

ผลของการเคลือบผิวเนื้อปลากระพง (*Lates calcarifer*)
แลด้วยนาโนอิมัลชันต่อการเปลี่ยนแปลงสี ปริมาณจุลินทรีย์ทั้งหมด
และสมบัติทางประสาทสัมผัสในระหว่างการเก็บรักษาแบบแช่เย็น
Effect of Nanoemulsion Coating on Discoloration,
Total Microbial Content and Sensory Property of Sea Bass
(*Lates calcarifer*) Fillets during Chilled Storage

ศิริเนตร ชัยจันทร์, มนัส ชัยจันทร์ และวรวรรณ พันพิพัฒน์*

ศูนย์ความเป็นเลิศด้านเทคโนโลยีและนวัตกรรมอาหาร สาขาอุตสาหกรรมเกษตร สำนักวิชาเทคโนโลยีการเกษตร
มหาวิทยาลัยวลัยลักษณ์ อำเภอท่าศาลา จังหวัดนครศรีธรรมราช 80160

อติกร ปัญญา

หน่วยวิจัยเทคโนโลยีชีวภาพอาหาร ศูนย์พันธุวิศวกรรมและเทคโนโลยีชีวภาพแห่งชาติแห่งชาติ
อุทยานวิทยาศาสตร์ประเทศไทย ตำบลคลองหนึ่ง อำเภอคลองหลวง จังหวัดปทุมธานี 12120

Sirinet Chaijan, Manat Chaijan and Worawan Panpipat*

Food Technology and Innovation Research Center of Excellence, Department of Agro-Industry,
School of Agricultural Technology, Walailak University, Thasala, Nakhon Si Thammarat 80160

Atikorn Panya

Food Biotechnology Research Unit, National Center for Genetic Engineering and Biotechnology,
Thailand Science Park, Khlong Nueng, Khlong Luang, Pathum Thani 12120

บทคัดย่อ

การศึกษาผลของการเคลือบผิวเนื้อปลากระพงแลด้วยนาโนอิมัลชันที่เตรียมจากน้ำมันพืชที่มีกรดไขมันสายกลางสูง 2 ชนิด (น้ำมันมะพร้าวและน้ำมันเนื้อเมล็ดในปาล์ม) ต่อการเปลี่ยนแปลงสี ปริมาณจุลินทรีย์ทั้งหมด และคุณลักษณะทางประสาทสัมผัสในระหว่างการเก็บรักษาแบบแช่เย็น (4 ± 0.5 °ซ) เปรียบเทียบกับนาโนอิมัลชันที่เตรียมจากน้ำมันเมล็ดทานตะวันและการเคลือบด้วยน้ำกลั่น (ชุดควบคุม) เมื่อศึกษาชนิดของอิมัลซิไฟเออร์ที่เหมาะสมในการผลิตนาโนอิมัลชัน พบว่าการใช้ Span 80 ซึ่งมีค่าสัดส่วนระหว่างส่วนที่ชอบน้ำกับส่วนที่ชอบน้ำมัน 4.3 จะทำให้ได้ขนาดอนุภาคของนาโนอิมัลชันเล็กที่สุด ($p < 0.05$) โดยทำให้ขนาดอนุภาคนาโนอิมัลชันของน้ำมัน

มะพร้าว น้ำมันเมล็ดในปาล์ม และน้ำมันเมล็ดทานตะวันมีค่า 219 ± 5 , 228 ± 8 และ 322 ± 6 นาโนเมตร ตามลำดับ และมีค่าศักย์ไฟฟ้าติดลบสูงที่สุด ($p < 0.05$) เมื่อนำนาโนอิมัลชันดังกล่าวมาเคลือบเนื้อปลากระพงแล้ว เพื่อประโยชน์ในแง่ของการยืดอายุการเก็บรักษา พบว่าเนื้อปลาที่ผ่านการเคลือบด้วยนาโนอิมัลชันทั้งหมดมีแนวโน้มการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันของไขมันในระดับต่ำกว่าชุดควบคุม นอกจากนี้ยังช่วยลดการสูญเสียน้ำและการเปลี่ยนสีของเนื้อปลาได้อย่างมีประสิทธิภาพเมื่อเปรียบเทียบกับชุดควบคุม ($p < 0.05$) อย่างไรก็ตาม ค่าดังกล่าวมีแนวโน้มไม่ต่างกันระหว่างการเคลือบเนื้อปลาด้วยนาโนอิมัลชันจากน้ำมันพืชที่มีกรดไขมันสายกลางสูงทั้ง 2 ชนิด ส่วนผลในแง่ของการยับยั้งการเจริญของจุลินทรีย์นั้น พบว่าการเคลือบผิวเนื้อปลาด้วยนาโนอิมัลชันจากน้ำมันที่มีกรดไขมันสายกลางสูงทั้ง 2 ชนิด มีประสิทธิภาพในการยับยั้งการเจริญของจุลินทรีย์ดีกว่าการเคลือบผิวด้วยนาโนอิมัลชันจากน้ำมันเมล็ดทานตะวันและชุดควบคุมตลอดระยะเวลาการเก็บรักษา ($p < 0.05$) โดยเนื้อปลากระพงที่ผ่านการเคลือบผิวด้วยนาโนอิมัลชันจากน้ำมันมะพร้าวส่งผลให้มีการเปลี่ยนแปลงสีในระดับต่ำ สามารถยับยั้งการเจริญของจุลินทรีย์ และคงคุณลักษณะทางประสาทสัมผัสที่ดีกว่าการเคลือบด้วยนาโนอิมัลชันชนิดอื่น ๆ ดังนั้นการเคลือบผิวเนื้อปลากระพงแล้วด้วยนาโนอิมัลชันจากน้ำมันมะพร้าวจึงสามารถใช้เป็นทางเลือกหนึ่งที่มีประสิทธิภาพและมีความปลอดภัยในการยืดอายุการเก็บรักษา โดยคงคุณภาพโดยรวมของเนื้อปลากระพงแล้ในระหว่างการเก็บรักษาแบบแช่เย็นได้เป็นอย่างดี

คำสำคัญ : นาโนอิมัลชัน; น้ำมันที่มีกรดไขมันสายกลางสูง; ปลากระพงแล้; การเคลือบ; การยืดอายุการเก็บรักษา

Abstract

The effect of nanoemulsions containing high medium chain fatty acid (MCFs) including coconut oil and palm kernel oil as edible coatings on color, microbiological and sensory characteristics of sea bass (*Lates calcarifer*) fillets during chilled storage (4 ± 0.5 °C) were investigated in comparison with sunflower seed oil nanoemulsion coating and control (coated with distilled water). The lowest oil droplet particle size diameter of nanoemulsions was obtained when Span 80 was used as an emulsifier (HLB = 4.3). The median oil particle sizes of coconut oil nanoemulsion, palm kernel oil nanoemulsion and sunflower oil nanoemulsion were 219 ± 5 , 228 ± 8 , and 322 ± 6 nm, respectively. In addition, the highest negative zeta potential was observed in this system. Coated fish fillets with all nanoemulsions tended to have lower degree of lipid oxidation compared to the control ($p < 0.05$). Drip loss and discoloration of fish fillets were also reduced in all nanoemulsion-coated fish fillets compared to those of the control ($p < 0.05$). However, no significant differences in such parameters were noticeable between those 2 high MCFs containing nanoemulsion-coated fish fillets ($p < 0.05$). Coated sea bass fillets with both high MCFs containing nanoemulsions had greater activity in preventing fish discoloration, microbial inhibition and overall sensory characteristics than sunflower oil nanoemulsion-coated fish fillet ($p < 0.05$). The results indicated that fish fillet coated with coconut oil nanoemulsion had superior effect on inhibiting the microbial growth to other samples throughout the storage period (24 days). Thus, coating fish fillet with

coconut oil nanoemulsion can be used as a promising alternative means for keeping overall qualities of sea bass fillet during cold storage.

Keywords: nanoemulsion; high medium chain fatty acids containing oil; sea bass fillet; coating; shelf life extension

1. บทนำ

ปลาเป็นสัตว์น้ำที่อุดมด้วยสารอาหารที่มีคุณประโยชน์ต่อร่างกาย ได้แก่ กรดไขมันจำเป็น กรดอะมิโน วิตามิน และแร่ธาตุที่จำเป็นต่อร่างกายอย่างสมบูรณ์ เนื้อปลาก็จัดเป็นอาหารประเภทโปรตีนหลักชนิดหนึ่งของประชากรโลก โดยปลากะพงนับเป็นปลาเนื้อขาวที่นิยมเพาะเลี้ยงมากที่สุดชนิดหนึ่ง เนื่องจากมีรสชาติดี ปัจจุบันจึงมีการเพาะเลี้ยงปลากะพงในกระชังเป็นจำนวนมาก ปลากะพงจึงถือเป็นสัตว์น้ำเศรษฐกิจที่สำคัญของประเทศไทย โดยทั่วไปเนื้อปลามักมีอายุการเก็บรักษาสั้น โดยเกิดการเน่าเสียหรือเสื่อมคุณภาพได้อย่างรวดเร็ว ทั้งนี้เนื่องจากเนื้อปลามีปริมาณสารอาหารและความชื้นสูง จึงเน่าเสียด้วยจุลินทรีย์ได้อย่างรวดเร็ว ทำให้การเก็บรักษาที่อุณหภูมิต่ำเพียงอย่างเดียวยังเป็นวิธีที่มีประสิทธิภาพต่ำในการรักษาคุณภาพของเนื้อปลา ดังนั้นจึงยังคงมีความต้องการเทคโนโลยีใหม่ ๆ เพื่อยืดอายุการเก็บรักษาเนื้อปลาให้คงคุณภาพไว้ได้นานร่วมกับการเก็บรักษาที่อุณหภูมิต่ำ ทั้งนี้การจำหน่ายเนื้อปลาแช่แข็งสำหรับใช้ทำสเต็กหรือใช้เป็นวัตถุดิบในการปรุงอาหารชนิดอื่น ๆ นั้น ได้รับความนิยมนำมาใช้เป็นวัตถุดิบสำหรับการปรุงอาหาร ดังนั้นการหาแนวทางที่มีประสิทธิภาพและปลอดภัยในการยับยั้งการเจริญของจุลินทรีย์และรักษาสีให้เป็นที่ยอมรับของผู้บริโภค จึงมีความสำคัญในการจำหน่ายเนื้อปลาแช่แข็งในเชิงพาณิชย์ ทั้งนี้การเปลี่ยนแปลงสี (discoloration) มีความสำคัญต่อการบ่งชี้ความสดของเนื้อปลา [1,2]

