

ผลของสารเติมแต่งบางชนิดต่อคุณภาพเจลจากเนื้อปลานิลสด และแช่แข็งที่ผ่านการทอด และการแช่แข็ง-ทำละลาย

Effects of Some Additives on Gel Qualities from Fresh and Frozen Tilapia Meat after Frying and Freeze–Thawing

นุชรินทร์ กาฬเนตร (Nucharin Karnade)* ดร.อารยา อารมณฤทธิ (Dr.Araya Ahromrit)**

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้ศึกษาผลของการเตรียมเนื้อปลานิลสดในสภาวะต่างๆ ต่อคุณภาพของเจลทอดแช่แข็ง โดยใช้เนื้อปลาสด เนื้อปลาสดแช่แข็งเก็บรักษานาน 3 เดือน และเนื้อปลาสดที่ได้จากปลาทั้งตัวแช่แข็งเก็บรักษานาน 3 เดือน และใช้สารเติมแต่ง ได้แก่ แชนแทนกัม (ร้อยละ 0.5) และสารป้องกันโปรตีนเสียสภาพ (ซูโครส ซอร์บิทอล และโซเดียมไตรพอลิฟอสเฟตร้อยละ 4, 4 และ 0.3 ตามลำดับ) เจลทอดแช่แข็งที่เตรียมจากเนื้อปลาสดมีความสามารถในการอุ้มน้ำและความยืดหยุ่นสูงกว่า แต่มีปริมาณน้ำมันที่ดูดซับไว้ต่ำกว่าเจลทอดแช่แข็งที่เตรียมจากเนื้อปลาสดแช่แข็งและปลาทั้งตัวแช่แข็ง ($p \leq 0.05$) เจลทอดแช่แข็งที่เติมแชนแทนกัมมีเนื้อสัมผัสที่แข็งขึ้น แต่เจลที่เติมสารป้องกันโปรตีนเสียสภาพมีเนื้อสัมผัสที่อ่อนนุ่มกว่าเมื่อเปรียบเทียบกับเจลทอดแช่แข็งที่ไม่เติมสารเติมแต่ง สารเติมแต่งช่วยปรับปรุงความคงตัวของผลิตภัณฑ์หลังผ่านการแช่แข็ง-ละลายน้ำแข็งซ้ำ 6 รอบ

ABSTRACT

The aim of this research was to study the effect of different preparation methods of minced Tilapia meat on qualities of frozen deep-fried tilapia gel products. Minced meats were obtained from: 1) fresh meat, 2) frozen minced meat stored for 3 months and 3) frozen whole fish stored for 3 months. Two types of food additives were mixed with the minced meat: 1) xanthan gum (0.5%) and 2) cryoprotectants (sucrose, sorbitol and sodium tripolyphosphate – 4, 4 and 0.3%, respectively). Frozen fried gel prepared from fresh mince had higher water holding capacity and springiness but lower oil absorption than products prepared from frozen minced meat and frozen whole fish ($p \leq 0.05$). The texture of the frozen fried gel containing xanthan gum was harder but the texture of the sample containing cryoprotectants was softer than the product having no additive. Food additives were able to improve stability of the frozen fried gel after freeze-thaw 6 cycles.

คำสำคัญ : เจลเนื้อปลานิลทอดแช่แข็ง สารเติมแต่งอาหาร

Key Words: Frozen deep-fried tilapia gel, Food additive

* มหบัณฑิต หลักสูตรวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาเทคโนโลยีการอาหาร คณะเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยขอนแก่น

** ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ภาควิชาเทคโนโลยีอาหาร คณะเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยขอนแก่น

บทนำ

ปลานิลเป็นปลาเศรษฐกิจที่มีปริมาณไขมันต่ำ (ร้อยละ 0.1-2.2) และมีปริมาณเอนไซม์ทรานส์กลูตามิเนส (transglutaminase, TGase) สูง เหมาะสมต่อการแปรรูปเป็นผลิตภัณฑ์ที่ต้องการเนื้อสัมผัสที่ยืดหยุ่นเช่นลูกชิ้นปลาปลาหยอไส้กรอกปลาทอดมันปลาหรือเต้าหู้ปลา ไขมันในเนื้อปลาเป็นกรดไขมันชนิดไม่อิ่มตัว ดังนั้นการบริโภคปลาและผลิตภัณฑ์จากเนื้อปลาจึงลดความเสี่ยงจากโรคเกี่ยวกับหัวใจ ประกอบกับเนื้อปลานิลมีราคาไม่สูงเมื่อเทียบกับปลาเนื้อขาวชนิดอื่นๆ จึงมีศักยภาพที่จะนำมาใช้เป็นวัตถุดิบเพื่อสร้างมูลค่าเพิ่ม ปัจจุบันผลิตภัณฑ์อาหารทอดยังคงเป็นที่นิยมในการบริโภค ทั้งนี้เพราะการทอดช่วยปรับปรุงลักษณะเนื้อสัมผัส กลิ่น รส และสีของเปลือกนอกอาหาร แต่อาหารทอดมีการดูดซับน้ำมันในระหว่างการทอด ซึ่งส่งผลต่อคุณภาพของผลิตภัณฑ์อายุการเก็บรักษาและการยอมรับของผู้บริโภคในกลุ่มที่หลีกเลี่ยงอาหารไขมันสูง อุตสาหกรรมเนื้อปลาบดนิยมเก็บรักษาผลิตภัณฑ์ด้วยการแช่แข็งเพราะช่วยรักษาคุณภาพของผลิตภัณฑ์ให้ใกล้เคียงคุณภาพผลิตภัณฑ์เริ่มต้นมากที่สุด การเก็บรักษาเนื้อปลาโดยการแช่แข็งที่พบโดยทั่วไปมักเก็บในรูปแบบผ่านการบด และเก็บแบบทั้งตัว มีรายงานกล่าวว่า การเก็บรักษาเนื้อปลาที่ผ่านการแช่แข็งอาจทำให้เกิดผลึกน้ำแข็งในโครงสร้างของโปรตีน เซลล์จึงเกิดความเสียหายส่งผลต่อการลดลงของการเกิดเจลและสูญเสียความอ้วนน้ำของผลิตภัณฑ์ เมื่อเปรียบเทียบกับตัวอย่างที่เตรียมจากเนื้อปลาสด (Tokur *et al*, 2006) อีกทั้งผลิตภัณฑ์ที่มีปริมาณไขมันหรือน้ำมันอยู่สูงจะสามารถเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันในสภาวะการแช่แข็งได้มาก ทำให้ผลิตภัณฑ์มีกลิ่นหืน จากผลเสียของการทอดและการแช่แข็งที่อาจเกิดขึ้นในผลิตภัณฑ์ดังกล่าว ทำให้เป็นสิ่งที่น่าสนใจต่อการศึกษาหาแนวทางการลดการสูญเสียคุณภาพเจล จากเนื้อปลาที่ผ่านการทอดและเก็บรักษาแบบแช่แข็ง เป็นที่ทราบโดยทั่วไปว่า การเติมสารป้องกันการเสียสภาพของโปรตีนลงในอาหารแช่แข็ง

