

ประสิทธิภาพของน้ำแข็งผสมกรดอินทรีย์ต่อการรักษาคุณภาพหมึกกล้วย

Effectiveness of Organic Acid in Ice to Enhance Quality of Squid (*Loligo* spp.)

สวามินี ธีระวุฒิ¹ และปัทยัท ขวัญอ่อน²
Savaminee Teerawut¹ and Patiyut Kwanon²

บทคัดย่อ

หมึกกล้วย (*Loligo* spp.) เป็นสัตว์เศรษฐกิจของประเทศไทย และมีคุณค่าทางโภชนาการสูง แต่เน่าเสียได้ง่าย ซึ่งทำให้เนื้อสัมผัส กลิ่นรส และคุณค่าทางโภชนาการลดลง ดังนั้นจึงศึกษาประสิทธิภาพของน้ำแข็งผสมกรดอินทรีย์ต่อการรักษาคุณภาพของหมึกกล้วยที่ความเข้มข้นของกรดแตกต่างกัน ได้แก่ IL02 (กรดแล็กติก 0.02%), IL05 (กรดแล็กติก 0.05%), ILC 207 (กรดแล็กติก 0.02% และกรดซิตริก 0.075%) และ ILC210 (กรดแล็กติก 0.02% และกรดซิตริก 0.1%) (v/v) เปรียบเทียบกับน้ำแข็งปราศจากกรดอินทรีย์ (ICC) อัตราส่วนหมึกกล้วย : น้ำแข็ง คือ 1 : 2 (w/w) เก็บรักษาที่อุณหภูมิห้องนาน 21 วัน โดยทุก 3 วัน ต้มเนื้อหมึกที่อุณหภูมิ 95 องศาเซลเซียส นาน 3 นาที ก่อนวิเคราะห์คุณภาพทางจุลชีววิทยา (จำนวนจุลินทรีย์ทั้งหมด) ทางเคมี (TVB-N และ TMA-N) ทางกายภาพ (แรงเฉือน) และทางประสาทสัมผัส พบว่า การแช่หมึกกล้วยในน้ำแข็งที่ผสมทั้งกรดแล็กติกและกรดซิตริกมีจำนวนจุลินทรีย์ทั้งหมด, TVB-N และ TMA-N น้อยกว่าน้ำแข็งผสมกรดแล็กติกเพียงอย่างเดียว 0.5-2.0 log CFU/g และตัวอย่างควบคุม 1.5-3.0 log CFU/g ($P < 0.05$) หมึกกล้วยที่แช่ในน้ำแข็งผสมระหว่างกรดสองชนิดได้แก่ ILC207 มีจุลินทรีย์ทั้งหมด, TVB-N และ TMA-N น้อยที่สุด มีแรงเฉือน การยอมรับทางประสาทสัมผัสด้านกลิ่น รสชาติ และเนื้อสัมผัสมากที่สุด ($P < 0.05$) เมื่อพิจารณาอายุการเก็บรักษาจากจำนวนจุลินทรีย์ทั้งหมด (ไม่เกิน 6 log CFU/g) หมึกกล้วย ILC207 มีอายุการเก็บรักษาได้นานที่สุดคือ 9 วัน รองลงมาได้แก่ ILC210 เก็บรักษาได้ 6 วัน ส่วน IL05, IL02 และ ICC สามารถเก็บรักษาได้เท่ากัน คือ 3 วัน

คำสำคัญ: กรดซิตริก กรดแล็กติก น้ำแข็ง หมึกกล้วย

Abstract

Squid (*Loligo* spp.) is a species that is of great economic importance for Thailand. It has high nutritional value. However, fresh squid deteriorates easily. As it does so, it softens in texture and loses its flavor. Moreover, its nutritional features quickly drop off. Therefore, an effective preventive substance is needed to keep the squid fresh longer. In this project, mixtures of natural organic acids in ice were used as preservatives. The effectiveness of maintaining the quality of squid (*Loligo* spp.) was investigated by varying types and concentrations (% v/v) of acids in an icing system; IL02 (0.02% lactic acid), IL05 (0.05% lactic acid), ILC207 (0.02% lactic acid and 0.075% citric acid) and ILC210 (0.02% lactic acid and 0.1% citric acid). Experimental investigations were setup that were compared to ICC (ice without organic acid; the control) during ice storage at a squid to ice ratio of 1:2 (w/w) at room temperature for 21 days. Afterwards, the samples were boiled at 95°C for 3 min before being evaluated for microbiological quality (total viable counts), chemical qualities (TVB-N and TMA-N), physical quality (shear force) and sensory properties. The results indicated that the squid packed in ice with lactic acid and citric acid concentrations of 0.5-2.0 log CFU/g and 1.5-3.0 log CFU/g showed total bacterial counts, TVB-N and TMA-N that were lower than that of the lactic acid ice pack and the control sample ($P < 0.05$). The squid packed in ILC207 showed the lowest total viable counts, TVB-N and TMA-N, and recorded the highest shear force and best sensory evaluation ($P < 0.05$). A squid sample was considered to be within shelf life provided that the number of microorganisms did not exceed 6 log CFU/g. The squid packed in ILC207 showed the longest shelf life of 9 days. Samples packed in ILC210 demonstrated a shelf life of 6 days, whilst squid in IL05, IL02 and ICC showed the same shelf life of 3 days.

Keywords: citric acid, lactic acid, ice, squid

¹ ภาควิชาวิทยาศาสตร์ คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยบูรพา อ. เมือง จ. ชลบุรี 20131

² คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลตะวันออก อ. ศรีราชา จ. ชลบุรี 20110

¹ Department of Aquatic Science, Faculty of Science, Burapha University, Muang, Chonburi 20131

² Faculty of Science and Technology, Rajamangala University of Technology Tawan-ok, Si Racha, Chonburi 20110

