วารสารวิทยาศาสตร์บูรพา ปีที่ 26 (ฉบับที่ 1) มกราคม – เมษายน พ.ศ. 2564
BURAPHA SCIENCE JOURNAL Volume 26 (No.1) January – April 2021 บทความวิจัย

การเปลี่ยนแปลงและอายุการเก็บรักษาของกั้งตั๊กแตน (*Harpiosquilla raphidea*) ระหว่างการเก็บรักษาในน้ำแข็ง

Changes and Shelf Life of Mantis Shrimp (*Harpiosquilla raphidea*) during Iced Storage

จันทิรา วงศ์วิเชียร[1*] และ รัญชนา ปราบไกรษี[2]

Chantira Wongwichian[1*] and Ranchana Prabkriisi[2]

[1]สาขาวิชาวิทยาศาสตร์การอาหารและโภชนาการ คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏนครศรีธรรมราช

[2] สาขาวิชาชีววิทยา คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏนครศรีธรรมราช

[1]Food Science and Nutrition Program, Faculty of Science and Technology, Nakhon Si Thammarat Rajabhat University

[2]Biology Program, Faculty of Science and Technology, Nakhon Si Thammarat Rajabhat University

Received : 21 May 2020

Revised : 18 June 2020

Accepted : 9 July 2020

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อติดตามการเปลี่ยนแปลงคุณภาพทางด้านกายภาพ เคมี จุลินทรีย์และประสาทสัมผัสของกั้งตั๊กแตนระหว่างการเก็บรักษาในน้ำแข็งเป็นเวลา 10 วัน ผลจากการวิจัยพบว่า การสูญเสียน้ำหนัก (weight loss) การสูญเสียน้ำหนักหลังจากทำให้สุก (cooking loss) เพิ่มสูงขึ้นตลอดระหว่างการเก็บรักษา ($p<0.05$) ซึ่งบ่งบอกถึงการสูญเสียความสามารถในการอุ้มน้ำของโปรตีนกล้ามเนื้อ สำหรับปริมาณด่างที่ระเหยได้ทั้งหมด (total volatile basic nitrogen, TVB-N) และปริมาณไตรเมทิลเอมีน (trimethylamine, TMA-N) มีความสอดคล้องกับค่าความเป็นกรดด่างที่เพิ่มสูงขึ้นตลอดระยะเวลาการเก็บรักษา ($p<0.05$) เนื่องจากเกิดสารประกอบไนโตรเจนที่มีฤทธิ์เป็นด่าง ค่าเค (K-value) มีแนวโน้มเพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญ ($p<0.05$) ตามระยะเวลาการเก็บรักษา ปริมาณจุลินทรีย์ทั้งหมด (total viable count, TVC) เพิ่มสูงขึ้นจาก 4.1 log CFU/g เป็น 8.0 log CFU/g ในวันสุดท้ายของการเก็บรักษาและมีความสัมพันธ์กับการเพิ่มขึ้นของค่าความเป็นกรดด่าง ปริมาณด่างที่ระเหยได้ทั้งหมด ปริมาณไตรเมทิลเอมีน และคะแนนจากการทดสอบทางประสาทสัมผัสโดยวิธี Quality Index Method (QIM) หากพิจารณาคุณภาพทางกายภาพ เคมี จุลินทรีย์ และคะแนนประสาทสัมผัสร่วมกันพบว่ากั้งตั๊กแตนจะมีคุณภาพในระดับที่ผู้บริโภคยอมรับได้เมื่อเก็บรักษาในน้ำแข็งไว้ไม่เกิน 6 วัน

คำสำคัญ : กั้งตั๊กแตน ; คุณภาพ ; การเสื่อมเสีย ; ความสด ; การเก็บรักษาในน้ำแข็ง

Abstract

The objective of this research was to monitor the physical, chemical, microbial and sensory quality of mantis shrimp (*Harpiosquilla raphidea*) during 10 days of iced storage. The result found weight loss and cooking loss increased during storing ($p<0.05$), that could indicate the loss of water biding ability of muscle proteins. The increasing of total volatile basic nitrogen (TVB-N) and trimethylamine (TMA-N) related to the higher of pH value ($p<0.05$) during the storing, due to alkaline nitrogenous compound produced. About K-value, it tended to be increased significantly ($p<0.05$) according to storage time. Total viable count (TVC) increased from 4.1 log CFU/g to 8.0 log CFU/g on the last day of storage and was associated with an increasing of pH, TVB-N, TMA-N and sensory scores by quality index method (QIM). Considering the physical, chemical, microbial and sensory quality, the mantis shrimp will be accepted from consumers when stored in ice for not later than 6 days.

Keywords : mantis shrimp ; quality ; spoilage ; freshness ; iced storage

***Corresponding author. E-mail** : chantira_won@nstru.ac.th

บทนำ

กั้งตั๊กแตนเป็นสัตว์น้ำที่มีความสำคัญทางเศรษฐกิจ เป็นที่ต้องการทั้งตลาดภายในและต่างประเทศ จากสถิติการจับสัตว์น้ำบริเวณอ่าวไทยปี 2560 พบว่ามีปริมาณการจับกั้งตั๊กแตนประมาณ 1,089 ตัน คิดเป็นมูลค่า 146.9 ล้านบาท (Department of fisheries, 2019) กั้งตั๊กแตนที่นำมาบริโภคนั้นเป็นผลพลอยได้จากการทำการประมงอวนปู อวนปลา ชาวประมงจะขายให้กับพ่อค้าคนกลางในชุมชนเพื่อรวบรวมส่งขายยังตลาดทั้งภายในประเทศ และส่งออกขายในตลาดต่างประเทศ กั้งตั๊กแตนที่อยู่ในสภาพมีชีวิตนั้นถือเป็นสัตว์น้ำที่สามารถทำรายได้ให้แก่เกษตรกรผู้เพาะเลี้ยงและชาวประมงเป็นอย่างมาก เนื่องจากมีราคาซื้อขายที่สูงกว่ากั้งตั๊กแตนที่ตายแล้ว การนำกั้งตั๊กแตนมาบริโภคหรือแปรรูปนั้น สิ่งสำคัญที่ต้องคำนึงถึงมากที่สุดคือ ความสด กั้งตั๊กแตนที่ตายแล้วมักจะไม่เป็นที่นิยมของตลาด โดยปกติสัตว์น้ำประเภทครัสเตเชียนั้นมีความไวต่อการเน่าเสียเร็วกว่าสัตว์น้ำชนิดอื่น เนื่องจากมีกรดอะมิโนอิสระและสารประกอบไนโตรเจนจำนวนมาก (Jay *et al*., 2005; Anacleto *et al*., 2011) ภายหลังการตายของสัตว์น้ำประเภทนี้จะเกิดการย่อยสลายตัวเองอย่างรวดเร็วของโปรตีนกล้ามเนื้อด้วยเอนไซม์ที่มีอยู่ในกล้ามเนื้อสัตว์น้ำและเอนไซม์จากจุลินทรีย์ส่งผลให้เกิดการอ่อนตัวของกล้ามเนื้อเมื่อนำไปบริโภคจะมีลักษณะเนื้อสัมผัสที่นิ่มเละจึงไม่เป็นที่นิยมในการบริโภค (Benjakul, 2011; Gonçalves *et al*., 2015; Lorentzen *et al*., 2016) ถึงแม้ว่าการใช้น้ำแข็งในการเก็บรักษาสัตว์น้ำเป็นวิธีที่นิยมใช้ เนื่องจากสามารถชะลอการเจริญของจุลินทรีย์ที่เป็นสาเหตุของการเน่าเสียรวมทั้งจุลินทรีย์ก่อโรคลดต่ำลง และสามารถลดอัตราเร็วในการเกิดปฏิกิริยาของเอนไซม์ชนิดต่างๆ ได้ ส่งผลให้ยืดอายุการเก็บรักษาสัตว์น้ำให้นานขึ้น (Benjakul, 2011) แต่การเปลี่ยนแปลงคุณภาพของสัตว์น้ำในระหว่างการเก็บรักษาในน้ำแข็งสามารถเกิดขึ้นได้ เช่น กุ้งขาว (*Litopenaeus vannamei*) (Don *et al*., 2018) กุ้งกุลาดำ (*Panaeus monodon*) (Tam *et al*., 2017) และกุ้งมังกร (*Panulirus argus*) (Gonçalves *et al*., 2015) มีค่าดัชนีความสด ได้แก่ ค่าความเป็นกรดด่าง (pH) ปริมาณด่างที่ระเหยได้ทั้งหมด (total volatile basic nitrogen, TVB-N) ปริมาณไตรเมทิลเอมีน (trimethylamine, TMA-N) ฮิสตามีน และไฮโปแซนทีน ปริมาณจุลินทรีย์ รวมถึงคุณภาพทางประสาทสัมผัส เปลี่ยนแปลงตลอดระยะเวลาการเก็บรักษา ส่งผลให้มีอายุการเก็บรักษาในน้ำแข็งได้ไม่เกิน 16 วัน 8 วัน และ 10 วัน ตามลำดับ

เมื่อพิจารณาถึงมูลค่าและอัตราเร็วในการเสื่อมเสียของกั้งตั๊กแตน การศึกษาเพื่อทำความเข้าใจถึงการเปลี่ยนแปลงของกั้งตั๊กแตนภายหลังการตายนั้นถือเป็นเรื่องที่น่าสนใจ การเปลี่ยนแปลงคุณภาพของกั้งตั๊กแตนภายหลังการตายจะส่งผลให้ความสดมีค่าลดลงอย่างมาก โดยมีสาเหตุมาจากปฏิกิริยาทางเคมี เอนไซม์ รวมทั้งจุลินทรีย์ที่เกิดขึ้นภายในกล้ามเนื้อของกั้งตั๊กแตน โดยข้อมูลที่ได้จากการเปลี่ยนแปลงคุณภาพนี้สามารถนำไปสู่การหาวิธีการชะลอการเสื่อมเสียรวมถึงการกำหนดอายุการเก็บรักษาที่เหมาะสมได้ ซึ่งจะเป็นประโยชน์ต่อผู้ผลิตและผู้บริโภคเป็นอย่างมาก แต่ในปัจจุบันกลับพบว่างานวิจัยที่เกี่ยวกับกั้งตั๊กแตนส่วนใหญ่จะเป็นด้านอนุกรมวิธานและการเพาะเลี้ยง ดังนั้นวัตถุประสงค์ของการวิจัยในครั้งนี้คือ เพื่อตรวจติดตามการเปลี่ยนแปลงคุณภาพทางด้านกายภาพ เคมี จุลินทรีย์ และประสาทสัมผัสของกั้งตั๊กแตนระหว่างการเก็บรักษาในน้ำแข็งเป็นเวลา 10 วัน รวมถึงการประเมินอายุการเก็บรักษาในสภาวะดังกล่าว ข้อมูลที่ได้จากงานวิจัยนี้จะเป็นประโยชน์ต่อเกษตรกรผู้เพาะเลี้ยง ผู้ประกอบการแปรรูปสัตว์น้ำ หรือผู้บริโภค โดยสามารถใช้เป็นดัชนีบ่งชี้ถึงคุณภาพของกั้งตั๊กแตนที่มีผล

