น้ำแข็งเหลวโอโซนกับการเพิ่มมูลค่าให้อาหารทะเล

สุมิตรา บุญบำรุง[1*]
จุฑา มุกดาสนิท[2]

[1]ฝ่ายเคมีและกายภาพอาหาร
สถาบันค้นคว้าและพัฒนาผลิตภัณฑ์อาหาร มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์
[2]ภาควิชาผลิตภัณฑ์ประมง คณะประมง มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์
[*]ผู้นิพนธ์หลัก อีเมล : ifrstb@ku.ac.th
รับเมื่อ 29 มิถุนายน 2566 **แก้ไขเมื่อ** 25 กันยายน 2566 **ตอบรับเมื่อ** 28 พฤศจิกายน 2566

จุดเด่น

- การใช้น้ำแข็งเหลวโอโซนเพื่อการชะลอการเสื่อมเสียให้กับอาหารทะเล
- การรักษาคุณภาพของผลิตภัณฑ์อาหารทะเลด้วยน้ำแข็งเหลวโอโซน

บทคัดย่อ

การดูแลหลังการจับสัตว์น้ำเค็มเพื่อรักษาคุณภาพของสัตว์น้ำที่จับได้ ช่วยชะลอการเสื่อมคุณภาพของอาหารในห่วงโซ่อาหารจนถึงมือผู้บริโภค และเป็นการเพิ่มมูลค่าให้กับสัตว์น้ำที่จับได้ น้ำแข็งเหลว (Slurry Ice, SI) และน้ำแข็งเหลวโอโซน (Ozonized Slurry Ice, OSI) เป็นเทคโนโลยีรูปแบบหนึ่งที่ถูกนำมาใช้เพื่อยกระดับมาตรฐานให้กับอาหารทะเล ซึ่งประเทศไทยมีศักยภาพในการเลี้ยง/การจับสัตว์น้ำจากธรรมชาติได้ในระดับหนึ่งในภูมิภาคแห่งนี้ ดังจะเห็นได้จากอาหารทะเลที่สดใหม่ จากฝั่งทะเลอันดามันและทะเลอ่าวไทย ไม่นับรวมสัตว์น้ำที่มีการเลี้ยงในบ่ออีกเป็นจำนวนมาก การนำเทคโนโลยีด้านการใช้ SI หรือ OSI มาประยุกต์เข้ากับขั้นตอนการดูแลหลังการจับสัตว์น้ำตลอดการขนส่งจนถึงมือผู้บริโภค นับว่าเป็นการเพิ่มมูลค่าให้แก่สัตว์น้ำเหล่านั้น ผ่านคุณภาพที่ดีของอาหารทั้งในแง่ สี กลิ่น รสชาติที่ใกล้เคียงกับสัตว์น้ำที่มีคุณภาพเหมือนของสดใหม่ ได้รับการยอมรับจากผู้บริโภคทั้งในด้านภาพลักษณ์ที่มีสีสัน สด ใส สวยตามธรรมชาติ และมีกลิ่นรสที่ได้รับการตอบรับเป็นอย่างดีและผ่านตามเกณฑ์มาตรฐานของอาหารทะเล

คำสำคัญ : น้ำแข็งเหลว โอโซน อาหารทะเล การดูแลหลังการจับ (สัตว์น้ำ)

Adding value to seafood products using ozonized slurry ice

Sumitra Boonbumrung[1*], and
Juta Mookdasanit[2]

[1]Department of Food Chemical and Physical,
Institute of Food Research and Product Development, Kasetsart University
[2]Department of Fishery Products,
Faculty of Fisheries, Kasetsart University
[*]Corresponding author, e-mail : ifrstb@ku.ac.th
Received 29 June 2023; **Revised** 25 September 2023; **Accepted** 28 November 2023

Highlights

- Ozonized slurry ice application to preservation of seafoods
- Maintaining seafood products quality by ozonized slurry ice

Abstract

Saltwater harvesting maintenance for preservation of the quality of aquatic animals caught can slow down the qualitative deterioration of food chain to consumer and adds value to aquatic animals caught. Slurry Ice (SI) and Ozonized Slurry Ice (OSI) are technologies used to raise the standard of seafood. Thailand has the potential to raise/catch wild aquatic animals to a certain extent in this region. This can be seen from fresh seafood along both sides of the Andaman Sea and the Gulf of Thailand, not counting the adoption of a large number of cultures in the pond. If the technology of using SI or OSI are applied to the post-catch care process throughout the transportation to the consumer. It is considered to add value to those aquatic animals. Through the good quality of food in terms of color, smell and taste that are similar to fresh aquatic animals. It has been accepted by consumers in terms of images that are colorful, bright, and naturally beautiful iIncluding a good taste. All has been well received and meets the standards of fresh seafood as well.