*Corresponding author, Email: sawamin@go.buu.ac.th

คำนำ

หมึกกล้วย (*Loligo spp.*) เป็นสัตว์น้ำที่ได้รับความนิยมในการบริโภค เนื่องจากให้คุณค่าทางโภชนาการสูง มีรสชาติและเนื้อสัมผัสที่เป็นเอกลักษณ์เฉพาะตัว โดยในปี 2559 ประเทศไทยมีผลผลิตโดยรวมจากหมึกมากถึง 109 ตัน สร้างมูลค่าสูงถึง 11,709.5 ล้านบาท (กองนโยบายและยุทธศาสตร์พัฒนาการประมง, 2561) ทั้งนี้การจัดการและการดูแลหมึกกล้วยสดก่อนการนำไปแปรรูปยังมีข้อจำกัด เนื่องจากหมึกกล้วยมีการเน่าเสียที่รวดเร็วจากเอนไซม์ภายในตัวของหมึกเองและการปนเปื้อนของจุลินทรีย์ ทำให้เกิดกลิ่นไม่พึงประสงค์ เนื้อสัมผัสนุ่มและ ทำให้ไม่เป็นที่ต้องการของผู้บริโภคและโรงงานแปรรูป การเน่าเสียที่เกิดขึ้นยังส่งผลให้หมึกกล้วยมีคุณค่าทางโภชนาการและมูลค่าทางเศรษฐกิจลดลง ดังนั้นเพื่อชะลอการเน่าเสียจึงมีการใช้น้ำแข็งเพื่อเก็บรักษาหมึกกล้วยสด เนื่องจากความเย็นของน้ำแข็งช่วยชะลอกิจกรรมของเอนไซม์ในหมึกและชะลอการเจริญของจุลินทรีย์ที่เป็นสาเหตุของการเน่าเสียได้ งานวิจัยหลายฉบับได้ใช้สารสกัดจากพืชผสมในน้ำแข็งเพื่อรักษาคุณภาพของสัตว์น้ำ เช่น ไควม์ (Quitral et al., 2009) และโรสแมรี่ (Özyurt et al., 2012) ซึ่งมีข้อจำกัดเรื่องกลิ่นรสของสารสกัดที่มีผลกับผลิตภัณฑ์และความยุ่งยากในการเตรียมสารสกัด ดังนั้นการใช้กรดอินทรีย์ ได้แก่ กรดแล็กติก และกรดซิตริก นับเป็นอีกทางเลือกที่น่าสนใจ เนื่องจากกรดอินทรีย์มีคุณสมบัติละลายในไขมันได้ดี สามารถแทรกผ่านเข้าไปในผนังเซลล์ของจุลินทรีย์ได้ และเข้าไปรบกวนสมดุลภายในและภายนอกเซลล์ของจุลินทรีย์ทำให้จุลินทรีย์ลดการนำเข้ากรดอะมิโนจึงยับยั้งการเจริญของจุลินทรีย์ (García-Soto et al., 2013) และกรดซิตริกยังเป็น chelating agent จับโลหะในชั้นของ lipopolysaccharide (LPS) บริเวณผนังเซลล์ของแบคทีเรียจึงเกิดการปลดปล่อยสารภายในเซลล์ออกมาภายนอก เซลล์จุลินทรีย์จึงตายลง (Badii and Howell, 2002; Kilinc et al., 2009) จึงช่วยชะลอการเน่าเสียของหมึกกล้วยได้ ประกอบกับกรดอินทรีย์ทั้งสองชนิดมีราคาไม่แพง หาซื้อง่าย อีกทั้งยังได้รับอนุญาตให้ใช้ในอาหารได้ ซึ่งงานวิจัยหลายฉบับกล่าวถึงประสิทธิภาพของการใช้น้ำแข็งและกรดแล็กติก รวมทั้งกรดซิตริกในการรักษาคุณภาพสัตว์น้ำ เช่น ปลาแฮ็ก (*Merluccius merluccius*) (García-Soto et al., 2014; García-Soto et al., 2013) ปลาแอนโชวี (*Engraulis encrasicolus*) (Bensid et al., 2014) ปลาซาร์ดีน (*Sardinella aurita*) (Özyurt et al., 2012) และปลาแมกเคอเรล (*Scomber japonicas* Houttuyn 1780) (Metin et al., 2001) อย่างไรก็ตามงานวิจัยยังจำกัดถึงการศึกษาอัตราส่วนและการทำงานร่วมกันของกรดอินทรีย์มากกว่า 1 ชนิดร่วมกับการใช้น้ำแข็งเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพในการเก็บรักษาคุณภาพของหมึกกล้วยสด งานวิจัยนี้ศึกษาประสิทธิภาพของน้ำแข็งผสมกรดอินทรีย์ต่อการรักษาคุณภาพทางจุลชีววิทยา เคมีกายภาพ และประสาทสัมผัสของหมึกกล้วย โดยเปรียบเทียบชนิดและความเข้มข้นของกรดอินทรีย์ที่ผสมในน้ำแข็งเพื่อแช่หมึกกล้วยสด

วิธีการศึกษา

การเตรียมตัวอย่างและชุดการทดลอง

ซื้อหมึกกล้วย (*Loligo spp.*) จากสะพานปลาตำบลอ่างศิลา จังหวัดชลบุรี (ขนาดน้ำหนัก 5-6 ตัวต่อกิโลกรัม) บรรจุใส่ถุงพลาสติกทนความเย็นเก็บในช่องแช่แข็ง (หมึกกล้วย : น้ำแข็ง คือ 1 : 1.5 (w/w)) แล้วนำไปใส่ในถังพลาสติกเพื่อป้องกันการสูญเสียความเย็นและการเสียหายของตัวอย่าง ขนส่งถึงภาควิชาวชิราวุธศาสตร์ คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยบูรพา (ระยะเวลาการขนส่งไม่เกิน 20 นาที) นำหมึกกล้วยออกมาแช่เย็นในช่องแช่แข็งด้วยน้ำแข็งผสมกรดอินทรีย์ที่ได้จากการเตรียมสารละลายกรดแล็กติกและกรดซิตริกให้มีความเข้มข้นที่ต้องการ ได้แก่ ICC (น้ำแข็งปราศจากกรด) IL02 (น้ำแข็งผสมกรดแล็กติก 0.02%) IL05 (น้ำแข็งผสมกรดแล็กติก 0.05%) ILC207 (น้ำแข็งผสมกรดแล็กติก 0.02% และกรดซิตริก 0.075%) และ ILC210 (น้ำแข็งผสมกรดแล็กติก 0.02% และกรดซิตริก 0.1%) (v/v) นำสารละลายกรดไปทำน้ำแข็งโดยนำไปแช่ในตู้แช่แข็งที่อุณหภูมิ -20 องศาเซลเซียส นาน 48 ชั่วโมง จากนั้นนำมาบดให้เป็นน้ำแข็งบดแล้วจึงนำไปแช่หมึกกล้วยโดยวางน้ำแข็งสลับกับหมึกกล้วย สัดส่วนหมึกกล้วย : น้ำแข็ง คือ 1 : 2 (w/w) ปิดฝากล่องแล้วเก็บที่อุณหภูมิห้อง และเปลี่ยนน้ำแข็งทุกวัน

การวิเคราะห์ตัวอย่าง

สุ่มตัวอย่างหมึกกล้วยแต่ละชุดการทดลองมาวิเคราะห์จำนวนจุลินทรีย์ทั้งหมด (TPC) (AOAC, 1994) และสุ่มตัวอย่างหมึกกล้วยแต่ละชุดการทดลองมาดองหั่วและนำอวัยวะภายในออก ผ่ากลางลำตัวด้านหนึ่งเพื่อแผ่ตัวหมึก จากนั้นใช้มีดหั่นเนื้อหมึกกล้วยเป็นชิ้นสี่เหลี่ยมขนาด 1.5 x 1 นิ้ว แล้วต้มในน้ำร้อนที่อุณหภูมิ 95±2 องศาเซลเซียส นาน 3 นาที (หมึกกล้วย : น้ำ คือ 1 : 2 (w/w)) จุ่มในน้ำแข็ง 10 วินาที และสุ่มตัวอย่างเนื้อหมึกต้มมาวิเคราะห์คุณภาพด้านต่าง ๆ ได้แก่ ปริมาณค่าที่ระเหยได้ทั้งหมด (TVB-N) ปริมาณไนโตรเจนทิลเอมีน (TMA-N) (Hasegawa, 1987) การวัดค่าแรงเฉือนบริเวณกึ่งกลางของชิ้น (ใบมีดชนิด HDP/WBV Warner Bratzler blade set ความเร็วที่ใช้ทดสอบ pre-test speed 2.00 mm/sec, test speed 2.00 mm/sec, post-test speed 2.50 mm/sec, target mode strain 100% และ trigger force 5.0 g) และคุณภาพทาง

ประสาทสัมผัส โดยผู้ทดสอบที่ผ่านการฝึกฝนแล้วจำนวน 15 คน ให้คะแนนการยอมรับทางประสาทสัมผัสในด้านลักษณะปรากฏ กลิ่น เนื้อสัมผัส และรสชาติ ตามเกณฑ์ระดับการยอมรับเนื้อหมีกกล้วยต้ม 5 ระดับ (สวามิณี ธีระวุฒิ และปริญญ์ขวัญอ่อน, 2561) ดังแสดงไว้ใน Table 1 วิเคราะห์คุณภาพทั้งหมดทุก 3 วัน นาน 21 วัน

การวิเคราะห์ทางสถิติ

ออกแบบการทดลองแบบบล็อกสุ่มสมบูรณ์ (Randomized Completely Block Design) วิเคราะห์ความแปรปรวน (ANOVA) และเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยโดยวิธี Duncan's Multiple Range Test โดยโปรแกรมวิเคราะห์ทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซนต์ ทดลองทั้งหมด 3 ซ้ำ

Table 1 The quality index method scheme developed for cooked squid (*Loligo* spp.).