สามารถป้องกันการเสียสภาพที่รุนแรงของโปรตีนในระหว่างการแช่แข็ง-ละลายน้ำแข็งได้ (freeze-thaw) (Esaïassen *et al*, 2005) สารป้องกันโปรตีนเสียสภาพที่นิยมใช้ในผลิตภัณฑ์เนื้อปลาบดแช่แข็ง ได้แก่ ซูโครส ซอร์บิทอล และโซเดียมไตรโพลีฟอสเฟต และใช้ในปริมาณร้อยละ 4, 4 และ 0.3 ตามลำดับ จะช่วยรักษาคุณภาพด้านเนื้อสัมผัส (Konno *et al*, 1997) และลดการเกิดกลิ่นหืน (Candogan *et al*, 2003) ของผลิตภัณฑ์จากเนื้อปลาบดแช่แข็งได้ นอกจากนี้ยังมีการนำสารไฮโดรคอลลอยด์ เช่น แชนแทนกัม มาใช้เพื่อวัตถุประสงค์ในการปรับปรุงลักษณะเนื้อสัมผัสและเพิ่มคุณสมบัติในการอุ้มน้ำของผลิตภัณฑ์อาหารแช่แข็ง Montero *et al* (2000) กล่าวว่า การเติมไฮโดรคอลลอยด์ช่วยปรับปรุงลักษณะเนื้อสัมผัสและความสามารถในการอุ้มน้ำของเจลจากเนื้อปลาชาร์ ดินบด ปริมาณการใช้ในผลิตภัณฑ์เนื้อปลาจะอยู่ในช่วงร้อยละ 0.5 -1.0 ของน้ำหนักเนื้อปลา การใช้สารแชนแทนกัม ร้อยละ 0.1-1.0 ในเจลเนื้อปลา ซูริมิ และไส้กรอกไขมันต่ำ สามารถปรับปรุงเนื้อสัมผัสและเพิ่มความคงตัวของผลิตภัณฑ์ นอกจากนี้ยังนิยมใช้เป็นสารเติมแต่งในส่วนผสมของอาหารทอดเพื่อชะลอการสูญเสียไขมันในระหว่างการทอด และลดการดูดซับน้ำมันในผลิตภัณฑ์ทอด (Ngadi *et al*, 2007) การใช้ไฮโดรคอลลอยด์ช่วยชะลอการเกิดกลิ่นหืนได้ในผลิตภัณฑ์ปลาที่ผ่านการเก็บรักษาแบบแช่แข็ง (Kilincceker *et al*, 2007)

วัตถุประสงค์ของการวิจัย

1. เพื่อทราบผลของการเติมสารเติมแต่ง แชนแทนกัม และสารป้องกันโปรตีนเสียสภาพต่อความสามารถในการอุ้มน้ำ ปริมาณน้ำมัน การเกิดกลิ่นหืน และค่าสีของเจลทอดแช่แข็งที่เตรียมจากเนื้อปลานิลสดและเนื้อปลาแช่แข็ง
2. เพื่อทราบผลของการเติมสารเติมแต่ง แชนแทนกัม และสารป้องกันโปรตีนเสียสภาพต่อความคงตัวด้านความสามารถในการอุ้มน้ำ ปริมาณ

น้ำมัน การเกิดกลิ่นหืน และค่าสีของเจลทอดแช่แข็ง ที่เตรียมจากเนื้อปลานิลสด และเนื้อปลาแช่แข็ง หลังผ่านการแช่แข็ง-ละลายน้ำแข็งซ้ำ 6 รอบ

3. เพื่อเป็นแนวทางต่อการพัฒนาผลิตภัณฑ์ จากเนื้อปลานิลด้านการเพิ่มมูลค่าและเพิ่มความหลากหลายของชนิดผลิตภัณฑ์

วิธีดำเนินการวิจัย

วัตถุดิบ

ปลานิลน้ำหนักเฉลี่ย 0.9–1.0 กิโลกรัมต่อตัว มีค่าปริมาณต่างที่ระเหยได้ทั้งหมด (total volatile basic nitrogen: TVB-N) ไม่เกิน 25 มิลลิกรัมไนโตรเจน ต่อน้ำหนักเนื้อปลา 100 กรัม

การเตรียมเนื้อปลาสดในสภาวะต่าง ๆ

เนื้อปลานิลสดจะแบ่งออกเป็น 3 กลุ่ม ตามรูปแบบวัตถุดิบ โดย กลุ่มที่ 1 เป็นกลุ่มเนื้อปลานิลสด ที่เตรียมโดยนำปลานิลสดมาชอดเกล็ด ตัดหัว ควักไส้ ทำความสะอาดแล้วเอาเนื้อ นำเนื้อปลานิลแล่ที่มีหนังติด อยู่เข้าเครื่องแยกหนังและเนื้อปลา จากนั้นนำเฉพาะ เนื้อปลาไปบดต่อด้วยเครื่องบดที่มีขนาดรูตะแกรง 5 มิลลิเมตร จะได้เนื้อปลานิลบดที่พร้อมจะนำไป เตรียมเป็นเนื้อปลาสดในสภาวะต่าง ๆ กลุ่มที่ 2 เป็นกลุ่มเนื้อปลาสดแช่แข็ง ที่เตรียมโดยนำเนื้อปลา

สดซึ่งเตรียมเช่นเดียวกับกลุ่มที่ 1 มาเติมสารเติมแต่ง ก่อนนำไปแช่แข็งในเครื่องแช่แข็งแบบลมเย็นเป่า (air blast freezer) ที่ -35°C จนอุณหภูมิใจกลางของ เนื้อปลาบดเท่ากับ -18°C และเก็บรักษาที่ -20°C นาน 3 เดือน และกลุ่มที่ 3 เป็นกลุ่มปลาทั้งตัวแช่แข็ง ที่เตรียมโดยนำปลานิลที่ผ่านการชอดเกล็ด ตัดหัว ควักไส้ และทำความสะอาด จากนั้นแช่แข็งแบบ ลมเย็นเป่า ที่ -35°C จนอุณหภูมิใจกลางของเนื้อปลา ทั้งตัวเท่ากับ -18°C และเก็บรักษาที่ -20°C นาน 3 เดือน วัตถุดิบในกลุ่มที่ 2 และ 3 ก่อนนำมา เตรียมเป็นเนื้อปลาสดจะผ่านการละลายน้ำแข็งที่ อุณหภูมิ 5°C นาน 24 ชั่วโมง วัตถุดิบกลุ่มที่ 3 หลังผ่าน การทำละลายจะเตรียมเนื้อปลาสดเช่นเดียวกับวัตถุดิบ กลุ่มที่ 1 สารเติมแต่งที่ใช้ในเนื้อปลาสดทั้ง 3 กลุ่มมี 2 ชนิด ได้แก่ แซนแทนกัม ร้อยละ 0.5 ของน้ำหนัก เนื้อปลาสด และสารป้องกันโปรตีนเสียสภาพ (ส่วนผสมของน้ำตาลซูโครส ซอร์บิทอล และโซเดียม ไตรพอลิฟอสเฟต ร้อยละ 4, 4 และ 0.3 ของน้ำหนัก เนื้อปลาสด ตามลำดับ) และให้ตัวอย่างที่ไม่เติมสาร เติมแต่งเป็นชุดควบคุมสำหรับเนื้อปลาสด เนื้อปลาสด แช่แข็งและปลาทั้งตัวแช่แข็ง สัญลักษณ์แทนการเตรียม เนื้อปลาในแบบต่างๆทั้ง 9 ตัวอย่าง แสดงในตารางที่ 1

ตารางที่ 1 สัญลักษณ์แทนการเตรียมเนื้อปลาทั้ง 9 ตัวอย่าง

สัญลักษณ์	การเตรียมเนื้อปลาสด	
	ลักษณะวัตถุดิบ	สารเติมแต่ง
FM	เนื้อปลาสดบด	ไม่เติม
FMX	เนื้อปลาสดบด	แซนแทนกัม
FMC	เนื้อปลาสดบด	สารป้องกันโปรตีนเสียสภาพ
FrM	เนื้อปลาสดบดแช่แข็งเก็บนาน 3 เดือน	ไม่เติม
FrMX	เนื้อปลาสดบดแช่แข็งเก็บนาน 3 เดือน	แซนแทนกัม
FrMC	เนื้อปลาสดบดแช่แข็งเก็บนาน 3 เดือน	สารป้องกันโปรตีนเสียสภาพ
FrW	ปลาทั้งตัวแช่แข็งเก็บนาน 3 เดือน	ไม่เติม
FrWX	ปลาทั้งตัวแช่แข็งเก็บนาน 3 เดือน	แซนแทนกัม
FrWC	ปลาทั้งตัวแช่แข็งเก็บนาน 3 เดือน	สารป้องกันโปรตีนเสียสภาพ