มีรายงานการศึกษาการใช้ nanoemulsion (nanoemulsion) ในการยืดอายุการเก็บรักษาเนื้อสัตว์และปลาในลักษณะของสารเคลือบที่บริโภคได้ (edible coating) ร่วมกับการเก็บรักษาแบบแช่เย็น โดยนาโนอิมัลชันเป็นระบบคอลลอยด์ที่ประกอบด้วยน้ำมัน น้ำ และสารลดแรงตึงผิว ซึ่งมีขนาดอนุภาคเฉลี่ยโดยทั่วไป 100-500 นาโนเมตร [3] ข้อดีของนาโนอิมัลชันเมื่อเทียบกับไมโครอิมัลชัน คือ มีความโปร่งใส เพิ่มสมบัติทางเคมี-กายภาพของสารออกฤทธิ์ มีเสถียรภาพสูงเป็นต้น ซึ่งอนุภาคที่มีขนาดเล็กและมีพื้นที่ผิวต่อปริมาตรจำนวนมากของนาโนอิมัลชันนี้ จะช่วยยืดระยะเวลาในการเก็บรักษาอาหารประเภทกล้ามเนื้อได้ [4] Al-Adham และคณะ [5] ระบุว่านาโนอิมัลชันมีสมบัติในการต้านจุลินทรีย์ด้วยตัวเอง (self-antimicrobial property) ด้วยการตรึงน้ำไว้ในโครงสร้างของนาโนอิมัลชัน ส่งผลให้จุลินทรีย์ไม่สามารถใช้น้ำดังกล่าวเพื่อการดำรงชีวิต รวมทั้งนาโนอิมัลชันยังรบกวนโครงสร้างและการทำงานของเยื่อหุ้มเซลล์ของจุลินทรีย์ด้วยการลดเสถียรภาพของส่วนไขมันในเยื่อหุ้มเซลล์ [6] โดย Joe และคณะ [7] ได้เริ่มต้นการศึกษาผลของการใช้นาโนอิมัลชันจากน้ำมันเมล็ดทานตะวันในการชะลอการเน่าเสียของสเต็กปลาแปซิฟิกคิงแมกเคอเรลในระหว่างการเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 20 °ซ เปรียบเทียบกับการใช้ยาปฏิชีวนะชนิดสเตรปโตไมซิน (streptomycin) โดยพบว่าสารเคลือบผิวสเต็กปลาด้วยนาโนอิมัลชันจากน้ำมันเมล็ดทานตะวันมีประสิทธิภาพที่ดีกว่าในการยับยั้งการเจริญของเฮเทอโรโทรฟิกแบคทีเรีย (heterotrophic

bacteria) จุลินทรีย์ที่สร้างไฮโดรเจนซัลไฟด์ และแบคทีเรียแลคติกในระหว่างการเก็บรักษาเมื่อเปรียบเทียบกับการใช้สเตปโตไมซินความเข้มข้น 100 มก./ลิตร และยังทำให้สเตรปโตคอกคคุณภาพการบริโภคได้นานถึง 48 ชั่วโมง เมื่อพิจารณาจากค่าบ่งชี้คุณภาพทางเคมี ผลการศึกษาที่คล้ายคลึงกันรายงานโดย Yazgan และคณะ [3] โดยศึกษาการใช้นาโนอิมัลชันจากน้ำมันเมล็ดทานตะวันในการยืดอายุการเก็บรักษาปลากระพงขาวและปลากระพงแดงในระหว่างการเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 2 °C พบว่าสามารถยืดอายุการเก็บรักษาปลาทั้ง 2 ชนิด เพิ่มขึ้น 1-2 วัน เมื่อเปรียบเทียบกับชุดควบคุม โดยการเคลือบเนื้อปลาด้วยนาโนอิมัลชันสามารถลดการเจริญของแบคทีเรีย การเปลี่ยนแปลงปริมาณต่างที่ระเหยได้ ปริมาณกรดไขมันอิสระ และการออกซิเดชันของไขมันได้ดีกว่าชุดควบคุม (เนื้อปลาที่ไม่ผ่านการเคลือบ) โดยการใช้ไขมันหอมระเหยร่วมกับนาโนอิมัลชันจากน้ำมันเมล็ดทานตะวันจะช่วยเพิ่มประสิทธิภาพในการยืดอายุการเก็บรักษาเนื้อปลาเทราต์แล้ในระหว่างการเก็บรักษาแบบแช่เย็น [8] การเติมน้ำมันหอมระเหยจาก *Zataria multiflora* ร้อยละ 1 ลงในนาโนอิมัลชันจากน้ำมันเมล็ดทานตะวันมีประสิทธิภาพสูงสุดในการยืดอายุการเก็บรักษาเนื้อปลาเทราต์แล้ได้อย่างน้อย 15 วัน โดยที่มีผลในการยับยั้งการเจริญของจุลินทรีย์ ลดการเกิดออกซิเดชันของไขมัน ลดปริมาณต่างที่ระเหยได้ และลดปริมาณกรดไขมันอิสระ นอกจากนี้ Özogul และคณะ [9] ได้ศึกษาผลกระทบของนาโนอิมัลชันชนิดน้ำมันในน้ำ (O/W) โดยใช้ น้ำมันพืชที่แตกต่างกัน 6 ชนิด (ทานตะวัน คาโนลา ข้าวโพด มะกอก ถั่วเหลือง และเฮเซลนัท) ต่อคุณลักษณะทางเคมี-กายภาพ ประสาทสัมผัส และคุณลักษณะทางจุลชีววิทยาของปลากระพงในระหว่างการเก็บรักษาที่ 2±2 °C พบว่าการใช้เทคนิคนาโนอิมัลชันจะช่วยยืดอายุการเก็บรักษาเนื้อปลาจาก

8 เป็น 10 วัน และปรับปรุงคุณลักษณะทางเคมีและจุลินทรีย์ตลอดระยะเวลาการเก็บรักษา (12 วัน) [9] อย่างไรก็ตาม ยังมีการศึกษาค่อนข้างน้อยถึงการใช้นาโนอิมัลชันที่ผลิตจากน้ำมันที่มีกรดไขมันสายกลางสูง เช่น น้ำมันมะพร้าวและน้ำมันเนื้อในเมล็ดปาล์ม ในการยืดอายุการเก็บรักษาเนื้อปลา ทั้ง ๆ ที่กรดไขมันสายกลาง โดยเฉพาะกรดลอริก (lauric acid) เป็นกรดไขมันที่มีประสิทธิภาพสูงสุดในการทำลายจุลินทรีย์หลายชนิดเมื่อเปรียบเทียบกับกรดไขมันชนิดอื่น ๆ [10] โดยมีผลทำลายเยื่อหุ้มเซลล์ของจุลินทรีย์

การศึกษารังนี้ มีวัตถุประสงค์เพื่อประเมินผลของนาโนอิมัลชันของน้ำมันที่มีกรดไขมันสายกลางสูง 2 ชนิด คือ น้ำมันมะพร้าวและน้ำมันเนื้อเมล็ดปาล์ม ต่อการเปลี่ยนแปลงสี ปริมาณจุลินทรีย์ และคุณลักษณะทางประสาทสัมผัสของเนื้อปลากระพงแล้ในระหว่างการเก็บรักษาแบบแช่เย็น โดยนำนาโนอิมัลชันดังกล่าวมาเคลือบผิวเนื้อปลากระพงแล้เปรียบเทียบกับชุดควบคุมและเนื้อปลาแล้ที่ผ่านการเคลือบผิวด้วยนาโนอิมัลชันจากน้ำมันเมล็ดทานตะวัน ซึ่งเป็นน้ำมันที่มีรายงานการศึกษามาแล้วถึงผลที่ดีที่สุดในการยืดอายุการเก็บรักษาเนื้อปลาแบบแช่เย็น ซึ่งวิธีการที่ได้นี้สามารถใช้เป็นทางเลือกหนึ่งที่มีประสิทธิภาพในการยืดอายุการเก็บรักษาเนื้อปลาแล้ในระหว่างการเก็บรักษาแบบแช่เย็น

2. อุปกรณ์และวิธีการ

2.1 การเตรียมนาโนอิมัลชัน

เตรียมนาโนอิมัลชันชนิดน้ำมันในน้ำ (oil in water emulsion, O/W) ซึ่งประกอบด้วยน้ำมันพืช (น้ำมันเมล็ดทานตะวัน น้ำมันมะพร้าว และน้ำมันเนื้อเมล็ดปาล์ม) ร้อยละ 20 น้ำกลั่นร้อยละ 75 และอิมัลซิไฟเออร์ร้อยละ 5 ส่วนของอิมัลซิไฟเออร์นั้นจะใช้ Span 80 และ Tween 80 (Span 80 : Tween 80)

ในสัดส่วนที่ต่างกัน 5 ระดับ เพื่อให้มีค่า HLB ต่างกัน (ตารางที่ 1) ดังนี้ 1:0, 4:1, 3:2, 2:3, 1:4 และ 0:1 (น้ำหนัก/น้ำหนัก) เตรียมไมโครอิมัลชันด้วยการนำส่วนผสมทั้งหมดมาโฮโมจีไนซ์ที่ความเร็วรอบ 5,000 รอบ/นาที นาน 2 นาที แล้วจึงสร้างนาโนอิมัลชันด้วยการลดขนาดเม็ดไขมันด้วยเครื่องอัลตราโซนิกแบบโพรบ (probe sonicator) ที่กำลัง 40 วัตต์ แอมป์จูลจูละ 25 เป็นเวลา 15 นาที จากนั้นคัดเลือกนาโนอิมัลชันที่เตรียมจากอิมัลซิไฟเออร์ที่เหมาะสม กล่าวคือ ทำให้ได้นาโนอิมัลชันที่มีขนาดอนุภาคเล็กที่สุดและมีแนวโน้มทำให้อิมัลชันมีเสถียรภาพสูงที่สุด โดยพิจารณาจากขนาดอนุภาคเฉลี่ย (mean particle size diameter) และศักย์ซีต้า (zeta potential)

Table 1 Hydrophilic lipophilic balance (HLB) values of emulsifiers used in this study

Span 80 : Tween 80 ratio	HLB
1:0	4.30
4:1	6.44
3:2	8.53
2:3	10.72
1:4	12.86
0:1	15.00

2.1.1 การวิเคราะห์ขนาดอนุภาคเฉลี่ยและดัชนีการกระจายตัวของอนุภาค (polydispersity index; PDI) วิเคราะห์ขนาดอนุภาคเฉลี่ยและ PDI ของอนุภาคอิมัลชันตามวิธีของ Sotomayor-Gerding และคณะ [11] โดยใช้เทคนิค dynamic light scattering (DLS) ด้วยเครื่อง Zetasizer Nano-ZS90 (Malvern Instruments, Worcestershire, UK)

2.1.2 ค่าศักย์ซีต้า ซึ่งเป็นการวัดความต่าง

ศักย์ไฟฟ้าบริเวณพื้นผิวของอนุภาคด้วยการวัดการเคลื่อนที่ทางอิเล็กโทรโฟรีติก (electrophoretic mobility) ด้วยเครื่อง Zetasizer Nano-ZS90 (Malvern Instruments, Worcestershire, UK) โดยวัดที่อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส หลังจากเจือจางอิมัลชันในอัตราส่วน 1:100 (อิมัลชัน:น้ำกลั่น)

2.2 การเตรียมเนื้อปลากะพงแล้

ขนส่งปลากะพงเลี้ยงที่ยังมีชีวิตน้ำหนักเฉลี่ย 1 กิโลกรัม/ตัว มาล้างห้องปฏิบัติการแปรรูปอาหาร อาคารศูนย์เครื่องมือวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี 3 มหาวิทยาลัยวลัยลักษณ์ ภายในระยะเวลา 20 นาที จากนั้นบรรจุปลาในถังน้ำแข็งที่มีอัตราส่วนระหว่างปลาต่อน้ำแข็ง 1:2 (น้ำหนัก/น้ำหนัก) จนปลาตาย แล้วจึงนำปลามาล้างน้ำเย็นให้สะอาด ขอดเกล็ด ผ่าท้อง ควักไส้ และเครื่องใน จากนั้นแล้เนื้อปลาเป็นชิ้นขนาด 4×8×2.5 ซม. (กว้าง×ยาว×สูง) นำเนื้อปลาแล้มาล้างด้วยน้ำเกลือความเข้มข้นร้อยละ 0.4 อีกครั้ง เพื่อลดกลิ่นคาว แล้วจึงพักให้สะเด็ดน้ำนาน 1 นาที (4 °ซ) ก่อนที่จะนำมาเคลือบด้วยสารเคลือบผิวต่อไป

2.3 การเคลือบผิวเนื้อปลา

แบ่งเนื้อปลาแล้ออกเป็น 3 กลุ่ม ดังนี้ (1) กลุ่มควบคุม (เคลือบด้วยน้ำกลั่น) (2) เคลือบผิวด้วยนาโนอิมัลชันจากน้ำมันเมล็ดทานตะวัน (SFO nanoemulsion) (3) เคลือบผิวด้วยนาโนอิมัลชันจากน้ำมันมะพร้าว (CO nanoemulsion) และ (4) เคลือบผิวด้วยนาโนอิมัลชันจากน้ำมันเนื้อเมล็ดในปาล์ม (PKO nanoemulsion) โดยจุ่มเนื้อปลาแล้ลงในสารเคลือบแต่ละชนิด (เตรียมจากอิมัลซิไฟเออร์ที่คัดเลือกจากข้อ 2.1) เป็นเวลา 30 นาที ในตู้เย็น (4 °ซ) โดยมีการกวนทุก ๆ 5 นาที เพื่อกลับด้านเนื้อปลา จากนั้นนำเนื้อปลาแล้ที่ผ่านการเคลือบผิวด้วยสารเคลือบมาพักให้สะเด็ดน้ำนาน 5 นาที (4 °ซ) แล้วจึงบรรจุเนื้อปลาแล้ในถุง