Characters	Score	Description
Appearance	5	White, glossy
	4	Slightly yellowish white, non-glossy
	3	Moderate yellowish white, non-glossy, no other unusual colors appear
	2	Moderate yellowish white in matte color, unusual colors appear on some part (fade in green/gray/pink)
	1	Moderate yellowish white in matte color, obvious unusual colors (green/gray/pink)
Odor	5	Fresh (watermelon odor)
	4	No watermelon odor, no other off odor
	3	No watermelon odor, slightly off odor as putrid, fishy or sour
	2	No watermelon odor, moderate off odor as putrid, fishy or sour
	1	Obvious off odor as putrid, fishy, sour or ammoniacal
Taste	5	Fresh (sweet of boiled squid)
	4	Slightly sweet, no bitter
	3	Tasteless, slightly bitter
	2	Slightly sour, slightly bitter, slightly fishy
	1	Intense unusual taste as sour or fishy
Texture	5	Elastic, firm, not hard
	4	Moderate elastic
	3	Slightly elastic, not hard
	2	Loss of elastic, slightly soft, slightly slime
	1	Soft, intense slime

ผลการศึกษาและวิจารณ์

จำนวนจุลินทรีย์ทั้งหมด (TPC) ของหมีกกล้วยดิบ ในวันที่ 0 ของการเก็บรักษา ทุกชุดการทดลองมีจำนวนจุลินทรีย์ทั้งหมด $3.26 \log \text{ CFU/g}$ ซึ่งน้อยกว่าจำนวนจุลินทรีย์ที่พบโดยทั่วไปในหมีกกล้วยดิบ คือ $4-5 \log \text{ CFU/g}$ (อัจฉรา แสนคม และคณะ, 2553) แสดงถึงความสะอาดของวัตถุดิบที่ใช้ในการวิจัย อย่างไรก็ตามเมื่อเก็บรักษานานขึ้นจำนวนจุลินทรีย์ทั้งหมดของเนื้อหมีกทุกชุดการทดลองมีจำนวนเพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P < 0.05$) (Figure 1) เนื่องจากจุลินทรีย์มีการปรับตัวให้เข้ากับสภาพแวดล้อมในการเก็บรักษา จึงแบ่งเซลล์เพิ่มจำนวนมากขึ้น เช่นเดียวกับ Dabadé et al. (2015) ที่เก็บรักษากุ้ง tropical brackish water (*Penaeus notialis*) ไว้ที่อุณหภูมิแตกต่างกัน และ Bahmani et al. (2011) พบว่าจำนวนจุลินทรีย์ในปลา golden grey mullet (*Liza aurata*) ที่เก็บรักษาด้วยการแช่เย็นมีจำนวนเพิ่มขึ้นตามระยะเวลาการเก็บรักษาเช่นกัน ผลการทดลองยังพบว่า เนื้อหมีกที่แช่ในน้ำแข็งผสมกรดอินทรีย์ (IL02, IL05, ILC207 และ ILC210) มีจำนวนจุลินทรีย์ทั้งหมด

น้อยกว่าเนื้อหมึกที่แช่ในน้ำแข็งปราศจากกรดอินทรีย์ (ICC) เนื้อหมึกกล้วยที่แช่ในน้ำแข็งผสมกรด 2 ชนิด มีจำนวนจุลินทรีย์ทั้งหมดน้อยกว่าน้ำแข็งผสมกรดแล็กติกชนิดเดียว $0.5-2.0 \log \text{CFU/g}$ และน้อยกว่าตัวอย่างควบคุม $1.5-3.0 \log \text{CFU/g}$ โดยชุดการทดลอง ILC207 มีจำนวนจุลินทรีย์ทั้งหมดน้อยที่สุดตลอดระยะเวลาการเก็บรักษา ($P < 0.05$) เนื่องจากการละลายของน้ำแข็งผสมกรดช่วยลดการเกิดเมือกที่เป็นแหล่งของจุลินทรีย์ กรดแล็กติกและกรดซิตริกมีผลต่อสมดุลภายในและภายนอกเซลล์ของจุลินทรีย์ โดย H^+ ของกรดแพร่ผ่านเยื่อหุ้มเซลล์ของจุลินทรีย์ ทำให้ผนังเซลล์สูญเสียสมบัติการเป็นเยื่อเลือกผ่าน จุลินทรีย์ลดการนำเข้ากรดอะมิโน จึงยับยั้งการเจริญของจุลินทรีย์ได้ (García-Soto et al., 2013) และสมบัติการเป็น chelating agent ของกรดซิตริกทำให้จับโลหะในชั้นของ lipopolysaccharide (LPS) บริเวณผนังเซลล์ของแบคทีเรียจึงเกิดการปลดปล่อยสารภายในเซลล์ออกมาภายนอกเซลล์ จุลินทรีย์จึงตายลง (Badii and Howell, 2002; Kilinc et al., 2009) การใช้กรดทั้ง 2 ชนิดร่วมกันช่วยเสริมประสิทธิภาพการยับยั้งการเจริญของจุลินทรีย์โดยเพิ่มปริมาณ H^+ ในการทำลายผนังเซลล์ของจุลินทรีย์ สอดคล้องกับ Sanjuas-Rey et al. (2012a) พบว่า การแช่ปลา hake (*Merluccius merluccius*), ปลา megrim (*Lepidorhombus whiffiagonis*) และปลา angler (*Lophius piscatorius*) ในน้ำแข็งผสมกรดซิตริก กรดแล็กติก และกรดแอสคอร์บิกมีจำนวนจุลินทรีย์น้อยกว่าปลาที่แช่ในน้ำแข็งไม่ผสมกรดตลอดระยะเวลาการเก็บรักษา เมื่อเปรียบเทียบเนื้อหมึกกล้วยที่แช่ในน้ำแข็งผสมกรด 2 ชนิดที่ความเข้มข้นของกรดซิตริกแตกต่างกัน พบว่า การที่กรดซิตริกความเข้มข้นต่ำกว่า (ILC 207) มีประสิทธิภาพในการยับยั้งจุลินทรีย์ได้ดีกว่าความเข้มข้นสูง (ILC 210) อาจเกิดจากความเข้มข้นของกรดซิตริกที่มากเกินไปมีผลทำให้โปรตีนในเนื้อหมึกเกิดการเสื่อมสภาพ จุลินทรีย์สามารถย่อยสลายเพื่อตั้งสารอาหารมาใช้ประโยชน์ในการเจริญได้มากขึ้น จึงมีการเพิ่มจำนวนได้มากขึ้น เมื่อพิจารณาจากมาตรฐานด้านจุลินทรีย์ของสำนักงานคณะกรรมการอาหารและยา (2559) กำหนดให้อาหารทะเลมีจำนวนจุลินทรีย์ทั้งหมดได้ไม่เกิน $6 \log \text{CFU/g}$ แสดงให้เห็นว่าระดับความเข้มข้นของกรดอินทรีย์ที่เหมาะสมในการชะลอการเพิ่มจำนวนของจุลินทรีย์ คือ น้ำแข็งที่มีความเข้มข้นของกรดแล็กติก 0.02% และกรดซิตริก 0.075% (ILC207) ซึ่งสามารถเก็บรักษาเนื้อหมึกได้นานที่สุดคือ ไม่เกิน 9 วัน รองลงมาได้แก่ น้ำแข็งที่มีความเข้มข้นของกรดแล็กติก 0.02% และกรดซิตริก 0.1% (ILC210), น้ำแข็งที่มีความเข้มข้นของกรดแล็กติก 0.05% (IL05), น้ำแข็งที่มีความเข้มข้นของกรดแล็กติก 0.02% (IL02) ซึ่งเก็บได้ 6, 3 และ 3 วัน ตามลำดับ ส่วนเนื้อหมึกที่แช่ในน้ำแข็งปราศจากกรดอินทรีย์ (ICC) มีอายุการเก็บรักษา 3 วัน ทั้งนี้ค่า pH ของเนื้อหมึกดิบวันที่ 0-9 ของการเก็บรักษามีค่า pH 5.5-6.5 และวันที่ 9-15 ของการเก็บรักษามีค่า pH 6.5-8.0 (ไม่ได้แสดงข้อมูลไว้ในนี้)