การเตรียมเจลทอดแช่แข็ง

นำเนื้อปลาบดมาเตรียมเป็นเจลสุก โดยสับผสมเนื้อปลากับเกลือร้อยละ 2 ของน้ำหนักเนื้อปลาบด และปรับปริมาณความชื้นของเนื้อปลาบดด้วย น้ำแข็งเป็นร้อยละ 78.5 โดยน้ำหนักเปียก ผสมนาน 5 นาที อุณหภูมิของส่วนผสมไม่เกิน 15°C บรรจุเนื้อปลาลงในถุงพลาสติกและปิดผนึกถุงด้วยเครื่องปิดผนึกสุญญากาศ เพื่อลดการเกิดฟองอากาศที่แทรกอยู่ในชั้นเจลสุก จากนั้นนำเนื้อปลานิลสดบรรจุลงในไส้พลาสติกขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 2.5 เซนติเมตร และมัดเป็นท่อนยาว 12 เซนติเมตร นำตัวอย่างไปทำให้สุกในอ่างน้ำควบคุมอุณหภูมิ ดังนี้ ช่วงที่ 1 อุณหภูมิ 50°C นาน 30 นาที และช่วงที่ 2 อุณหภูมิ 90°C นาน 15 นาที จากนั้นนำเจลสุกไปทอดอุณหภูมิลงอย่างรวดเร็วในอ่างน้ำผสมน้ำแข็งนาน 10 นาที และนำเข้าเก็บในช่องเย็นอุณหภูมิ 5°C เป็นเวลานาน 24 ชั่วโมง (Worratao and Yongsawatdigul, 2003) นำเจลสุกที่ได้มาเตรียมเป็นเจลทอด โดยตัดเจลสุกให้มีขนาดยาว 2.5 เซนติเมตร ทำการทอดในน้ำมันดอกทานตะวันที่อุณหภูมิ 160°C นาน 150 วินาที ซับน้ำมันที่ผิวของเจลทอดด้วยกระดาษทิชชูทันทีหลังจากนำขึ้นจากน้ำมัน บรรจุเจลทอดลงในถุงโพลีเอทิลีนถุงละ 15 ชิ้น โดยเรียงชิ้นตัวอย่างแบบแถวเดียว ทำการปิดผนึกถุงโดยให้มีพื้นที่ที่อยู่เหนือชิ้นตัวอย่างภายในถุงไม่เกิน 1 เซนติเมตร แช่แข็งในเครื่องแช่แข็งแบบลมเย็นเป่าที่ -35°C จนอุณหภูมิใจกลางชิ้นเจลทอดเป็น -18°C และเก็บรักษาที่ -20°C นาน 18 ชั่วโมง ก่อนทำการวิเคราะห์คุณภาพในด้านต่าง ๆ โดยทำการละลายน้ำแข็งในตัวอย่างที่ 5°C นาน 6 ชั่วโมง สำหรับการศึกษาความคงตัวของผลิตภัณฑ์หลังผ่านการแช่แข็ง-ละลาย น้ำแข็งซ้ำ 6 รอบ ได้นำเจลทอดมาผ่านการแช่แข็ง-ละลายน้ำแข็งซ้ำ 6 รอบ โดยกำหนดให้ 1 รอบ คือ การแช่แข็งที่ -20°C นาน 18 ชั่วโมง และทำการละลายน้ำแข็งที่ 5°C นาน 6 ชั่วโมง (Boonsumrej and others, 2007) ก่อนนำไปวิเคราะห์คุณภาพ ดังนี้ ความสามารถในการอุ้มน้ำ (Baxter and Skonberg, 2008) ปริมาณน้ำมันและค่า TBARS (Ngadi and others, 2007) ลักษณะเนื้อสัมผัสด้านความแข็งแรงและความยืดหยุ่นของเจล โดยวิธี texture profile analysis; TPA (Herrero

et al, 2008) และค่าสี รายงานในรูปค่าความแตกต่างของสีทั้งหมด (DE) และค่าความขาว (whiteness) (Alizadeh et al, 2007)

การวิเคราะห์ผลการทดลองทางสถิติ

กำหนดการทดลองแบบ 3×3 ในแผนการทดลองแบบ CRD (Completely Randomized Design) โดยศึกษา 2 ปัจจัย คือ 1) สภาวะของวัตถุดิบก่อนนำมาเตรียมเป็นเจลปลานิลทอดแช่แข็ง มี 3 กลุ่ม ได้แก่ เนื้อปลานิลสด (ไม่ผ่านการเก็บรักษา) เนื้อปลานิลสดแช่แข็ง (ผ่านการเก็บรักษานาน 3 เดือน) และเนื้อปลาจากปลานิลทั้งตัวแช่แข็ง (ปลาทั้งตัวผ่านการเก็บรักษานาน 3 เดือน) และ 2) การใช้สารเติมแต่ง มี 3 กลุ่ม ได้แก่ แซนแทนกัม สารป้องกันโปรตีนเสียสภาพ และไม่เติมสารเติมแต่ง ทำการทดลองทั้งหมด 2 ชั่วโมง วิเคราะห์ความแปรปรวนของค่าเฉลี่ยผลการทดลอง (ANOVA) และเปรียบเทียบความแตกต่างระหว่างชุดการทดลองโดยใช้ Duncan's New Multiple Range Test สำหรับการวิเคราะห์ผลของการแช่แข็ง-ละลาย น้ำแข็ง 1 รอบและซ้ำ 6 รอบ ต่อคุณภาพของเจลทอดแช่แข็งจะเปรียบเทียบความแตกต่างระหว่างชุดการทดลองแบบ Pair Comparison Test โดยใช้ค่า t-test

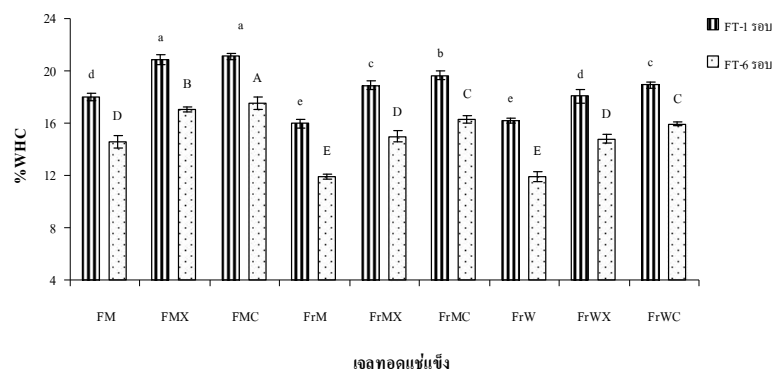
ผลการวิจัยและอภิปรายผล

ผลรวมของสภาพวัตถุดิบเนื้อปลานิลสด (เนื้อปลาสด เนื้อปลาบดแช่แข็ง และปลาทั้งตัวแช่แข็ง) และการเติมสารเติมแต่งต่างกัน (สารป้องกันโปรตีนเสียสภาพ แซนแทนกัม และไม่เติม) มีผลต่อค่าความสามารถในการอุ้มน้ำ (%WHC) ปริมาณน้ำมัน (กรัมต่อกรัมน้ำหนักแห้ง) ค่า TBARS ($\text{mgMDA/kg}_{\text{wb sample}}$) ค่าความแข็ง (hardness, g_{force}) ค่าความยืดหยุ่น (springiness, cm) ค่าความแตกต่างของสีทั้งหมด (DE) และค่าความขาว (whiteness) ของเจลทอดแช่แข็ง การเพิ่มจำนวนครั้งของการแช่แข็ง-ละลายน้ำแข็งจาก 1 รอบ (FT-1) เป็น 6 รอบ (FT-6) ทำให้ค่าความสามารถในการอุ้มน้ำ ปริมาณน้ำมัน ค่าความแข็งและค่าความยืดหยุ่นลดลง แต่ทำให้ค่า TBARS เพิ่มขึ้น และค่าสีของเจลทอดแช่แข็งเปลี่ยนแปลง