โพลีโพรพิลีน (polypropylene) ปิดปากถุงให้สนิทด้วยเครื่องปิดผนึกแบบร้อน เก็บรักษาเนื้อปลาแล้ที่อุณหภูมิ 4 ± 0.3 °ซ เป็นเวลา 24 วัน แล้วจึงสุ่มตัวอย่างทุก ๆ 6 วัน เพื่อวิเคราะห์การเปลี่ยนแปลงสีและสมบัติทางเคมี-กายภาพที่เกี่ยวข้องกับการเปลี่ยนแปลงสีของเนื้อปลา ปริมาณจุลินทรีย์ทั้งหมด และสมบัติทางประสาทสัมผัส โดยต้องนำเนื้อปลามาวิเคราะห์ทันทีภายหลังจากการเปิดบรรจุภัณฑ์

2.4 การวิเคราะห์ค่าสีและสมบัติทางเคมี-กายภาพที่เกี่ยวข้องกับการเปลี่ยนแปลงสีของเนื้อปลา

2.4.1 วัดค่าสี (L^* , a^* และ b^*) โดยใช้เครื่อง Hunter Lab

2.4.2 วัดพีเอช โดยชั่งเนื้อปลา 1 กรัม เติมน้ำกลั่น 10 มิลลิลิตร แล้วไฮโมจีไนส์ที่ 13,400 รอบ/นาที่ นาน 1 นาที ที่อุณหภูมิห้อง แล้วจึงนำไปวัดค่าพีเอชด้วยเครื่อง pH meter [12]

2.4.3 วัดค่า a_w ด้วยเครื่อง Aqualab Series 3TE water activity meter

2.4.4 วิเคราะห์ความสามารถในการอุ้มน้ำ ด้วยการวัดปริมาณน้ำที่ซึมออกจากเจลตามวิธีของ Ng [13]

2.4.5 วิเคราะห์การออกซิเดชันของไขมัน โดยวิเคราะห์ค่า thiobarbituric acid reactive substances (TBARS) ตามวิธีของ Buege และ Aust [14] นำตัวอย่างจำนวน 0.5 กรัม มาไฮโมจีไนส์กับ 2.5 มิลลิลิตร ของสารผสมระหว่าง thiobarbituric acid ร้อยละ 0.375 trichoroacetic acid ร้อยละ 15 และ 0.25 N HCl นำส่วนผสมที่ได้ไปให้ความร้อนในน้ำเดือดอุณหภูมิ 95-100 °ซ นาน 10 นาที เพื่อทำให้เกิดสีชมพู แล้วจึงทำให้เย็นโดยให้น้ำไหลผ่าน นำไปหมุนเหวี่ยงที่ความเร็วรอบ 3,600xg ที่อุณหภูมิ 25 °ซ เป็นเวลา 20 นาที จากนั้นนำส่วนใสที่ได้ไปวัดค่าการ

ดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 532 นาโนเมตร นำค่าที่ได้ไปเปรียบเทียบกับกราฟมาตรฐาน ซึ่งเตรียมจาก 1,1,3,3-tetramethoxypropane ที่ความเข้มข้น 0-1 ppm คำนวณหาค่า TBARS โดยรายงานในหน่วย mg malonaldehyde equivalent/kg sample

2.4.6 วิเคราะห์ปริมาณเมทไมโอโกลบิน โดยสกัดเมทไมโอโกลบินตามวิธีของ Benjakul และ Bauer [15] โดยนำตัวอย่างที่ผ่านการบด (2 กรัม) ผสมกับ 40 mM phosphate buffer (พีเอช 6.8) แชนเย้น ปริมาตร 20 มิลลิลิตร จากนั้นนำของผสมไปไฮโมจีไนส์ที่ความเร็วรอบ 13,500 รอบ/นาที่ นาน 10 วินาที ตามด้วยการหมุนเหวี่ยงที่ความเร็วรอบ 3,000 รอบ/นาที่ นาน 30 นาที ที่อุณหภูมิ 4 °ซ นำส่วนใสมากรองผ่านกระดาษกรองเบอร์ 1 แล้วปรับปริมาตรเป็น 25 มิลลิลิตร ด้วยบัฟเฟอร์ที่ใช้ในการสกัด วัดค่าการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 525 และ 630 นาโนเมตร โดยใช้ 40 mM phosphate buffer (พีเอช 6.8) เป็น blank แล้วคำนวณสัดส่วนของ A_{630}/A_{525} เพื่อบ่งชี้ถึงปริมาณเมทไมโอโกลบิน หากสัดส่วนดังกล่าวมีค่าสูง แสดงว่ามีปริมาณเมทไมโอโกลบินมาก

2.4.7 วิเคราะห์ปริมาณเหล็กที่เป็นองค์ประกอบในฮีม (heme iron) [16] นำตัวอย่างที่สกัดได้จากข้อ 2.4.6 ไปวัดค่าการดูดกลืนแสงที่ 525 นาโนเมตร และคำนวณปริมาณ heme iron จากปริมาณเมทไมโอโกลบินซึ่งจะมี iron เป็นองค์ประกอบอยู่ร้อยละ 0.35 รายงานปริมาณ heme iron ในหน่วย มิลลิกรัม/100 กรัม

2.5 การวิเคราะห์ปริมาณจุลินทรีย์ทั้งหมด

วิเคราะห์ปริมาณจุลินทรีย์ทั้งหมด (total viable count, TVC) ตามวิธี AOAC [17]

2.6 การทดสอบทางประสาทสัมผัส

ประเมินลักษณะสี กลิ่น เนื้อสัมผัส และการยอมรับโดยรวมของเนื้อปลาดิบด้วยวิธี 9-point

hedonic scale (1=ไม่ชอบมากที่สุด ถึง 9=ชอบมากที่สุด) โดยใช้ผู้ทดสอบที่คุ้นเคยกับการบริโภคปลา จำนวน 30 คน และทดสอบเฉพาะวันที่ 0 และวันสุดท้ายที่จำนวนจุลินทรีย์ทั้งหมดไม่เกิน $7.0 \log_{10} \text{CFU/g}$

2.7 การวิเคราะห์ทางสถิติ

วางแผนการทดลองแบบ completely randomized design (CRD) ทดลองชุดการทดลองละ 3 ซ้ำ นำข้อมูลมาวิเคราะห์ผลด้วยตาราง ANOVA เปรียบเทียบค่าเฉลี่ยด้วย Duncan's multiple range test และวิเคราะห์ผลทางสถิติด้วยโปรแกรม Statistical Package for Social Science (SPSS, 22.0 for windows, SPSS Inc., Chicago, IL)

3. ผลการวิจัยและวิจารณ์

3.1 ผลของค่า HLB ของอิมัลซิไฟเออร์ต่อขนาดอนุภาคเฉลี่ยและค่าศักย์ซีต้าของนาโนอิมัลชัน

เพื่อให้สามารถเตรียมนาโนอิมัลชันที่มีขนาดอนุภาคเล็กที่สุดและมีเสถียรภาพสูงที่สุด จึงจำเป็นต้องศึกษาสัดส่วนของอิมัลซิไฟเออร์ผสม (mixed emulsifier) ที่เหมาะสม โดยที่ความเข้มข้นของอิมัลซิไฟเออร์ในระบบคงที่ที่ร้อยละ 5 โดยการเตรียมนาโนอิมัลชันนั้น จะใช้อิมัลซิไฟเออร์ผสม 2 ชนิด คือ Tween 80 และ Span 80 ในสัดส่วนต่าง ๆ เพื่อให้ค่า HLB แตกต่างกัน (ตารางที่ 1) เนื่องจากอิมัลซิไฟเออร์ผสมนี้จะทำให้ได้อิมัลชันที่มีขนาดอนุภาคไขมันเล็ก [18] การศึกษาพบว่าการใช้ Span 80 เพียงอย่างเดียว (สัดส่วน 1:0) ที่มีค่า HLB 4.30 จะทำให้นาโนอิมัลชันจากน้ำมันเนื้อเมล็ดในปาล์มและน้ำมันมะพร้าวมีขนาดอนุภาคเฉลี่ยเล็กที่สุดและยังมีค่า PDI ต่ำกว่า 0.7 (ตารางที่ 2) ซึ่งบ่งชี้ถึงการกระจายตัวของอนุภาคน้ำมันที่ค่อนข้างสม่ำเสมอ ส่วนนาโนอิมัลชันจากน้ำมันเมล็ดทานตะวันนั้น การใช้อิมัลซิไฟเออร์ผสม

ระหว่าง Span 80 และ Tween 80 ในสัดส่วน 1:0 และ 4:1 ซึ่งมีค่า HLB 4.30 และ 6.44 จะได้ขนาดอนุภาคเฉลี่ยของไขมันเล็กที่สุด (ตารางที่ 2) เป็นที่น่าสังเกตว่าขนาดอนุภาคเฉลี่ยของอิมัลชันจะมีค่าค่อนข้างใหญ่ โดยในทุกสภาวะของการศึกษา และค่าดังกล่าวจะสูงกว่า 100 นาโนเมตร อย่างไรก็ตาม ยังมีขนาดอนุภาคเฉลี่ยอยู่ในช่วงของนาโนตามรายงานของ Sanguansri และ Augustin [19] ซึ่งระบุว่าอนุภาคนาโน คือ อนุภาคที่มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางเฉลี่ยน้อยกว่า 1,000 นาโนเมตร ดังนั้นหากระบบใดมีขนาดอนุภาคเฉลี่ยสูงกว่า 1,000 นาโนเมตร จะไม่ถือว่าเป็นนาโนอิมัลชัน โดยการใช้อิมัลซิไฟเออร์ผสมระหว่าง Span 80 และ Tween 80 ในสัดส่วน 3:2 และ 2:3 จึงเป็นระบบที่ไม่สามารถสร้างนาโนอิมัลชันได้ (ตารางที่ 2) โดยทั่วไปอิมัลซิไฟเออร์จะเป็นตัวกั้นกลางระหว่างน้ำกับน้ำมัน แล้วจัดเรียงตัวหันส่วนที่มีขั้วไปในด้านของน้ำและส่วนที่ไม่มีขั้วไปยังด้านของน้ำมัน จึงช่วยลดแรงดึงผิวสัมผัสระหว่างกัน และยังเป็นเสมือนเยื่อหุ้มที่มีความยืดหยุ่น (viscoelastic film) ล้อมรอบอนุภาคของน้ำมัน จึงขัดขวางไม่ให้อนุภาคของน้ำมันรวมตัวกันหรือเกิดการจับตัวกันเป็นกลุ่มก้อน ทำให้ระบบอิมัลชันมีความคงตัวมากขึ้น

เมื่อพิจารณาค่าศักย์ซีต้า ซึ่งค่าศักย์ซีต้าคือ ค่าประจุบริเวณพื้นผิวอนุภาค โดยขนาดของศักย์ซีต้าแสดงให้เห็นถึงเสถียรภาพของระบบคอลลอยด์ โดยทั่วไปหากค่าศักย์ซีต้ามากกว่า +30 mV และ -30 mV จะทำให้ระบบคอลลอยด์มีเสถียรภาพที่ดี [2] จากการศึกษาพบว่าการใช้ Span 80 เพียงอย่างเดียว (สัดส่วน 1:0) จะทำให้ค่าศักย์ซีต้าของอิมัลชันทุกชนิดมีค่าติดลบสูงที่สุด (ตารางที่ 2) บ่งชี้ถึงนาโนอิมัลชันที่มีเสถียรภาพสูงที่สุด ขณะที่สัดส่วนของอิมัลซิไฟเออร์ที่ 1:4 และ 0:1 ทำให้ได้นาโนอิมัลชันที่มีค่าศักย์ซีต้าต่ำกว่า -30 mV แสดงให้เห็นว่าระบบนี้มีเสถียรภาพค่อนข้าง