ปริมาณค่าที่ระเหยได้ทั้งหมด (TVB-N) เกิดขึ้นหลังจากหมึกตาย โดยเอนไซม์ในตัวหมึกกล้วยและเอนไซม์ที่จุลินทรีย์สร้างขึ้นย่อยสลายสารประกอบไนโตรเจนทั้งที่เป็นโปรตีนและไม่โปรตีน ได้เป็นสารประกอบต่างๆที่ระเหยได้เพิ่มขึ้นตามการเน่าเสีย (Bono and Badalucco, 2012) ในวันที่ 0 ของการเก็บรักษา เนื้อหมึกต้มทุกชุดการทดลองมีปริมาณ TVB-N 2.53 มิลลิกรัมไนโตรเจน / 100 กรัมตัวอย่าง เมื่อเก็บรักษานานขึ้นเนื้อหมึกทุกชุดการทดลองมีปริมาณ TVB-N สูงขึ้นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P < 0.05$) (Figure 2) เกิดจากปฏิกิริยาการย่อยสลายตัวเอง (autolysis) โดยเอนไซม์ในเนื้อหมึก รวมทั้งเกิดการเน่าเสียจากจุลินทรีย์ที่สร้างเอนไซม์เพื่อย่อยสลายประกอบไนโตรเจน ได้เป็นสารกลุ่มต่างๆที่ระเหยได้เกิดการสะสมในเนื้อหมึกปริมาณมากขึ้น Hernandez et al. (2009) พบว่า ปลา *Argyrosomus regius* ที่เก็บรักษาในน้ำแข็งมีปริมาณ TVB-N สูงขึ้นตามระยะเวลาการเก็บรักษาที่นาน และ Okpala et al. (2014) พบว่าการเสื่อมคุณภาพของกุ้งขาวที่เก็บรักษาในน้ำแข็งเป็นระยะเวลาสั้นส่งผลให้ปริมาณ TVB-N เพิ่มขึ้นเรื่อยๆ และผลการทดลองครั้งนี้ยังแสดงให้เห็นว่าเนื้อหมึกที่แช่ในน้ำแข็งผสมกรดอินทรีย์ (IL02, IL05, ILC207 และ ILC210) มีปริมาณ TVB-N น้อยกว่าเนื้อหมึกที่แช่ในน้ำแข็งปราศจากกรดอินทรีย์ (ICC) ($P < 0.05$) และความเข้มข้นของกรดที่แตกต่างกันส่งผลต่อปริมาณ TVB-N ในเนื้อหมึกที่แตกต่างกันเช่นกัน โดยเนื้อหมึกในชุดการทดลอง ILC207 มีปริมาณ TVB-N น้อยที่สุดตลอดระยะเวลาการเก็บรักษา เนื่องจากความเข้มข้นของกรดที่มากขึ้นมีความสามารถในการแพร่ผ่านเยื่อหุ้มผนังเซลล์ของจุลินทรีย์ได้มากขึ้น การนำเข้ากรดอะมิโนเพื่อการเจริญน้อยลงและการสร้างเอนไซม์ของจุลินทรีย์เพื่อย่อยสลายสารประกอบไนโตรเจนให้เป็นต่างๆที่ระเหยได้มีปริมาณน้อยกว่าชุดการทดลองอื่นที่มีความเข้มข้นของกรดต่ำกว่า Xiao et al. (2017) พบว่าหมึกที่เก็บรักษาด้วยน้ำแข็งอิเล็กโทรไลต์ และ Garcia-Soto et al. (2013) ที่แช่ปลา European hake (*Merluccius merluccius*) ปลา megrim (*Lepidorhombus whiffiagonis*) ในน้ำแข็งผสมกรดแล็กติกและกรดซิตริกช่วยชะลอการเจริญของจุลินทรีย์ระหว่างการเก็บรักษาจึงลดการย่อยสลายโปรตีนที่ทำให้เกิดเป็นต่างๆที่ระเหยได้มากกว่าการเก็บรักษาด้วยน้ำแข็งไม่ผสมกรด Mendes et al. (2011) ได้แนะนำว่าหมึกที่มีคุณภาพดีควรมีปริมาณ TVB-N ไม่เกิน 15 มิลลิกรัมไนโตรเจน / 100 กรัมตัวอย่าง ดังนั้นหากพิจารณาจากปริมาณ TVB-N ดังกล่าวทำให้เนื้อหมึกที่แช่ในน้ำแข็งปราศจากกรดอินทรีย์ (ICC) สามารถเก็บรักษาได้ไม่เกิน 9 วัน ขณะที่เนื้อหมึกที่แช่ในน้ำแข็งผสมกรดอินทรีย์ IL02 และ IL05 เก็บรักษาได้ไม่เกิน 12 และ 15 วัน ตามลำดับ ส่วน ILC207 และ ILC210 เก็บได้ไม่น้อยกว่า 21 วัน

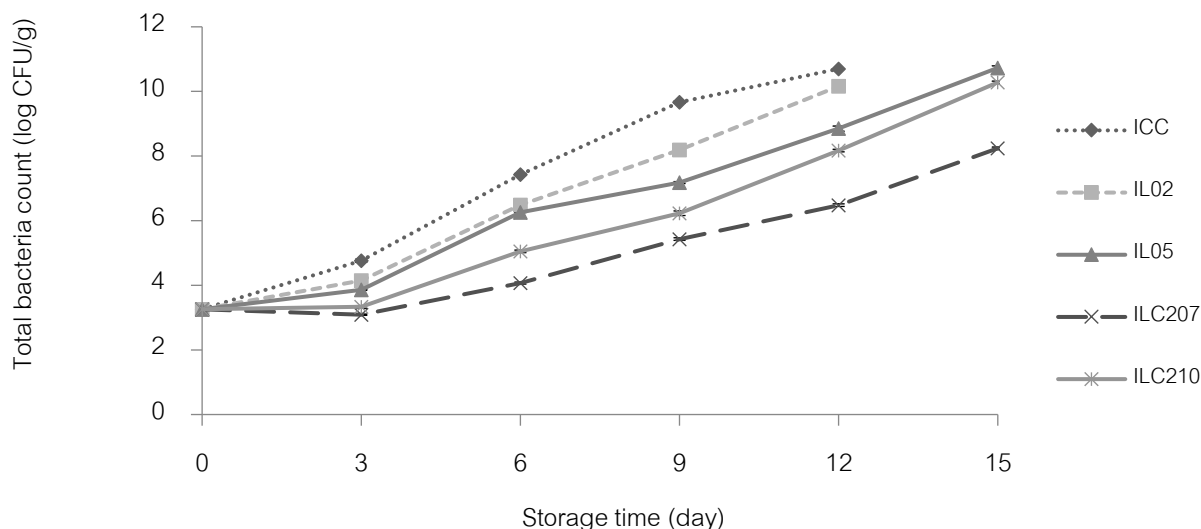


Figure 1 Total bacterial count of squid stored under different icing condition: no acid present in ice (ICC; ◆), 0.02% lactic acid present in ice (IL02; ■), 0.05% lactic acid present in ice (IL05; ▲), 0.02% lactic acid and 0.075% citric acid present in ice (ILC 207; X) and 0.02% lactic acid and 0.1% citric acid present in ice (ILC 210; *). Bars representing the standard deviation (n=3) are generally smaller than the symbols.