จากภาพที่ 1 พบว่าเจลทอดแช่แข็งหลังผ่านการละลายน้ำแข็ง (FT-1) ที่เตรียมจากเนื้อปลา

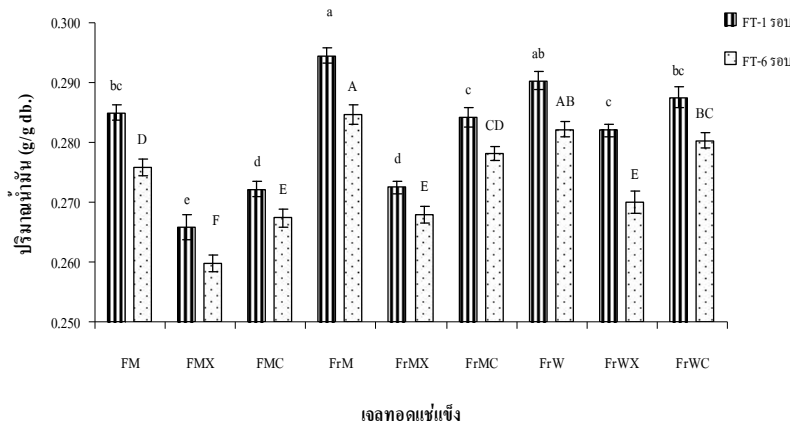
ผ่านการแช่แข็งทั้งในรูปเนื้อปลาสดและปลาทั้งตัวแช่แข็ง มีค่า %WHC ต่ำกว่าตัวอย่างที่เตรียมจากเนื้อปลาสด เมื่อเปรียบเทียบในกลุ่มที่เติมสารเติมแต่งชนิดเดียวกัน ($p \leq 0.05$) อาจเป็นเพราะการสูญเสียคุณสมบัติเชิงหน้าที่ของโปรตีนในเนื้อปลาสดเนื่องจากการแช่แข็ง การเกิดผลึกน้ำแข็งอาจทำลายโครงสร้างเซลล์ และมีการเคลื่อนตัวของน้ำออกจากโมเลกุลของโปรตีนส่งผลทำให้เกิดการจับตัวกันของโปรตีนกลั่นเนื้อ (Tokur *et al*, 2006) การจับตัวกันของโปรตีนดังกล่าว ทำให้โปรตีนสูญเสียความสามารถในการอุ้มน้ำ (Benjakul *et al*, 2003) และส่งผลต่อผลิตภัณฑ์เจล แม้ว่าการทอดจะทำให้เกิดการเสียสภาพของโปรตีนโดยสมบูรณ์ แต่ค่าทางคุณภาพทางเคมี-กายภาพของเจล ทอดแช่แข็งมีความแตกต่างกันทางสถิติ ($p \leq 0.05$) การเติมแซนแทนกัมและสารป้องกันโปรตีนเสียสภาพช่วยเพิ่มค่า %WHC ให้กับเจลทอดแช่แข็งได้ ($p \leq 0.05$) เนื่องจากแซนแทนกัมเกิดอันตรกิริยากับน้ำ ทำให้น้ำอิสระถูกยึดเหนี่ยวไว้โดยการจับกับแซนแทนกัม Da Ponte and others (1984) พบว่าการเติมแซนแทนกัมลดการสูญเสียน้ำและปรับปรุงลักษณะเนื้อสัมผัสของเนื้อปลาไวดั้งบดระหว่างการเก็บรักษาที่ -18°C นาน 3 เดือนได้ Benjakul *et al* (2005) กล่าวว่า การเติมสารป้องกันโปรตีนเสียสภาพในเนื้อปลาสดแช่แข็ง จะเพิ่มความสามารถในการจับกับน้ำของโปรตีนในผลิตภัณฑ์เจล

โดยซอร์บิทอลมีความสามารถในการเก็บความชื้น เพราะโมเลกุลประกอบด้วย hydroxy group ($-\text{OH}$ group) ซึ่งมีความสามารถในการสร้างพันธะไฮโดรเจนกับน้ำ จึงทำให้มีความสามารถในการจับกับน้ำได้เป็นอย่างดี และโซเดียมไตรฟอสเฟตมีหมู่ PO_4H_2 สามารถสร้างพันธะไฮโดรเจนกับโมเลกุลของน้ำได้ (Knipe *et al*, 1985) เมื่อเปรียบเทียบค่า %WHC ของเจลทอดแช่แข็งที่ผ่านการแช่แข็ง-ละลายน้ำแข็ง 1 รอบ และซ้ำ 6 รอบ มีค่าแตกต่างกัน ($p \leq 0.05$) โดยที่การแช่แข็ง-ละลายน้ำแข็งซ้ำ 6 รอบ (FT-6) ทำให้เจลทอดแช่แข็งมีค่า %WHC ลดลงระหว่างร้อยละ 15.78-26.20 แต่การเติมแซนแทนกัมหรือสารป้องกันโปรตีนเสียสภาพในเนื้อปลาสดช่วยรักษาความสามารถในการอุ้มน้ำของเจลทอดแช่แข็งได้ เมื่อเปรียบเทียบในกลุ่มตัวอย่างที่เตรียมจากเนื้อปลาแบบเดียวกัน เจลทอดแช่แข็งที่เตรียมจากเนื้อปลาที่ผ่านการแช่แข็งและมีการใช้สารเติมแต่งร่วมด้วยเมื่อผ่านการแช่แข็ง-ละลายน้ำแข็งซ้ำ 6 รอบ มีค่า %WHC ไม่แตกต่างหรือมีค่าสูงกว่าเจลทอดแช่แข็งที่เตรียมจากเนื้อปลาสดที่ไม่ใช้สารเติมแต่งร่วมด้วย เนื่องจากในระหว่างการแช่แข็ง-ละลายน้ำแข็งซ้ำ 6 รอบ ส่งผลให้ขนาดผลึกน้ำแข็งขยายใหญ่ขึ้นและทำลายโครงสร้างของเจล การเติมสารเติมแต่งช่วยจับยึดโมเลกุลของน้ำไม่ให้เคลื่อนที่มารวมกันและเปลี่ยนเป็นผลึกน้ำแข็งที่มีขนาดใหญ่ขึ้น จึงช่วยรักษาปริมาณน้ำไว้ในโครงสร้างเจลได้



ภาพที่ 1 ความสามารถในการอุ้มน้ำ (%WHC) ของเจลทอดแช่แข็งที่เตรียมแบบต่างๆ หลังผ่านการแช่แข็ง-ละลาย น้ำแข็ง จำนวน 1 รอบ (FT-1 รอบ) และซ้ำ 6 รอบ (FT-6 รอบ)

หมายเหตุ อักษร a,b,c...และ A,B,C...ที่กำกับในรูปกราฟแท่งที่ต่างกันแสดงถึงความแตกต่างของค่าเฉลี่ยอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) สำหรับเจลทอดแช่แข็งที่ผ่าน FT-1 รอบ และ FT-6 รอบ ตามลำดับ