Table 2 Z-Average and zeta potential (ZP) of nanoemulsions prepared using coconut oil (CO), palm kernel oil (PKO) and sunflower oil (SFO)

Span 80 : Tween 80 ratios	CO nanoemulsion		PKO nanoemulsion		SFO nanoemulsion	
	Z-average (nm)	ZP (mV)	Z-average (nm)	ZP (mV)	Z-average (nm)	ZP (mV)
1 : 0	219±5 ^a	-56.7±4.3 ^d	228±8 ^a	-53.7±0.8 ^{CA}	322±6 ^a	-58.1±1.4 ^e
4 : 1	744±6 ^b	-43.0±4.2 ^c	588±4 ^d	-51.3±0.8 ^{BA}	322±4 ^a	-40.4±1.2 ^d
3 : 2	1,340±5 ^e	-40.1±1.3 ^c	512±6 ^c	-47.2±0.7 ^{BA}	370±5 ^b	-39.4±1.0 ^c
2 : 3	1,060±22 ^d	-44.8±0.1 ^c	377±6 ^b	-32.2±0.6 ^{BC}	499±5 ^c	-36.3±1.3 ^b
1 : 4	893±91 ^c	-28.4±1.4 ^a	372±2 ^b	-33.1±0.4 ^{AA}	491±10 ^c	-33.2±0.7 ^b
0 : 1	890±37 ^c	-28.6±0.3 ^a	915±8 ^e	-26.3±0.8 ^{AC}	568±5 ^d	-20.7±1.0 ^a

* Values are given as means ± SD from triplicate determinations; ** Different letters in the same column indicate significant differences (p < 0.05).

ข้างต่ำ จึงมีแนวโน้มที่จะเกิดการแยกชั้นได้ง่าย เมื่อพิจารณาผลของขนาดอนุภาคเฉลี่ยและศักย์ซีต้าร่วมกันแล้ว จึงคัดเลือกอิมัลซิไฟเออร์ชนิด Span 80 เพียงอย่างเดียวสำหรับใช้ในการเตรียมนาโนอิมัลชันสำหรับใช้ในการเคลือบผิวปลา ซึ่งระบบดังกล่าวจะมีความคงตัวสูงกว่า 30 นาที โดยเป็นระยะเวลาที่ใช้ในระหว่างการเคลือบผิวเนื้อปลา

3.2 การเปลี่ยนแปลงสีของเนื้อปลากะพงแลหลังจากผ่านการเคลือบผิวด้วยนาโนอิมัลชัน

เมื่อนำนาโนอิมัลชันซึ่งเตรียมจากน้ำมันมะพร้าวและน้ำมันเนื้อเมล็ดในปาล์มมาเคลือบผิวเนื้อปลากะพงแล โดยการเตรียมนาโนอิมัลชันจะใช้ Span 80 ร้อยละ 5 เป็นอิมัลซิไฟเออร์ ซึ่งระบบดังกล่าวจะทำให้ขนาดอนุภาคเฉลี่ยของไขมันเล็กที่สุด (ตารางที่ 1) และมีเสถียรภาพสูงที่สุด เมื่อวิเคราะห์ค่าสีของเนื้อปลาแลที่ผ่านการเคลือบผิวด้วยนาโนอิมัลชันจากน้ำมันมะพร้าวและน้ำมันเนื้อเมล็ดในปาล์ม (L*, a* และ b*) เปรียบเทียบกับการเคลือบผิวด้วยน้ำกลั่น (ตัวอย่าง

ควบคุม) และนาโนอิมัลชันจากน้ำมันเมล็ดทานตะวัน ซึ่งเป็นนาโนอิมัลชันที่มีประสิทธิภาพสูงที่สุดเมื่อใช้เป็นการเคลือบผิวสเต็กปลาแปซิฟิกคิงแมกเคอเรลในระหว่างการเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 20 °ซ [7] โดยรูปที่ 1 แสดงการเปลี่ยนแปลงสีของเนื้อปลากะพงขาวแลที่ผ่านการเคลือบผิวในระหว่างการเก็บรักษาแบบแช่เย็นพบว่าค่า L* (ความสว่าง) ของทุกตัวอย่างมีแนวโน้มลดลงในระหว่างการเก็บรักษา (p < 0.05) (รูปที่ 1a) โดยเนื้อปลาที่ผ่านการเคลือบผิวด้วยนาโนอิมัลชันจากน้ำมันทั้ง 3 ชนิด มีแนวโน้มให้ค่า L* สูงกว่าชุดควบคุม ทั้งนี้การเปลี่ยนแปลงค่าความสว่างของเนื้อปลาอาจเป็นผลมาจากการออกซิเดชันของโมโนโกลบิน การเกิดปฏิกิริยาเมลลาร์ด การเปลี่ยนแปลงปริมาณน้ำอิสระในปลา และการเปลี่ยนแปลงโครงสร้างทางกายภาพของกล้ามเนื้อ [1,2] โดยทั่วไปค่าสีถูกนำมาใช้อย่างแพร่หลายเพื่อบอกลักษณะความสดของปลา ซึ่งส่งผลกระทบต่ออายุการยอมรับของผู้บริโภค การเคลือบผิวด้วยนาโนอิมัลชันอาจช่วยลดการสัมผัสและการซึมผ่าน

ของออกซิเจนในเนื้อปลา จึงช่วยลดการเกิดออกซิเดชันของรงควัตถุไมโอโกลบินไปเป็นเมทไมโอโกลบิน การออกซิเดชันของไขมัน การสูญเสียน้ำ หรือปฏิกิริยาทางชีวเคมีอื่น ๆ ส่งผลให้เกิดสีคล้ำของเนื้อปลาลดต่ำลง

เมื่อพิจารณาค่า a^* ของเนื้อปลากะพงแลที่ผ่านการเคลือบผิวด้วยสารเคลือบที่ต่างกัน พบว่าเนื้อปลาที่ผ่านการเคลือบด้วยนาโนอิมัลชันทุกชนิดและชุดควบคุมมีค่า a^* ตีตกเล็กน้อย บ่งชี้ถึงสีเขียว (รูปที่ 1b) ซึ่งปลากะพงขาวเป็นปลาเนื้อขาว จึงมีปริมาณไมโอโกลบินต่ำ ดังนั้นสีของเนื้อปลาจึงมีโทนสีเขียวมากกว่าที่จะเป็นสีแดง ซึ่งอาจเกิดจากการสะท้อนแสงของผิวหน้าของเนื้อปลาเมื่อเคลือบด้วยสารเคลือบผิว โดยค่า a^* ของตัวอย่างทั้งหมดมีแนวโน้มคงที่ในระหว่างการเก็บรักษา ($p > 0.05$) ยกเว้นในเนื้อปลาที่ผ่านการเคลือบผิวด้วยนาโนอิมัลชันจากน้ำมันเมล็ดทานตะวัน โดยมีแนวโน้มตีตกเพิ่มขึ้นเล็กน้อยหลังจากเก็บรักษานาน 12 วัน ซึ่งอาจเป็นผลมาจากการออกซิเดชันของกรดไขมันไม่อิ่มตัว ซึ่งน้ำมันดังกล่าวมีกรดไขมันไม่อิ่มตัวสูงกว่าน้ำมันชนิดอื่น จึงอาจส่งผลต่อเนื่องต่อการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันของรงควัตถุในเนื้อปลาหรือการออกซิเดชันของโปรตีนที่ผิวของเนื้อปลา ซึ่งอาจมีผลต่อโครงสร้างที่ผิว และอาจส่งผลต่อเนื่องต่อการเปลี่ยนแปลงระนาบการสะท้อนแสงที่ผิวของเนื้อปลา

การเปลี่ยนแปลงค่าสี b^* ของเนื้อปลาแลที่ผ่านการเคลือบผิวด้วยสารเคลือบที่ต่างกันแสดงในรูปที่ 1c โดยสีเหลือง (b^*) มีความสัมพันธ์อย่างใกล้ชิดกับการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันของไขมันในเนื้อปลา [20] โดยค่า b^* ของทุกตัวอย่างมีค่าลดลงอย่างรวดเร็วในช่วง 6 วันแรกของการเก็บรักษา จากนั้นมีแนวโน้มคงที่ (รูปที่ 1c) โดยเนื้อปลาที่ผ่านการเคลือบด้วยนาโนอิมัลชันจากน้ำมันมะพร้าวและน้ำมันเนื้อเมล็ดในปาล์ม

มีค่า b^* สูงกว่าชุดควบคุมและที่ผ่านการเคลือบด้วยนาโนอิมัลชันจากน้ำมันเมล็ดทานตะวัน บ่งชี้ถึงการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันในระดับที่ต่ำกว่า ทั้งนี้เนื่องจากน้ำมันทั้ง 2 ชนิด ดังกล่าวมีปริมาณกรดไขมันไม่อิ่มตัวต่ำกว่าน้ำมันเมล็ดทานตะวัน จึงส่งผลให้อัตราการเกิดออกซิเดชันของไขมันต่ำกว่าตามไปด้วย ซึ่งเชื่อมโยงต่อเนื่องไปถึงการลดลงของการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันของไมโอโกลบิน ซึ่งนำไปสู่การเปลี่ยนแปลงสี (discoloration) ของเนื้อปลา โดยการเคลือบผิวด้วยน้ำกลั่นจะไม่มีผลในการขัดขวางการสัมผัสและการซึมผ่านของออกซิเจนในเนื้อปลา ส่งผลให้เกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันในอัตราที่สูง จึงนำไปสู่การเปลี่ยนแปลงสีของเนื้อปลาที่สูงตามไปด้วย

3.3 การเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันของไขมัน

การเกิดออกซิเดชันของไขมันเหนี่ยวนำให้เกิดการออกซิเดชันของรงควัตถุไมโอโกลบิน ซึ่งนำไปสู่การเปลี่ยนแปลงสีของเนื้อปลา เมื่อติดตามการเกิดออกซิเดชันของไขมันด้วยการติดตามค่า thiobarbituric reactive substances (TBARS) ซึ่งเป็นการวิเคราะห์ปริมาณมาโลนาลดีไฮด์ (malonaldehyde) ที่เป็นผลิตภัณฑ์ขั้นที่ 2 จากการสลายตัวของไฮโดรเปอร์ออกไซด์ โดยสารประกอบแอลดีไฮด์ที่เกิดขึ้นนี้จะทำให้เกิดกลิ่นและกลิ่นรสที่ไม่พึงประสงค์ในอาหาร [21] โดยค่า TBARS จะใช้เป็นดัชนีบ่งชี้คุณภาพของผลิตภัณฑ์อาหารทะเลที่ใช้กันอย่างแพร่หลายในระหว่างการเก็บรักษาแบบแช่เย็น [22] ซึ่งค่า TBARS ของเนื้อปลาแช่เย็นไม่ได้มีกำหนดเป็นมาตรฐานชัดเจน แต่มีรายงานว่าค่า TBARS สูงสุดไม่ควรเกิน 8 mg MDA/kg สำหรับเนื้อปลา [23] การทดลองพบว่าค่า TBARS ของเนื้อปลาแลที่ผ่านการเคลือบผิวด้วยนาโนอิมัลชันทั้งหมดและตัวอย่างควบคุมมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นตลอดระยะเวลาการเก็บรักษานาน 24 วัน (รูปที่ 2) โดยเนื้อปลาแลที่ผ่านการเคลือบด้วยนาโนอิมัลชัน