ปริมาณไตรเมทิลเอมีน (TMA-N) ในวันที่ 0 ของการเก็บรักษาปริมาณ TMA-N ของเนื้อหมึกทุกชุดการทดลอง 0.18 มิลลิกรัมไนโตรเจน/100 กรัมตัวอย่าง แสดงให้เห็นว่าเนื้อหมึกดัมมีคุณภาพดี ซึ่งโดยทั่วไปแล้วสัตว์น้ำปรุงสุกที่มีคุณภาพดีไม่ควรจะมีปริมาณ TMA-N เกิน 5 มิลลิกรัมไนโตรเจน/100 กรัมตัวอย่าง (Kusuma and Teerawut, 2014; Cobb and Vanderzant, 1971) แต่เมื่อระยะเวลาการเก็บรักษาเพิ่มมากขึ้น ปริมาณ TMA-N ของเนื้อหมึกทุกชุดการทดลองมีค่าเพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P < 0.05$) (Figure 2) เกิดจากไตรเมทิลเอมีนออกไซด์ (TMAO) ที่เป็นสารประกอบไนโตรเจนที่ไม่ใช่โปรตีนถูกเปลี่ยนเป็น TMA-N โดยเอนไซม์ trimethylamine oxidase ที่จุลินทรีย์สร้างขึ้น เมื่อมีปริมาณ TMA-N มากขึ้นทำให้มีกลิ่นเหม็นเน่า และเหม็นคาวมากขึ้น (Erkan and Bilen, 2010) ผลการศึกษาในครั้งนี้สอดคล้องกับ Atrea et al. (2009) พบว่าปริมาณ TMA-N ของหมึก (*Octopus vulgaris*) ระหว่างการแช่เย็น และ Okpala et al. (2014) พบว่าเนื้อกุ้งขาว (*L. vannamei*) ที่เก็บรักษาโดยใช้น้ำแข็ง มีปริมาณ TMA-N เพิ่มขึ้นตามระยะเวลาการเก็บรักษา ผลการทดลองยังพบว่าเนื้อหมึกที่แช่ในน้ำแข็งปราศจากกรดอินทรีย์ (ICC) มีปริมาณ TMA-N สูงกว่าเนื้อหมึกที่แช่ในน้ำแข็งผสมกรดอินทรีย์ (IL02, IL05, ILC207 และ ILC210) โดย ILC207 เนื้อหมึกมีปริมาณ TMA-N น้อยที่สุดตลอดระยะเวลาการเก็บรักษา ($P < 0.05$) เนื่องจากกรดแล็กติกและกรดซิตริกยับยั้งการเจริญของจุลินทรีย์กลุ่ม aerobes, anaerobes, psychrotrophs, proteolytic bacteria รวมทั้ง Enterobacteriaceae ได้ (García-Soto et al., 2013) นอกจากนี้กรดซิตริกยังเป็น chelator จับกับโลหะจึงชะลอการทำงานของเอนไซม์บางส่วนที่จุลินทรีย์สร้างขึ้นได้ (Badii and Howell, 2002; Kilinc et al., 2009) ดังนั้นการเปลี่ยน TMAO ไปเป็น TMA-N จึงเกิดขึ้นช้าลงและเมื่อมีความเข้มข้นของกรดที่ใช้เพิ่มมากขึ้นประสิทธิภาพในการชะลอการเพิ่มขึ้นของปริมาณ TMA-N จึงมีมากขึ้น สอดคล้องกับ Sanjuas-Rey et al. (2012b) พบว่า การแช่ปลาแมกเคอเรล (*Scomber scombrus*) ในน้ำแข็งผสมกรดแล็กติกและกรดซิตริกช่วยชะลอการเพิ่มปริมาณ TMA-N ได้ดีกว่าการแช่น้ำแข็งไม่ผสมกรด

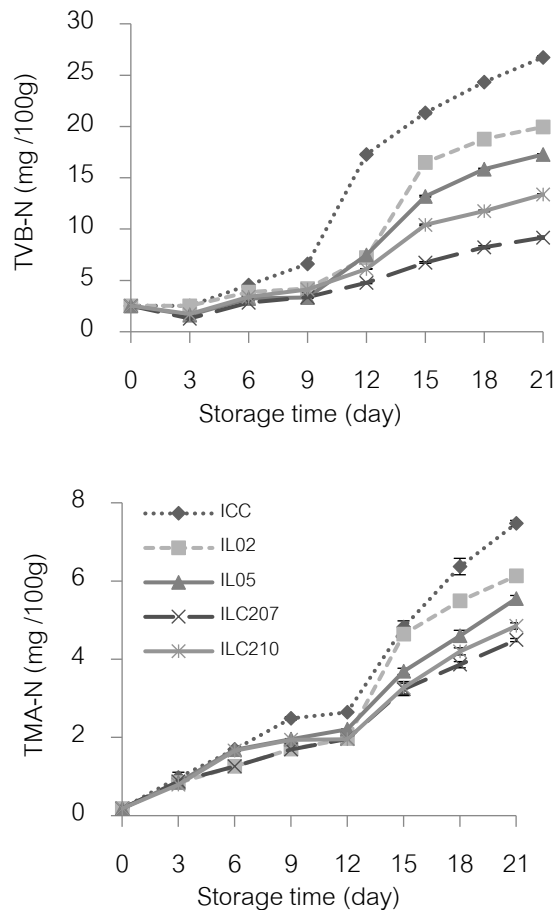


Figure 2 TVB-N (a) and TMA-N (b) values of squid stored under different icing condition: no acid present in ice (ICC; ◆), 0.02% lactic acid present in ice (IL02; ■), 0.05% lactic acid present in ice (IL05; ▲), 0.02% lactic acid and 0.075% citric acid present in ice (ILC 207; X) and 0.02% lactic acid and 0.1% citric acid present in ice (ILC 210; *). Bars representing the standard deviation (n=3) are generally smaller than the symbols.

แรงเฉือนของเนื้อหมึกในวันที่ 0 ของการเก็บรักษา มีค่า 2.55 ± 0.28 g-force และเมื่อเก็บรักษานานขึ้น ทุกชุดการทดลองมีค่าแรงเฉือนลดลงอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P < 0.05$) (Figure 3) เนื่องจากเมื่อมีการเน่าเสียมากขึ้นโครงสร้างโปรตีนในเนื้อหมึกโดยเฉพาะอย่างยิ่งไมโอไฟบริลลาร์โปรตีนที่มีบทบาทต่อการยึดติดของกล้ามเนื้อของหมึกเสื่อมสภาพลง ส่งผลให้กล้ามเนื้อหมึกมีเนื้อสัมผัสนิ่มลง (สุทธวัฒน์ เบญจกุล, 2548) ดังนั้นแรงต้านจากการตัดของใบมีดบนเนื้อหมึกจึงน้อยลงเมื่อระยะเวลาการเก็บรักษานานขึ้น แสดงถึงการเน่าเสียที่มากขึ้นตามระยะเวลาการเก็บรักษาที่นานขึ้น สอดคล้องกับ ทรงพล สงวนทรัพย์ และคณะ (2560) ที่ศึกษาการเปลี่ยนแปลงคุณภาพทางกายภาพของกุ้งขาว (*L. vannamei*) สุกระหว่างการเก็บรักษาด้วยการแช่เย็นพบว่า เนื้อกุ้งขาวมีค่าแรงเฉือนลดลงตามระยะเวลาการเก็บรักษา เนื้อหมึกในชุดการทดลองที่แช่ในน้ำแข็งปราศจากกรดอินทรีย์ (ICC) มีค่าแรงเฉือนน้อยกว่าชุดการทดลองที่แช่ในน้ำแข็งผสมกรดอินทรีย์ (IL02, IL05, ILC207 และ ILC210) โดยเนื้อหมึก ILC207 มีค่าแรงเฉือนมากที่สุดตลอดระยะเวลาที่เก็บรักษา เนื่องจากการดัดกลายยังการเจริญของจุลินทรีย์ โดยการที่ให้ H^+ ของกรดแพร่ผ่านเยื่อหุ้มเซลล์ของจุลินทรีย์ทำให้สูญเสียสมบัติการเป็นเยื่อเลือกผ่านจึงช่วยชะลอการเจริญของจุลินทรีย์ได้ (พิมพ์เพ็ญ พรเฉลิมพงศ์ และนิยา รัตนพานนท์, 2553) และการเป็น chelating agent ของกรดซิตริกทำให้จับโลหะที่เป็นองค์ประกอบในผนังเซลล์ของจุลินทรีย์ได้ จึงเกิดการปลดปล่อยสารภายในเซลล์ออกมาภายนอกเซลล์ จุลินทรีย์จึงตายลง (Badii and Howell, 2002; Kilinc et al., 2009) ส่งผลให้การเสื่อมสภาพของโปรตีนในเนื้อหมึกเกิดน้อยลงตามความเข้มข้นของกรดที่มากขึ้น สอดคล้องกับ García-Soto et al. (2013) ที่แช่ปลา European hake (*Merluccius merluccius*) ปลา megrim (*Lepidorhombus whiffiagonis*) ในน้ำแข็งผสมกรดแอสคอร์บิกและกรดซิตริก ช่วยทำให้เนื้อปลามีความคงตัวและมีเนื้อสัมผัสดี