Keywords : slurry ice, ozone, seafood, postharvest activity (aquatic animals)

บทนำ

น้ำแข็งเหลว (Slurry Ice, SI) เป็นของผสมระหว่างผลึกน้ำแข็ง น้ำ และสารเพิ่มเติมซึ่งอาจเป็นเกลือที่มีอนุภาคขนาดเล็ก (nanoparticle) หรือแอลกอฮอล์ โดยสารเพิ่มเติมเหล่านี้ถูกนำมาใช้เป็นสารทำความเย็นเพื่อลดจุดเยือกแข็ง โดยที่ผลึกน้ำแข็งจะมีขนาดอยู่ในช่วงระหว่าง 0.2 ถึง 0.8 มิลลิเมตร ภายใต้สภาวะเดียวกันค่าความจุพลังงานของ SI ต่อหน่วยปริมาตรจะมีค่าสูงกว่าน้ำเย็น เนื่องจากการเปลี่ยนสถานะของอนุภาคน้ำแข็ง SI ที่มีส่วนของน้ำแข็งอยู่ในช่วง 5-30% มีความสามารถในการเข้าถึงจุดเยือกแข็งมากขึ้น 5-6 เท่าเมื่อเทียบกับน้ำเย็นทั่วไป นอกจากนี้ในระหว่างที่เก็บรักษาอาหาร SI มีโอกาสสัมผัสกับอาหารที่มากขึ้นเมื่อเทียบกับน้ำแข็งทั่วไป ซึ่งทำให้มีผลในการเก็บรักษาอาหารที่ดีกว่า นอกจากนี้ด้วยความจุพลังงานที่สูงกว่าน้ำเย็นธรรมดา ระบบผลิต SI จึงสามารถลดขนาดของเครื่องปั๊มน้ำและเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนได้ จึงส่งผลให้สามารถลดต้นทุนของระบบการจัดการและการผลิตได้ กระบวนการผลิต SI จากน้ำทะเล โดยทั่วไปเริ่มจากการผ่านน้ำทะเลเข้าสู่ระบบการทำความเย็นที่เฉพาะเจาะจงซึ่งสามารถสร้างอนุภาคน้ำแข็งขนาดเล็ก จากนั้นน้ำแข็งนี้จะถูกผสมกับน้ำทะเลเพื่อสร้างเป็น SI โดย SI ที่ได้นั้นมีข้อดีหลายประการเมื่อเทียบกับน้ำแข็งทั่วไป กล่าวคือมีประสิทธิภาพในการทำความเย็นที่ดีขึ้น รวมถึงอายุการเก็บรักษาที่ยาวนานขึ้น และการลดความเสียหายในอาหารทะเลและผลิตภัณฑ์ที่เสื่อมสภาพได้ง่ายชนิดอื่น ๆ ในระหว่างการขนส่ง ดังแสดงรายละเอียดใน Table 1 และ Figure 1 โดย SI ที่ผลิตจากน้ำทะเลมีความเหมาะสมเป็นพิเศษในอุตสาหกรรมการประมง เนื่องจาก SI ที่ผลิตจากน้ำทะเลสามารถใช้งานได้ง่ายในสภาพแวดล้อมทางทะเลและสามารถผลิตด้วยอุปกรณ์ที่เรียบง่าย อีกทั้ง SI มีประสิทธิภาพในการทำความเย็นมากกว่าน้ำแข็งทั่วไป จึงช่วยในการคงคุณภาพของอาหารทะเลทั้งด้านความสด สี กลิ่นและรสชาติของอาหารทะเลในระหว่างการขนส่งและเก็บรักษา ทำให้อาหารทะเลมีลักษณะปรากฏที่ดูสดใหม่ ส่งผลต่อการยอมรับของผู้บริโภคสูงขึ้น[1-4]