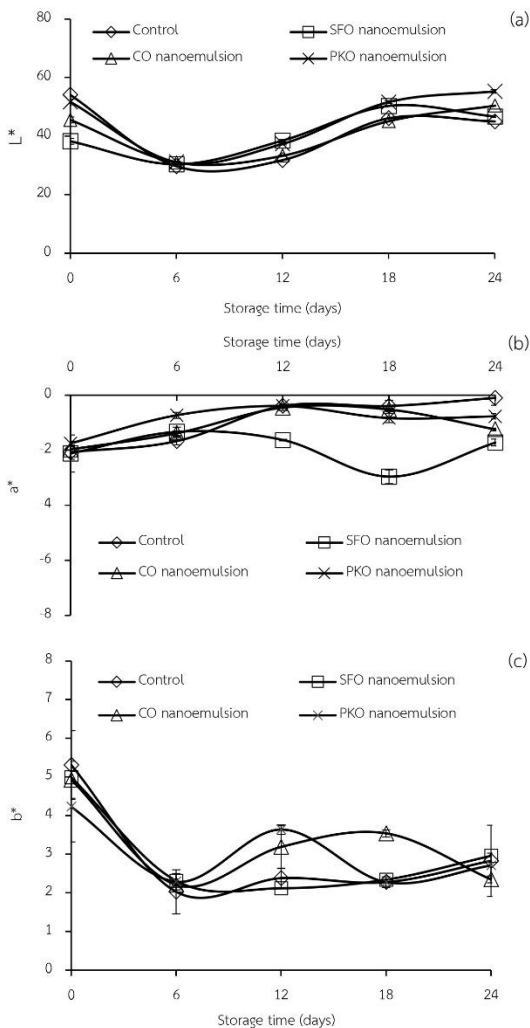


Figure 1 Changes in L* (a), a* (b) และ b* (c) of sea bass fillets coated with different nanoemulsions during chilled storage. (*The bars indicate standard deviation from triplicate determinations)

ที่เตรียมจากน้ำมันมะพร้าวและน้ำมันเนื้อเมล็ดในปาล์มมีค่าต่ำกว่าตัวอย่างควบคุมและเนื้อปลาที่ผ่านการเคลือบด้วยนาโนอิมัลชันจากน้ำมันเมล็ดทานตะวัน อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$) ทั้งนี้เพราะน้ำมันทั้ง 2 ชนิด ดังกล่าวมีปริมาณของกรดไขมันไม่อิ่มตัวต่ำ โดยมีกรดลอริกซึ่งเป็นกรดไขมันอิ่มตัวเป็น

องค์ประกอบหลัก จึงมีแนวโน้มเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันได้ในระดับต่ำ รวมทั้งอาจเป็นผลจากการที่สารเคลือบทั้ง 2 ชนิด มีผลในการลดการซึมผ่านของออกซิเจนเข้าสู่เนื้อปลา จึงส่งผลในการลดการเกิดออกซิเดชันของไขมัน เป็นที่น่าสังเกตว่าเนื้อปลาที่ผ่านการเคลือบด้วยนาโนอิมัลชันจากน้ำมันเมล็ดทานตะวันมีค่า TBARS สูงกว่าตัวอย่างควบคุมในช่วงการเก็บรักษานาน 6-12 วัน แต่เมื่อเก็บรักษาผ่านไป 24 วันพบว่าค่า TBARS ของทั้ง 2 กลุ่มตัวอย่าง มีค่าอยู่ในระดับเดียวกัน ทั้งนี้อาจเป็นเพราะในช่วงแรกนั้นอิทธิพลจากความไม่อิ่มตัวของกรดไขมันในน้ำมันเมล็ดทานตะวันส่งผลในระดับสูงกว่าต่อการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชัน ขณะที่ในช่วงหลังของการเก็บรักษานั้น การซึมผ่านของออกซิเจนที่สูงในตัวอย่างควบคุม จะส่งผลเร่งการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันของไขมันให้สูงขึ้น ทำให้ในช่วงสุดท้ายของการเก็บรักษานั้น ค่า TBARS ของทั้ง 2 ชุดการทดลอง มีค่าที่ไม่แตกต่างกัน ($p > 0.05$)

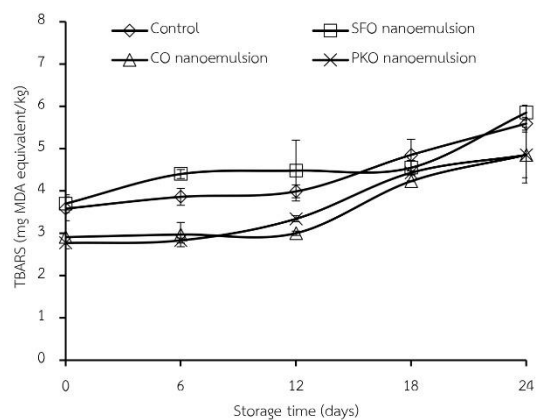


Figure 2 Changes in TBARS of sea bass fillets coated with different nanoemulsions during chilled storage. (* The bars indicate standard deviation from triplicate determinations)

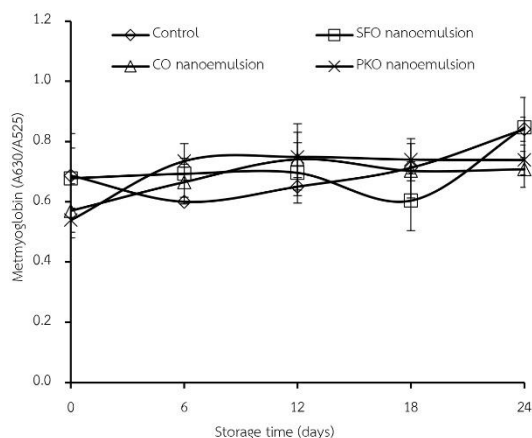


Figure 3 Changes in metmyoglobin content of sea bass fillets coated with different nanoemulsions during chilled storage. (* The bars indicate standard deviation from triplicate determinations)

3.4 การเปลี่ยนแปลงปริมาณเมทไมโอโกลบิน และเหล็กที่อยู่ในฮีม

รณรงค์ไม่ไอโกลบินเป็นรณรงค์ที่ดีที่ให้เห็นผลในเนื้อสัตว์ อย่างไรก็ตาม ภายหลังจากที่สัตว์ตายจะเกิดการเปลี่ยนแปลงทางชีวเคมีของรณรงค์ดังกล่าว โดยเฉพาะอย่างยิ่งการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชัน ส่งผลทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงสีของเนื้อสัตว์ ดังนั้นการติดตามปริมาณเมทไมโอโกลบินซึ่งเป็นรูปออกซิไดส์ของไมโอโกลบินที่มีสีน้ำตาล จึงสามารถใช้เป็นดัชนีหนึ่งในการติดตามการเปลี่ยนแปลงสีของเนื้อสัตว์ในระหว่างการเก็บรักษา การทดลองพบว่าปริมาณเมทไมโอโกลบินในเนื้อปลาแล้ทั้งหมดมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นเล็กน้อยในระหว่างการเก็บรักษานาน 24 วัน (รูปที่ 3) เป็นที่น่าสังเกตว่าปริมาณเมทไมโอโกลบินเริ่มต้น (วันที่ 0) ของเนื้อปลาแล้ชุดควบคุมและที่ผ่านการเคลือบด้วยนาโนอิมัลชันจากน้ำมันเมล็ดทานตะวันมีค่าสูงกว่าเนื้อปลาแล้ที่ผ่านการเคลือบผิวด้วยนาโนอิมัลชันที่เตรียมจากน้ำมันมะพร้าวและน้ำมันเมล็ดในปาล์ม (รูปที่

3) ทั้งนี้อาจเป็นเพราะเกิดการออกซิเดชันของไมโอโกลบิน แต่หลังจากนั้นค่าดังกล่าวมีค่าใกล้เคียงกันในทุกตัวอย่าง ทั้งนี้ปลากะพงเป็นปลาเนื้อขาวจึงมีรงควัตถุไมโอโกลบินต่ำ ดังนั้นจึงอาจพบการเปลี่ยนแปลงของอนุพันธ์ของสารสีดังกล่าวไม่ชัดเจนนัก ทั้งนี้ปริมาณรงควัตถุที่พบในปริมาณต่ำอาจเกี่ยวข้องกับการลดลงของความสามารถในการสกัดเม็ดสีเมื่อระยะเวลาเก็บรักษาเพิ่มขึ้น ซึ่งเกิดจากปฏิกิริยาระหว่างเม็ดสีและส่วนประกอบของกล้ามเนื้อ เช่น โปรตีนไมโอไฟบริล และ/หรือเยื่อหุ้มเซลล์ [24,25]

การเปลี่ยนแปลงปริมาณเหล็กที่เป็นองค์ประกอบในฮีมแสดงในรูปที่ 4 พบว่าเมื่อระยะเวลาการเก็บรักษาเพิ่มขึ้นจะทำให้ปริมาณเหล็กที่เป็นองค์ประกอบในฮีมในทุกตัวอย่างมีค่าลดลง ($p < 0.05$) บ่งชี้ถึงการหลุดออกของเหล็กที่อยู่ในโครงสร้างของฮีมในเนื้อปลาไปเป็นเหล็กอิสระ (free iron) Chaijan และคณะ [26] รายงานว่าการลดลงของปริมาณเหล็กที่เป็นองค์ประกอบในฮีมในกล้ามเนื้อมีความสัมพันธ์ในทางตรงข้ามกับปริมาณเหล็กที่ไม่ได้เป็นองค์ประกอบในฮีม ซึ่งการลดลงของปริมาณเหล็กที่เป็นองค์ประกอบในฮีมตามระยะเวลาของการเก็บรักษาที่เพิ่มขึ้นน่าจะเกิดจากการสูญเสียโครงสร้างดั้งเดิมของโปรตีนฮีมเนื่องจากความเย็น (cold denaturation) ในระหว่างเก็บรักษาและการออกซิเดชันของโปรตีนซึ่งเป็นผลต่อเนื่องจากการออกซิเดชันของไขมันเป็นต้น ส่งผลให้เหล็กหลุดออกมาจากโครงสร้างดังกล่าว โดยเหล็กอิสระนี้สามารถเร่งการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันของไขมันและโปรตีนในเนื้อปลาได้อย่างต่อเนื่อง โดยเนื้อปลาที่ผ่านการเคลือบด้วยนาโนอิมัลชันที่เตรียมจากน้ำมันมะพร้าวและน้ำมันเมล็ดในปาล์มมีปริมาณเหล็กที่เป็นองค์ประกอบในฮีมสูงกว่าเนื้อปลาชุดควบคุมและที่ผ่านการเคลือบด้วยนาโนอิมัลชันจากน้ำมันเมล็ดทานตะวัน (รูปที่ 4) บ่งชี้ถึงการ

เคลือบเนื้อปลาด้วยนาโนอิมัลชันจากน้ำมันทั้ง 2 ชนิด ดังกล่าวมีประสิทธิภาพในการลดการสูญเสียเหล็กออกจากซีมีได้อย่างมีประสิทธิภาพ ผลดังกล่าวสอดคล้องกับการออกซิเดชันของไขมัน ซึ่งพบระดับการออกซิเดชันของไขมันในเนื้อปลาที่ผ่านการเคลือบด้วยนาโนอิมัลชันที่เตรียมจากน้ำมันมะพร้าวและน้ำมันเนื้อเมล็ดในปาล์มมีค่าต่ำกว่าที่เคลือบด้วยน้ำมันเมล็ดทานตะวันและชุดควบคุม (รูปที่ 2) ทั้งนี้เหล็กอิสระสามารถเร่งการเกิดออกซิเดชันของทั้งไขมันและโปรตีนในเนื้อปลาได้เป็นอย่างดี

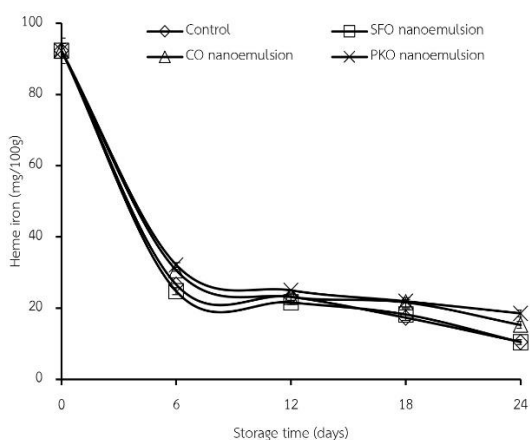


Figure 4 Changes in heme iron content of sea bass fillets coated with different nanoemulsions during chilled storage. (* The bars indicate standard deviation from triplicate determinations.)