ต่อการขายและการบริโภคเพื่อกำหนดคุณภาพของสินค้าหรือวัตถุดิบที่มีคุณภาพเหมาะสำหรับนำไปบริโภคหรือแปรรูปเพื่อเพิ่มศักยภาพในการส่งออกของอุตสาหกรรมอาหารทะเลต่อไป

วิธีดำเนินการวิจัย

1. การสุ่มและเตรียมตัวอย่าง

กั้งตั๊กแตนที่มีชีวิตสายพันธุ์ *Harpiosquilla raphidea* ที่จับได้จากทะเลฝั่งอ่าวไทย มีน้ำหนักตัวเฉลี่ยประมาณ 110-130 กรัม มีความยาวของลำตัวอยู่ในช่วง 8-10 นิ้ว ซื้อจากตลาดอำเภอท่าศาลา จังหวัดนครศรีธรรมราชตัวอย่างกั้งตั๊กแตนที่สุ่มได้จะถูกบรรจุลงในกล่องสไตโรโฟมที่มีน้ำผสมกับน้ำแข็ง (อัตราส่วนระหว่างน้ำ:น้ำแข็งเท่ากับ 3:1) โดยบรรจุตัวอย่างลงในน้ำผสมน้ำแข็งในอัตราส่วนระหว่างตัวอย่างกับน้ำผสมน้ำแข็งเท่ากับ 1:2 และขนส่งมายังห้องปฏิบัติการศูนย์วิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยราชภัฏนครศรีธรรมราช ใช้เวลาในการขนส่งไม่เกิน 30 นาที

2. การเปลี่ยนแปลงคุณภาพ

การเตรียมตัวอย่างกั้งตั๊กแตนเพื่อศึกษาการเปลี่ยนแปลงคุณภาพตลอดระยะเวลาการเก็บรักษามีขั้นตอนดังนี้ นำตัวอย่างกั้งตั๊กแตนทั้งตัวเรียงตัวลงในกล่องสไตโรโฟม โดยเรียงตัวอย่างสลับกับน้ำแข็งเป็นชั้นๆ ในอัตราส่วนระหว่างตัวอย่างกับน้ำแข็งเท่ากับ 1:3 เก็บในตู้แช่ที่อุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียส และเปลี่ยนถ่ายน้ำแข็งให้อยู่ในอัตราส่วน 1:3 ทุกๆ 2 วัน เพื่อรักษาอัตราส่วนระหว่างตัวอย่างและปริมาณน้ำแข็งให้คงที่ตลอดระยะเวลาการเก็บรักษา ทำการสุ่มตัวอย่างวันที่ 0 1 2 4 6 8 และ 10 ของการเก็บรักษา นำกั้งตั๊กแตนมาแกะเปลือกออกแยกเอาเฉพาะส่วนเนื้อมาทำการวิเคราะห์คุณภาพในด้านต่างๆ ดังนี้

2.1 คุณภาพทางกายภาพ

1) การสูญเสียน้ำหนัก (weight loss) (ดัดแปลงจาก Mohan *et al*., 2012) โดยเปรียบเทียบน้ำหนักของกั้งตั๊กแตนก่อนและหลังจากการเก็บรักษาในน้ำแข็งตามระยะเวลาที่กำหนดและคำนวณการสูญเสียน้ำหนักโดยใช้สมการที่ (1)

$$\text{การสูญเสียน้ำหนัก (ร้อยละ)} = \frac{\text{น้ำหนักตัวอย่างเริ่มต้น (กรัม)} - \text{น้ำหนักตัวอย่างหลังจากที่เก็บรักษา (กรัม)}}{\text{น้ำหนักตัวอย่างเริ่มต้น (กรัม)}} \times 100$$

2) การสูญเสียน้ำหนักหลังจากทำให้สุก (cooking loss) (ดัดแปลงจาก Benjakul & Sutthipan, 2008) โดยสุ่มตัวอย่างตามระยะเวลาที่กำหนด เปรียบเทียบน้ำหนักตัวอย่างก่อนให้ความร้อนและหลังจากทำให้สุก คำนวณการสูญเสียน้ำหนักหลังจากทำให้สุกโดยใช้สมการที่ (2)

$$\text{การสูญเสียน้ำหนักหลังจากทำให้สุก (ร้อยละ)} = \frac{\text{น้ำหนักตัวอย่างก่อนให้ความร้อน (กรัม)} - \text{น้ำหนักตัวอย่างหลังให้ความร้อน (กรัม)}}{\text{น้ำหนักตัวอย่างก่อนให้ความร้อน (กรัม)}} \times 100$$

2.2 คุณภาพทางเคมี ได้แก่ ความเป็นกรดด่าง (pH) โดยการชั่งตัวอย่าง 10 กรัม เติมน้ำกลั่น 20 มิลลิลิตร ปั่นผสมให้เข้ากัน วัดค่าความเป็นกรดด่างด้วยเครื่อง pH มิเตอร์ (pH – 500, Clean, USA) (Benjakul & Sutthipan, 2008) ค่าความสด (K-value) โดยทำการแยกสารประกอบนิวคลีโอไทด์ด้วยวิธี ion exchange chromatography จากสารสกัดตัวอย่าง จากนั้นวัดค่าการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 250 นาโนเมตร (ดัดแปลงจากวิธีของ Uchiyama, 1978) ปริมาณ TVB-N และ TMA-N ด้วยวิธี Conway microdiffusion method โดยไตเตรตสารละลายกรดบอริกเข้มข้นร้อยละ 1 ที่จับกับด่างที่ระเหยได้ด้วยสารละลายกรดไฮโดรคลอริกเข้นข้น 0.02 นอร์มอล สำหรับการวิเคราะห์ปริมาณ TMA-N ทำเช่นเดียวกัน แต่เติมฟอร์มัลดีไฮด์เข้มข้นร้อยละ 10 ผสมกับตัวอย่าง (Conway & Byrne, 1936)

2.3 คุณภาพทางจุลินทรีย์ ตรวจวิเคราะห์จำนวนจุลินทรีย์ที่มีชีวิตทั้งหมด โดยใช้ Plate count agar (PCA) บ่มที่อุณหภูมิ 37° C เป็นเวลา 48 ชั่วโมง (BAM, 2002)

2.4 คุณภาพทางประสาทสัมผัส การทดสอบคุณภาพทางประสาทสัมผัสที่ใช้ในการศึกษาครั้งนี้คือ วิธีการทดสอบแบบ Quality Index Method (QIM) ออกแบบเกณฑ์การประเมินและแบบประเมินโดยดัดแปลงจาก Gonçalves *et al*. (2015) ประเมินคุณภาพทางประสาทสัมผัสของตัวอย่างกั้งตั๊กแตนสดตามคุณลักษณะต่างๆ ดังนี้ การยึดติดกันของส่วนหัวและลำตัว การยึดติดกันระหว่างปล้องลำตัว การเกิดเมลาโนซิส (black spot) ความแน่นเนื้อ สีของเนื้อ และกลิ่น ส่วนการประเมินคุณภาพทางประสาทสัมผัสของตัวอย่างกั้งตั๊กแตนนึ่งสุกตามคุณลักษณะต่างๆ ดังนี้ สีของเปลือก สีของเนื้อ กลิ่น รสชาติ และเนื้อสัมผัส (ความยืดหยุ่น ความฉ่ำน้ำ ความร่วน ความเหนียว) โดยมีเกณฑ์ในการให้คะแนน 0-3 ในแต่ละคุณลักษณะ คะแนนเท่ากับ 0 บ่งชี้ว่ากั้งตั๊กแตนมีความสดมาก สำหรับวิธีการเตรียมตัวอย่างกั้งตั๊กแตนสุกทำได้โดยนำกั้งตั๊กแตนสดมาห่อด้วยอลูมิเนียมฟอยล์ แล้วนำไปนึ่งในหม้อนึ่งไฟฟ้าชนิดควบคุมอุณหภูมิได้ที่อุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียส นาน 15 นาที ใช้ผู้ทดสอบที่ผ่านการฝึกฝนจำนวน 12 คน (เพศชาย 6 คน, เพศหญิง 6 คน) ทำการฝึกฝนผู้ทดสอบให้มีความคุ้นเคยกับตัวอย่าง โดยใช้ตัวอย่างกั้งตั๊กแตนที่เก็บรักษาในระยะเวลาต่างๆ เพื่อสังเกตการเปลี่ยนแปลงคุณลักษณะที่ต้องการศึกษา ทดสอบความแม่นยำของผู้ทดสอบโดยพิจารณาจากค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานของคะแนนและการให้คะแนนที่มีแนวโน้มไปในทิศทางเดียวกัน

3. การวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติ

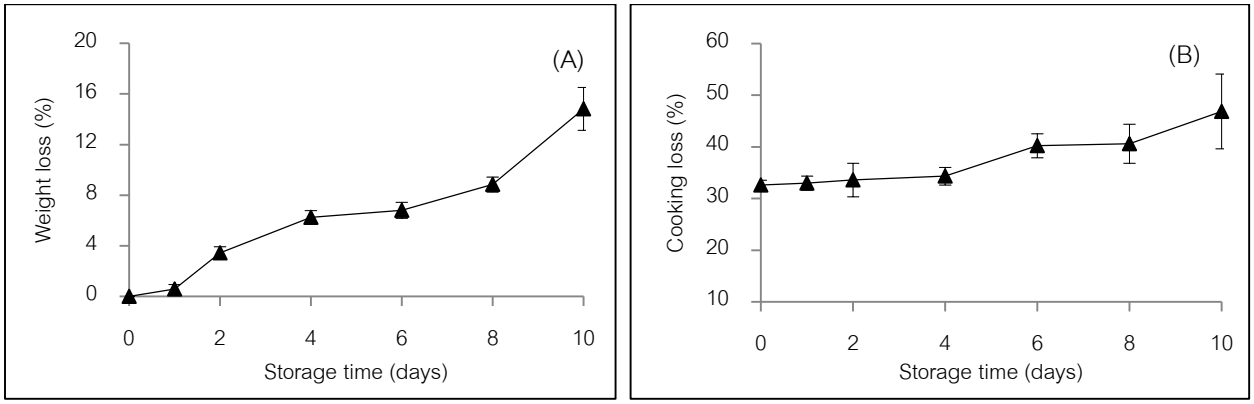
วางแผนการทดลองแบบสุ่มตัวอย่างสมบูรณ์ (completely randomized design, CRD) ดำเนินการทดลอง 3 ซ้ำ วิเคราะห์ความแปรปรวน (Analysis of Variance, ANOVA) และเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยของการทดลองโดยวิธี Duncan's Multiple Range Test (DMRT) (Steel & Torrie, 1980) และหาค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ (r) ระหว่างคะแนนที่ได้จากการทดสอบทางประสาทสัมผัสกับระยะเวลาการเก็บรักษาโดยใช้โปรแกรมคอมพิวเตอร์สำเร็จรูป