การประยุกต์ใช้น้ำแข็งเหลว (Slurry Ice, SI) ในอาหารทะเล

สัตว์น้ำเป็นอาหารที่เสื่อมเสียได้ง่ายมาก ตัวอย่างเช่น เมื่อปลาตายจะเริ่มเสื่อมสภาพอย่างรวดเร็ว หากไม่มีการเก็บรักษาอย่างเหมาะสม จะเกิดการเปลี่ยนแปลงทางชีวเคมีโดยเอนไซม์และจุลินทรีย์ต่าง ๆ และเกิดการสูญเสียน้ำ มีผลให้อายุการเก็บรักษาลดลงอย่างรวดเร็ว กระบวนการเสื่อมนี้จะเกิดการสร้างสารประกอบไนโตรเจนที่ระเหยได้ (volatile basic nitrogen, TVB-N) และสารไตร-เมทิลเอมีน (trimethylamine, TMA) ทำให้เกิดกลิ่นไม่พึงประสงค์ในเนื้อปลาและไม่เป็นที่ยอมรับจากผู้บริโภคเมื่อเก็บรักษาไว้นานกว่า 8 วัน ซึ่งมีรายงานว่า SI สามารถยืดอายุการเก็บรักษาปลาซาร์ดีนได้นานถึง 15 วัน เมื่อเทียบกับการเก็บรักษาด้วยน้ำแข็งเกล็ดที่ทำจากน้ำจืด (Flake Ice, FI) ที่มีอายุการเก็บรักษาได้เพียง 8 วัน[5] ปลาคอดที่เก็บรักษาใน SI เป็นเวลา 3 วัน มีน้ำหนักเพิ่มขึ้นเฉลี่ยอยู่ที่ 4% โดยไม่มีการเปลี่ยนแปลงในคุณภาพ

ในทางกลับกันปลาคอดที่เก็บรักษาบนน้ำแข็งน้ำจืด (FI) ไม่มีเพิ่มน้ำหนักใด ๆ มีการทดลองเพิ่มเติมโดยใช้ น้ำที่มีปริมาณเกลือโซเดียมคลอไรด์อยู่ในความเข้มข้นเท่ากับกับน้ำทะเลเพื่อผลิต SI แล้วใช้ SI ที่ผลิตขึ้นในการเก็บรักษาปลาทะเล ผลการทดลองพบว่า การเก็บรักษาปลาได้ดีขึ้นและทำให้โปรตีนไมโอไฟบริลลาร์ (myofibrillar proteins) มีความเสถียรมากขึ้นส่งผลให้ปลามีน้ำหนักมากขึ้นในระหว่างการเก็บรักษา[1,6] มีการศึกษาผลของการใช้ SI ต่อคุณภาพของกุ้ง (*Pandalus borealis*) ในระหว่างการเก็บรักษา โดยการประเมินคุณสมบัติทางรสชาติ จุลชีววิทยา ทางกายภาพ และทางเคมี จากผลการศึกษาแสดงให้เห็นว่า การประยุกต์ใช้ SI ในการเก็บรักษามีประสิทธิภาพในการรักษาคุณภาพของกุ้งได้มากกว่าการใช้น้ำแข็งแบบดั้งเดิมหรือการใช้น้ำผสมกับเกลือ โดยพิจารณาจากการประเมินทางจุลชีววิทยา (total viable count, TVC) และทางเคมี (TVB-N และ TMA)[7]

Table 1 Comparison of properties of slurry ice with normal flake ice[8]

Slurry Ice; (SI)	Normal Flake Ice; (FI)
Produced from seawater. The ice crystals are small and soft in texture	Produced from freshwater. The ice crystals are large and hard in texture
Temperature in the range of -0.5 to -2°C	Temperature in the range of 0.5°C or higher
It can quickly reduce the temperature of aquatic animals. The aquatic animals will have a temperature in the range of 0 to -1°C during storage	Aquatic animals will have temperature in the range of 1°C or higher during storage
Preserves the color, smell and taste of marine fish well	The color, smell and taste of marine fish change rapidly
Reduce damage/tear of aquatic animal skin during storage and transportation	There is a chance of damage/tear of aquatic animal skin during storage and transportation

A B

Figure 1 A-slurry ice (SI) and B-temperature of slurry ice[8]