3.5 การเปลี่ยนแปลงฟิเอซ ความสามารถในการอุ้มน้ำ และปริมาณน้ำอิสระ

การเปลี่ยนแปลงฟิเอซมีความสัมพันธ์ทางอ้อมกับการเปลี่ยนแปลงสีของเนื้อปลา โดยทั่วไปหลังจากที่ปลาตาย จะทำให้ฟิเอซของเนื้อปลามีแนวโน้มลดลงหรือเพิ่มขึ้นเล็กน้อย ทั้งนี้เพราะการหายใจในกล้ามเนื้อจะเข้าสู่การหายใจแบบไม่ใช้

ออกซิเจน ทำให้เกิดการสร้างกรดแลกติกขึ้นในกล้ามเนื้อ อย่างไรก็ตาม เนื้อปลามีปริมาณไกลโคเจนสะสมค่อนข้างต่ำ จึงทำให้ฟิเอซมีค่าลดลงเพียงเล็กน้อย นอกจากนี้การสร้างสารประกอบไนโตรเจนเบสชนิดต่าง ๆ (nitrogen base compound) จากการแตกตัวของสารประกอบเอมีน อาจส่งผลให้ค่าฟิเอซของเนื้อปลาเพิ่มขึ้นเล็กน้อย โดยทั่วไปค่าฟิเอซของเนื้อปลาที่มีชีวิตมีค่าใกล้เคียงกับ 7 แต่ค่าฟิเอซของเนื้อปลาหลังการตายสามารถเปลี่ยนแปลงได้จาก 6.0 ถึง 7.1 ขึ้นอยู่กับฤดูกาล ชนิดของปลา และปัจจัยแวดล้อมอื่น ๆ [27,28] โดยการเปลี่ยนแปลงของฟิเอซนี้มีผลต่อการเสถียรภาพธรรมชาติของโปรตีนและความสามารถในการอุ้มน้ำของโปรตีนกล้ามเนื้อ ส่งผลให้เกิดการเปลี่ยนแปลงระนาบการสะท้อนแสงที่ผิวของเนื้อปลา ซึ่งนำมาสู่การเปลี่ยนแปลงสีของเนื้อปลาในที่สุด โดยการเปลี่ยนแปลงฟิเอซของเนื้อปลาจะพหุขบวนการที่ผ่านการเคลือบผิวด้วยสารเคลือบชนิดที่ต่างกันในระหว่างการเก็บรักษาแบบแช่เย็นแสดงในรูปที่ 5 พบว่าค่าฟิเอซเริ่มต้นของเนื้อปลา 6.62-7.07 โดยฟิเอซของเนื้อปลาชุดควบคุม เนื้อปลาที่ผ่านการเคลือบด้วยนาโนอิมัลชันจากน้ำมันมะพร้าวและน้ำมันเมล็ดทานตะวันมีค่าลดลงเมื่อผ่านการเก็บรักษานาน 6 วัน หลังจากนั้นค่าฟิเอซมีแนวโน้มคงที่ (รูปที่ 5) ผลดังกล่าวสอดคล้องกับรายงานของ Shadman และคณะ [8] พบการลดลงของฟิเอซในช่วงแรกของการเก็บรักษาแบบแช่เย็นของเนื้อปลาเทราซ์แลที่ผ่านการเคลือบด้วยนาโนอิมัลชันจากน้ำมันเมล็ดทานตะวัน ผสมกับน้ำมันหอมระเหย ซึ่งเกิดจากการสลายตัวของไกลโคเจนไปเป็นกรดแลกติก ส่วนเนื้อปลาที่ผ่านการเคลือบด้วยนาโนอิมัลชันจากน้ำมันเนื้อเมล็ดในปาล์มมีค่าค่อนข้างคงที่ในช่วง 18 วันของการเก็บรักษา แต่ค่าดังกล่าวมีค่าเพิ่มขึ้นเล็กน้อยในวันที่ 24 ของการเก็บรักษา โดยการเพิ่มขึ้นของฟิเอซอาจเกิดจากการสร้าง

สารประกอบต่างๆที่ระเหยง่าย (เช่น แอมโมเนีย ไตรเมทิลมีน) ที่ผลิตโดยเชื้อจุลินทรีย์หรือเอนไซม์จากแหล่งภายนอก [29,30] อย่างไรก็ตาม การสลายตัวของสารประกอบไนโตรเจนในเนื้อปลาจะเพิ่มค่าความเป็นกรด [31] ดังนั้นการเปลี่ยนแปลงพีเอชของเนื้อปลาขึ้นกับอัตราการสร้างสารประกอบต่างไนโตรเจน การสลายตัวของสารประกอบดังกล่าว และการผลิตกรดแลกติกจากการหายใจแบบไม่ใช้ออกซิเจน

ความสามารถในการอุ้มน้ำของโปรตีนกล้ามเนื้อขึ้นอยู่กับการเปลี่ยนแปลงโครงสร้างของโปรตีน ความยาวของซาคโคเมอร์ พีเอช ความแรงของไอออนิก ความดันออสโมติก และชั้นของการเกร็งตัวของกล้ามเนื้อ [32] โดยความสามารถในการอุ้มน้ำของเนื้อปลากะพงแล้ที่ผ่านการเคลือบด้วยนาโนอิมัลชันในระหว่างการเก็บแบบแช่เย็น (4 ± 0.5 °ซ) แสดงในรูปที่ 6 พบว่าความสามารถในการอุ้มน้ำของเนื้อปลาแล้ทั้งหมดมีแนวโน้มลดลง กล่าวคือ มีปริมาณน้ำซึมออกจากกล้ามเนื้อเพิ่มขึ้นตามระยะเวลาของการเก็บรักษา โดยมีค่าร้อยละ 7.54-39.36 เนื้อปลาที่ผ่านการเคลือบด้วยนาโนอิมัลชันทุกชนิดมีปริมาณน้ำซึมออกจากกล้ามเนื้อต่ำกว่าชุดควบคุม (รูปที่ 6) ทั้งนี้เพราะการเคลือบด้วยสารประเภทไขมันจะมีผลช่วยลดการซึมของน้ำออกจากโครงสร้างของเนื้อปลา โดยผลในลักษณะเดียวกันพบในรายงานของ Özogul และคณะ [9] ซึ่งพบว่าเนื้อปลากะพงที่ผ่านการเคลือบด้วยนาโนอิมัลชันมีความสามารถในการอุ้มน้ำที่ดีกว่าตัวอย่างที่ไม่ผ่านการเคลือบผิว เมื่อสิ้นสุดการเก็บรักษานาน 24 วันแล้ว เนื้อปลากะพงที่ผ่านการเคลือบผิวด้วยนาโนอิมัลชันจากน้ำมันมะพร้าวมีปริมาณน้ำซึมออกมาน้อยที่สุด ($p < 0.05$) บ่งชี้ถึงการมีความสามารถในการอุ้มน้ำที่สูงกว่าตัวอย่างอื่น ๆ ทั้งนี้อิทธิพลของนาโนอิมัลชันจากน้ำมันต่างชนิดกันในการเคลือบผิวเนื้อปลาต่อการซึมผ่านของน้ำนั้น น่าจะมีผลที่ไม่ต่างกัน

ระหว่างน้ำมันเมล็ดทานตะวัน น้ำมันมะพร้าว และน้ำมันเนื้อเมล็ดในปาล์ม แต่ผลที่ต่างกันนี้อาจเป็นเพราะน้ำมันมะพร้าวมีความสามารถในการชะลอการเปลี่ยนแปลงจากปฏิกิริยาที่ส่งผลต่อการสูญเสียโครงสร้างธรรมชาติของโปรตีนกล้ามเนื้อได้ดีกว่าน้ำมันชนิดอื่น ๆ ส่งผลต่อเนื้อให้โปรตีนกล้ามเนื้อที่มีความสามารถในการอุ้มน้ำสูงตามด้วย โดยการสูญเสียน้ำออกจากโครงสร้างของเนื้อปลากะพงแล้มีผลให้เนื้อปลามีสีคล้ำขึ้น ซึ่งสอดคล้องกับการลดลงของค่า L^* ของเนื้อปลาในระหว่างการเก็บรักษา (รูปที่ 1a)

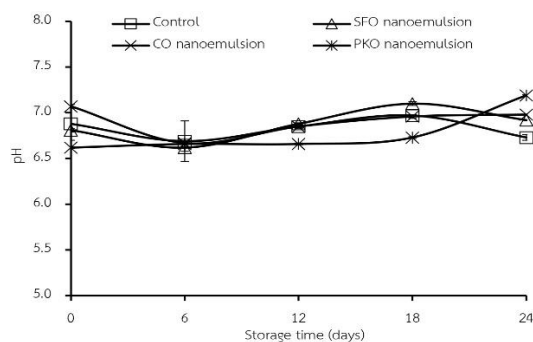


Figure 5 Changes in pH of sea bass fillets coated with different nanoemulsions during chilled storage. (* The bars indicate standard deviation from triplicate determinations.)

รูปที่ 7 แสดงการเปลี่ยนแปลงค่า a_w ของเนื้อปลากะพงแล้ในระหว่างการเก็บแบบแช่เย็น (4 ± 0.5 °ซ) ซึ่งพบว่าตัวอย่างทั้งหมดมีค่า a_w 0.93-0.98 ตลอดระยะเวลาของการเก็บรักษานาน 24 วัน ทั้งนี้เนื้อปลาสดเป็นอาหารที่มีค่า a_w สูง จึงเกิดการเน่าเสียได้ง่าย ทั้งนี้การเคลือบผิวด้วยสารเคลือบประเภทนาโนอิมัลชันมีผลเพียงเล็กน้อยต่อการเปลี่ยนแปลงค่า a_w ของเนื้อปลากะพงแล้ในระหว่างการเก็บรักษาแบบแช่เย็น เป็นที่น่าสังเกตว่าแม้ความสามารถในการอุ้มน้ำ

ของเนื้อปลามีค่าลดลงในระหว่างการเก็บรักษา (รูปที่ 6) แต่จะมีผลเพียงเล็กน้อยต่อค่า a_w ของเนื้อปลา (รูปที่ 7) โดยค่า a_w แสดงถึงปริมาณน้ำอิสระซึ่งมีความสำคัญต่ออายุการเก็บรักษา การเสื่อมเสีย และความปลอดภัยของอาหาร

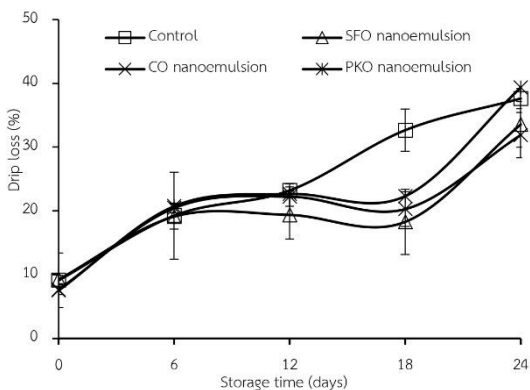


Figure 6 Changes in drip loss of sea bass fillets coated with different nanoemulsions during chilled storage. (* The bars indicate standard deviation from triplicate determinations.)

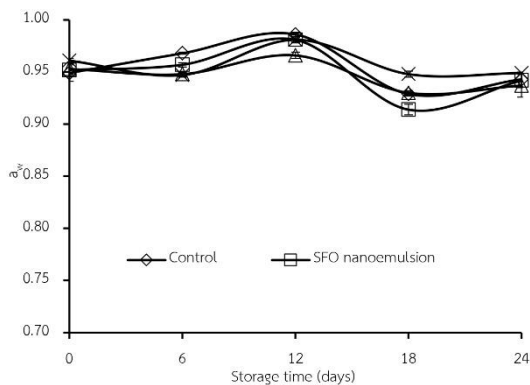


Figure 7 Changes in a_w of sea bass fillets coated with different nanoemulsions during chilled storage. (* The bars indicate standard deviation from triplicate determinations.)