ภาพที่ 2 ปริมาณน้ำมัน (g/g db.) ของเจลทอดแช่แข็งที่เตรียมแบบต่างๆหลังผ่านการแช่แข็ง-ละลายน้ำแข็งจำนวน 1 รอบ (FT-1 รอบ) และซ้ำ 6 รอบ (FT-6 รอบ)

หมายเหตุ อักษร a,b,c...และ A,B,C...ที่กำกับในรูปกราฟแท่งที่ต่างกันแสดงความแตกต่างของค่าเฉลี่ยอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) สำหรับเจลทอดแช่แข็งที่ผ่าน FT-1 รอบ และ FT-6 รอบ ตามลำดับ

จากภาพที่ 2 พบว่า เจลทอดแช่แข็งที่เตรียมจากเนื้อปลาที่ผ่านการเก็บรักษาแบบแช่แข็ง มีปริมาณน้ำมันสูงกว่าตัวอย่างที่เตรียมจากเนื้อปลาสด ($p \leq 0.05$) เมื่อเปรียบเทียบในกลุ่มที่เติมสารเติมแต่งเดียวกัน เนื่องจากโปรตีนของเนื้อปลาเกิดการเสียสภาพระหว่างการเก็บรักษาแบบแช่แข็งนาน 3 เดือน ทำให้ความแข็งแรงของเจลเนื้อปลาลดลง เจลที่มีโครงสร้างแข็งแรงจะมีการดูดซับน้ำมันต่ำลง และพบว่าเจลทอดแช่แข็งที่มีการเติมแซนแทนกัมหรือสารป้องกันโปรตีนเสียสภาพมีปริมาณน้ำมันต่ำกว่าตัวอย่างที่ไม่เติม ($p \leq 0.05$) โดยที่ตัวอย่างเติมแซนแทนกัมมีปริมาณน้ำมันต่ำสุด แซนแทนกัมช่วยเพิ่มฟิล์มรอบๆของชิ้นอาหารขณะทำการทอด ทำให้ต้านทานการซึมผ่านของน้ำมัน นอกจากนี้แซนแทนกัมจับกับน้ำไว้ได้มากและจับด้วยพันธะที่แข็งแรงกว่าโมเลกุลของน้ำจึงคงตัวในโครงสร้างแซนแทนกัม (Borderías *et al*, 2005) ดังนั้นการที่น้ำมันจะเข้าไปแทนที่น้ำที่ระเหยไปจึงเกิดขึ้นได้ยาก ทำให้เจลทอดมีการดูดซับน้ำมันน้อยลงสำหรับสารป้องกันโปรตีนเสียสภาพลดการดูดซับน้ำมันในเจลทอดแช่แข็งได้มากกว่าตัวอย่างที่ไม่เติม

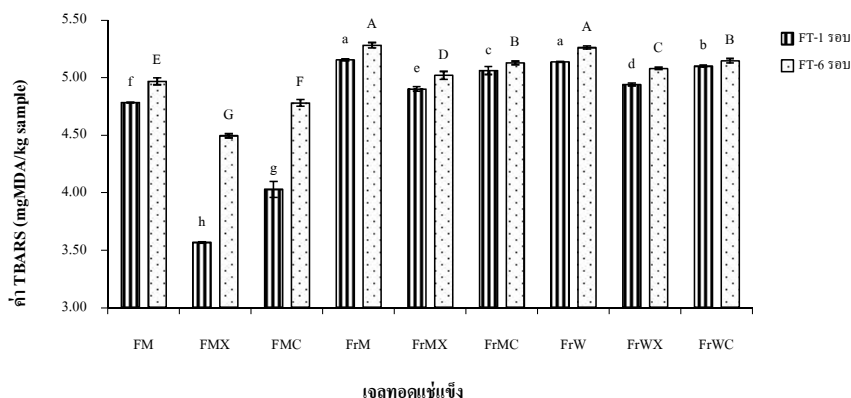
สารเติมแต่ง เป็นเพราะตัวอย่างที่เติมสารป้องกันโปรตีนเสียสภาพมีปริมาณน้ำในโครงสร้างมากกว่า จึงยังคงมีโมเลกุลของน้ำที่อยู่ภายในชั้นด้านในเคลื่อนตัวเข้ามาทดแทนน้ำที่บริเวณผิวหน้าที่ระเหยออกไป ณ เวลาการทอดที่เท่ากัน ดังนั้นน้ำมันจึงยังไม่สามารถเข้ามาทดแทนที่ว่างที่น้ำระเหยไป เจลทอดแช่แข็งที่เตรียมจากเนื้อปลาสดและไม่เติมสารเติมแต่งแช่แข็งและเก็บรักษานาน 3 เดือน (FrM) เมื่อนำมาผ่านการแช่แข็ง-ละลายน้ำแข็งซ้ำ 6 รอบ มีปริมาณน้ำมันสูงสุด (0.285 g/g db)

จากภาพที่ 3 พบว่า เจลทอดแช่แข็งที่เตรียมจากเนื้อปลาที่ผ่านการเก็บรักษาแบบแช่แข็งนาน 3 เดือน มีค่า TBARS สูงกว่าตัวอย่างที่เตรียมจากเนื้อปลาสด ($p \leq 0.05$) เมื่อเปรียบเทียบในกลุ่มที่เติมสารเติมแต่งเดียวกัน เนื่องจากเกิดออกซิเดชันของไขมันในเนื้อปลาระหว่างการเก็บรักษาได้สารประกอบคีโตนแอลดีไฮด์แอลกอฮอล์ไฮโดรคาร์บอนอีพอกไซด์และกรดต่างๆ ทำให้เกิดกลิ่นที่ไม่ดีหรือกลิ่นหืนในผลิตภัณฑ์ (Thanonkaew *et al*, 2008) การเติมสารเติมแต่งช่วยลดการเกิดกลิ่นหืนของเจลทอดแช่แข็งได้

($p \leq 0.05$) ซึ่งตัวอย่างที่เติมแซนแทนกัมมีค่า TBARS ต่ำสุด เนื่องจากแซนแทนกัมสามารถลดการดูดซับน้ำมันของเจล ทอดแช่แข็ง (กราฟที่ 2) และสารประกอบฟอสเฟตสามารถจับกับอนุมูลอิสระ เช่น Cu^{+2} และ Fe^{+2} ช่วยชะลอการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันของไขมัน (Yoon and Lee, 1990; Candogan and Kolsarici, 2003) เจล ทอดแช่แข็งที่ผ่านการแช่แข็ง-ละลายน้ำแข็ง 1 รอบ และซ้ำ 6 รอบ มีค่า TBARS แตกต่างกัน ($p \leq 0.05$) ซึ่งการแช่แข็ง-ละลายน้ำแข็งซ้ำ 6 รอบ ทำให้เจลทอดแช่แข็งมีค่า TBARS สูงขึ้น เจลทอดแช่แข็งที่เตรียมจากเนื้อมีไขมันและไม่ได้เติมสารเติมแต่งแช่แข็งและเก็บรักษานาน 3 เดือน (FrM) เมื่อผ่านการแช่แข็ง-ละลายน้ำแข็งซ้ำ 6 รอบ มีค่า TBARS สูงสุด ($5.28 \text{ mgMDA/kg}_{\text{wb}} \text{ sample}$) แต่ไม่แตกต่างจากเจลทอดแช่แข็งที่เตรียมจากปลาทั้งตัวแช่แข็งและไม่ได้เติมสารเติมแต่ง (FrW)