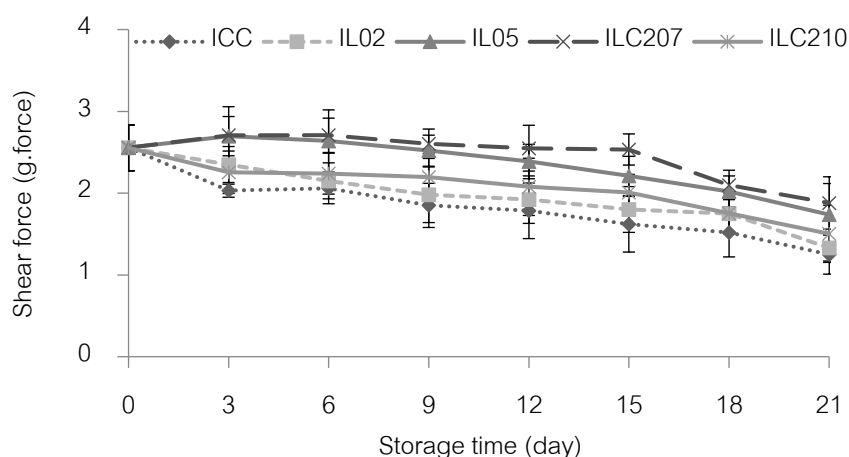


Figure 3 Shear force of squid stored under different icing condition: no acid present in ice (ICC; ◆), 0.02% lactic acid present in ice (IL02; ■), 0.05% lactic acid present in ice (IL05; ▲), 0.02% lactic acid and 0.075% citric acid present in ice (ILC 207; ×) and 0.02% lactic acid and 0.1% citric acid present in ice (ILC 210; *). Bars representing the standard deviation (n=3) are generally smaller than the symbols.

คุณภาพทางประสาทสัมผัส พบว่า วันที่ 0 ของการเก็บรักษาเนื้อหมึกทุกชุดการทดลอง ผู้ทดสอบให้การยอมรับในทุกคุณลักษณะสูงสุด คือ 5 คะแนน โดยเนื้อหมึกชุดการทดลอง ICC (น้ำแข็งปราศจากกรดอินทรีย์) มีเนื้อสีขาวเป็นมันเงา มีกลิ่นหอมหวานตามธรรมชาติของเนื้อหมึกต้ม เนื้อสัมผัสยืดหยุ่นดีมาก เหนียว และไม่แข็ง และเมื่อเก็บรักษาเป็นระยะเวลาสั้น ผู้ทดสอบให้คะแนนระดับการยอมรับด้านลักษณะปรากฏ กลิ่น เนื้อสัมผัส และรสชาติของเนื้อหมึกต้มลดลงอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P < 0.05$) (Figure 4) โดยวันที่ 15 ซึ่งเป็นวันสุดท้ายของการเก็บรักษา เนื้อหมึกมีสีขาวอมเหลืองปานกลาง และเนื้อสัมผัสด้าน การยอมรับกลิ่นและรสชาติของเนื้อหมึกต้มลดลง และเนื้อสัมผัสนิ่มและมากขึ้น ส่วนเนื้อหมึกชุดการทดลองที่แช่ในน้ำแข็งผสมกรดอินทรีย์ (IL02, IL05, ILC207 และ ILC210) พบว่า วันที่ 0 ของการเก็บรักษา เนื้อหมึกมีเนื้อสีขาวเป็นมันเงา มีกลิ่นหอมหวานตามธรรมชาติ เนื้อสัมผัสยืดหยุ่น เหนียว ไม่แข็ง รสชาติหวานหมึกต้ม แต่เมื่อเก็บรักษานานขึ้น เนื้อหมึกมีระดับการยอมรับด้านลักษณะปรากฏ กลิ่น เนื้อสัมผัส และรสชาติน้อยลงจนกระทั่งวันสุดท้ายของการเก็บรักษา (วันที่ 15 ของการเก็บรักษา) ($P < 0.05$) (Figure 4) และเมื่อพิจารณาคุณภาพทางประสาทสัมผัสทั้งหมด ได้แก่ ลักษณะปรากฏ กลิ่น รสชาติ และเนื้อสัมผัส พบว่า การนำหมึกกล้วยสดทั้งตัวมาแช่ในน้ำแข็งผสมกรดอินทรีย์ในชุดการทดลอง ILC207 ได้รับคะแนนการยอมรับจากผู้ทดสอบในด้าน กลิ่น เนื้อสัมผัส และรสชาติมากที่สุด รองลงมา ได้แก่ IL05, ILC210, IL02 และ ICC ตามลำดับ ซึ่งเป็นไปในทิศทางเดียวกันกับจำนวนจุลินทรีย์ทั้งหมด ปริมาณ TVB-N ปริมาณ TMA-N และแรงเหวี่ยงตามผลการทดลองที่ได้กล่าวก่อนหน้านี้ โดยกรดอินทรีย์ช่วยชะลอการเจริญของจุลินทรีย์ทำให้การเปลี่ยนแปลงสารประกอบไนโตรเจนที่ไม่ใช่โปรตีนเกิดช้าลง ดังนั้นการเกิดสารประกอบต่างๆ ที่ระเหยได้ชนิดต่าง ๆ ที่ส่งผลต่อกลิ่นผิดปกติในเนื้อหมึกเกิดน้อย และเมื่อจุลินทรีย์ถูกยับยั้งโดยกรดอินทรีย์ทำให้โครงสร้างโปรตีนถูกทำลายช้าลง ความยืดหยุ่นของโปรตีนไมโอไฟบริลล์และความสามารถในการอุ้มน้ำของโปรตีนยังมีอยู่ ทำให้เนื้อสัมผัสยืดหยุ่นดี กรดอะมิโนอิสระที่ให้กลิ่นรสและรสชาติในเนื้อหมึกถูกทำลายช้าลง ทำให้ยังมีรสชาติดี Sanjuás-Rey et al. (2012b) พบว่า การแช่ปลาแมกเคอเรล (*Scomber scombrus*) ในน้ำแข็งผสมกรดแล็กติกและกรดซิตริกช่วยรักษาคุณภาพทางประสาทสัมผัสของเนื้อปลาได้ดีกว่าการแช่ในน้ำแข็งไม่ผสมกรด ส่วนการนำหมึกกล้วยสดทั้งตัวมาแช่ในน้ำแข็งผสมกรดอินทรีย์ชุดการทดลอง IL02 ได้รับคะแนนการยอมรับด้านลักษณะปรากฏมากที่สุด รองลงมา ได้แก่ IL05, ILC207, ILC210 และ ICC ตามลำดับ โดยเนื้อหมึกในชุดการทดลองที่ผสมกรดอินทรีย์ 2 ชนิดรวมกัน ได้แก่ ILC207 และ ILC210 เนื้อหมึกกล้วยมีสีขาวอมชมพูและมีลักษณะบวมน้ำอาจเกิดจากกรดซิตริกทำให้โปรตีนบางส่วนเสียสภาพทำให้เกิดลักษณะปรากฏดังกล่าว เช่นเดียวกับที่พบในการเก็บรักษาเนื้อปลา Japanese sea bass (*Lateolabrax japonicus*) โดยการเคลือบโคโคซานผสมกรดซิตริก (Qiu et al., 2014)