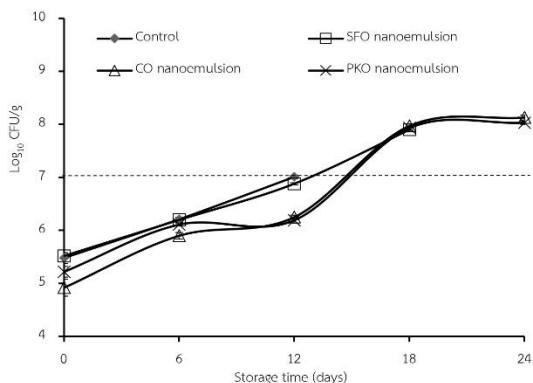


Figure 8 Changes in total viable count (TVC) of sea bass fillets coated with different nanoemulsions during chilled storage. The dashed line represents the maximum limit for consumption (7.0 \log_{10} CFU/g). (* The bars indicate standard deviation from triplicate determinations.)

3.6 การเปลี่ยนแปลงปริมาณจุลินทรีย์ทั้งหมด

การเปลี่ยนแปลงปริมาณจุลินทรีย์ทั้งหมด (total viable count, TVC) ของเนื้อปลากะพงแล้ในระหว่างการเก็บรักษาแบบแช่เย็นแสดงดังรูปที่ 8 ซึ่งพบว่าปริมาณจุลินทรีย์เริ่มต้นของชุดควบคุม เนื้อปลาที่ผ่านการเคลือบด้วยนาโนอิมัลชันจากน้ำมันเมล็ดทานตะวัน น้ำมันมะพร้าว และน้ำมันเนื้อเมล็ดในปาล์ม มีค่า 5.48 ± 0.10 , 5.52 ± 0.06 , 4.92 ± 0.16 และ $5.22 \pm 0.10 \log_{10}$ CFU/g ตามลำดับ โดยปริมาณจุลินทรีย์ของเนื้อปลาทั้งหมดมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่องตามระยะเวลาของการเก็บรักษา ($p < 0.05$) สำหรับชุดควบคุมนั้น ปริมาณจุลินทรีย์มีค่าเกินระดับที่ยอมรับได้ กล่าวคือ เกินกว่า $7.0 \log_{10}$ CFU/g สำหรับผลิตภัณฑ์ปลาและอาหารทะเล [33] ในวันที่ 12 ของการเก็บรักษา ส่วนปริมาณจุลินทรีย์ทั้งหมดของเนื้อ

ปลากะพงแห้งที่ผ่านการเคลือบด้วยนาโนอิมัลชันทุกชนิดมีค่าต่ำกว่าชุดควบคุมอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$) โดยปริมาณจุลินทรีย์ทั้งหมดของเนื้อปลาที่ผ่านการเคลือบด้วยนาโนอิมัลชันจากน้ำมันเมล็ดทานตะวันมีค่าเกิน $7.0 \log_{10}$ CFU/g ในวันที่ 13 ของการเก็บรักษา บ่งชี้ว่าการเคลือบผิวด้วยนาโนอิมัลชันจากน้ำมันดังกล่าวช่วยยืดอายุการเก็บรักษาเนื้อปลากะพงแห้งได้นานขึ้นเพียง 1 วัน ผลดังกล่าวสอดคล้องกับรายงานของ Yazgan และคณะ [3] ซึ่งพบว่าสามารถยืดอายุการเก็บรักษาเนื้อปลากะพงได้นานขึ้น 1-2 วัน เมื่อนำเนื้อปลาดังกล่าวมาเคลือบด้วยนาโนอิมัลชันจากน้ำมันเมล็ดทานตะวัน ส่วนเนื้อปลาที่ผ่านการเคลือบด้วยนาโนอิมัลชันจากน้ำมันมะพร้าวและนาโนอิมัลชันจากน้ำมันเนื้อเมล็ดในปาล์มมีจำนวนเชื้อจุลินทรีย์ทั้งหมดใกล้เคียงกันและเป็นค่าที่ต่ำที่สุดตลอดระยะเวลาของการเก็บรักษานาน 24 วัน ซึ่งมีค่าเกินกว่าระดับที่ยอมรับได้หลังจากเก็บรักษาแบบแช่เย็นนาน 15 วัน ดังนั้นเมื่อเปรียบเทียบกับชุดควบคุมแล้ว เนื้อปลาที่ผ่านการเคลือบด้วยนาโนอิมัลชันจากน้ำมันมะพร้าวและนาโนอิมัลชันจากน้ำมันเนื้อเมล็ดในปาล์มช่วยยืดอายุการเก็บรักษาเนื้อปลากะพงแห้งได้นานขึ้น 3 วัน ทั้งนี้ น้ำมันมะพร้าวและน้ำมันเนื้อเมล็ดในปาล์มมีกรดลอริกเป็นองค์ประกอบสูง ซึ่งกรดไขมันดังกล่าวมีฤทธิ์ในการยับยั้งการเจริญของจุลินทรีย์ได้สูงที่สุดเมื่อเปรียบเทียบกับกรดไขมันชนิดอื่น ดังนั้นการเคลือบผิวเนื้อปลาด้วยนาโนอิมัลชันจากน้ำมันมะพร้าวและน้ำมันเนื้อเมล็ดในปาล์มซึ่งมีกรดลอริกในปริมาณสูงจะช่วยยับยั้งการเจริญของจุลินทรีย์ได้อย่างมีประสิทธิภาพเมื่อเปรียบเทียบกับชุดควบคุมและการเคลือบผิวด้วยนาโนอิมัลชันจากน้ำมันเมล็ดทานตะวัน ซึ่งเป็นน้ำมันที่มีรายงานว่ามีประสิทธิภาพสูงสุดในการยืดอายุการเก็บรักษาเนื้อปลาแปซิฟิกคิงแมกเคอเรล [7] Özogul และคณะ [9] รายงานว่าจากการวิเคราะห์

ปริมาณจุลินทรีย์ทั้งหมดนั้น อายุการเก็บรักษาเนื้อปลากะพงขาวชุดควบคุมอยู่ที่ 8 วัน ขณะที่ปลากะพงขาวที่ผ่านการเคลือบผิวด้วยนาโนอิมัลชันจากน้ำมันพืช 6 ชนิด เพิ่มขึ้นเป็น 10 วัน ผลที่คล้ายกันรายงานโดย Yazgan และคณะ [3] สำหรับปลากะพงขาวและปลากะพงแดงที่ผ่านการเคลือบผิวด้วยนาโนอิมัลชันจากน้ำมันเมล็ดทานตะวัน โดยปลากะพงขาวมีอายุการเก็บรักษาเพิ่มขึ้นจาก 5 เป็น 7 วัน และปลากะพงแดงมีอายุการเก็บรักษาเพิ่มขึ้นจาก 4 เป็น 6 วัน

3.7 คุณลักษณะทางประสาทสัมผัส

ผลการวิเคราะห์คุณลักษณะทางประสาทสัมผัสของเนื้อปลากะพงขาวแห้งที่ผ่านการเคลือบผิวด้วยสารเคลือบชนิดที่ต่างกันในช่วงการเก็บรักษาแบบแช่เย็นแสดงดังตารางที่ 3 โดยทดสอบในวันเริ่มต้นและวันสุดท้ายของการเก็บรักษาที่ปริมาณเชื้อจุลินทรีย์ทั้งหมดมีค่าไม่เกินกว่าค่ามาตรฐานด้านความปลอดภัยในการบริโภค ($< 7.0 \log_{10}$ CFU/g) พบว่าทุกตัวอย่างมีแนวโน้มของความชอบด้านสีลดลง เมื่อพิจารณาคุณลักษณะด้านกลิ่นของเนื้อปลากะพงแห้ง พบว่าเนื้อปลากะพงแห้งทั้งที่ผ่านและไม่ผ่านการเคลือบผิวด้วยนาโนอิมัลชันมีแนวโน้มคะแนนความชอบด้านกลิ่นลดลง โดยชุดควบคุมได้รับคะแนนความชอบด้านกลิ่นต่ำกว่าเนื้อปลาที่ผ่านการเคลือบด้วยนาโนอิมัลชัน ($p < 0.05$) ซึ่งสอดคล้องกับค่า TBARS ซึ่งบ่งชี้การเกิดกลิ่นหืนและชุดควบคุมมีค่า TBARS สูงที่สุด (รูปที่ 2) โดยเนื้อปลาที่ผ่านการเคลือบผิวด้วยนาโนอิมัลชันจากน้ำมันมะพร้าวและน้ำมันเนื้อในเมล็ดปาล์มจะมีแนวโน้มได้รับคะแนนความชอบด้านกลิ่นสูงที่สุดเมื่อเปรียบเทียบกับวันสุดท้ายของการทดสอบ เป็นที่น่าสังเกตว่าเนื้อปลาที่ผ่านการเคลือบผิวด้วยนาโนอิมัลชันจากน้ำมันเมล็ดทานตะวันจะมีคะแนนความชอบด้านกลิ่นลดลงจนมีค่าใกล้เคียงกับชุดควบคุมในวันสุดท้ายของการทดสอบ ส่วนคุณลักษณะด้านเนื้อสัมผัสของ

เนื้อปลากะพงแช่ที่ผ่านการเคลือบและไม่เคลือบผิวด้วยนาโนอิมัลชันนั้น พบว่าทุกชุดการทดลองมีคะแนนด้านเนื้อสัมผัสในช่วงเวลาเริ่มต้นและวันสุดท้ายไม่แตกต่างกัน (ตารางที่ 3) ทั้งนี้เนื้อปลาที่ผ่านการเคลือบผิวด้วยนาโนอิมัลชันจากน้ำมันมะพร้าวมีแนวโน้มได้รับคะแนนความชอบด้านเนื้อสัมผัสสูงที่สุดในวันสุดท้ายของการเก็บรักษา บ่งชี้ถึงประสิทธิภาพที่สูงกว่าของนาโนอิมัลชันของน้ำมันมะพร้าวในด้านการคงเนื้อสัมผัสของเนื้อปลากะพงแช่ เมื่อพิจารณาคะแนนความชอบโดยรวมของเนื้อปลากะพงแช่ พบว่ามีแนวโน้มคล้ายคลึงกับคะแนนด้านเนื้อสัมผัส กล่าวคือ ทุกชุดการทดลองมีคะแนนความชอบโดยรวมในช่วงเวลาเริ่มต้นไม่แตกต่างกัน แต่ในช่วงท้ายของการเก็บรักษาเนื้อปลาที่ผ่านการเคลือบด้วยนาโนอิมัลชันทุกชนิดจะได้รับคะแนนความชอบโดยรวมไม่แตกต่างจากชุดควบคุม ยกเว้นการใช้ น้ำมันดอกทานตะวันซึ่งมีคะแนนความชอบโดยรวมลดลง โดยเนื้อปลาที่ผ่านการเคลือบผิวด้วยนาโนอิมัลชันจากน้ำมันมะพร้าวจะมีแนวโน้มคะแนนความชอบโดยรวมสูงที่สุดในช่วงวันสุดท้ายของการเก็บรักษา แสดงให้เห็นว่าเนื้อปลาที่ผ่านเคลือบผิวด้วยนาโนอิมัลชันจากน้ำมันมะพร้าวยังคงรักษาคุณลักษณะด้านประสาทสัมผัสของเนื้อปลาได้ดีที่สุด

ทั้งนี้อาจเป็นผลเนื่องจากองค์ประกอบในน้ำมันมะพร้าวที่มีสารโทโคฟีรอล สารประกอบฟีนอลิก และกรดไขมันสายกลาง ซึ่งสามารถป้องกันการเกิดออกซิเดชันและยับยั้งการเจริญของจุลินทรีย์ได้ดี จึงทำให้คุณภาพของเนื้อปลาเป็นที่ยอมรับมากที่สุด Özogul และคณะ [9] รายงานว่าเนื้อปลากะพงแช่ที่ผ่านการเคลือบผิวด้วยนาโนอิมัลชันจากน้ำมันพืชชนิดต่าง ๆ มีกลิ่นเป็นที่ยอมรับ ขณะที่ชุดควบคุมจะเกิดกลิ่นกรดและกลิ่นที่ไม่พึงประสงค์ในระหว่างการเก็บรักษาแบบแช่เย็น

4. สรุป

การเคลือบผิวเนื้อปลากะพงแช่ด้วยนาโนอิมัลชันสามารถยืดอายุการเก็บรักษาแบบแช่เย็นนาน 1-3 วัน โดยช่วยชะลอการเปลี่ยนแปลงด้านสี การเจริญของจุลินทรีย์ และคุณลักษณะทางประสาทสัมผัส เมื่อพิจารณาผลการทดลองทั้งหมดพบว่าการเคลือบผิวเนื้อปลากะพงแช่ด้วยนาโนอิมัลชันจากน้ำมันมะพร้าวจะมีประสิทธิภาพสูงสุดในการคงคุณภาพของเนื้อปลากะพง ดังนั้นการเคลือบผิวเนื้อปลาด้วยนาโนอิมัลชันจากน้ำมันมะพร้าวสามารถใช้เป็นทางเลือกหนึ่งที่มีประสิทธิภาพในการรักษาคุณภาพด้านสี จุลินทรีย์ และ

Table 3 Changes in sensory properties of sea bass fillets coated with different nanoemulsions during chilled storage.