ผลการวิจัย

1. การเปลี่ยนแปลงคุณภาพทางกายภาพของกั้งตั๊กแตนในระหว่างการเก็บรักษา

การเปลี่ยนแปลงการสูญเสียน้ำหนักของกั้งตั๊กแตนที่เก็บรักษาในน้ำแข็งเป็นเวลา 10 วัน แสดงดังภาพที่ 1A การสูญเสียน้ำหนักของกั้งตั๊กแตนเพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญและเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็วหลังจากวันที่ 8 (ร้อยละ 8.85) ของการเก็บรักษาไปจนถึงวันสุดท้ายของการเก็บรักษา (ร้อยละ 14.82) ($p<0.05$) สำหรับการตรวจติดตามการสูญเสียน้ำหนักหลังจากทำให้สุกของ

กั้งตั๊กแตนตลอดระยะเวลาการเก็บรักษาแสดงดังภาพที่ 1B พบว่าการสูญเสียน้ำหนักหลังจากทำให้สุกในระหว่างการเก็บรักษากั้งตั๊กแตนมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นตลอดระยะเวลาการเก็บรักษาและเพิ่มขึ้นอย่างเห็นได้ชัดในวันที่ 8 (ร้อยละ 40.60) ของการเก็บรักษา ($p<0.05$) ในวันที่ 10 กั้งตั๊กแตนมีค่าการสูญเสียน้ำหนักหลังจากทำให้สุกเท่ากับร้อยละ 46.82



ภาพที่ 1 การเปลี่ยนแปลงการสูญเสียน้ำหนัก (A) และการสูญเสียน้ำหนักหลังจากทำให้สุก (B) ของกั้งตั๊กแตนระหว่างการเก็บรักษาในน้ำแข็งเป็นเวลา 10 วัน

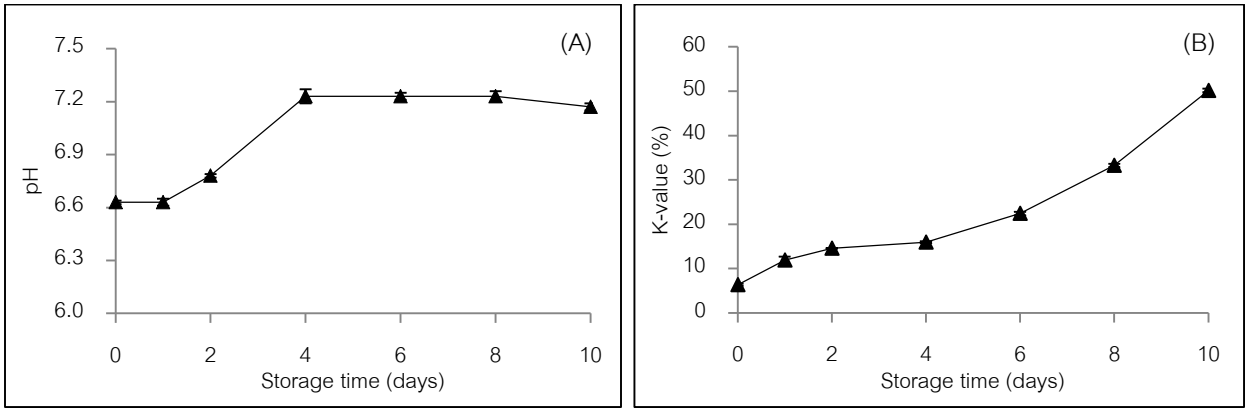
2. การเปลี่ยนแปลงคุณภาพทางเคมีของกั้งตั๊กแตนในระหว่างการเก็บรักษา

ค่าความเป็นกรดด่างของกั้งตั๊กแตนในระหว่างการเก็บรักษาในน้ำแข็งแสดงดังภาพที่ 2A โดยพบว่าค่าความเป็นกรดด่างของกั้งตั๊กแตนในวันที่ 1 ยังคงไม่เปลี่ยนแปลงจากวันแรกของการเก็บรักษาซึ่งมีค่าเท่ากับ 6.63±0.02 หลังจากนั้นมีการเปลี่ยนแปลงค่าความเป็นกรดด่างเพียงเล็กน้อยในวันที่ 2 (6.78) และเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็วในวันที่ 4 (7.23) ของการเก็บรักษา ($p<0.05$) โดยภายหลังจากวันที่ 4 ค่าความเป็นกรดด่างมีการเปลี่ยนแปลงเพียงเล็กน้อยเท่านั้น

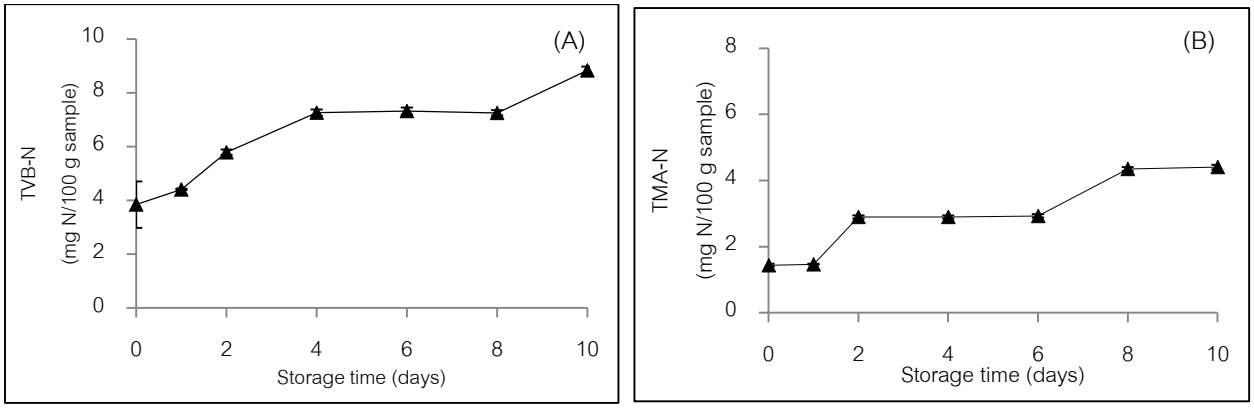
ค่า K ของตัวอย่างกั้งตั๊กแตนมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญ ($p<0.05$) (ภาพที่ 2B) ตามระยะเวลาการเก็บรักษา ในวันแรกของการเก็บรักษาค่า K ที่พบในตัวอย่างกั้งตั๊กแตนมีค่าเท่ากับร้อยละ 6.37±0.22 หลังจากนั้นเพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่องจนถึงวันสุดท้ายของการเก็บรักษามีค่าเท่ากับร้อยละ 50.17±0.39 ซึ่งจากการศึกษาครั้งนี้พบว่าการเพิ่มขึ้นของค่า K มีความสัมพันธ์กับคะแนนที่ได้จากการทดสอบทางประสาทสัมผัสโดยเฉพาะด้านกลิ่น และรสชาติของตัวอย่างกั้งตั๊กแตนมีคะแนนลดลงตลอดระยะเวลาการเก็บรักษาในน้ำแข็ง (ตารางที่ 1) เนื่องจากเกิดการสูญเสียคุณลักษณะของกลิ่นรสของสัตว์น้ำสด หากพิจารณาจากค่า K ควบคู่กับคุณภาพทางประสาทสัมผัส พบว่ากั้งตั๊กแตนมีความสดในระดับมากเมื่อเก็บรักษาในน้ำแข็งไว้ไม่เกิน 4 วัน (ค่า K น้อยกว่าร้อยละ 20) แต่อย่างไรก็ตามเมื่อเก็บรักษาตัวอย่างกั้งตั๊กแตนในสภาวะดังกล่าวไม่เกิน 8 วัน สามารถรักษาความสดของตัวอย่างให้อยู่ในระดับปานกลางได้ (ค่า K ไม่เกินร้อยละ 50) (Saito *et al.*, 1959) โดยมีคุณภาพทางประสาทสัมผัสอยู่ในระดับที่ผู้บริโภคยอมรับได้

การเปลี่ยนแปลงปริมาณ TVB-N ของกั้งตั๊กแตนเพิ่มสูงขึ้นตามระยะเวลาการเก็บรักษาที่นานขึ้น ($p<0.05$) (ภาพที่ 3A) โดยพบว่ามีปริมาณเพิ่มขึ้นจาก 3.84±0.86 เป็น 8.83±0.14 มิลลิกรัม/100 กรัม และมีแนวโน้มของการเปลี่ยนแปลงเช่นเดียวกับการเปลี่ยนแปลงปริมาณ TMA-N (ภาพที่ 3B) ซึ่งจากผลการวิเคราะห์ปริมาณ TMA-N ตลอดระยะเวลาการเก็บรักษากั้งตั๊กแตนพบว่ามีค่าเพิ่มขึ้นจาก 1.44±0.04 เป็น 4.41±0.07 มิลลิกรัม/100 กรัม TMA-N เริ่มต้นของตัวอย่างกั้งตั๊กแตนมีปริมาณแตกต่างจากสัตว์น้ำชนิดอื่นๆ แต่อย่างไรก็ตามปริมาณ TMA-N ของสัตว์น้ำทุกชนิดจะเพิ่มสูงขึ้นตามระยะเวลาการเก็บรักษาที่นานขึ้น นอกจากนี้การเปลี่ยนแปลงปริมาณ TVB-N และปริมาณ TMA-N ของตัวอย่างที่เพิ่มขึ้นมีความสอดคล้องกับค่าความเป็นกรดด่างที่เพิ่มสูงขึ้นตลอดระยะเวลาการเก็บรักษา (ภาพที่ 2A)