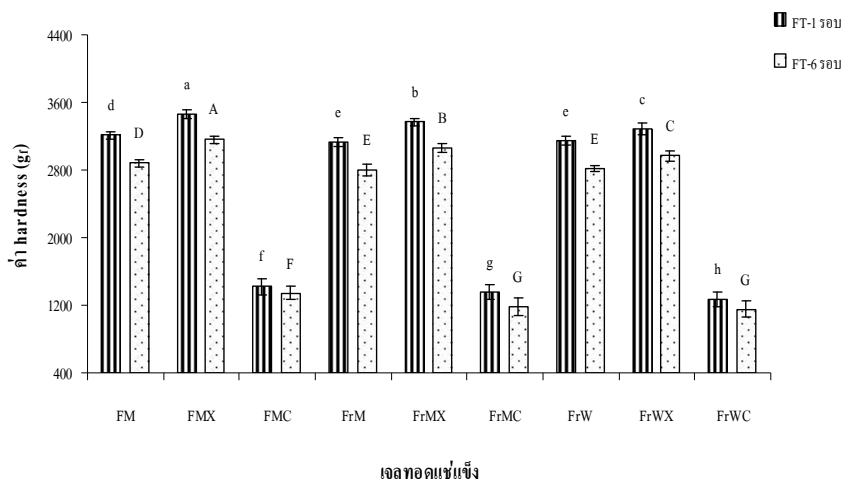
เมื่อวิเคราะห์คุณภาพทางลักษณะเนื้อสัมผัสพบว่า การเก็บรักษาวัตถุดิบแบบแช่แข็งนาน 3 เดือนทำให้ค่าความแข็งแรงของเจล (hardness; แรงเป็นกรัมที่กดตัวอย่างครั้งที่ 1) และค่าความยืดหยุ่น (springiness; ระยะทางเป็นเซนติเมตรของการกดครั้งที่ 2 ต่อระยะทางเป็นเซนติเมตรของการกดครั้งที่ 1) ของเจลทอดแช่แข็งหลังผ่านการละลายน้ำแข็ง 1 รอบ (FT-1) ลดลง ดังภาพที่ 4 และ 5 ตามลำดับ เนื่องจากเนื้อมีไขมันมีความสมบูรณ์ของโปรตีนกล้ามเนื้อ เจลจึงมีความแข็งแรงมากกว่าเจลจากเนื้อปลาแช่แข็ง (Yang and Froning, 1992) การเติมแซนแทนกัมทำให้ค่า hardness ของเจลทอดแช่แข็งสูงขึ้น เพราะแซนแทนกัมเป็นสารเพิ่มความหนืด สามารถรวมตัวเป็นโครงสร้าง 3 มิติหรือสายม้วนขด (helical structure) ซึ่งจะยึดเกาะกันเองหรือยึดกับโมเลกุลโปรตีนด้วยพันธะไฮโดรเจน (Katzbaver, 1998) ทำให้โครงสร้างภายในเจลยึดเกาะตัวกันดี เพิ่มความแข็งแรงของเจลและทำให้คุณลักษณะทางเนื้อสัมผัส

โดยรวมดีขึ้น ในผลิตภัณฑ์แฟรงเฟอ์เตอร์ และไส้กรอกไขมันต่ำ (Gacia-Ochoa *et al*, 2000) แต่การเติมแซนแทนกัมไม่ช่วยเพิ่มหรือปรับปรุงคุณภาพด้านความยืดหยุ่นของเจล Ramirez *et al* (2002) กล่าวว่า การเติมแซนแทนกัมไม่มีผลต่อการเปลี่ยนแปลงค่าความยืดหยุ่นของเจลเนื้อมีไขมันต่ำ Montero *et al* (2000) ศึกษาลักษณะการเกิดเจล ของโปรตีนในเนื้อมีไขมันต่ำที่ดัดแปลงที่เติมแซนแทนกัม พบว่าแซนแทนกัมจะรวมตัวในโครงสร้างร่างแหของโปรตีนทำให้โปรตีนกลั่นเนื้อรวมตัวกันได้ดีลง ส่งผลให้คุณภาพด้านเนื้อสัมผัสของเจลต่ำลง การเติมสารป้องกันโปรตีนเสียสภาพทำให้เจลทอดแช่แข็งมีค่า hardness และ springiness ต่ำลง เนื่องจากส่วนผสมมีปริมาณโปรตีนไมโอไฟบรลาร์น้อยกว่าในตัวอย่างอื่นๆ ทำให้มีโครงสร้างร่างแหของเจลมีความแข็งแรงต่ำกว่า ทำให้เจลมีสภาพที่นุ่มและขาดความแน่นเนื้อ (Peng *et al*, 2009) ค่า hardness และ springiness ของเจลทอดแช่แข็งที่ผ่านการแช่แข็ง-ละลายน้ำแข็ง 1 รอบ และซ้ำ 6 รอบ มีค่าแตกต่างกัน ($p \leq 0.05$) ซึ่งการแช่แข็ง-ละลายน้ำแข็งซ้ำ 6 รอบ ทำให้เจลทอดแช่แข็งมีค่า hardness และ springiness ลดลงถึงร้อยละ 5.06–12.81 และ 1.09–6.59 ตามลำดับ ตัวอย่างที่มีการเติมสารเติมแต่งมีความคงตัวต่อการเปลี่ยนแปลงค่า hardness และ springiness หลังผ่านการแช่แข็ง-ละลายน้ำแข็งซ้ำ 6 รอบสูงกว่าตัวอย่างที่ไม่เติมสารเติมแต่ง ($p \leq 0.05$) ซึ่งพิจารณาค่าอัตราส่วน (FT-6 ต่อ FT-1) ของค่า hardness และ springiness พบว่าค่าที่ได้มีค่าเข้าใกล้ 1 (0.90–0.98) ซึ่งค่าที่ใกล้ 1 แสดงถึง คุณภาพของตัวอย่างมีความคงตัวสูงต่อสภาวะการเก็บรักษาแบบแช่แข็งที่ผ่านการแช่แข็ง-ละลายน้ำแข็งซ้ำ ๆ ปัจจัยด้านสภาพของเนื้อมีไขมันต่ำที่ใช้เตรียมเจลทอดแช่แข็งไม่มีผลต่อการเปลี่ยนแปลงค่า springiness ของเจล หลังจากผ่านการละลายน้ำแข็ง ($p > 0.05$)



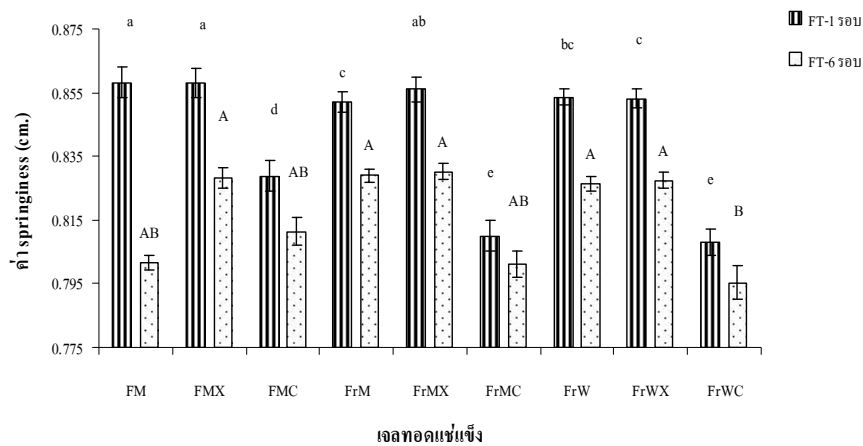
ภาพที่ 3 ค่า TBARS (mgMDA/kg_{wb} sample) ของเจลทอดแช่แข็งที่เตรียมแบบต่างๆหลังผ่านการแช่แข็ง-ละลายน้ำแข็ง จำนวน 1 รอบ (FT-1 รอบ) และซ้ำ 6 รอบ (FT-6 รอบ)

หมายเหตุ อักษร a,b,c...และ A,B,C...ที่กำกับในรูปกราฟแท่งที่ต่างกันแสดงความแตกต่างของค่าเฉลี่ยอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) สำหรับเจลทอดแช่แข็งที่ผ่าน FT-1 รอบ และ FT-6 รอบ ตามลำดับ



