อยู่ภายในฮีม (Heme group) ถูกออกซิไดซ์ทำให้อะตอมธาตุเหล็กหลุดออกจากโครงสร้างออกซีไมโอโกลบินซึ่งมีสีแดง (Red oxymyoglobin) และเปลี่ยนไปเป็นเมทไมโอโกลบินที่มีสีน้ำตาล (Brownish metmyoglobin) (Alonso *et al.*, 2016) นอกจากนี้ ไขมันที่เป็นส่วนประกอบในเนื้อปลามีบทบาทสำคัญต่อการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชัน โดยไขมันในปลาประกอบด้วยกรดไขมันสายยาวร้อยละ 40 (มีจำนวนคาร์บอน 14–22 อะตอม) ส่วนใหญ่เป็นกรดไขมันไม่อิ่มตัว กรดไขมันสายยาวเหล่านี้สามารถเสื่อมสภาพได้ง่ายจากปฏิกิริยาออกซิเดชัน โดยเฉพาะกรดไขมันชนิดไม่อิ่มตัวที่มีพันธะคู่หลายอัน (Polyunsaturated fatty acid หรือ PUFA) ที่มีอยู่ในปลา มีความเกี่ยวข้องอย่างมากกับการเสื่อมคุณภาพของผลิตภัณฑ์ในด้านต่าง ๆ (Secchi & Parisi, 2016) นอกจากนี้ไขมันที่เป็นสาเหตุให้เกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันแล้วฮีโมโกลบินก็เป็นหนึ่งในปัจจัยร่วมด้วย ซึ่งความเข้มข้นของฮีโมโกลบินและชนิดของฮีโมโกลบินในกล้ามเนื้อปลาส่งต่อการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชัน โดยสารเหล่านี้เกิดการแตกตัวในระหว่างเก็บรักษา และปล่อยธาตุเหล็กที่ไม่ใช่ฮีม (Non-haem iron) ออกจากโครงสร้าง (Maqsood & Benjakul, 2011)

2) การถ่ายเทมวลสาร

ปริมาณน้ำที่สูญเสียลดลงอย่างรวดเร็วและปริมาณของแข็งที่เพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็วในช่วงแรกของการออสโมซิส (ภาพที่ 1) เนื่องจากน้ำภายในเซลล์ตัวอย่างเคลื่อนที่ออกจากเซลล์เร็วสวนทางกับตัวถูกละลายของสารละลายออสโมติกที่เคลื่อนที่เข้าเซลล์ด้วยความเร็วเช่นกันในช่วงแรกของกระบวนการออสโมซิส เมื่อเวลาผ่านไประยะหนึ่งระบบเริ่มเข้าสู่สมดุลการถ่ายโอนมวลสารในระบบจึงเกิดช่องว่าง (Giannakourou *et al.*, 2020) ทำให้การสูญเสียน้ำที่เกิดขึ้นเริ่มลดลงอย่างคงที่