จากภาพที่ 2 หากพิจารณาการเปลี่ยนแปลงคุณภาพทางเคมีหลายๆ พารามิเตอร์ดังกล่าวร่วมกัน พบว่ากั้งตั๊กแตนมีคุณภาพในระดับที่ผู้บริโภคยอมรับได้เมื่อเก็บรักษาในน้ำแข็งไว้ไม่เกิน 8 วัน โดยที่ค่า K ในวันที่ 8 ของการเก็บรักษามีค่าไม่เกินร้อยละ 50) (Saito *et al*., 1959) เมื่อพิจารณาการเปลี่ยนแปลงปริมาณ TVB-N และ TMA-N จากรายงานวิจัยที่ผ่านมาของ Okpala *et al*. (2014) พบว่าปริมาณ TVB-N และ TMA-N ในระดับที่ผู้บริโภคยอมรับได้ในกุ้งขาวจะต้องไม่เกิน 25 มิลลิกรัม/100 กรัม และ 5 มิลลิกรัม/100 กรัม ตามลำดับ แต่สำหรับการศึกษาครั้งนี้พบว่าระดับ TVB-N และ TMA-N ของตัวอย่างกั้งตั๊กแตนที่ผู้บริโภคยอมรับได้จะต้องไม่เกิน 8 มิลลิกรัม/100 กรัม และ 4 มิลลิกรัม/100 กรัม ตามลำดับ จากผลการทดลองในครั้งนี้สังเกตได้ว่าปริมาณ TVB-N ที่วิเคราะห์ได้มีค่าน้อยกว่าเกณฑ์การยอมรับของผู้บริโภค เนื่องจากเมื่อน้ำแข็งละลายจะเกิดการชะล้างแอมโมเนียส่งผลให้ปริมาณ TVB-N ที่วิเคราะห์ได้มีค่าน้อย (Ruiz-Capillas *et al*., 2001; Aubourg, 2001) แต่อย่างไรก็ตามปริมาณ TVB-N จะเพิ่มขึ้นตามระยะเวลาการเก็บรักษาสัตว์น้ำ (Benjakul *et al*., 2003; Aubourg, 2001) หากพิจารณาเฉพาะการเปลี่ยนแปลงคุณภาพทางเคมีพบว่ากั้งตั๊กแตนสามารถเก็บรักษาในน้ำแข็งได้นาน 8 วัน แต่อย่างไรก็ตามการประเมินอายุการเก็บรักษากั้งตั๊กแตนในน้ำแข็งควรพิจารณาคุณภาพด้านอื่นควบคู่ไปด้วยโดยเฉพาะคุณภาพทางประสาทสัมผัส (ตารางที่ 1)



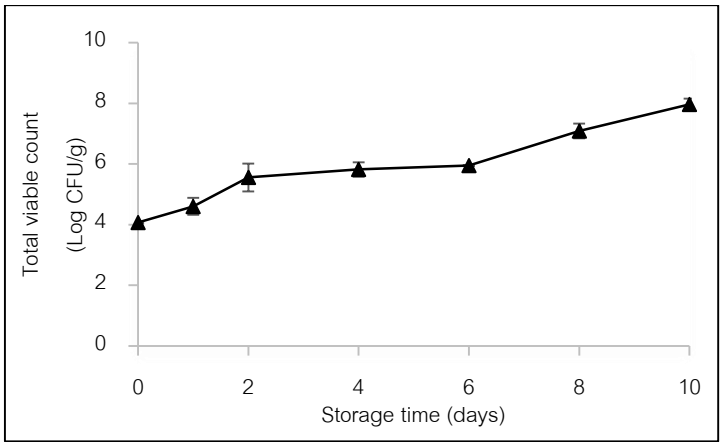
ภาพที่ 2 การเปลี่ยนแปลงค่าความเป็นกรดด่าง (A), และ ค่า K (B) ของกั้งตั๊กแตนระหว่างการเก็บรักษาในน้ำแข็งเป็นเวลา 10 วัน



ภาพที่ 3 การเปลี่ยนแปลงปริมาณ TVB-N (A) และปริมาณ TMA-N (B) ของกั้งตั๊กแตนระหว่างการเก็บรักษาในน้ำแข็งเป็นเวลา 10 วัน

3. การเปลี่ยนแปลงคุณภาพทางจุลินทรีย์ของกั้งตั๊กแตนในระหว่างการเก็บรักษา

ปริมาณจุลินทรีย์ทั้งหมดเริ่มต้นของตัวอย่างกั้งตั๊กแตนเท่ากับ 4.07 log CFU/g และมีแนวโน้มเพิ่มสูงขึ้นอย่างมีนัยสำคัญตลอดระยะเวลาการเก็บรักษา ($p<0.05$) (ภาพที่ 4) ในวันที่ 8 ของการเก็บรักษาพบว่าตัวอย่างกั้งตั๊กแตนมีปริมาณจุลินทรีย์ทั้งหมดเพิ่มขึ้นเท่ากับ 7.09 log CFU/g ซึ่งเกินเกณฑ์มาตรฐานตามที่กฎหมายกำหนด (ต้องไม่เกิน 6 log CFU/g) (Department of fisheries, 2004) หากใช้ปริมาณจุลินทรีย์ทั้งหมดเป็นเกณฑ์ในการกำหนดอายุการเก็บรักษาของกั้งตั๊กแตน พบว่ากั้งตั๊กแตนจะมีอายุการเก็บรักษาในน้ำแข็งได้ไม่เกิน 6 วัน (5.95 log CFU/g) เนื่องจากตรวจพบปริมาณจุลินทรีย์ทั้งหมดไม่เกินเกณฑ์มาตรฐานตามที่กฎหมายกำหนด



ภาพที่ 4 การเปลี่ยนแปลงปริมาณจุลินทรีย์ทั้งหมดของกั้งตั๊กแตนระหว่างการเก็บรักษาในน้ำแข็งเป็นเวลา 10 วัน

4. การเปลี่ยนแปลงคุณภาพทางประสาทสัมผัสของกั้งตั๊กแตนในระหว่างการเก็บรักษา

การประเมินลักษณะทางประสาทสัมผัสของกั้งตั๊กแตนโดยวิธี QIM โดยทำการประเมินทั้งในสภาพสดและสุก ได้ผลดังตารางที่ 1 พบว่าคะแนนเฉลี่ยในแต่ละคุณลักษณะของกั้งตั๊กแตนทั้งในสภาพสดและนึ่งสุกมีความสัมพันธ์เป็นเส้นตรงกับระยะเวลาการเก็บรักษาในน้ำแข็ง (R>0.90) ในวันที่ 0 ของกั้งตั๊กแตนสด พบว่าส่วนหัว ลำตัวและเปลือกของแต่ละปล้องของกั้งตั๊กแตนยังยึดติดกันแน่น ไม่มีเมลาโนซิสเกิดขึ้น มีเนื้อสัมผัสแน่น สีของเนื้อใส และมีกลิ่นคล้ายสาหร่ายทะเล (ภาพที่ 5A) ในวันที่ 2 ของการเก็บรักษา พบว่ากั้งตั๊กแตนเริ่มเกิดเมลาโนซีสบ้างเล็กน้อยไม่เกินร้อยละ 5 ของพื้นที่ตั้งแต่ส่วนหัวถึงส่วนหาง และมีสีดำมากกว่าร้อยละ 5 แต่ไม่เกินร้อยละ 25 ในวันที่ 6 และมีสีดำมากกว่าร้อยละ 25 ในวันที่ 10 ของการเก็บรักษา (ภาพที่ 5B) สำหรับคุณลักษณะด้านอื่นๆ เริ่มเกิดการเปลี่ยนแปลงภายหลังจากวันที่ 4 ของการเก็บรักษาและพบว่าการยึดติดกันระหว่างปล้องลำตัวเกิดการเปลี่ยนแปลงช้าที่สุด สำหรับกั้งตั๊กแตนนึ่งสุกในวันที่ 0 พบว่ามีเปลือกสีส้มม่วง มีเนื้อสีขาว กลิ่นคล้ายสาหร่ายทะเล มีรสชาติหอมหวาน เนื้อสัมผัสมีความยืดหยุ่นดี ฉ่ำน้ำ เนื้อไม่ร่วนและมีความเหนียว (ภาพที่ 6A) ในวันที่ 4 ของการเก็บรักษา พบว่าคุณลักษณะด้านเนื้อสัมผัส (ความยืดหยุ่น ความฉ่ำน้ำ ความร่วนและความเหนียว) ของกั้งตั๊กแตนนึ่งสุกมีคุณภาพลดลงอย่างเห็นได้ชัดเช่นเดียวกับคุณลักษณะด้านกลิ่นและรสชาติ (ตารางที่ 1) ในขณะที่คุณลักษณะด้านอื่นเกิดการเปลี่ยนแปลงคุณภาพอย่างช้าๆ และเมื่อเก็บรักษากั้งตั๊กแตนเป็นเวลา 10 วัน พบว่าสีของเปลือกของกั้งตั๊กแตนเปลี่ยนเป็นสีม่วงอมส้มซีดจาง และมีสีดำบริเวณส่วนหางที่เห็นได้ชัดเจน สีของเนื้อเริ่มคล้ำ มีกลิ่นคาวชัดเจนและเริ่มมีกลิ่นแอมโมเนียเล็กน้อย เมื่อกลืนลงไปจะมีรสขม เนื้อสัมผัสไม่มีความยืดหยุ่น ไม่มีความฉ่ำน้ำ และร่วนเละ (ภาพที่ 6B)

(A) (B)

ภาพที่ 5 กั้งตั๊กแตนสดระหว่างการเก็บรักษาในน้ำแข็งเป็นเวลา 0 วัน (A) และ 10 วัน (B)

(A) (B)

ภาพที่ 6 กั้งตั๊กแตนนึ่งระหว่างการเก็บรักษาในน้ำแข็งเป็นเวลา 0 วัน (A) และ 10 วัน (B)

ตารางที่ 1 คะแนนเฉลี่ยในแต่ละคุณลักษณะจากการทดสอบทางประสาทสัมผัสโดยวิธี QIM ของกั้งตั๊กแตนสดและกั้งตั๊กแตนนึ่งตลอดการเก็บรักษาในน้ำแข็ง 10 วัน และค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ระหว่างคะแนนเฉลี่ยกับระยะเวลาการเก็บรักษาในน้ำแข็ง