ภาพที่ 4 ค่าความแข็ง (hardness, g_r) ของเจลทอดแช่แข็งที่เตรียมแบบต่างๆหลังผ่านการแช่แข็ง-ละลายน้ำแข็ง จำนวน 1 รอบ (FT-1 รอบ) และซ้ำ 6 รอบ (FT-6 รอบ)

หมายเหตุ อักษร a,b,c...และ A,B,C...ที่กำกับในรูปกราฟแท่งที่ต่างกันแสดงความแตกต่างของค่าเฉลี่ยอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) สำหรับเจลทอดแช่แข็งที่ผ่าน FT-1 รอบ และ FT-6 รอบ ตามลำดับ



ภาพที่ 5 ค่าความยืดหยุ่น (springiness, cm.) ของเจลทอดแช่แข็งที่เตรียมแบบต่างๆ หลังผ่านการแช่แข็ง-ละลายน้ำแข็งจำนวน 1 รอบ (FT-1 รอบ) และซ้ำ 6 รอบ (FT-6 รอบ)

หมายเหตุ อักษร a,b,c...และ A,B,C...ที่กำกับในรูปกราฟแท่งที่ต่างกันแสดงความแตกต่างของค่าเฉลี่ยอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) สำหรับเจลทอดแช่แข็งที่ผ่าน FT-1 รอบ และ FT-6 รอบ ตามลำดับ

จากตารางที่ 2 ค่า ΔE ของเจลทอดแช่แข็งซึ่งใช้ค่าสีของเจลทอดจากเนื้อพลาสติกไม่เติมสารเติมแต่ง (ไม่ผ่านการแช่แข็ง) เป็นค่าสีที่ใช้ในการเปรียบเทียบ พบว่าเจลทอดแช่แข็งที่มีการเติมสารป้องกันโปรตีนเสียสภาพจะเกิดการเปลี่ยนแปลงของสีต่ำสุด การเพิ่มจำนวนรอบของการแช่แข็ง-ละลายน้ำแข็งส่งผลให้ค่า ΔE สูงขึ้นในทุกตัวอย่างที่สภาวะเดียวกัน เมื่อเปรียบเทียบค่าสี ΔE เจลทอดแช่แข็งที่ผ่านการแช่แข็ง-ละลายน้ำแข็ง 1 รอบ และซ้ำ 6 รอบ พบว่ามีความแตกต่างกัน ($p \leq 0.05$) แต่ไม่เด่นชัดเช่นเดียวกับการเปลี่ยนแปลงคุณภาพด้านเนื้อสัมผัส

กระบวนการแช่แข็งและการละลายน้ำแข็งส่งผลทำให้ค่าสีที่ผิวของเจลทอดแช่แข็งแตกต่างจากเจลทอดที่ไม่ผ่านการแช่แข็งมากขึ้นด้วย แต่อย่างไรก็ตามการเพิ่มจำนวนรอบของการแช่แข็ง-ละลายน้ำแข็งไม่มีผลต่อการเปลี่ยนแปลงค่า whiteness ของเจลทอดแช่แข็ง ($p > 0.05$) สาเหตุส่วนใหญ่ของการเปลี่ยนแปลงสีของผลิตภัณฑ์ที่เก็บรักษาแบบแช่แข็ง เกิดจากปฏิกิริยาออกซิเดชันและการกระจายแสงที่ผิวหน้าโครงสร้างอาหารเนื่องจากน้ำภายใน อาหารเคลื่อนที่ออกจากโครงสร้างสู่ผิวหน้า (Julavittayanukul *et al*, 2006)

ตารางที่ 2 ค่าความแตกต่างของสีทั้งหมด (ΔE) และค่าความขาว (whiteness) ของเจลทอดแช่แข็งจากปลาบดที่เตรียมในสภาวะต่างๆ

เจลทอดแช่แข็ง	การแช่แข็ง-ละลายน้ำแข็งจำนวน 1 รอบ		การแช่แข็ง-ละลายน้ำแข็งซ้ำ จำนวน 6 รอบ	
	ค่า ΔE	ค่า whiteness ^{ns}	ค่า ΔE	ค่า whiteness ^{ns}
FM	3.65 ± 0.31 ^a A	58.62 ± 0.28 ^a	3.86 ± 0.33 ^a B	58.93 ± 0.25 ^a
FMX	2.52 ± 0.30 ^b A	56.89 ± 0.32 ^c	2.94 ± 0.31 ^b B	57.12 ± 0.29 ^b
FMC	2.06 ± 0.09 ^c A	54.57 ± 0.29 ^c	2.36 ± 0.14 ^c B	55.07 ± 0.23 ^d
FrM	2.34 ± 0.29 ^c A	57.16 ± 0.25 ^b	3.06 ± 0.32 ^c B	58.11 ± 0.30 ^a
FrMX	2.21 ± 0.21 ^d A	56.12 ± 0.31 ^d	2.71 ± 0.26 ^d B	56.82 ± 0.41 ^c
FrMC	0.96 ± 0.32 ^f A	53.55 ± 0.33 ^f	1.35 ± 0.27 ^f B	54.63 ± 0.32 ^c
FrW	2.47 ± 0.32 ^b A	56.22 ± 0.25 ^{cd}	3.16 ± 0.31 ^b B	57.18 ± 0.23 ^b
FrWX	2.22 ± 0.24 ^d A	56.01 ± 0.31 ^d	2.65 ± 0.28 ^d B	56.71 ± 0.29 ^c
FrWC	0.97 ± 0.29 ^f A	53.44 ± 0.25 ^f	1.39 ± 0.29 ^f B	54.52 ± 0.28 ^c

หมายเหตุ อักษร a,b,c... ที่กำกับในแนวนอนที่ต่างกันแสดงความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) อักษร A,B ที่กำกับในแนวนอนที่ต่างกันแสดงความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$)

^{ns} แสดงค่า whiteness ไม่แตกต่างกันในตัวอย่างที่ผ่านการแช่แข็ง-ละลายน้ำแข็งจำนวน 1 รอบและซ้ำ 6 รอบ ($p > 0.05$)

สรุปผลการวิจัย

การใช้วัตถุดิบเนื้อปลาที่ผ่านการเก็บรักษาแบบแช่แข็งนาน 3 เดือน ทั้งในรูปเนื้อปลาบดและปลาทั้งตัวแช่แข็งมีผลทำให้เจลทอดแช่แข็งมีคุณภาพลดลง ได้แก่ ความสามารถในการอุ้มน้ำ ปริมาณน้ำมัน ค่า TBARS และลักษณะเนื้อสัมผัสด้านความแข็งแรงและความยืดหยุ่น แต่การเติมแซนแทนกัมร้อยละ 0.5 ลงในเนื้อปลาที่ผ่านการเก็บรักษาแบบแช่แข็งนาน 3 เดือน ทั้งแบบเนื้อปลาบด (FrMX) และปลาทั้งตัวแช่แข็ง (FrWX) ช่วยปรับปรุงค่า %WHC ให้สูงกว่าตัวอย่างที่เตรียมจากเนื้อปลาสดไม่เติมสารเติมแต่ง (FM) นอกจากนี้การเติมแซนแทนกัมสามารถลดปริมาณน้ำมัน มีผลช่วยชะลอการเกิดกลิ่นหืน (ค่า TBARS ลดลง) โดยเฉพาะในเจลทอดแช่แข็งหลังผ่านการแช่แข็ง-ละลายน้ำแข็งซ้ำ 6 รอบ ขณะที่การเติมสารป้องกันโปรตีนเสียสภาพ (ซูโครสซอร์บิทอล และโซเดียมไตรพอลิฟอสเฟต ร้อยละ 4, 4 และ 0.3 ตามลำดับ) ในเนื้อปลาที่ผ่านการเก็บรักษาแบบแช่แข็งนาน 3 เดือน ทั้งแบบเนื้อปลาบด (FrMC) และปลา