Sensory attributes	Control		CO nanoemulsion		PKO nanoemulsion		SFO nanoemulsion	
	Initial	End	Initial	End	Initial	End	Initial	End
Color	6.9±1.3 ^{aA}	6.6±0.8 ^{bA}	6.7±1.4 ^{aB}	4.8±1.0 ^{aA}	5.1±2.6 ^{aA}	5.8±1.9 ^{abA}	6.2±2.0 ^{aA}	5.1±1.2 ^{abA}
Odor	4.5±1.8 ^{aA}	4.7±1.6 ^{aA}	6.3±1.5 ^{bA}	5.1±0.9 ^{aA}	6.5±1.8 ^{bA}	5.3±2.1 ^{aA}	5.3±1.6 ^{abA}	4.1±1.7 ^{aA}
Texture	6.5±1.7 ^{aA}	6.4±1.7 ^{aA}	5.7±1.5 ^{aA}	6.4±2.1 ^{aA}	5.5±1.9 ^{aA}	6.2±1.7 ^{aA}	6.1±1.5 ^{aA}	5.2±2.0 ^{aA}
Overall liking	7.3±0.9 ^{aA}	6.5±1.2 ^{bA}	6.9±1.3 ^{aA}	6.8±1.4 ^{bA}	6.2±1.9 ^{aA}	5.9±1.9 ^{abA}	6.2±1.2 ^{aA}	4.6±1.8 ^{bB}

*Values are given as means ± SD from 30 determinations.

คุณลักษณะทางประสาทสัมผัสของเนื้อปลากระพงขาว
แลในระหว่างการเก็บรักษาแบบแช่เย็น

5. กิตติกรรมประกาศ

งานวิจัยนี้ได้รับทุนสนับสนุนจากทุนสนับสนุน
การศึกษาระดับบัณฑิตศึกษา โครงการทุนสถาบัน
บัณฑิตวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีไทย สำนักงาน
พัฒนาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งชาติ (รหัสทุน :
TG-22-48-60-036M) และทุนอุดหนุนโครงการวิจัย
ระดับบัณฑิตศึกษา มหาวิทยาลัยวลัยลักษณ์ ประจำปี
งบประมาณ 2562 (สัญญาเลขที่ : ๐๔/๒๕๖๒)

6. References

- [1] Jouki, M., Mortazavi, S. A., Yazdi, F. T., Koocheki, A. and Khazaei, N., 2014, Use of quince seed mucilage edible films containing natural preservatives to enhance physico- chemical quality of rainbow trout fillets during cold storage, *Food Sci. Human Wellness*. 3: 65-72.
- [2] Sun, L., Sun, J., Thavaraj, P., Yang, X. and Guo, Y., 2017, Effects of thinned young apple polyphenols on the quality of grass carp (*Ctenopharyngodon idellus*) surimi during cold storage, *Food Chem*. 224: 372-381.
- [3] Yazgan, H., Ozogul, Y., Durmuş, M., Balıkcı, E., Gökdoğan, S., Uçar, Y. and Aksun, E.T., 2017, Effects of oil-in-water nanoemulsion based on sunflower oil on the quality of farmed sea bass and gilthead sea bream stored at chilled temperature (2±2 °C), *J. Aquat. Food Prod. Technol*. 26: 979-992.
- [4] McClements, D.J. and Rao, J., 2011, Food-grade nanoemulsions: Formulation, fabrication, properties, performance, biological fate, and potential toxicity, *Crit. Rev. Food Sci. Nutr*. 51: 285-330.
- [5] Al-Adham, I.S.I., Khalil, E., Al-Hmoud, N.D., Kierans, M. and Collier, P. J., 2000, Microemulsions are membrane-active, antimicrobial, self-preserving systems, *J. Appl. Microbiol*. 89: 32-39.
- [6] Baker, J.R.Jr., Hamouda, T., Shih, A. and Myc, A., 2003, U.S. Patent No. 6,559,189, U. S. Patent and Trademark Office, Washington, DC.
- [7] Joe, M.M., Chauhan, P.S., Bradeeba, K., Shagol, C., Sivakumaar, P.K. and Sa, T., 2012, Influence of sunflower oil based nanoemulsion (AUSN-4) on the shelf life and quality of Indo-Pacific king mackerel (*Scomberomorus guttatus*) steaks stored at 20 °C, *Food Control*. 23: 564-570.
- [8] Shadman, S., Hosseini, S.E., Langroudi, H.E. and Shabani, S., 2017, Evaluation of the effect of a sunflower oil- based nano emulsion with *Zataria multiflora* Boiss. essential oil on the physicochemical properties of rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*) fillets during cold storage, *LWT-Food Sci. Technol*. 79: 511-517.
- [9] Özogul, Y., Durmuş, M., Ucar, Y., Özogul, F. and Regenstein, J.M., 2016, Comparative study of nanoemulsions based on commercial oils (sunflower, canola, corn,

- olive, soybean, and hazelnut oils): Effect on microbial, sensory, and chemical qualities of refrigerated farmed sea bass, *Innov. Food Sci. Emerg. Technol.* 33: 422-430.
- [10] Anzaku, A.A., Akyala, J.I., Juliet, A. and Obianuju, E.C., 2017, Antibacterial activity of lauric acid on some selected clinical isolates, *Ann. Clin. Lab. Res.* 5: 1-5.
- [11] Sotomayor- Gerding, D. , Oomah, B. D. , Acevedo, F., Morales, E., Bustamante, M., Shene, C. and Rubilar, M. , 2016, High carotenoid bioaccessibility through linseed oil nanoemulsions with enhanced physical and oxidative stability, *Food Chem.* 199: 463-470.
- [12] Benjakul, S., Seymour, T.A., Morrissey, M.T. and An, H., 1997, Physicochemical changes in Pacific whiting muscle proteins during iced storage, *J. Food Sci.* 62: 729-733.
- [13] Ng, C. S. , 1978, Measurement of Free and Expressible Drips. in Hasegawa, H. (Ed.), *Manual on Analytical Methods and Procedure for Fish and Fish Products Laboratory*, Southeast Asian Fisheries Development Center, Singapore.
- [14] Buege, J.A. and Aust, S.D., 1978, Microsomal lipid peroxidation methods, *Method. Enzyme* 52: 302-310.
- [15] Benjakul, S. and Bauer, F. , 2001, Biochemical and physicochemical changes in catfish (*Silurus glanis* Linne) muscle as influenced by different freeze-thaw cycles, *Food Chem.* 72: 207-217.
- [16] Chaijan, M., Benjakul, S., Visessanguan, W. and Faustman, C. , 2004, Characteristics and gel properties of muscles from sardine (*Sardinella gibbosa*) and mackerel (*Rastrelliger kanagurta*) caught in Thailand, *Food Res. Intern.* 37: 1021-1030.
- [17] AOAC, 2000, Official methods of analysis (16th Ed.), Association of Official Analysis Chemists, Washington, DC.
- [18] Lee, K.T., and Akoh, C.C., 1998, Characterization of enzymatically synthesized structured lipids containing eicosapentaenoic, docosahexaenoic, and caprylic acids, *J. Am. Oil Chem. Soc.* 75: 495-499.
- [19] Sanguansri, P. and Augustin, M.A. , 2006, Nanoscale materials development – a food industry perspective, *Trends Food Sci. Tech.* 17: 547-556.
- [20] Hong, H., Luo, Y., Zhou, Z. and Shen, H., 2012, Effects of low concentration of salt and sucrose on the quality of bighead carp (*Aristichthys nobilis*) fillets stored at 4 °C, *Food Chem.* 133: 102-107.
- [21] Sikorski, Z.E., Kolakowska, A. and Burt, J.R., 1990, Postharvest Biochemical and Microbial Changes Seafood, pp. 55-75, In Sikorski, Z.E. (Ed.), *Resources Nutritional Composition and Preservation*. CRC Press, Inc., Boca Raton, FL.
- [22] Fan, W., Sun, J., Chen, Y., Qiu, J., Zhang, Y. and Chi, Y. , 2009, Effects of chitosan

- coating on quality and shelf life of silver carp during frozen storage, Food Chem. 115: 66-70.
- [23] Sallam, Kh.I., Ahmed, A.M., Elgazzar, M.M. and Eldaly, E.A., 2007, Chemical quality and sensory attributes of marinated Pacific saury (*Cololabis saira*) during vacuum-packaged storage at 4 °C. Food Chem. 102: 1061-1070.
- [24] Chaijan, M., Benjakul, S., Visessanguan, W., Lee, S. and Faustman, C., 2007, The effect of freezing and aldehydes on the interaction between fish myoglobin and myofibrillar proteins, J. Agric. Food Chem. 55: 4562-4568.
- [25] Shviro, Y., Zilber, I. and Shaklai, N., 1982, The interaction of hemoglobin with phosphatidylserine vesicles, Biochim. Biophys. Acta, Rev. 687: 63-70.
- [26] Chaijan, M., Benjakul, S., Visessanguan, W. and Faustman, C., 2005, Changes of pigments and colour in sardine (*Sardinella gibbosa*) and mackerel (*Rastrelliger kanagurta*) muscle during iced storage, Food Chem. 93: 607-617.
- [27] Church, N., 1998, MAP fish and crustaceans- sensory enhancement, Food Sci. Technol. Today. 12: 73-83.
- [28] Simeonidou, S., Govaris, A. and Vareltzis, K., 1998, Quality assessment of seven Mediterranean fish species during storage on ice, Food Res. Int. 30: 479-484.
- [29] Abdel-Hamied, A.A. Nassar, A.G. and El-Badry, N.N., 2009, Investigations on antioxidant and antibacterial activities of some natural extracts, World J. Dairy Food Sci. 4: 1-7.
- [30] Badee, A. Z. M., Moawad, R. K., ElNoketi, M. M. and Gouda, M. M., 2013, Improving the quality and shelf-life of refrigerated chicken meat by marjoram essential oil, J. App. Sci. Res. 9: 5718-5729.
- [31] Bogdanović, T., Šimat, V., Frka-Roić, A. and Marković, K., 2012, Development and application of quality index method scheme in a shelf-life study of wild and fish farm affected bogue (*Boops boops* L.), J. Food Sci. 77: 99-106.
- [32] Ofstad, R., Kidman, S., Myklebust, R., Olsen, R.L. and Hermansson, A.M., 1996, Factors influencing liquid-holding capacity and structural changes during heating of comminuted cod (*Gadus morhua* L.) muscle, LWT-Food Sci. Technol. 29: 173-183.
- [33] ICMSF, 1986, Microorganisms in Foods 2 – Sampling for Microbiological Analysis, Principles and Specific Applications, Blackwell Scientific Publications, Oxford.