คุณลักษณะ/วันที่	0	2	4	6	8	10	Correlation (R)
กั้งตั๊กแตนสด							
การยึดติดกันของส่วนหัวและลำตัว	0.00^{a}	0.00^{a}	0.88^{b}	1.38^{c}	1.88^{d}	2.00^{d}	0.9388
การยึดติดกันระหว่างปล้องลำตัว	0.00^{a}	0.08^{ab}	0.33^{bc}	0.63^{c}	1.13^{d}	1.54^{e}	0.9215
การเกิดเมลาโนซิส (black spot)	0.00^{a}	1.00^{b}	1.13^{b}	2.00^{c}	2.75^{d}	3.00^{e}	0.9848
ความแน่นเนื้อ	0.00^{a}	0.00^{a}	1.00^{b}	1.63^{c}	2.25^{d}	2.63^{e}	0.9826
สีของเนื้อ	0.00^{a}	0.13^{ab}	0.25^{b}	1.00^{c}	1.00^{d}	1.00^{c}	0.9217
กลิ่น	0.00^{a}	0.00^{a}	0.75^{b}	1.88^{c}	2.25^{d}	2.50^{d}	0.9680
กั้งตั๊กแตนนึ่ง							
สีของเปลือก	0.00^{a}	0.88^{b}	1.58^{c}	2.13^{d}	2.13^{d}	3.00^{e}	0.9754
สีของเนื้อ	0.00^{a}	0.13^{a}	1.00^{b}	1.13^{b}	1.13^{b}	1.88^{c}	0.9517
กลิ่น	0.00^{a}	0.88^{b}	1.00^{b}	1.88^{c}	2.38^{d}	3.00^{e}	0.9903
รสชาติ	0.00^{a}	0.25^{b}	1.00^{c}	2.00^{d}	2.13^{d}	2.63^{e}	0.9802
ความยืดหยุ่น	0.00^{a}	0.00^{a}	0.58^{b}	1.00^{c}	1.00^{c}	1.00^{c}	0.9195
ความฉ่ำน้ำ	0.00^{a}	0.13^{a}	1.00^{b}	1.00^{b}	1.88^{c}	1.88^{c}	0.9634
ความร่วน	0.00^{a}	0.00^{a}	1.25^{b}	1.25^{b}	2.00^{c}	2.00^{c}	0.9698
ความเหนียว	0.00^{a}	0.00^{a}	1.00^{b}	1.00^{b}	1.75^{c}	1.88^{c}	0.9753

หมายเหตุ : ตัวอักษรที่ต่างกันในแถวเดียวกันแสดงถึงความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$)

วิจารณ์ผลการวิจัย

การสูญเสียน้ำหนักของกั้งตั๊กแตนที่เพิ่มสูงขึ้นตลอดระยะเวลาการเก็บรักษาบ่งบอกถึงการสูญเสียความสามารถในการอุ้มน้ำของกล้ามเนื้อ ซึ่งเกิดจากการย่อยสลายตัวเองของโปรตีนบางส่วนที่เกิดจากการย่อยสลายตัวเองด้วยเอนไซม์ที่มีอยู่ในกล้ามเนื้อสัตว์น้ำและเอนไซม์จากจุลินทรีย์ (Intarapichet, 1995) โดยเอนไซม์มีบทบาทในการย่อยพันธะเปปไทด์อย่างอิสระภายในสายโซ่โมเลกุลของโปรตีนได้เป็นเปปไทด์สายสั้นๆ (Anprung, 2004) ซึ่งอาจส่งผลให้โครงสร้างของโปรตีนกล้ามเนื้อถูกทำลายและสูญเสียน้ำออกมาภายนอกเซลล์มากขึ้น (Haard, 1994) Mohan *et al.* (2012) รายงานว่าปลาซาร์ดีนเกิดการสูญเสียน้ำหนักเพิ่มขึ้นตลอดระยะเวลาการเก็บรักษานาน 11 วัน เช่นเดียวกับปลาดุก (Mohan *et al.*, 2008), ปลาทู ปลาซาร์ดีน (Hamada-Sato *et al.*, 2002), ปลาไวทิ่ง ปลาทู และปลาแซลมอนแล่ (Fagan *et al.*, 2004) ซึ่งพบว่ามีร้อยละการสูญเสียน้ำหนักเพิ่มขึ้นตลอดระยะเวลาการเก็บรักษา ส่วนการสูญเสียน้ำหนักหลังจากทำให้สุกที่เพิ่มสูงขึ้นในระหว่างการเก็บรักษากั้งตั๊กแตนเกิดขึ้นเนื่องจากโปรตีนกล้ามเนื้อที่เกิดการสูญเสียสภาพตามที่ได้กล่าวมาแล้วข้างต้นจะว่องไวต่อการสูญเสียสภาพเมื่อถูกเหนี่ยวนำด้วยความร้อนส่งผลให้โปรตีนจับตัวกันเองมากขึ้นโดยที่จะไม่มาจับกับน้ำอีก ผลที่ตามมา

คือเกิดการสูญเสียน้ำหนักหลังจากทำให้สุกเพิ่มสูงขึ้นระหว่างการเก็บรักษา (Benjakul & Sutthipan, 2008) จากผลการศึกษาในครั้งนี้มีความสอดคล้องกับการศึกษาของ Benjakul & Sutthipan (2008) พบว่ากล้ามเนื้อส่วนก้ามของปูนิ่มและปูทะเลมีค่าการสูญเสียน้ำหนักหลังจากทำให้สุกเพิ่มสูงขึ้นอย่างมีนัยสำคัญตลอดระยะเวลาการเก็บรักษาที่อุณหภูมิ -18 องศาเซลเซียส

การติดตามการเปลี่ยนแปลงค่าความเป็นกรดด่างของกั้งตั๊กแตนในระหว่างการเก็บรักษาในน้ำแข็ง พบว่ามีแนวโน้มเพิ่มสูงขึ้น ผลการวิจัยนี้อาจมีความสอดคล้องกับรายงานวิจัยของ Gonçalves & Santos (2019) ซึ่งศึกษาการเปลี่ยนแปลงค่าความเป็นกรดด่างของกุ้งขาวระหว่างการเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 12 วัน พบว่าค่าความเป็นกรดด่างในวันแรกของการเก็บรักษามีค่าเท่ากับ 6.45±0.03 หลังจากนั้นค่าความเป็นกรดด่างเพิ่มขึ้นตลอดระยะเวลาการเก็บรักษาจนถึง 7.73±0.09 ในวันที่ 12 ของการเก็บรักษา นอกจากนี้ Lorentzen *et al.* (2016) รายงานว่าค่าความเป็นกรดด่างของเนื้อปูส่วนขาเพิ่มขึ้นจาก 6.5 เป็น 7.0 ในวันที่ 7 ของการเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 0 องศาเซลเซียส โดยปกติภายหลังจากที่สัตว์น้ำตายลงการเปลี่ยนแปลงค่าความเป็นกรดด่างในช่วงแรกสัตว์น้ำจะมีค่าความเป็นกรดด่างลดลงเนื่องจากการเปลี่ยนแปลงของกระบวนการไกลโคไลซิสซึ่งก่อให้เกิดกรดแลกติก ทั้งนี้ปริมาณกรดแลกติกที่เกิดขึ้นจะขึ้นอยู่กับปริมาณไกลโคเจนที่สะสมก่อนตาย รวมทั้งการปฏิบัติต่อสัตว์น้ำ (Sikorski *et al.,* 1990) ส่วนการเพิ่มขึ้นของความเป็นกรดด่างอาจมีสาเหตุมาจากในกล้ามเนื้อสัตว์น้ำเกิดการย่อยสลายตัวเองโดยเอนไซม์จากกล้ามเนื้อสัตว์น้ำและเอนไซม์จากจุลินทรีย์ (Chaijan *et al*., 2005; Okpala *et al*., 2014) ทำให้โปรตีนเสียสภาพหรือเกิดการแตกตัวของโปรตีนเกิดเป็นสารประกอบไนโตรเจนและสารประเภทเอมีน เช่น แอมโมเนีย และไตรเมทิลเอมีน ซึ่งที่มีฤทธิ์เป็นด่างออกมาส่งผลให้ค่าความเป็นกรดด่างในสัตว์น้ำมีค่าสูงขึ้น (Finne, 1982; Benjakul *et al*., 2002; Delbarre-Ladrat *et al.,* 2006) อย่างไรก็ตามการเปลี่ยนแปลงค่าความเป็นกรดด่างของสัตว์น้ำขึ้นอยู่กับปัจจัยหลายอย่าง เช่น ฤดูกาล ลักษณะการจับ ชนิดของปลา อุณหภูมิการเก็บรักษา และปัจจัยอื่นๆ (Pacheco-Aguilar *et al*., 2000; Huss, 1998)

ค่า K ของตัวอย่างกั้งตั๊กแตนมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นตามระยะเวลาการเก็บรักษา ซึ่งมีความสอดคล้องกับผลการศึกษาของ Aubourg *et al.* (2007) พบว่าค่า K ของกุ้งมังกรมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นตลอดระยะเวลาการเก็บรักษาในน้ำแข็งจากวันที่ 0 จนถึงวันที่ 9 เช่นเดียวกับการศึกษาของ Pacheco-Aguilar *et al.* (2008) พบว่าค่า K ของหอยเชลล์เพิ่มสูงขึ้นตลอดระยะเวลาการเก็บรักษานาน 15 วัน โดยมีค่าเพิ่มขึ้นจากร้อยละ 40.3±2.50 เป็นร้อยละ 79.7±8.5 ตามลำดับ Özogul *et al.* (2008) พบว่าค่า K ของปลาเก๋าเพิ่มสูงขึ้นตลอดระยะเวลาการเก็บรักษาในน้ำแข็งเป็นเวลา 22 วัน โดยเพิ่มขึ้นจากร้อยละ 4 เป็นร้อยละ 90 Xiong *et al.* (2020) รายงานว่าค่า K ของปลิงทะเลที่เก็บรักษาในน้ำแข็งมีค่าเพิ่มขึ้นจากร้อยละ 4.82±0.57 เป็นร้อยละ 18.85±2.09 ภายใน 2 วันแรกของการเก็บรักษา และในวันที่ 6 ค่า K ของปลิงทะเลเพิ่มขึ้นเป็นร้อยละ 42.22±1.69 จากรายงานผลการวิจัยในครั้งนี้และที่ผ่านมาแสดงให้เห็นว่าค่า K ที่แตกต่างกันทั้งนี้ขึ้นอยู่กับชนิดของสัตว์น้ำ ค่า K สามารถใช้เป็นดัชนีบ่งบอกความสดของสัตว์น้ำได้ การเปลี่ยนแปลงของค่า K ภายหลังการตายของสัตว์น้ำเกิดขึ้นเนื่องจากการสลายตัวของสารประกอบนิวคลีโอไทด์ แต่อัตราการสลายตัวและรูปแบบการสลายตัวของสารประกอบนิวคลีโอไทด์ในสัตว์น้ำจะแตกต่างกันขึ้นกับชนิดของสัตว์น้ำและกล้ามเนื้อ (Benjakul, 2011) โดยทั่วไปภายหลังการตายทันทีสัตว์น้ำควรมีค่า K ใกล้เคียงร้อยละ 0 ดังนั้นสัตว์น้ำที่มีความสดมากจะมีค่า K น้อยกว่าร้อยละ 20 ความสดปานกลางมีค่า K น้อยกว่าร้อยละ 50 ส่วนสัตว์น้ำที่ไม่มีความสดจะมีค่า K มากกว่าร้อยละ 70 (Saito *et al*., 1959) จากผลการทดลองครั้งนี้พบว่ากั้งตั๊กแตน