ทั้งตัวแช่แข็ง (FrWC) ทำให้เจลทอดแช่แข็งมีค่า %WHC เพิ่มขึ้นเมื่อเปรียบเทียบกับตัวอย่างที่เตรียมจากเนื้อปลาสดไม่เติมสารเติมแต่ง (FM) แต่ปริมาณน้ำมันและค่า TBARS ของเจลทอดแช่แข็งที่เติมสารป้องกันโปรตีนเสียสภาพมีค่าสูงกว่าตัวอย่างที่เติมแซนแทนกัม นอกจากนี้เจลทอดแช่แข็งที่เติมสารป้องกันโปรตีนเสียสภาพมีความแข็งแรงและความยืดหยุ่นต่ำกว่าตัวอย่างที่ไม่เติมสารเติมแต่งและมีค่าความแตกต่างของสีทั้งหมดต่ำที่สุด สำหรับการเพิ่มจำนวนรอบของการแช่แข็ง-ละลายน้ำแข็งจาก 1 รอบเป็นจำนวน 6 รอบ ส่งผลให้คุณภาพของเจลทอดแช่แข็งในด้านต่างๆ มีค่าลดลงขณะที่ค่า TBARS และค่า ΔE ของตัวอย่างสูงขึ้น แต่ไม่มีผลต่อการเปลี่ยนแปลงค่า whiteness การนำวัตถุดิบที่ผ่านการเก็บแบบแช่แข็งมาใช้เพื่อแปรรูปเป็นเจลเนื้อปลานิลทอดแช่แข็ง ควรมีการเติมแซนแทนกัมหรือสารป้องกันโปรตีนเสียสภาพลงในเนื้อปลาเพื่อปรับปรุงคุณภาพและช่วยรักษาความคงตัวของคุณภาพด้านต่างๆ ในระหว่างการเก็บรักษาแบบแช่แข็ง

กิตติกรรมประกาศ

คณะผู้วิจัยขอขอบคุณศูนย์นวัตกรรมเทคโนโลยี
หลังการเก็บเกี่ยว: หน่วยงานร่วมมหาวิทยาลัยขอนแก่น
สาขาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี และสำนักงานกองทุน
สนับสนุนการวิจัย (สกว.)

เอกสารอ้างอิง

- Baxter, SR., and Skonberg, DI. 2008. Gelation properties of previously cooked minced meat from Jonah crab (*Cancer borealis*) as affected by washing treatment and salt concentration. Food Chem. 109:332–339.
- Benjakul, S., Visessanguan, W., Thongkeaw, C., and Tanaka, M. 2003. Comparative study on physicochemical changes of muscle proteins from some tropical fish during frozen storage. Food Res. Int. 36: 787–795.
- Benjakul, S., Visessanguan, W., Thongkeaw, C. and Tanaka, M. 2005. Effect of frozen storage on chemical and gel-forming properties of fish commonly used for surimi production in Thailand. J. Food Hydro. 19: 197–207.
- Boonsumrej, S., Chaiwanichsiri, S., Tantratian, S., Suzuki, T., and Takai, R. 2007. Effect of freezing and thawing on the quality changes of tiger shrimp (*Penaeus monodon*) frozen by air-blast and cryogenic freezing. J. Food Eng. 80: 292–299.
- Borderías, AJ., Sánchez-Alonso, I., and Mateos-Pérez M. 2005. New applications of fibres in foods: Addition to fishery products. Trend Food Sci Tech. 16: 458–465.
- Candogan, K., and Kolsarici, N. 2003. Storage stability of low-fat beef frankfurters formulated with carrageenan or carrageenan with pectin. Meat Sci. 64: 207–214.
- Da Ponte, DJB., Roozen, JP., and Pilnik W. 1984. Effects of additions on the stability of frozen stored minced fillets of whiting: I. various anionic hydrocolloids. J. Food Quality. 8: 51–68.
- Esaiasssen, M., Ostli, J., Joensen. S., Prytz, K., and Olsen, JV. 2005. Brining of cod fillets: effect of phosphate, salt, glucose, ascorbate and starch on yield, sensory quality and consume linking. LWT. 38: 641–649.
- Gacia-Ochoa, F., Santos, VE., Casas, JA., and Gomez, E. 2000. Xanthan gum: production, recovery and properties. Biotechnol Advances 18: 549–79.
- Herrero, AM., de la Hoz, L., Ordóñez, JA., Herranz, B., Romero, de Ávila MD., and Cambero MI. 2008. Tensile properties of cooked meat sausages and their correlation with texture profile analysis (TPA) parameters and physicochemical characteristics. Meat Sci. 80: 690–696.
- Julavittayanukul, O., benjakul, S., and Viessanguan, W. 2006. Effect of phosphate compounds on gel-forming ability of surimi from bigeye snapper (*Priacanthus Tayenus*). Food Hydro 20: 1153–1163.
- Katzbauer, B. 1998. Properties and applications of xanthan gum. Polymer Degradation Stability 59: 81–84.
- Kilincceker, O., Dogan, IS., and Kucukoner, E. 2007. Effect of edible coatings on the quality of frozen fish fillets. LWT–Food Sci. Tech. 42: 868–873.
- Knipe, CL., Olson, DG., and Rust, RE. 1985. Effects of selected inorganic phosphate, phosphate levels and reduced sodium chloride levels on protein solubility, stability and pH of meat emulsions. J. Food Sci. 50:1010–1013.

- Konno, KK., Yamanodera, K-I., and Kiuchi, H. 1997. Solubilization of fish muscle myosin by sorbitol. *J Food Sci.* 62: 980-984.
- Montero, P., Hurtado, J., and Pérez-Mateos, M. 2000. Microstructural behaviour and gelling characteristics of myosystem protein gels interacting with hydrocolloids. *Food Hydrocolloid* 14: 455-461.
- Ngadi, M., Li Y., and Oluka, S. 2007. Quality changes in chicken nuggets fried in oils with different degrees of hydrogenation. *LWT.* 40:1784-1791.
- Peng, W., Xing-lian, XU., and Guang-hong, Z. 2009. Effect of meat and phosphate level on water- holding capacity and texture of emulsion-type sausage during storage. *Agri. Sci. China.* 8: 1475-1481.
- Ramírez, JA., Barreva, M., Morales, OG., and Vázquez, M. 2002. Effect of xanthan and locust bean gums on the gelling properties of myofibrillar protein. *Food Hydrocolloid* 16: 11-16.
- Thanonkaew, A., Benjakul, S., Visessanguan, W., and Decker, EA. 2008. The effect of antioxidants on the quality changes of cuttle fish (*Sepia pharaosis*) muscle during frozen storage. *LWT.* 41: 161-169.
- Tokur, B., OzkÜtÜk, S., Atici, E., Ozyurt, G. and Ozyurt, CE. 2006. Chemical and sensory quality changes of fish fingers made from mirror carp (*Cyprinus carpio* L., 1758) during frozen storage. *Food Chem.* 99: 335-341.
- Worratao, A., and Yongsawatdigul, J. 2003. Cross-linking of actomyosin by crude tilapia (*Oreochromis niloticus*) transglutaminase. *J. Food Biochem.* 27: 35-51.
- Yang, TS., and Froning, GW. 1992. Selected washing processes affect thermal gelation protein and microstructure of mechanically deboned chicken meat. *J Food Sci.* 57: 325-329.
- Yoon, KS., and Lee, CM. 1990. Cryoprotectant effects in surimi and surimi/mince-based extruded products. *J Food Sci.* 55: 1210-1216.