ที่เวลา 200 นาที Giannakourou *et al.* (2019) รายงานปลากะพงขาวแล้งขึ้นที่ใช้โอลิโกฟรุกโตสร้อยละ 40–60 และโซเดียมคลอไรด์ร้อยละ 5 เป็นสารละลายออสโมติกมีอัตราการสูญเสีย น้ำลดลงถึงที่เวลา 250 นาที ดังนั้น สารละลายออสโมติกชนิดที่ 2 จึงนำมาใช้เป็นสารละลายออสโมติกเพื่อเสริมธาตุเหล็กในปลากะพงขาวแล้งขึ้นภายใต้สภาวะสุญญากาศในขั้นตอนต่อไป ทั้งนี้ ปริมาณการสูญเสีย น้ำที่ลดลงเร็วที่สุดและปริมาณของแข็งที่เพิ่มขึ้นมากที่สุดแสดงถึงการถ่ายโอนมวลสารที่ดีและมีประสิทธิภาพ (Giannakourou *et al.*, 2019) การใช้สภาวะสุญญากาศร่วมกับการออสโมซิสเพื่อแปรรูปผลิตภัณฑ์เนื้อสัตว์สามารถเพิ่มประสิทธิภาพการออสโมซิสได้ โดยช่วยเพิ่มอัตราเร็วการถ่ายโอนมวลสาร เนื่องจากเนื้อสัตว์มีโมเลกุลใหญ่ทำให้เกิดอันตรกิริยากับโปรตีนแมทริกซ์ (Protein matrix) ได้มากกว่าอาหารประเภทอื่น ๆ ที่ความดันบรรยากาศปกติจึงดูดซึมสารละลายออสโมติกได้น้อย การใช้สภาวะสุญญากาศทำให้กล้ามเนื้อขยายตัวมากกว่าสภาวะปกติ กล้ามเนื้อจึงดูดซึมสารละลายออสโมติกได้มากขึ้นช่วยไล่แก๊สที่อยู่บริเวณรูขุมขนของเนื้อสัตว์หรือผิวของเนื้อปลา (Dimakopoulou-Papazoglou & Katsanidis, 2020) และช่วยดันน้ำสารละลายออสโมติกเข้าสู่เนื้อปลาด้วยอีกทางหนึ่ง นอกจากนี้ ไนมันซึ่งเป็นองค์ประกอบในวัตถุดิบกลุ่มเนื้อสัตว์ ส่งผลต่อความสามารถในการดูดซึมสารละลายออสโมติกด้วยเช่นกัน (Dimakopoulou-Papazoglou & Katsanidis, 2020) จากภาพที่ 2 และตารางที่ 1 ลักษณะปรากฏและค่าสีของตัวอย่างจากการออสโมซิสที่ 240 นาที แสดงให้เห็นว่า ตัวอย่างที่ผ่านการออสโมซิสมีความสว่าง (L^*) ลดลง เมื่อความเข้มข้นของสารละลายออสโมติกเพิ่มขึ้นที่สุญญากาศ เช่นเดียวกับค่า a^* และ b^* ที่มีค่าลดลงต่ำเช่นกัน การออสโมซิสทำให้ค่า L^* ของตัวอย่างลดลงเพราะตัวอย่างมีการสูญเสีย น้ำภายในเซลล์ สารละลายออสโมติกที่มีความเข้มข้นสูงจึงทำให้เกิดการถ่ายโอนมวลสารเร็วกว่าสารละลายออสโมติกที่มีความเข้มข้นต่ำ การสูญเสีย น้ำจึงเกิดเร็วขึ้นในระยะเวลาเดียวกัน อย่างไรก็ตาม ค่าสีที่แตกต่างกันนี้อาจเกิดจากค่าสีเริ่มต้นของตัวอย่างมีความแตกต่างกันเพราะชิ้นส่วนปลาที่แตกต่างกัน

3) การเสริมธาตุเหล็กในปลากะพงขาวแล้งขึ้นโดยการออสโมซิส

ปริมาณธาตุเหล็กที่วิเคราะห์ได้ในตัวอย่าง (ตารางที่ 2) ตัวอย่างควบคุมมีธาตุเหล็ก 0.37 มิลลิกรัม/ 100 กรัม ขณะที่ Pervin *et al.* (2012) พบว่า ปลากะพงขาวในพื้นที่ทะเล Aegean ประเทศกรีซมีธาตุเหล็ก 9 ± 0.11 มิลลิกรัม/100 กรัม และปลากะพงขาวในแม่น้ำ Shibus ประเทศบังคลาเทศ มีค่า 9.11 ± 0.045 ถึง 15.35 ± 1.22 มิลลิกรัม/100 กรัม (Kamruzzaman *et al.*, 2015) จากตารางที่ 4 การเพิ่มปริมาณ FeSO_4 ส่งผลให้ตัวอย่างลวกมีสีเข้มขึ้น เนื่องจากธาตุเหล็กเป็นตัวเร่งปฏิกิริยาออกซิเดชันที่ดี ร่วมกับกระบวนการให้ความร้อนตัวอย่างโดยการลวก ส่งผลให้โครงสร้างของไมโอโกลบินเกิดการสูญเสียออกซิเจนอะตอมอีกทางหนึ่ง ตัวอย่างจึงเกิดเมทไมโอโกลบินได้มากขึ้น หรือกล่าวอีกนัยหนึ่ง คือ สีของตัวอย่างเข้มขึ้น ผลจากการวิเคราะห์ความแข็งของตัวอย่างลวกหลังจากเสริมธาตุเหล็ก (ตารางที่ 2) แสดงให้เห็นว่า การเสริมธาตุเหล็กทำให้เนื้อสัมผัสของตัวอย่างมีความแข็งขึ้นอาจมีสาเหตุจากการการเชื่อมโยงข้าม (Crosslinking bonds) ระหว่างโปรตีนในเนื้อเยื่อของเนื้อปลาและไอออนอิสระของธาตุเหล็กทำให้เกิดโครงสร้างที่มีความซับซ้อนขึ้น ส่งผลให้เนื้อสัมผัสของตัวอย่างมีแข็งแรงมากขึ้น (Siddique & Park, 2019)