มีความสดมากเมื่อเก็บรักษาในน้ำแข็งไม่เกิน 4 วัน (ค่า K เท่ากับร้อยละ 15.94) และมีความสดปานกลางเมื่อเก็บรักษาในน้ำแข็งไม่เกิน 8 วัน (ค่า K เท่ากับร้อยละ 33.28) แต่อย่างไรก็ตามหากพิจารณาการเปลี่ยนแปลง ค่า K ของกั้งตั๊กแตนร่วมกับคะแนนการยอมรับทางประสาทสัมผัสโดยเฉพาะด้านกลิ่นและรสชาติเนื่องจากสารประกอบนิวคลีโอไทด์มีบทบาทต่อกลิ่นรสของสัตว์น้ำ (Benjakul, 2011) พบว่าค่า K ที่ได้จากการทดลองมีค่าน้อยกว่าเกณฑ์ที่กำหนดในขณะที่คุณภาพด้านกลิ่นและรสชาติสามารถสังเกตเห็นถึงการเปลี่ยนแปลงได้ชัดเจนกว่า ทั้งนี้อาจเป็นเพราะสัตว์น้ำในกลุ่มครัสเตเชียมักจะมีค่า K ต่ำกว่าสัตว์น้ำชนิดอื่นๆ (Aubourg *et al*., 2005; Losada *et al*., 2004a, 2004b)

จากผลการทดลองพบว่าการเปลี่ยนแปลงปริมาณ TVB-N ของกั้งตั๊กแตนเพิ่มสูงขึ้นตามระยะเวลาการเก็บรักษาที่นานขึ้น ($p<0.05$) (ภาพที่ 4) เช่นเดียวกับที่พบในกุ้งกุลาดำ (Tam *et al*., 2017) กุ้งขาว (Don *et al*., 2018) แต่อย่างไรก็ตามจากการศึกษาครั้งนี้พบว่าปริมาณ TVB-N ในวันแรกของการเก็บรักษาตัวอย่างกั้งตั๊กแตนมีปริมาณน้อยกว่าปริมาณ TVB-N ที่พบในสัตว์น้ำชนิดอื่นๆ เช่น กุ้งกุลาดำ (8.92 มิลลิกรัม/100 กรัม) (Reddy *et al.,* 2014) และกุ้งขาว (9.94 มิลลิกรัม/100 กรัม) (Okpala *et al*., 2014) เนื่องจากปริมาณ TVB-N ที่พบในสัตว์น้ำแต่ละชนิดจะมีปริมาณที่แตกต่างกัน ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับองค์ประกอบทางเคมีของสัตว์น้ำซึ่งมีความสัมพันธ์กับอาหาร ฤดูการจับ ขนาด อายุ เพศ และกิจกรรมของจุลินทรีย์ในสัตว์น้ำแต่ละชนิด (Kilinc & Cakli, 2005; Goulas & Kontominas, 2007; Sriket *et al*., 2007) ปริมาณ TVB-N ที่ตรวจวัดได้เกิดจากการสลายตัวของโปรตีนและสารประกอบไนโตรเจนที่ไม่ใช่โปรตีนจากการทำงานของเอนไซม์ในสัตว์น้ำหรือเอนไซม์จากจุลินทรีย์ (Castillo-Yáñez *et al*., 2007) นอกจากนี้การเพิ่มขึ้นของปริมาณ TVB-N ยังมีความสัมพันธ์กับค่าความเป็นกรดด่างที่เพิ่มสูงขึ้นตลอดระยะเวลาการเก็บรักษา (ภาพที่ 2A) เนื่องจากผลิตภัณฑ์ที่ได้จากการสลายตัวของโปรตีนและสารประกอบไนโตรเจนมีฤทธิ์เป็นด่างออกมาส่งผลให้ค่าความเป็นกรดด่างในสัตว์น้ำมีค่าสูงขึ้น (Benjakul *et al*., 2002; Finne, 1982) ปริมาณ TVB-N ที่แตกต่างกันในสัตว์น้ำแต่ละชนิดมีผลต่อระดับการยอมรับผู้บริโภค Okpala *et al.* (2014) รายงานว่าปริมาณ TVB-N ของกุ้งขาวไม่เกิน 25 มิลลิกรัม/100 กรัม จัดเป็นระดับที่ผู้บริโภคยอมรับ สำหรับการศึกษาในครั้งนี้ พบว่าระดับ TVB-N ของตัวอย่างกั้งตั๊กแตนที่ผู้บริโภคยอมรับจะต้องไม่เกิน 8 มิลลิกรัม/100 กรัม เนื่องจากปริมาณ TVB-N ที่พบในสัตว์น้ำแต่ละชนิดจะมีปริมาณที่แตกต่างกันและมีผลต่อการไม่ยอมรับแตกต่างกัน (Benjakul, 2011) จากการศึกษาในครั้งนี้ได้ทำการพิจารณาการเปลี่ยนแปลงปริมาณ TVB-N ร่วมกับคะแนนการยอมรับทางประสาทสัมผัสโดยเฉพาะด้านกลิ่นของกั้งตั๊กแตนสดพบว่า ในวันที่ 8 มีปริมาณ TVB-N ที่วิเคราะห์ได้เท่ากับ 7.25 มิลลิกรัม/100 กรัม ซึ่งผู้ทดสอบสามารถรับรู้ถึงกลิ่นคาวและกลิ่นแอมโมเนีย นอกจากนี้ยังพบว่าปริมาณจุลินทรีย์ทั้งหมดเกินเกณฑ์มาตรฐานตามที่กฎหมายกำหนดในวันที่ 8 ของการเก็บรักษา (ภาพที่ 4) ถึงแม้ว่าจากผลการศึกษาครั้งนี้พบว่าปริมาณจุลินทรีย์ทั้งหมดในตัวอย่างกั้งตั๊กแตนเพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่องในระหว่างการเก็บรักษา แต่ปริมาณ TVB-N ที่พบในตัวอย่างกั้งตั๊กแตนจากการศึกษาครั้งนี้มีปริมาณน้อยกว่าเกณฑ์มาตรฐานอาจเป็นเพราะผลของการชะล้างสารประกอบของด่างที่ระเหยได้ด้วยน้ำ (Etienne, 2005) ทั้งนี้อาจเป็นน้ำที่มาจากการละลายของน้ำแข็งและน้ำที่เกิดจากการสูญเสียน้ำของโปรตีนก่อให้เกิดน้ำอิสระไหลเยิ้ม (drip) ซึ่งมีความสอดคล้องกับร้อยละการสูญเสียน้ำหนักของกั้งตั๊กแตนที่สูงขึ้นตลอดระยะเวลาการเก็บรักษา (ภาพที่ 1A) Ruiz-Capillas *et al*. (2001) ได้รายงานว่าในระหว่างการเก็บรักษาหอยเชลล์ในน้ำแข็ง เมื่อน้ำแข็งละลายจะเกิดการชะล้างแอมโมเนียส่งผลให้ปริมาณ TVB-N น้อยลง

จากผลการติดตามการเปลี่ยนแปลงปริมาณ TMA-N ของกั้งตั๊กแตน พบว่าเพิ่มสูงขึ้นตลอดระยะเวลาการเก็บรักษา เช่นเดียวกับที่พบในกุ้งขาว (Don *et al*., 2018) กุ้งมังกร (Gonçalves *et al*., 2015) กุ้งกุลาดำ (Tam *et al*., 2017) ปริมาณ TMA-N ของสัตว์น้ำในกลุ่มครัสเตเชียแตกต่างจากสัตว์น้ำชนิดอื่นๆ อาจเป็นเพราะสัตว์น้ำในกลุ่มนี้มีปริมาณ TMAO น้อยมาก (Don *et al*., 2018) ปริมาณ TMA-N ที่พบในสัตว์น้ำเป็นผลิตภัณฑ์ที่เกิดขึ้นจากการทำงานของเอนไซม์ในสัตว์น้ำหรือเอนไซม์จากจุลินทรีย์ โดยทั่วไปจุลินทรีย์ที่เป็นสาเหตุของการเน่าเสียสามารถเปลี่ยน TMAO ไปเป็น TMA ได้ (Mitsubayashi *et al*., 2004; Siripatrawan *et al*., 2009) TMA จัดเป็นสารประกอบไนโตรเจนมีฤทธิ์เป็นด่างส่งผลให้ค่าความเป็นกรดด่างในสัตว์น้ำมีค่าสูงขึ้น (Benjakul *et al*., 2002; Finne, 1982) ปริมาณ TMA-N ที่แตกต่างกันในสัตว์น้ำแต่ละชนิดมีผลต่อระดับการยอมรับผู้บริโภค Okpala *et al*. (2014) รายงานว่าปริมาณ TMA-N ของกุ้งขาวไม่เกิน 5 มิลลิกรัม/100 กรัม จัดเป็นระดับที่ผู้บริโภคยอมรับ สำหรับการศึกษาในครั้งนี้ พบว่าระดับ TMA-N ของตัวอย่างกั้งตั๊กแตนที่ผู้บริโภคยอมรับจะต้องไม่เกิน 4 มิลลิกรัม/100 กรัม หากพิจารณาการเปลี่ยนแปลงปริมาณ TMA-N ของกั้งตั๊กแตนร่วมกับคะแนนการยอมรับทางประสาทสัมผัสโดยเฉพาะด้านกลิ่นพบว่า ในวันที่ 8 ของการเก็บรักษาผู้ทดสอบสามารถรับรู้ถึงกลิ่นคาวชัดเจนและเริ่มรับรู้ถึงกลิ่นแอมโมเนียได้ ซึ่งปริมาณ TMA-N ที่วิเคราะห์ได้ในวันที่ 8 ของการเก็บรักษามีค่าเท่ากับ 4.35 มิลลิกรัม/100 กรัม

จากผลการศึกษาการเปลี่ยนแปลงปริมาณจุลินทรีย์ทั้งหมดในตัวอย่างกั้งตั๊กแตนที่เพิ่มสูงขึ้นตลอดระยะเวลาการเก็บรักษา พบว่ามีความสัมพันธ์กับการเปลี่ยนแปลงคุณภาพทางเคมีและคุณภาพทางประสาทสัมผัส โดยพบว่าการเพิ่มขึ้นของปริมาณจุลินทรีย์ทั้งหมดส่งผลให้ค่าความเป็นกรดด่าง TVB-N TMA-N และคะแนนจากการประเมินลักษณะทางประสาทสัมผัสเพิ่มขึ้นตลอดระยะเวลาการเก็บรักษา ซึ่งการเปลี่ยนแปลงดังกล่าวมีผลเนื่องมาจากกิจกรรมของจุลินทรีย์ (Lorentzen *et al*., 2016) โดยผลการทดลองในครั้งนี้มีความสอดคล้องกับรายงานของ Gonçalves & Santos (2019); Don *et al*. (2018); Gonçalves *et al*. (2015); Okpala *et al*. (2014) ซึ่งพบว่าปริมาณจุลินทรีย์ทั้งหมดที่พบในกุ้งที่เพิ่มสูงขึ้นตลอดระยะเวลาการเก็บรักษาจะมีความสอดคล้องกับปริมาณ TMA-N และ TVB-N ที่เพิ่มสูงขึ้นในระหว่างการเก็บรักษาเช่นกัน เนื่องจากกิจกรรมของจุลินทรีย์ก่อให้เกิดสารระเหยที่ทำให้เกิดกลิ่นคาวและกลิ่นเหม็นเน่าของสัตว์น้ำ (Benjakul, 2011) ส่งผลให้คุณภาพทางประสาทสัมผัสมีคะแนนลดลงตลอดระยะเวลาการเก็บรักษา (Don *et al*., 2018; Lorentzen *et al*., 2016) จุลินทรีย์ที่อาจเป็นสาเหตุของการเสื่อมเสียกั้งตั๊กแตนที่เก็บรักษาในน้ำแข็ง ได้แก่ *Shewanella putrefaciens* และ *Vibrionaceae* ซึ่งสามารถผลิต TMA และสารประกอบซัลไฟด์ที่ระเหยได้ *Pseudomonas* สามารถผลิตแอลดีไฮด์ คีโตน เอสเทอร์ โดยจุลินทรีย์ที่พบอาจปนเปื้อนได้จากแหล่งน้ำ เครื่องมือจับสัตว์น้ำ น้ำที่ใช้ทำความสะอาด เป็นต้น การเน่าเสียจะเกิดขึ้นทันทีที่สัตว์น้ำตายและเกิดการเน่าเสียอย่างรวดเร็วโดยจุลินทรีย์ที่ติดมากับเปลือกของสัตว์น้ำ (Utarapichat, 2007) โดยปกติการเปลี่ยนแปลงปริมาณจุลินทรีย์เกิดขึ้นเมื่อสัตว์น้ำตายลง เนื่องจากระบบภูมิคุ้มกันหยุดทำงานและผิวหนังตลอดจนเนื้อเยื่อจะสูญเสียความสามารถในการควบคุมการซึมผ่าน (permeability) ทำให้ปริมาณจุลินทรีย์เพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็ว (Benjakul, 2011; Okpala *et al*., 2014; Cyprian *et al*., 2008; Sveinsdóttri *et al*., 2002) จากผลการศึกษาในครั้งนี้ทำให้ทราบว่าจุลินทรีย์มีบทบาทสำคัญต่อการเปลี่ยนแปลงคุณภาพของสัตว์น้ำ ดังนั้นการควบคุมปริมาณจุลินทรีย์จึงมีความสำคัญต่อการควบคุมคุณภาพหรือยืดอายุการเก็บรักษาสัตว์น้ำ

จากตารางที่ 1 แสดงให้เห็นว่าคะแนนเฉลี่ยในแต่ละคุณลักษณะของกั้งตั๊กแตนสดเพิ่มขึ้นเมื่อระยะเวลาการเก็บรักษานานขึ้น สำหรับการศึกษาครั้งนี้การเกิดเมลาโนซีสเป็นคุณลักษณะทางประสาทสัมผัสที่สำคัญในการบ่งชี้คุณภาพของกั้งตั๊กแตน เนื่องจากสามารถสังเกตได้ถึงการเปลี่ยนแปลงอย่างรวดเร็วเมื่อเปรียบเทียบกับคุณลักษณะด้านอื่นๆ โดยการเกิดเมลาโนซีสเป็นคุณลักษณะที่สามารถตรวจพบได้ตั้งแต่วันที่ 2 ของการเก็บรักษา เช่นเดียวกับ Gonçalves & Santos (2019) รายงานว่ากุ้งขาวเกิดเมลาโนซีสในวันที่ 3 ของการเก็บรักษา นอกจากนี้ Gonçalves *et al*. (2015) รายงานว่าการเกิดเมลาโนซีสของกุ้งมังกรถูกตรวจพบในวันที่ 3 ของการเก็บรักษาในน้ำแข็ง การเกิดสีน้ำตาลที่เกี่ยวข้องกับเอนไซม์เป็นสาเหตุสำคัญที่ทำให้เกิดเมลาโนซิส เอนไซม์ที่มีอยู่ในสัตว์น้ำ เช่น พอลิฟีนอลออกซิเดสจะเร่งปฏิกิริยาที่มีสารประกอบฟีนอลและออกซิเจนเป็นสับสเตรตเปลี่ยนไปเป็นสารประกอบควิโนน ซึ่งสามารถถูกออกซิไดส์ต่อเป็นเมลานิน (Gonçalves & Santos, 2019; Bono *et al*., 2016; Gonçalves & Oliveira, 2016) อย่างไรก็ตามอัตราเร็วของการเกิดเมลาโนซิสจะแตกต่างกันไปขึ้นอยู่กับชนิดของสัตว์น้ำ (Benjakul, 2011) ส่วนการเปลี่ยนแปลงคุณภาพของกั้งตั๊กแตนนึ่งแสดงดังตารางที่ 2 พบว่าภายหลังจากวันที่ 4 ของการเก็บรักษาคุณลักษณะด้านเนื้อสัมผัสของกั้งตั๊กแตนนึ่งมีคุณภาพลดลงอย่างเห็นได้ชัดเจนเช่นเดียวกับคุณลักษณะด้านกลิ่น ซึ่งการเปลี่ยนแปลงดังกล่าวสอดคล้องกับความสามารถในการอุ้มน้ำของกล้ามเนื้อโดยพิจารณาจากการสูญเสียน้ำหนัก (weight loss) (ภาพที่ 1A) และการสูญเสียน้ำหนักหลังจากทำให้สุก (cooking loss) (ภาพที่ 2A) ที่เพิ่มสูงขึ้นมีสาเหตุจากการที่เส้นใยกล้ามเนื้อถูกทำลายและการย่อยสลายของโปรตีนกล้ามเนื้อ (Pacheco-Aguilar *et al*., 2008) นอกจากนี้โครงข่ายของเนื้อเยื่อเกี่ยวพันที่ถูกทำลายไปรวมถึงการสูญเสียการละลายและโครงสร้างของคอลลาเจนที่เปลี่ยนไปเป็นเจลาตินในขณะที่เนื้อเยื่อกล้ามเนื้อถูกทำให้สุกด้วยความร้อน (Tam *et al*., 2017) ส่งผลทำให้เนื้อสัมผัสของกั้งตั๊กแตนเปลี่ยนแปลงไป สำหรับการเปลี่ยนแปลงคุณภาพด้านกลิ่นมีความสอดคล้องกับปริมาณ TVB TMA และปริมาณจุลินทรีย์ทั้งหมดที่ตรวจพบในตัวอย่าง

สรุปผลการวิจัย

คุณภาพทางกายภาพ เคมี จุลินทรีย์ และประสาทสัมผัสของกั้งตั๊กแตนลดลงตลอดระยะเวลาการเก็บรักษาในน้ำแข็ง หากพิจารณาจากคุณภาพทางเคมีร่วมกับคุณภาพทางประสาทสัมผัส พบว่ากั้งตั๊กแตนมีอายุการเก็บรักษาในน้ำแข็งได้นาน 6 วัน โดยมีคุณภาพอยู่ในระดับที่ผู้บริโภคยอมรับได้ นอกจากนี้ปริมาณ TVB-N และ TMA-N ที่ผู้บริโภคยอมรับได้จะต้องไม่เกิน 8 มิลลิกรัม/100 กรัม และ 4 มิลลิกรัม/100 กรัม ตามลำดับ และปริมาณจุลินทรีย์ทั้งหมดไม่เกินเกณฑ์มาตรฐานตามที่กฎหมายกำหนด ผลการวิจัยครั้งนี้ทำให้ทราบว่าปฏิกิริยาทางเคมี ชีวเคมี และจุลินทรีย์ที่เกิดขึ้นกับกั้งตั๊กแตนภายหลังการตายมีบทบาทสำคัญต่อการเปลี่ยนแปลงคุณภาพของกั้งตั๊กแตน

กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณสำนักบริหารโครงการส่งเสริมการวิจัยในอุดมศึกษาและพัฒนามหาวิทยาลัยวิจัยแห่งชาติ สำนักงานคณะกรรมการการอุดมศึกษา ผู้ให้การสนับสนุนทุนวิจัยในครั้งนี้

เอกสารอ้างอิง

Anacleto, P., Teixeira, B., Marques, P., Pedro, S., Nunes, M. L., & Marques, A. (2011). Shelf-life of cooked edible crab (*Cancer pagurus*) stored under refrigerated conditions. *LWT Food Science and Technology*, *44*(6), 1376-1382.

Anprung, P. (2004). *Food Enzyme*. (4 th ed.). Bangkok: Chulalongkorn University. (in Thai)

Aubourg, S. P. (2001). Damage detection in horse mackerel (*Trachurus trachurus*) during chilled storage. *Journal of the American Oil Chemists' Society*, *78*(8), 857–862.

Aubourg, S. P., Piñeiro, C., Gallardo, J., & Barros-Vela´zquez, J. (2005). Evolution of biochemical changes related to the quality loss in farmed turbot (*Psetta maxima*) during chilled storage. *Food Chemistry*, *90*, 445–452.

Aubourg, S. P., Quitral, V., Larraín, A. M., Rodríguez, A., Gómez J., Maier, L., & Vinagre, J. (2007). Autolytic degradation and microbiological activity in farmed coho salmon (*Oncorhynchus kisutch*) during chilled storage. *Food Chemistry*, *104*, 369–375.

BAM. (2002). *Bacteriological Analytical Manual*. U.S. Food and Drug Administration. Center for Food Safety and Applied Nutrition.

Benjakul, S. (2011). *Chemistry and quality of aquatic animals*. (2 nd ed.). Bangkok: Odeon Store. (in Thai)

Benjakul, S. & Sutthipan, N. (2008). Muscle changes in hard and soft shell crabs during frozen storage. *LWT - Food Science and Technology*, *42*, 723–729.

Benjakul, S., Visessanguan, W., Riebroy, S., Ishizaki, S., & Tanaka, M. (2002). Gel-forming properties of surimi produced from bigeye snapper, *Priacanthus tayenus* and *P. macracanthus*, stored in ice. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, *82*, 1442–1451.

Benjakul, S., Visessanguan,W., & Tueksuban, J. (2003). Changes in physicochemical properties and gel-forming ability of lizardfish (*Saurida tumbil*) during postmortem storage in ice. *Food Chemistry*, *80,* 535–544.

Bono, G., Okpala, C. O. R., Alberio, G. R. A., Messina, C. M., Santulli, A., Giacalone, G., & Spagna, G. (2016). Toward shrimp consumption without chemicals: Combined effects of freezing and modified atmosphere packaging (MAP) on some quality characteristics of Giant Red Shrimp (*Aristaeo morphafoliacea*) during storage. *Food Chemistry*, *197*(15), 581–588.