ในขณะที่อัตราการเสื่อมสภาพของปลาจะชะลอลงอย่างมีนัยสำคัญใน SI มีรายงานว่า ปลาบางสายพันธุ์ เช่น ปลากะพงแดง เป็นตัวอย่างที่พบว่า มีตาขุ่นเมื่อเก็บรักษาใน SI ที่มีเกลือ ซึ่งมีผลกระทบต่อลักษณะและคุณภาพของปลาด้านลบ อาจเกิดจากการตกตะกอนของส่วนประกอบของตาในอุณหภูมิต่ำกว่าศูนย์องศาเซลเซียส ซึ่งเป็นระดับอุณหภูมิที่เกิดขึ้นในระบบ SI ในปัจจุบัน SI ที่ผลิตจากน้ำทะเลอาจสร้างปัญหาการสะสมเกลือในระหว่างการเก็บรักษาเป็นระยะเวลาที่ยาวนานของปลาบางสายพันธุ์ เช่น ปลาผิวน้ำ (pelagic fish) ความท้าทาย คือ การระบุเงื่อนไขการทำความเย็นและการเก็บรักษาที่เหมาะสมสำหรับผลิตภัณฑ์ปลาแต่ละชนิด แล้วออกแบบระบบที่สามารถควบคุมอุณหภูมิและความเค็มของน้ำแข็ง SI ให้อยู่ในระดับที่ต้องการสำหรับแต่ละการใช้งานอย่างแม่นยำ[1]

ระบบการผลิตน้ำแข็ง SI แบบที่สามารถควบคุมให้คุณสมบัติเป็นตามที่ต้องการถูกออกแบบมาใช้กับอุตสาหกรรมประมง การออกแบบการเก็บรักษาน้ำแข็ง SI ทำให้สามารถแยกผลึกน้ำแข็งออกจากน้ำเค็มภายในถังเก็บน้ำแข็งได้ ดังแสดงใน Figure 2 อนุภาคน้ำแข็งที่สะสมที่ด้านบนของถังจะถูกปล่อยลงมาผสมกับปริมาณน้ำเย็นหรือสารน้ำเค็มที่ควบคุมได้เพื่อสร้างน้ำแข็ง SI ที่สามารถสูบด้วยปั๊มได้และมีความเข้มข้นของน้ำแข็งและความเค็มตามที่ต้องการ

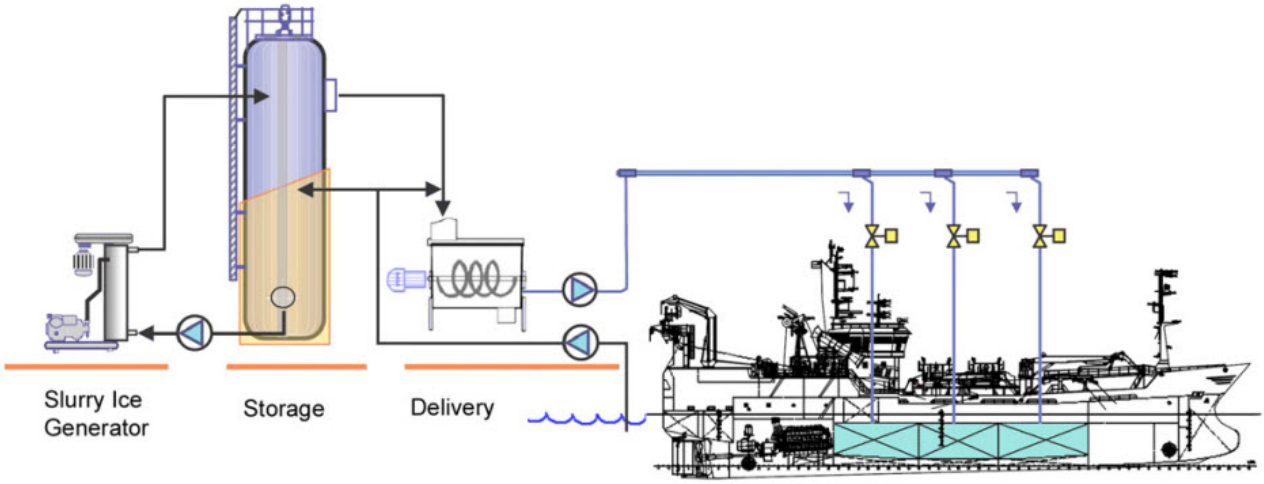


Figure 2 Slurry ice production system on fishing boats[2]

การประยุกต์ใช้น้ำแข็งเหลวโอโซน (Ozonized Slurry Ice, OSI) ในอาหารทะเล

โอโซนถูกใช้เป็นสารฆ่าเชื้อในน้ำแบบดั้งเดิม ด้วยประสิทธิภาพของการออกซิไดซ์ที่ดี โอโซนจึงสามารถนำมาใช้ในการยับยั้งเชื้อจุลินทรีย์ และมีประสิทธิภาพในการใช้เป็นสารฆ่าเชื้อสำหรับระบบการเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำจืดและการประยุกต์ใช้ในการปรับปรุงคุณภาพทางประสาทสัมผัสและอายุการเก็บรักษาของปลา มีรายงานผลการฆ่าเชื้อแบคทีเรียด้วยโอโซนขึ้นอยู่กับหลายปัจจัย เช่น อุณหภูมิ ความชื้นสัมพัทธ์ ค่า pH และการมีอยู่ของสารอินทรีย์ สำนักงานคณะกรรมการอาหารและยาแห่งสหรัฐอเมริกา (FDA) ได้พิจารณาให้โอโซนเป็นสารเคมีที่ผ่านการรับรองว่าสามารถใช้ในอาหารได้