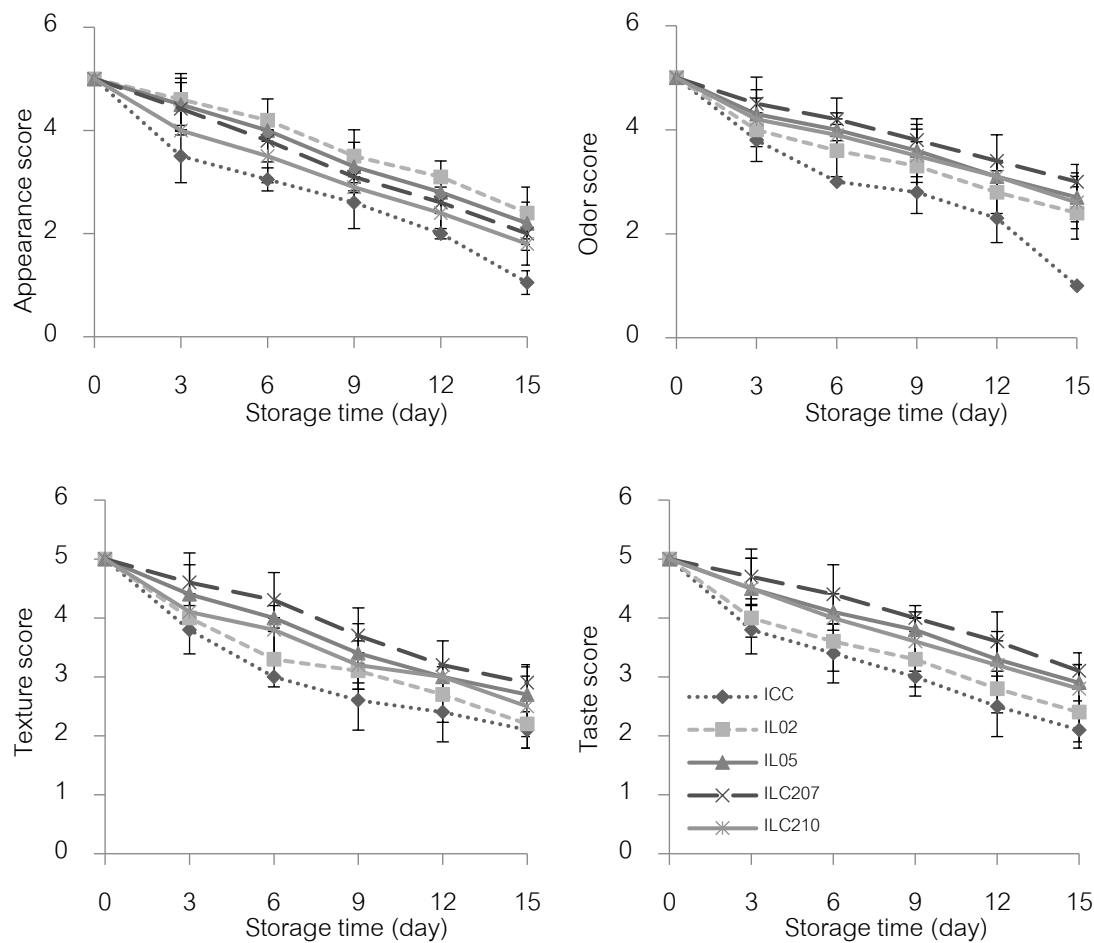


Figure 4 Sensory evaluation of squid stored under different icing condition: no acid present in ice (ICC; $\blacklozenge$), 0.02% lactic acid present in ice (IL02; $\blacksquare$), 0.05% lactic acid present in ice (IL05; $\blacktriangle$), 0.02% lactic acid and 0.075% citric acid present in ice (ILC 207; $\times$) and 0.02% lactic acid and 0.1% citric acid present in ice (ILC 210; $*$). Bars representing the standard deviation (n=3) are generally smaller than the symbols.

สรุปผลการศึกษา

การนำหมึกกล้วยสดทั้งตัวมาแช่ในน้ำแข็งผสมกรดอินทรีย์ (IL02, IL05, ILC207 และ ILC210) ช่วยชะลอการเสื่อมคุณภาพของเนื้อหมึกกล้วยได้ดีกว่าการแช่ในน้ำแข็งปราศจากกรดอินทรีย์ (ICC) โดยการแช่หมึกกล้วยในน้ำแข็งผสมกรดแล็กติก 0.02% และกรดซิตริก 0.075% (ILC207) ช่วยชะลอการเปลี่ยนแปลงคุณภาพทางเคมี (TVB-N และ TMA-N) กายภาพ (แรงเหวี่ยง) จุลชีววิทยา (จำนวนจุลินทรีย์ทั้งหมด) และประสาทสัมผัส (กลิ่น รสชาติ และเนื้อสัมผัส) ได้ดีที่สุด รองลงมาได้แก่น้ำแข็งผสมกรดแล็กติก 0.02% และกรดซิตริก 0.1% (ILC210) น้ำแข็งผสมกรดแล็กติก 0.05% (IL05) และน้ำแข็งผสมกรดแล็กติก 0.02% (IL02) ตามลำดับ ส่วนหมึกกล้วยที่แช่ในน้ำแข็งปราศจากกรดอินทรีย์ (ICC) มีการเน่าเสียเร็วที่สุด การกำหนดอายุการเก็บรักษาหมึกกล้วยที่แช่ในน้ำแข็งสำหรับการทดลองนี้พิจารณาจากจำนวนจุลินทรีย์ทั้งหมดที่เกินมาตรฐาน (มากกว่า $6 \log \text{CFU/g}$) หมึกกล้วยที่แช่ในน้ำแข็งผสมกรดแล็กติก 0.02% และกรดซิตริก 0.075% (ILC207) มีอายุการเก็บรักษานานที่สุดคือ 9 วัน รองลงมาได้แก่ หมึกกล้วยที่แช่ในน้ำแข็งผสมกรดแล็กติก 0.02% และกรดซิตริก 0.1% (ILC210) เก็บรักษาได้ 6 วัน และที่เก็บรักษาได้ 3 วันเท่านั้น ได้แก่ หมึกกล้วยที่แช่ในน้ำแข็งผสมกรดแล็กติก 0.05% (IL05) หมึกกล้วยที่แช่ในน้ำแข็งผสมกรดแล็กติก 0.02% (IL02) และหมึกกล้วยที่แช่ในน้ำแข็งปราศจากกรดอินทรีย์ (ICC)

กิตติกรรมประกาศ

งานวิจัยนี้ได้รับทุนสนับสนุนการวิจัยจากงบประมาณเงินรายได้จากเงินอุดหนุนรัฐบาล (งบประมาณแผ่นดิน) ประจำปีงบประมาณ พ.ศ. 2561 มหาวิทยาลัยบูรพา ผ่านสำนักงานคณะกรรมการวิจัยแห่งชาติ เลขที่สัญญา 12/2561