ผลการประเมินคุณภาพทางประสาทสัมผัสของปลากะพงขาวแล้งขึ้นเสริมธาตุเหล็กลวก (ตารางที่ 3) แสดงให้เห็นว่าคะแนนความชอบของคุณลักษณะด้านสี กลิ่น เนื้อสัมผัส และความชอบโดยรวมในทุกตัวอย่างไม่แตกต่างกันทางสถิติ การพิจารณาปริมาณสารเสริมธาตุเหล็กที่เติมในสารออสโมติกจึงพิจารณาจากคุณลักษณะด้านกลิ่นรส ซึ่งการใช้ FeSO_4 ร้อยละ 0.2-0.6 ไม่แตกต่างจากตัวอย่างควบคุม จากการกำหนดปริมาณที่ใช้ในการประเมินคุณภาพทางประสาทสัมผัส 50 กรัม/เสิร์ฟ สามารถคำนวณได้ว่าผู้บริโภคจะได้รับธาตุเหล็กจากปลากะพงขาวแล้งขึ้นเสริมธาตุเหล็กเมื่อคิดจากธาตุเหล็กที่แนะนำให้คนไทยอายุตั้งแต่ 6 ปีขึ้นไป (Thai RDI) ควรบริโภคในปริมาณ 15 มิลลิกรัม/วัน ดังนั้น ผู้บริโภคที่รับประทานปลากะพงขาวแล้งขึ้นเสริมธาตุเหล็กที่เสริมธาตุเหล็กด้วย FeSO_4 เข้มข้นร้อยละ 0.2, 0.4 และ 0.6 จะได้รับธาตุเหล็กคิดเป็นร้อยละ 41.33, 82.67 และ 124 ของ Thai RDI ตามลำดับ ดังนั้น ปริมาณสารเสริมธาตุเหล็กที่เหมาะสมที่นำมาใช้ในการพัฒนาผลิตภัณฑ์ปลากะพงขาวแล้งขึ้นเสริมธาตุเหล็กจึงมีความเข้มข้นในช่วงร้อยละ 0.2 ถึง 0.4



สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ

การใช้โซเดียมคลอไรด์ร้อยละ 10 และกลูโคสร้อยละ 40 เป็นสารละลายออสโมติก ร่วมกับการใช้เพอร์ร็อกซัลเฟต เป็นสารเสริมธาตุเหล็กที่ความเข้มข้นร้อยละ 0.2-0.4 โดยการออสโมซิสตัวอย่างที่สภาวะสุญญากาศ เพื่อเตรียมปลากะพงขาว แล่ชิ้นเสริมธาตุเหล็กสามารถนำไปใช้เป็นแนวทางในการพัฒนาผลิตภัณฑ์เพื่อต่อยอดในเชิงพาณิชย์ได้ อย่างไรก็ตาม การบริโภคอาหารเสริมธาตุเหล็กควรคำนึงถึงปริมาณที่เหมาะสมเพื่อให้ร่างกายทำหน้าที่ได้อย่างปกติ เนื่องจากการบริโภคในปริมาณมากเกินไปอาจส่งผลให้เกิดภาวะเหล็กเกินในร่างกายได้