อย่างปลอดภัย (generally recognized as safe, GRAS) สำหรับใช้ในอาหารประเภทต่าง ๆ ซึ่งมีการใช้เพิ่มขึ้นทั่วโลก[9] มีรายงานเกี่ยวกับการประยุกต์ใช้น้ำแข็งเหลวโอโซน (OSI) ในปลาซาร์ดีน พบว่า ปลาซาร์ดีนมีอายุการเก็บรักษาได้นานถึง 19 วัน ในขณะที่ปลาซาร์ดีนที่เก็บรักษาในน้ำแข็งเหลว (SI) และน้ำแข็งน้ำจืด (FI) มีอายุการเก็บรักษา 15 และ 8 วัน ตามลำดับ ดังแสดงใน Figure 3[5]

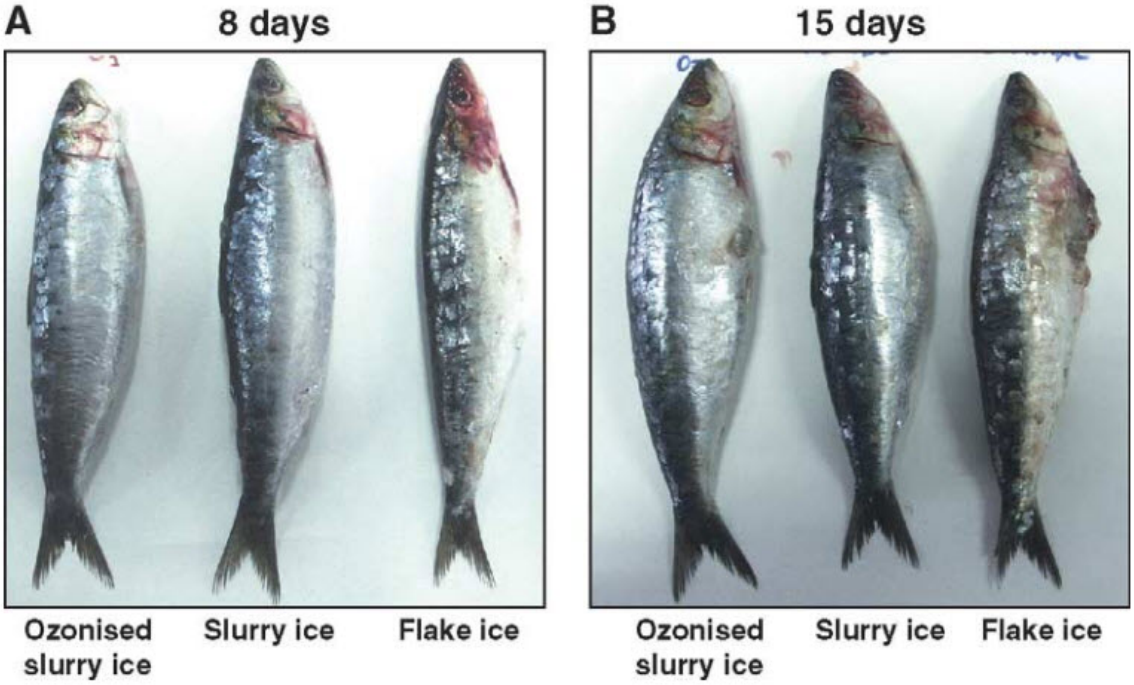


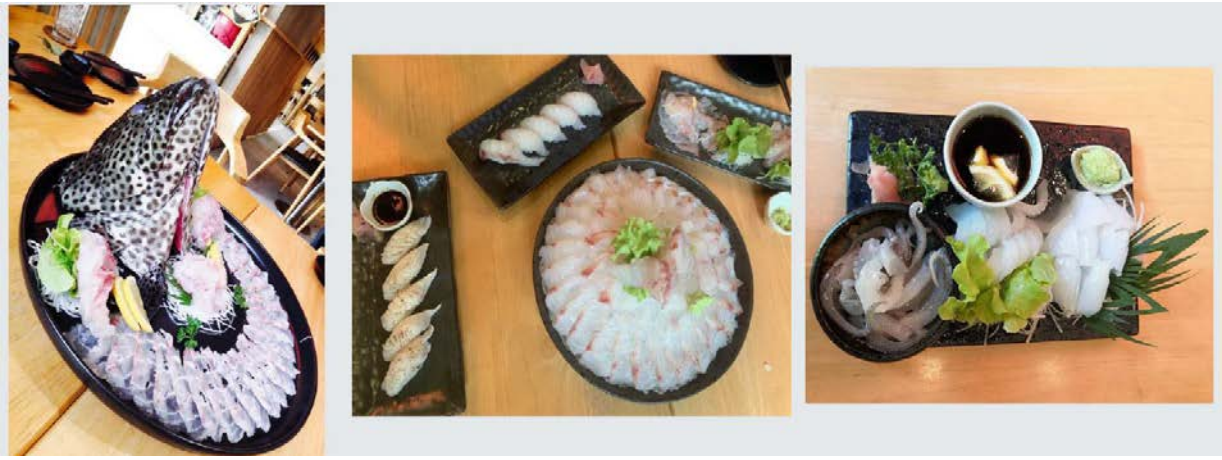
Figure 3 Sardines stored in ozonized slurry ice, slurry ice, and flake ice at 8 and 15 days[5]

มีการศึกษาเปรียบเทียบระหว่าง OSI, SI และ FI ต่ออายุการเก็บรักษาปลา megrim (*Lepidorhombus whiffiagonis*) พบว่า เมื่อการเก็บรักษาเป็นเวลา 20 วัน ตัวอย่างที่เก็บรักษาใน OSI, SI และ FI ผู้ทดสอบให้การยอมรับในระดับคุณภาพดี คุณภาพปานกลาง และไม่ยอมรับคุณภาพ ตามลำดับ เมื่อทดสอบปริมาณจุลินทรีย์ในกลุ่ม aerobic mesophiles, psychrotrophic bacteria, Enterobacteriaceae และ proteolytic microorganisms ของปลาที่เก็บรักษาใน OSI มีปริมาณน้อยกว่าอย่างมีนัยสำคัญ เมื่อเทียบกับปลาที่เก็บรักษาใน FI อีกทั้งเมื่อวัดคุณภาพด้านเคมีและชีวเคมีพบว่า ปลาที่เก็บรักษาใน OSI มีการสร้าง total volatile base-nitrogen (TVB-N) และ trimethylamine-nitrogen (TMA-N) น้อยกว่าปลาที่เก็บรักษาใน FI[10] มีรายงานเกี่ยวกับการยืดอายุการเก็บรักษาปลา bighead croaker (*Collichthys niveatus*) ด้วย OSI ทีมวิจัยรายงานอายุการเก็บรักษาปลาโดยพิจารณาจากเกณฑ์ด้านปริมาณจุลินทรีย์ทั้งหมด (total viable count; TVC) พบว่า ปลาที่เก็บรักษาใน OSI, SI และ FI จะมีปริมาณ TVC ไม่เกินข้อกำหนดเมื่อเก็บรักษาเป็นเวลา 18, 15 และ 9 วัน ตามลำดับ และเมื่อทดสอบด้วย SDS–polyacrylamide gel electrophoresis

analysis และกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนชนิดส่องกราดพบว่า OSI ช่วยชะลอการสลายตัวของ myofibrillar proteins และชะลอการเปลี่ยนแปลงของโครงสร้างกล้ามเนื้อปลา[11] จากผลการศึกษาวิจัยแสดงให้เห็นว่า การใช้น้ำแข็งเหลวโอโซน (OSI) สามารถเก็บรักษาความสดของปลากะพงระดับซาชิมิเกรดได้นานถึง 12 วัน OSI สามารถเก็บรักษาคุณภาพของปลากะพงได้นานกว่าการใช้เกล็ดน้ำแข็ง อีกทั้งทางคณะผู้วิจัยได้ทดลองเบื้องต้นโดยใช้ OSI ในการเก็บรักษาปลาหลายชนิด เช่น ปลากุดสลาด ปลาเก๋า ปลากะพงแดง ปลากะพงทอง (อังเกย) และหมึก เพื่อนำมาทำซาชิมิ จากการทดสอบคุณภาพโดยร้านอาหารญี่ปุ่นพบว่า ปลาที่กล่าวมาข้างต้นนี้ เมื่อเก็บรักษาด้วย OSI จะยังคงคุณภาพที่สามารถนำมาทำเป็นซาชิมิในระดับการค้าได้ ดังแสดงใน Figure 4 และ Figure 5[8]