เอกสารอ้างอิง

- กองนโยบายและยุทธศาสตร์พัฒนาการประมง. 2561. สถิติการประมงแห่งประเทศไทย พ.ศ. 2559. เอกสารฉบับที่ 12/2561. กรมประมง.
https://www.fisheries.go.th/strategy-stat/themeWeb/books/2559/1/yearbook_2559.pdf (25 พฤษภาคม 2562).
- ทรงพล สงวนทรัพย์, สวามิณี ธีระวุฒิ และปฏิยุทธ์ ขวัญอ่อน. 2560. การยืดอายุการเก็บรักษาและการเปลี่ยนแปลงคุณภาพทางกายภาพของกุ้งขาวสุกระหว่างการเก็บรักษาด้วยการแช่เย็น. *วารสารวิทยาศาสตร์บูรพา* 21(พิเศษ): 141-152.
- พิมพ์เพ็ญ พรเฉลิมพงศ์ และนิธิยา รัตนพานนท์. 2553. แบคทีเรียผลิตภัณฑ์แลคติก. ศูนย์เครือข่ายข้อมูลอาหารครบวงจร.
<http://www.foodnetworksolution.com/wiki/word/782/lactic-acid> (25 พฤษภาคม 2562).
- สวามิณี ธีระวุฒิ และปฏิยุทธ์ ขวัญอ่อน. 2561. การประยุกต์ใช้น้ำแข็งที่ผสมกรดอินทรีย์จากธรรมชาติเพื่อยืดอายุการเก็บรักษาหมีกกล้วย. ใน *รายงานการวิจัยประจำปีงบประมาณ 2561*. มหาวิทยาลัยบูรพา, ชลบุรี.
- สำนักงานคณะกรรมการอาหารและยา. 2559. คู่มือการปฏิบัติตามประกาศกระทรวงสาธารณสุข (ฉบับที่ 364) พ.ศ. 2556 เรื่องมาตรฐานอาหารด้านจุลินทรีย์ที่ทำให้เกิดโรค. นนทบุรี: สำนักงานคณะกรรมการอาหารและยา.
- สุทธวัฒน์ เบญจกุล. 2548. เคมีและคุณภาพสัตว์น้ำ. กรุงเทพฯ: โอเดียนสโตร์.
- อัครา แสงคม, นันทิพย์ ชันตยาภรณ์ และวราภา มหากาญจนกุล. 2553. การประยุกต์ใช้สารฆ่าเชื้อกลุ่มออกซิไดซ์ซึ่งเพื่อยืดอายุการเก็บรักษาในผลิตภัณฑ์สัตว์น้ำ. ใน *การประชุมวิชาการ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ ครั้งที่ 48: สาขาอุตสาหกรรมเกษตร*. น. 408-416. มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ วิทยาเขตบางเขน, กรุงเทพฯ.
- AOAC. 1994. AOAC official method 991.14 Coliforms and *Escherichia coli* counts in foods. Day rehydratable film (Petrifilm™ *E.coli* Coliform Count Plate™ and Petrifilm™ Coliform Count Plate™) methods. *Journal of AOAC International* 74: 635.
- Atrea, I., Papavergou, A., Amvrosiadis, I., and Savva, I. N. 2009. Combined effect of vacuum-packaging and oregano essential oil on the shelf-life of Mediterranean octopus (*Octopus vulgaris*) from the Aegean Sea stored at 4°C. *Food Microbiology* 26(2): 166-172.
- Badii, F., and Howell, N. 2002. Effect of antioxidants, citrate, and cryoprotectants on protein denaturation and texture of frozen cod (*Gadus morhua*). *Journal of Agricultural and Food Chemistry* 50(7): 2053-2061.
- Bahmani, Z. A., Rezai, M., Hosseini, S. V., Regenstein, J. M., Böhme, K., Alishahi, A., and Yadollahi, F. 2011. Chilled storage of golden grey mullet (*Liza aurata*). *LWT - Food Science and Technology* 44(9): 1894-1900.
- Bensid, A., Ucar, Y., Bendeddouche, B., and Özogul, F. 2014. Effect of the icing with thyme, oregano and clove extracts on quality parameters of gutted and beheaded anchovy (*Engraulis encrasicolus*) during chilled storage. *Food Chemistry* 145: 681-686.
- Bono, G., and Badalucco, C. 2012. Combining ozone and modified atmosphere packaging (MAP) to maximize shelf-life and quality of striped red mullet (*Mullus surmuletus*). *Food Science and Technology* 47(2): 500-504.
- Cobb, B. F., and Vanderzant, C. 1971. Biochemical changes in shrimp inoculated with *Pseudomonas*, *Bacillus*, and *Corynebacterium*. *Journal of Food Technology* 34: 533-540.
- Dabadé, D. S., Azokpota, P., Nout, M. J., Hounhouigan, D. J., Zwietering, M. H., and Besten, H. M. 2015. Prediction of spoilage of tropical shrimp (*Penaeus notialis*) under dynamic temperature regimes. *International Journal of Food Microbiology* 210: 121-130.
- Erkan, N., and Bilen, G. 2010. Effect of essential oils treatment on the frozen storage stability of chub mackerel fillets. *Journal für Verbraucherschutz und Lebensmittelsicherheit* 5: 101-110.
- García-Soto, B., Aubourg, S., Mata, P. C., and Barros-Velázquez, B. 2013. Extension of the shelf life of chilled hake (*Merluccius merluccius*) by a novel icing medium containing natural organic acids. *Food Control* 34(2): 356-363.
- García-Soto, B., Fernandez-No, I., Barros-Velázquez, B., and Aubourg, S. 2014. Use of citric and lactic acids in ice to enhance quality of two fish species during on-board chilled storage. *International Journal of Refrigeration* 40: 390-397.
- Hasegawa, H. 1987. Laboratory manual on analytical methods and procedures for fish and fish products. Singapore: Marine Fisheries Research Department, Southeast Asian Fisheries Development Center.
- Hernandez, M. D., Lopez, M. B., Alvarez, A., Ferrandini, E., and Garcia-Garcia, B. 2009. Sensory, physical, chemical, and microbiological changes in aquacultured meagre (*Argyrosomus regius*) fillets during ice storage. *Food Chemistry* 114(1): 237-245.
- Kilinc, B., Cakli, S., Dincer, T., and Tolasa, S. 2009. Microbiological, chemical, sensory, color, and textural changes of rainbow trout fillets treated with sodium acetate, sodium lactate, sodium citrate, and stored at 4°C. *Journal of Aquatic Food Product Technology* 18(1-2): 3-17.

- Kusuma, B., and Teerawut, S. 2014. Shelf-life extension of pre-cooked shrimp (*Litopenaeus vannamei*) by oregano essential oil during refrigerated storage. *Burapha Science Journal* 22(Special Volume): 71-77.
- Mendes, R., Silva, H. A., Anacletp, P., and Cardoso, C. 2011. Effect of CO₂ dissolution on the shelf life of ready-to-eat *Octopus vulgaris*. *Innovative Food Science & Emerging Technologies* 12(4): 551-561.
- Metin, S., Erkan, N., Varlik, C., and Aran, N. 2001. Extension of shelf life of chub mackerel (*Scomber japonicus* Houttuyn 1780) treated with lactic acid. *European Food Research and Technology* 213: 174-177.
- Okpala, C. O. R., Choo, W. S., and 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.
- Özyurt, G., Kuley, E., Balıkcı, E., Kaçar, Ç., Gökdoğan, S., and Etyemez, M. 2012. Effect of the icing with rosemary extract on the oxidative stability and biogenic amine formation in sardine (*Sardinella aurita*) during chilled storage. *Food and Bioprocess Technology* 5(7): 2777-2786.
- Qiu, X., Chen, S., Liu, G., and Yang, Q. 2014. Quality enhancement in the Japanese sea bass (*Lateolabrax japonicus*) fillets stored at 4°C by chitosan coating incorporated with citric acid or licorice extract. *Food Chemistry* 162: 156-160.
- Quitral, V., Donoso, M. L., Ortiz, J., Herrera, M. V., Araya, H., and Aubourg, S. 2009. Chemical changes during the chilled storage of Chilean jack mackerel (*Trachurus murphyi*): effect of a plant extract-icing system. *LWT - Food Science and Technology* 42(1): 1450-1454.
- Sanjuas-Rey, M., García-Soto, B., Fuertes-Gamundi, J., Aubourg, S., and Barros-Velazquez, J. 2012a. Effect of a natural organic acid-icing system on the microbiological quality of commercially relevant chilled fish species. *LWT - Food Science and Technology* 46(1): 217-223.
- Sanjuas-Rey, M., Gallardo, J. M., Barros-Velazquez, J., and Aubourg, S. 2012b. Microbiological activity inhibition in chilled mackerel (*Scomber scombrus*) by employment of an organic acid-icing system. *Journal of Food Science* 77(5): M264-M269.
- Xiao, T. X., Yi, F. F., Jian, G. L., Ya, Q. H., Dong, H. L., Shi, G. C., Xing, Q. Y., and Tian, D. 2017. Preservation of squid by slightly acidic electrolyzed water ice. *Food Control* 73: 1483-1489.

วันรับบทความ (Received date) : 1 มิ.ย. 62

วันแก้ไขบทความ (Revised date) : 6 ม.ค. 63

วันตอบรับบทความ (Accepted date) : 5 พ.ค. 63