เอกสารอ้างอิง

- Alonso, V., Muela, E., Tenas, J., Calanche, J. B., Roncales, P. & Beltran, J. A. (2016). Changes in physicochemical properties and fatty acid composition of pork following long-term frozen storage. *Eur Food Res Technol*, 242, 2119–2127.
- Bryszewska, M. A. (2019). Comparison Study of Iron Bioaccessibility from Dietary Supplements and Microencapsulated Preparations. *Nutrients*, 11, 273.
- Bureau of Nutrition Department of Health Ministry of Public Health. (2020). *Dietary Reference Intake Tables for Thais 2020* (1st ed.). Bangkok: A.V. Progressive Ltd., Part. (in Thai)
- Department of Trade Negotiations. (2020). *Fresh, Chilled and Frozen Asian seabass* [Online]. Retrieved March 3, 2021, from <https://api.dtn.go.th/files/v3/5f4f3ebfef414020773e4b32/download>
- Dimakopoulou-Papazoglou, D. & Katsanidis, E. (2020). Osmotic Processing of Meat: Mathematical Modeling and Quality Parameters. *Food Eng Rev*, 12, 32–47.
- Giannakourou, M. C., Tsironi, T., Thanou, I., Tsagri, A. M., Katsavou, E., Lougovois, V., Kyra, V., Kasapidis, G. & Sinanoglou, V. J. (2019). Shelf Life Extension and Improvement of the Nutritional Value of Fish Fillets through Osmotic Treatment Based on the Sustainable Use of *Rosa damascena* Distillation By-Products [Online]. *Foods*, 8, 421, 1-15. Retrieved January 29, 2021, from <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC6770147/>
- Giannakourou, M. C., Stavropoulou, N., Tsironi, T., Lougovois, V., Kyra, V., Konteles, S. J. & Sinanoglou, V. J. (2020). Application of hurdle technology for the shelf life extension of European eel (*Anguilla anguilla*) fillets [Online]. *Aquaculture and Fisheries*. Retrieved January 29, 2021, from <https://doi.org/10.1016/j.aaf.2020.10.003>
- Harrington, M., Hotz, C., Zeder, C., Polvo, G.O., Villalpando, S., Zimmermann, M.B., Walczyk, T., Rivera, J.A. & Hurrell, R.F. (2011). A comparison of the bioavailability of ferrous fumarate and ferrous sulfate in non-anemic Mexican women and children consuming a sweetened maize and milk drink. *Eur J Clin Nutr*, 65, 20–25.
- Kamruzzaman, S., Hossain, M. D., Jewel, M. A. S., Khanom, D. A., Mustary, S. & Khatun, M. M. (2015). Proximate composition and nutritional value of different life stages of *Lates calcarifer* (Bloch, 1790). *Univ j zool Rajshahi Univ*, 34, 21-24.
- Maqsood, S. & Benjakul, S. 2011. Effect of bleeding on lipid oxidation and quality changes of Asian seabass (*Lates calcarifer*) muscle during iced storage. *Food Chem*, 124, 459–467.
- Mobarra, N., Shanaki, M., Ehteram, H., Nasiri, H., Sahmani, M., Saeidi, M., Goudarzi, M., Pourkarim, H. & Azad, M. (2016). A Review on Iron Chelators in Treatment of Iron Overload Syndromes. *Int J Hematol Oncol Stem Cell Res*, 10(4), 239-247.
- Pechsiri, J., Panritdam, T., Chainapon, T. & Yooyen, T. (2020). Fillet Quality of Asian Seabass *Lates calcarifer* (Bloch, 1790) Grown in Monoculture and Coculture Systems in Freshwater Earthen-ponds. *Asian Fish Sci*, 33, 23–30.



- Pervin, T., Yeasmin, S., Islam, R., Kamruzzaman, Rahman, A. & Sattar, A. (2012). Studies on nutritional composition and characterization of lipids of *Lates calcarifer* (Bhetki). *Bangladesh J Sci Ind Res*, 47(4), 393-400.
- Rodriguez-Ramiro, I., Brearley, C.A., Bruggaber, S.F.A., Perfecto, A., Shewry, P., Fairweather-Tait, S. (2017). Assessment of iron bioavailability from different bread making processes using an in vitro intestinal cell model I. *Food Chem*, 228, 91-98.
- Secci, G. & Parisi, G. (2016). From farm to fork: lipid oxidation in fish products. A review, *Ital J Anim Sci*, 15(1), 124-136.
- Siddique, A. & Park, Y. W. (2019). Effect of iron fortification on microstructural, textural, and sensory characteristics of caprine milk Cheddar cheeses under different storage treatments. *J Dairy Sci*, 102, 2890-2902.
- Shapawi, R. & Zamry, A.A. (2016) Response of Asian seabass, *Lates calcarifer* juvenile fed with different seaweed-based diets, *J Appl Anim Res*, 44(1), 121-125.
- Tortoe, C. (2010). A review of osmodehydration for food industry. *Afr J Food Sc*, 4(6), 303-324.
- Triwaree, C. (2019). Iron deficiency anemia. *Journal of Hematology and Transfusion Medicine*, 29(1), 5-7, 2019. (in Thai)
- Yuenyongputtakal, W., Thimthong, D., Bangsri, W. & Worasingh, S. (2013). Effect of Pre-treatment Method and Iron Content Enrichment on Sea Lettuce (*Ulva rigida*) in Osmosis Process. *TU journal*, 21(5), 461-473. (in Thai)