A-Sea Bass B-Red Snapper C-Coral Grouper

Figure 4 Sea bass (A), red snapper (B), and coral grouper (C), preserved in ozonized slurry ice (OSI) 12, 12, 14 days respectively



D-Grouper E-Golden Snapper F-Squid

Figure 5 Grouper (D), golden snapper (E), and squid (F), preserved in ozonized slurry ice (OSI)

ทีมวิจัยของภาควิชาผลิตภัณฑ์ประมง คณะประมง มหาวิทยาลัยเกษตรศาตร์ ได้ร่วมมือกับฟาร์มเลี้ยงกุ้ง ทำการทดสอบรักษาความสดในกุ้งกุลาดำที่เลี้ยงในน้ำทะเล โดยทำการขนส่งจากจังหวัดพังงามายังกรุงเทพมหานครโดยใช้น้ำแข็งเหลวที่ผลิตจากน้ำทะเล จากนั้นนำกุ้งที่ได้มาแปรรูปโดยเชฟมืออาชีพของร้านอาหารญี่ปุ่น ผลที่ได้ คือ กุ้งที่ส่งมาถึงร้านมีความสด ทั้งลักษณะเนื้อสัมผัสและรสชาติ โดยเนื้อกุ้งมีความหวานตามธรรมชาติ กลิ่นรสของกุ้งชัดเจน สามารถทำอาหารได้หลากหลายเมนู เช่น เทมปุระ ซูชิ และกุ้งย่าง ดัง Figure 6 ทุกเมนูได้รับการยอมรับด้านคุณภาพ ทั้งทางด้านลักษณะปรากฏ มีสีสัน สวย สด และทางด้านประสาทสัมผัสโดยการชิมพบว่า มีกลิ่นรสชาติ และเนื้อสัมผัสที่ดี โดยผู้ทดสอบชิมที่มีประสบการณ์ในเมนูอาหารนี้เป็นอย่างดี[12]

Figure 6 Food made from black tiger prawns transported using slurry ice from sea water

บทสรุป

ตลอดเวลากว่า 20 ปี ในการพัฒนาอย่างต่อเนื่อง SI และ OSI ได้รับการยอมรับอย่างกว้างขวาง ไม่เพียงเทคโนโลยีที่ช่วยในการระบายความร้อนแบบที่ไม่เหมือนวิธีการใด แต่ยังเป็นวิธีการรักษาคุณภาพที่ยอดเยี่ยม SI และ OSI ได้รับการยอมรับ และนำเข้ามาใช้ ในคู่มือและกฎระเบียบการจัดการปลา เช่น คู่มือเกี่ยวกับคุณภาพอุตสาหกรรมอาหารทะเล มีคำแนะนำในการใช้ SI สำหรับปลาดังนี้

- การใช้ SI สำหรับปลาบางสายพันธุ์ เช่น ปลาทูน่า ที่มีกลุ่มเป้าหมายเป็นตลาดระดับพรีเมียม

- การใช้ SI จะช่วยให้ปลาเย็นลงอย่างรวดเร็วและทั่วถึงมากขึ้น เนื่องจากมีพื้นผิวการสัมผัสที่ดีกว่าน้ำแข็งแบบดั้งเดิมกับผิวของปลา ซึ่งช่วยลดอัตราการเจริญเติบโตของเชื้อจุลินทรีย์และรักษาคุณภาพของสินค้าไว้ได้ดี ส่งผลให้มีอายุการเก็บรักษาสัตว์น้ำหลังจากที่จับได้เป็นระยะเวลาที่นานขึ้น สำหรับ SI มีพื้นผิวที่มากกว่าและอุณหภูมิที่สม่ำเสมอกว่าน้ำแข็งแบบดั้งเดิม ทำให้มีประสิทธิภาพในการนำความร้อนออกจากตัวปลาได้ดีกว่า

- การใช้ SI ช่วยลดการเสียหายของปลาและสัตว์น้ำ เนื่องจาก SI มีผิวสัมผัสที่อ่อนนุ่มทำให้ลดความเสียหายต่อปลา อาหารทะเล และสัตว์น้ำ โดยผิวของปลาหรือสัตว์น้ำไม่เกิดการฉีกขาดระหว่างการขนส่งเมื่อเทียบกับน้ำแข็งแบบดั้งเดิมที่ทำให้เกิดความเสียหายของสัตว์น้ำระหว่างการเก็บรักษาและการขนส่ง