Castillo-Yanez, F. J., Pacheco-Aguilar, R., Marquez-Rios, E., Lugo-Sánchez, M. E., & Lozano-Taylor, J. (2007). Freshness loss in sierra fish (*Scomberomorus sierra*) muscle stored in ice as affected by postcapture handling practices. *Journal of Food Biochemistry*, *31*, 56–67.

Chaijan, M., Benjakul, S., Visessanguan, W., & Faustman, C. (2005). Changes of pigments and colour in sardine (*Sardinella gibbosa*) and mackerel (*Rastrelliger kanagurta*) muscle during iced storage. *Food Chemistry*, *83*, 607–617.

Conway, E.J., & Byrne, A. (1936). An absorption apparatus for the micro-determination of certain volatile substances. *Biochemical Journal*, *27,* 419–429.

Cyprian, O. O., Sveinsdottir, K., Magnússon, H., & Martinsdottir, E. (2008). Application of Quality Index Method (QIM) scheme and effects of short-time temperature abuse in shelf life study of fresh water Arctic charr (*Salvelinus alpinus*). *Journal of Aquatic Food Product Technology*, *17*(13), 303-321.

Delbarre-Ladrat, C., Chéret, R., Taylor, R., & Verrez-Bagnis, V. (2006). Trends in postmortem aging in fish: Understanding of proteolysis and disorganization of the myofibrillar structure. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, *46*, 409–421.

Department of fisheries. (2004). *Microbiological reference criteria for fishery products*. Retrieved May 7, 2020, from https://www.fisheries.go.th/quality/analyse/Ana_Bio.pdf.

Department of fisheries. (2019). *Fisheries statistics of Thailand 2017*. Retrieved May 7, 2020, from https://www.fisheries.go.th/strategy-stat/themeWeb/books/2560/1/FISHERIES STATISTICS OF THAILAND%20B.E.%202560.pdf.

Don, S., Xavier, K. A. M., Devi, S. T., Nayak, B. B., Kannuchamy, N. (2018). Identification of potential spoilage bacteria in farmed shrimp (*Litopenaeus vannamei*): Application of Relative Rate of Spoilage models in shelf life-prediction. *LWT - Food Science and Technology, 97*, 295–301.

Etienne, M. (2005). *Volatile amines as criteria for chemical quality assessment*. Retrieved May 7, 2020, from http://archimer.ifremer.fr/doc/2005/rapport-6486.pdf.

Fagan, J. D., Gormley, T. R., & UiMhuircheartaigh, M. M. (2004). Effect of modified atmosphere packaging with freeze-chilling on some quality parameters of raw whiting, mackerel and salmon portions. *Innovative Food Science & Emerging Technologies*, *5,* 205-214.

Finne, G. (1982). Enzymatic ammonia production in shrimp held on ice. In R. E. Martin, G. J. Flick, C. E. Hebard, & D. R. Ward. (Eds.), *Chemistry and biochemistry of marine food products*. (pp. 323-331). Westport, Conn: AVI Publishing Company.

Gonçalves, A. A., Lima, J. T. A. X., & Paula, F. E. R. (2015). Development of Quality Index Method (QIM) scheme for spiny lobster (*Panulirus argus*, Latreille, 1804) stored in ice. *Food Control, 47*, 237-245.

Gonçalves, A. A., & Oliveira, A. R. M. (2016). Melanosis in crustaceans: A review. *LWT- Food Science and Technology*, *65*, 791–799.

Gonçalves, A. A., & Santos, T. C. L. (2019). Improving quality and shelf-life of whole chilled Pacific white shrimp (*Litopenaeus vannamei*) by ozone technology combined with modified atmosphere packaging. *LWT - Food Science and Technology*, *99*, 568–575.

Goulas, A. E., & Kontominas, M. G. (2007). Combined effect of light salting, modified atmosphere packaging and oregano essential oil on the shelf-life of sea bream (*Sparus aurata*): Biochemical and sensory attributes. *Food Chemistry*, *100*(1), 287-296.

Haard, N. F., Simpson, B. K. & Pan, B. S. (1994) Sarcoplasmic proteins and other nitrogenous compounds. In Z. E. Sikorski, B. S. Pan and F. Shahidi (Eds.), *Seafood proteins*. (pp. 13–39). New York: Chapman & Hall.

Hamada-Sato, N., Kobayashi, T., Imada, C., & Watanabe, E. (2002). Freshness preservation of raw fish using contact dehydration sheet: freshness-preserving effects of contact dehydration sheet on Pacific mackerel and Japanese sardine. *Nippon Shokuhin Kagaku KogakuKaishi*, *49,* 765-770.

Huss, H.H. (1998). *Fresh Fish-Quality and Quality Changes*. Rome: FAO Fisheries.

Intarapichet, K. (1995). *Changes in post-harvest biological materials*. Nakhon Ratchasima: Suranaree University of Technology. (in Thai)

Jay, J. M., Loessner, M. J., & Golden, D. A. (2005). Processed meats and seafoods. In J. M. Jay, M. J. Loessner, & D. A. Golden. (Eds.), *Modern food microbiology* (pp. 101-124). New York: Springer Science.

Kilinc, B., & Cakli, S. (2005). Determination of the shelf life of sardine (*Sardina pilchardus*) marinades in tomato sauce stored at 4 °C. *Food Control*, *16*(7), 639-644.

Lorentzen, G., Rotabakk, B. T., Olsen, S. H., Skuland, A. V., & Siikavuopio, S. I. (2016). Shelf life of snow crab clusters (*Chionoecetes opilio*) stored at 0 and 4 °C. *Food Control*, *59,* 454-460.

Losada, V., Pin eiro, C., Barros-Vela´zquez, J., & Aubourg, S. (2004a). Effect of slurry ice on chemical changes related to quality loss during European hake (*Merluccius merluccius*) chilled storage. *European Food Research and Technology, 219, 27-31.*

Losada, V., Barros-Vela´zquez, J., Gallardo, J., & Aubourg, S. (2004b). Effect of advanced chilling methods on lipid damage during sardine (*Sardina pilchardus*) storage. *European Journal of Lipid Science and Technology, 106, 844-850.*

Mitsubayashi, K., Kubotera, Y., Yano, K., Hashimoto, Y., Kon, T., & Nakakura, S. (2004). Trimethylamine biosensor with flavin-containing monooxygenase type 3 (FMO3) for fish-freshness analysis. *Sensors and Actuators B: Chemical*, *103,* 463-467.

Mohan, C. O., Ravishankar, C. N., & Gopal, S. T. K. (2008). Effect of O_2 scavenger on the shelf life of catfish (*Pangasius sutchi*) steaks during chilled storage. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, *88,* 442-448.

Mohan, C. O., Ravishankar, C. N., Lalitha, K.V., & Gopal, S. T. K. (2012). Effect of chitosan edible coating on the quality of double filleted Indian oil sardine (*Sardinella longiceps*) during chilled storage. *Food Hydrocolloids, 26*, 167-174.

Okpala, C. O. R., Choo, W. S., & Dykes, G. A. (2014). Quality and shelf life assessment of Pacific white shrimp (*Litopenaeus vannamei*) freshly harvested and stored on ice. *LWT - Food Science and Technology*, *55*(1), 110-116.

Özogul, F., Özogul, Y., & Kuley, E. (2008). Nucleotide degradation and biogenic amine formation of wild white grouper (*Epinephelus aeneus*) stored in ice and at chill temperature (4 ^{o}C). *Food Chemistry*, *108*, 933–941.

Pacheco-Aguilar, R., Lugo-Sánchez, M. E., & Robles-Burgueno, M. (2000). Postmortem biochemical and functional characteristic of Monterey sardine muscle stored at 0^{o}C. *Journal of Food Science*, *65*, 40-47.

Pacheco-Aguilar, R., Marquez-Ríos, E., Lugo-Sánchez, M. E., García-Sanchez, G., Maeda-Martínez, A. N., & Ocanõ-Higuer, V. M. (2008). Postmortem changes in the adductor muscle of Pacific lions-paw scallop (*Nodipecten subnodosus*) during ice storage. *Food Chemistry*, *106*, 253–259.

Reddy, V. K., Shinde, P. A., Sofi, F. R., Shelar, P. S., & Patange, S. B. (2014). Effect of antimelanotic treatment and vacuum packaging on melanosis and quality condition of ice stored farmed tiger shrimp (*penaeus monodon*). *SAARC Journal of Agriculture*, *11*(2), 33–47.

Ruiz-Capillas, C., Horner, W., & Gillyon, C. (2001). Effect of packaging on the spoilage of king scallop (*Pecten maximus*) during chilled storage. *European Food Research and Technology*, *213*(2), 95–98.

Saito, T., Arai, K., & Matsuyoshi, M. (1959). A new method for estimating the freshness of fish. *Bulletin of the Japanese Society of Scientific Fisheries*, *24*(9), 749–750.

Sikorski, Z. E., Kolakowska, A., & Pan, B. S. (1990). The nutritive composition of the major groups of marine food organisms. In Z. E. Sikorski. (Ed.), *Seafood: Resources, nutritional composition, and preservation*. (pp. 30–54). Boca Raton: CRC Press.

Siripatrawan, U., Sanguandeekul, R., & Narakaew, V. (2009). An alternative freshness index method for modified atmosphere packaged abalone using an artificial neural network. *LWT - Food Science and Technology*, *42*, 343-349.

Sriket, P., Benjakul, S., Visessanguan, W., & Kijroongrojana, K. (2007). Comparative studies on chemical composition and thermal properties of black tiger shrimp (*Penaeus monodon*) and white shrimp (*Penaeus vannamei*) meats. *Food Chemistry*, 103, 1199–1207.

Steel, R. G. D., & Torrie, J. H. (1980). *Principle and procedure of statistics: A biometrical approach*. New York: MacGraw-Hill.

Sveinsdottir, K., Hyldig, G., Martinsdóttir, E., Jorgensen, B., & Kristbergsson, K. (2002). Application of Quality Index Methods (QIM) scheme in shelf-life study of farmed Atlantic salmon (*Salmo salar*). *Journal of Food Science*, *67*, 1570-1579.

Tam, L. N., Khue, D. N., Thanh, N. B., & Thi, T. T. V. (2017). Towards improved quality benchmarking and shelf life evaluation of black tiger shrimp (*Penaeus monodon*). *Food Chemistry*, 235, 220-226.
Technology, *106*, 844–850.

Uchiyama, H. (1978). *Analytical method for estimating freshness of fish*. Thailand: Southeast Asian Fisheries Development Center.

Utarapichat, B. (2007). *Food microbiology*. (3 rd ed.). Songkhla: Thaksin University. (in Thai)

Xiong, X., Hea, B., Jianga, D., Donga, X., Yub, C., & Qi, H. (2020). Postmortem biochemical and textural changes in the sea cucumber *Stichopus japonicus* body wall (SJBW) during iced storage. *LWT - Food Science and Technology*, *118,* 108705.