- OSI สามารถยับยั้งการเจริญของแบคทีเรียและช่วยชะลอการเปลี่ยนแปลงด้านเคมีและชีวเคมี ส่งผลให้ช่วยยืดอายุการเก็บรักษาสัตว์น้ำให้นานขึ้น และเป็นผลดีด้านความปลอดภัยในอาหารประเภทสัตว์น้ำยิ่งขึ้น

เอกสารอ้างอิง

1. Piñeiro, C., J. Barros-Velázquez and S. P. Aubourg. Effects of newer slurry ice systems on the quality of aquatic food products: A comparative review versus flake-ice chilling methods. Trends in Food Science and Technology. 2004;15(12):575-82.
2. Kauffeld, M., M. J. Wang, V. Goldstein and K. E. Kasza. Ice slurry applications. International Journal of Refrigeration. 2010;33(8):1491-505.
3. Pan, C., S. Chen, S. Hao and X. Yang. Effect of low-temperature preservation on quality changes in Pacific white shrimp, *Litopenaeus vannamei*: a review. Journal of the Science of Food and Agriculture. 2019;99(14):6121-28.
4. Lyu, F., R. Zhu, W. Tang, Y. Ding and J. Liu. Progress of ice slurry in food industry: Application, production, heat and mass transfer. International Journal of Food Science and Technology. 2022;57(2):842-55.
5. Campos, C. A., O. Rodríguez, V. Losada, S. P. Aubourg and J. Barros-Velázquez. Effects of storage in ozonised slurry ice on the sensory and microbial quality of sardine (*Sardina pilchardus*). International Journal of Food Microbiology. 2005;103(2):121-30.
6. Herland, H., M. Esaiassen, M. Cooper and R. L. Olsen. Quality of farmed Atlantic cod: Effects of season and storage. Aquaculture Research. 2010;41(8):1203-10.
7. Qing, Z. Z., K. A. Thorarinsdottir and G. Olafsdottir. Quality changes of shrimp (*Pandalus borealis*) stored under different cooling conditions. Journal of Food Science. 2005;70(7):S459-S466.
8. จุฑา มุกดาสนิท และคณะ. นวัตกรรมน้ำแข็งเหลวรักษาคุณภาพเนื้อปลาสด. [อินเทอร์เน็ต]. 14 มิ.ย. 2566 [เข้าถึงเมื่อ 25 มิ.ย. 2566]. เข้าถึงได้จาก: https://www.thaipbs.or.th/program/WanmaiVariety/watch/N9xrKO
9. Kim, J. G., A. E. Yousef and S. Dave. Application of ozone for enhancing the microbiological safety and quality of foods: A review. Journal of Food Protection. 1999;62(9):1071-87.
10. Aubourg, S. P., V. Losada, J. M. Gallardo, J. M. Miranda and J. Barros-Velázquez. On-board quality preservation of megrim (Lepidorhombus whiffiagonis) by a novel ozonised-slurry ice system. European Food Research and Technology. 2006;223(2):232-7.
11. Chen, J., J. Huang, S. Deng and Y. Huang. Combining ozone and slurry ice to maximize shelf-life and quality of bighead croaker (Collichthys niveatus). Journal of Food Science and Technology. 2016;53(10):3651-60.
12. ภาควิชาผลิตภัณฑ์ประมง Department of Fishery Products. การประยุกต์ใช้น้ำแข็งเหลวจากน้ำทะเลรักษาคุณภาพของกุ้งลาดำ. [อินเทอร์เน็ต]. 28 มิ.ย. 2566 [เข้าถึงเมื่อ 28 มิ.ย. 2566]. เข้าถึงได้จาก: https://www.facebook.com/100080103653342/posts/pfbid034foimKSkwcoTGVTVEzZmZ433sXmEN2HueMcfkLUHyvS864cGYAtCwx93c5WFvSu6l/?mibextid=cr9u03
13. Campos, C. A., V. Losada, Ó. Rodríguez, S. P. Aubourg and J. Barros-Velázquez. Evaluation of an ozone-slurry ice combined refrigeration system for the storage of farmed turbot (Psetta maxima). Food Chemistry. 2006;97(2):223-30.
14. Okpala, C. O. R. Changes in some biochemical and microbiological properties of ozone-processed shrimps: Effects of increased ozone discharge combined with iced storage. Journal of Food and Nutrition Research. 2018;57(1):48-56.